

*На правах рукописи*

*Егорова*

**Егорова Светлана Валерьевна**

**ПАЛЕОПРОТЕРОЗОЙСКИЕ ГАББРОНОРИТЫ  
БЕЛОМОРСКОЙ И КАРЕЛЬСКОЙ ПРОВИНЦИЙ  
ФЕННОСКАНДИНАВСКОГО ЩИТА:  
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОСТАВА, УСЛОВИЙ  
ФОРМИРОВАНИЯ И МЕТАМОРФИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ**

**Специальность 25.00.04 – Петрология, вулканология**

**Автореферат**

**диссертации на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук**

**Петрозаводск-2017**

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте геологии Карельского научного центра Российской академии наук (ИГ КарНЦ РАН).

***Научный руководитель:***

доктор геолого-минералогических наук

***Слабунов Александр Иванович***

***Официальные оппоненты:***

***Глебовицкий Виктор Андреевич***

доктор геолого-минералогических наук, член-корреспондент РАН, ФГБУН Институт геологии и геохронологии докембрия РАН, Советник РАН, заведующий лабораторией Петрологии

***Сафонов Олег Геннадьевич***

доктор геолого-минералогических наук, профессор РАН, ФГБУН Институт экспериментальной минералогии Российской академии наук, заведующий лабораторией Литосферы

***Ведущая организация*** – ФГБУН Геологический институт Кольского научного центра РАН

Защита диссертации состоится 25 мая 2017 г. в 15 ч. на заседании диссертационного совета Д 002.122.01, созданного на базе ФГБУН Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук (ИГЕМ РАН) по адресу: 109017, Москва, Старомонетный пер., 35.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук по адресу: 109017, Москва, Старомонетный пер., 35, а также на сайте ИГЕМ РАН (<http://www.igem.ru/>).

Автореферат разослан «    » февраля 2017 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ  
диссертационного совета



ЮДОВСКАЯ  
Марина Александровна

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

**Актуальность темы исследования.** Фенноскандинавский щит – один из ключевых докембрийских объектов в мире, изучение которого внесло значительный вклад в понимание процессов развития ранней Земли (Кратц, 1963; Gaal, Gorbatshev, 1987; Ранний..., 2005; Hölttä et al., 2014). На протяжении всей истории изучения щита наиболее острой является проблема соотношений двух крупных структурно-тектонических провинций в его составе – Карельской и Беломорской. Дискуссионность этой проблемы (Шуркин, 1962; Стенарь, 1988; Bogdanova, Bibikova, 1993; Глебовицкий и др., 1996; Слабунов, 2008; Минц и др., 2010; Шарков, Богатиков, 2010; Божко, 2011; Perchuk, Gerya, 2011), в первую очередь, определяется сложностью расшифровки геологической истории Беломорской провинции, которая сложена архейскими и палеопротерозойскими комплексами, претерпевшими разновременные эпизоды структурной и метаморфической переработки (Володичев, 1990; Ранний..., 2005).

В отличие от предшествующих работ (Шарков и др., 1994, 1997, 2004, Ефимов, 1994, Amelin, Semenov, 1996; Lobach-Zhuchenko et al., 1998), посвященных крупным расслоенным интрузивам и малым интрузиям, главными объектами исследований в Карельской и Беломорской провинциях являлись дайки габброноритов. В этих быстро раскристаллизованных телах могут сохраняться интертеллурические минералы, несущие информацию о параметрах кристаллизации в промежуточных камерах, что позволяет выявить ранние эпизоды эволюции расплавов.

Полученные данные служат для Карельской и Беломорской провинций новым источником информации об особенностях их эндогенной эволюции 2.45 млрд лет назад. Изучение реликтовых магматических минеральных ассоциаций в коронитовых габброноритах из разных участков Беломорской провинции (БП), претерпевших метаморфизм от амфиболитовой до эклогитовой и гранулитовой фаций около 1.9 млрд лет назад, определение P-T-параметров кристаллизации и метаморфических преобразований габброноритов, а также выявление латеральных вариаций этих параметров в пределах БП являются ключом к пониманию истории развития этой тектонической структуры.

### **Цели и задачи исследования**

Главной целью диссертационной работы являлась разработка петрологической модели эволюции палеопротерозойских (ок. 2.45 млрд лет) габброноритов Беломорской и Карельской провинций, оценка их метаморфических преобразований и сравнение эндогенной эволюции этих провинций в начале палеопротерозоя на основе полученных данных.

Достижение цели потребовало решения **следующих задач:**

1. Изучение геологического строения тел палеопротерозойских габброноритов Беломорской и Карельской провинций;

2. Геохимическая характеристика габброноритов Беломорской и Карельской провинций, сравнительный анализ составов пород и характера распределения в них главных и рассеянных элементов;

3. Детальное петрографическое исследование пород, определение состава и последовательности кристаллизации магматических минералов, оценка состава и последовательности формирования метаморфических минеральных ассоциаций;

4. Оценка степени сохранности состава и геохимических особенностей первичных минеральных ассоциаций в габброноритах БП и возможности использования их для оценки условий кристаллизации.

5. Расчет Р-Т-параметров кристаллизации габброноритов в Беломорской и Карельской провинциях и Р-Т-условий формирования коронарных структур в габброноритах БП;

6. Сравнительный анализ условий кристаллизации и метаморфических преобразований палеопротерозойских габброноритов в Беломорской и Карельской провинциях и формулировка граничных условий на тектонические модели формирования этих структур в палеопротерозое.

***Фактический материал и методы исследований.*** В основу работы положены результаты исследований каменного материала, собранного автором в ходе полевых работ в составе отрядов лаборатории Петрологии и тектоники ИГ КарНЦ РАН в 2011-2015 гг., а также материалы, предоставленные научным руководителем и сотрудниками лаборатории Петрологии и тектоники - В.С. Степановым, А.В. Степановой и О.С. Сибелевым. В ходе исследований было детально изучено и задокументировано более 120 обнажений, составлены детальные планы ключевых объектов, изучено более 600 шлифов, для наиболее сохранных образцов габброноритов из 20 тел изучен состав породообразующих и акцессорных минералов с применением сканирующего электронного микроскопа VEGA II LSH (фирмы Tescan) с энергодисперсионным микроанализатором INCA Energy 350 (ИГ КарНЦ РАН) - более 1500 определений. Выполнен анализ концентраций рассеянных элементов в магматических и метаморфических клинопироксенах из двух ключевых объектов в Карельской и Беломорской провинциях (методом вторично-ионной масс-спектрометрии (SIMS) в Институте микроэлектроники РАН (г. Ярославль) (более 400 элементо-определений). Химический состав пород определялся методом силикатного анализа в аналитической лаборатории ИГ КарНЦ РАН (г.

Петрозаводск), методом XRF в ИГЕМ РАН (г. Москва), концентрации редких и редкоземельных элементов методом ICP MS в аналитической лаборатории ИГ КарНЦ РАН - всего более 80 определений.

Оценка P-T-условий кристаллизации расплавов габброноритов Беломорской и Карельской провинций проводилась с использованием независимых геотермобарометров: дупироксенового термобарометра (Putirka, 2008), Crx-Ol термометра (Loucks, 1996), Cr-Spl-Ol термометров (Jackson, 1969, Wan et al., 2008, Coogan et al., 2014), Crx барометра (Nimis, 2000), геотермометров Малахова (Малахов, 1983). Определение P-T-параметров формирования коронарных структур было выполнено методом классической термобарометрии (Grt-Amph термометры (Wells, 1979; Graham, Powell, 1984; Powell, 1985), Grt-Bt термометр (Перчук, 1989); Amph барометры (Hammarstrom, Zen, 1986; Hollister, 1987; Blundy, Holland, 1990)) с использованием программы TPF-2004 ИЭМ РАН (Фонарев В. И., Графчиков А. А., Конилов А. Н.) и методом мультиравновесной термобарометрии с помощью компьютерного программного комплекса TWQ (Berman, 1991) с базой данных Р. Бермана и Л.Я. Арановича (Berman, Aranovich 1996; Aranovich, Berman, 1996).

Работа выполнена в лаборатории Петрологии и тектоники ИГ КарНЦ РАН при реализации планов НИР в 2011-2015 гг. и частичной поддержке грантов РФФИ № 14-05-00432 и 15-05-09288а.

**Научная новизна.** В результате проведенных исследований была обоснована сохранность состава и геохимических особенностей первичных магматических минеральных ассоциаций палеопротерозойских (2.45 млрд лет) коронитовых метагабброноритов БП и дана расшифровка P-T-условий их кристаллизации. Доказано сходство магматической эволюции палеопротерозойских (2.45 млрд лет) даек габброноритов Карельской и Беломорской провинций. Согласно предложенной модели в ходе кристаллизации магматических расплавов выделяется три основных этапа: кристаллизация (1) оливина и хромшпинели и (2) высокомагнезиальных пироксенов в промежуточных камерах, (3) кристаллизация *in situ* в малоглубинных условиях. Выявлены латеральные вариации условий формирования гранатсодержащих коронарных структур в габброноритах БП – от 6 кбар вблизи границы с Карельской провинцией (на максимальном удалении от ядра Лапландско-Кольского орогена) до 12 кбар и более в восточной части БП (максимально близкой к ядру Лапландско-Кольского орогена).

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Полученные данные по дайкам габброноритов с возрастом 2.45 млрд лет позволяют реконструировать отдельные стадии магматической эволюции внутриплитных магнезиальных высококремнистых магм, существенно

дополняя и расширяя петрологические модели, предложенные для расслоенных интрузий Карельской провинции, с которыми сопряжена  $Sr$  и ЭПГ минерализация.

**Личный вклад автора** состоит в геологическом изучении тел габброноритов, их опробовании и разработке алгоритма петрологического исследования. Проведено петрографическое и микрозондовое изучение образцов, произведены расчеты  $P$ - $T$ -условий формирования пород. Дана интерпретация результатов геохимического изучения клинопироксенов. На основании полученных данных предложена петрологическая модель эволюции палеопротерозойских (2.45 млрд лет) габброноритов Беломорской и Карельской провинций и их последующих метаморфических преобразований.

**Положения, выносимые на защиту:**

1. В Карельской провинции становление даек высокомагнезиальных габброноритов с возрастом 2.45 млрд лет происходило в условиях верхней коры ( $P=2-4$  кбар и  $T<1150^{\circ}C$ ). Ранняя фенокристовая ассоциация (хромитинель и высокомагнезиальные  $O1$ ,  $Orx$  и  $Srx$ ) фиксирует кристаллизацию расплавов в промежуточных камерах на умеренных глубинах (при  $P>4$  кбар и  $T>1150^{\circ}C$ ).

2. В Беломорской провинции метаморфизованные дайки высокомагнезиальных габброноритов с возрастом 2.45 млрд лет сохранили неизменным состав и геохимические характеристики реликтовых магматических минералов ранней фенокристовой ассоциации (хромитинель, высокомагнезиальные  $O1$ ,  $Orx$  и  $Srx$ ), которая фиксирует кристаллизацию на умеренных глубинах ( $P> 4.5$  кбар и  $T>1100^{\circ}C$ ).

3. Давление, при котором формировались метаморфические гранатсодержащие коронарные структуры в дайках габброноритов Беломорской провинции, составляло не менее 6 кбар вблизи границы с Карельской провинцией и возрастало до 12 кбар и более вблизи ядра Лапландско-Кольского орогена.

4. Дайки габброноритов с возрастом 2.45 млрд лет в Карельской и Беломорской провинциях кристаллизовались в близких малоглубинных условиях, свидетельствуя, что эти провинции к началу палеопротерозоя представляли единый блок консолидированной архейской коры. Высокобарический метаморфизм и фрагментация даек габброноритов Беломорской части этого блока были связаны с его переработкой в Лапландско-Кольском коллизионном орогене в конце палеопротерозоя.

**Апробация работы.** Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на российских и международных научных конференциях: XLVIII тектоническом совещании"; XII

Всероссийском петрографическом совещании; III Российской конференции по проблемам геологии и геодинамики докембрия – Санкт-Петербург, 2011 г.; 22 научной конференции молодых ученых, Сыктывкар, 2012 г.; XXII-XXV молодежных научных конференциях, посвященных памяти К.О. Кратца, 2011-2015 гг. По результатам исследования опубликовано 14 работ, 3 из которых входят в перечень ВАК.

**Благодарности.** Автор искренне признателен за постановку научной задачи и терпение научному руководителю д.г.-м.н. А.И. Слабунову. Особую благодарность автор выражает к.г.-м.н. А.В. Степановой, за неоценимую помощь на всех этапах проведения исследований. Автор признателен чл.-корр. РАН, д.г.-м.н. А.В. Самсонову за ценные замечания в ходе выполнения работы и благодарен сотрудникам лаборатории петрологии и тектоники ИГ КарНЦ РАН (О.И. Володичеву, Н.Е. Король, О.С. Сибелеву и др.) за регулярное обсуждение результатов работы и всестороннюю поддержку. Особую ценность при выполнении работы имели советы к.г.-м.н. В.С. Степанова и поддержка А.К. Карповой. Автор признателен к.г.-м.н. П.Я. Азимову (ИГГД РАН) за консультации по вопросам термобарометрических расчетов. Первоначальный вариант автореферата диссертации был улучшен благодаря конструктивным критическим замечаниям А.А. Носовой, И.И. Бабариной, А.В. Каргина. За проведение аналитических исследований автор искренне благодарен сотрудникам аналитического центра ИГ КарНЦ РАН. Автор выражает отдельную признательность руководству ИГ КарНЦ РАН: д.г.-м.н. В.В. Щипцову и д.г.-м.н. С.А. Светову за поддержку диссертационного исследования.

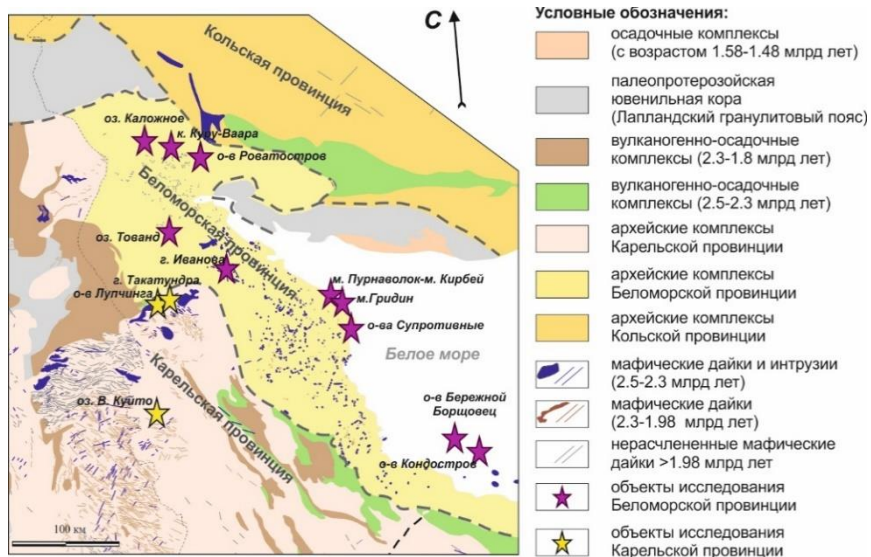
**Структура и объем работы.** Работа состоит из введения, 8 глав и заключения. Объем работы составляет 221 страницу, включая рисунки, таблицы и приложения. Список литературы состоит из 249 наименований.

#### ***Объекты исследования.***

Для реконструкции эндогенной истории Карельской и Беломорской провинций были использованы палеопротерозойские дайки и малые интрузии основного состава с возрастом ок. 2.45 млрд лет, которые широко распространены в обеих провинциях, надежно датированы (Бибилова и др., 2004; Слабунов и др., 2001, 2011; Мельник, 2015, Amelin et al., 1995, Stepanova et al., 2015a) и входят в состав крупной магматической провинции (Шарков, 1997; Kulikov et al., 2010), представленной разноглубинными комплексами, включая расслоенные интрузии, дайки и вулканиты. Важной петрографической особенностью габроноритов является устойчивость к процессам метаморфизма и сохранность в них реликтовых первично-магматических минеральных

ассоциаций вплоть до эклогитовой фации (Володичев, 2008; Козловский, Аранович, 2010; Perchuk, Morgunova, 2014 и др.), что делает возможной оценку P-T-условий их кристаллизации.

В пределах Карельской провинции (КП) дайки габброноритов формируют рои СЗ и СВ простираций (Рисунок 1). Строение тел простое, мощность варьирует от первых метров до ста и более метров. Контакты с вмещающими архейскими породами секущие, крутопадающие, с выраженными зонами закалок. Изученные дайки габброноритов КП характеризуются высокими концентрациями MgO (16.02 -19.47 вес. %), Cr (1400-2080 ppm) и Ni (450-850 ppm), повышенными SiO<sub>2</sub> (до 52 вес. %) и низкими TiO<sub>2</sub> (менее 0.6 вес. %). Для них характерно обогащение ЛРЗЭ ((La/Sm)<sub>n</sub>=2.4-3.5), деплетированность ТРЗЭ ((Gd/Yb)<sub>n</sub>=1.6-2.1) и Nb (Nb/Nb\* = 0.18-0.27) и отрицательные значения εNd<sub>2.45</sub> = -0.4 – -1.7 (Amelin, Semenov, 1996; Stepanova et al., 2015a). Возраст кристаллизации даек габброноритов КП по результатам U-Pb датирования бадделеита составляет 2450±12 млн лет (Stepanova et al., 2015a). В пределах КП также установлены дайки низкомагнезиальных габброноритов этого возраста (Stepanova et al., 2015b), но в данной работе P-T-параметры их кристаллизации не определялись.



**Рисунок 1.** Положение объектов исследования на схеме распределения палеопротерозойских мафических комплексов в восточной части Фенноскандинавского щита по (Stepanova et al., 2014) с дополнениями автора.

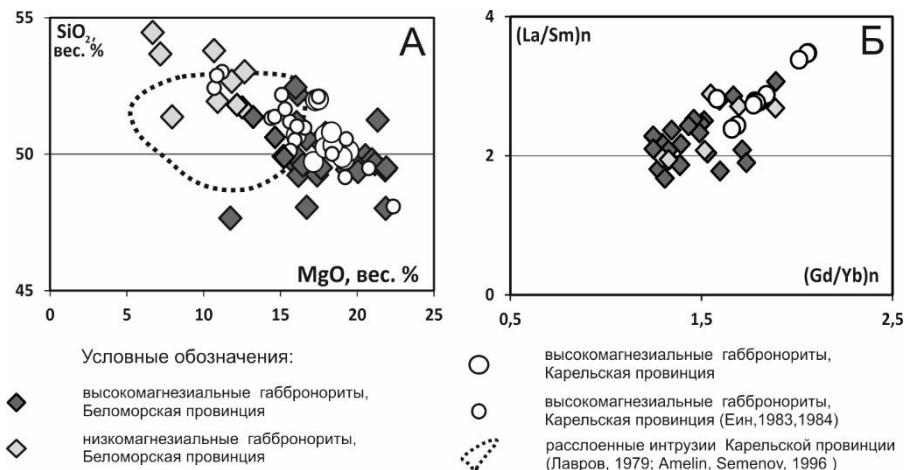


Одновозрастные и близкие по составу к габброноритам КП базиты широко распространены в смежной Беломорской провинции (Рисунок 1). Они представлены многочисленными малыми интрузиями, дайками, и крупными массивами, детально описанными в работах многих исследователей (Степанов, 1971, 1981; Шуркин и др. 1971; Ефимов, 1978; Малов, Шарков, 1978; Степанов, Слабунов, 1989; Балаганский и др. 1997; Шарков и др., 1997, 2004; Слабунов и др., 2001; Lobach-Zhuchenko et al., 1998 и др). Главной особенностью габброноритов БП, отличающей их от одновозрастных мафических комплексов КП, является интенсивная тектоническая переработка тел и метаморфическое преобразование пород (преимущественно в условиях амфиболитовой, в отдельных участках до эколгитовой фации метаморфизма (Травин, Козлова, 2005; Володичев, 2008; Козловский, Аранович, 2010; Мельник, 2015 и др.)), выраженное в формировании друзитовых (коронарных) структур на границе мафических минералов и плагиоклаза. В связи с этим, многими исследователями тела базитов БП рассматриваются как бескорневые (синкинематические), кристаллизовавшиеся в условиях более горячей и пластичной среды на значительной глубине (Косой, 1938; Шуркин, 1964; Шарков, 2004, 2006, Арестова, 2004; Володичев, 2008). Возраст кристаллизации габброноритов БП по данным U-Pb изотопного датирования циркона составляет 2.45-2.4 млрд лет (Бибикова и др., 2004; Криволюцкая и др., 2010; Слабунов и др. 2011; Мельник, 2015).

В рамках данной работы в Беломорской провинции были опробованы как дайки с секущими крутопадающими контактами и ярко выраженными зонами закалки, так и фрагменты даек и малых интрузий с субсогласными с гнейсовидностью вмещающих комплексов контактами, краевые части которых сложены амфиболитами. И дайки, и малые интрузии в различной степени метаморфизованы, при этом во всех телах были установлены участки, сохраняющие реликты массивной габбровой структуры и первичных магматических минералов, которые были опробованы для дальнейших исследований.

Габбронориты БП имеют характерные для объединенных в составе сумийской крупной магматической провинции (КМП, Kulikov et al., 2010) образований высокомагнезиальные и высококремнистые (MgO до 21.7 вес. % при SiO<sub>2</sub>=47.68 вес. %) составы. При этом наблюдаются широкие вариации составов до низкомагнезиальных и обогащенных кремнием (SiO<sub>2</sub> до 54.34 вес. % и MgO до 6.66 вес. %). Характеры распределения редкоземельных и редких элементов габброноритов Беломорской провинции как внутри отдельных интрузий, так и в разных телах близки. Габбронориты БП обогащены ЛРЗЭ ((La/Sm)<sub>n</sub>=2.8-6.1), обеднены ТРЗЭ ((Gd/Yb)<sub>n</sub>=1.2-1.9) и Nb (Nb/Nb\*=0.12-0.37). Величина εNd<sub>2.45-2.4</sub> в

палеопротерозойских (2.45-2.4 млрд лет) габброноритах БП варьирует от низких положительных (от +0.8) до умеренных отрицательных значений (до -1.8) (Lobach-Zhuchenko et al., 1998; Криволицкая, 2010).



**Рисунок 2.** Вариационные диаграммы соотношений  $\text{SiO}_2\text{-MgO}$  (А) и  $(\text{La}/\text{Sm})_n\text{-(Gd}/\text{Yb})_n$  (Б) для палеопротерозойских габброноритов Беломорской и Карельской провинций.

Сопоставление составов изученных в работе тел габброноритов Карельской и Беломорской провинций показало их существенное сходство как по содержанию петрогенных элементов, так и по содержанию элементов-примесей (Рисунок 2 А, Б). Общей особенностью состава габброноритов обеих структур является высокохромистый, высокомагнезиальный состав, повышенные содержания  $\text{SiO}_2$ , обогащение ЛРЗЭ и деплетированность ТРЗЭ и Nb. Такие геохимические характеристики пород предполагают высокие степени плавления мантийного источника, возможно, в поле стабильности граната и их последующую интенсивную контаминацию коровым материалом. Это подтверждается и низкими положительными и отрицательными значениями величины  $\epsilon\text{Nd}_{2.45-2.4}$  от +0.9 до -2.9 (Арестова, 2004; Криволицкая и др., 2010; Amelin, Semenov, 1996; Puchtel et al., 1997, 2016; Lobach-Zhuchenko et al., 1998; Stepanova et al., 2015a).

Близкие геохимические и изотопные характеристики одновозрастных габброноритов Карельской и Беломорской провинций предполагают сходство условий генерации первичных расплавов и их

последующей коровой эволюции и означают корректность проведения дальнейших корреляций.

## ОБОСНОВАНИЕ ЗАЩИЩАЕМЫХ ПОЛОЖЕНИЙ

**1. В Карельской провинции становление даек высокомагнезиальных габброноритов с возрастом 2.45 млрд лет происходило в условиях верхней коры ( $P=2-4$  кбар и  $T<1150^{\circ}\text{C}$ ). Ранняя фенокristовая ассоциация (хромшпинель и высокомагнезиальные Ol, Орх и Срх) фиксирует кристаллизацию расплавов в промежуточных камерах на умеренных глубинах (при  $P>4$  кбар и  $T>1150^{\circ}\text{C}$ ).**

Изученные дайки габброноритов КП имеют простое строение – в них выделяются зоны закалки, характеризовавшиеся максимальной скоростью остывания расплава, и центральные части тел, кристаллизация которых происходила существенно дольше, при этом расслоенность и внутренние фазовые неоднородности отсутствуют. Это показывает, что установленные в северной части КП дайки были сформированы в результате одного акта внедрения магмы в холодные консолидированные породы рамы. По химическому и редкоэлементному составу центральные части даек и зоны закалки близки, что также свидетельствует в пользу простого строения тел и одноактного внедрения расплавов. Вышесказанное позволяет рассматривать зоны закалки даек, как «замороженный» расплав, поступивший в камеру.

Результаты изучения пород зон закалок однозначно свидетельствуют о том, что магма, сформировавшая дайки, состояла из расплава и кристаллов оливинов и пироксенов. Ранние фазы по составу контрастно отличаются от минералов основной массы, кристаллизовавшихся *in situ*. Особенности состава и внутреннего строения ранних фенокristаллов позволяют выделить несколько этапов кристаллизации:

(1) Наиболее ранними фазами являются оливин ( $Fo=79-86$ ) и хромшпинелид (хромит-алюмохромит), формирующие включения размером не более 0.2 мм в крупных зернах пироксенов. В зонах закалки также установлены зональные фенокristаллы оливина ( $Fo=89$  в центре, 82 – в краевой части). Анализ составов оливинов габброноритов КП показал, что соотношение Fe-Mg в оливине и породе не соответствует равновесному и указывает на присутствие в них избыточного оливина (кумулуса). Условия этого этапа можно оценить, предполагая равновесность включений Ol и Cr-Spl в фенокristаллах ортопироксена, по оливин-шпинелевому термометру (Jackson, 1969):  $T=1270-1340^{\circ}\text{C}$ . Оба минерала резорбированы, их содержание не превышает первых процентов

объема породы. Явления резорбции могут быть связаны с подъемом магмы и/или поступлением новой порции расплава в промежуточную камеру;

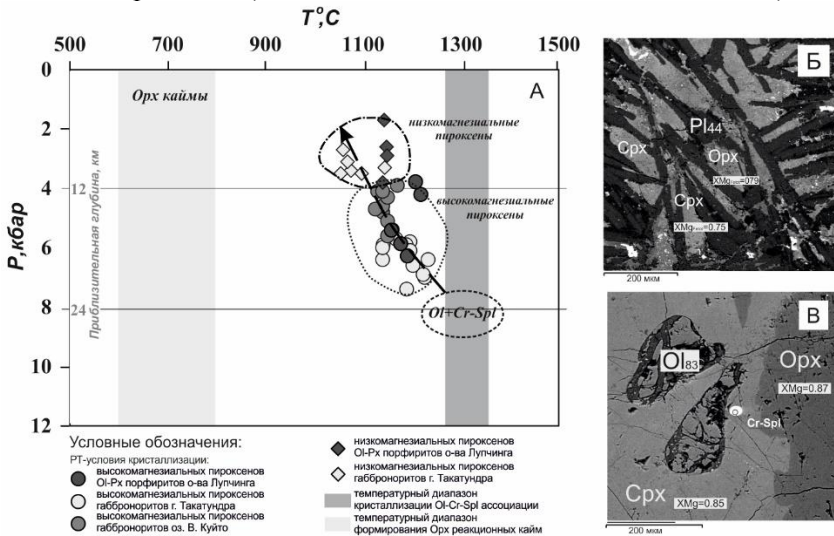
(2) Второй этап – кристаллизация высокомагнезиальных пироксенов. Орх количественно преобладает, Срх появляется синхронно или чуть позже. Фенокристаллы Орх зональны: центральные части – высокомагнезиальные и высокохромистые ( $X_{Mg}=0.85-0.87$ ,  $Cr_2O_3$  до 0.96 вес. %), краевые части не содержат Cr и менее магнезиальны ( $X_{Mg}$  до 0.68-0.75). Клинопироксен по составу соответствует высокомагнезиальному высокохромистому ( $Cr_2O_3$  до 1.36 вес. %) авгиту и также имеет зональное строение ( $X_{Mg}$  варьирует от 0.83-0.86 в центральной части зерна до 0.69 в краевой), формирует как самостоятельные зерна, так и пластинки, нарастающие на Орх («футляры»). Условия этого этапа кристаллизации можно оценить, предполагая равновесность Орх и Срх (самостоятельные зерна) с использованием дупироксенового термобарометра (Putirka, 2008), термометра Малахова (Малахов, 1983) и Срх барометра (Nimis, 1999):  $T=1150-1250^{\circ}C$ ,  $P=5.5-7.5$  кбар. Футляры Срх (по данным термометра Малахова (Малахов, 1983) и Срх барометра (Nimis, 1999)) кристаллизовались при  $T=1150-1200^{\circ}C$  и  $P=4-6$  кбар.

(3) Кристаллизация *in situ* минералов основной массы, составляющих до 50% объема пород зон закалки. Мелкие ксеноморфные зерна (0.05-0.1 мм) пироксенов основной массы представлены энстатитом, авгитом и единичными зернами пижонита. Они отличаются от фенокристаллов меньшей магнезиальностью ( $X_{Mg}=0.64-0.79$ ) и отсутствием Cr. Плаггиоклаз ( $An=45-57$ ) в краевых частях тел представлен лейстовидными и игольчатыми зернами, формирующими метельчатые агрегаты, что свидетельствует о высокой скорости кристаллизации расплава. Условия этого этапа, рассчитывались по дупироксеновому термобарометру (Putirka, 2008), предполагая равновесность пироксенов основной массы:  $P=2-4$  кбар и  $T=1050-1150^{\circ}C$ .

Эта же последовательность кристаллизации, но менее отчетливо, проявлена и в центральных частях тел. В них высоко-Mg оливин и хромшпинель установлены только во включениях в пироксенах, предполагая их раннюю кристаллизацию. Орто- и клинопироксен формируют крупные идиоморфные зерна, оба пироксена зональны и по составу аналогичны пироксенам зон закалки. Плаггиоклаз ( $An=46-65$ ) формирует крупные таблитчатые зерна, содержащие включения Орх и Срх. Поздними фазами кристаллизации, занимающими интерстиционную позицию, являются кварц, биотит, ильменит и олигоклаз. Для габроноритов КП характерно развитие субсолидусных кайм,

формирующихся на границе оливина и плагиоклаза и сложенных ортопироксеном и Орх-Pl симплектитом. Температура формирования ортопироксеновых кайм оценивается в 600-800°C (по Орх термометру (Малахов, 1983)). Последующие метаморфические преобразования в палеопротерозойских габброноритах КП проявлены локально и не превышали условий эпидот-амфиболитовой фации метаморфизма.

Измерение содержаний рассеянных и редкоземельных элементов в Срх было выполнено для авгитов из габброноритов оз. В. Куйто. В этих породах, согласно расчетам, проанализированный Срх кристаллизовался при  $T < 1170$  °C и  $P = 4-5.5$  кбар. Анализ характера распределений РЗЭ показал, что их концентрации увеличиваются от центра зерна к краю, демонстрируя обратную корреляцию с XMg. Спектры распределения РЗЭ в клинопироксенах характеризуется деплетированностью ЛРЗЭ, плоским распределением ТРЗЭ и значениями  $Eu/Eu^* = 0.73-0.75$  (Рисунок 4). На мультиэлементных диаграммах для клинопироксенов из габброноритов КП отчетливо проявлены отрицательные аномалии Nb, Sr, Zr и Ti. В целом характер распределения рассеянных элементов в Срх габброноритов кратона типичен для Срх, кристаллизовавшихся из базальтового расплава (Shimizu et al., 2005; Lesnov, 2010; Sun, 2011).



**Рисунок 3.** А - основные стадии кристаллизации габброноритов Карельской провинции на P-T-диаграмме, Б-основная масса Ol-Rx порфиритов, краевая часть дайки, о-в Лупчинга, В - включения оливина и хромита в фенокристалле Срх, центральная часть дайки, г. Такатундра.

Таким образом, условия и последовательность кристаллизации габброноритов КП могут быть представлены следующим образом (Рисунок 3): (1) кристаллизация ОI и Cr-Spl происходила при  $T > 1250^{\circ}\text{C}$ . Глубинность данного этапа не известна. Резорбция ОI могла быть обусловлена подъемом магмы и/или поступлением новой порции расплава в промежуточную камеру; (2) кристаллизация высокомагнезиальных ортопироксенов и авгитов в промежуточной камере при  $T > 1150^{\circ}\text{C}$  и  $P > 4$  кбар. Появление Орх на ликвидусе, вероятно, могло быть обусловлено контаминацией расплавов коровым материалом; (3) кристаллизация *in situ* низкомагнезиальных пироксенов и плагиоклаза – происходила при  $T = 1050-1150^{\circ}\text{C}$  и  $P = 2-4$  кбар; (4) субсолидусные Орх-Pl реакционные каймы сформировались при  $T = 600-800^{\circ}\text{C}$ .

Полученные результаты согласуются с предложенными ранее моделями формирования расплавов в сумийской КМП (Amelin, Semenov, 1996; Puchtel et al., 1997), которые предполагают формирование высокотемпературных магнезиальных расплавов в результате подъема мантийного плюма и их последующую контаминацию коровым веществом.

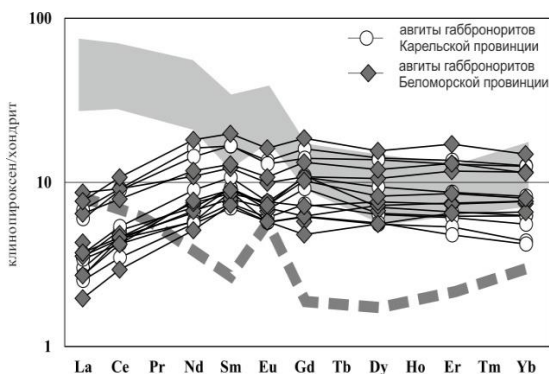
***2. В Беломорской провинции метаморфизованные дайки высокомагнезиальных габброноритов с возрастом 2.45 млрд лет сохранили неизменным состав и геохимические характеристики реликтовых магматических минералов ранней фенокритовой ассоциации (хромшпинель, высокомагнезиальные ОI, Орх и Срх), которая фиксирует кристаллизацию на умеренных глубинах ( $P > 4.5$  кбар и  $T > 1100^{\circ}\text{C}$ ).***

В северной, южной и центральной частях БП (Рисунок 1) было детально изучено 16 тел коронитовых габброноритов. Во всех частях провинции среди опробованных габброноритов установлены тела, с сохранившимися фрагментами первичных контактов, занимающих секущее положение по отношению к вмещающим архейским комплексам, и с выраженными зонами закалки. Породы зон закалки и краевых частей тел габброноритов БП имеют порфиридные структуры: порфиновые вкрапленники в них представлены орто- и клинопироксеном; основная масса пород, не смотря на практически полное замещение магматических минералов, сохраняет реликты магматического плагиоклаза, формирующего метельчатые агрегаты, предполагающих быстрое охлаждение расплавов.

Центральные части тел сложены среднезернистыми массивными оливиновыми и оливинсодержащими габброноритами хорошей сохранности. Главными пороодообразующими магматическими

минералами являются орто- и клинопироксен, плагиоклаз и оливин, второстепенными – биотит и ильменит. Вторичные преобразования в породах проявлены в формировании ортопироксеновых, гранатовых и амфиболовых (иногда клинопироксеновых) кайм на границах оливина и плагиоклаза и (клинопироксен)-амфибол-гранатовых кайм вокруг магматического ортопироксена.

Степень сохранности реликтовых магматических минеральных ассоциаций в габброноритах БП и возможность использования их составов при оценке Р-Т-параметров кристаллизации – вопрос, который потребовал проведения специальных исследований. В реликтовых авгитах из габброноритов центральной части провинции были измерены содержания рассеянных и редкоземельных элементов. Авгиты габброноритов БП обеднены легкими РЗЭ относительно тяжелых и средних РЗЭ и имеют практически плоское распределение в области тяжелых РЗЭ (Рисунок 4). Наименее магнезиальные (с  $X_{Mg} < 0.77$ )  $Sr_x$  имеют значения  $Eu/Eu^* = 0.76-0.86$ . На мультиэлементных диаграммах фиксируются ярко выраженные отрицательные аномалии Nb, Sr, Zr и Ti. Содержание РЗЭ и редких элементов возрастает от центра к краю зерна одновременно с уменьшением магнезиальности. В этом же образце был изучен редкоэлементный состав метаморфических клинопироксенов из коронарных структур вокруг магматического ортопироксена. Клинопироксены кайм габброноритов существенно отличаются от реликтовых авгитов. По составу они отвечают диопсиду, обогащены легкими РЗЭ и Eu ( $Eu/Eu^* = 1.6-3.2$ ) и обеднены Nb, Sr, Zr и Ti.



**Рисунок 4.** Спектры распределения РЗЭ, нормированные по хондриту (McDonough, Sun, 1995), в авгитах габброноритов Карельской и Беломорской провинций. Серое поле соответствует составам метаморфических  $Sr_x$  из  $Sr_x$ -Amph-Grt и  $Sr_x$ -(Amph+Spl) коронарных структур, пунктирная линия –  $Sr_x$  из  $Sr_x$ -Amph коронарных структур.

Таким образом, проведенное исследование показало, что реликтовые авгиты коронитовых метагабброноритов БП близки по составу к магматическим авгитам габброноритов КП, и существенно

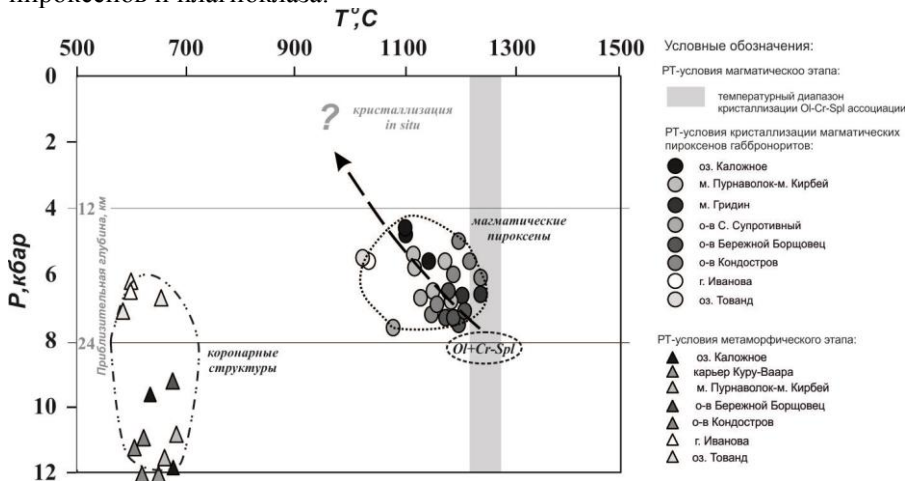
отличаются от метаморфических клинопироксенов кайм (Рисунок 4). Это позволяет сделать вывод о «химической» сохранности как самих реликтовых (первично-магматических) клинопироксенов, так и более ранних магматических минеральных ассоциаций (Ol, Cr-Spl, Орх) в коронитовых метагабброноритах БП и свидетельствует о корректности использования их составов для оценки P-T-параметров кристаллизации расплавов.

Детальное петрографическое изучение и микрозондовый анализ состава породообразующих минералов, позволили выделить несколько этапов кристаллизации габброноритов БП. Наиболее ранними фазами являются оливин (Fo=77-85) и хромшпинель (алюмохромит), выполняющие включения в крупных зернах ортопироксена. Анализ составов оливинов габброноритов БП показал, что соотношение Fe-Mg в оливине и породе не соответствует равновесному для расплава и указывает на присутствие в них избыточного оливина. Предполагая равновесность включений Ol и Cr-Spl в Орх, условия этого этапа оценивались по оливин-шпинелевым термометрам (Jackson, 1969; Wan et al., 2008; Coogan et al., 2014):  $T=1220-1270^{\circ}\text{C}$ . Оба минерала резорбированы, что вероятно связано с подъемом магмы и/или поступлением новой порции расплава в промежуточную камеру, суммарная концентрация Ol и Cr-Spl в породе не превышает первых процентов.

Последующая кристаллизация связана с формированием ортопироксена, синхронно или чуть позже появляется авгит. Оба пироксена имеют зональное строение. Орх по составу соответствует энстатиту, XMg варьирует от 0.85-0.88 в центре до 0.74-0.79 в краевой части зерна. Срх часто характеризуется интенсивной бурой окраской в плоско-поляризованном свете, обусловленной наличием многочисленных включений хромита, по составу отвечает магнезиальным высокохромистым (Cr до 1.3 вес. %) авгитам (XMg снижается от 0.86 в центре до 0.75 в краевой части зерна). Условия этого этапа кристаллизации можно оценить, предполагая равновесность Орх и Срх с использованием дупироксенового термобарометра (Putirka, 2008), термометра Малахова (Малахов, 1983) и Срх барометра (Nimis, 1999). Для высокомагнезиальных габброноритов получены следующие значения:  $T=1100-1200^{\circ}\text{C}$ ,  $P=4.5-7.5$  кбар. Более низкие значения температур получены для пироксенов (XMg=0.76-0.80) из низкомагнезиальных габброноритов БП (оз. Тованд и г. Иванова): по результатам расчетов с использованием дупироксенового термобарометра (Putirka, 2008) они формировались при  $T=1000^{\circ}\text{C}$  и  $P=5.5$  кбар.



Последующее остывание расплавов фиксируется кристаллизацией более железистого оливина ( $Fo=70-76$ ), представленного относительно крупными, незональными зёрнами. Плаггиоклаз ( $An=29-46$ ) габброноритов БП в большинстве случаев характеризуется интенсивной бурой окраской и содержит мелкие включения глиноземистой шпинели и амфибола, что не позволяет рассматривать его в качестве первичного магматического. На заключительной стадии кристаллизовались биотит, ильменит, кварц и олигоклаз, установленные в интерстициях крупных кристаллов пироксенов и плаггиоклаза.



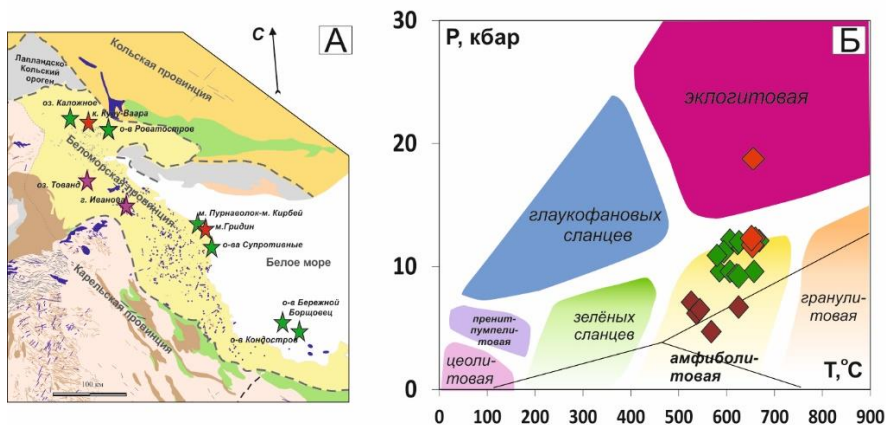
**Рисунок 5.** Основные этапы формирования габброноритов Беломорской провинции на P-T-диаграмме.

Таким образом, условия и последовательность магматического этапа формирования габброноритов Беломорской провинции могли быть следующими (Рисунок 5): (1) кристаллизация оливинов и хромшпинелей, выполняющих включения в зёрнах высокомагнезиальных ортопироксенов и авгитов происходила при  $T > 1200^\circ\text{C}$ . Глубинность данного этапа не известна; (2) кристаллизация крупных кристаллов ортопироксенов и авгитов в промежуточной камере при температуре  $1100-1200^\circ\text{C}$  и  $P > 4.5$  кбар; (3) кристаллизация *in situ* низкомагнезиальных пироксенов и плаггиоклаза, P-T-условия не известны. Для низкомагнезиальных габброноритов, установленных в северо-западной части БП, удалось реконструировать только второй этап, связанный с формированием пироксенов:  $T=1000^\circ\text{C}$ ,  $P=5.5$  кбар.

**3. Давление, при котором формировались метаморфические гранатсодержащие коронарные структуры в дайках габброноритов Беломорской провинции, составляло не менее 6 кбар вблизи границы с Карельской провинцией и возрастало до 12 кбар и более вблизи ядра Лапландско-Кольского орогена.**

Коронарные (или друзитовые) структуры на границе мафических минералов с плагиоклазом являются характерной особенностью палеопротерозойских габброноритов БП. Они привлекают исследователей на протяжении многих лет начиная с Е.С. Федорова, впервые описавшего «друзитовые» структуры в докембрийских породах Беломорья и предполагавшего их магматический генезис (Федоров, 1901).

В опробованных телах коронарные структуры установлены на границе оливина, ортопироксена и ильменита с плагиоклазом. Минералы кайм представлены ортопироксеном, клинопироксеном, амфиболом, гранатом, глиноземистой шпинелью, вокруг ильменита появляется биотит. На границе оливина с плагиоклазом формируются наиболее мощные каймы. От ортопироксен-плагиоклазовых субсолидусных кайм габброноритов Карельского кратона они отличаются более сложным многослойным строением. Непосредственно вокруг оливина развивается кайма ортопироксена, она присутствует во всех рассмотренных телах.



**Рисунок 6.** А – положение объектов исследования на схеме распределения мафических комплексов в восточной части Фенноскандинавского щита; Б – P-T-условия формирования гранатсодержащих коронарных структур в габброноритах Беломорской провинции на схеме фаций (точка, соответствующая P-T-условиям эклогитовой фации нанесена для габброноритов района с. Гридино по литературным данным (Сердюк, 2013; Perchuk, Morgunova, 2014)).

Ортопироксеновая кайма в большинстве изученных тел сменяется гранатовой каймой, часто содержащей включения биотита, плагиоклаза, амфибола, клино- и ортопироксена. На внешней стороне коронарных структур может появляться амфибол или высоконатровый диопсид (до омфацита, в габброноритах карьера Куру-Ваара и м. Гридин) с многочисленными включениями глиноземистой шпинели. Иногда гранатовая кайма отсутствует, и коронарные структуры имеют двухслойное строение.

Одновременное присутствие в метаморфизованных габброноритах БП неизменных магматических минералов, новообразованных метаморфических минералов в составе реакционных структур, и участков, полностью сложенных метаморфическими минералами, свидетельствует о том, что равновесие во время метаморфизма достигалось лишь локально. С целью минимизации ошибки определения P-T-параметров формирования коронарных структур, для расчетов использовались контактирующие участки минералов корон, на основании предположения об их максимальной равновесности.

Результаты расчетов условий образования гранатсодержащих коронарных структур (Рисунок 5) показывают, что P-T-параметры метаморфических преобразований габброноритов широко варьировали в пределах БП. Минимальные значения (P=6-7 кбар, T=550-650°C) условий формирования амфибол-гранатовых кайм получены для габброидов северо-западной части провинции (г. Иванова и оз. Тованд), характерной чертой которых является отсутствие в составе кайм глиноземистой шпинели, выполняющей многочисленные мелкие включения в амфиболе и плагиоклазе в габброноритах восточной части БП. Максимальные P-T-условия метаморфизма (P=12-18 кбар, T=660°C) установлены для габброноритов карьера Куру-Ваара и района с. Гридино (результаты этого исследования и литературные данные: Сердюк, 2013; Мельник, 2015; Pechuk, Morgunova, 2014). Отличительной чертой габброноритов карьера Куру-Ваара и района с. Гридино является присутствие в составе коронарных структур омфацита. Условия метаморфизма остальных тел были близки, они занимают на диаграмме промежуточное положение (Рисунок 6).

Таким образом, результаты расчетов P-T-параметров условий метаморфизма габброноритов БП, с которым связано формирование гранатсодержащих коронарных структур, показали наличие зональности (Рисунок 6), выраженной в увеличении давления от 6 кбар в западной части БП (вблизи границы с Карельской провинцией) до 12 кбар и более в восточной части провинции (территориально максимально близкой к ядру Лапландско-Кольского орогена).

**4. Дайки габброноритов с возрастом 2.45 млрд лет в Карельской и Беломорской провинциях, кристаллизовались в близких малоглубинных условиях свидетельства, что эти провинции к началу палеопротерозоя представляли единый блок консолидированной архейской коры. Высокобарический метаморфизм и фрагментация даек габброноритов Беломорской части этого блока были связаны с его переработкой в Лапландско-Кольском коллизионном орогене в конце палеопротерозоя.**

Изучение особенностей состава, строения и условий формирования палеопротерозойских коронитовых метагабброноритов Беломорской провинции и сопоставление их с палеопротерозойскими габброноритами КП позволило выявить следующие черты сходства и отличия: (1) Палеопротерозойские (2.45 млрд лет) габбронориты Карельской и Беломорской провинций имеют близкие возраст и геохимические и изотопные характеристики, что предполагает сходство условий генерации первичных расплавов и их последующей коровой эволюции и подтверждает высказанное ранее предположение о принадлежности габброноритов Фенноскандинавского щита к единой крупной палеопротерозойской магматической провинции (Шарков и др., 1997; Kulikov et al., 2010; Mitrofanov et al., 2013). (2) Особенности морфологии тел палеопротерозойских габброноритов Карельской и Беломорской провинций, характер их соотношения с вмещающими архейскими комплексами - наличие прямолинейных секущих контактов, ярко выраженные зоны закалки - свидетельствуют о том, что внедрение и остывание расплавов в пределах обеих структур происходило в условиях холодной жесткой рамы. Сходство структурных особенностей пород зон закалки в телах габброноритов Карельской и Беломорской провинций позволяет сделать вывод о том, что кристаллизация *in situ* в БП также, как и в КП, происходила в малоглубинных условиях. (3) Изучение соотношений и состава магматических минералов (не подвергшихся изменениям в Карельской провинции и реликтовых в Беломорской) показало, что кристаллизация расплавов происходила в близких условиях. Для высокомагнезиальных габброноритов КП фиксируется три стадии кристаллизации расплавов: (1) Ol+Cr-Spl в промежуточных камерах при  $T > 1250^{\circ}\text{C}$ ; (2) высокомагнезиальных пироксенов при  $T > 1150^{\circ}\text{C}$  и  $P > 4$  кбар; (3) кристаллизация *in situ* при  $P = 2-4$  кбар и  $T < 1150^{\circ}\text{C}$ . Для высокомагнезиальных габброноритов БП удастся распознать первые два этапа кристаллизации расплавов – информация о них сохраняется в реликтах первичных минералов. (1) Кристаллизация Ol+Cr-Spl при  $T > 1200^{\circ}\text{C}$ . (2) Орх+Срх при  $T = 1100-1200$ ,  $P > 4.5$  кбар. Кристаллизация *in situ* в габброноритах БП фиксируется формированием минералов

основной массы в породах краевых частей тел и зон закалки. Однако в связи с интенсивными метаморфическими преобразованиями пород Р-Т-условия данного этапа не известны. (4) Существенные различия наблюдаются в степени метаморфических преобразований габброноритов. В отличие от КП, где метаморфические преобразования не превышали условий эпидот-амфиболитовой фации и были проявлены локально, в БП они достигали высокобарных условий – от амфиболитовой до эклогитовой (Травин, Козлова, 2005; Володичев, 2008; Козловский, Аранович, 2010; Мельник, 2015) фации. Возраст метаморфизма габброноритов БП по данным разных исследователей составляет около 1.9 млрд лет (Скублов и др., 2011, 2013; Мельник, 2015; Balagansky et al., 2015 и др.). Установленная зональность метаморфических преобразований габброноритов БП в совокупности с данными об их возрасте хорошо согласуется с моделью переработки пород БП в ходе коллизии при формировании Лапландско-Кольского орогена (Балаганский, 2002; Daly et al., 2006). Согласно этой модели, в период 2.0-1.9 млрд лет назад Беломорская провинция входила в состав Лапландско-Кольского орогена (ЛКО), являясь его юго-западным форландом. Габбронориты КП в указанный период не испытали регионального высокобарного метаморфизма.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Палеопротерозойские (2.45 млрд лет) габбронориты Карельской и Беломорской провинций имеют близкие состав и возраст, что предполагает сходство условий генерации первичных расплавов и их последующей коровой эволюции. Результаты исследований показали, что последовательность и Р-Т-условия кристаллизации магматических расплавов в габброноритах Карельской и Беломорской провинций близки.

Габбронориты Карельской и Беломорской провинций контрастно различаются по степени метаморфической переработки. Выявлена латеральная зональность условий формирования гранатсодержащих коронарных структур в габброноритах БП – от 6 кбар вблизи границы с Карельской провинцией до 12 кбар в восточной части провинции (территориально максимально близкой к ядру ЛКО). Эта зональность, вероятно, значительно сложнее, но для ее точной оценки необходимы более детальные исследования метаморфических преобразований в палеопротерозойских базитах БП. Тем не менее, имеющиеся данные свидетельствуют о том, что формирование высокобарных минеральных парагенезисов, наблюдаемых в габброноритах БП, было связано с поздними (1.93-1.85 млрд лет) метаморфическими преобразованиями

пород, магматическая кристаллизация которых (2.45 млрд лет) происходила в верхней коре.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что на момент внедрения и кристаллизации габброноритов (2.45 млрд лет) условия в пределах Карельской и Беломорской структур восточной части Фенноскандинавского щита были близки. Существенные отличия (морфология тел, метаморфические преобразования) габброноритов Карельской и Беломорской провинций, возникли после кристаллизации расплавов и связаны с переработкой пород БП в ходе становления палеопротерозойского Лапландского-Кольского коллизионного орогена.

## ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### В изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России:

**Егорова, С.В.** Палеопротерозойские габбронориты северной части Беломорского подвижного пояса – новые данные о минеральном составе и химизме / С.В. Егорова, А.В. Степанова // Труды Карельского научного центра РАН. – 2012. – № 3. – С. 56-64.

Balagansky, V. Archean Kuru-Vaara eclogites in the northern Belomorian Province, Fennoscandian Shield: crustal architecture, timing and tectonic implications / V. Balagansky, A. Shchipansky, A. Slabunov, I. Gorbunov, S. Mudruk, M. Sidorov, P. Azimov, **S. Egorova**, A. Stepanova, A. Voloshin // International Geology Review. – 2015. – Vol. 57. – N 11-12. – P. 1543-1565.

Stepanova, A.V. The 2.31 Ga mafic dykes in the Karelian Craton, Eastern Fennoscandian Shield: U-Pb age, source characteristics and implications to the breakup processes / A.V. Stepanova, E.B. Salnikova, A.V. Samsonov, **S.V. Egorova**, Y.O. Larionova, V.S. Stepanov // Precambrian Research. – 2015. – V. 259. – P. 43-57.

### Материалы конференций:

**Егорова, С. В.** Палеопротерозойские габбронориты Беломорского подвижного пояса: петрология, тектонические обстановки формирования / С.В. Егорова, А.В. Степанова // Материалы 48 тектонического совещания. – Москва, 2016. – С. 166-168.

**Егорова, С.В.** Особенности геохимии пироксенов из палеопротерозойских метагабброноритов Беломорского подвижного пояса / С.В. Егорова // Петрография магматических и метаморфических горных пород. Материалы XII Всероссийского петрографического совещания. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2015. – С. 416-417.

**Егорова С.В.** Палеопротерозойские габбронориты центрального и западного Беломорья - особенности химизма, минерального состава и

условий кристаллизации / С.В. Егорова // Актуальные проблемы геологии докембрия, геофизики и геоэкологии. Материалы XXVI молодежной научной школы-конференции, посвященной памяти члена-корреспондента АН СССР К.О. Кратца и академика РАН Ф. П. Митрофанова, 2015. – С. 16–19.

**Егорова, С.В.** Палеопротерозойские габбронориты восточной части Фенноскандинавского щита: РТ-условия кристаллизации / С.В. Егорова // Материалы VII Сибирской научно-практической конференции молодых ученых по наукам о Земле. – Новосибирск, 2014. – С. 20-21.

**Егорова, С.В.** Геохимическая характеристика пироксенов из палеопротерозойских габброноритов восточной части Фенноскандинавского щита / С.В. Егорова // Актуальные проблемы геологии докембрия, геофизики и геоэкологии. Материалы 25-й молодежной научной конференции, посвященной 100-летию К. О. Кратца. – Санкт-Петербург, 2014. – С.67-71

Slabunov A., Balagansky V., Shchipansky A., Stepanova A., **Egorova S.**, Xiaoli Li, Berezhnaya N., Presnyakov S. U-Pb ages of zircons and baddeleyites from coronitic gabbronorite cross-cutting the Archean Salma eclogite-bearing complex, Belomorian Province, Fennoscandian Shield (first results) // 3d International conference «Precambrian Continental Growth & Tectonism» (PCGT–2013). Abstracts. Jhansi. India. 2013. P. 176-177.

**Егорова, S.V.** Magmatic mineral assemblages of eclogitized and not eclogitized Paleoproterozoic gabbronorites from the Belomorian province, Eastern Fennoscandian shield /S.V. Egorova//EGU General Assembly 2012.

**Егорова, С.В.** Палеопротерозойские габбронориты северной и центральной частей БПП-корреляция процессов магматической кристаллизации и метаморфических преобразований / С.В. Егорова // Материалы 22 научной конференции молодых ученых «Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента». Сыктывкар. 2012. - С. 61-63.

**Егорова, С. В.** Магматические минеральные ассоциации габброноритов Беломорского подвижного пояса, как индикаторы Р-Т-параметров кристаллизации/ С.В. Егорова, А.В. Степанова // Проблемы плейт- и плюм- тектоники в докембрии. Материалы III Российской конференции по проблемам геологии и геодинамики докембрия. СПб., 2011. - С. 54-57

**Егорова, С. В.** Палеопротерозойские габброиды Беломорского подвижного пояса: последовательность и Р-Т-параметры кристаллизации / С.В. Егорова, А.В. Степанова // Материалы XXII молодежной научной конференции, посвященной памяти К.О. Кратца, Апатиты, 2011. - С.110-112.