

УДК 552.3: 552.113 (470.21)

ПАЛЕОПРОТЕРОЗОЙСКИЕ ГАББРОНОРИТЫ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ БЕЛОМОРСКОГО ПОДВИЖНОГО ПОЯСА – НОВЫЕ ДАННЫЕ О МИНЕРАЛЬНОМ СОСТАВЕ И ХИМИЗМЕ

С. В. Егорова, А. В. Степанова

Институт геологии Карельского научного центра РАН

Впервые приводятся результаты детального минералого-петрографического исследования палеопротерозойских габброноритов северного Беломорья. Установлены их близкие петрохимические и минералого-петрографические характеристики с изученными ранее палеопротерозойскими габброноритами в центральной и южной частях БПП.

К л ю ч е в ы е с л о в а : габбронорит, палеопротерозой, Беломорский подвижный пояс.

S. V. Yegorova, A. V. Stepanova. PALAEOPROTEROZOIC GABBRONORITES IN THE NORTH OF THE BELOMORIAN MOBILE BELT – NEW DATA ON THE MINERAL COMPOSITION AND CHEMISM

Results of a detailed mineralogical-petrographical study of Palaeoproterozoic gabbronorites in the northern White Sea region are reported for the first time. Their petrochemical, mineralogical and petrographical characteristics were found to be similar to those of previously studied Palaeoproterozoic gabbronorites in the central and southern parts of the Belomorian mobile belt.

Key words : gabbronorite, Palaeoproterozoic, Belomorian mobile belt.

Введение

Комплекс лерцолитов-габброноритов (КЛГН) [Степанов, 1981] объединяет в своем составе раннепалеопротерозойские (~2,4 млрд лет) интрузивные породы, широко распространенные в Беломорском подвижном поясе и являющиеся типичными представителями друзитов Беломорья [Степанов, 1981; Степанов, Слабунов, 1989]. На протяжении многих лет этот комплекс является предметом исследований и дискуссий, в которых обсуждаются состав объединенных в этом комплексе пород, время их формирования, условия и время метаморфических преобразований [Балаганский

и др., 1997; Шарков и др., 1997, 2004; Lobach-Zhuchenko et al., 1998; Криволицкая и др., 2010а, б; Stepanova, Stepanov, 2010]. Изменения минерального состава палеопротерозойских интрузивных пород (вплоть до полной перекристаллизации), обусловленные дискретно проявленным в БПП палеопротерозойским высокобарным метаморфизмом, существенно осложняют проведение региональных корреляций и определение условий формирования внутриплитных мафических комплексов в пределах этой структуры.

Породы КЛГН характеризуются весьма специфическими особенностями минерального состава. С одной стороны, они во многих случаях

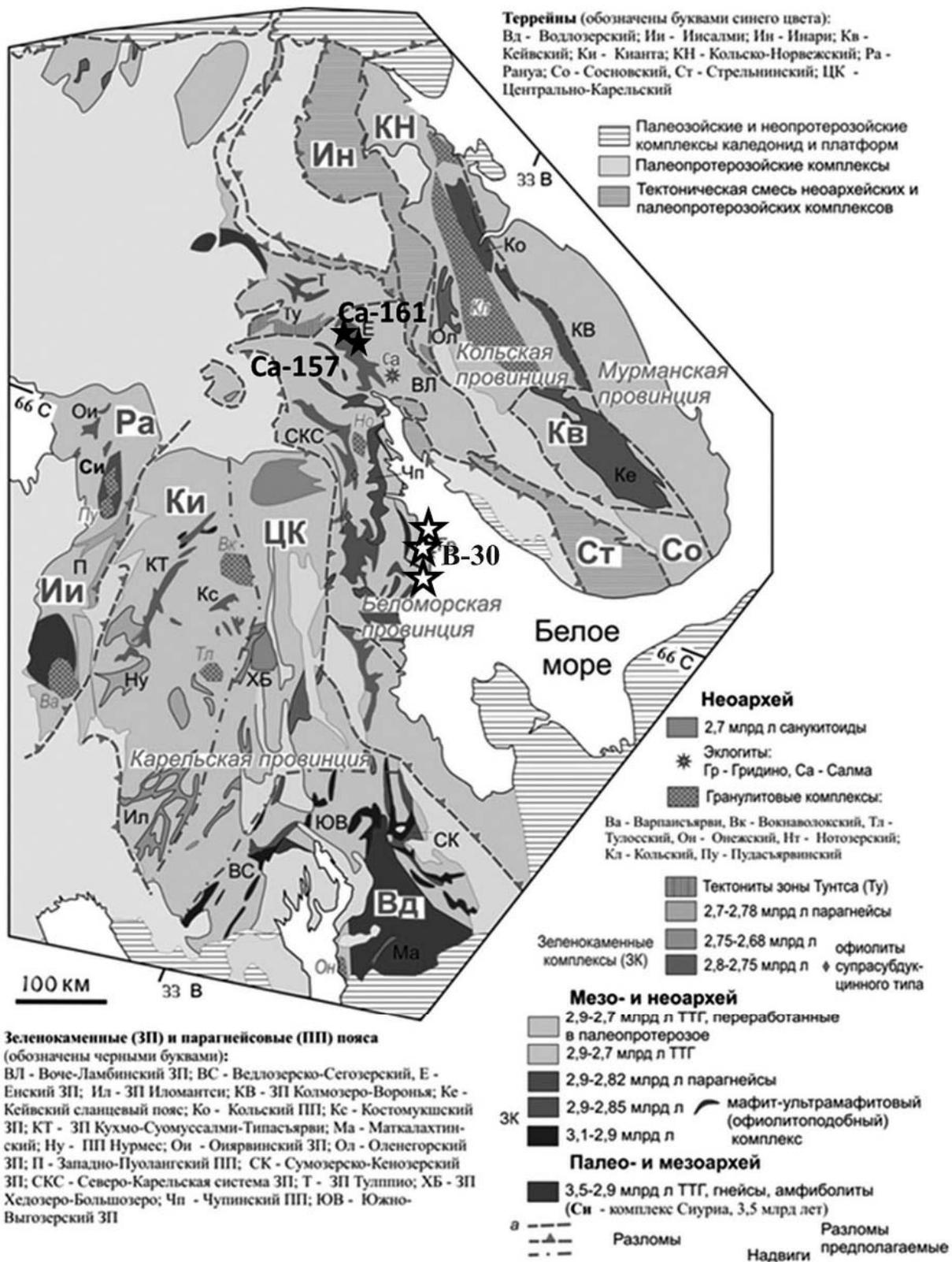


Рис. 1. Главные структуры архея восточной части Фенноскандинавского щита с дополнениями [Слабунов, 2008]. Положение изученных объектов показано черными звездочками. Белыми звездочками указаны местоположения габроноритов в районе с. Гридино

сохраняют первичные магматические минеральные ассоциации, а с другой – имеют широкий спектр вторичных изменений, вплоть до эклогитизации (в районе с. Гридино) [Володичев и др., 2004]. Оценка условий формирования и последовательности кристаллизации магматических минералов в габброноритах является важным моментом как в оценке состава и условий кристаллизации первичных магматических ассоциаций, так и в корреляции метаморфических процессов в разных сегментах БПП. До недавнего времени раннепалеопротерозойские габброиды в северной части БПП рассматривались в составе единого комплекса друзитов [Пожиленко и др., 2002], и северная граница распространения габброидов КЛГН оставалась неопределенной. В работах последних лет ряд массивов охарактеризован геохимически, проведена Nd систематика слагающих их пород, определен возраст высокомагнезиальных габброноритов (2410 млн лет) [Криволуцкая и др., 2010а, б]. В данной работе приведена минералого-петрографическая характеристика палеопротерозойских габброноритов северной части БПП, прежде всего их первично-магматических минеральных ассоциаций, которая до недавнего времени оставалась слабой.

Геологическое положение

В северной части БПП в Енском районе Мурманской области (в СЗ и ЮВ частях оз. Каложного) были изучены оливиновые габбронориты (рис. 1), сохраняющие первичные минералы и структуры. В карьере на блочный камень в 3,5 км к СВ от п. Ена (ЮВ берег оз. Каложного, обн. Са-157) вскрыты оливиновые габбронориты. Породы представлены преимущественно средне-, мелкозернистыми разновидностями, сохраняющими реликты магматических структур и минералов. В краевой части тела обнажаются мелкозернистые массивные оливиновые габбронориты, контакт с вмещающими амфиболитами тектонизирован.

Более интенсивно метаморфизованное дайкообразное тело метагабброноритов (обн. Са-161) протяженностью около 70 м установлено на западном берегу в северной части оз. Каложного. В центральной части тела сохраняются среднезернистые массивные габбронориты, а краевые части тела сложены среднезернистыми слабо огнеисованными биотитсодержащими амфиболитами. Контакт с вмещающими биотитовыми гнейсами тектонизирован, габбронориты в зоне контакта преобразованы в биотит-амфиболовые сланцы.

Минералого-петрографическая характеристика пород

Габбронориты ЮВ части оз. Каложного сложены ортопироксеном (до 40 %), авгитом (до 25 %), основным плагиоклазом (15–20 %), оливином (менее 5 %) и единичными зернами магнетита и имеют габбровые с элементами кумулятивных структуры (рис. 2). Детальное петрографическое изучение рассматриваемых пород позволило установить включения раннего оливина (Ol_1), хромшпинели (Cr₁) и мелких лейст плагиоклаза (Pl_1) в крупных идиоморфных зернах ортопироксена, краевые части которых иногда имеют буровато-коричневую окраску. Одновременно с ортопироксеном или чуть позже кристаллизовались призматической формы зерна авгита ($Wo_{30}En_{50}Fs_5$) с Jd до 7 %. В них также установлены включения зерен раннего оливина и хромшпинели (Cr#55). Одновременно с лейстовидными бесцветными и буроватыми зернами основного плагиоклаза и ксеноморфным оливином (Ol_2) кристаллизовался высоко-Са пироксен ($Wo_{40}En_{42}Fs_5$) с содержанием Jd до 8 %. Эти клинопироксены характеризуются наличием многочисленных мелких включений титаномагнетита, что, вероятно, обуславливает их темно-коричневую в проходящем свете окраску. На завершающих стадиях кристаллизовался интеркумуляусный плагиоклаз, характеризующийся интенсивной бурой окраской.

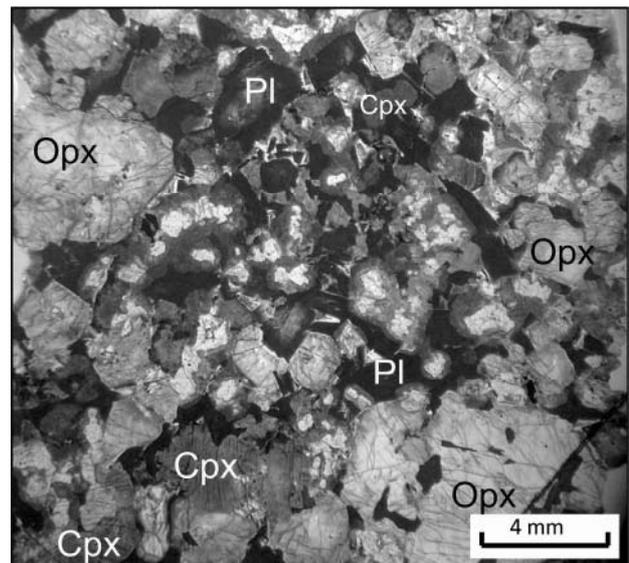


Рис. 2. Среднезернистый оливиновый габбронорит в проходящем свете, обр. Са-157-1

Исходя из результатов минералого-петрографического изучения габброноритов восточной части оз. Каложного можно заключить, что последовательность ликвидусных ассоциаций в них была следующей: $(Ol_1+Cr_1) \rightarrow (Pl_1+Orx_1+Cr_1) \rightarrow (Cr_2+Ol_2+Pl_2)$.

Аналогичная последовательность смены ликвидусных ассоциаций была установлена и для оливиновых габброноритов КЛГН в центральном и южном Беломорье [Егорова, Степанова, 2011].

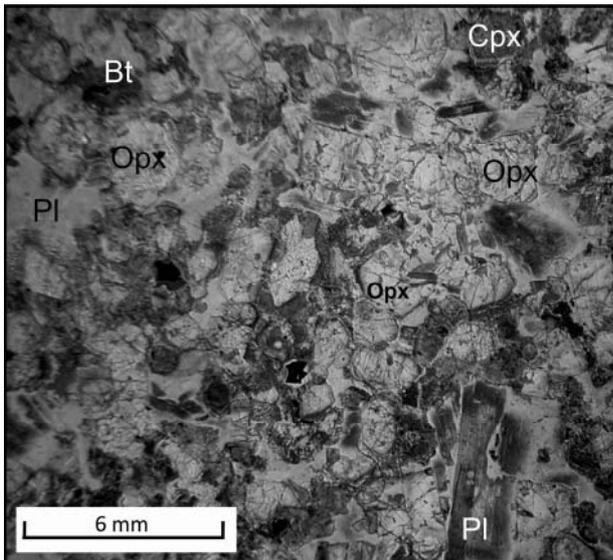


Рис. 3. Среднезернистый оливиновый габбронорит, обр. Ca-161-2

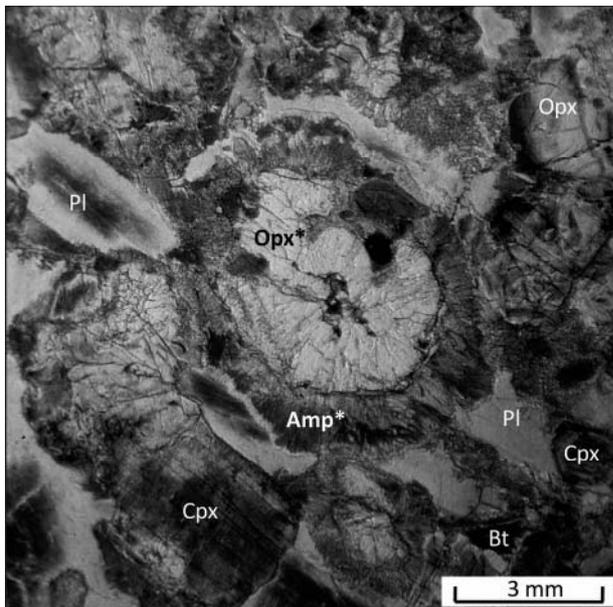


Рис. 4. Формирование ортопироксен-амфиболовой каймы на границе оливин-плагиоклаз, обр. Ca-161-2
Примечание. Здесь и далее минерал со звездочкой (Orp*) – минерал, образовавшийся на постмагматическом этапе формирования пород

Габбронориты СЗ части оз. Каложного (рис. 3) сложены ортопироксеном (до 40 %), основным плагиоклазом (около 30 %) и оливином. Содержание оливина в породах не превышает первых процентов, и он пред-

ставлен мелкими реликтовыми ксеноморфными зернами. Ортопироксен образует крупные идиоморфные зерна, довольно часто содержащие мелкие лейсты плагиоклаза. Для габброноритов этого тела характерно довольно высокое содержание биотита, который формирует не только широкие каймы вокруг ильменита, но и мелкие зерна в интерстициях лейст плагиоклаза. В целом породы этого тела имеют типичные для габброноритов КЛГН петрографические характеристики.

Одна из типоморфных характеристик комплекса лерцолитов-габброноритов – широкие многослойные каймы на границе оливин-плагиоклаз – прекрасно проявлена в этих породах (рис. 4). Пироксен-амфиболовые каймы образуют концентрически-зональные постройки и иногда практически полностью замещают первичные минералы.

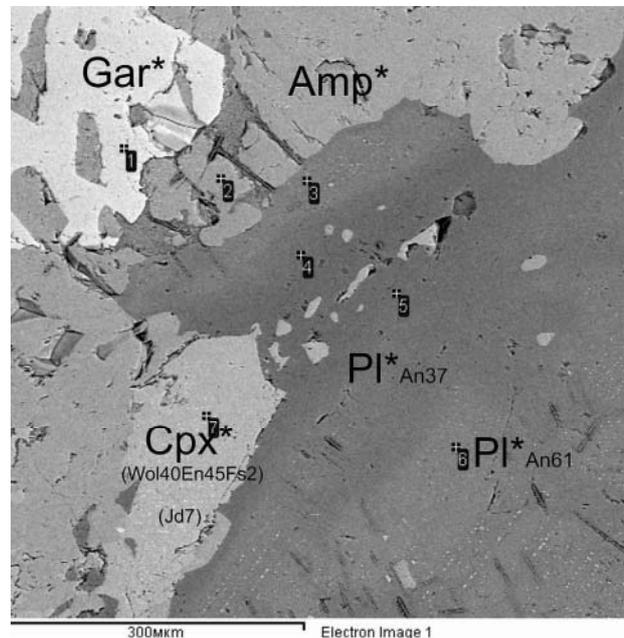


Рис. 5. Деталь строения друзитовой каймы на границе плагиоклаза и ортопироксена в отраженных электронах, обр. Ca-157-2

Вторичные преобразования в изученных габброноритах проявлены в формировании орто- и клинопироксеновых, гранатовых и амфиболовых кайм (рис. 5), которые формируются на границах оливина и плагиоклаза, иногда практически полностью замещая первичные минералы. Ранние друзитовые каймы, сложенные ортопироксеном и амфиболом, формируются вокруг зерен оливина (рис. 6, А). Гранат-амфибол-клинопироксеновые каймы образованы в результате поздних метаморфических преобразований. Гранаты в каймах имеют следующий состав:

(Alm₁₇₋₃₀Prp₄₄₋₅₅Grs₁₄₋₁₅). В габброноритах района п. Енский установлено замещение плагиоклаза глиноземистой шпинелью (рис. 6, Б), что отличает их от габброноритов района с. Гридино и о. Супротивные, где подобные явления не известны. Вероятно, именно присутствие мелких зерен шпинели обуславливает коричневую окраску плагиоклаза. Кроме того, в изученных

габброноритах северной части БПП не установлены кислые плагиоклазы, которые в районе с. Гридино парагенетичны гранату и метаморфическому клинопироксену с высоким содержанием жадеитовой компоненты. Еще одно важное отличие габброноритов Енского района – отсутствие высокожадеитовых клинопироксенов среди метаморфических минералов (табл. 1).

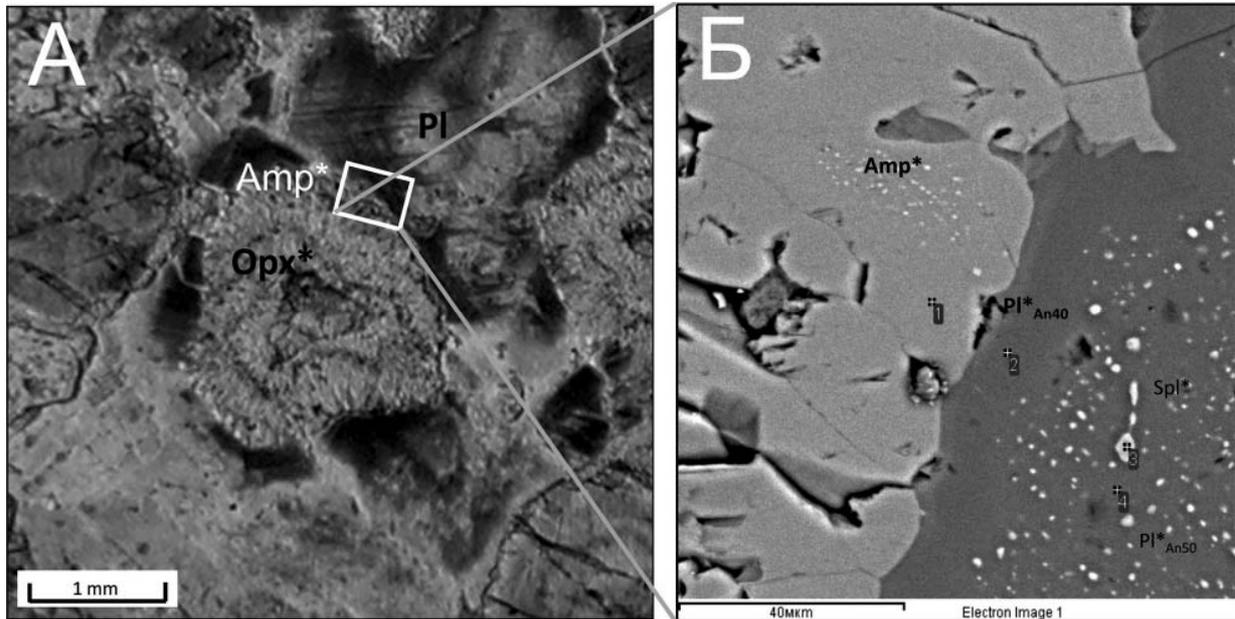


Рис. 6. А. Псевдоморфное замещение оливина ортопироксеном, обр. Са-157-2. Б. Граница амфиболовой каймы и плагиоклаза в отраженных электронах, замещение плагиоклаза глиноземистой шпинелью

Таблица 1. Химические составы минералов габброноритов район п. Ена, обр. Са-157-2

№ точки	Ортопироксен					Плагиоклаз			Клинопироксен		Гранат
	Крупные бесцветные идиоморфные зерна		Бурые зерна		Кайма	Центр зерна	Центр зерна	Край зерна	Идиоморфное бесцветное зерно	Бурое ксеноморфное зерно	
SiO ₂	55,07	55,2	54,02	54,31	54,84	50,35	52,18	59,08	53,45	53,81	40,59
TiO ₂											
Al ₂ O ₃	1,25	1,44	1,75	2,37	3,06	30,52	31,37	25,88	2,46	2,99	22,87
Cr ₂ O ₃	0,55								0,75	0,77	
FeO	9,33	10,36	12,24	13,17	13,82				6,62	4,49	17,67
MnO											0,61
MgO	30,89	30,41	28,46	28,73	28,17				18,46	15,78	12,18
CaO	1,83	1,8	2			12,61	12,73	7,56	16,29	21,73	7
Na ₂ O			54,02	54,31		4,56	4,68	7,4	0,9	1,13	
K ₂ O											
Σ	98,92	99,21	98,47	98,58		98,04	100,96	99,92	98,93	100,7	100,92
An						39,62	40,02	63,98			
Ab						60,38	59,98	36,02			
Ort						0	0	0			
Wo	1,17	1,31	1,34	0	0				29,9	39,32	
En	81,63	80,34	76,50	75,63	73,48				50,4	42,48	
Fs	12,59	14,14	17,11	19,43	20,20				9,2	4,80	
Jd									6,4	7,25	
Ac									0	0,67	
Aug									93,6	92,09	
Grs											18,25
Alm											26,91
Prp											44,70

Таблица 2. Химический состав габброноритов БПП

Компонент	1	2	3	4	5
	Са-157-1, п. Ёна	Са-157-2, п. Ёна	Са-161-1, оз. Каложное	Са-161-2, оз. Каложное	В-30, с. Гридино
SiO ₂	49,90	49,40	51,90	52,20	48,10
TiO ₂	0,40	0,40	0,61	0,65	0,57
Al ₂ O ₃	8,91	8,91	10,32	9,80	8,82
Fe ₂ O ₃	0,87	1,19	0,70	0,91	1,10
FeO	9,48	9,19	8,90	8,90	9,40
MnO	0,28	0,19	0,17	0,17	0,188
MgO	20,51	20,80	16,03	15,90	20,90
CaO	6,90	6,89	6,70	7,04	8,22
Na ₂ O	1,28	0,92	2,14	1,98	1,20
K ₂ O	0,33	0,31	0,94	0,92	0,32
P ₂ O ₅	0,10	0,10	0,14	0,15	0,07
H ₂ O	0,02	0,03	0,08	0,05	0,07
ппп	0,70	1,15	1,10	0,99	0,00
Cr	1861	1778	1451	1423	
Ni	711	743	632	640	
Co	87	95	79	79	
V	235	196	246	230	

Примечание. 1–4 – палеопротерозойские габбронориты северной части БПП (р-н п. Енский); 5 – эклгитизированные габбронориты КЛГН центральной части БПП (восточная окраина с. Гридино) [Володичев и др., 2008].

Петрохимия

Изученные габбронориты в северной части БПП характеризуются типичными для комплекса лерцолитов-габброноритов высокими содержаниями MgO (до 20,5 %), Cr (до 1860 ppm) и Ni (до 740 ppm) на фоне повышенных концентраций SiO₂ (49,9 %), низких TiO₂ (0,40 %), FeO* (10,2%) и CaO (6,9%). Габбронориты западного берега оз. Каложного характеризуются несколько более низкими содержаниями MgO (до 16%), Cr и Ni, несколько более высокими концентрациями Ca, Al, K и Ti (табл. 2). Оба массива по петрохимическим характеристикам являются типичными для комплекса лерцолитов-габброноритов.

Обсуждение результатов

Проведенные исследования показали, что палеопротерозойские габбронориты северной части БПП (район п. Енский Мурманской области) по петрографическим характеристикам и особенностям химизма пород являются аналогами пород КЛГН возраста ~2,4 млрд лет, образования которого широко распространены в центральной и южной частях БПП. Это вместе с полученными в последние годы определениями возраста высокомагнезиальных габброноритов в северной части БПП [Криволицкая и др., 2010а, б] позволяет расширить ареал КЛГН на всю площадь Беломорского подвижного пояса. Аналогии в последо-

вательности кристаллизации магматических минералов и их составах свидетельствуют о близких условиях становления интрузивов в пределах БПП в раннем палеопротерозое, а различия в составе и условиях формирования метаморфических парагенезисов в породах единого магматического комплекса предполагают дискретность проявления палеопротерозойских высокобарных метаморфических процессов в Беломорье.

В настоящее время мафические образования возраста ~2,5–2,4 млрд лет, близкие по своим геохимическим характеристикам к высокомагнезиальным габброноритам БПП, установлены во всех архейских провинциях восточной части Фенноскандинавского щита – в Карельской, Кольской и Мурманской [Puhtel et al., 1997; Vuollo, Nuhma, 2005; Арзамасцев и др., 2009; Kulikov et al., 2010]. Они являются компонентами Балтийской [Шарков и др., 1997], или сумийской [Kulikov et al., 2010], крупной магматической провинции, возраст которой оценивается в 2,5–2,4 млрд лет, а формирование связано с подъемом мантийного плюма (Виндибелт) [Куликов и др., 2006]. Плюмовая модель формирования этой крупной магматической провинции согласуется и с составом входящих в нее пород. Мафические магматические комплексы самого раннего палеопротерозойского этапа проявлений внутриплитного магматизма в восточной части Фенноскандинавского щита характеризуются высокими содержаниями MgO (12–18 вес. %), при повышенных SiO₂ (до 53 вес. %). Кроме того, для них типично обогащение крупноионными литофильными и редкоземельными элементами и деплетированность высокозарядными элементами. Такие геохимические характеристики пород, вероятно, являются следствием высоких степеней плавления мантийного субстрата и последующей контаминации исходных расплавов коровым материалом.

Существующие различия минерального состава пород, относимых к этой крупной магматической провинции на Фенноскандинавском щите (в БПП и на кратонах), вероятно, являются отражением различных условий кристаллизации расплавов и последующих постмагматических и метаморфических преобразований [Stepanova, Stepanov, 2010]. Это предположение, однако, в настоящее время недостаточно обосновано данными по РТ-параметрам кристаллизации расплавов в разных провинциях Фенноскандинавского щита, а сам вопрос требует дальнейшего изучения.

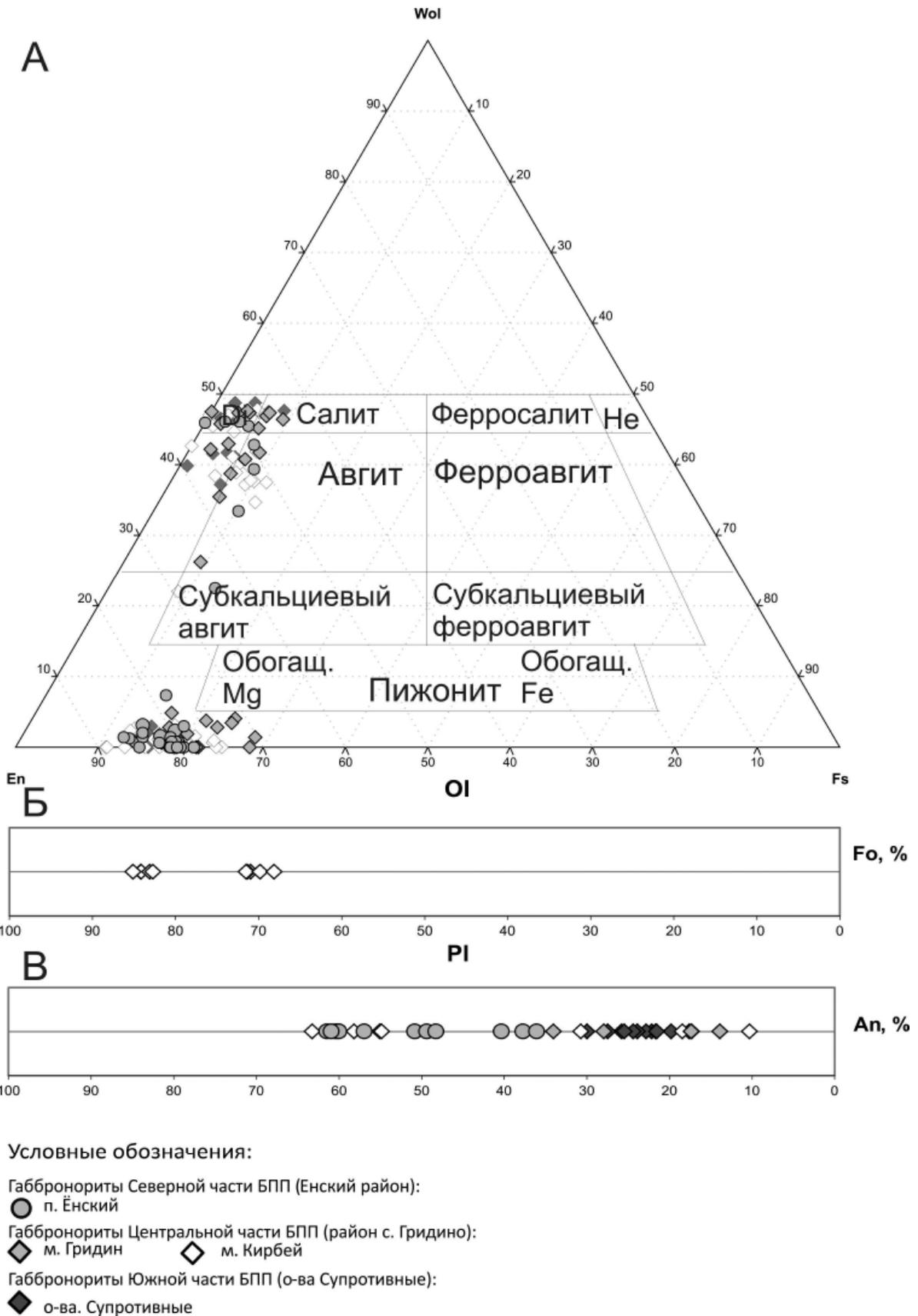


Рис. 7. Вариации составов породообразующих минералов габброноритов северной, центральной и южной частей Беломорского подвижного пояса:

А – пироксенов (классификация дана по: [Rock, 1990]), Б – оливинов, В – плагиоклазов

Заключение

Таким образом, сопоставление палеопротерозойских габброноритов северной части БПП (северная часть БПП, оз. Каложное, Енский район Мурманской области) с изученными ранее палеопротерозойскими габброноритами в центральной и южной частях БПП показало существенное сходство их минералого-петрографических и петрохимических характеристик. Габбронориты центральной и южной частей БПП и северной части БПП аналогичны по составу первично-магматических минералов (рис. 7) и характеризуются близкой последовательностью и составом ликвидусных ассоциаций, что наряду с близким химическим составом и возрастом пород позволяет предполагать сходство условий магмогенерации и принадлежность их к единому раннепалеопротерозойскому (~2,4 млрд лет) магматическому комплексу лерцолитов-габброноритов.

Литература

- Арзамасцев А. А., Федотов Ж. В., Арзамасцева Л. В. Дайковый магматизм северо-восточной части Балтийского щита. СПб.: Наука, 2009. 383 с.
- Балаганский В. В., Кудряшов Н. М., Балашов Ю. А. и др. О возрасте друзитового массива Жемчужный, северо-западное Беломорье: U-Pb изотопные данные и геологические следствия // Геохимия. 1997. № 2. С. 158–168.
- Володичев О. И., Слабунов А. И., Бибикина Е. Б. и др. Архейские эколгиты Беломорского подвижного пояса (Балтийский щит) // Петрология. 2004. Т. 12, № 6. С. 609–631.
- Володичев О. И., Парфенова О. В., Кузенко Т. И. Палеопротерозойские эколгиты Беломорского подвижного пояса (об эколгитизации габбро в дайке комплекса лерцолитов – габбро-норитов) // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 11. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2008. С. 37–61.
- Егорова С. В., Степанова А. В. Магматические минеральные ассоциации габброноритов Беломорского подвижного пояса как индикаторы РТ-параметров кристаллизации // Проблемы плейт- и плюм-тектоники в докембрии. Материалы III Рос. конф. по проблемам геологии и геодинамики докембрия. СПб., 2011. С. 54–57.
- Криволицкая Н. А., Смолькин В. Ф., Сви́рская Н. М. и др. Геохимические особенности массивов друзитового комплекса центральной части Беломорского подвижного пояса: I. Распределение главных и редких элементов в породах // Геохимия. 2010а. № 3. С. 16–44.
- Криволицкая Н. А., Беляцкий Б. В., Смолькин В. Ф. и др. Геохимические особенности массивов друзитового комплекса центральной части Беломорского подвижного пояса: II. Исследование самарий-неодимовой изотопной системы в породах и уран-свинцовой системы в цирконах // Геохимия. 2010б. № 11. С. 1132–1153.
- Куликов В. С., Куликова В. В., Бычкова Я. В. Палеопротерозойский мантийный плюм «Виндибелт» (ЮВ Фенноскандия) // Материалы III Всерос. симпозиума по вулканологии и палеовулканологии «Вулканизм и геодинамика» (5–8 сент. 2006 г., Россия, Республика Бурятия). Улан-Удэ, 2006. С. 645–649.
- Пожиленко В. И., Гавриленко Б. В., Жиров Д. В., Жабин С. В. Геология рудных районов Мурманской области. Апатиты: КНЦ РАН, 2002. 359 с.
- Слабунов А. И. Геология и геодинамика архейских подвижных поясов (на примере Беломорской провинции Фенноскандинавского щита). Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2008. 296 с.
- Степанов В. С. Основной магматизм докембрия западного Беломорья. Л.: Наука, 1981. 216 с.
- Степанов В. С., Слабунов А. И. Амфиболиты и ранние базит-ультрабазиты докембрия Северной Карелии. Л.: Наука, 1989. 175 с.
- Степанов В. С., Степанова А. В. Раннепротерозойский магматизм Северной Карелии: ассоциации магматических комплексов и главные черты эволюции // Материалы междунар. конф. «Рифтогенез, магматизм, металлогения докембрия. Корреляция геологических комплексов Фенноскандии». Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 1999. С. 155–156.
- Шарков Е. В., Красивская И. С., Чистяков А. В. Диспергированный мафит-ультрамафитовый магматизм подвижных зон раннего палеопротерозоя Балтийского щита на примере друзитового (коронитового) комплекса Беломорья // Петрология. 2004. Т. 12, № 10. С. 632–655.
- Шарков Е. В., Смолькин В. Ф., Красивская И. С. Раннепротерозойская магматическая провинция высокомагнезиальных бонинитоподобных пород в восточной части Балтийского щита // Петрология. 1997. Т. 5, № 5. С. 503–522.
- Kulikov V. S., Bychkova Ya. V., Kulikova V. V., Ernst R. The Vetreny Poyas (Windy Belt) subprovince of southeastern Fennoscandia: An essential component of the ca. 2.5–2.4 Ga Sumian large igneous province // Precambrian Research. 2010. Vol. 183, N 3. P. 589–601.
- Lobach-Zhuchenko S. B., Arestova N. A., Chekulaev V. P. et al. Geochemistry and petrology of 2.40–2.45 Ga magmatic rocks in the north-western Belomorian Belt, Fennoscandian Shield, Russia // Precambrian Research. 1998. Vol. 92. P. 223–250.
- Puchtel I. S., Haase K. M., Hofmann A. W. et al. Petrology and geochemistry of crustally contaminated komatiitic basalts from the Vetreny belt, southeastern Baltic Shield: evidence for an early Proterozoic mantle plume beneath rifted Archean continental lithosphere // Geochim. Cosmochim. Acta. 1997. Vol. 63. P. 3579–3595.
- Rock N. M. S. The International Mineralogical Association (IMA/CNMMN) pyroxene nomenclature scheme: computerization and its consequences // Mineral. Petrol. 1990. Vol. 43. P. 99–119.
- Stepanova A., Stepanov V. Paleoproterozoic mafic dyke swarms of the Belomorian Province, eastern

Fennoscandian Shield // Precambrian Research. 2010. Vol. 183. P. 602–616. doi:10.1016/j.precamres.2010.08.016.
Vuollo J., Huhma H. Paleoproterozoic mafic dikes in NE Finland // M. Lehtinen, P. A. Nurmi, O. T. Ramo

(Eds.). Precambrian Geology of Finland – Key to the Evolution of the Fennoscandian Shield. Amsterdam: Elsevier B. V., 2005. P. 195–236.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Егорова Светлана Валерьевна

аспирант
Институт геологии Карельского научного центра РАН
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910

Yegorova, Svetlana

Institute of Geology, Karelian Research Centre, Russian
Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia

Степанова Александра Владимировна

старший научный сотрудник, канд. геол.-минер. наук
Институт геологии Карельского научного центра РАН
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: stepanov@krc.karelia.ru
тел.: (8142) 782753

Stepanova, Alexandra

Institute of Geology, Karelian Research Centre, Russian
Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: stepanov@krc.karelia.ru
tel.: (8142) 782753