

УДК 552.48 + 551.2 (470.22)

## ГЕОЛОГО-ПЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЭКЛОГИТОВ НА УЧАСТКЕ САМЫЛИНО (БЕЛОМОРСКАЯ ПРОВИНЦИЯ ФЕННОСКАНДИНАВСКОГО ЩИТА)

**О. А. Максимов**

*Институт геологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия*

Получены новые геологические и петрологические данные о докембрийских эклогитах Гридинского меланжа Беломорской провинции. Детальные петрологические исследования позволили установить следующие особенности метаморфизма пород на участке Самылино: 1) ранней стадии высокобарного метаморфизма соответствуют обособленные включения диопсид-плаггиоклазовых симплектитов-I в центральной части крупных монокристаллов омфацита (содержание жадеита (Jd) 30–35 %) и ядерной части граната; 2) стадия эклогитового метаморфизма представлена омфацитом из матрикса породы и включениями омфацита (Jd 32–36 %) в промежуточной зоне граната (содержание пирропа (Prp) 27–30 %, альмандина (Alm) 48–52 %, гроссуляра (Grs) 19–23 %); 3) поздний метаморфизм амфиболитовой фации связан с формированием узкой краевой зоны граната (Prp 22–24 %, Alm 52–56 %, Grs 22 %) и клинопироксен-плаггиоклазовых симплектитов-II с роговой обманкой и плаггиоклазом в матриксе породы. Эти данные могут указывать на двукратное проявление эклогитового метаморфизма в базитах района села Гридино.

Ключевые слова: эклогит; метаморфизм; докембрий; Беломорская провинция; Фенноскандинавский щит.

### **O. A. Maksimov. GEOLOGY AND PETROLOGY OF ECLOGITES IN THE SAMYLINO AREA (BELOMORIAN PROVINCE OF THE FENNOSCANDIAN SHIELD)**

New geological and petrological data are presented for the Precambrian eclogites of Gridino area, Belomorian Province. The detailed optical and microprobe studies of eclogites in the Samylino locality allow distinguishing the essential features of eclogitic metamorphism in this area. The early stage of high-pressure metamorphism in this tholeiitic series mafic rocks is recognized by the presence of diopside-plagioclase symplectitic inclusions (symplectites I) in the central parts of large omphacite (jadeite 30–35 %) crystals and in the cores of zoned garnet grains. The eclogitic metamorphism is distinguished by omphacite in the matrix and its inclusions in the garnet (pyrope 27–30 %, almandin 48–52 %, grossular 19–23 %) inner zones. The high-pressure amphibolite facies overprinting is represented by garnet rims (pyrope 22–24 %, almandin 52–56 %, grossular 22 %) and diopside-plagioclase ( $\pm$  hornblende) symplectites II. These data suggest a two-stage character of eclogitic metamorphism in Gridino area.

Keywords: eclogite; metamorphism; Precambrian; Belomorian Province; Fennoscandian Shield.

## Введение

В процессе изучения Беломорской провинции Фенноскандинавского щита были обнаружены эклогиты и продукты их ретроградного преобразования [Володичев и др., 2004]. В районе с. Гридино установлены два эпизода эклогитового метаморфизма: архейский в телах основных пород и палеопротерозойский в дайках габброноритов [Володичев и др., 2004]. Эклогиты, в основной массе ретроградно преобразованные, являются преимущественной составляющей обломочного компонента Гридинского меланжа и крайне важным объектом для понимания характера геодинамических процессов в раннем докембрии. Несмотря на длительную историю изучения этих пород, у исследователей нет единого мнения о времени и кратности проявления эклогитового метаморфизма в указанном регионе. Геологические и геохронологические данные свидетельствуют о высокобарном метаморфическом событии в архейское время [Володичев и др., 2004; Li et al., 2015]. Однако в последнее время многие ученые изотопно-геохимическими и минералогическими данными обосновывают исключительно палеопротерозойский возраст, около 1,9 млрд лет, всех эклогитов Гридинской структуры [Brown, Johnson, 2018 и ссылки в ней].

При детальном изучении эклогитов Гридинской структуры автором в ряде тел были обнаружены особенности микроструктур и минерального состава пород, которые, возможно, являются признаками двукратного проявления эклогитового метаморфизма в одном теле базитов. Результаты детального изучения наиболее представительного объекта в районе озера Самылино (рис. 1, врезка) приводятся в этой работе.

## Геологическое положение

Район озера Самылино расположен в северо-западной части Гридинского эклогитсодержащего меланжа (в 3 км на запад от села Гридино). Здесь в гранитоидном матриксе, представленном биотитовыми гнейсами ( $\pm$  гранат, роговая обманка), наблюдается скопление крупных (6×8 м) сложенных эклогитами тел. Зона их концентрации протягивается в северо-восточном направлении. По геолого-петрологическим характеристикам тела являются типичными составляющими Гридинского эклогитсодержащего меланжа. Это один из лучших после острова Столбиха объектов, где эклогиты, несмотря на неоднократные ретроградные преобразования, характеризуются относитель-

но хорошо сохранившейся гранат-омфацитовой минеральной ассоциацией.

Детально изучено одно из тел этой группы – обнажение GR170 (рис. 1). Оно имеет зональное строение: в его центральной части сохраняются участки мелкозернистых эклогитов с преобладающей гранат-омфацитовой минеральной ассоциацией. По петрохимическим характеристикам они отвечают базитам нормального ряда и относятся к породам толеитовой серии. В краевых частях тела выделяются участки эклогитов с высоким содержанием граната, зона преобразованных эклогитов с диопсид-плагиоклазовыми симплектитами и зона с высоким содержанием роговой обманки. Последняя отражает проявление позднего метаморфизма амфиболитовой фации в периферической зоне тела. Вмещающие гнейсы на контакте с телом содержат мелкие ксенолиты амфиболитов с реликтами трансформированных диопсид-плагиоклазовых симплектитов.

Внутреннюю структуру тела пронизывает серия секущих жил гранодиоритов мощностью от 5–10 до 25–50 см общего северо-восточного простирания. Жилы не выходят за пределы тела.

## Методы исследования

В работе использовалась подборка из 15 образцов центральной и краевой частей тела эклогитов, жил гранодиоритов и вмещающих гнейсов участка Самылино. Для детальных петрографических исследований было выбрано три наиболее представительных образца из центральной массивной части эклогитов (рис. 1).

Изучение состава породообразующих минералов проводилось в Аналитическом центре ИГ КарНЦ РАН с использованием сканирующего электронного микроскопа VEGA II LSH (фирмы Tescan) с энергодисперсионным анализатором INCA Energy 350 ЦКП КарНЦ РАН. При расчетах формул минералов и их миналов использовались программы Make\_Mineral.19 для MS Excel (Курдюков Е., Абрамов С., ИГЕМ РАН, 2004), TPF 7.0 (ИЭМ РАН) и Minal3 (Доливо-Добровольский Д. В., ИГГД РАН).

Символы минералов в тексте даны по: [Kretz, 1983]. Кроме того, Jd – содержание жадеитового компонента в клинопироксене.

## Петрология

Эклогиты из центральной части тела в меньшей степени были подвержены наложенным преобразованиям амфиболитовой фации. Омфацит и гранат вместе с небольшим количест-

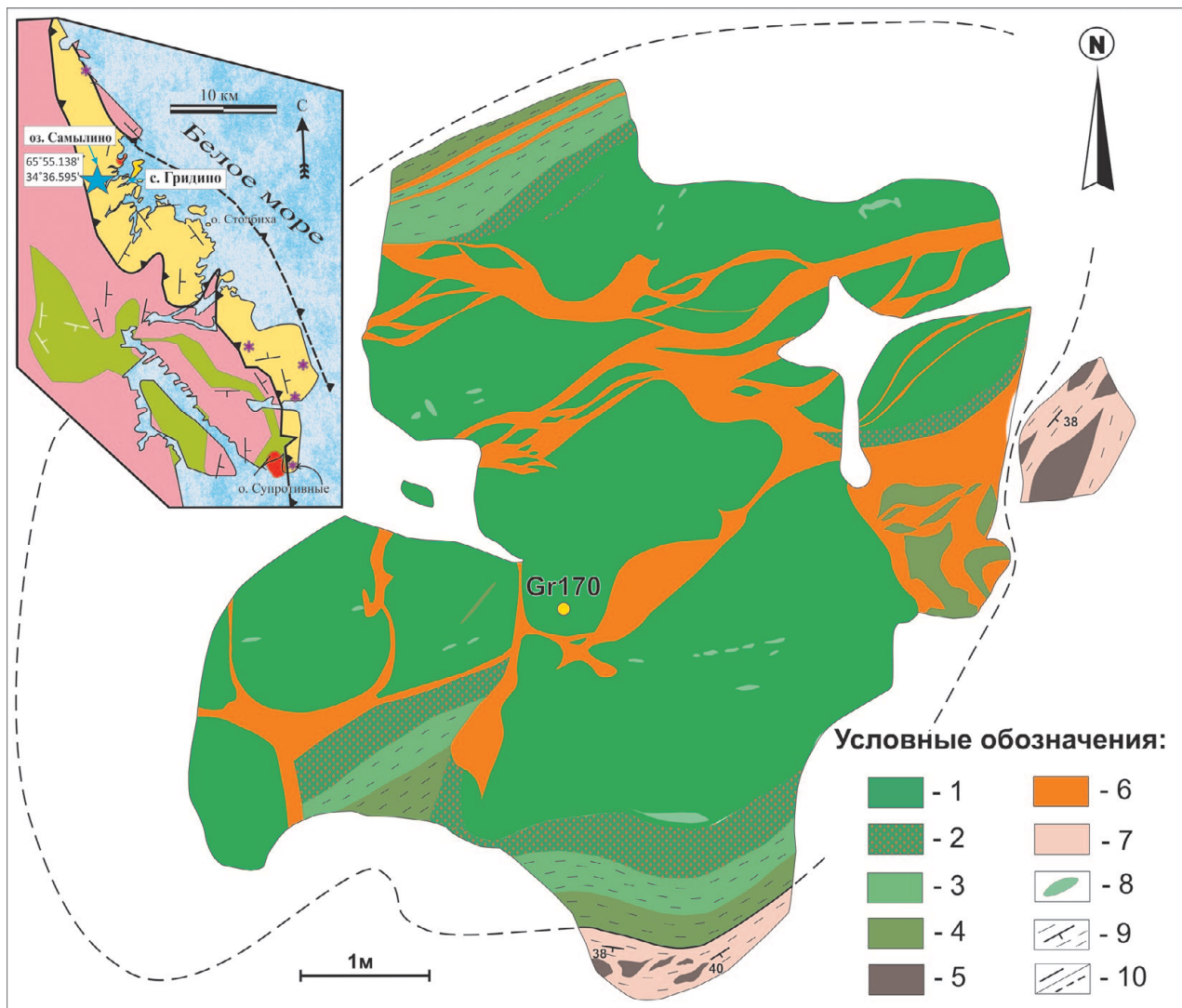


Рис. 1. Схема геологического строения участка Самылино (сост. О. А. Максимов и И. А. Горбунов); на врезке: схема геологического строения района с. Гридино (автор А. И. Слабунов) и расположение участка Самылино. 1 – эклогиты; 2 – эклогиты с высоким содержанием граната; 3 – Grt-Di-Pl породы; 4 – гранатовые амфиболиты; 5 – амфиболиты; 6 – гранодиориты; 7 – биотитовые гнейсы; 8 – лейкократовые Di-Pl обособления; 9 – элементы залегания и сланцеватость; 10 – линия контакта тела и вмещающих гнейсов: видимая/предполагаемая

Fig. 1. Scheme showing the geological structure of Samylyno locality (by O. A. Maksimov and I. A. Gorbunov); Inset: scheme showing the geological structure of the Gridino area (after A. I. Slabunov) and the location of Samylyno locality. 1 – eclogite; 2 – garnet-rich eclogite; 3 – Grt-Di-Pl rocks; 4 – garnet amphibolite; 5 – amphibolites; 6 – granodiorites; 7 – biotite gneisses; 8 – leucocratic Di-Pl aggregates; 9 – planar features and schistosity; 10 – body-host gneiss contact line: visible/assumed

вом кварца являются главными породообразующими минералами, составляющими до 65 % объема породы. Второстепенные и акцессорные минералы представлены Di и Pl в симплектитовых срастаниях, а также Hbl, Zo, Rt.

По морфологии зерен и особенностям химического состава клинопироксена можно выделить четыре разновидности в породе: включения диопсид-плаггиоклазовых срастаний в омфациите и гранате, поздние диопсид-плаггиоклазовые симплектиты в матрице породы и две разновидности омфациита. Вариации жадеитового компонента в клинопироксене – от 8

до 40 %, содержание эгирина не превышает 10 % (рис. 2). Среди зерен омфациита можно выделить две основные группы: 1) омфациит с Jd 30–35 % распространен в матрице породы, 2) с Jd 32–36 % – в качестве включений в гранате. В крупных кристаллах омфациита основной массы отмечается резкое снижение жадеитового компонента в краевой части (Jd от 35 до 8–9 %) при обрастании их диопсид-плаггиоклазовыми ( $\pm$ Hbl) симплектитами на границе зерен. В ряде зерен омфациита (рис. 3, а) по периферии кристаллов образуются хорошо выраженные типичные переходы от омфациита

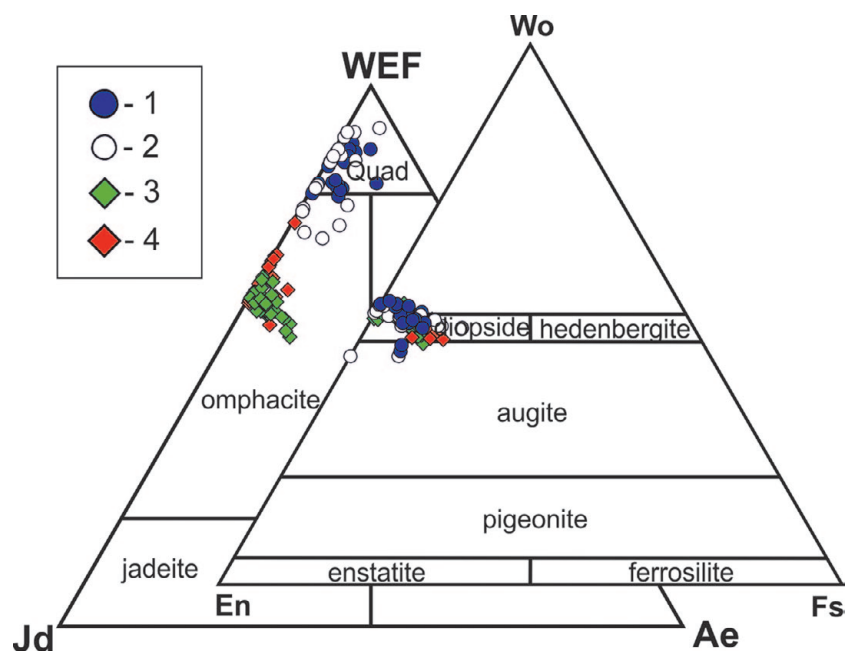


Рис. 2. Диаграммы состава пироксена из эклогитов участка Самылино: 1 – включения Di-Pl симплектитов-I в зернах омфациита и граната; 2 – поздние Di-Pl симплектиты-II; 3 – омфациит-II в матриксе породы, 4 – омфациит-II включения в гранате

Fig. 2. Compositional diagrams for pyroxene from the Samyino eclogites: 1 – Di-Pl symplectite-I inclusions in Omp and Grt grains; 2 – Di-Pl symplectite-II; 3 – omphacite second generation; 4 – Omp-II inclusions in garnet

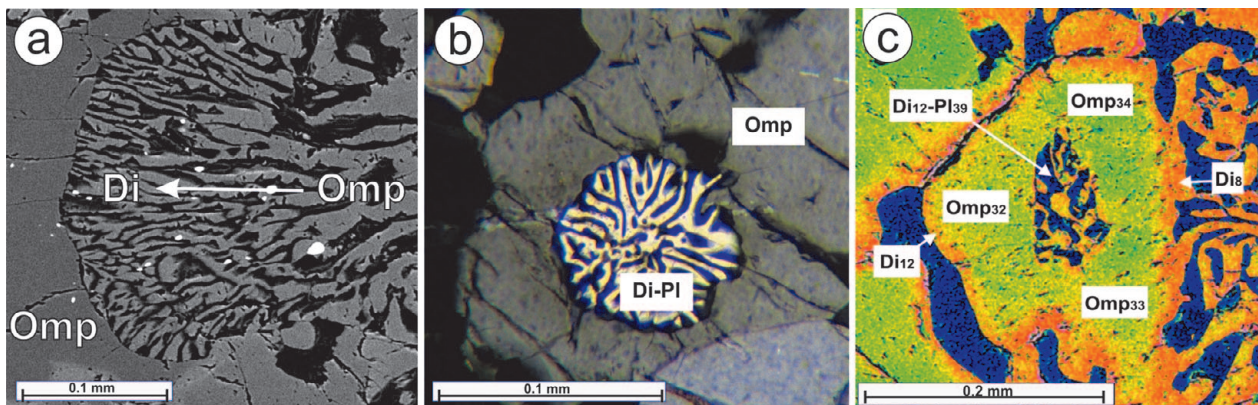


Рис. 3. Симплектиты с переходами от омфациитов к натрийсодержащим диопсидам (а), изображение в обратно-рассеянных электронах; включения дактилитовых симплектитов в Омр (b), изображение в Х николях; включения дактилитовых симплектитов в Омр и снижение содержания Jd к краевой части кристаллов Омр с новообразованиями Di-Pl симплектитов второй генерации (с), цветокодированное изображение в обратно-рассеянных электронах

Fig. 3. Symplectites with the transition from omphacite to sodium-bearing diopside (a), backscattered electron image; dactylitic symplectite inclusions in Omp (b); dactylitic symplectite inclusions in Omp and decline in Jd concentration toward the Omp crystal margin with the neogenesis of Di-Pl symplectites second generation (c), color-coded backscattered electron image

тов в центре зерна к симплектитам в краевой части, с постепенным уменьшением размеров ламелл PI и одновременным снижением содержания жадеита в клинопироксене, что указывает на снижение давлений их образования [Joanny et al., 1991].

В образцах из центральной части обнажения (рис. 1) обнаружены петрографические особенности, которые ранее не отмечались в породах Гридинского меланжа.

Среди основной массы породы выделяется группа монокристаллов омфациита (Jd до

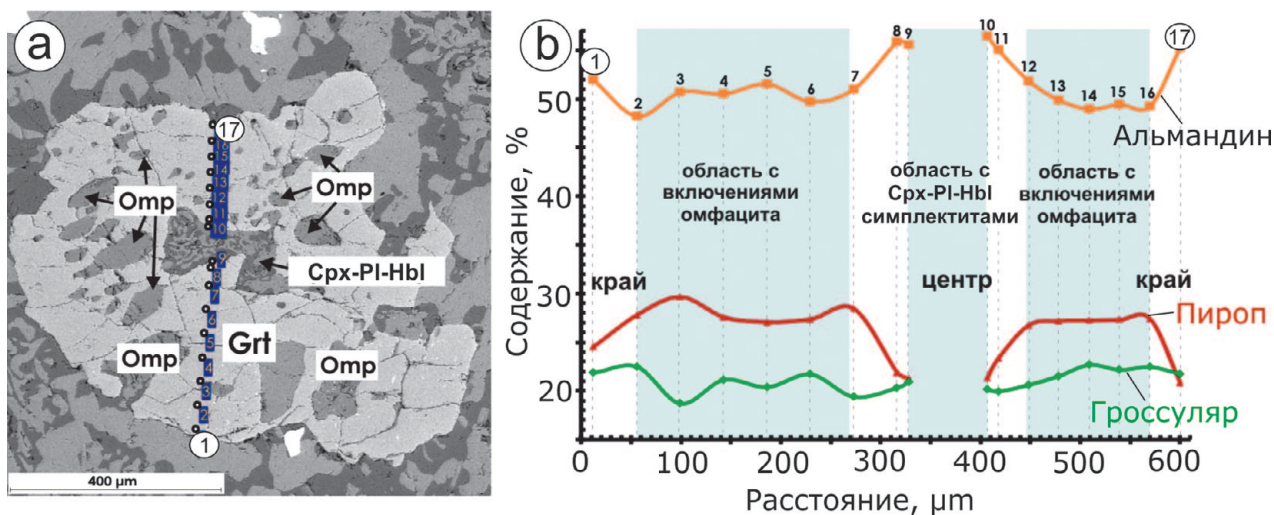


Рис. 4. Гранат, обогащенный включениями Omp в краевой зоне и включениями Di-Pl симплектитов с Hbl в центральной части (а), изображение в обратно-рассеянных электронах; диаграмма изменения модалого состава гранатов по профилю 1–17 (b)

Fig. 4. Garnet enriched with Omp inclusions in the marginal zone and inclusions of Di-Pl symplectites with Hbl in the central zone (a), backscattered electron image; diagram of variations in the modal composition of garnet along profile 1–17 (b)

30–35 %). В центральной части этих зерен находятся включения диопсид-плаггиоклазовых симплектитов ранней генерации (рис. 3, b). Содержание жадеитового компонента в диопсидах симплектитов составляет 6–14 %, анортитового компонента в плаггиоклазах – от 20–25 до 40 %. Данные включения имеют ряд особенностей:

1) Прослеживается резкая граница на контакте внешней зоны включений симплектитов с более поздним омфацитом (рис. 3, b).

2) Некоторые включения сложены двумя-тремя разноориентированными агрегатами симплектитов, что диагностируется по характеру угасания при изучении их под микроскопом.

3) Содержание жадеитового компонента в омфаците с включениями, как и в омфаците без включений основной массы породы, снижается к краевой части кристаллов с новообразованиями диопсид-плаггиоклазовых симплектитов новой генерации (рис. 3, c).

Зерна граната отличаются сложным зональным строением и высокой концентрацией минеральных включений. В ряде случаев в центральной части гранат содержит полиминеральные включения диопсид-плаггиоклазовых ( $\pm$ Hbl) симплектитов (рис. 4, а). В промежуточной и краевой части граната широко распространены включения более поздней генерации омфацита (Jd до 32–36 %), которые по времени формирования сопоставимы с крупными омфацитами из основной массы породы. Узкая краевая зона в гранатах с внешней стороны окаймляется роговой обманкой, плаггиоклазом и кварцем. Изменения в химическом составе граната кор-

релируются с характером минеральных включений. Установлены следующие вариации состава граната в миналах (от центра к краю): пироба 20–25 % – 27–30 % – 22–24 %, альмандина 52–58 % – 48–52 % – 52–56 %, гроссуляра 20–22 % – 19–23 % – 22 % (рис. 4, b). Такая закономерность смены минеральных включений и химического состава для гранатов в эклогитах Гридинского комплекса обнаружена впервые.

Плаггиоклаз представлен олигоклаз-андезином, содержание анортитового компонента варьирует от 20 до 47 %. Можно выделить два типа плаггиоклаза: 1) келифитовый тип, образующий короны вместе с амфиболом вокруг граната; 2) симплектитовый тип – червеобразные агрегаты плаггиоклаза с клинопироксеном. Образуются при распаде Na-содержащего клинопироксена.

В породе содержится несколько разновидностей амфибола. К первой группе относятся редкие включения амфибола в центральной части граната. Они совместно с ранними диопсид-плаггиоклазовыми симплектитами образуют полиминеральные срастания. Амфиболы данной группы по составу соответствуют эдениту и паргаситу. Отдельные включения амфибола в краевой части граната представлены паргаситом. Амфиболы второй группы широко представлены в породе в качестве каем образований у граната и диопсид-плаггиоклазовых симплектитов в матрице породы. Амфиболы относятся к кальциевой серии, в основном это паргасит и магниевая роговая обманка, с незначительной долей чермакита.

В омфациите и гранате присутствуют многочисленные включения мелких зерен рутила. В зоне эклогитов с высоким содержанием граната (рис. 1) широко распространены рутил, титанит и ильменит. Многие зерна рутила обрастают каймами титанита. Ильменит представлен крупными (до 0,5 мм) зернами среди клинопироксен-гранатовой массы.

### Обсуждение результатов и заключение

По установленным петрологическим особенностям строения породы можно предположить следующую смену минеральных ассоциаций:

1) По первичному омфацииту-I образуются диопсид-плагиоклазовые симплектиты-I, реликты которых сохранились в центральных частях граната и монокристаллах крупных омфациитов.

2) Следующему этапу соответствуют включения омфациита в краевой зоне граната и крупные монокристаллы омфациита в матриксе породы.

3) На поздней стадии метаморфических преобразований произошла декомпрессия пород с формированием диопсид-плагиоклазовых симплектитов-II и амфибола.

Идеализированная схема смены минералов выглядит следующим образом:  $Omp-I \rightarrow (Di-Pl)-I \rightarrow Omp-II \rightarrow (Di-Pl)-II$ .

Полученные данные свидетельствуют, что в раннедокембрийском Гридинском эклогитсодержащем комплексе Беломорской провинции Фенноскандинавского щита был не один этап эклогитизации. Подобные находки обнаружены и в фанерозойском эклогитовом комплексе Центральных Альп, где в одном образце эклогита по двум генерациям граната Lu-Hf методом изотопного датирования были установлены две возрастные генерации эклогитов (332,7 и 38 млн лет), соответствующие двум орогеническим циклам в истории развития этого комплекса [Herwartz et al., 2011].

Таким образом, в образцах эклогитов участка Самылино отмечены петрологические особенности, которые, возможно, являются признаками двукратного проявления процессов эклогитового метаморфизма. 1. Включения обособленных зерен диопсид-плагиоклазовых симплектитов в монокристаллах омфациита являются продуктом декомпрессионного преобразования омфациитов эклогитового метаморфизма первого этапа с последующим их обрастанием генерацией омфациита второго этапа эклогитизации. Омфациит второй гене-

рации выступает в роли минерала-контейнера, который изолирует диопсид-плагиоклазовое ядро от внешней зоны. 2. Специфическая зональность в зернах граната: в центральной части установлены включения диопсид-плагиоклазовых симплектитов; в промежуточной части распространены включения омфациитов. Изменение состава минеральных включений соотносится с вариациями химического состава в гранате от центра к краю.

Полученные данные свидетельствуют о необходимости специального изучения этого уникального явления с аргументированным определением PT-условий метаморфизма и изотопного возраста этапов эклогитового метаморфизма. Подобные исследования с приобретением новой информации о проявлении эклогитового метаморфизма необходимы для более обоснованной интерпретации особенностей геодинамических процессов в раннем докембрии.

*Автор выражает благодарность О. И. Володичеву и А. И. Слабунову (Институт геологии КарНЦ РАН) за помощь в работе над статьей.*

*Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (Институт геологии КарНЦ РАН) и при финансовой поддержке РФФИ, грант 16-05-01031.*

### Литература

- Володичев О. И., Слабунов А. И., Бибикина Е. В., Конилов А. Н., Кузенко Т. И. Архейские эклогиты Беломорского подвижного пояса (Балтийский щит) // Петрология. 2004. Т. 12, № 6. С. 609–631.
- Brown M., Johnson T. Secular change in metamorphism and the onset of global plate tectonics // American Mineralogist. 2018. Vol. 103. P. 181–196. doi: 10.2138/am-2018-6166
- Herwartz D., Nagel T. J., Munker C., Scherer E. E., Froitzheim N. Tracing two orogenic cycles in one eclogite sample by Lu-Hf garnet chronometry // Nature Geoscience. 2011. Vol. 4. 178–183. doi: 10.1038/ngeo1060
- Joanny V., Van Roermund H., Lardeaux J. M. The clinopyroxene/plagioclase symplectite in retrograde eclogites: a potential geothermobarometer // Geol. Rundsch. 1991. Vol. 80. P. 303–320.
- Kretz R. Symbols for rock-forming mineral // Amer. Miner. 1983. Vol. 68. P. 277–279.
- Li X. L., Zhang L. F., Wei C. J., & Slabunov A. I. Metamorphic PT path and zircon U-Pb dating of Archean eclogite association in Gridino complex, Belomorian province, Russia // Precambrian Res. 2015. Vol. 268. P. 74–96. doi: 10.1016/j.precamres.2015.07.009

Поступила в редакцию 29.12.2018

## References

Brown M., Johnson T. Secular change in metamorphism and the onset of global plate tectonics. *Am. Mineral.* 2018. Vol. 103. P. 181–196. doi: 10.2138/am-2018-6166

Herwartz D., Nagel T. J., Munker C., Scherer E. E., Froitzheim N. Tracing two orogenic cycles in one eclogite sample by Lu-Hf garnet chronometry. *Nature Geosci.* 2011. Vol. 4. P. 178–183. doi: 10.1038/ngeo1060

Joanny V., Van Roermund H., Lardeaux J. M. The clinopyroxene/plagioclase symplectite in retrograde eclogites: a potential geothermobarometer. *Geol. Rundsch.* 1991. Vol. 80. P. 303–320.

Kretz R. Symbols for rock-forming mineral. *Am. Mineral.* 1983. Vol. 68. P. 277–279.

Li X. L., Zhang L. F., Wei C. J., Slabunov A. I. Metamorphic PT path and zircon U-Pb dating of Archean eclogite association in Gridino complex, Belomorian province, Russia. *Precambrian Res.* 2015. Vol. 268. P. 74–96. doi: 10.1016/j.precamres.2015.07.009

Volodichev O. I., Slabunov A. I., Bibikova E. V., Koniolov A. N., Kuzenko T. I. Archean eclogites in the Belomorian Mobile Belt, Baltic Shield. *Petrology.* 2004. Vol. 12, no. 6. P. 540–560.

Received December 29, 2018

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

### Максимов Олег Александрович

младший научный сотрудник  
Институт геологии КарНЦ РАН,  
Федеральный исследовательский центр  
«Карельский научный центр РАН»  
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,  
Россия, 185910  
эл. почта: olemaximov@mail.ru  
тел.: 89210115129

## CONTRIBUTOR:

### Maksimov, Oleg

Institute of Geology, Karelian Research Centre,  
Russian Academy of Sciences  
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia  
e-mail: olemaximov@mail.ru  
tel.: +79210015129