

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Выпускная квалификационная работа

По направлению «Геология».

Васильев Степан Сергеевич

*Акцессорная минерализация керамических пегматитов  
Имплахтинского учебного полигона (Северное Приладожье)*

Уровень образования: магистратура

Направление 05.04.01 «Геология»

Основная образовательная программа ВМ.5515.2022 «Геология»

Научный руководитель:

Доцент г.-м.н., Петров С.В.



«\_\_» \_\_\_\_\_ 2024

Рецензент:

Доцент Алексеев В.И.

Доктор геолого-минералогических наук  
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО ГОРНОГО  
УНИВЕРСИТЕТА

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2024

Санкт-Петербург

2024

## Оглавление

Оглавление .....	2
Введение .....	4
1 Геологический очерк Северного Приладожья.....	6
2 Пегматиты Северного Приладожья .....	10
2.1 Пегматиты, залегающие в гранито-гнейсах куполов. ....	11
2.1.1 Пегматит Муркиенмяки .....	11
2.1.2 Пегматит «Харитоновский» .....	11
2.1.3 Пегматит Пусунсаари 1 .....	12
2.1.4 Пегматит Пусунсаари 2.....	13
2.1.5 Пегматит Пютюмяки 1.....	13
2.1.6 Пегматит Пютюмяки 2.....	14
2.2 Пегматиты, залегающие в породах питкярантской свите.....	15
2.2.1 Пегматит Нюрин-Саари 2 .....	15
2.2.2 Пегматит Йокиранта 1. ....	15
2.2.3 Пегматит Йокиранта 2 .....	16
2.2.4 Пегматит Йокиранта 3. ....	16
2.2.5 Пегматит Йокиранта 4. ....	17
2.2.6 Пегматит «Железная дорога».....	18
2.2.7 Пегматит «Калуга» .....	19
2.3 Пегматиты залегающие в породах ладожской серии.....	20
2.3.1 Пегматит Юкканкоски .....	20
2.3.2 Пегматит Юлярести 1 .....	21
2.3.3 Пегматит Рукоярви.....	21
2.3.4 Пегматит «Тетрамяки».....	22
3 Методические аспекты работы .....	24
4 Характеристика минералов тяжелой фракции .....	25
4.1 Фосфаты редкоземельных элементов.....	26
4.2 Минералы титана, тантала и ниобия.....	40

4.2.1	Рутил, Стрюверит и Ильменорутил.....	40
4.2.2	Ильменит .....	43
4.2.3	Танталит-колумбит.....	44
4.3	Апатит .....	49
4.4	Гранат.....	53
4.5	Минералы урана и тория.....	58
4.6	Минералы висмута.....	60
4.7	Сульфиды.....	63
4.8	Остальные акцессорные минералы.....	66
	Заключение.....	66
	Список литературы.....	71

## Введение

Гранитные пегматиты широко распространены в древних кристаллических щитах и складчатых областях континентальной коры. Они играют важную роль в добыче многих полезных ископаемых: редких металлов (литий, тантал, цезий, бериллий и др.), керамического, пьезооптического и ювелирного сырья, и являются главным и единственным источником листового мусковита. Пегматиты – дифференцированные зонально построенные геологические тела, валовый минеральный состав которых отвечает граниту. Зональность наиболее полнодифференцированных пегматитовых тел представляет собой смену от контакта четко различающихся по структурно-текстурным особенностям минеральных зон и, в общем виде, отвечает последовательности образования: аплитовая зона – наиболее мелко-равномернозернистая на контакте с вмещающими породами, графическая – с эпитаКСическими срастаниями полевого шпата и кварца или турмалина, блоковая – сложенная крупными кристаллами полевого шпата, кварца, слюды, кварцевое ядро и, в наиболее дифференцированных – полости-миаролы. Не полностью дифференцированные пегматитовые тела могут состоять только из графической и блоковой зон со слабо проявленной аплитовой оторочкой, или только из блоковой и аплитовой зон - пегматоиды.

Существует много классификаций пегматитов, основанных в основном на особенностях минерального состава и рудной нагрузки. Чаще всего на этой основе выделяют формации керамических, слюдоносных, редкометально-слюдоносно-керамических, редкометальных, редкометально-редкоземельных и хрусталеносных пегматитов. Каждая из этих формаций помимо своего набора структурных и текстурных особенностей характеризуется определенными минеральными парагенезисами и условиями образования.

Все пегматиты Северного Приладожья относятся к формации керамических пегматитов по классификации В.В. Гордиенко (Гордиенко 1996) основанной на минерально-текстурных признаках: минеральный состав – набор главных породообразующих минералов - определяет принадлежность пегматита к определенному типу, а текстурная характеристика, отражающая степень неоднородности минерального состава пегматитового тела в различных его частях – позволяет оценить степень дифференцированности.

Обладающие одинаковым набором главных породообразующих минералов пегматиты Северного Приладожья различаются по размерам и степени дифференцированности, кроме того, локализованы в разных по составу и генезису вмещающих породах: гранитогнейсовых куполах, метаморфических породах различного

состава и происхождения, что должно было отразиться в особенностях состава акцессорных минералов характеристике которых посвящены настоящая работа.

В отличие от редкометалльных пегматитов, в изучении керамических делается упорна породообразующие минералы, что в первую очередь обусловлено потребностями промышленности. В связи с этим исследование акцессорной минерализации керамических пегматитов Северного Приладожья ранее не изучалось столь детально.

**Цель работы:** изучение акцессорной минерализации пегматитовых тел и особенностей распределения в них химических элементов.

Автор выражает благодарность научному руководителю – доценту кафедры геологии месторождений полезных ископаемых, кандидату геолого-минералогических наук Сергею Викторовичу Петрову и старшему преподавателю кафедры геохимии Волковой Елене Викторовне за ценную помощь, советы и поддержку, которые позволили подготовить данную работу.

# 1 Геологический очерк Северного Приладожья

Объекты исследования находятся на территории Балтийского щита. Балтийский щит принято делить на три масштабных геоблока: Дальсландский, Свекофеннский и Карело-Кольский. Дальсландский мегаблок находится на западе и представлен преимущественно переработанными протерозойскими (готскими) породами (Шаров, 2017). На востоке находится Карело-Кольский геоблок. Он разнообразен по своему строению и поэтому его принято разделять на три массива: Кольский, Беломорский и Карельский (рис. 1).

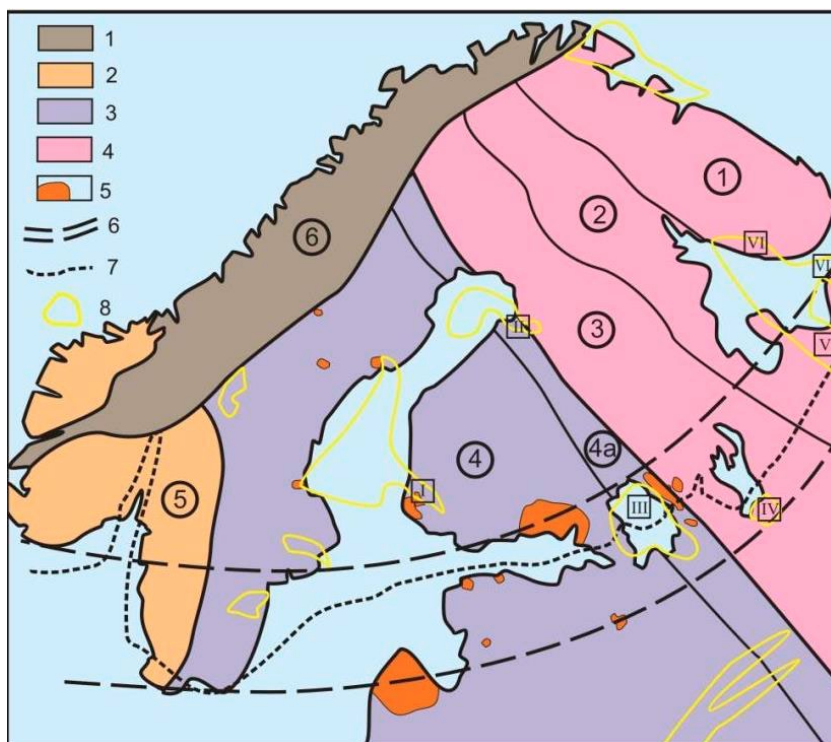


Рисунок 1 Схема тектонического районирования Балтийского щита (Шурилов, 2005). 1 - область палеозойского надвига: каледониды (6); 2 - область верхнепротерозойского крастогенеза: Дальсландский мегаблок (5); 3 - область нижнепротерозойского крастогенеза: Ладожско-Ботнический мегаблок (4), Раахе-Ладожская зона (4а); 4 - области архейского крастогенеза, мегаблоки: Кольский (1), Беломорский (2), Карельский (3); 5 - нижнерифейские массивы формации гранитов-рапакиви; 7 - граница распространения платформенных отложений; 8 - бассейны рифейской седиментации.

Между Дальсландским и Карело-Кольским геоблоками находится Свекофенский геоблок. Он представлен структурами раннепротерозойского аккреционно-коллизийного пояса и сложен турбидитами, глубоководными осадочными породами и преимущественно толеитовыми вулканитам. Зона сочленения Свекофенского и Карело-Кольского блоков называется Раахе-Ладожской зоной. Она является взбросо-надвиговой системой с правым смещением, который прослеживается на 1000 км. Ширина зоны сочленения более сотни километров (Шурилов, 2005). С юго-востока она перекрывается отложениями чехла Русской плиты. Раахе-Ладожская зона является результатом субдукции океанической литосферы протерозойской Свекофенского океана под архейский Карело-Кольский кратон и окончательно сформировалась 1,80-1,78 млрд. лет назад (Шурилов, 2005).

Район исследований – Северное Приладожье – находится на юге Раахе-Ладожской зоны и представлен гранито-гнейсовыми купольными выступами ремобилизованного архейского фундамента в обрамлении протерозойских пород. Архейские гранито-гнейсовые ядра обрамленных куполов являются наиболее древними структурами в данном регионе и сложены серыми полосчатыми гнейсами, розовыми гранитами и гранито-гнейсами, гнейсовидность которых согласна контактам купола. В гранито-гнейсах известны тела массивных среднезернистых внутрикупольных амфиболитов (Котова и др., 2011).

Рассмотренные в этой работе пегматиты находятся на территории двух групп гранито-гнейсовых куполов – Сортавальской и Питкярантской. В Сортавальскую группу куполов входят (рис. 2) Кирьяволахтинский (12), Сортавальский (13), Йокирантский (14) и Мейерский (15) купола; в Питкярантскую группу – Питкярантский (7), Мурсульский (8), Коккосельский (9) и Импилахтинский (10) купола.

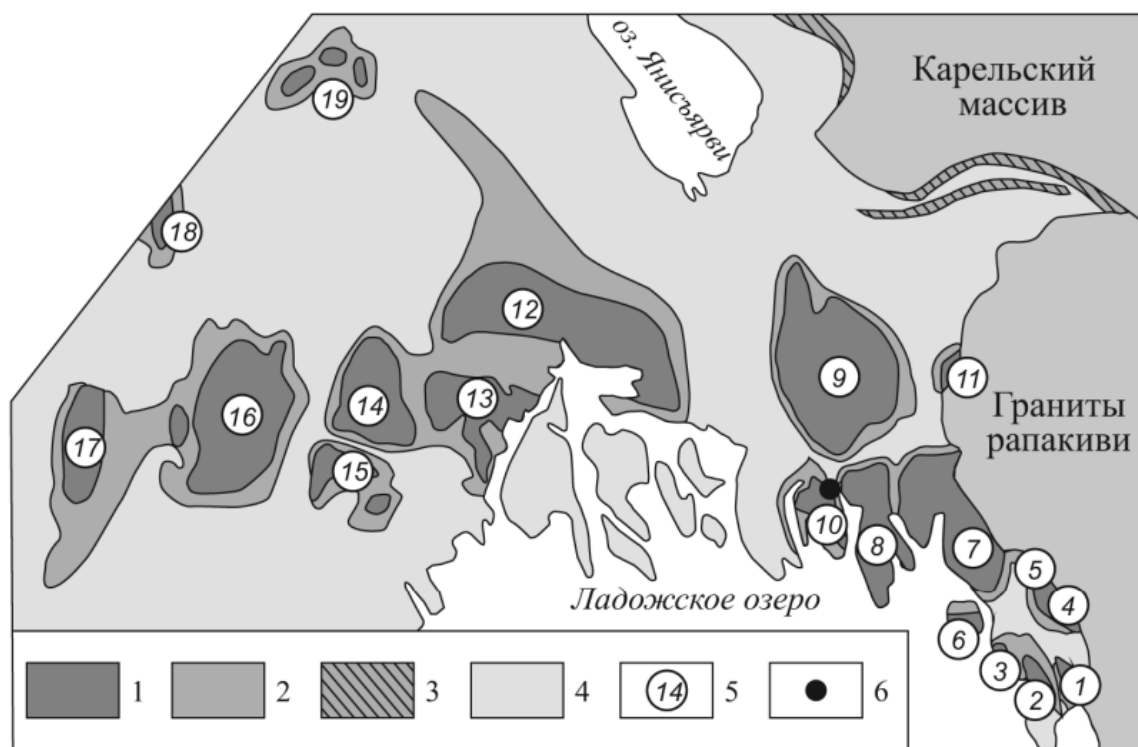


Рисунок 2 Схема размещения гранито-гнейсовых купольных структур на территории Северного Приладожья (на основе схемы геологического строения Северного Приладожья (Хазов Р. А., Иващенко В. И., 1979)). 1 — гранито-гнейсы купольного ядра (AR-PR); 2-4 — нижний протерозой: осадочно-вулканогенные комплексы сортавальской серии и питкярантской свиты (2), доломиты и сланцы соанлахтинской свиты (3), песчаники и сланцы ладожской серии (4); 5 — купола Питкярантской (1–11) и Сортавальской (12–19) групп: Уксинский (1), Ристиниемский (2), Хепосельский (3), Люпикковский (4), Винбергский (5), Пусунсарский (6), Койриноиско-Питкярантский (7), Мурсульский (8), Коккосельский (9), Импилахтинский (10), Юканкосковский (11), Кирьяволахтинский (12), Сортавальский (13), Йокирантский (14), Мейерский (15), Латвасюрско-Менсунварский (16), Пюхярвинский (17), Райюкский (18), Яккимский (19); 6 — участок детализации.

Обрамляют гранито-гнейсовые купола метаморфизованные вулканогенно-осадочные породы протерозоя. Эти породы были выделены К. О. Кратцем (Кратц, 1963) в ранге сортавальской серии, которая слагает нижнюю часть протерозойского разреза в обрамлении гранито-гнейсовых куполов. В более поздних публикациях указывается, что «... породы сортавальской серии рассматривались Л. Н. Потрубович в составе двух разновозрастных свит — питкярантской и соанлахтинской...» (Светов и Свириденко, 1992, с. 23–24 со ссылкой на работу Л.Я.Харитонов. 1966). Соанлахтинская свита представлена доломитами и сланцами. Она простирается вдоль южного края Карельского массива, к северо-востоку от купольных структур (см. рис. 2).

Под в сортавальской серией в ряде работ [Светов и Свириденко, 1992; Иваников и др., 1997; Матреничев и др., 2004; Матреничев и Матреничев, 2010, и др.] понимают породы, которые обрамляют купольные структуры Сортавальской группы. Породы этой серии относят к людиковийскому надгоризонту (верхний карелий), возрастные границы которого — 2100–1920 млн лет (Общая стратиграфическая шкала нижнего докембрия России, 2002).

В северо-восточном и восточном Приладожье (Питкярантская группа куполов) сортавальскую серию представляет питкярантская свита, мощность которой значительно уменьшается относительно разрезов сортавальской серии. В работе (Хазов, 1966) в составе питкярантской свиты выделено 4 подсвиты (снизу вверх по разрезу): кварциты и кварц-биотитовые сланцы с прослоями амфиболитов; известняки и скарны с прослоями графитовых и биотитовых сланцев; амфиболиты с прослоями скарнов, известняков, биотитовых и тремолитовых сланцев; скарнированные известняки с прослоями графитистых, слюдистых и амфиболовых сланцев. Интервалы разреза, сложенные существенно карбонатными породами — вторая и четвертая подсвиты, именуют соответственно нижним и верхним карбонатными горизонтами.

Межкупольное пространство выполнено метатерригенными породами ладожской серии, которые слагают значительную часть территории Северного Приладожья, относятся к калевию и рассматриваются как аналог калевийских терригенных отложений Финляндии (Общая стратиграфическая шкала нижнего докембрия России). За последние 30 лет метатерригенные породы Северного и Западного Приладожья, которые относили к ладожской серии, были разделены на основании разного состава, геологической истории и источников сноса (Геология и петрология свекофеннид Приладожья, 2000). В связи с этим, в Северном Приладожье выделяют ладожскую серию, и в тектоническом плане относят её к области карелид, а в Западном Приладожье – лахденпохскую серию, и в тектоническом плане относят к области свекофеннид (рис. 3).



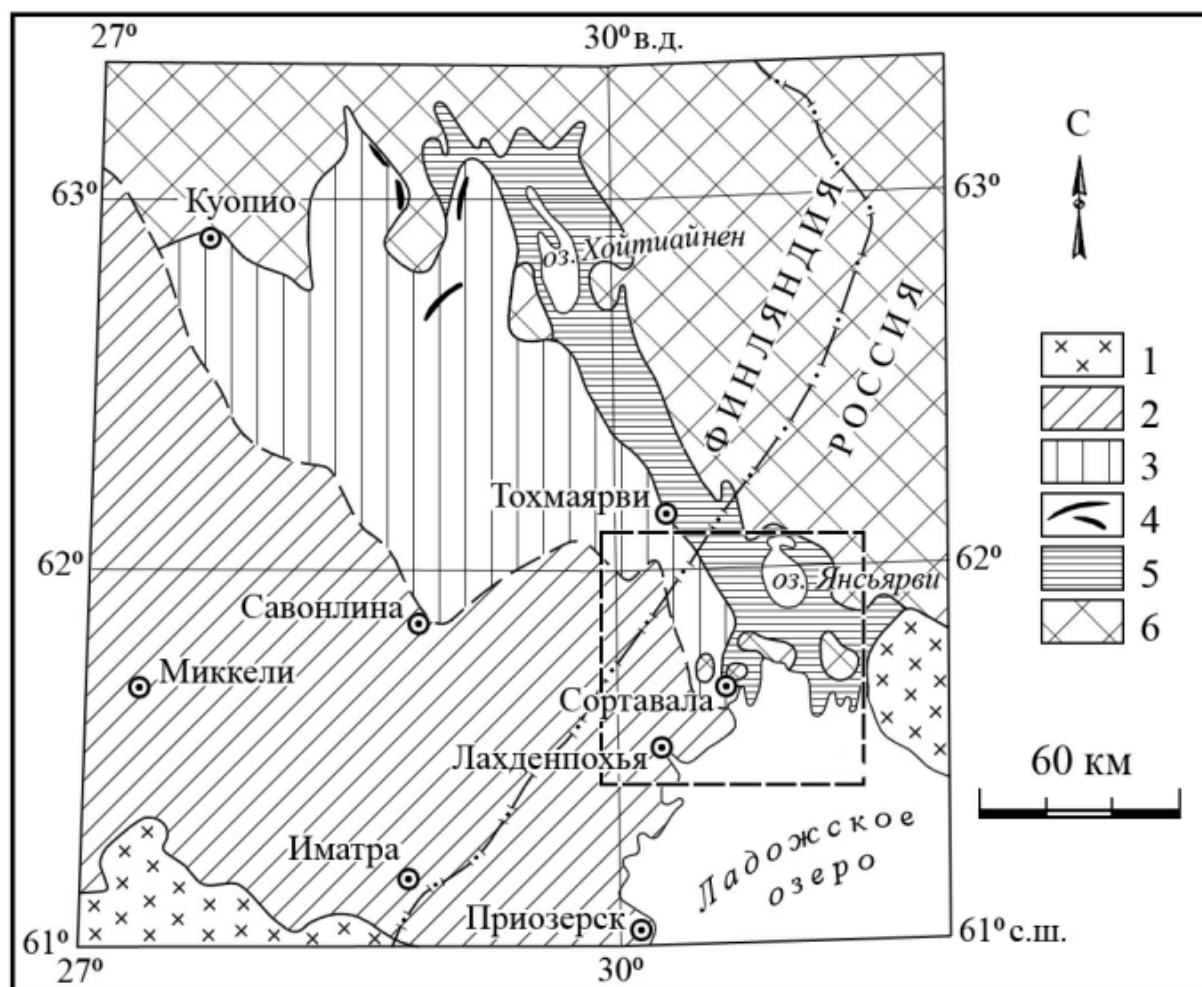


Рисунок 3. Схема геологического строения юго-восточной части Свеккофеннского аккреционно-коллизонного пояса. Составлена Котовой Л.Н. и др. (2007) на основе картографического материала (Raaheladoga Zone, geological maps 1:1 000000, 1999; Geological Map of the Fennoscandian Shield. Scale 1:2 000000, 2001):

1 – граниты рапакиви (1.65–1.47 млрд. лет); 2 – область широкого распространения супракрустальных островодужных ассоциаций (свеккофенниды, 1.95–1.87 млрд. лет); 3 – область широкого распространения метаосадочных пород преимущественно верхнего калевия (свекокарелиды, 1.95–1.87 млрд. лет); 4 – протофиолиты Оутокумпу (1.96–1.95 млрд. лет); 5 – область широкого распространения метаосадочных пород преимущественно нижнего калевия (карелиды, 2.06–1.96 млрд. лет); 6 – Карельский кратон и выступы фундамента (> 2.50 млрд. лет). Квадратным контуром обозначен район работ.

В ладожской серии ассоциации пород во всех изученных разрезах представлены преимущественно сланцами, мелко- и тонкозернистыми, ритмично-слоистыми, кварц-биотитовыми, биотитовыми и двуслюдяными (мощность слоев от сантиметров до метров), а также кварцитопесчаниками. Образования ладожской серии слагают синклинальные структуры, залегающие между купольными структурами. Предыдущими исследованиями установлено, что породы ладожской серии с признаками местного стратиграфического несогласия перекрывают людиковийские образования (Харитонов, 1966; Макарова, 1967). Верхняя возрастная граница серии определяется возрастом самых древних интрузивных пород (1,89 млрд. лет), прорывающих терригенные отложения. Степень метаморфической переработки пород увеличивается в южном направлении: от зеленосланцевой фации в

районе оз. Янисъярви до низкотемпературной амфиболитовой на побережье Ладожского озера (Алексеев и др. 2020).

Наиболее полный и дифференцированный разрез ладожской серии фиксируется в пределах Янисъярвинской подзоны Северо-Ладожской структурно-формационной зоны, где серия разделяется на свиты. Разрезы калевийских отложений Сортавальской подзоны, отнесенных к нерасчлененной ладожской серии, не коррелируются с разрезами Янисъярвинской подзоны (Объяснительная записка к листу Р-35-XXIV, Р-36-XIX. 2004).

## 2 Пегматиты Северного Приладожья.

Гранитные пегматиты, широко распространенные в Северном Приладожье, были описаны еще в 1948 году В. Д. Никитиным, и К. А. Шуркиным. Они разделяли пегматиты района на доладожские, широко распространенные в гранито-гнейсовых куполах, и постладожские- преимущественно в зоне контакта гранито-гнейсовых куполов с питкьярантской свитой и в породах ладожской серии (Годовиков А.А., 1983).

К.И. Розановым (Розанов и др. 1978) пегматитовые тела Северного Приладожья возрасту и минеральному составу были поделены на ранние пегматиты - возраст определён К-Аг методом как 1750-1875 млн. лет, получившие развитие в пределах разломных зон и характеризующиеся дифференцированным строением и более поздние, менее дифференцированные (1690-1710 млн лет, К-Аг метод).

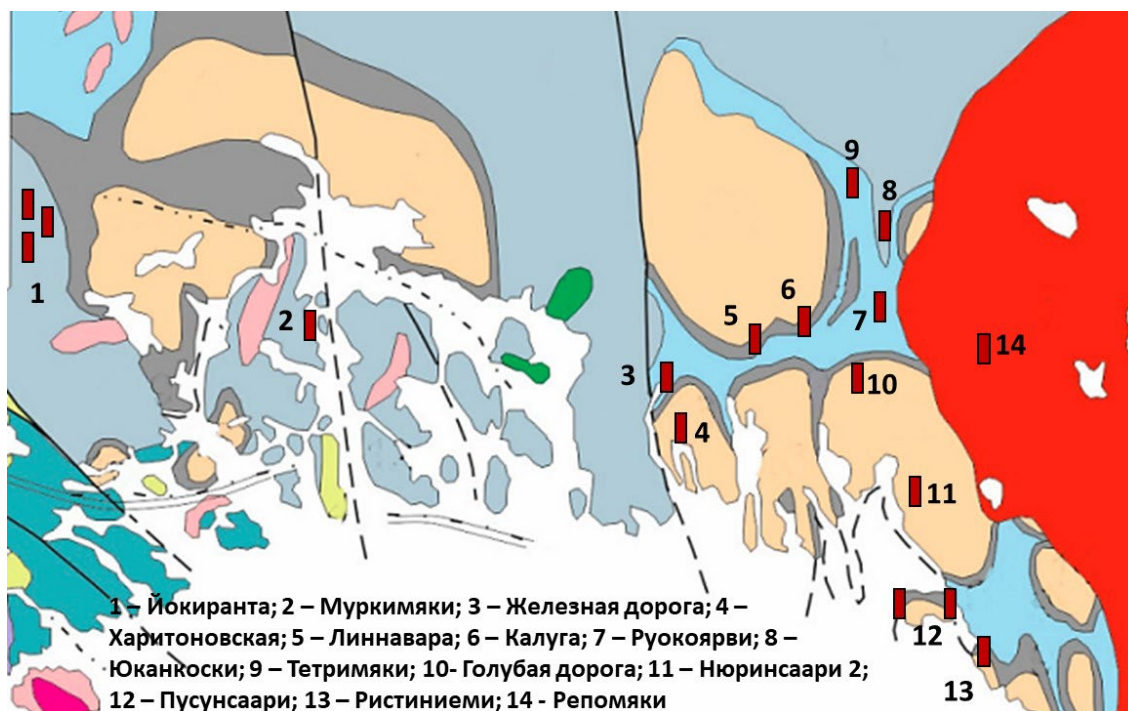


Рисунок 4 На карте заштрихованным прямоугольником отмечены области, где находится пегматитовые тела.

## ***2.1 Пегматиты, залегающие в гранито-гнейсах куполов.***

### ***2.1.1 Пегматит Муркиенмяки***

Месторождение Муркиенмяки находится в 4 километрах от посёлка Оявойс и в 30 метрах от форелевого хозяйства «Парола». Оно приурочено к Сортавальскому гранито-гнейсовому куполу. Карьер разрабатывали на поделочный камень – розовый кварц. Мощность пегматитового тела до 3 метров и протяженностью до 30 метров. Контакт с вмещающими породами четкий ровный.

В стенках карьера обнажается кварцевое ядро и блоковая часть. Графическая зона представленная сростками кварца и полевого шпата. Она представлена в виде не линейных зон мощностью до 40 сантиметров. Более подробно пегматитовое тело описано в работе Лебеденко А.В. (2022). Вмещающими породами для тела являются гранито-гнейсы Сортавальского купола.



Рисунок 5 Фотография карьера Муркиенмяки

### ***2.1.2 Пегматит «Харитоновский»***

Пегматитовое тело локализовано во внутрикупольных амфиболитах Импилахтинского купола, мощностью до 1 м, прослежено на расстояние до 3 м. Сложено преимущественно блоковыми кристаллами калиевого полевого шпата, размером до 8-10 см. На контакте с пегматитовым телом амфиболиты интенсивно гранитизированы.



Рисунок 6. Изображение образцов из пегматита «Харитоновский»



Рисунок 7. Пегматит «Харитоновский» в гранито-гнейсах Импилахтинского купола

### ***2.1.3 Пегматит Пусунсаари 1.***

Пегматоидное тело представляет собой уступ на возвышенности в 10 метрах на юго-восток от ЦБК на острове Пусунсаари. Пегматоидное тело длиной в 5 метров и мощностью в 1,5 метра располагается на бровке уступа. Тело состоит из красного калиевого полевого шпата и серого кварца, местами видны включения слюды – мусковит – размером кристаллов до 3 сантиметров. Брекчированный контакт с вмещающими породами.



Рисунок 8 Фотография пегматоида Пусунсаари 1

#### ***2.1.4 Пегматит Пусунсаари 2.***

Пегматоидное тело находится на склоне западного берега острова Пусунсаари. Пегматоидное тело длиной более 5 метров и шириной до двух метров. Зональность у тела не была замечена. Представлено тело красным калиевым полевым шпатом и серым кварцем. Вторичных минералов замечено не было.



Рисунок 9 Фотография Пусунсаари 2.

#### ***2.1.5 Пегматит Пютюмяки 1.***

Пегматитовое тело находится на склоне на расстоянии 30 метров от бывшей урановой штольни. Вмещающими породами являются гранито-гнейсы

Кирьяволахтинского купола. Контакт с вмещающими породами скрыт. Тело пегматита простирается на 325 градусов, падение на 45 градусов. Мощность кварцевого ядра достигает полметра, а его длина не более полутора метра. Мощность блоковой зоны не более 1,5, а в длину она не более 5 метров.



Рисунок 10 Фотографии пегматитового тела Пютюмяки 1.

#### ***2.1.6 Пегматит Пютюмяки 2.***

Пегматоидное тело располагается на вершине холма в 20 метрах от урановой штольни. Тело длиной не более 3 метров и мощностью от 1 до 2 метров. Располагается в гранито-гнейсах Кирьяволахтинского купола. Само тело частично выработано. Зональность не замечена. Представлено тело розоватым калиевым полевым шпатом, кварцем и слюдой, предположительно биотитом. Контакт тела четкий ровный.



Рисунок 11 Фотографии пегматоидного тела Пютюмяки 2.

## **2.2 Пегматиты, залегающие в породах питкярантской свиты.**

### **2.2.1 Пегматит Нюрин-Саари 2**

Месторождение Нюрин-Саари 2 расположено 3,5 км от города Питкяранта в Питкярантском районе и приурочено к амфиболитам питкярантской свиты. Контакт с вмещающими породами ровный и чёткий. Карьер разрабатывали, добывая щебень.

В стенках карьера обнажаются остатки от графической и блоковой зон пегматита. Контакт с вмещающими породами ровный и четкий. Пробы были отобраны от крупных валунов лежащих рядом со стенками карьера. Отбирались пробы из валунов, которые соотносились с породами в стенках карьера.



Рисунок 12 Фотография пегматитового тела Нюрин-Саари 2.

### **2.2.2 Пегматит Йокиранта 1.**

Пегматоидное тело небольших размеров мощностью от 0,3 до 1,5 м располагается в лесу на расстоянии 1 км от поворота с дороги между посёлками Хелюля и Леппяселькя. Вмещающими породами являются амфиболиты питкярантской свиты. Сложено тело преимущественно калиевым полевым шпатом и кварцем. Контакты верхний и нижний – брекчированные. Простираение 275°, падение 23°.

Брекчированный контакт с вмещающими породами позволяет предполагать, что образование пегматитовых тел происходило «in situ»

В жилах наблюдаются ксенолиты фрагменты «непереваренных» или частично «переваренных» пород питкярантской свиты.



Рисунок 13 Фотографии пегматоидного тела с брекчированным контактом Йокиранта 1.

### ***2.2.3 Пегматит Йокиранта 2***

Пегматитовое тело находится в лесу на расстоянии 1,4 км от поворота с дороги между посёлками Хелюля и Леппяселькя. На поверхность обнажаются лишь две зоны – кварцевое ядро и блоковая зоны. Контакт с вмещающими породами скрыт. Мощность кварцевого ядра 0,5 метра и длина до 0,5 метра. У блоковой зоны мощность 3 метра и длиной до 5 метров. Саму блоковую зону можно разделить на две подзоны по размеру кристаллов и наличию слюды.



Рисунок 14 Фотография пегматитового тела Йокиранта 2.

### ***2.2.4 Пегматит Йокиранта 3.***

Пегматитовое тело находится в лесу на расстоянии 0,5 км от поворота с дороги между посёлками Хелюля и Леппяселькя, а также в 5 метрах от линий электропередач.



Координаты тела И.3: 61°45'47 с. ш. и 30°32'40 в. д. Само тело мощностью 2 метра и длиной до 5 метров. Представлено тело кварцем, калиевым полевым шпатом и слюдой.

Брекчированный контакт с вмещающими породами позволяет предполагать, что образование пегматитовых тел происходило «in situ»

В жилах наблюдаются ксенолиты фрагменты «непереваренных» или частично «переваренных» пород питкьярантской свиты.



Рисунок 15 Фотографии пегматоидного тела Йокиранта 3.

#### **2.2.5 Пегматит Йокиранта 4.**

Пегматоидное тело расположено около лесовала. Координаты тела: 61°43'27 с. ш. и 30°42'23 в. д. Тело представляет собой откосный склон высотой до 3 метров. Представлено тело кварцем, калиевым полевым шпатом, гранатом. Местами появляется слюда. Были обнаружены единичные зерна флюорита. Вмещающими породами являются амфиболиты питкьярантской свиты.



Рисунок 16 Фотографии пегматоидного тела Йокиранта 4

### 2.2.6 Пегматит «Железная дорога»

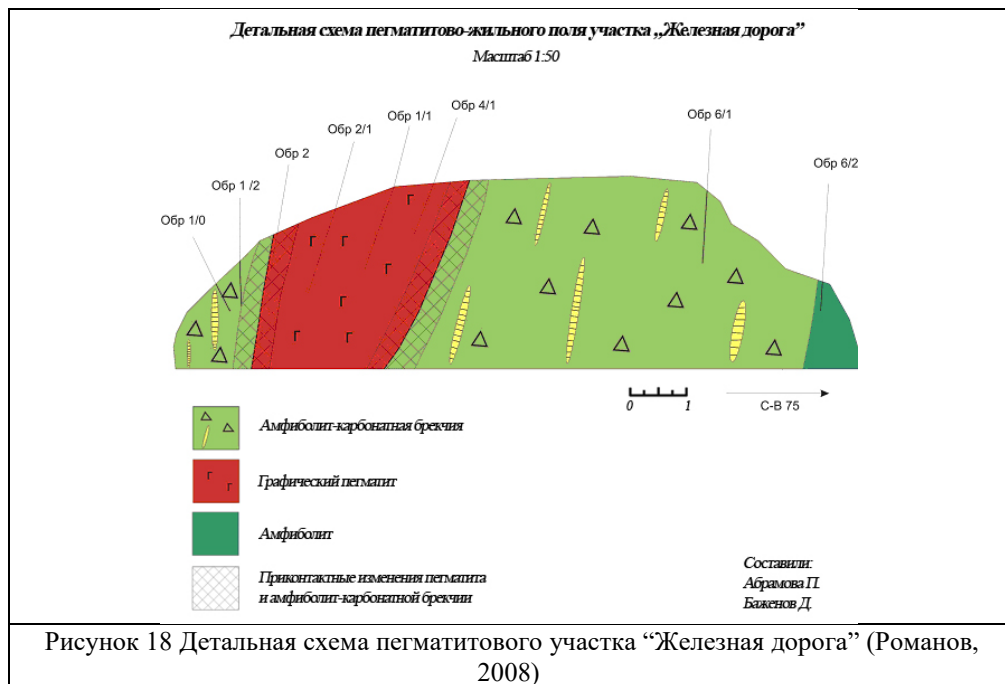
Пегматоид «Железная дорога» расположен в борту железнодорожной колеи на восточном въезде в посёлок Импилахти, вблизи с ответвлением на станцию Импилахти. Пегматоидная жила видимой мощностью до 7 м., северо-западного простирания (рис.7) прослежена на расстояние порядка 30 м.

Вмещающей породой пегматитового тела является брекчированный осветленный на контакте амфиболит, переслаивающийся с тонкими слойками карбонатов (в среднем 1 см).

Зональность проявляется присутствием аплитовой зоны, местами с обилием сульфидов, графической зоны, иногда с крупными (до 5-6 см) выделениями турмалина, блоковой зоны с размерами кристаллов микроклина до 10 см и слабо выраженного кварцевого ядра.



Рисунок 17. Изображение образца из пегматита «Железная дорога»



### 2.2.7 Пегматит «Калуга»

Пегматоидное тело локализовано в коренном выходе амфиболитов питкьярантской свиты в борту дороги Сортавала-Питкьяранта. Видимая мощность до 4-5 м, прослежено по простиранию (на запад) на 60-80 м. Падение крутое, вертикальное, согласное с залеганием вмещающих пород, контакт резкий. Пегматит азональный, слабо дифференцированный: к центру жилы, несколько увеличивается зернистость, кристаллы микроклина достигают 3-5 см), наблюдаются небольшие сегрегации дымчатого кварца (до 20 см). Очевидно, что в коренном выходе вскрыта только периферийная часть пегматитового тела.



Рисунок 19 Фотография пегматоидного тела Калуга.

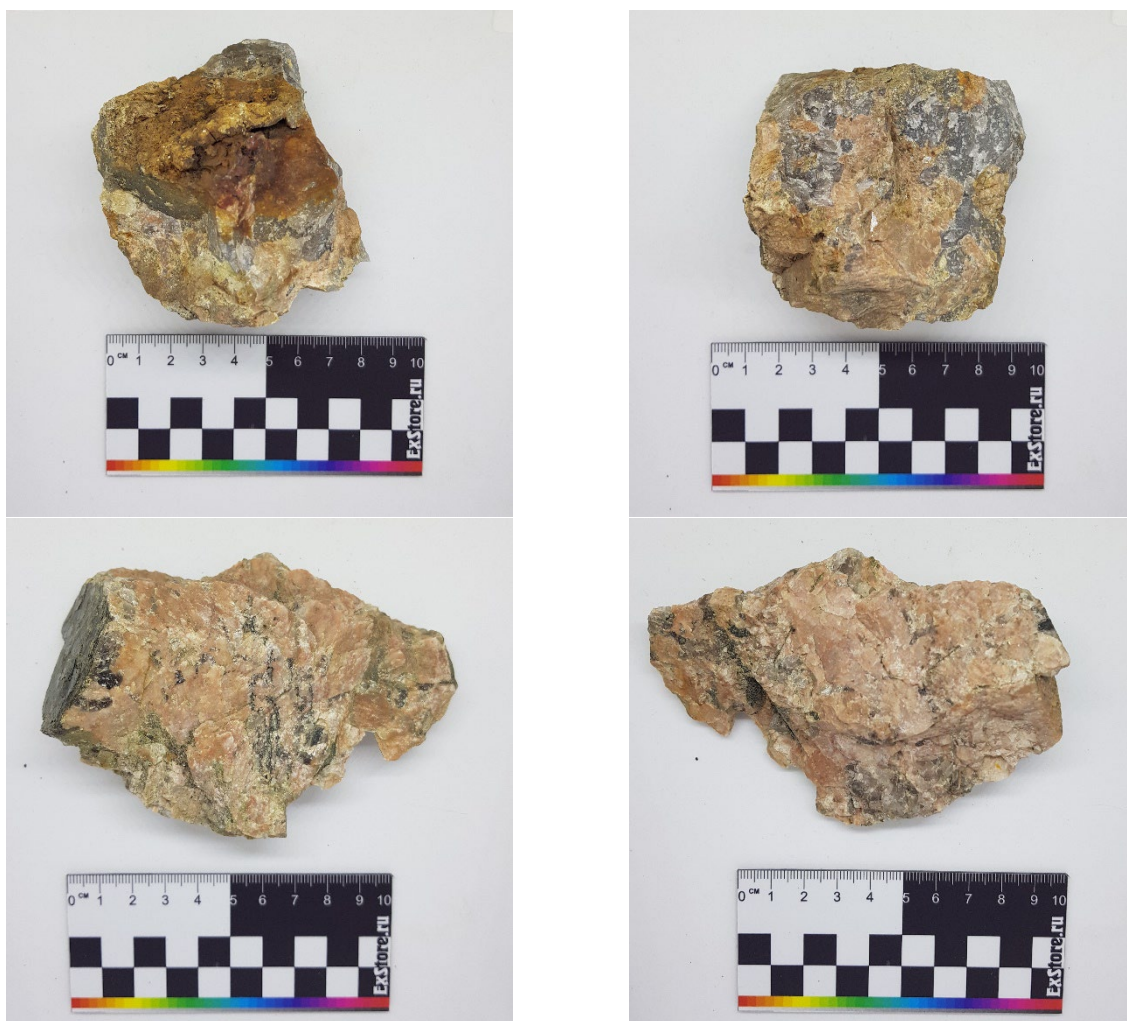


Рисунок 20. Изображения образцов из пегматита «Калуга»

### ***2.3 Пегматиты залегающие в породах ладожской серии.***

#### ***2.3.1 Пегматит Юкканкоски***

В XX веке пегматитовое тело разрабатывали карьерным способом, добывая калиевый полевой шпат. Мощность тела в крест простирания достигает трёх метров, а длина – 300 метров. Вмещающими породами для этого тела являются амфиболиты питкьярантской свиты. Контакт с вмещающими породами скрыт. Тело дифференцировано. В центре тела находится кварцевое ядро, затем блоковая часть, которая и разрабатывалась карьерным способом. Внешней зоной является графическая зона представлена двумя разновидностями: сростками турмалина и полевого шпата, а также сростками кварца и полевого шпата.



Рисунок 21 Фотографии графики встреченной в пегматите Юканкоски.

### ***2.3.2 Пегматит Юлярсти 1***

Пегматитовые тела Юлярсти 1 и Юлярсти 2 локализованы в породах ладожской серии на мысу Ристиниеми в области широкого развития мигматитов, образующих изогнутые в складки тонкие послойные прожилки или прерывистые тела, часто с многочисленными раздувами и ответвлениями. В раздувах часто происходит укрупнение размеров минеральных индивидов микроклина и плагиоклаза, появляются фрагменты блоковой и графической пегматитовых структур, расположенных незакономерно, укрупняется зона массивного кварца. Очевидно, что пегматиты Юлярсти 1 и 2 являются примером такого мигматит-пегматита. Тела залегают согласно вмещающим породам, их протяженность порядка 5-6 метров при видимой мощности порядка 2 м. Слюда представлена редкими отдельными лейстами биотита. Присутствуют розовый гранат и очень редкие мелкие выделения черного турмалина. В пегматите Юлярсти 1 в зоне блокового кварца присутствуют крупные – до 0,5 см выделения молибденита.

### ***2.3.3 Пегматит Рукоярви***

Пегматоидное тело расположено в борту дороги рядом с восточным берегом озера Рукоярви, которая ведет на водопад Белые мосты. Вмещающими породами для пегматоидного тела являются сланцы ладожской серии. Тело располагается субсогласно вмещающим породам и приурочено к локальным флексурным изгибам переслаивающихся биотитовых сланцев ладожской серии. Мощность тела от 1,5 метра до 2,5. На контакте наблюдаются крупные зерна граната.

Брекчированный контакт с вмещающими породами позволяет предполагать, что образование пегматитовых тел происходило «in situ»

В жилах наблюдаются ксенолиты фрагменты «непереваренных» или частично «переваренных» пород ладожской серии.



Рисунок 22 Фотография пегматоидного тела Руокоярви.

#### **2.3.4 Пегматит «Тетрамяки»**

Жильные тела *пегматита Тетрамяки* расположены в 5 км на север от озера Руокоярви, около горы Тетрамяки, в области выхода пород ладожской серии между Коккасельским и Кулисмайокским гранитогнейсовыми куполами.

Пегматитовые тела располагаются субсогласно вмещающим породам и приурочены к локальным флексурным изгибам пачек переслаивающихся биотитовых сланцев и метапесчаников ладожской серии. Максимальная мощность тел – до 4 м, прослеженная протяженность – 7-8 м. Пегматитовая зональность проявлена слабо: присутствуют блоковая и кварцевая зоны, нечетко проявленные фрагменты графической зоны. На контакте пегматиты окружены достаточно мощной (до 0,5 м) слюдяной оторочкой, состоящей преимущественно из биотита, отдельных просечек кварца и крупных (до 5 см) кристаллов турмалина.

Характер контакта с вмещающими породами позволяет предполагать, что образование пегматитовых тел происходило «*in situ*»

В жилах наблюдаются ксенолиты фрагменты «непереваренных» или частично «переваренных» пород ладожской свиты.

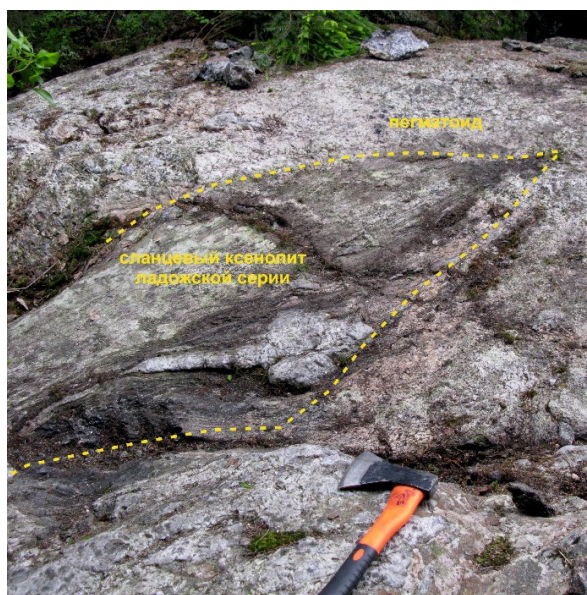


Рисунок 23 Фрагмент сильно переработанных в результате переплавления метасадочных пород ладожской серии (теневого ксенолита) в пегматоиде Тетрамяки



Рисунок 24. Изображения образцов с пегматита «Тетрамяки». Сверху изображения образцов самого из самого тела, снизу изображения образцов вмещающих пород – слюдиты. В обоих образцах наблюдаются включения зерен турмалина

### 3 Методические аспекты работы

Сбор фактического материала для проведения этого исследования проходил во время полевых учебно-научных практик на территории Северного Приладожья в сезоны 2022 и 2023 годов при непосредственном участии автора.

Отбор материала в виде штуфных образцов и больших весовых (до 10 кг) проб производился из коренных обнажений пегматитовых и пегматоидных тел с их предварительной документацией. Всего было отобрано 18 больших проб и более 40 образцов из 15 объектов.

Для минералогических и геохимических исследований отбирался каменный материал: крупные весовые пробы и штуфные образцы.

Валовые пробы пегматитов весом от 5 до 10 килограмм были отобраны из 7 пегматитовых и 11 пегматоидных тел, список которых представлен в таблице 1.

Таблица 1 Названия и тип тела, из которых брались пробы.

Название тела	Тип тела
Муркиенмяки	Пегматит
Пютюмяки 1	Пегматит
Голубая дорога	Пегматит
Линаваара	Пегматит
Юканкоски	Пегматит
Нюринсаари	Пегматит
Йокиранта 2	Пегматит
Харитоновский	Пегматоид
Пусунсаари 1	Пегматоид
Пусунсаари 2	Пегматоид
Пютюмяки 2	Пегматоид
Йокиранта 1	Пегматоид
Йокиранта 3	Пегматоид
Йокиранта 4	Пегматоид
Юляристи 1	Пегматоид
Юляристи 2	Пегматоид
Рукоярви	Пегматоид
Тетрамяки	Пегматоид

Всего было отобрано и использовалось в работе 18 проб.



После измельчения отобранных проб до размеров щебня, каждая проба дробилась с использованием щековой дробилки «ЩД-6» до крупности 1 мм, пропускалась через сито с размерностью ячейки 1 мм и при необходимости додрабливалась. Разделение проб на тяжелую и легкую фракции проводилось с помощью концентрационного стола «СКЛ-2». Полученные навески тяжелой фракции, т.н. «серый шлик» «доводились» вручную в фарфоровых чашках, а после разделялись на магнитную, парамагнитную и немагнитную фракции и просматривались по биноклю. Затем немагнитная фракция была расситована на две - крупностью +1мм. и -1мм. Фракция менее 1 мм была полностью использована для изготовления препарата для исследования (шайбы). Фракция крупностью +1 мм исследовалась под биноклем и из нее проводился отбор отдельных зерен граната, циркона, апатита и монацита и изготовление полированных шайб для последующего изучения. Всего было подготовлено 18 шайб.

Изучение проб проводилось в несколько этапов. Для изучения отдельных зерен и получения их изображений зерна минералов помещались на угольный скотч. Изготовленные препараты были изучены в ресурсном центре «Геомодель» с помощью сканирующего электронного микроскопа-анализатора Hitachi S-3400N с аналитической приставкой Oxford Instruments X-Max 20.

Видообразующий и примесный состав минералов определялся в РЦ «Геомодель» с помощью сканирующего электронного микроскопа-анализатора Hitachi S-3400N с аналитической приставкой Oxford Instruments X-Max 20. Микроскоп позволяет определять состав областей твердотельных образцов без их разрушения. Ускоряющее напряжение при исследовании образцов составляло 20 кВ, разрешение 70 нм. У аппарата имеется ряд ограничений. Точность анализа составляет 1 весовой процент. Пределы обнаружения рентгеноспектрального микроанализа – порядка 10–2 мас. %. Основным недостатком метода - невозможность определять легкие элементы: такие, как, например, литий или бериллий и определять различные валентные формы элементов, что, например, для железа, которое в виде разных валентных форм может занимать разные структурные позиции в составе минералов, является исключительно важным.

#### **4 Характеристика минералов тяжелой фракции**

Акцессорная минерализация в пегматитах весьма разнообразна. В пробах пегматитов в составе тяжелой фракции обнаружены и изучены методом микрозондового анализа гранаты, апатиты, цирконы, монациты и ксенотимы, различные минералы висмута

и титана, уранинит, колумбит-танталит и электрум, сульфиды и др. Это позволило провести сравнительный анализ минералов из различных пегматитовых тел.

Представлены итоги исследования акцессорной минерализации 18 пегматитовых тел Северного Приладожья. В работе демонстрируется, что главными акцессорными минералами являются фтор-апатит, в котором массовый процент фтора достигает 5,6; железистый колумбит из изоморфного ряда колумбит-танталит; гранаты с преобладающим алмандиновым миналом; монациты, в которых в среднем суммарно содержится до 63 масс. % элементов редкоземельной группы и ксенотимы. Часть кристаллов имеет характерную форму и огранку.

#### 4.1 Фосфаты редкоземельных элементов.

Зёрна монацита присутствуют во всех пробах варьирующими от бурого до коричневого, иногда коричнево-желтого цвета непрозрачными или слабопрозрачными изометричными зёрнами размером до 3 мм. В зёрнах монацита присутствуют включения циркона – в пегматитах из пород ладожской серии и питкьярантской свиты, ксенотима - в пегматитах из пород питкьярантской свиты и срастания оксидов свинца и тория – исключительно в монацитах из пегматитов гранитогнейсовых куполов.

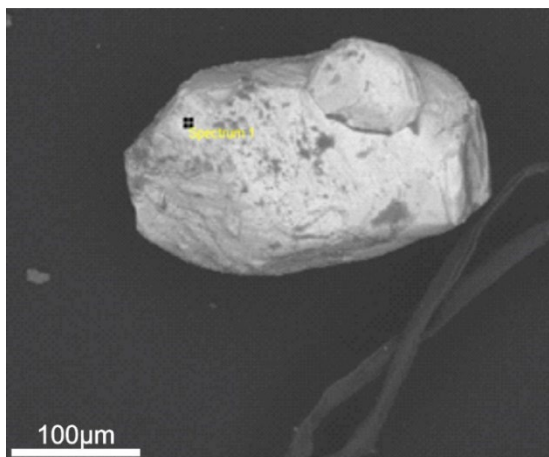


Рисунок 25. Сросток кристаллов монацита.Изображение получено с помощью электронного микроскопа ТМ3000

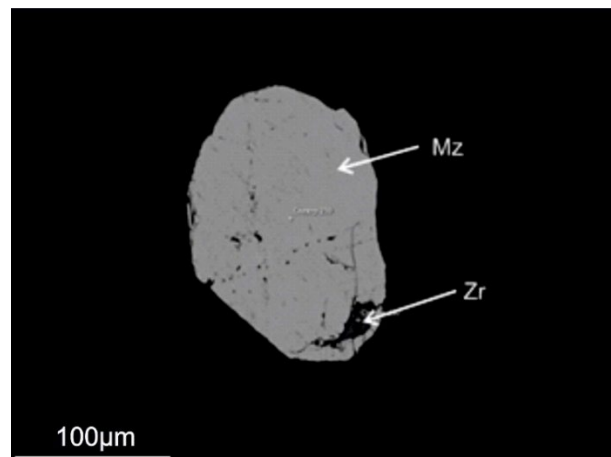
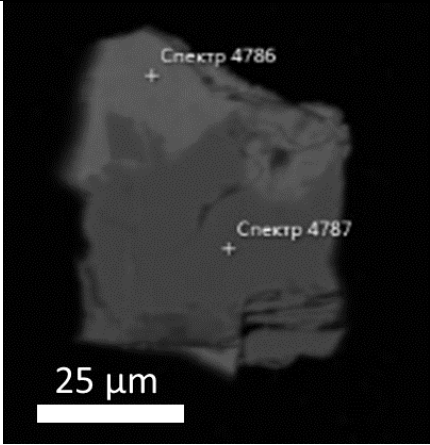
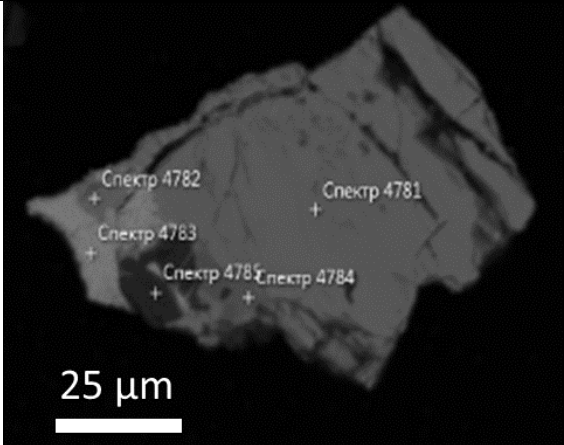


Рисунок 26. Включение циркона в зерне монацита.Тетрамяки 67 (259-260) Изображение в BSE.

	
<p><i>Рисунок 27 Срастание зерна монацита (спектр 4787) и оксида тория (спектр 4786). Изображение BSE. Пегматит Пусунсаари 1.</i></p>	<p><i>Рисунок 28 Срастание зерна монацита (спектр 4781) и оксида свинца (спектр 4783). Изображение BSE. Пегматит Пусунсаари 1.</i></p>

По химическому составу монациты из различных пегматитовых тел различаются не слишком контрастно.

Как видно из таблицы 2, состав монацитов всех пегматитов купольной группы схож и характеризуется преобладанием церия. Суммарные содержания РЗЭ варьируют в них от 54,58 масс. %  $\sum \text{РЗЭ}_{\text{La-Gd}}$  в монацитах из пегматита Пюттюмяки 2 до 66,69 масс. %  $\sum \text{РЗЭ}_{\text{La-Gd}}$  в монацитах из пегматита Муркиенмяки. Особенностью всех изученных монацитов является постоянное присутствие в их составе тория, содержания которого значительно варьируют - от 1,12 в монаците из пегматита «Муркиенмяки» до 18,32 масс.%  $\text{ThO}_2$  в зерне монацита из пегматита «Пюттюмяки 2», а также постоянное присутствие иттрия - до 3,67 масс. %  $\text{Y}_2\text{O}_3$  в монаците из пегматита Пусунсаари 1. В части зёрен встречается примесь свинца, которая достигает до 3,34 масс.%  $\text{PbO}$  в монацитах из пегматита «Пусунсаари 1». В отдельных зернах отмечается примесь железа – до 10,2 масс.%,  $\text{FeO}$ , урана – до 2,07 масс.%  $\text{UO}_2$ , в единичном случае тантала – 1,52 масс.%  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  в зерне монацита из пегматита «Харитоновский». Практически во всех присутствует примесь кремния – до 2,78 масс.%  $\text{SiO}_2$ .

Таблица 2 Составы и вариации коэффициентов кристаллохимических формул монацитов из пегматитов Северного Приладожья

	Гранитогнейсовые купола					
	Муркиенм яки	Харитонов ский	Пютюмяки 1	Пютюмяки 2	Пусунсаар и 1	Пусунсаар и 2
SiO <sub>2</sub>	0,87±0,52	1,06±0,24	1,99±0,42	1,88±0,71	1,86±0,67	1,38±0,47
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	29,44±1,71	25,37±4,05	27,99±1,12	27,06±1,58	26,94±1,90	27,41±1,05
CaO	0,85±0,28	1,05±0,37	1,19±0,40	1,04±0,24	0,59±0,23	0,80 (1)
FeO	10,16 (1)		2,6±1,67 (2)	0,36 (1)	3,5±2,82 (2)	1,1±0,52 (2)
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,82±0,36	2,73±0,52	2,90±0,35	2,70±0,29	3,09±0,58	2,60 (1)
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24,11±1,51	15,71±1,99	14,96±1,62	15,55±1,59	16,84±1,86	19,24±3,30
Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	29,77±1,30	24,58±2,14	23,70±1,95	23,50±1,98	25,74±2,28	28,51±2,78
Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,42±0,33	2,97±0,36	2,79±0,39	2,89±0,44	2,83±0,31	2,43±0,18
Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,58±0,93	11,78±1,32	11,83±0,96	11,47±1,19	11,24±1,19	10,94±0,35
Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,40±0,21	3,53±0,80	3,54±0,69	2,83±0,02	2,18±0,47	1,63 (1)
Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,04±0,16	2,30±0,46	2,19±0,38	1,51±0,05	1,64±0,28	
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		1,51 (1)	1,02 (1)			0,97 (1)
PbO	0,57±0,21	0,85±0,13	1,23±0,35	0,91±0,02	1,03±0,42	5,90±2,46
ThO <sub>2</sub>	3,55±0,66	5,80±1,63	9,60±2,79	3,25±1,12	7,22±2,50	
UO <sub>2</sub>	0,91±0,15 (2)			1,55±0,29		
n	40	30	32	18	20	2
ΣP3Э <sub>La-Gd</sub>	66,69±3,21	60,39±5,54	58,88±4,45	56,03±1,51	59,66±5,63	61,92±5,42
Вариации кристаллохимических коэффициентов в формулах, рассчитанных на 4 O						
Ce	0,33-0,47	0,32-0,66	0,27-0,38	0,28-0,37	0,31-0,39	0,36-0,42
La	0,27-0,42	0,20-0,45	0,17-0,27	0,18-0,27	0,19-0,28	0,23-0,32
Pr	0,02-0,05	0,00-0,05	0,03-0,05	0,00-0,06	0,00-0,05	0,03-0,04
Nd	0,9-0,16	0,14-0,36	0,14-0,20	0,13-0,20	0,12-0,19	0,15 (2)
Sm	0,00-0,02	0,04-0,09	0,02-0,06	0,00-0,05	0,00-0,04	0,00-0,02
Gd	0,00-0,02	0,00-0,07	0,00-0,04	0,00-0,03	0,00-0,03	0,00-0,00
Y	0,038- 0,096	0,00-0,08	0,00-0,08	0,00-0,07	0,00-0,09	0,00-0,05
Ca	0,00-0,07	0,03-0,08	0,00-0,22	0,00-0,07	0,01-0,07	0,00-0,03
Fe	0,00-0,33	0,00-0,00	0,00-0,014	0,00-0,01	0,00-0,25	0,00-0,00
Pb	0,00-0,01	0,00-0,01	0,00-0,04	0,00-0,02	0,00-0,04	0,00-0,01
Th	0,01-0,05	0,03-0,08	0,00-0,14	0,02-0,17	0,02-0,13	0,03-0,08
U	0,00-0,01	0,00-0,00	0,00-0,00	0,00-0,00	0,00-0,00	0,00-0,00
<b>sum</b>	<b>0,87-1,17</b>	<b>1,00-1,03</b>	<b>0,92-1,10</b>	<b>0,88-1,03</b>	<b>0,93-1,22</b>	<b>0,95-0,97</b>
P	0,87-1,17	0,88-0,93	0,83-0,96	0,79-0,96	0,78-0,94	0,88-0,92
Si	0,00-0,17	0,00-0,06	0,00-0,11	0,00-0,17	0,00-0,16	0,03-0,07
<b>sum</b>	<b>0,79-0,96</b>	<b>0,88-0,93</b>	<b>0,83-0,96</b>	<b>0,79-0,96</b>	<b>0,78-0,94</b>	<b>0,88-0,92</b>
<b>O</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>

Таблица 3 Составы и вариации коэффициентов кристаллохимических формул монацитов из пегматитов Северного Приладожья

Амфиболиты питкьярантской свиты						
	Нюрин-Саари 2	Йокиранта 1	Йокиранта 2	Йокиранта 3	Йокиранта 4	Железная дорога
SiO <sub>2</sub>	1,70±0,61	1,87±0,42	1,38±0,39	1,23±0,30	1,47±0,42	0,83±0,12
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	29,10±1,07	26,26±2,35	29,04±0,80	29,25±1,52	27,30±1,68	28,39±1,62
CaO	0,66±0,15	2,40±1,64	0,66±0,25	0,73±0,43	1,04±0,33	3,28±0,88
FeO		7,63±2,8 (3)		0,96±0,43	1,25±1,15	1,88 (1)
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,73±0,23	1,47±0,47	2,93±0,8	2,89±0,56	2,87±0,46	3,33±0,38
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,67±1,89	11,25±1,09	12,85±1,66	13,21±1,64	11,46±1,16	16,98±3,10
Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24,76±2,12	20,87±3,51	25,70±1,91	24,77±1,49	22,97±1,76	22,62±5,80
Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,46±0,19	2,92±0,47	3,06±0,39	3,08±0,27	2,80±0,29	2,06±0,33
Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,94±2,01	12,18±1,52	12,64±0,97	11,96±1,06	11,13±0,85	8,27±1,50
Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,45±0,56	5,92±1,52	5,44±0,86	5,26±0,85	5,27±0,81	2,52±0,47
Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,22±0,27	2,80±0,61	3,34±0,54	3,48±0,78	3,54±0,74	1,93±0,27
PbO	1,04±0,5 (2)	0,86±0,15	0,81±0,18	0,62±0,06	0,94±0,19	1,53±0,48
ThO <sub>2</sub>	5,62±2,39	7,44±1,78	5,80±2,01	4,49±1,42	7,86±2,06	13,54±2,38
UO <sub>2</sub>			1,25 (1)	1,29 (1)	1,0±0, (2)	2,07±0,4 (4)
n	4	9	23	19	50	7
∑PЗЭ <sub>La-Gd</sub>	61,47±5,27	55,93±5,45	62,56±2,84	61,77±3,12	56,25±4,73	51,58±7,57
Вариации кристаллохимических коэффициентов в формулах, рассчитанных на 4 O						
Ce	0,29-0,38	0,18-0,35	0,27-0,38	0,28-0,36	0,23-0,39	0,23-0,45
La	0,16-0,27	0,13-0,21	0,13-0,23	0,14-0,26	0,13-0,23	0,12-0,45
Pr	0,00-0,05	0,03-0,05	0,00-0,05	0,03-0,05	0,00-0,05	0,00-0,04
Nd	0,14-0,21	0,14-0,20	0,14-0,20	0,12-0,19	0,12-0,20	0,08-0,14
Sm	0,00-0,07	0,04-0,11	0,04-0,11	0,04-0,11	0,05-0,11	0,00-0,04
Gd	0,00-0,03	0,02-0,05	0,00-0,06	0,03-0,07	0,02-0,10	0,00-0,03
Y	0,00-0,08	0,00-0,04	0,00-0,10	0,00-0,10	0,00-0,08	0,00-0,08
Ca	0,00-0,03	0,02-0,38	0,01-0,06	0,01-0,14	0,00-0,12	0,00-0,19
Fe	0,00-0,00	0,00-0,37	0,00-0,03	0,00-0,05	0,00-0,21	0,00-0,07
Pb	0,00-0,01	0,00-0,01	0,00-0,01	0,00-0,01	0,00-0,02	0,00-0,02
Th	0,00-0,07	0,04-0,10	0,02-0,09	0,02-0,06	0,02-0,15	0,00-0,17
U	0,00-0,00	0,00-0,00	0,00-0,01	0,00-0,01	0,00-0,01	0,00-0,02
<b>sum</b>	<b>0,75-0,98</b>	<b>0,90-1,33</b>	<b>0,89-0,99</b>	<b>0,86-1,03</b>	<b>0,90-1,19</b>	<b>0,91-1,08</b>
P	0,89-0,98	0,77-0,93	0,88-0,99	0,89-0,98	0,76-0,99	0,89-0,96
Si	0,04-0,13	0,05-0,12	0,00-0,09	0,02-0,07	0,00-0,12	0,03-0,04
<b>sum</b>	<b>0,89-0,98</b>	<b>0,77-0,93</b>	<b>0,88-0,99</b>	<b>0,89-0,98</b>	<b>0,76-0,99</b>	<b>0,89-0,96</b>
<b>O</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>

Состав монацитов из пегматитов, локализованных в амфиболитах питкьярантской свиты (Таблица 3 и 4) не обладает контрастными отличиями: для них также характерно преобладание церия в составе РЗЭ, постоянное присутствие в их составе иттрия и тория, содержания которого значительно варьируют - от 0,47 масс.%  $\text{ThO}_2$  в монаците из пегматита «Калуга» до 25,12 масс.%  $\text{ThO}_2$  в зерне монацита из пегматита «Йокиранта 4». В части зёрен встречается примесь свинца, которая достигает до 2,09 масс.%  $\text{PbO}$  в монацитах из пегматита «Железная дорога». В отдельных зернах отмечается примесь железа – до 9,86 масс.%,  $\text{FeO}$ , урана – до 2,66 масс.%  $\text{UO}_2$ , в единичном случае тантала – 1,09 масс.%  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  в зерне монацита из пегматита «Йокиранта 4». Практически во всех присутствует примесь кремния – до 7,42 масс.%  $\text{SiO}_2$ .

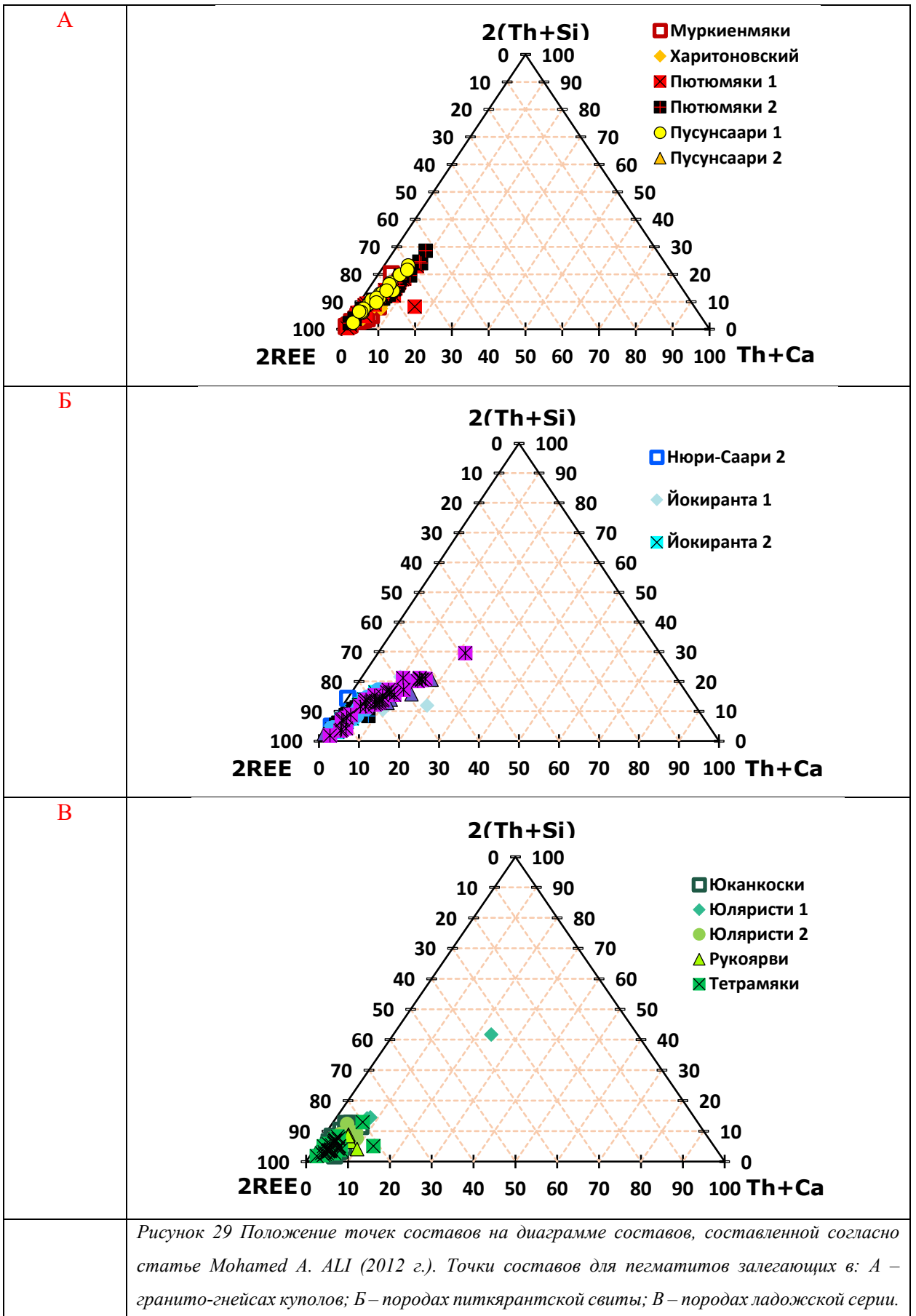
Монациты из пегматитов пород ладожской серии (таблица 4) также не выделяются контрастными особенностями состава и характеризуется теми же особенностями химизма, что и монациты из пегматитов гранитогнейсовых куполов и амфиболитов питкьярантской свиты: преобладанием церия в составе РЗЭ, постоянным присутствием примеси кремния, иттрия и тория, содержания которого значительно варьируют - от 1,95 в монаците из пегматита «Юканкоски» до 11,12 масс.%  $\text{ThO}_2$  в зерне монацита из пегматита «Юлярсти 1». В отдельных зернах отмечается примесь свинца, которая достигает до 1,96 масс.%  $\text{PbO}$  в монацитах из пегматита «Рукоярви». В отдельных зернах отмечается примесь железа – до 3,06 масс. %  $\text{FeO}$ , урана – до 6,85 масс.%  $\text{UO}_2$ .

Таблица .

Все изученные монациты, за исключением монацита из пегматита Пусунсаари 2, характеризуются постоянной примесью тория, концентрации которого варьируют в широких пределах – от до , что свидетельствует о значительной примеси шерлоита ( $\text{CaTh}(\text{PO}_4)_2$ ) в их составе: до 50 % в монацитах из пегматитов в амфиболитах питкьярантской свиты, до 30 % и до 25 % монацитах из гранитогнейсовых куполов и пород ладожской серии соответственно (Рис. 29).

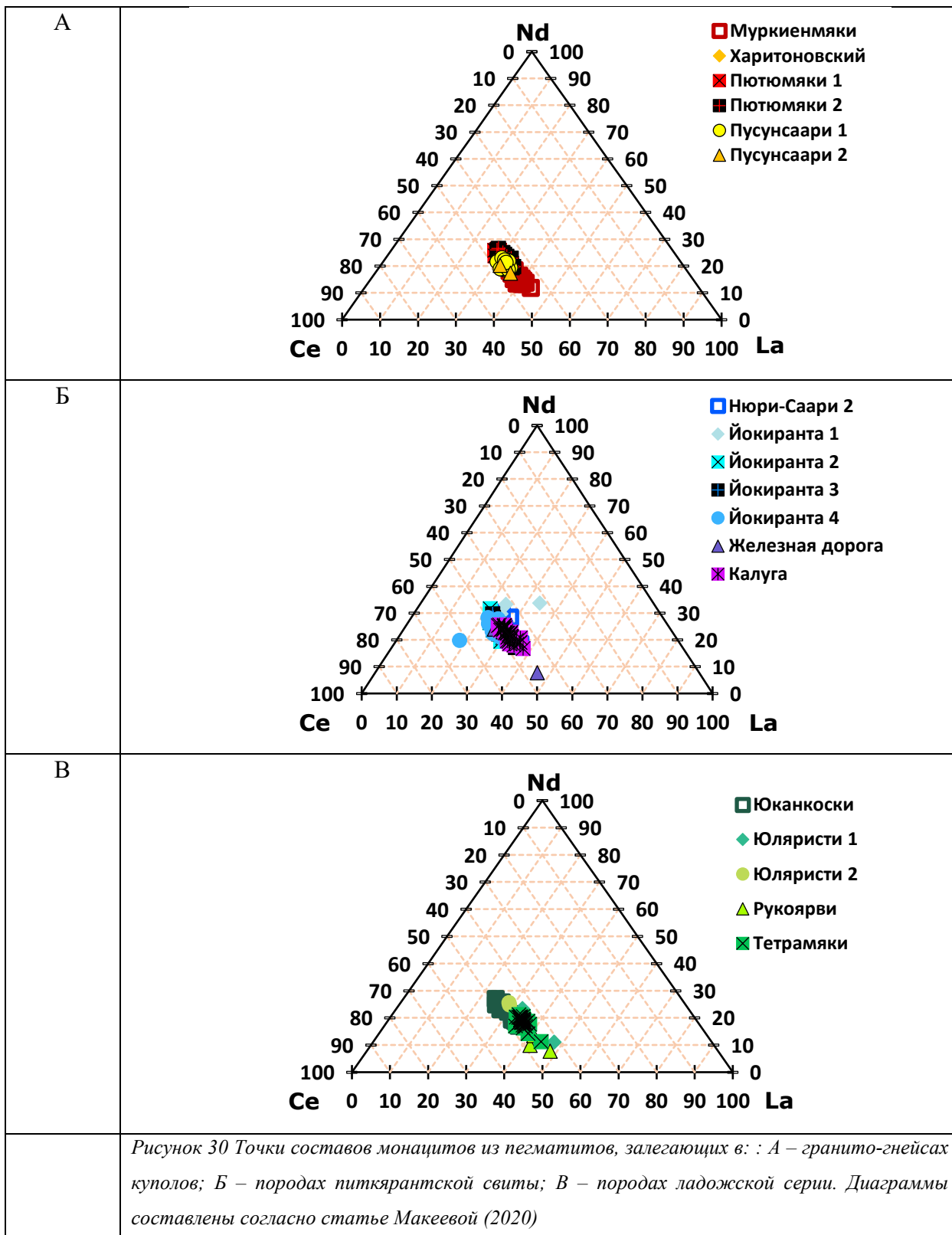
Таблица 4 Составы и вариации коэффициентов кристаллохимических формул монацитов из пегматитов Северного Приладожья

	Амфиболиты	Породы ладожской серии				
		Калуга	Юканкоски	Юляристи 1	Юляристи 2	Рукоярви
SiO <sub>2</sub>	1,34±0,22	1,42±0,31	1,64±0,12	1,47±0,27	0,73±0,01 (2)	0,77±0,14
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	26,60±1,66	26,79±2,29	29,47±0,15	28,76±1,37	29,95±0,54	27,74±1,22
CaO	1,85±0,95	1,01±0,51	1,84±0,02	1,45±0,89	2,29±1,01	1,07±0,41
FeO	1,21±0,7(4)	1,21±0,7(4)		0,36 (1)	0,35 (1)	1,25±0,9 (5)
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,27±0,64	3,27±0,64	2,86(1)	2,96±0,15	2,11±0,51	2,49±0,26
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,29±3,12	14,29±3,12	16,94±0,41	17,63±2,65	22,57±2,98	20,29±1,41
Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22,62±3,38	22,62±3,38	23,62±0,51	26,28±0,92	27,04±1,68	27,58±1,24
Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,60±0,43	2,60±0,43	2,39±0,05	2,40±0,42	2,21±0,27	2,55±0,37
Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,38±1,28	10,38±1,28	11,31±1,39	11,60±1,98	8,33±2,47	10,94±0,85
Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,16±0,80	3,16±0,80	3,16±0,71	2,46±0,61	1,85±0,11	1,80±0,30
Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,28±0,54	2,28±0,54	1,92±0,29	1,69±0,20	1,36±0,35	1,54±0,16
PbO	1,53±0,62	1,53±0,62	0,92±0,04	0,93±0,13	0,97±0,50	0,87±0,17
ThO <sub>2</sub>	11,13±4,38	11,13±4,38	10,52±0,61	6,65±1,41	6,45±1,13	4,25±0,90
UO <sub>2</sub>	1,52±0,1 (2)	1,52±0,1 (2)			3,85±3,01	2,21±0,96
n	40	18	2	4	6	39
∑P3ЭLa-Gd	54,5±6,46	57,87±4,87	59,33±2,78	61,02±0,43	61,07±3,99	63,03±3,40
Вариации кристаллохимических коэффициентов в формулах, рассчитанных на 4 O						
Ce	0,21-0,41	0,30-0,41	0,11-0,31	0,33-0,38	0,30-0,41	0,33-0,48
La	0,14-0,33	0,16-0,26	0,13-0,23	0,21-0,28	0,27-0,38	0,24-0,41
Pr	0,00-0,05	0,03-0,06	0,00-0,03	0,03-0,04	0,00-0,03	0,00-0,06
Nd	0,09-0,18	0,12-0,23	0,03-0,17	0,12-0,19	0,06-0,15	0,10-0,21
Sm	0,00-0,07	0,02-0,10	0,00-0,05	0,00-0,04	0,00-0,02	0,00-0,05
Gd	0,00-0,04	0,00-0,05	0,00-0,03	0,00-0,03	0,00-0,02	0,00-0,03
Y	0,00-0,09	0,00-0,07	0,00-0,14	0,00-0,06	0,01-0,06	0,00-0,06
Ca	0,01-0,21	0,01-0,11	0,07-0,34	0,02-0,10	0,05-0,17	0,01-0,22
Fe	0,00-0,08	0,00-0,04	0,00-0,04	0,00-0,01	0,00-0,01	0,00-0,11
Pb	0,00-0,08	0,00-0,03	0,01-0,04	0,00-0,01	0,00-0,01	0,00-0,01
Th	0,02-0,24	0,02-0,06	0,08-0,21	0,05-0,07	0,05-0,07	0,02-0,08
U	0,00-0,01	0,00-0,04	0,00-0,00	0,00-0,00	0,00-0,00	0,00-0,04
<b>sum</b>	<b>0,92-1,10</b>	<b>0,93-1,23</b>	<b>0,97-1,04</b>	<b>0,96-1,00</b>	<b>0,96-1,00</b>	<b>0,92-1,28</b>
P	0,84-0,97	0,70-0,97	0,77-0,92	0,89-0,94	0,91-0,97	0,69-0,95
Si	0,00-0,09	0,00-0,11	0,06-0,28	0,00-0,07	0,00-0,03	0,00-0,06
<b>sum</b>	<b>0,84-0,97</b>	<b>0,70-0,97</b>	<b>0,77-0,92</b>	<b>0,89-0,94</b>	<b>0,91-0,97</b>	<b>0,69-0,95</b>
<b>O</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>



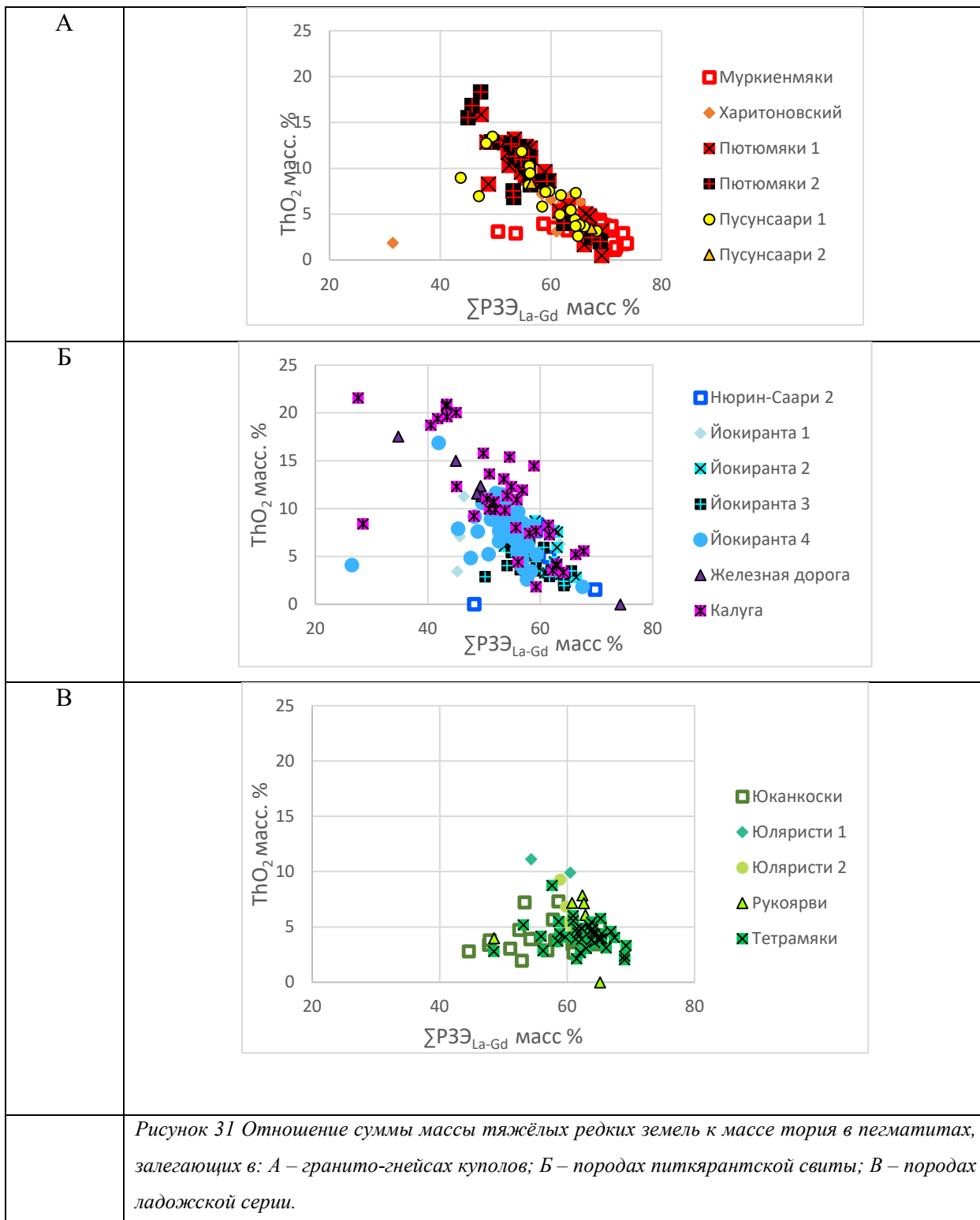


Как видно из таблиц и рис. 30 в составе редкоземельных элементов во всех изученных монацитах отчетливо преобладает церий и практически не наблюдается различий в соотношении Ce, La и Nd.

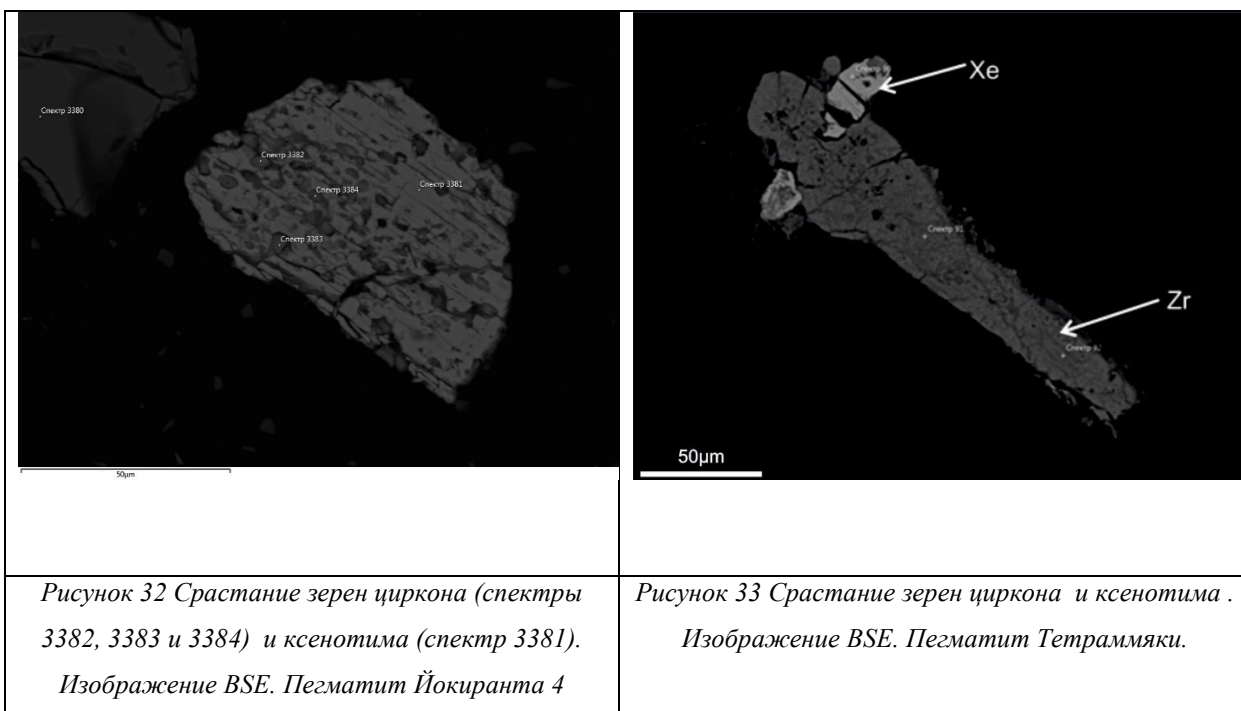


Содержания  $P3Э_{(La-Gd)}$  в изученных монацитах возрастают по мере снижения содержания тория (Рис. 31), которые могут рассматриваться в качестве косвенного

показателя температуры (Гордиенко В.В., 1996). Как видно из рисунка, самыми высокими содержаниями РЗЭ и низкими тория характеризуются монациты из пегматита «Муркиенмяки», поля которого расположены компактно. Монациты остальных пегматитовых объектов характеризуются широкими вариациями соотношений тория и РЗЭ, что свидетельствует об их образовании в более широком диапазоне температур.



Ксенотим, в отличие от монацита, распространен значительно меньше. Так в пробах пегматитов из пород ладожской серии зерна монацита в количестве двух были обнаружены только в пегматите «Юляристи». Ксенотим не был обнаружен также в пробах пегматитов «Харитоновский» (гранитогнейсовый купол), «Йокиранта-3» и «Железная Дорога» (амфиболиты питкьярантской свиты). Минерал встречается в виде самостоятельных зёрен, а также включений в монаците (рис. 33) и иногда содержит включения мелких зерен циркона (рис. 32).



Среди особенностей химизма изученных зерен ксенотима следует отметить значительное преобладание иттрия в составе тяжелых РЗЭ (рис. 34). В составе отдельных зерен присутствует кремний – до 5,45 масс. % SiO<sub>2</sub> (таблица 5 и 6) в ксенотиме из пегматита «Калуга», железо – до 1,89 масс. % FeO там же, а также в большинстве зерен отмечаются содержания урана – до 5,18 масс % UO<sub>2</sub> в ксенотиме из пегматита «Пюоттюмяки 2».

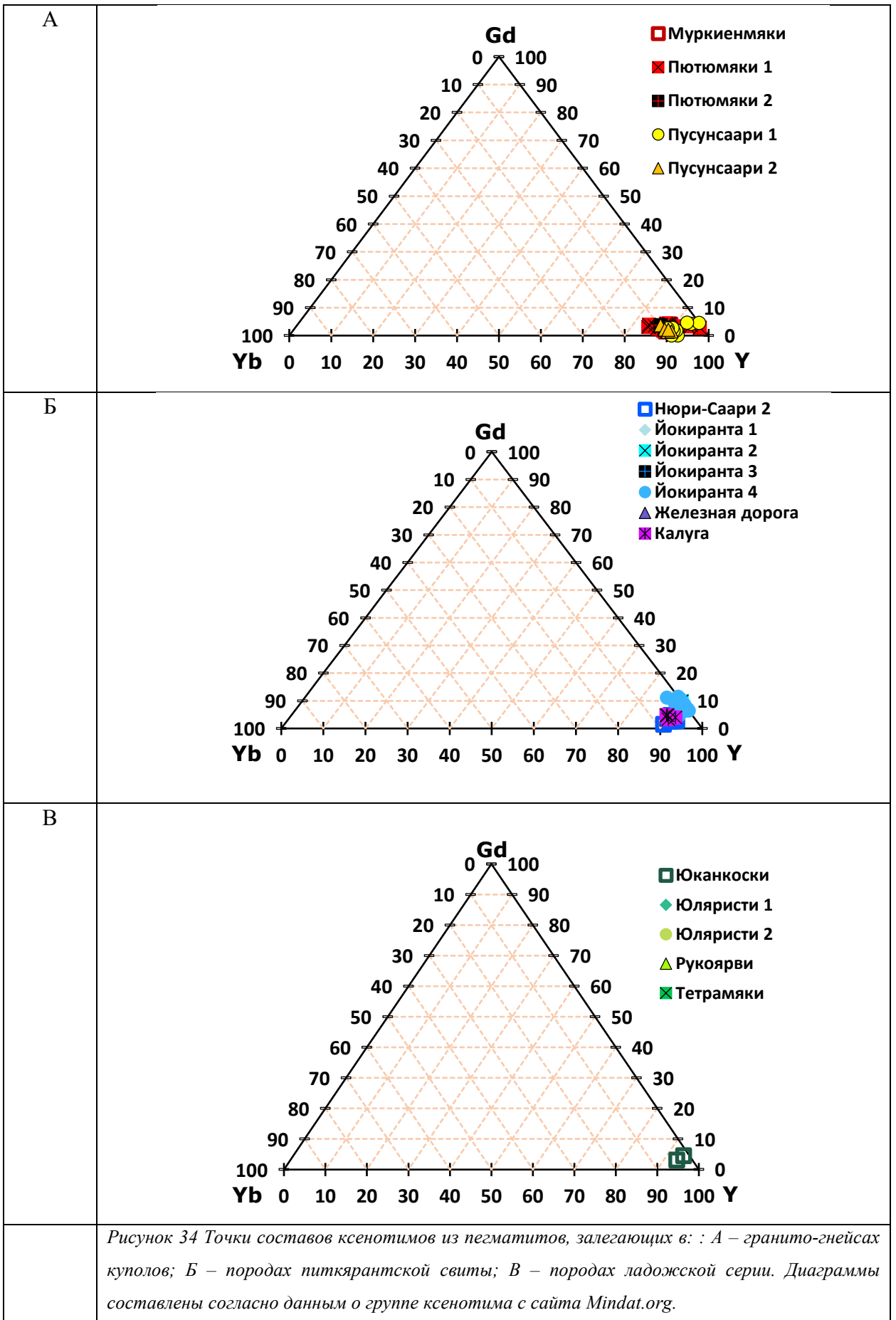
В большинстве зерен ксенотима примесь тория отсутствует, для остальных концентрации этого элемента невелики и редко достигают 2,0 масс.% ThO<sub>2</sub> Таким образом для сосуществующих монацитов и ксенотимов примесь шерлоита (CaTh(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>) более характерна именно для монацитов, а в ксенотимах практически отсутствует, достигая в единичных случаях 15 % (рис. 35) Исключением является одно зерно из пегматита «Йокиранта 4», где обнаружилось высокое содержание тория 25,12 масс.% ThO<sub>2</sub> и доля шорломитовой составляющей достигает 40 %.

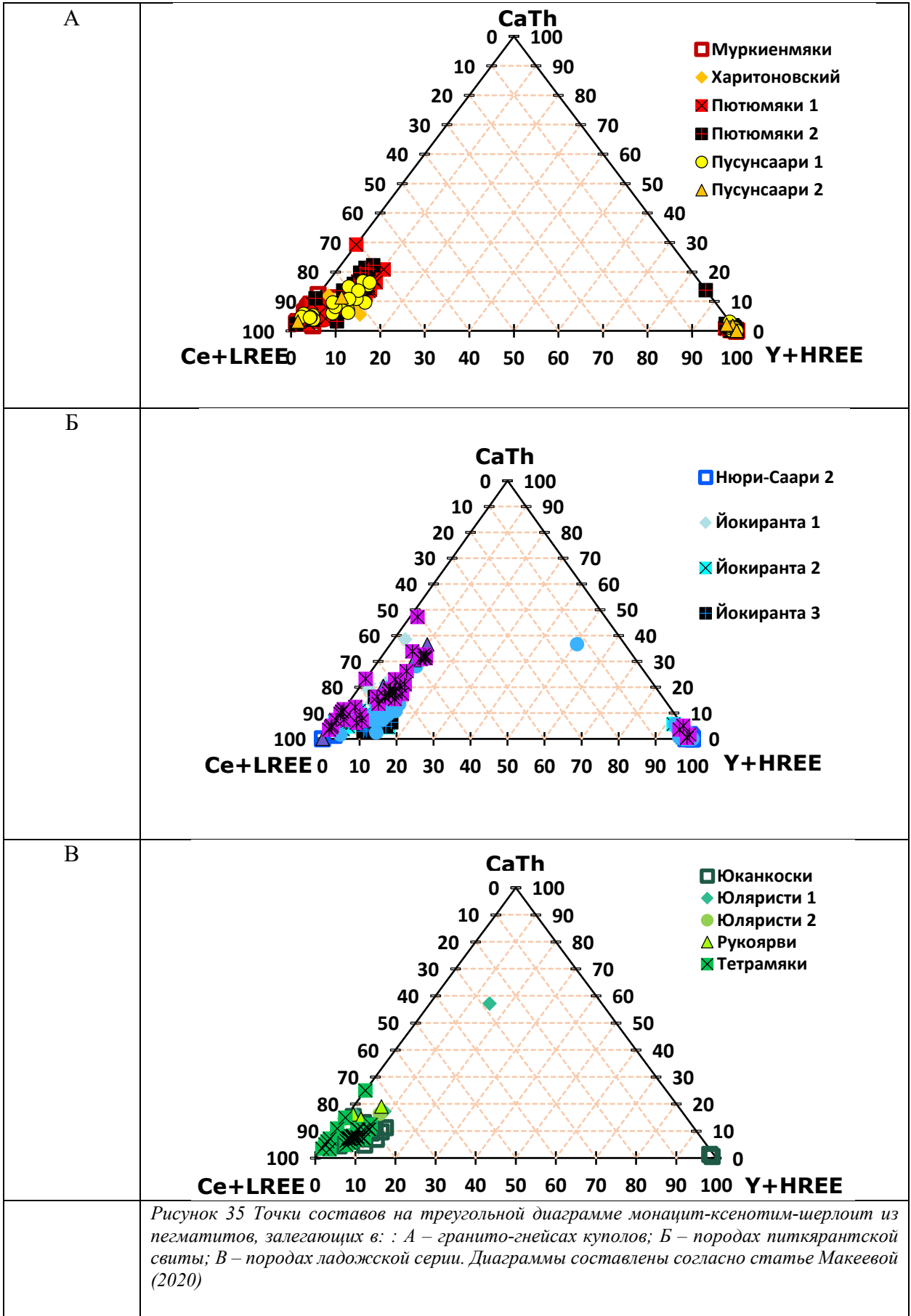
Таблица 5 Составы и вариации коэффициентов кристаллохимических формул ксенотимов из пегматитов Северного Приладожья

Гранитогнейсовые купола					
	Муркиенмяк и	Пютюмяки 1	Пютюмяки 2	Пусунсаари 1	Пусунсаари 2
SiO <sub>2</sub>		1.08±0.10	2.26 (1)	2.36 (1)	1.88 (1)
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	35.85±1.99	36.24±1.35	34.40±2.12	36.00±0.63	34.98±3.26
CaO			0.55±0.27		0.34±0.03 (2)
FeO			0.99±0.09	1.17±0.41 (3)	0.92±0.35
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	41.55±2.29	42.80±1.81	39.37±2.84	43.65±1.06	41.93±5.66
Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		1.15±0.17 (7)	0.64±0.04(3)	0.84±0.03 (2)	1.00 (1)
Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.91±0.30	2.68±0.44	2.14±0.38	2.06±0.51	1.53±0.28
Tb <sub>4</sub> O <sub>7</sub>		1.24±0.07		1.33 (1)	
Dy <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.50±0.41	4.81±0.55	4.42±0.42	4.16±1.06	3.74±0.33
Ho <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.30±0.04	1.52±0.03	1.68 (1)	1.69±0.18	1.56±0.46 (2)
Er <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.02±1.03	5.52±0.94	5.03±1.19	5.72±0.76	5.26±1.28
Yb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.29±0.71	6.94±1.25	6.96±0.87	6.17±1.16	7.31±0.90
Lu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>					
ThO <sub>2</sub>		1.21±0.25	1.96±1.61	1.14±0.22	1.12 (1)
UO <sub>2</sub>	0.91 (1)	1.31±0.22	2.52±2.65	1.10 (1)	1.82±0.24 (2)
	12	30	16	17	5
Si	0,00-0,00	0,00-0,04	0,00-0,10	0,00-0,08	0,00-0,08
P	1,01-1,04	1,00-1,05	0,88-1,05	0,97-1,04	0,99-1,01
<b>sum</b>	<b>1,01-1,04</b>	<b>1,00-1,05</b>	<b>0,98-1,05</b>	<b>0,99-1,07</b>	<b>1,00-1,07</b>
Ca	0,00-0,00	0,00-0,00	0,00-0,04	0,00-0,00	0,00-0,01
FeO	0,00-0,00	0,00-0,00	0,00-0,03	0,00-0,04	0,00-0,06
Y	0,72-0,76	0,68-0,82	0,61-0,76	0,69-0,80	0,64-0,80
Gd	0,01-0,03	0,02-0,07	0,02-0,04	0,00-0,04	0,01-0,03
Tb	0,00-0,00	0,00-0,01	0,00-0,00	0,00-0,01	0,00-0,00
Dy	0,04-0,06	0,04-0,11	0,04-0,08	0,03-0,08	0,04-0,05
Ho	0,00-0,01	0,00-0,02	0,00-0,02	0,00-0,02	0,00-0,02
Er	0,04-0,08	0,00-0,08	0,03-0,08	0,00-0,08	0,04-0,08
Yb	0,06-0,08	0,00-0,10	0,05-0,09	0,00-0,08	0,07-0,08
Lu	0,00-0,01	0,00-0,00	0,00-0,00	0,00-0,00	0,00-0,00
Th	0,00-0,00	0,00-0,01	0,00-0,08	0,00-0,03	0,00-0,01
U	0,00-0,01	0,00-0,02	0,00-0,10	0,00-0,01	0,00-0,02
<b>sum</b>	<b>0,93-0,99</b>	<b>0,91-0,99</b>	<b>0,91-1,00</b>	<b>0,90-1,02</b>	<b>0,93-1,00</b>
<b>O</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>

Таблица 6 Составы и вариации коэффициентов кристаллохимических формул ксенотимов из пегматитов Северного Приладожья

	Породы питкярантской свиты				Ладожской серии
	Нюрин-Саари 2	Йокиранта 2	Йокиранта 4	Калуга	Юканкоски
SiO <sub>2</sub>	1.72	4.33	1.97±0.15	5.45 (1)	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	35.54±1.42	34.21±1.15	33.12±2.77	32.71±2.32	32.53±1.69
CaO		0.64 (1)	0.45±0.12	0.29±0.08	0.23±0.11
FeO			1.27±0.84	1.89 (1)	0.60
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	42.25±2.57	39.50±1.48	37.68±3.57	41.99±2.29	37.23±2.24
Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.81±0.01	1.61±0.27	1.53±0.25	0.99±0.38	0.59±0.10
Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.44±0.43	6.33±0.99	5.90±1.30	2.96±0.84	2.44±0.59
Tb <sub>4</sub> O <sub>7</sub>		1.39±0.09	1.61±0.41	0.90±0.02	
Dy <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.30±0.42	6.75±1.08	6.67±0.88	5.28±1.27	6.27±0.96
Ho <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.69±0.14 (4)				1.21 (1)
Er <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.59±0.35	1.45±0.17	5.52±0.94	2.62±0.58	2.61±0.23
Yb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.41±0.70	1.19 (1)	6.94±1.25	4.32±1.12	1.74±0.72
Lu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.10 (1)				
ThO <sub>2</sub>	1.03±0.31	2.07±1.39	1.21±0.25	0.54±0.21	
UO <sub>2</sub>	1.08±0.09	1.35±0.30	1.31±0.22	0.78±0.02	1.05±0.45
	14	3	16	6	2
Si	0,00-0,06	0,00-0,31	0,00-0,00	0,08-0,11	0,00-0,00
P	1,01-1,05	0,71-1,08	1,01-1,04	0,89-0,96	1,03-1,04
<b>sum</b>	<b>1,01-1,08</b>	<b>0,99-1,09</b>	<b>1,01-1,04</b>	<b>0,97-1,06</b>	<b>1,03-1,04</b>
Ca	0,00-0,00	0,00-0,13	0,00-0,00	0,00-0,03	0,00-0,01
FeO	0,00-0,00	0,00-0,16	0,00-0,00	0,00-0,28	0,00-0,02
Y	0,72-0,82	0,42-0,76	0,72-0,76	0,67-0,73	0,74-0,75
Gd	0,01-0,04	0,03-0,09	0,01-0,03	0,03-0,04	0,02-0,04
Tb	0,00-0,00	0,00-0,03	0,00-0,00	0,00-0,00	0,00-0,00
Dy	0,04-0,06	0,03-0,10	0,04-0,06	0,05-0,06	0,07-0,08
Ho	0,00-0,02	0,00-0,00	0,00-0,01	0,00-0,02	0,00-0,02
Er	0,03-0,05	0,00-0,03	0,04-0,08	0,03-0,04	0,03-0,04
Yb	0,03-0,07	0,00-0,02	0,06-0,08	0,03-0,05	0,01-0,03
Lu	0,00-0,02	0,00-0,00	0,00-0,01	0,00-0,00	0,00-0,00
Th	0,00-0,01	0,00-0,24	0,00-0,00	0,00-0,02	0,00-0,00
U	0,00-0,01	0,00-0,01	0,00-0,01	0,00-0,00	0,01-0,01
<b>sum</b>	<b>0,88-0,98</b>	<b>0,87-1,03</b>	<b>0,93-0,99</b>	<b>0,93-1,15</b>	<b>0,93-0,94</b>
<b>O</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>





## 4.2 Минералы титана, тантала и ниобия.

### 4.2.1 Рутил, Стрюверит и Ильменорутил

Рутил характеризуется широкими вариациями состава, как в пределах отдельных пегматитовых тел, так и в целом для изученных объектов. В качестве постоянной примеси в нем присутствуют ниобий, ванадий и железо (таблицы 7,8 и 9). В некоторых рутилах примесь железа, ниобия и тантала достигает значительных размеров (до 11,37 масс. % FeO, до 26,25 масс. % Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и до 20,08 масс. % Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) (Таблица 10). Составы таких рутилов были вынесены на треугольную диаграмму (рис. 36). В рутилах из группы пегматитов «Пютюмяки» наблюдается постоянная примесь скандия. В рутилах из пегматитов «Железная дорога» и «Йокиранта 4» отмечаются постоянные примеси олова и вольфрама. Примесь хрома присутствуют только в рутилах пегматита «Калуга» и обнаружены в одном из зерен рутила из пегматита «Тетрамяки».

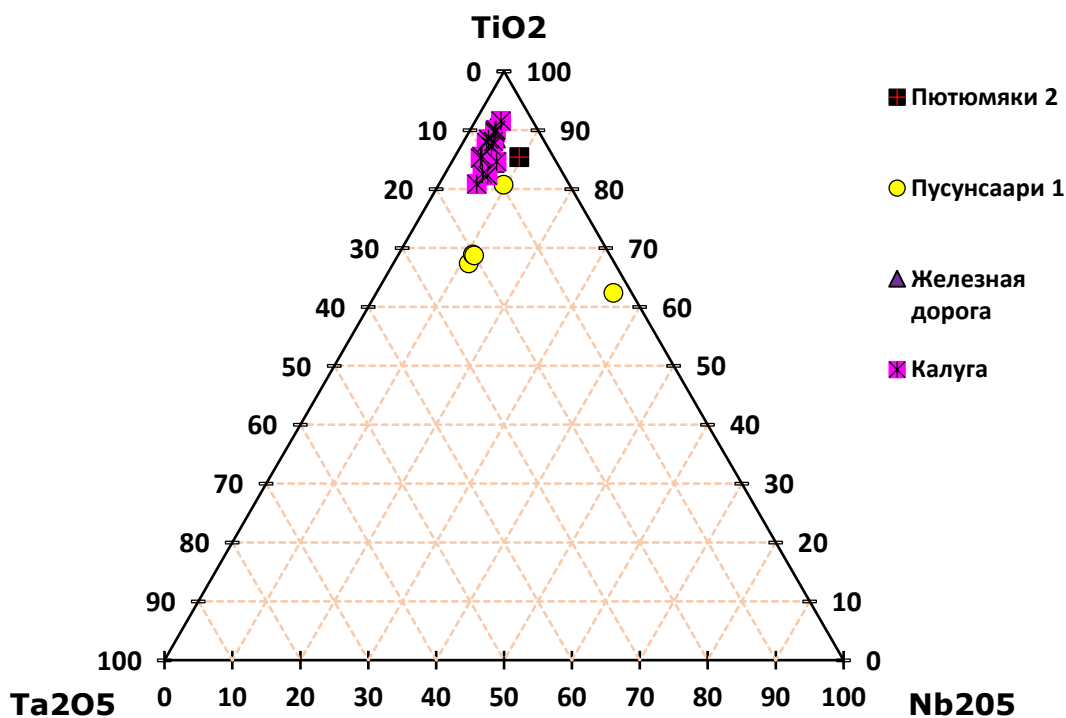


Рисунок 36 Диаграмма составов рутилов из пегматитов Северного Приладожья.



Таблица 7 Составы и вариации коэффициентов кристаллохимических формул рутилов из пегматитов Северного Приладожья.

	Муркиенмяки	Пютюмяки 1	Пютюмяки 2	Пусунсаари 1	Пусунсаари 2
TiO <sub>2</sub>	97,35±3,69	87,53±5,75	88,15±7,46	95,15±3,60	98,21±4,66
Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		0,57 (1)	0,66±0,19		
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,76±0,20 (4)	1,69±0,43 (5)	0,93±0,08 (2)	1,25±0,38 (3)	1,41±0,25 (2)
FeO	0,48±0,07	1,71±0,35	3,18±2,76	1,99±1,31	1,65±0,40
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,44 (1)	3,70±0,03	4,07±1,69	1,31±0,37	2,35±0,87
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>			2,60 (1)	0,68 (1)	
n	11	2	7	18	8
Вариации коэффициентов в кристаллохимических формулах					
Sc	0,000-0,000	0,000-0,008	0,000-0,013	0,000-0,000	0,000-0,000
Ti	0,991-1,000	0,953-0,960	0,813-0,971	0,889-0,989	0,937-0,985
V	0,000-0,011	0,000-0,000	0,000-0,011	0,000-0,019	0,000-0,018
Fe	0,000-0,007	0,018-0,023	0,000-0,167	0,000-0,195	0,011-0,029
Nb	0,000-0,003	0,023-0,026	0,016-0,070	0,000-0,016	0,000-0,028
Ta	0,000-0,000	0,000-0,000	0,000-0,012	0,000-0,002	0,000-0,00
<b>sum</b>	<b>0,999-1,005</b>	<b>1,004-1,006</b>	<b>0,995-1,063</b>	<b>0,999-1,095</b>	<b>1.003-1,012</b>
O	2	2	2	2	2

Таблица 8 Составы и вариации коэффициентов кристаллохимических формул рутилов из пегматитов Северного Приладожья.

	Йокиранта 1	Йокиранта 2	Йокиранта 3	Йокиранта 4	Калуга
TiO <sub>2</sub>	91,76	87,83±4,33	98,64±0,33	98,55±1,37	84,97±1,63
Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>					
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		1,15±0,76		0,99±0,42 (3)	1,43 (2)
FeO	1,80	3,43±1,50	1,63±0,48	0,76±0,14	8,07±3,28
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2,24		0,22±0,15		5,98
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>					2,92
n	1	7	3	5	2
Вариации коэффициентов в кристаллохимических формулах					
Sc	0,000	0,000-0,000	0,000-0,000	0,000-0,000	0,000-0,000
Ti	0,946	0,946-0,989	0,987-0,992	0,983-0,996	0,897-0,932
V	0,000	0,000-0,023	0,000-0,000	0,000-0,015	0,000-0,016
Fe	0,007	0,022-0,073	0,012-0,026	0,007-0,011	0,057-0,136
Nb	0,000	0,000-0,000	0,000-0,002	0,000-0,000	0,000-0,039
Ta	0,000	0,000-0,000	0,000-0,000	0,000-0,000	0,000-0,011
<b>sum</b>	<b>1,004</b>	<b>1,011-1,042</b>	<b>1,006-1,013</b>	<b>1,004-1,009</b>	<b>1,020-1,068</b>
O	2	2	2	2	2

Таблица 9 Составы и вариации коэффициентов кристаллохимических формул рутилов из пегматитов Северного Приладожья.

	Железная дорога	Юканкоски	Юляристи 1	Юляристи 2	Тетрамяки
TiO <sub>2</sub>	88,96±4,52	100,57±0,13	86,11±11,40	93,64±2,24	93,88±4,46
Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,38 (2)				
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			1,02 (1)	1,26±0,18	1,01±0,19
FeO	2,79±0,96	0,65±0,05		2,42±0,26	1,94±0,90
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	7,70±1,68	0,80 (1)	1,52±0,13	4,71±1,25	2,10±1,42
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,82±0,74 (7)				3,22±2,82 (3)
WO <sub>3</sub>	1,82±0,74 (6)				4,46±2,76 (2)
n	20	2		6	4
Вариации коэффициентов в кристаллохимических формулах					
Sc	0,000-0,005	0,000-0,000	0,000-0,000	0,000-0,000	0,000-0,000
Ti	0,890-0,998	0,991-0,996	0,979-0,986	0,928-0,987	0,880-0,988
V	0,000-0,000	0,000-0,000	0,000-0,011	0,000-0,016	0,000-0,015
Fe	0,004-0,051	0,007-0,008	0,000-0,000	0,000-0,031	0,007-0,043
Nb	0,000-0,069	0,000-0,005	0,010-0,011	0,010-0,038	0,004-0,042
Ta	0,000-0,011	0,000-0,000	0,000-0,000	0,000-0,000	0,000-0,028
<b>sum</b>	<b>0,998-1,012</b>	<b>1,002-1,004</b>	<b>0,997-1,000</b>	<b>0,997-1,011</b>	<b>0,999-1,008</b>
O	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>

Таблица 10 Составы и вариации коэффициентов кристаллохимических формул отдельных зерен рутилов с долей ильменорутила и стрюверита из пегматитов Северного Приладожья.

	Пусунсаари 1		Пютюмяки 2	Калуга	Железная дорога
спектр	4737	4680	5067	525	1209
TiO <sub>2</sub>	47,69	41,23	56,90	65,33	57,97
FeO	44,45	11,33	10,56	7,66	6,45
MnO	0,47	3,29			
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	4,23	26,25	9,22	20,13	11,01
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,00	2,72	20,08	6,76	8,68
WO <sub>3</sub>				2,03	2,35
Вариации коэффициентов в кристаллохимических формулах					
Ti	0,57	0,63	0,82	0,81	0,80
Fe	0,01	0,06	0,00	0,00	0,06
Mn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nb	0,32	0,01	0,09	0,06	0,05
Ta	0,02	0,15	0,05	0,09	0,06
<b>sum</b>	<b>0,91</b>	<b>0,94</b>	<b>0,96</b>	<b>0,96</b>	<b>0,97</b>
O	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>

#### 4.2.2 Ильменит

Ильменит характеризуется узкими вариациями состава и представлен редкими зернами в пегматитах «Пусансаари 1», «Нюрин-Саари 2», «Юляристи 1», «Рукоярви» и в группе пегматитов «Йокиранта». В качестве примесей в рутиле из пегматита «Пусансаари 1» наблюдается скандий, а в рутиле из пегматита «Рукоярви» наблюдается ванадий (таблица 11).

Таблица 11 Составы и вариации коэффициентов кристаллохимических формул ильменитов из пегматитов Северного Приладожья.

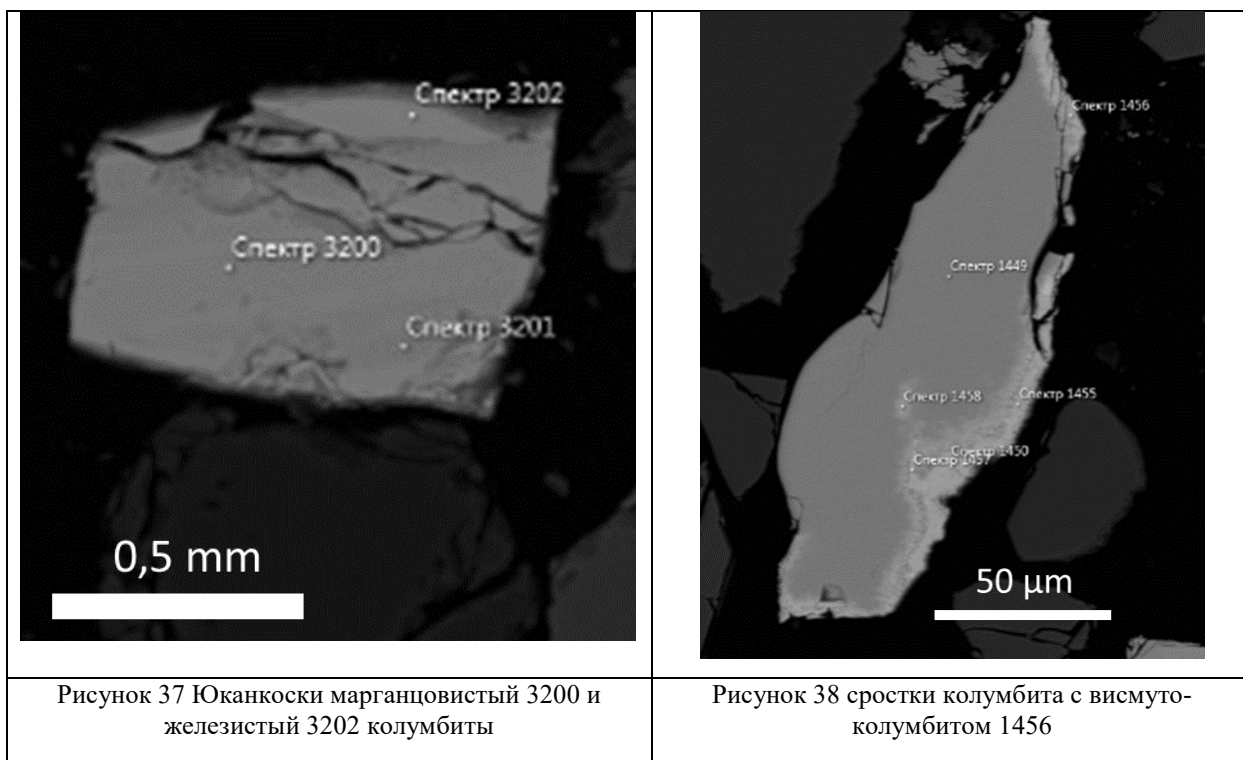
	Пусансаари 1	Нюрин-Саари 2	Йокиранта 1	Йокиранта 2
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	20,28±6,82			
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2,19±0,55			
TiO <sub>2</sub>	45,95±5,70	52,27±0,56	45,97	53,10
MnO	2,14±0,84	1,14±0,65	1,70	2,71
FeO	17,88±10,63	47,26±1,45	39,91	45,66
n	5	2	1	1
Вариации коэффициентов в кристаллохимических формулах				
Nb	0,050-0,336	0,000-0,000	0,000	0,000
Ta	0,000-0,021	0,000-0,000	0,000	0,000
Ti	0,857-1,095	0,978-0,987	0,984	0,977
Mn	0,053-0,077	0,010-0,038	0,041	0,056
Fe	0,480-0,974	0,951-1,024	0,950	0,934
O	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>

Таблица 12

	Йокиранта 3	Йокиранта 4	Юляристи 1	Рукоярви
TiO <sub>2</sub>	49,17±9,72	59,87	52,83	48,08±7,98
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,56 (1)	0,63 (1)		0,54±0,02 (4)
MnO	1,25±0,59	0,84	3,38	2,25±0,35
FeO	41,33±4,53	30,58	43,83	50,81±6,38
n	2	1	1	8
Вариации коэффициентов в кристаллохимических формулах				
Ti	0,895-1,085	1,147	0,978	0,931-0,991
V	0,000-0,014	0,013	0,000	0,000-0,011
Mn	0,017-0,038	0,018	0,071	0,036-0,059
Fe	0,754-1,157	0,651	0,903	0,920-1,022
O	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>

### 4.2.3 Танталит-колумбит

Из минерального ряда Колумбит-танталит в пегматитах в основном были встречены железистые колумбиты, состав которых достаточно широко варьирует по содержанию железа и марганца в отдельных пегматитовых телах. В пегматитах «Пютюмяки 2», «Йокиранта 1», «Йокиранта 2» и «Калуга» были встречены отдельные зерна, а также сростки с колумбитом, железистого танталита. В пегматите «Йокиранта 1» также были встречены редкие зёрна марганцовистого танталита (рис. 37). В пегматите «Юканкоски» были встречены зёрна марганцовистого колумбита.



Из примесей в составе колумбитов постоянно присутствует титан (до 8,7 масс.%  $TiO_2$ ), отмечается скандий, (до 2,78 масс.%  $Sc_2O_3$ ) и вольфрам (до 7,76 масс.%  $WO_3$ ). Самые высокие содержания этих элементов-примесей отмечаются в колумбитах из пегматита «Железная Дорога». В колумбитах из пегматита «Калуга» отмечается примесь кремния – до 3,7 масс.%  $SiO_2$  (таблицы 13, 14 и 15). В колумбитах из пегматита «Йокиранта 4» были обнаружены сростки с висмутоколумбитом в виде корки (рис. 38), где содержание висмута достигает 28,14 масс. %  $Bi_2O_3$ .

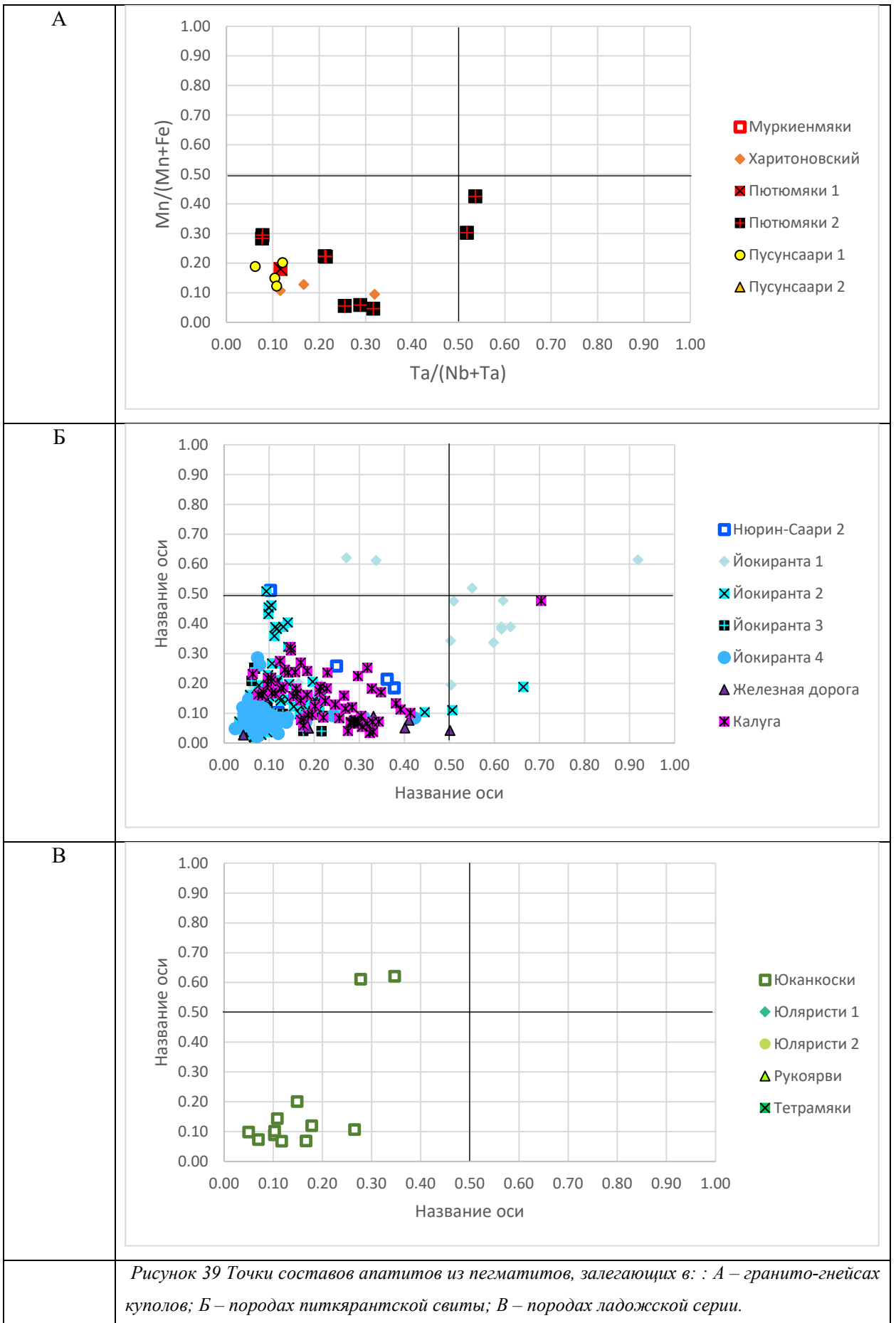


Таблица 13 Составы и вариации коэффициентов кристаллохимических формул танталит-колумбитов из пегматитов Северного Приладожья.

	Харитоновский	Пютюмяки 1	Пютюмяки 2	Пусунсаари 1
SiO <sub>2</sub>			3,06±1,73	4,08±0,20 (3)
TiO <sub>2</sub>	2,63±1,75	1,37 (1)	4,35±1,40	1,22±0,30
Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,60 (1)	3,72 (1)	1,15±0,46	
MnO	3,43±1,69	3,17 (1)	5,89±1,51	2,49±0,62
FeO	15,61±2,17	14,66 (1)	12,36±1,75	16,10±0,52
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	60,95±2,93	61,27 (1)	54,42±10,94	58,67±7,58
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	14,77±4,27	13,44 (1)	16,23±10,06	14,07±3,88
WO <sub>3</sub>	7,60 (1)			
n	3	1	9	4
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> +Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	67,20-81,41	74,71	67,19-75,39	68,24-76,76
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	3,01-5,77	4,56	0,81-12,40	2,38-9,13
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /(Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0,15-0,25	0,18	0,075-0,552	0,099-0,296
Fe	0,69-0,85	0,710	0,41-0,68	0,78-0,85
Sc	0,00-0,09	0,069	0,00-0,09	0,00-0,00
Mn	0,10-0,32	0,16	0,19-0,47	0,09-0,18
Si			0,00-0,37	0,00-0,27
<b>sum</b>	<b>0,94-1,10</b>	<b>0,94</b>	<b>0,94-1,26</b>	<b>0,96-1,20</b>
Nb	1,60-1,71	1,61	1,03-1,67	1,36-1,79
Ta	0,18-0,32	0,21	0,08-0,60	0,12-0,34
Ti	0,06-0,25	0,16	0,12-0,31	0,04-0,09
W	0,00-0,12		0,00-0,00	0,00-0,00
<b>sum</b>	<b>1,99-2,24</b>	<b>1,98</b>	<b>1,73-1,99</b>	<b>1,78-1,97</b>
<b>O</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>

Таблица 14 Составы и вариации коэффициентов кристаллохимических формул танталит-колумбитов из пегматитов Северного Приладожья.

	Нюрин-Саари 2	Йокиранта 1	Йокиранта 2	Йокиранта 3
SiO <sub>2</sub>	3,08 (1)	5,14±0,66	3,24±0,96	3,05±1,15 (3)
TiO <sub>2</sub>	3,27±2,71	0,63±0,17	1,04±0,15	0,70±0,14
Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,58±1,92	0,42 (1)	0,36±0,09	0,18 (1)
MnO	3,51±1,18	8,43±3,00	2,35±0,36	1,94±0,81
FeO	14,55±3,99	10,67±3,79	17,58±1,04	18,29±0,88
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	53,14±12,17	44,72±13,79	59,21±11,69	62,10±8,02
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	21,72±9,29	33,81±12,24	17,92±11,11	12,26±5,49
WO <sub>3</sub>	4,78±1,57		2,85±0,24	
n	3	18	75	23
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> +Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	66,11-80,75	71,54-87,14	71,93-88,98	71,98-77,98
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,57-5,84	0,05-8,31	0,59-27,84	2,27-14,88
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /(Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0,146-0,636	0,103-0,949	0,031-0,633	0,063-0,315
Fe	0,43-0,89	0,33-0,81	0,74-0,99	0,73-1,00
Sc	0,00-0,45	0,00-0,02	0,00-0,04	0,00-0,00
Mn	0,10-0,26	0,18-0,58	0,03-0,20	0,04-0,25
Si	0,00-0,16	0,00-0,37	0,00-0,24	0,00-0,18
<b>sum</b>	<b>0,93-1,09</b>	<b>0,91-1,28</b>	<b>0,92-1,20</b>	<b>0,98-1,15</b>
Nb	0,83-1,72	0,15-1,80	0,92-1,86	1,51-1,87
Ta	0,17-0,87	0,13-1,64	0,04-0,98	0,10-0,42
Ti	0,03-0,30	0,00-0,05	0,00-0,07	0,00-0,04
W	0,00-0,11	0,00-0,00	0,00-0,05	0,00-0,00
<b>sum</b>	<b>1,73-1,96</b>	<b>1,72-1,97</b>	<b>1,79-2,00</b>	<b>1,83-1,98</b>
<b>O</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>

Таблица 15 Составы и вариации коэффициентов кристаллохимических формул танталит-колумбитов из пегматитов Северного Приладожья.

	Йокиранта 4	Железная дорога	Калуга	Юляристи 2
SiO <sub>2</sub>	2,50±1,23			3,45±1,67 (4)
TiO <sub>2</sub>	0,59±0,17	6,13±1,61	6,13±1,61	0,75±0,18
Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,49 (1)	1,73±0,73	1,73±0,73	0,85±0,33 (7)
MnO	1,67±0,49	5,68±3,20	5,68±3,20	4,45±1,08
FeO	18,83±0,71	13,49±2,77	13,49±2,77	13,82±1,16
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	65,29±7,11	62,69±1,47	62,69±1,47	59,48±6,12
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	11,92±6,09	6,37±2,66	6,37±2,66	15,38±6,59
WO <sub>3</sub>	2,92 (1)	7,10±1,63	7,10±1,63	3,62±0,98 (7)
n	3	5	5	27
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> +Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	64,42-82,74	65,76-73,05	63,94-88,44	58,46-86,5
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,82-27,98	6,09-21,44	0,25-15,15	1,26-12,85
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /(Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> +Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0,035-0,550	0,045-0,141	0,062-0,798	0,072-0,442
Fe	0,85-0,98	0,74-0,44	0,42-0,82	0,35-0,97
Sc	0,00-0,02	0,02-0,12	0,00-0,09	0,00-0,00
Mn	0,02-0,15	0,03-0,44	0,15-0,38	0,07-0,58
Si	0,00-0,13		0,00-0,17	0,00-0,00
<b>sum</b>	<b>0,93-1,14</b>	<b>0,90-0,95</b>	<b>0,79-1,13</b>	<b>0,91-1,04</b>
Nb	1,11-1,88	1,44-1,55	0,46-1,79	1,16-1,86
Ta	0,04-0,82	0,04-0,15	0,06-1,08	0,01-0,62
Ti	0,00-0,06	0,18-0,34	0,04-0,46	0,00-0,05
W	0,00-0,04	0,07-0,13	0,00-0,08	0,00-0,00
<b>sum</b>	<b>1,86-2,00</b>	<b>1,90-1,93</b>	<b>1,78-2,00</b>	<b>1,79-1,97</b>
<b>O</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>

Таблица 16 Наличие минералов титан-тантал-ниобия в пегматитах Северного Приладожья.

Минерал/Пегматит	Рутил	Ильменит	Танталит-колумбит	Пирохлор
Гранито-гнейсовые купола				
М-23	+			
Х				
П-36	+	+	+	+
П-37	+			

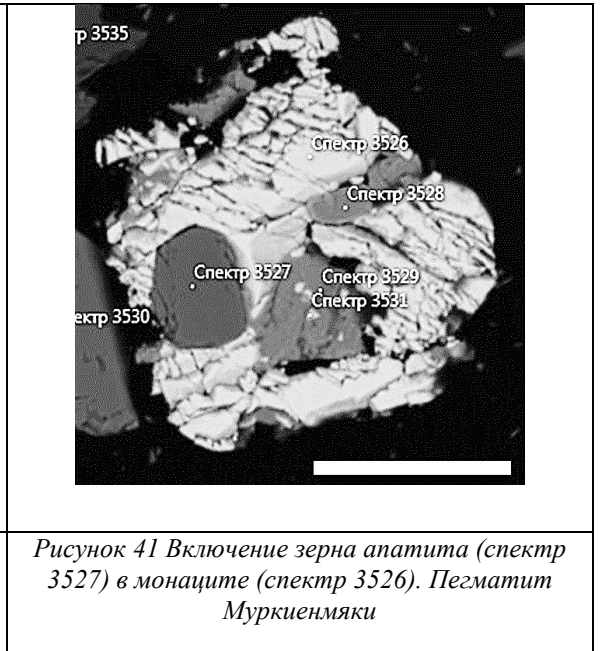


Пю-1	+			+
Пю-2	+		+	
Питкярантская свита				
Н2	+		+	+
И1	+	+	+	+
И2.1	+	+	+	+
И3	+	+	+	
И4.1	+	+	+	+
ЖД				+
К				+
Ладожская серия				
ЮК1			+	+
ЮЛ-1	+	+		
ЮЛ-2	+			
РК		+		+
ТП				

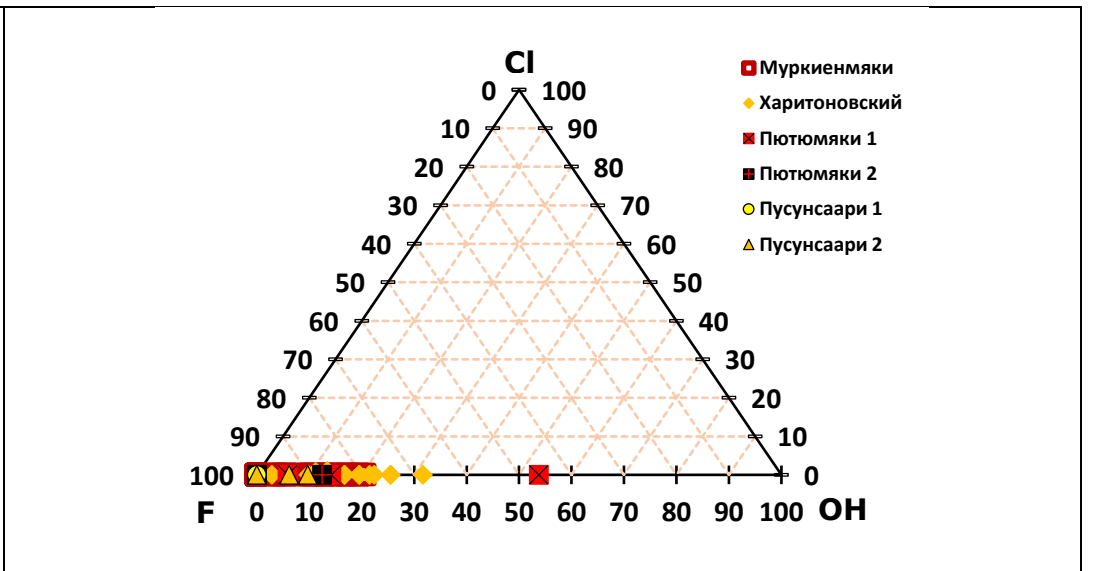
### 4.3 Апатит

Апатит присутствует в большинстве проб пегматитов за исключением «Пусунсаари 1», «Йокиранта 1» и «Юляристи 1» в виде хорошо ограненных кристаллов с выраженной отдельностью по пинакоиду, широко варьирующих по окраске. Встречаются как белые непрозрачные кристаллы, так и бесцветные прозрачные до серо-голубого и зеленоватого, иногда с мелкими включениями монацита. Часто апатит также присутствует в виде включений в других минералах, например в монаците.

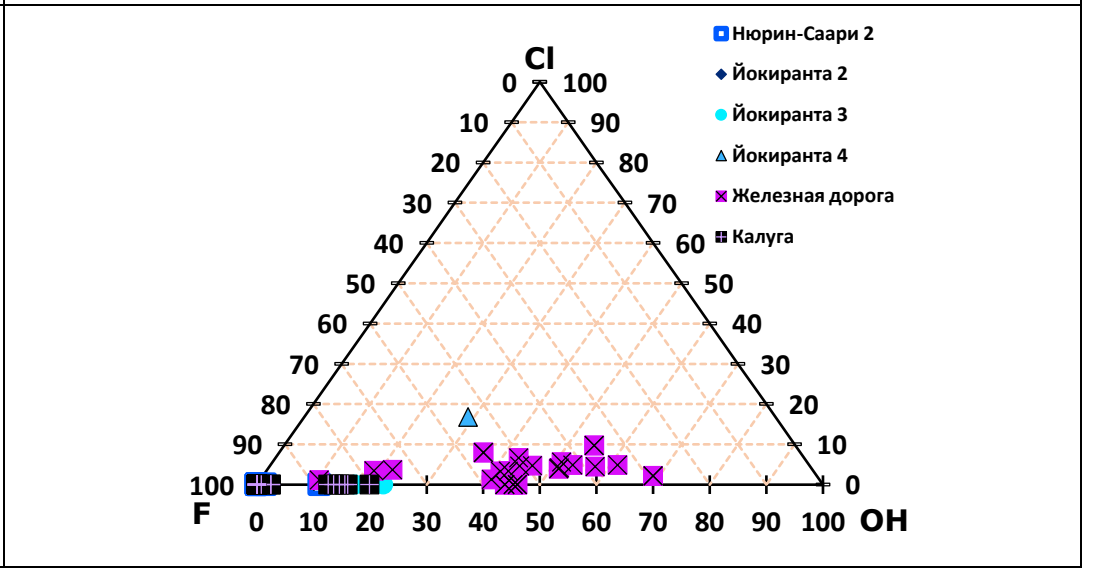
В основном состав минерала отвечает промежуточным составам F-апатита – OH-апатита, образуя на треугольной диаграмме состава анионной группы два поля: с существенным преобладанием аниона F (до 100 %) в составе анионной группы и примерно равном соотношении F и OH (рис. 42). Присутствие аниона Cl отмечается исключительно в апатитах из пегматитовых тел «Железная дорога», Йокиранта и отдельных зернах апатитов пегматита «Юоканкоски», причем точки состава последних на диаграмме располагаются ближе к F углу. Из постоянных примесей в апатитах отмечаются марганец (до до 2,48 масс. % MnO) и иттрий до 2,98 масс. % Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (таблицы 17, 18, 19 и 20).



А



Б



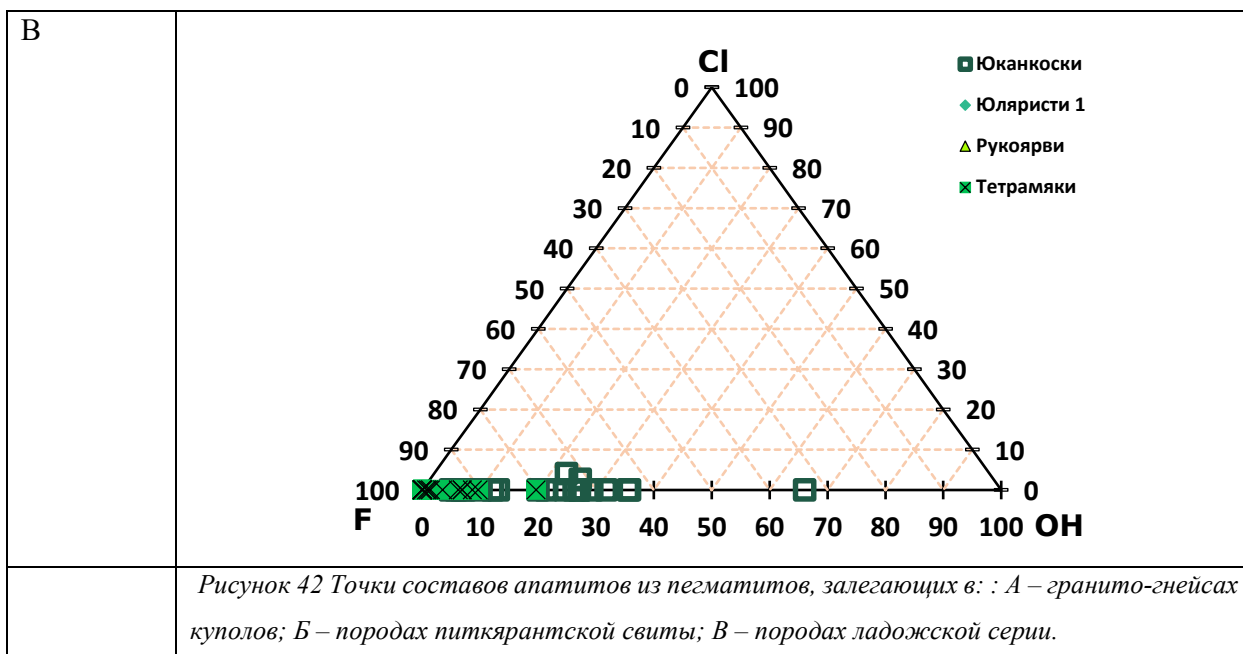


Таблица 17 Составы и вариации коэффициентов кристаллохимических формул апатитов из пегматитов Северного Приладожья

	Гранитогнейсовые купола			
	Муркиенмяки	Харитоновский	Пютюмяки 1	Пютюмяки 2
F	3.80±0.45	3.65±0.55	3.45±1.04	4.27±0.53
Cl		0.16 (1)		
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	44.05±1.30	41.20±0.90	39.50±4.22	44.31±0.67
CaO	55.66±1.25	56.48±0.60	51.34±3.64	56.03±0.31
MnO	0.02±0.04			
FeO	0.32±0.05	0.43 (1)		
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.47±0.10			
<b>n</b>	<b>30</b>	<b>9</b>	<b>5</b>	<b>3</b>
F	0.79-1.24	0.68-1.15	0.46-1.17	0.88-1.18
Cl		0,00-0,02		
<b>sum</b>	<b>0.79-1.24</b>	<b>0.70-1.15</b>	<b>0.46-1.17</b>	<b>0.88-1.18</b>
P	2.82-2.96	2.71-2.96	2.70-2.96	2.91-2.92
<b>sum</b>	<b>2.82-2.96</b>	<b>2.71-2.96</b>	<b>2.70-2.96</b>	<b>2.820-2.839</b>
Ca	4.55-5,00	4.53-5.29	4.20-5.29	4.61-4.75
Mn	0-0.01	0.00-0.03		
Y	0,00-0.07			
<b>sum</b>	<b>4.63-5.00</b>	<b>4.56-5.29</b>	<b>4.20-5.29</b>	<b>4.61-4.88</b>
<b>O</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>

Таблица 18 Составы и вариации коэффициентов кристаллохимических формул апатитов из пегматитов Северного Приладожья

	Гранитогнейсовые купола		Породы питкярантской свиты	
	Пусунсаари 1	Пусунсаари 2	Нюрин-Саари 2	Йокиранта 2
F	4.39±0.29	4.21±0.71	4.16±0.16	4.53±0.27
Cl				
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	41.54±0.88	44.42±2.23	44.09±0.67	44.50±0.85
CaO	53.16±1.32	56.11±2.26	55.63±0.52	56.05±0.96
MnO			0.38 (1)	0.41±0.00
FeO		0.42±0.08		
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.58 (1)	2.98 (1)	1.88±0.30	1.38 (1)
<b>n</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>8</b>	<b>6</b>
F	1,08-1.19	0.90-1.19	0.89-1.09	1.01-1.23
Cl				
<b>sum</b>	<b>1,08-1.19</b>	<b>0.90-1.19</b>	<b>0.89-1.09</b>	<b>1.01-1.23</b>
P	2.86-2.89	2.79-2.94	2.83-2.93	2.90-2.93
<b>sum</b>	<b>2.86-2.89</b>	<b>2.79-2.94</b>	<b>2.83-2.93</b>	<b>2.90-2.93</b>
Ca	4.61-4.69	4.56-4.67	4.57-4.64	4.58-4.70
Mn			0.00-0.02	
Y	0,00-0.07	0,00-0.13	0.00-0.10	0,00-0.06
<b>sum</b>	<b>4.68-4.69</b>	<b>4.56-4.80</b>	<b>4.57-4.76</b>	<b>4.64-4.70</b>
<b>O</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>

Таблица 19 Составы и вариации коэффициентов кристаллохимических формул апатитов из пегматитов Северного Приладожья

	Породы питкярантской свиты			
	Йокиранта 3	Йокиранта 4	Железная дорога	Калуга
F	3.81±0.49	3.46±1.31	1.82±0.39	3.93±0.52
Cl		1.24 (1)	0.47±0.22	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	42.98±0.98	43.71±0.04	40.87±0.46	39.95±1.09
CaO	53.05±0.61	55.12±0.29	54.59±0.83	54.11±1.58
MnO	1.74±0.46		1.87±0.46	0.50±0.10
FeO	0.40±0.02	0.85±0.20		0.50±0.11
<b>n</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>6</b>	<b>18</b>
F	0.78-1.11	0.54-1.18	0.29-0.88	0.80-1.40
Cl		0,00-0.17	0,00-0,10	0,00-0,02
<b>sum</b>	<b>0.78-1.11</b>	<b>0.54-1.18</b>	<b>0,39-0,88</b>	<b>0,82-1,19</b>
P	2.88-2.95	2.89-2.95	2.78-2.91	2.80-2.87
<b>sum</b>	<b>2.88-2.95</b>	<b>2.89-2.95</b>	<b>2.78-2.91</b>	<b>2.80-2.87</b>
Ca	4.35-4.66	4.64-4,69	4.58-4.98	4.67-4.95
Mn	0,00-0.16		0,00-0.28	0,00-0.12
<b>sum</b>	<b>4.51-4.66</b>	<b>4.64-4,69</b>	<b>4.86-4,98</b>	<b>4.79-4,95</b>
<b>O</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>

Таблица 20 Составы и вариации коэффициентов кристаллохимических формул апатитов из пегматитов Северного Приладожья

	Ладожской серии			
	Юканкоски	Юляристи 1	Рукоярви	Тетрамяки
F	2.94±0.34	3.75 (1)	3.77±0.03	3.91±0.26
Cl	0.25±0.06			
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	42.22±2.26	42.92 (1)	45.00±0.43	40.77±0.52
CaO	52.51±2.49	54.92 (1)	56.22±0.37	55.87±0.61
MnO	1.06±0.65		0.21±0.12	0.55±0.17
FeO	0.58±0.18		0.41±0.08	
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>				
<b>n</b>	<b>20</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>26</b>
F	0.34-0.95	0.95	0.90-0.94	0.80-1.12
Cl	0.00-0.04			
<b>sum</b>	<b>0,38-0,95</b>	<b>0.95</b>	<b>0.90-0.94</b>	<b>0.80-1.12</b>
P	2.89-3.02	2.92	2.93-2.94	2.80-2.86
<b>sum</b>	<b>2.89-3.02</b>	<b>2.92</b>	<b>2.93-2.94</b>	<b>2.80-2.86</b>
Ca	4.38-4.79	4.73	4.63-4.65	4.80-5.04
Mn	0,00-0.19		0,00-0.02	0,00-0.06
Y				
<b>sum</b>	<b>4,57-4,79</b>	<b>4.73</b>	<b>4.63-4.67</b>	<b>4.86-5.04</b>
<b>O</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>

#### 4.4 Гранат.

Гранат присутствует во всех изученных пробах пегматитов и составляет до 90 % процентов парамагнитной фракции.

Зерна граната наблюдаются в виде хорошо ограненных кристаллов и их обломков. Размеры кристаллов в каждой пробе варьируют в широких пределах. Цвет преимущественно красно-розовый различных оттенков. Кристаллы граната незональны, но часто содержат включения кварца, слюды, полевого шпата, по трещинам развивается мусковит (рис. 45).

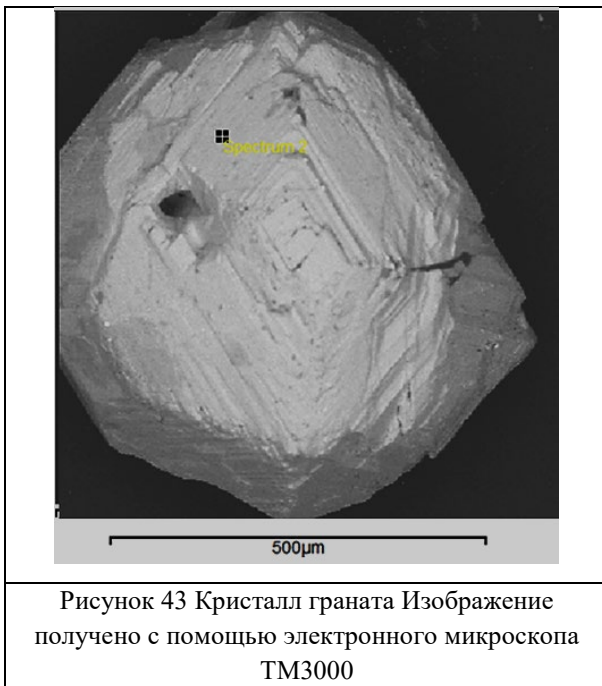


Рисунок 43 Кристалл граната Изображение получено с помощью электронного микроскопа ТМ3000

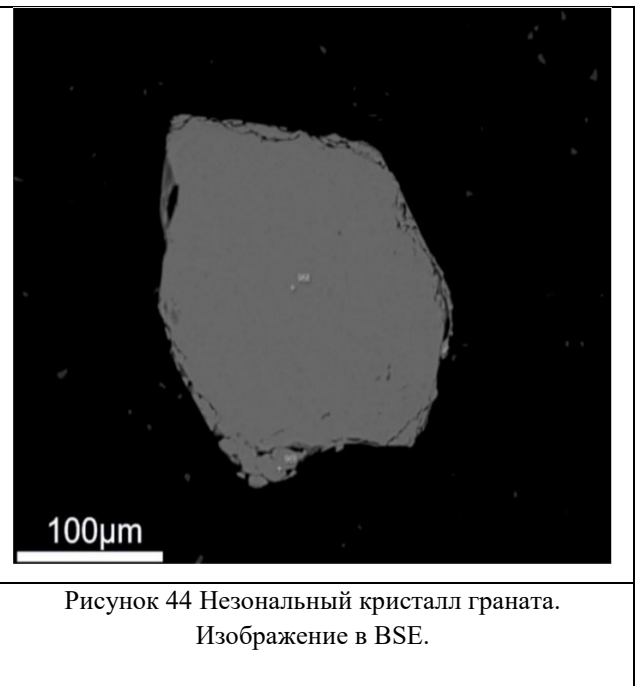


Рисунок 44 Незональный кристалл граната. Изображение в BSE.

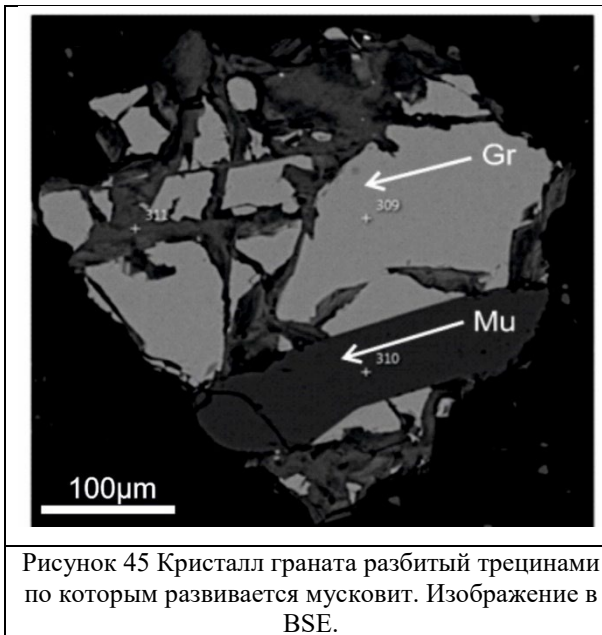


Рисунок 45 Кристалл граната разбитый трещинами по которым развивается мусковит. Изображение в BSE.

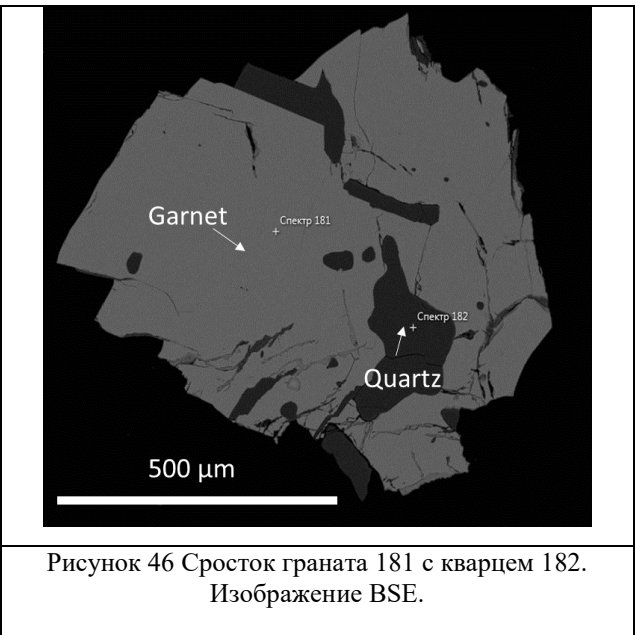
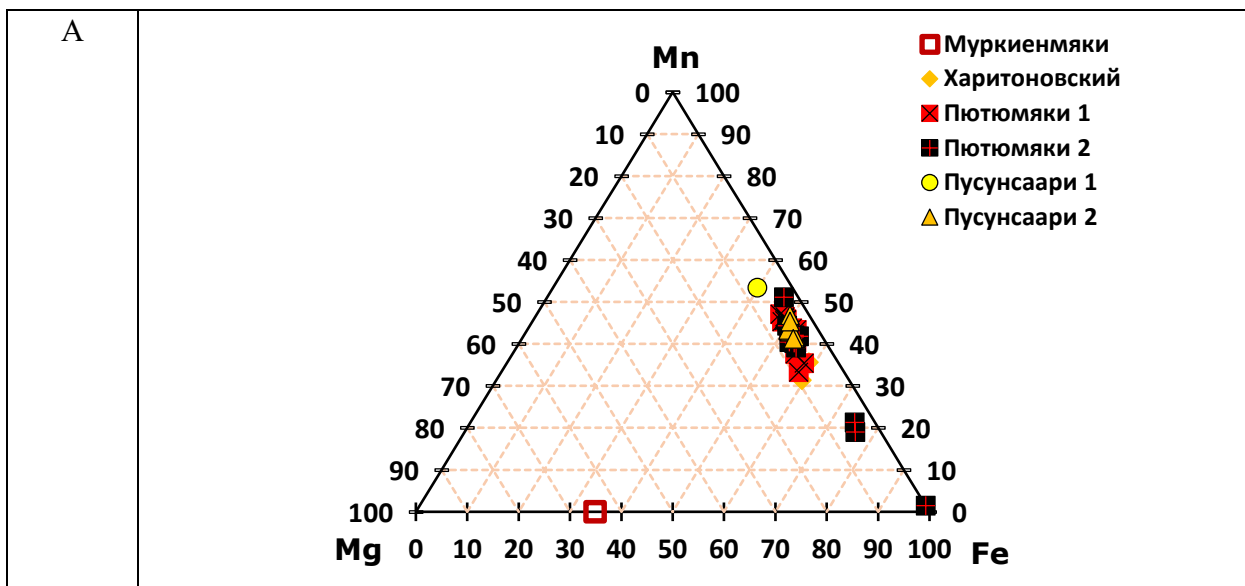


Рисунок 46 Сросток граната 181 с кварцем 182. Изображение BSE.

В целом гранаты всех изученных пегматитовых тел отвечают промежуточным по составу ряда альмандин-спессартин, причем для гранатов из пегматитов гранитогнейсовых куполов (рис. 47.А) характерна большая доля спессартиновой составляющей. Исключение составляют гранаты пегматита Пюттмяки-2, для которых наблюдаются значительные вариации состава, вплоть до альмандина, и пегматита Муркиенмяки, точки составов гранатов которого лежат на линии составов пироп-альмандин, характеризуясь полным отсутствием спессартинового минала. В гранатах из пегматитов гранитогнейсовых куполов значения примесей незначительно или отсутствуют.

Точки составов гранатов из пегматитов в породах питкьярантской свиты в целом характеризуются бóльшей долей альмандинового минала (рис. 47.Б), однако поля составов гранатов отдельных пегматитовых тел располагаются дискретно, различаясь, хотя и незначительно соотношением альмандинового, спессартинового и пиропового миналов. Следует также отметить, что наибольшие вариации альмандинового минала характерны для гранатов из пегматита «Йокиранта 4», где он варьирует от 60 до 90 процентов. Среди всех гранатов, самые высокие содержания железа отмечаются в тех из них, которые залегают в породах питкьярантской свиты. В этих гранатах содержания железа варьируют от 28,52 до 40,80 масс.% FeO. Для гранатов пегматитов из пород питкьярантской свиты среди примесей в единичных зернах отмечаются титан, фосфор и ниобий.

Точки составов гранатов из пегматитов в породах ладожской серии характеризуются более узкой, относительно остальных гранатов, вариацией составов (рис. 47.В), хотя также характеризуются незначительными соотношениями альмандинового, спессартинового и пиропового миналов. В среднем отличительной чертой этих гранатов является бóльшая доля пиропового минала. Содержания магния в гранатах из пегматита «Рукоярви» достигает до 3,0 масс.% MgO.



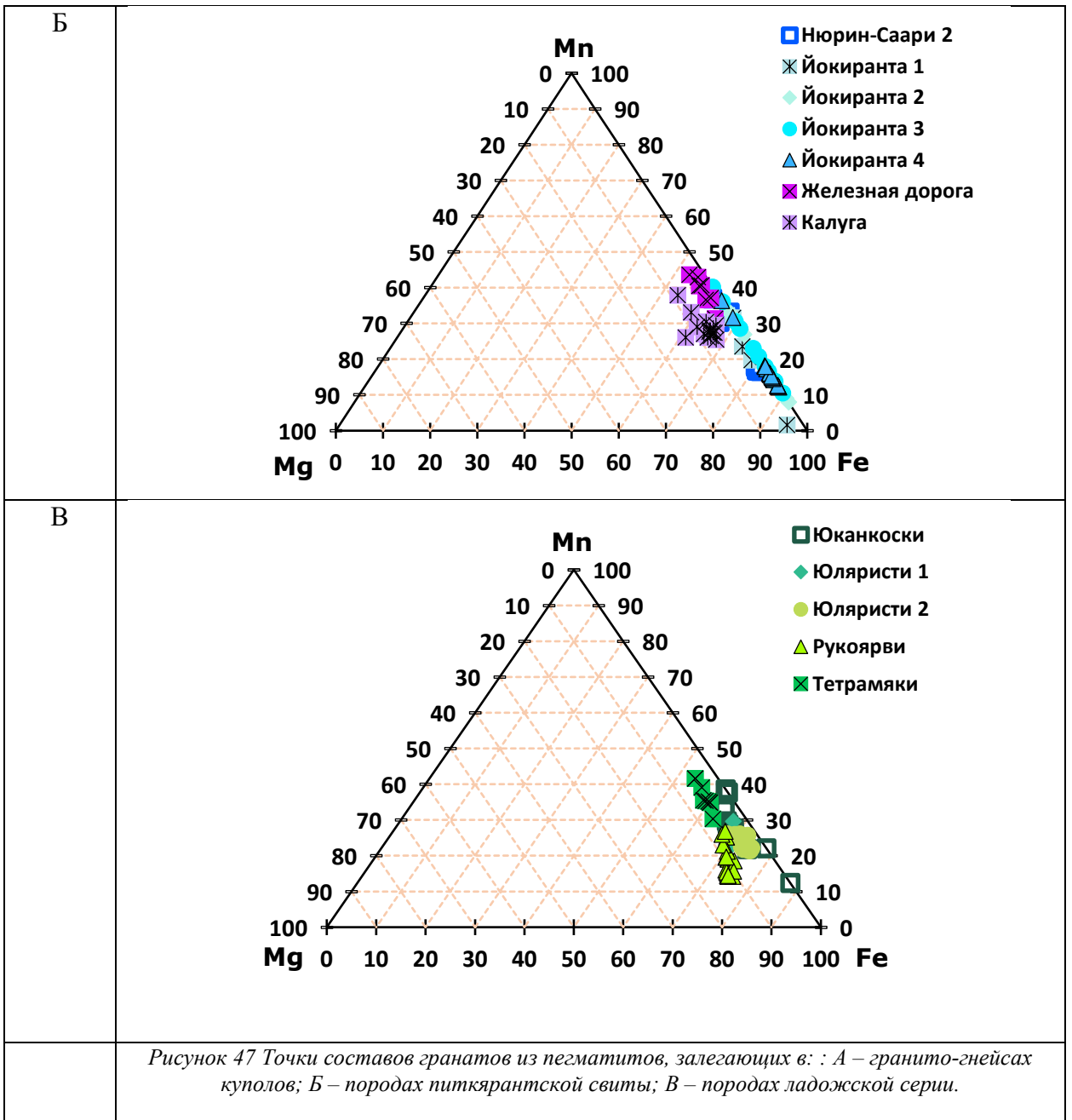




Таблица 21 Составы и вариации коэффициентов кристаллохимических формул апатитов из пегматитов Северного Приладожья

	Муркиенмя ки	Харитонов ский	Пютюмяки 1	Пютюмяки 2	Пусунсаар и 1	Пусунсаар и 2
SiO <sub>2</sub>	35,97	36.96±0.50	36.67±0.47	36.74±0.43	36.33	31.73±4.84
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,08	20.83±0.32	20.20±0.36	20.29±0.28	19.88	19.54±0.02
FeO	35.97	34.99±0.86	22.40±1.02	23.15±0.58	33.06	26.11±8.26
MnO	0,00	6.21±1.51	18.49±1.32	18.62±0.83	8.42	12.20±10.9
MgO	14.92	1.83±1.16	1.42±0.20	1.36±0.18	1.03	5.03±3.34
CaO	0.88	0.70±0.30	1.12±0.40	1.05±0.18	0.69	2.10±0.00
n	1	5	16	5	1	2
Fe(II)	0.68	1.48-1.66	1.22	1.52-1.62	1.35-1.73	1.35-2.21
Mn	0.00	0.94-1.30	1.60	1.24-1.41	1.00-1.41	0.57-1.53
Mg	1.95	0.13-0.28	0.21	0.11-0.18	0.12-0.27	0.09-0.21
Ca	0.08	0.12-0.22	0.18	0.06-0.12	0.05-0.17	0.04-0.12
<b>sum</b>	<b>2,72</b>	<b>3,04-3,09</b>	<b>3.21</b>	<b>3.10-3.15</b>	<b>3.03-3.12</b>	<b>2,94-3,16</b>
Al	1.98	1.93-1.97	1.88	1.91-1.96	1.91-1.98	1.92-1.99
Si	3.16	3.00-3.03	2.98	2.97-3.00	2.96-3.03	2.97-3.03
<b>O</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>

Таблица 22 Составы и вариации коэффициентов кристаллохимических формул апатитов из пегматитов Северного Приладожья

	Нюрин- Саари 2	Йокиранта 1	Йокиранта 2	Йокиранта 3	Йокиранта 4	Железная дорога
SiO <sub>2</sub>	37.12±0.62	36.74±0.34	34.72±3.01	35.51±1.12	35.90±0.57	36.68±0.51
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.71±0.36	20.67±0.36	19.47±1.77	19.85±0.63	20.02±0.36	20.52±0.43
FeO	31.60±4.86	33.37±1.90	37.41±5.97	33.77±3.05	36.17±1.80	27.34±0.95
MnO	11.91±4.31	10.70±2.15	7.90±3.99	9.36±3.09	7.19±1.54	13.45±1.87
MgO	0.68±0.25	0.40±0.09	0.21±0.13	0,00	0,00	1.61±0.25
CaO	0.47±0.39	0.22±0.06	0.21±0.05	0.38±0.09	0.26±0.05	1.13±0.74
n	18	5	20	12	20	8
Fe(II)	1.90-2.48	2.07-2.37	2.03-2.75	1.86-2.68	0.91-2.67	1.38-2.00
Mn	0.50-1.11	0.59-0.95	0.24-1.00	0.31-1.20	0.00-1.09	0.94-1.31
Mg	0.00-0.10	0.00-0.06	0.00-0.00	0.00-0.00	0.00-0.00	0.05-0.12
Ca	0.00-0.03	0.02-0.03	0.00-0.00	0.00-0.06	0.00-2.02	0.01-0.02
<b>sum</b>	<b>3,01-3,10</b>	<b>2,779-2,874</b>	<b>2,95-3,05</b>	<b>3,00-3,10</b>	<b>2,93-3,11</b>	<b>2,57-3,21</b>
Al	1.94-2.01	1.778-1.823	1.97-2.03	1.95-1.99	1.95-2.12	1.96-2.07
Si	2.97-3.03	2.704-2.785	2.98-3.02	2.99-3.01	2.95-3.03	2.93-3.17
<b>O</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>

Таблица 23 Составы и вариации коэффициентов кристаллохимических формул апатитов из пегматитов Северного Приладожья

	Калуга	Юканкоск и	Юляристи 1	Юляристи 2	Рукоярви	Тетрамяки
SiO <sub>2</sub>	37.11±0.47	36.44±0.63	36.90±0.43	35.81±2.11	37.40±0.41	37.48±0.74
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.86±0.20	20.58±0.36	20.62±0.27	20.71±0.37	21.05±0.24	20.90±0.51
FeO	28.24±2.21	30.66±1.91	31.96±2.25	30.03±0.57	33.21±1.02	34.67±1.91
MnO	13.45±2.26	12.00±2.15	9.36±1.40	9.54±1.65	8.49±1.60	7.94±1.85
MgO	2.06±0.17	1.04±0.38	0.85±0.25	2.39±1.26	2.04±0.70	1.10±0.37
TiO <sub>2</sub>	5.07					
CaO	0.35±0.06	0.31±0.08	1.77±0.66	1.36±0.10	0.48±0.10	0.53±0.12
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2.23					
n	17	39	25	22	32	12
FeO	1.67-2.06	1.87-2.64	1.93-2.07	0.87-2.13	0.90-2.27	1.65-1.94
Mn	0.76-1.14	0.37-1.16	0.66-0.89	0.00-0.78	0.02-0.80	0.69-1.25
Mg	0.14-0.38	0.00-0.16	0.09-0.24	0.00-0.17	0.00-0.35	0.14-0.24
Ca	0.02-0.04	0.00-0.04	0.10-0.15	0.12-2.01	0.02-1.98	0.03-0.18
<b>sum</b>	<b>3,04-3,12</b>	<b>2,99-3,12</b>	<b>2,97-3,09</b>	<b>2,88-3,10</b>	<b>2,90-3,12</b>	<b>3,04-3,13</b>
Al	1.74-1.99	1.94-2.01	1.87-2.02	1.91-2.11	1.96-2.06	1.92-2.03
Ti	0-0.20					
<b>sum</b>	<b>1,94-1,99</b>	<b>1,94-2,01</b>	<b>1,87-2,02</b>	<b>1,91-2,11</b>	<b>1,96-2,06</b>	<b>1,92-2,03</b>
Si	2.96-3.03	2.94-3.02	2.96-3.11	2.96-3.03	2.96-3.00	2.94-3.01
Nb	0-0.077					
<b>sum</b>	<b>2,96-3,10</b>	<b>2,94-3,02</b>	<b>2,96-3,11</b>	<b>2,96-3,03</b>	<b>2,96-3,00</b>	<b>2,94-3,01</b>
<b>O</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>

#### 4.5 Минералы урана и тория.

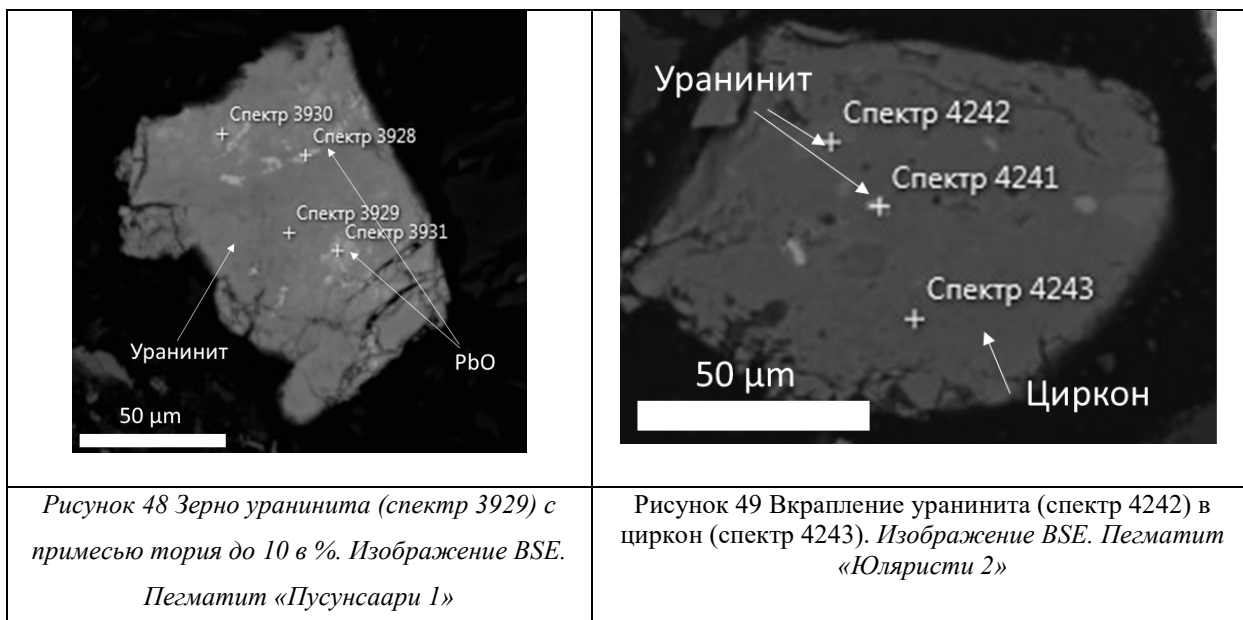
Таблица 24 Наличие минералов урана и тория в пегматитах Северного Приладожья

	Уранинит	Уранторит	Торит
Гранито-гнейсовые купола			
Муркиенмяки	-	-	-
Харитоновский	+	-	-
Пютюмяки 1	+	-	+
Пютюмяки 2	+	-	+
Пусунсаари 1	-	-	+
Пусунсаари 2	-	-	-
Питкярантская свита			
Нюрин-Саари 2	+	+	-
Йокиранта 1	-	-	-
Йокиранта 2	+	-	-
Йокиранта 3	+	-	-

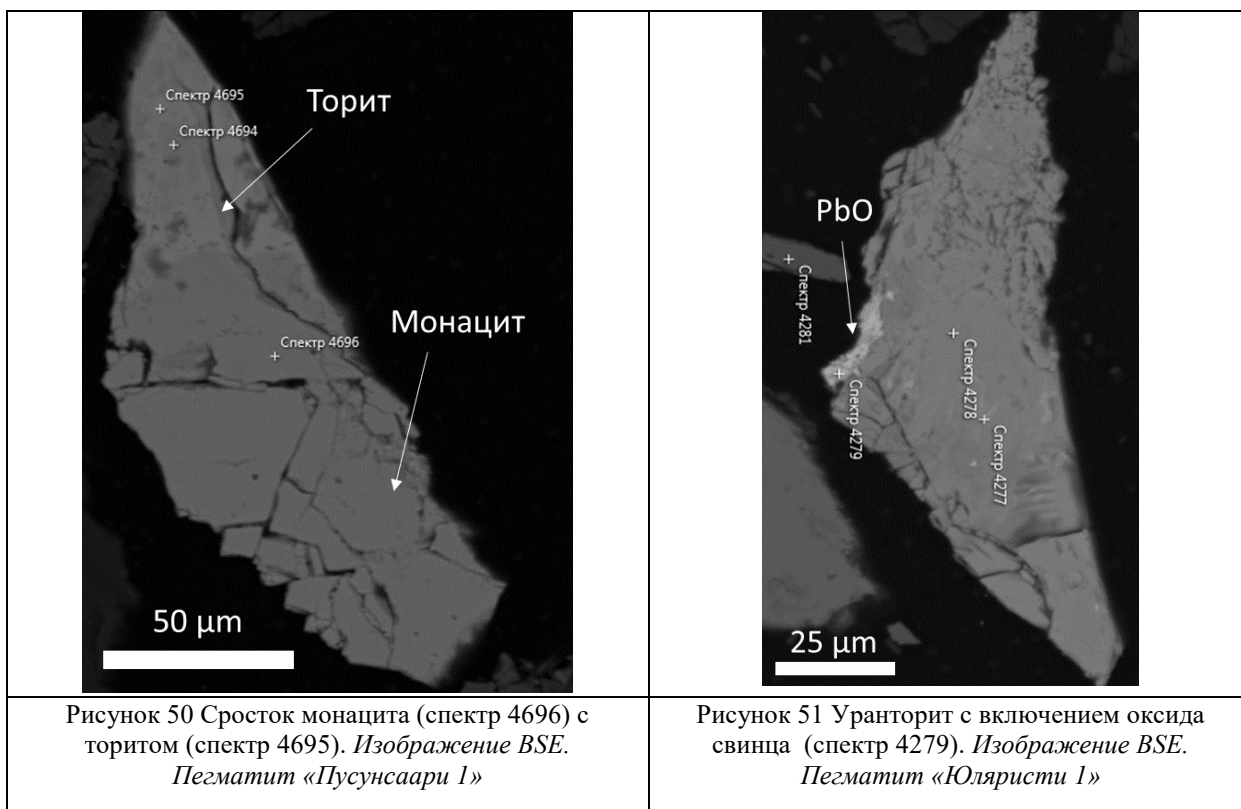
Йокиранта 4	+	-	-
Железная дорога	-	-	-
Калуга	+	-	-
Ладожская серия			
Юканкоски	+	-	-
Юляристи 1	+	+	+
Юляристи 2	+	+	+
Рукоярви	-	-	-
Тетрамяки	-	-	-

Примечание: «+» - присутствуют одиночные зёрна, «+++» - наличие зёрен более 3, «-» - зёрна отсутствуют.

В составе минералов тяжелой фракции всех изученных пегматитов Северного Приладожья минералы урана широко распространены, однако представлены исключительно оксидом урана – уранинитом, который присутствует как в виде отдельных зерен (рис. 48), так и в виде включений в цирконе (рис. 49).



Минералы тория распространены не так широко. В составе минералов тяжелой фракции пегматитов из амфиболитов питкьярантской свиты они не обнаружены. В пегматитах из гранитогнейсовых куполов и пород ладожской серии ториевая минерализация представлена торитом, часто в сростании с монацитом (рис. 50) и включениями оксида свинца (рис. 51).



Кроме торита в минералах тяжелой фракции пегматитов из пород ладожской серии присутствует уранторит в отдельных зернах которого присутствуют включения оксида свинца (Рис. 51).

Таблица 25 Таблица составов спектров минералов тория.

	Пютюм яки 1	Пютюм яки 2	Пусунс аари 1	Нюрин- Саари 2	Юлярис ти 1	Юлярист и 2
спектр	3940	5109	4695	1937	4183	4344
SiO <sub>2</sub>	19,10	19,79	18,44	21,15	21,63	20,9
FeO	2,26	8,32	3,83	1,13		
PbO		2,13		9,1	5,34	
ThO <sub>2</sub>	54,82	48,99	56,99	22,53	50,04	57,0
UO <sub>2</sub>				26,07	7,83	
<b>Сумма</b>	<b>82,92</b>	<b>80,94</b>	<b>78,57</b>	<b>84,06</b>	<b>84,21</b>	<b>77,88</b>
Коэффициенты в кристаллохимической формуле						
SiO <sub>2</sub>	1,17	1,09	1,08	1,02	1,07	1,06
FeO	0,12	0,40	0,20	0,07	0,00	0,00
PbO	0,00	0,03	0,00	0,18	0,10	0,00
ThO <sub>2</sub>	0,77	0,64	0,72	0,38	0,77	0,94
UO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,48	0,12	0,00

#### 4.6 Минералы висмута.

Минералы висмута и золота рассматриваются совместно поскольку последние часто присутствуют в виде включений в собственно висмутовых минералах или в сростании с ними.

В пегматитах гранитогнейсовых куполов минералы висмута (и золота) не обнаружены. Для пегматитов, локализованных в амфиболитах питкярантской свиты (Железная дорога, Йокиранта) висмутовая минерализация не отличается разнообразием и представлена преимущественно самородным висмутом и его оксидами.

Таблица 26 Присутствие и распространённость минералов висмута в пегматитах Северного Приладожья.

	Самородный висмут	Сульфид висмута	Висмута-теллуриды	Фторид висмута	Электрум
Гранито-гнейсовые купола					
Муркиенмяки	-	-	-	-	-
Харитоновский	-	-	-	-	-
Пютюмяки 1	-	-	-	-	-
Пютюмяки 2	-	-	-	-	-
Пусунсаари 1	-	-	-	-	-
Пусунсаари 2	-	-	-	-	-
Питкярантская свита					
Нюрин-Саари 2	-	-	-	-	-
Йокиранта 1	-	-	-	-	-
Йокиранта 2	-	-	-	-	-
Йокиранта 3	-	-	-	-	-
Йокиранта 4	+	-	-	-	-
ЖД	+	-	-	-	-
Калуга	+++	+	+	+	+
Ладожская серия					
Юканкоски	+	+++	+++	-	+
Юляристи 1	-	-	-	-	-
Юляристи 2	-	-	-	-	-
Рукоярви	+	+	+	-	-
Тетрамяки	+++	+++	+++	+++	+

Примечание: «+» - присутствуют одиночные зёрна, «+++» - наличие зёрен более 3, «-» - зёрна отсутствуют.

В пегматитах, вмещающими для которых служат метаморфизованные породы ладожской серии (Юканкоски, Тетрамяки, Рукоярви), или которые приурочены к зоне контакта пород питкярантской и ладожской серий (Калуга), помимо самородного висмута и его оксидов отмечается присутствие сульфидов висмута (тетрадимит), висмутотеллуридов (цумоит, хейделиит и др.), а также фторидов (заварицкит) (табл. 28), часто образующих между собой сростки с включениями электрума, отвечающему составам  $Ag_{25}Au_{75}$  и  $Ag_{50}Au_{50}$ . (рис.). Электрум также иногда встречается в виде отдельных зерен размером до 50 микрон с участками чистого золота в виде узкой (до 10 микрон) прерывистой зоны.

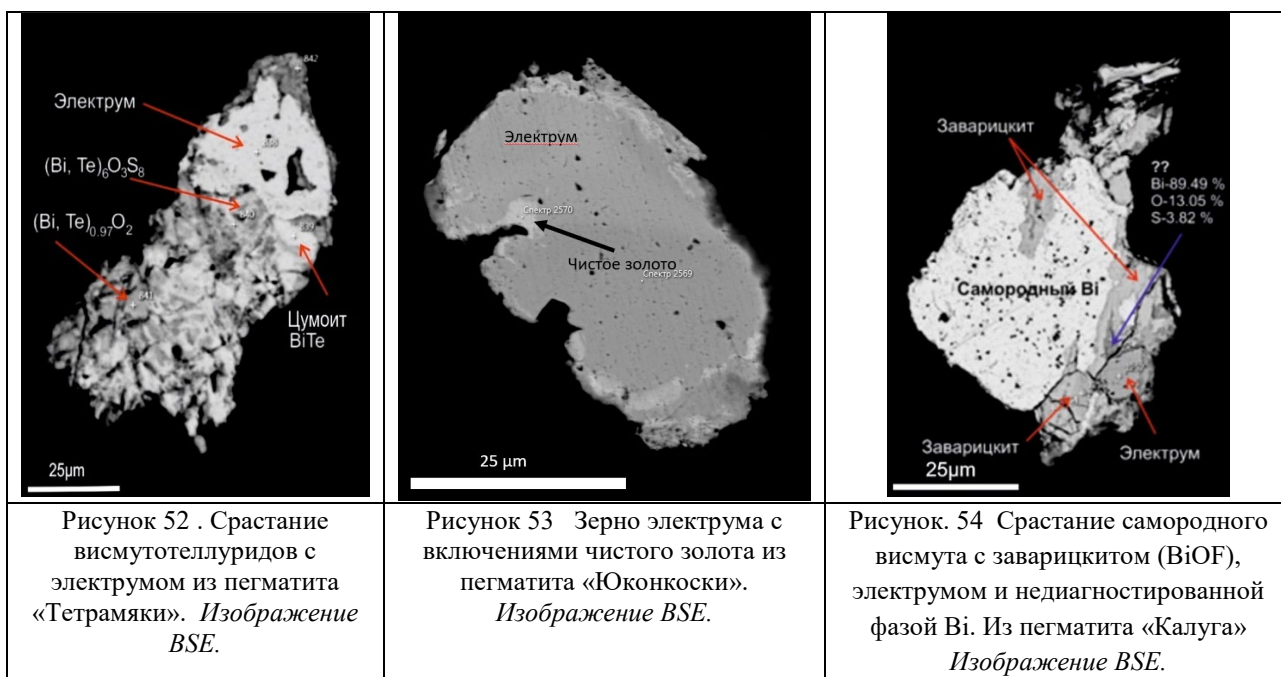


Рисунок 52 . Срастание висмутотеллуридов с электрумом из пегматита «Тетрамяки». Изображение BSE.

Рисунок 53 Зерно электрума с включениями чистого золота из пегматита «Юканкоски». Изображение BSE.

Рисунок. 54 Срастание самородного висмута с заварицитом (BiOF), электрумом и недиагностированной фазой Bi. Из пегматита «Калуга» Изображение BSE.

Самородный висмут, оксиды висмута и его сульфиды во всех пробах обнаружены в виде отдельных зёрен часто вытянутой формы. Висмута-теллуриды в виде отдельных зерен встречались лишь пробах из пегматита «Юканкоски» и «Калуга». В остальных пробах висмута-теллуриды встречаются в сростках с сульфидами висмута, либо с самородным висмутом.

В пегматитах «Калуга» и «Тетрамяки» электрум обнаружен в виде включений размером до 30 микрон в минералах висмута. В пегматите «Юканкоски» было встречено только одно собственное зерно электрума с включениями чистого золота до 10 микрон.

Таблица 27 Составы минералов висмута из пегматитов Северного Приладожья

	Тетрамяки				Рукоярви			Юканкоски		
спектр	43	817*	839	936** *	944	2054	2055	1338	1373	2567
S	10,66	2.86			12.07	3.73	5.08	1.67		10.71
Se						1.74	1.7			
Te		36.43	36,55	22,01		35.91	34.39	13.51	19.76	
Bi	87,19	77,21	63,68	78,18	71.73	56.74	55.45	49.75	69.02	82.45
Σ	97,85	94,43	100,2	100,2	91.83	99.13	99.56	72.63	91.12	94.65
Коэффициенты в кристаллохимической формуле										
O				2						
S	4	0,66		0,047	1	0.9	1			0,85
Se						0.1	0.1			
Te		1,86	1			2.1	2	4	3.2	
Bi	5.02	2	1,064	0,768	0,91	2	2	9	7	1

Примечание: \* - предположительно тетраэдрит; \*\* - предположительно цумоит; \*\*\* - предположительно хейделиит

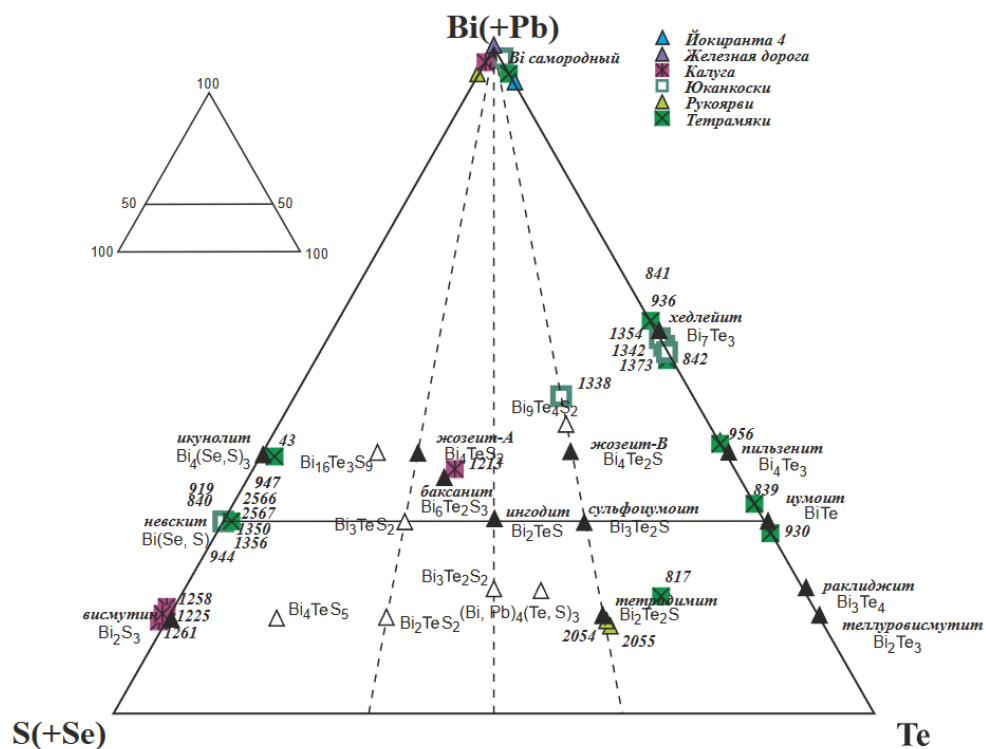


Рисунок 55 Треугольник составов минералов висмута из пегматитов «Северного Приладожья»

#### 4.7 Сульфиды

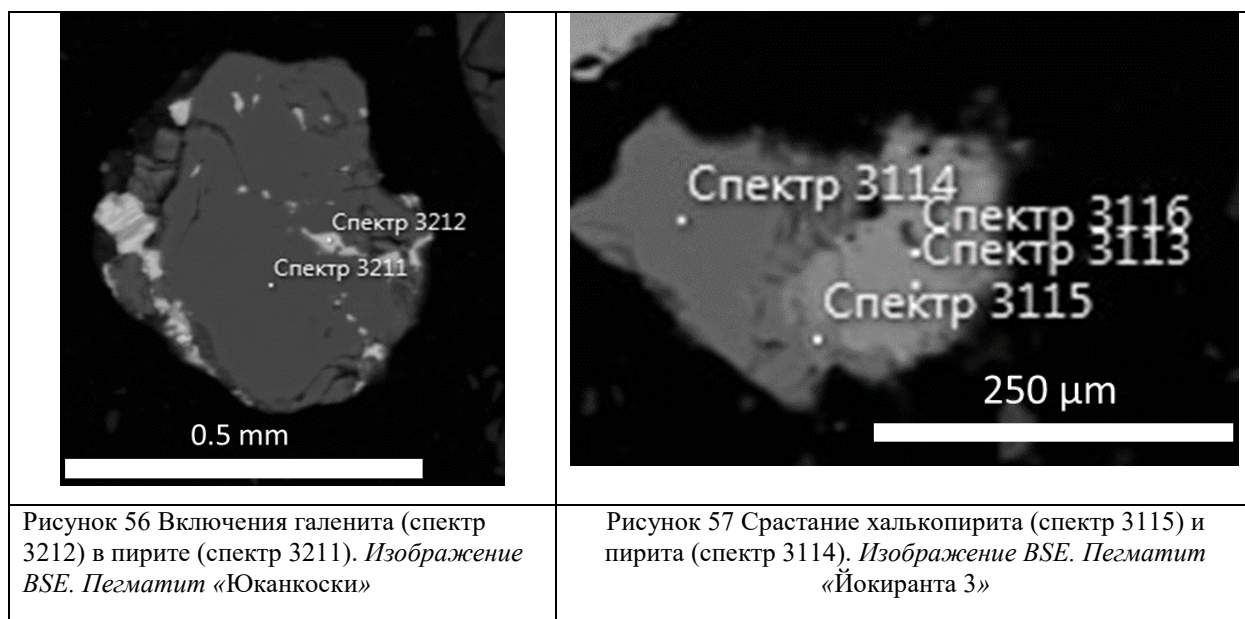
Среди минералов тяжелой фракции пегматитов Северного Приладожья наибольшей распространенностью пользуются пирит, галенит и халькопирит, арсенопирит и сфалерит.

Таблица 28 Наличия сульфидов в пегматитах Северного Приладожья.

Минералы/ Пегматиты	Пирит	Халькопирит	Галенит	Сфалерит	Арсенопирит	Молибденит
Пегматиты, залегающие в гранито-гнейсах куполов						
М-23	+	+	+	+	-	-
Х	+	+	-	-	-	-
П-36	+	-	+	-	+	-
П-37	+	-	+	-	-	-
Пю-1	+	-	+	-	-	-
Пю-2	+	-	+	-	-	-
Пегматиты, залегающие в породах питкярантской свиты						
Н2	+	+	+	+	+	-
И1	+	-	-	-	+	-

И2	+	-	+	+	+	-
И3	+	+	-	+	+	-
И4	+	+	+	+	+	-
ЖД	+	-	-	-	-	-
К	+	+	-	+	-	-
Пегматиты, залегающие в породах ладожской серии						
ЮК	+	+	+	+	+	-
ЮЛ-1	-	-	+	+	-	+
ЮЛ-2	+	+	-	-	-	+
РК	+	+	+	+	+	-
ТП	+	-	-	-	-	-

Наиболее распространен пирит, встреченный во всех пробах, за исключением пробы пегматита Юляристи-1. Минерал чаще всего присутствует в виде отдельных зерен, реже и в сростании с другими сульфидами и часто содержит включения других минералов – галенита (рис. 56) и халькопирита (рис. 57) или тетраэдрита (рис. 58).



Широко распространенными минералами являются галенит и халькопирит, присутствующие также как в виде самостоятельных зерен (рис. ), или сростаний с другими сульфидами (рис. ), так и в виде включений в других минералах (рис. ).



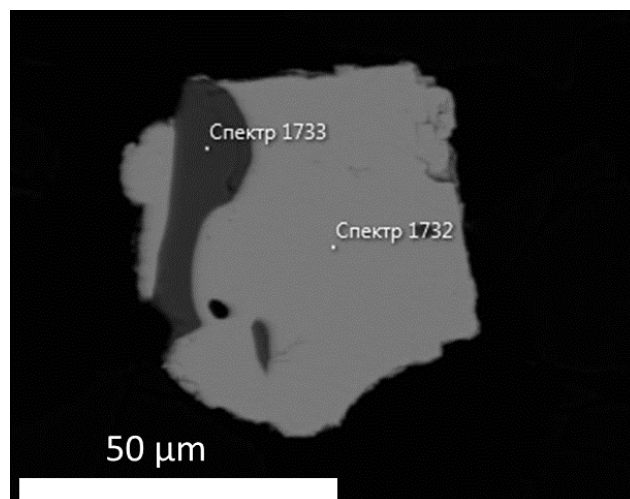
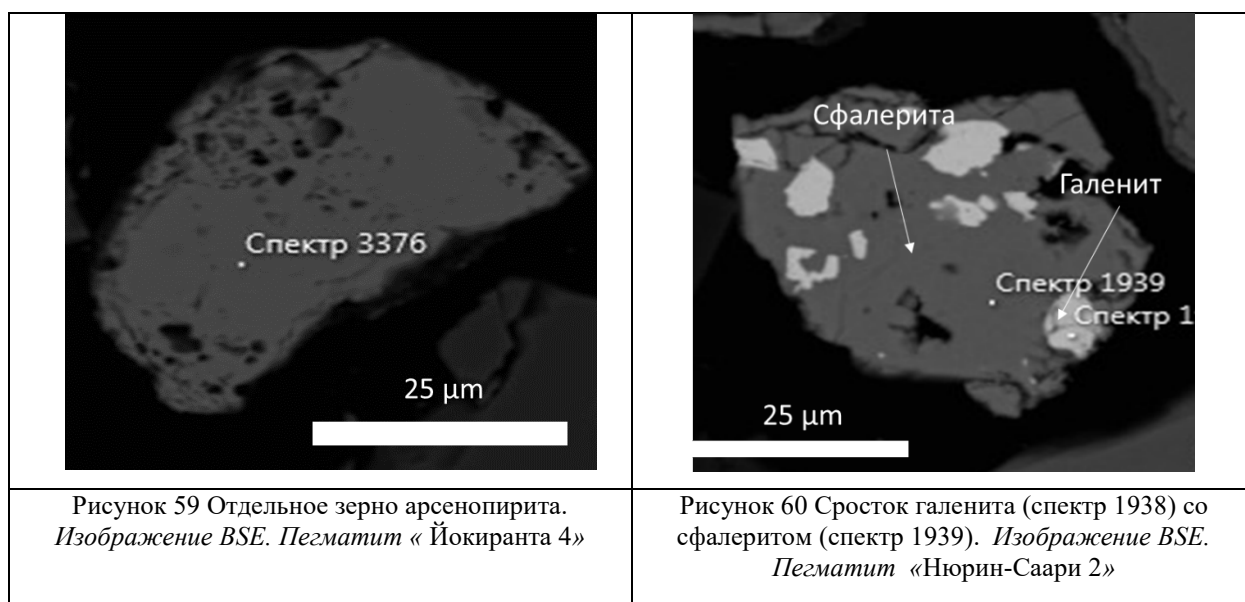


Рисунок 58 Нюринсаари 2 Срастание зерна галенита (спектр 1732) с минералом меди, предположительно мышьяк-цинк содержащим тетраэдритом  $\text{Cu}_6[\text{Cu}_{4.35}(\text{Fe}_{0.31}\text{Zn}_{1.94})_{2,24}](\text{Sb}_{0.28}\text{As}_{3.95})_4.23\text{S}_{13}$  (спектр 1733) (мышьяк содержащий тетраэдрит -  $\text{Cu}_6[\text{Cu}_4(\text{Fe},\text{Zn})_2](\text{Sb},\text{As})_4\text{S}_{13}$ ).

Арсенопирит и сфалерит в пегматитах гранитогнейсовых куполов встречаются редко в виде единичных зерен (рис. 59) или сростков с галенитом (рис. 60), но в пегматитах из пород питкьярантской свиты и ладожской серии распространены столь же широко как халькопирит или галенит.

Следует отметить, что в минералах тяжелой фракции пегматоида Тетрамяки и пегматита Железная дорога присутствует только пирит.



Из других сульфидов следует отметить молибденит, который в виде достаточно крупных (до 0,5 см) выделений обнаружен в пегматите Юляристи и минерал меди (43,32 масс. % Cu), обнаруженный в срастании с галенитом из пробы пегматита Нюринсаари-2. Состав этого минерала при расчете на 13 атомов серы наиболее близок к составу мышьяк-

содержащего тетраэдрита  $\text{Cu}_6[\text{Cu}_{4.35}(\text{Fe}_{0.31}\text{Zn}_{1.94})_{2,24}](\text{Sb}_{0.28}\text{As}_{3.95})_{4,23}\text{S}_{13}$  (мышьяк содержащий тетраэдрит -  $\text{Cu}_6[\text{Cu}_4(\text{Fe},\text{Zn})_2](\text{Sb},\text{As})_4\text{S}_{13}$ ), но отличается высоким содержанием цинка – 8,34 масс.% Zn, и, может быть назван мышьяк-цинк-содержащим тетраэдритом.

#### **4.8 Остальные акцессорные минералы.**

### **Заключение**

Наиболее распространенными акцессорными минералами в породе являются монацит, минералы титана, тантала и ниобия, апатит, циркон и гранат. Монацит отличается присутствием во всех пробах тория, содержание которого изменяется обратно пропорционально содержанию редких земель в образцах из пегматитов, которые залегают в гранито-гнейсах куполов и породах питкьярантской свиты. Этот факт можно рассматривать как косвенный показатель температур. Из остальных фосфатов был встречен только ксенотим, а также редкие зёрна шерлоита.

Минералы титана, а именно рутил, имеют постоянную примесь железа и ниобия, а в большинстве пегматитов ещё и ванадия. Также в пробах из пегматитов «Пютюмяки 2», «Пусунсаари 1», «Железная дорога» и «Калуга» в составе рутилов были обнаружены значительные примеси стрюверита и ильменорутила. Особенностью пегматитов, залегающих в породах питкьярантской свиты, ещё является наличие ильменита в тяжелой фракции.

Минералы тантала и ниобия представлены железистым колумбитом и в редких случаях железистым танталитом. В пегматите «Йокиранта 1» были обнаружены редкие зёрна марганцовистого танталита. Особенностью колумбитов из пегматита «Йокиранта 4» является наличие примеси висмута.

Апатит представлен хорошо ограненными индивидами размером не более 0,5 мм. По данным химического состава, относится к фтор-апатиту, так как содержит до 5,2-5,6 масс.% фтора. Исключением являются зёрна из пегматита «Железная дорога», где количество зёрен фтор апатита равно количеству зёрен ОН-апатита.

Минералы урана и тория встречаются в пегматитах, которые залегают в гранито-гнейсах куполов и породах ладожской серии. Минералы урана представлены его оксидо – уранинитом. Минералы тория представлены торитом с примесью урана, которая доходит до половины состава, поэтому в пегматитах группы «Юляристи» был диагностирован не только торит, но и уранторит.

Минералы висмута широко представлены в пегматитах, которые залегают в породах ладожской серии, а также в пегматите «Калуга». Кроме заварицкита, тетраидрита, цумоита и невскита были диагностированы минералы висмута схожие с известными минералами висмута, но отличающимися по примеси серы или теллура, что осложняет их диагностику.

Сульфиды были обнаружены во всех пегматитах. Самая широкая сульфидная минерализация представлена в пегматитах, которые залегают в породах ладожской серии. Кроме пирита, халькопирита и галенита, которые присутствуют в большинстве пегматитов, был обнаружен молибденит. Арсенопирит был обнаружен в качестве включений в пирите и галените. Исключением является пегматит «Йокиранта 4», где были обнаружены отдельные зёрна арсенопирита. Также в пегматитах «Йокиранта 2», «Йокиранта 3» и «Нюрин-Саари 2» было встречено включение по составу близкое к мышьяк-цинк содержащему тетраэдриту.

На основе изучения минералов тяжелой фракции пегматитов Северного Приладожья выявлены особенности их акцессорной минерализации, приведенные в таблицах 30,31 и 32.

Таблица 29 Обнаруженных в пегматитах Северного Приладожья минералов.

	Купол					
	Муркиенмяки	Харитоновский	Пусунсаари 1	Пусунсаари 2	Пютюмяки 1	Пютюмяки 2
рутил						
Ниобиевый рутил						
Танталовый рутил						
Ильменит						
танталит-колумбит						
Минералы группы пироклора						
Fluorcalciorochlore						
Fersmite						
Апатит						
Циркон						
Монацит						
Ксенотим						
Пирит						
Халькопирит						
Галенит						
Сфалерит						
Арсенопирит						
Оксид свинца						
Торит						
Уранинит						
Оксид висмута						
Висмута-теллуриды						
Сульфид висмута						
Барит						
Кальцит						
Флюорит						
Кассетерит						
Ag-Au						
Au						

Примечание: Муркиенмяки (Сортавальский купол); Харитоновский пегматит (Имплахтинский купол); пегматиты Пусунсаари (Пусунсаарский купол), пегматиты группы Пютюмяки (Кирьяволахтинский купол).

Таблица 30 Обнаруженных в пегматитах Северного Приладожья минералов.

Пегматит	Питкярантская свита						
	Нюрин-Саари 2	Йокиранта 1	Йокиранта 2	Йокиранта 3	Йокиранта 4	Калуга	Железная дорога
рутил							
Ниобиевый рутил							
Танталовый рутил							
Ильменит							
танталит-колумбит							
Минералы группы пирохлора							
Fluorcalciorurochlore							
Fersmite							
Апатит							
Циркон							
Монацит							
Ксенотим							
Пирит							
Халькопирит							
Галенит							
Сфалерит							
Арсенопирит							
Оксид свинца							
Торит							
Уранинит							
Оксид висмута							
Висмуто-теллуриды							
Сульфид висмута							
Барит							
Кальцит							
Флюорит							
Кассетерит							
Ag-Au							
Au							

Таблица 31 Обнаруженных в пегматитах Северного Приладожья минералов.

Ладожская серия					
Пегматит	Юканкоски	Юляристи 1	Юляристи 2	Рукоярви	Тетрамяки
рутил					
Ниобиевый рутил					
Танталовый рутил					
Ильменит					
танталит-колумбит					
Минералы группы пирохлора					
Fluorcalciopyrochlore					
Fersmite					
Апатит					
Циркон					
Монацит					
Ксенотим					
Пирит					
Халькопирит					
Галенит					
Сфалерит					
Арсенопирит					
Оксид свинца					
Торит					
Уранинит					
Оксид висмута					
Висмуто-теллуриды					
Сульфид висмута					
Барит					
Кальцит					
Флюорит					
Кассетерит					
Ag-Au					
Au					

## Список литературы

1. Балтыбаев Ш.К., Глебовицкий В.А. и др, Геология и петрология Свекофеннид Приладожья, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, 2000 г.
2. Геология и петрология свекофеннид Приладожья // СПб.: Изд-во СПбГУ, 2000. 200
3. ГЕОЛОГИЯ И ПЕТРОЛОГИЯ СВЕКОФЕННИД ПРИЛАДОЖЬЯ, Под редакцией чл.-кор. РАИ В. А. Глебовицкого, ИЗДАТЕЛЬСТВО С.-ПЕТЕРБУРГСКОГО УНИВЕРСИТЕТА 2000
4. Глебовицкий В.А. Ранний Докембрий Балтийского Щита.; 2005
5. Годовиков А.А. Минералогия. 2-е изд., перераб. и доп. М., Недра. 1983.
6. Гордиенко В.В. Гранитные пегматиты; Издательский Центр «Академия», 1996
7. Иваников В. В., Филиппов Н. Б., Богачев В. А., Кольцов А. А. Метавулканиды окаймленных куполов Северного Приладожья – покровы платобазальтов или офиолитовые надвиги? // Докембрий Северной Евразии: Тез. докл. Междунар. совещ. 15–18 апреля 1997 г. СПб.: ИГГД РАН, 1997. С. 36–37
8. Котова И. К., Гордон Ф. А., Котов С. Р. Строение разреза и состав пород питкьярантской свиты северо-восточного обрамления Импилахтинского купола (Северное Приладожье) // Вестн. СПбГУ, сер. 7. 2011. Вып. 4. С. 28–49.
9. Кратц К. О. Геология карелид Карелии // Тр. ЛАГЕД АН СССР. Л., 1963. Вып. 16. 210 с
10. Ладожская протерозойская структура (геология, глубинное строение и минерогения) / Отв.ред. Н. В. Шаров. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2020. – 435 с.: ил. 345, табл. 54. Библиогр. 961 назв. ISBN 978-5-9274-0849-8
11. Лебеденко А.В., «Минералогия пегматитового тела Муркианмяки», 2022 г.
12. Котова Л.Н., Глебовицкий В.А. Котова Л.Н., Глебовицкий В.А., Котов А.Б., Подковыров В.Н., Саватенков В.М. Ладожская серия калевия: геологическое положение, состав, возраст, источники и области сноса.
13. Макарова Г.В. Отчет о геолого-съёмочных работах м-ба 1:50000 в Сортавальском районе КАССР за 1964-1966 гг, 1967.
14. Матреничев В. А., Матреничев А. В. Петрология людиковийского вулканизма Онежской структуры и РаахеЛадожской зоны // Балтийский щит: Сб. тр. молодых

- ученых ИГГД РАН / Под ред. В. С. Абушкевича, Н. А. Алфимовой. СПб.: Политехнический ун-т, 2010. С. 223–256.
15. Матреничев В. А., Степанов К. И., Пупков О. М. Стратиграфия и особенности вещественного состава раннепротерозойских метавулканитов Сортавальского поднятия (Северное Приладожье) // Вестн. СПбГУ, сер. 7. 2004. Вып. 2. С. 31–44
  16. Никитин С. Н. Шуркин К.А., Генезис северо-ладожских пегматитов и их промышленная ценность, Известия Карело-Финской научно исследовательской базы академии наук СССР, 1948.
  17. Общая стратиграфическая шкала нижнего докембрия России. Объяснительная записка. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2002. 13 с
  18. Светов А. П., Свириденко Л. П. Стратиграфия докембрия Карелии. Сортавальская серия свекокарелид Приладожья. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 1992. 152 с.
  19. Соболев Н.В. Парагенетические типы гранатов. Академия наук СССР. 1964
  20. Хазов Р. А. Геологические особенности оловянного оруденения Северного Приладожья. Л.: Наука, 1973.
  21. Хазов Р. А. К вопросу о генезисе оловянно-полиметаллического оруденения Северного Приладожья / Вопросы геологии и закономерностей размещения полезных ископаемых Карелии. Петрозаводск: Карельское книжное издательство, 1966. С. 329–338.
  22. Хазов Р. А., Иващенко В. И. Новый генетический тип вольфрамового оруденения в Северном Приладожье (Карелия) // Геология рудных месторождений. 1979. Т. XXI, № 5. С. 37–45.
  23. Харитонов Л.Я. Структура и стратиграфия карелид восточной части Балтийского щита. Изд-во «Недра». М. 1966.
  24. Харитонов Л. Я. Структура и стратиграфия карелид восточной части Балтийского щита. М: Недра, 1966. 360 с
  25. Шаров Н. В. Литосфера Северной Европы по сейсмическим данным. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2017
  26. Шурилов А.В. Геолого-структурная позиция уранового месторождения Карку (Северо-восточное Приладожье). 2005.
  27. Henry D.J., Novák M., Hawthorne F.C., Ertl A., Dutrow B.L., Uher P., Pezzotta F. Nomenclature of the tourmaline-supergrroup minerals, American Mineralogist, 2011
  28. Henry DJ, Dutrow BL. Tourmaline studies through time: Contributions to scientific advancements. J Geosci (Czech Republic). 2018



29. Mohamed A. ALI , Mineral chemistry of monazite-(Nd), xenotime-(Y), apatite, fluorite and zircon hosting in lamprophyre dyke in Abu Rusheid area, South Eastern Desert, Egypt, 2012
30. A. B. Makeyeva,\* , S. G. Skublovb, c,\*\* , A. O. Krasotkinab,S. E. Borisovskiya, T. B. Thomsend, and S. H. Serred , The Age of Monazite from the Ichet'yu Occurrence, Middle Timan (CHIME and LA–ICP–MS Methods), ISSN 1075-7015, Geology of Ore Deposits, 2020, Vol. 62, No. 8, pp. 773–786. © Pleiades Publishing, Ltd., 2020