

КОРОНИТОВЫЕ ГАББРО БЕЛОМОРСКОГО ПОДВИЖНОГО ПОЯСА*

Комплекс коронитовых габбро (Степанова, 2000, 2004 и др.) объединяет широко распространенные в Западном Беломорье (рис. 1) интрузивные метагабброиды гранат-клинопироксен-плагиоклазового состава, характерной петрографической особенностью которых являются коронитовые (коронарные) структуры. Ранее они рассматривались как петротипические образования комплекса метапорфиров – гранатовых габбро и позднее – гранатовых габбро (Степанов, 1981; Степанов, Слабунов, 1989 и др.). Основанием для объединения коронитовых габбро в составе единого комплекса послужило, прежде всего, сходство петрографического и петрохимического составов пород. По мере изучения менялись представления о границах комплекса, и из его состава были исключены сначала дайки метапорфиров губы Домашней, а позднее гранатосодержащие метадiorиты массива Толстик, а также дайки диоритового состава, секущие Ковдозерский массив (комплекс лерцолитов – габброноритов), дайки коронитовых метагаббро, установленные на островах Илейки и др. Основанием для этого исключения послужили прецизионные геохимические данные и определения изотопного возраста (Bogdanova, Bibikova, 1993; Lobach-Zhuchenko et al., 1998). На этом этапе в составе комплекса были объединены породы основного состава, характерной особенностью которых является присутствие гранатовых кайм, повышенные содержания Fe и Ti.

На основании прямых пересечений с телами комплекса лерцолитов – габброноритов возраст коронитовых габбро определялся как более молодой, чем 2,45 млрд. лет. Это подтверждают и результаты изотопного датирования цирконов из дайки коронитового габбро в районе оз. Боярского, определившие магматическую стадию формирования пород – 2,115 млрд. лет (Степанова и др., 2003).

Новые данные по геологии и геохимии комплекса коронитовых габбро позволяют предполагать, что в его составе объединены геохимически различные и, возможно, разновозрастные образования. В связи с этим целью данной работы является анализ геохимических особенностей пород, объединенных в составе комплекса коронитовых габбро.

Содержания редкоземельных и рассеянных редких элементов в породах определялись методом ICP-MS и методом XRF в аналитической лаборатории Института геологии и геохимии УроРАН, г. Екатеринбург, и в Институте электронной оптики, Университет Оулу, Финляндия. Составы минералов определялись на электроннозондовом микроанализаторе MS-46 Са-

меса в Геологическом институте КНЦ РАН (аналитик Я. А. Пахомовский).

Геология коронитовых габбро

Коронитовые габбро формируют как дайки различной мощности и простираения, так и малые интрузии неправильной формы. В настоящее время нет данных,

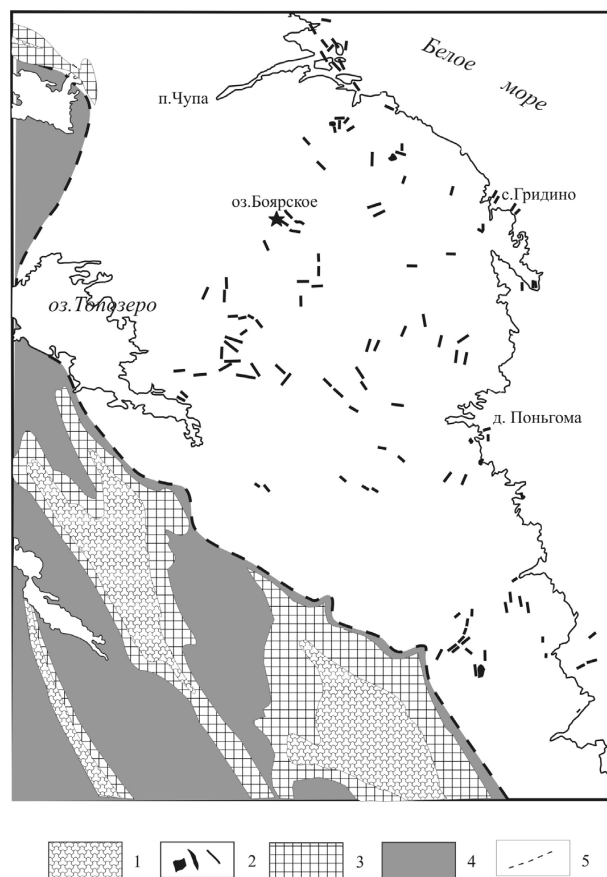


Рис. 1. Схема распространения коронитовых габбро на территории Беломорского подвижного пояса (составлена с использованием данных Ю. Й. Сыстры, А. И. Слабунова):

1 – ятулийские (2,3–2,1 млрд. лет) вулканогенно-осадочные комплексы; 2 – коронитовые габбро Беломорской провинции, показаны вне масштаба; 3 – нерасчлененные сумийские и сариоллийские вулканогенно-осадочные комплексы; 4 – нерасчлененные образования Карельского архейского кратона; 5 – интегральная граница Карельского архейского кратона и Беломорской провинции

* Работа выполнена при поддержке программы № 5 ОНЗ РАН.

свидетельствующих о том, что разные по составу породы локализованы в телах разной формы, поэтому они рассматриваются как компоненты единого магматического комплекса. Сходство минерального и химического состава даек и малых интрузий подтверждает это. Интрузивы коронитовых габбро, изученные в условиях достаточной обнаженности, как правило, имеют

типично дайковую морфологию – резкое превышение длины тел над мощностью, прямые типично интрузивные контакты с зонами закалки, апофизами различной формы и ксенолитами вмещающих пород в эндоконтактовых зонах. Примером даек такого типа являются дайки Избной Луды (район с. Гридино, рис. 2), дайки района д. Поньгома (рис. 3), д. Ковда, р-на оз. Боярско-

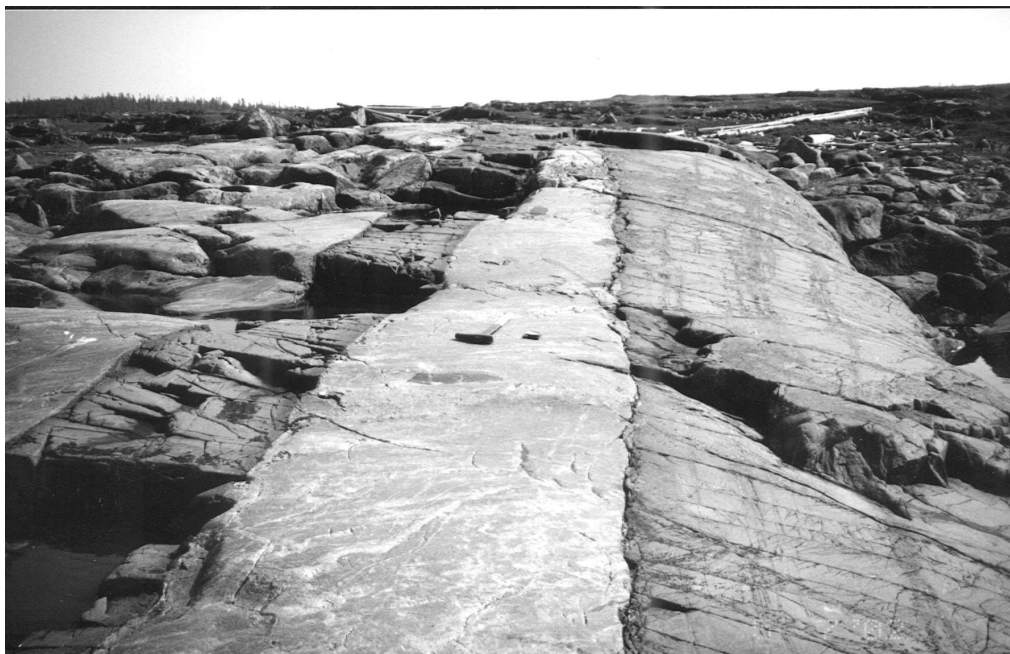


Рис. 2. Раздваивающаяся дайка коронитовых габбро о. Избная Луда



Рис. 3. Геологический план о. Крестовая Луда:

1 – четвертичные отложения; 2 – тектонические нарушения с микробрекциями и псевдотрахилитами; 3 – зона расланцевания; 4 – плагиограниты, тонкие жилки; 5 – коронитовые габбро; 6 – жилы пегматоидного гранита и пегматита; 7 – микроклиновый гранит, тело (а) и жилы (б); 8 – жилы микроклин-плагиоклазового гранита; 9 – жилы аплитовидных и пегматоидных коричневатых гранитов; 10 – дайка габброамфиболита; 11 – плагиогранит; 12 – зона брекчии: «обломки» гиперстеновых гранодиоритов, «цемент» двупироксен-плагиоклазовая порода; 13 – полосчатые гранат-диопсидовые амфиболиты и гранат-диопсид-плагиоклазовые породы; 14 – гиперстеновые гранодиориты, кварцевые диориты массивные (а) и гнейсовидные (б); 15 – элементы залегания

го, оз. Ковдозеро и др. Дайки этого типа практически не оказывают влияния на вмещающие породы, и здесь зоны экзоконтактовых изменений макроскопически не устанавливаются.

Дайки коронитовых габбро иной морфологии установлены в районе с. Гридино на островах Воротная Луда и 2-й Коков. Они характеризуются волнообразными границами (рис. 4, 6), булавовидными и загнутыми апофизами (рис. 5).

Дайки Воротной Луды, отнесенные к комплексу коронитовых габбро, отличаются от других его образований рядом особенностей, проявляющихся как в строении тел, так и в геохимическом составе пород. Общей чертой их морфологии является сложная форма контактов, которая сочетается с относительной выдержанностью даек по простиранию. В дайке (рис. 4, 6) мощностью около 2–3 м контакты имеют волнообразный характер, обеспечивающий многочисленные раздувы и пережимы. При этом мощность дайки в пережимах сокращается приблизительно на 0,2–0,5 м. Обычно в зонах пережимов развиваются поперечные к простиранию дайки зонки амфиболизации, к осевым частям которых приурочены тонкие жилки гранитоидного состава. В северном и южном направлениях мощность тела заметно сокращается. В южной части дайка распадается на ряд линзовидных тел, располагающихся на продолжении друг друга, и, видимо, выклинивается, не достигая южного берега острова. Изменение ее мощности носит постепенный, плавный характер, что, вероятно, отражает условия проявления деформаций. Подтверждением этому является специфический характер экзоконтактовых зон. На фоне резко выраженного секущего положения рассматриваемой дайки по отношению к полосчатости пород рамы отчетливо выделяется примыкающая к ней зона шириной около 20–30 см (рис. 6), в которой ранние структурные элементы гранитогнейсов утрачены, а вновь образованные полностью согласованы с конфигурацией линии контакта и резко несогласны с ранней полосчатостью. Это дает основание предполагать, что наблюдаемая в породах рамы перекристаллизация произошла в результате термального воздействия

магматического расплава и стрессовой ситуации, возникшей после его внедрения. Подтверждением того, что изменения, наблюдаемые в экзоконтактовой зоне, связаны с постинтрузивной фазой становления дайки, является срыв и фрагментирование ее апофиз. Отчетливо проявлены пластическая деформация апофиз в перекристаллизованной зоне экзоконтакта и прямолинейный секущий характер тонких апофиз за пределами этой зоны (рис. 4).

По-видимому, магматический расплав, сформировавший дайку, имел высокий энергетический потенциал, что обусловило наблюдающиеся приконтактовые изменения. Характерно, что они имеют отчетливо выраженный характер и в местах пересечения рассматриваемой дайки с дайкой оливинового габбронорита. Последние на контакте с дайкой коронитовых габбро интенсивно метаморфизованы и приобретают элементы флюидалной текстуры. В флюидалных зонках, сложенных мелкозернистыми породами, наблюдаются овальные фрагменты габброноритов обычной для этого тела зернистости. Мелкие дайки коронитовых габбро, аналогичных по составу дайкам Воротной Луды, в отличие от других коронитовых габбро также имеют волнистые границы, нередко с многочисленными крючковидными апофизами (рис. 5). В ряде случаев по подворотам полосчатости пород рамы на контактах с дайками этого типа фиксируются смещения с левосторонней сдвиговой составляющей. Характерно также формирование тонкой, до 1,0–1,5 см, гранатовой каймы в экзоконтактовой зоне (рис. 5).

Следует отметить, что описанные дайки Воротной Луды могут рассматриваться как петротип выделяемой нами группы и не являются уникальными. Тела близкого состава и морфологии установлены также в районе пролива Великая Салма (о. Покормежный, о. Кемлуды) и других районах БПП.

Во всех изученных магматических узлах (Степанов, 1981, 1990; Степанов, Слабунов, 1989 и др.), где наблюдаются пересечения даек различного состава, дайки коронитовых габбро являются более молодыми по отношению к породам комплекса лерцолитов – габброноритов, но прямые соотношения между дайками

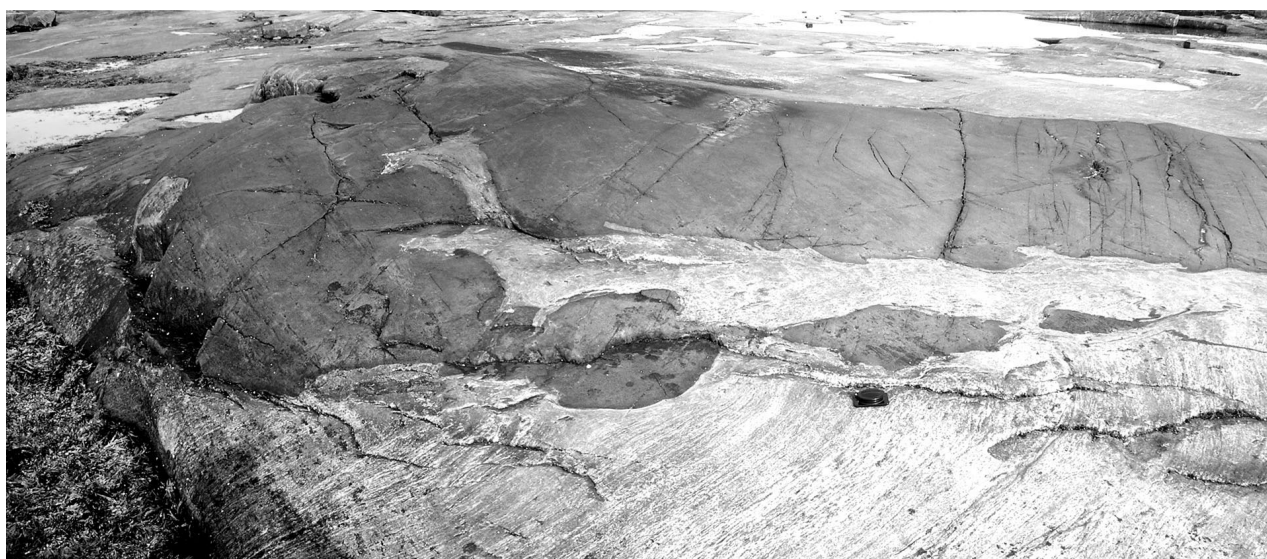


Рис. 4. Булавовидная апофиза и волнообразный характер контакта дайки коронитовых габбро на о. Воротная Луда

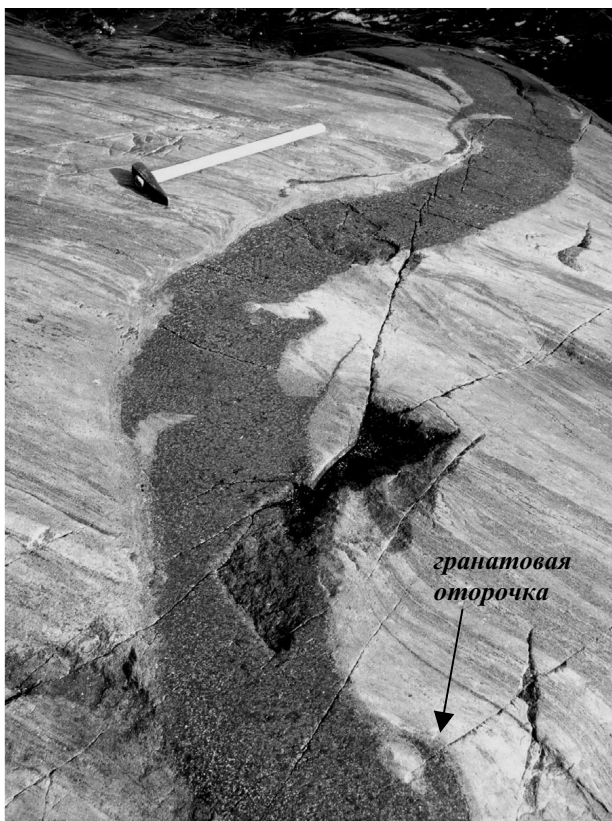


Рис. 5. Дайка коронитовых габбро с загнутыми апофизами и гранатовой оторочкой в южной части о. 2-й Кокков

коронитовых габбро различного состава в настоящее время не установлены.

Таким образом, геологические наблюдения позволяют установить две главные морфологические разновидности даек коронитовых габбро, различающиеся по характеру контактов и степени воздействия на вмещающие породы. Петротипом первой группы являются дайки района оз. Боярского возраста 2,115 млрд. лет, а петротипом второй группы – дайки Воротной Луды.

Петрография

Петрографически коронитовые габбро характеризуются довольно однородным составом. Обычно дайки коронитовых габбро сложены мелкозернистыми и тонкозернистыми гранат-клинопироксен-плагиоклазовыми породами бластогаббровой или бластогабброфитовой структуры.

Характерной особенностью коронитовых габбро является наличие гранатовых кайм на границе зерен клинопироксена и плагиоклаза. Существует два главных типа кайм: тонкие гранатовые каймы, сложенные цепочками идиоморфных зерен граната, располагающимися на границе зерен плагиоклаза и клинопироксена (рис. 7), и каймы сложного строения, внешняя часть которых (со стороны плагиоклаза) сложена гранатом, а внутренняя часть каймы, располагающаяся между гранатом и клинопироксеном, сложена тонким срастанием зерен роговой обманки и кварца (рис. 7). Реакционные метаморфические каймы, близкие по морфологии к наблюдаемым в коронитовых габбро, установлены в метагабброидах разных регионов мира (Griffin, Heier, 1975; Rivers, Mengel, 1988; Jan, Karim, 1995).



Рис. 6. Западный контакт дайки коронитовых габбро на о. Воротная Луда, район с. Гридино

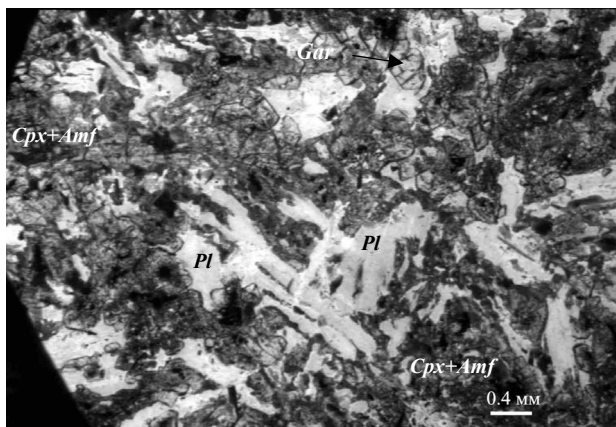


Рис. 7. Реликты офитовой структуры в коронитовых габбро, без анализатора

Коронитовые габбро в ряде случаев сохраняют реликты габбровых и габброофитовых структур (рис. 8). В метапорфритах установлены магматически зональные зерна плагиоклаза. Метаморфическая зональность в плагиоклазе выражена формированием тонкой каймы кислого плагиоклаза An_{5-15} на границе с гранатом. Результаты микрозондового изучения составов минералов коронитовых габбро показали следующее.

Клинопироксен представлен двумя разновидностями: метаморфический клинопироксен II, присутствующий во всех разновидностях пород комплекса, за исключением амфиболитов краевых частей тел, и, вероятно, магматический клинопироксен I, реликты которого найдены лишь в нескольких случаях.

Клинопироксен I установлен в дайках коронитовых габбро в районах д. Ковда и пос. Амбарный. По составу отвечает магнезиальному авгиту (табл. 1, обр. С-1793-6в-2). Реликтовые зерна клинопироксена I замещаются клинопироксеном II.

Клинопироксен II присутствует повсеместно, исключая краевые части тел, сложенные гранатовыми амфиболитами. По составу клинопироксен II отвечает салиту. В случаях, когда в породе присутствуют реликты первичного клинопироксена, клинопироксен II образует каймы вокруг его зерен. Если же клинопироксен II является единственным пироксеном породы, он образует довольно крупные (до 1,5 мм) зерна неправильной формы либо мозаичные скопления мелких (до 0,2 мм) округлых зерен. На границе с плагиоклазом клинопироксен II окружен гранатовой (рис. 7) или амфиболовой каймой либо каймами сложного строения (рис. 8). Зерна клинопироксена II обычно незональны и отличаются низкой степенью идиоморфизма. Составы клинопироксенов коронитовых габбро приведены в табл. 1.

Плагиоклаз распространен во всех разновидностях пород комплекса. В породах с реликтами офитовой структуры чаще всего представлен удлиненными зернами (рис. 7). В породах бластогаббровой либо бластодолеритовой структуры плагиоклаз перекристаллизован и образует агрегаты мелких изометричных зерен. В большинстве случаев зерна плагиоклаза сложно сдвойникованы. В ряде случаев зерна плагиоклаза сохраняют отчетливо проявленную магматическую зональность. Обычно она наблюдается в круп-

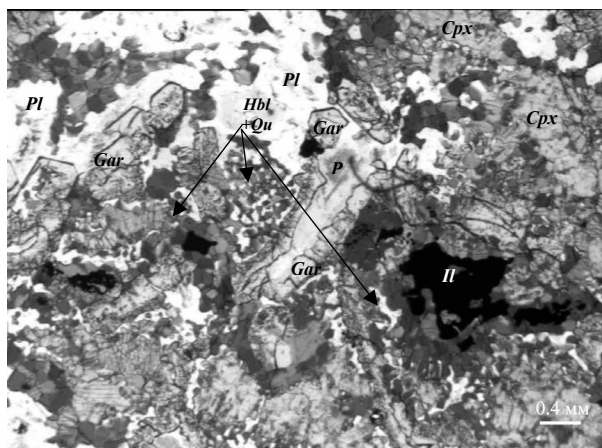


Рис. 8. Каймы сложного строения в коронитовых габбро, без анализатора

ных идиоморфных зернах. Первичномагматический плагиоклаз имеет состав An_{45} , а метаморфический – An_{18-28} (табл. 2). Местами в первичномагматических зернах плагиоклаза вторичные изменения выражаются в развитии серицитизации. Достаточно часто по плагиоклазу развивается скаполит.

Гранат является одной из главных минеральных фаз и также присутствует в коронитовых габбро в виде нескольких морфологических разновидностей.

1. Обычно развивается в виде ксеноморфных тонких кайм (0,1–0,2 мм) на границах агрегатных скоплений клинопироксена и плагиоклаза. Каймы граната частично (редко полностью) замещают лейсты плагиоклаза. Каймы сложены отдельными зернами или цепочками – сростками идиоморфных или гипидиоморфных зерен граната диаметром 0,3–0,5 мм, чаще всего не содержащих включений.

2. Идиоморфные зерна граната могут образовываться и внутри зерен плагиоклаза, чаще в пределах полностью перекристаллизованных зерен. Размер их варьирует от 0,2 до 0,5 мм.

3. В мелкозернистых породах бластогаббровой структуры, а также в метапорфритах нередко развиваются скелетные порфиробласты граната.

Все гранаты коронитовых габбро являются твердыми растворами $(Fe, Ca, Mg, Mn)_3AlSi_3O_{12}$ с преобладанием альмандинового минерала, количество которого варьирует от 49 до 62,5%. Составы гранатов из коронитовых габбро приведены в табл. 3.

Амфибол в краевых частях тел представлен буровато-зеленой обыкновенной роговой обманкой, а в слабо амфиболизированных разновидностях центральных частей тел – паргаситовой роговой обманкой. Составы амфиболов приведены в табл. 4. Амфибол центральных частей тел представлен двумя главными морфологическими разновидностями: а) псевдоморфозы по клинопироксену II, б) в составе варьирующих по мощности амфибол-кварцевых кайм, расположенных между гранатовой каймой и клинопироксеном II (рис. 8). Кроме того, амфибол образует варьирующую по ширине кайму вокруг зерен рудного минерала.

Рудный минерал представлен преимущественно ильменитом. Его зерна также часто обрастают гранатовой каймой. В ряде случаев отмечена тонкая

Таблица 1
Химический состав клинопироксенов из коронитовых габбро

№ образца	Ca-15-1		Ca-15-2		Ca-15-3		C-1718-23		C-1793-6B		C-765-1
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
	салит	салит	салит	салит	салит	салит	Mg авгит	салит	салит	Mg авгит	
SiO ₂	51,940	52,757	53,047	53,107	51,571	51,691	52,017	51,603	53,028	52,667	51,000
TiO ₂	0,143	0,143	0,045	0,073	0,114	0,136	0,069	0,073	0,141	0,133	0,360
Al ₂ O ₃	2,450	2,497	2,161	2,202	2,075	2,249	2,105	2,071	2,400	2,115	2,930
Fe ₂ O ₃	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	2,200
Cr ₂ O ₃	0,103	0,155	0,000	0,000	0,000	0,105	0,044	0,053	0,000	0,815	6,700
FeO	10,811	10,697	10,034	9,733	9,810	9,796	10,781	10,483	6,963	7,014	0,140
MnO	0,124	0,061	0,074	0,052	0,057	0,073	0,086	0,091	0,117	0,138	13,510
MgO	11,906	11,749	12,586	12,698	11,786	11,292	13,521	13,048	14,435	14,326	20,710
CaO	20,761	20,816	21,284	21,233	21,551	21,262	21,160	21,772	22,454	20,057	1,110
Na ₂ O	1,072	1,130	1,262	1,136	1,003	0,942	1,069	1,303	1,011	0,938	0,000
Li ₂ O	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
H ₂ O	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,150
Total	99,310	100,005	100,493	100,234	97,967	97,546	100,852	100,497	100,549	98,203	99,670
Кристаллохимический состав											
Si	1,965	1,978	1,974	1,977	1,973	1,984	1,941	1,937	1,952	1,987	1,921
Al ^{IV}	0,035	0,022	0,026	0,023	0,027	0,016	0,059	0,063	0,048	0,013	0,079
Fe ^{3+IV}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Сумма Т	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Al ^{VI}	0,074	0,088	0,069	0,074	0,066	0,086	0,033	0,028	0,056	0,081	0,051
Fe ^{3+VI}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,062
Ti	0,004	0,004	0,001	0,002	0,003	0,004	0,002	0,002	0,004	0,004	0,010
Mg(1)	0,671	0,656	0,698	0,704	0,672	0,646	0,752	0,730	0,792	0,806	0,758
Fe ²⁺ (1)	0,251	0,251	0,232	0,220	0,259	0,265	0,213	0,240	0,148	0,109	0,119
Mn(1)	0,004	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003	0,004	0,004	0,004
Сумма M1	1,004	1,002	1,002	1,002	1,002	1,002	1,003	1,003	1,004	1,004	1,004
Mg(2)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ²⁺ (2)	0,092	0,084	0,081	0,083	0,055	0,050	0,124	0,089	0,066	0,112	0,092
Mn(2)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca	0,842	0,836	0,849	0,847	0,883	0,874	0,846	0,876	0,886	0,811	0,836
Na	0,079	0,082	0,091	0,082	0,074	0,070	0,077	0,095	0,072	0,069	0,081
Li	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Сумма M2	1,012	1,002	1,020	1,012	1,013	0,994	1,047	1,060	1,024	0,992	1,009
Q	1,855	1,828	1,859	1,854	1,869	1,835	1,934	1,935	1,892	1,838	1,805
J	0,157	0,164	0,182	0,164	0,149	0,140	0,155	0,190	0,144	0,137	0,162
Q+J	2,012	1,992	2,041	2,018	2,018	1,975	2,089	2,124	2,036	1,975	1,967
J/(Q + J)	0,078	0,082	0,089	0,081	0,074	0,071	0,074	0,089	0,071	0,069	0,082
f	33,755	33,815	30,910	30,077	31,838	32,743	30,913	31,075	21,303	21,553	21,771
F	33,755	33,815	30,910	30,077	31,838	32,743	30,913	31,075	21,303	21,553	26,499
En	36,112	35,872	37,501	37,955	35,913	35,158	38,816	37,672	41,777	43,729	40,509
Fs	18,615	18,434	16,903	16,414	16,873	17,245	17,509	17,134	11,501	12,254	14,843
Wo	45,273	45,694	45,596	45,631	47,214	47,596	43,675	45,194	46,722	44,017	44,647

Примечание. Ca-15-1, Ca-15-2, Ca-15-3, C-1718-23 – коронитовые габбро из дайки в районе д. Ковда, C-1793-6B – дайка коронитовых габбро на о. Березовец, C-765-1 – дайка коронитовых габбро Крестовой Луды.

Таблица 2
Составы плагиоклазов из коронитовых габбро

	C-1718-23		C-1783-6B	Ca-15-1	Ca-15-2		Ca-15-3		Ca-15-4
	1	2		1	1	2	1	2	
SiO ₂	65,47	63,24	58,19	64,89	64,85	65,45	63,91	64,01	63,57
Al ₂ O ₃	22,28	23,72	26,43	21,15	22,28	21,41	21,71	21,44	22,94
CaO	3,66	5,00	9,39	3,79	3,86	3,90	3,90	3,92	5,79
Na ₂ O	8,54	8,22	6,45	7,97	9,44	9,49	9,82	9,28	8,10
K ₂ O	0,37	0,29	0,16	0,35	0,34	0,36	0,39	0,33	0,21
Total	100,32	100,46	100,62	98,15	100,77	100,60	98,99	98,98	100,61
Кристаллохимический состав									
Si	11,46	11,12	10,37	11,59	11,36	11,48	11,40	11,42	11,18
Al	4,59	4,91	5,55	4,45	4,60	4,43	4,56	4,51	4,75
Ca	0,69	0,94	1,79	0,73	0,73	0,73	0,74	0,75	1,09
Na	2,90	2,80	2,23	2,76	3,21	3,23	3,14	3,21	2,76
K	0,08	0,07	0,04	0,08	0,08	0,08	0,09	0,07	0,05
Ab	80,71	74,77	55,43	79,05	81,45	81,39	81,89	80,96	71,67
An	19,07	25,06	44,48	20,72	18,36	18,41	17,90	18,85	28,21
Or	0,23	0,17	0,09	0,23	0,19	0,20	0,21	0,19	0,12

Примечание. Ca-15-1, Ca-15-2, Ca-15-3, Ca-15-4, C-1718-23 – коронитовые габбро из дайки в районе д. Ковда, C-1793-6B – дайка коронитовых габбро на о. Березовец.

Таблица 3
Составы гранатов из коронитовых габбро

	C-1718-23		C-1793-6B	Ca-15-1		Ca-15-2		Ca-15-3		Ca-15-4
	1	2		1	2	1	2	1	2	
SiO ₂	38,664	38,186	38,842	39,346	38,621	38,989	38,761	37,841	37,734	38,627
TiO ₂			0,062							0,084
Al ₂ O ₃	22,496	22,474	22,335	21,472	21,667	21,583	21,32	21,334	20,994	21,062
FeO	27,119	26,721	23,485	26,765	26,64	27,202	27,263	28,269	25,66	25,31
MnO	0,672	0,657	0,833	0,687	0,606	0,656	0,641	0,737	0,727	1,52
MgO	4,582	4,907	8,213	4,441	4,476	4,911	4,59	4,331	4,415	3,267
CaO	7,315	7,673	6,876	7,31	7,316	7,203	6,806	6,644	9,138	10,283
Alm	59,814	58,135	49,154	59,82	59,724	12	12	12	12	12
And	0	0	0	0	0	59,33	60,836	62,476	55,815	55,782
Gross	20,67	21,387	18,438	20,931	21,013	0	0	0	0	0
Pyrope	18,015	19,03	30,642	17,693	17,888	20,127	19,457	18,812	25,465	29,035
Spess	1,501	1,448	1,766	1,555	1,376	19,094	18,258	17,062	17,119	12,835

Примечание. Ca-15-1, Ca-15-2, Ca-15-3, C-1718-23 – коронитовые габбро из дайки в районе д. Ковда, C-1793-6B – дайка коронитовых габбро на о. Березовец.

внутренняя кайма сфена между зерном рудного минерала и гранатовой каймой. Содержание рудного минерала варьирует от 2 до 7%. В дайках Воротной Луды по зонам развиваются сульфиды.

Акцессорные минералы представлены сфеном и цирконом.

Среди поздних метаморфических минералов присутствуют также биотит, отвечающий по составу лепидомелану (Ng-Nm = 1,631, уд. вес 3,077). Скаполит, развивающийся по плагиоклазу, устанавливается в коронитовых габбро довольно часто.

Определение условий формирования реакционных метаморфических кайм в коронитовых габбро в программе TPF 7.0 с использованием Gar + CPx (Mysen, 1972; Mori T., Green D. H., 1978), Gar + Hbl (Graham C. M., Powell R., 1984; Powell R., 1985) и Hbl-Gar (Pechuk L. L., 1989) геотермометров показало, что метаморфические преобразования коронитовых габбро, отраженные в формировании кайм, отвечают температурам около 660 °С. Расчет давлений с использованием состава Hbl и геобарометров разных авторов (Hammarstrom J. M., Zen E.-A. N., 1986; Hollister L. S. et al., 1987; Schmidt M. W., 1991) позволяет предполагать, что каймы в коронитовых габбро формировались при давлениях около 6,4 кбар.

Таким образом, имеющиеся на сегодняшний день данные по минералогии и петрографии коронитовых габбро свидетельствуют об общности состава пород комплекса, однако, целенаправленное изучение минералогии геохимически различных групп пород позволит установить различия и на минеральном уровне.

Геохимическая характеристика коронитовых габбро Беломорского подвижного пояса

Одним из критериев объединения коронитовых габбро в составе единого комплекса (Степанов, 1981) являлся химический состав пород, прежде всего, довольно высокие содержания FeO* (11,79–16,64%) и TiO₂ (0,92–3,04%), отличающие коронитовые габбро от других раннепротерозойских комплексов Беломорского подвижного пояса. Содержание SiO₂ варьирует в коронитовых габбро от 48,27 до 53,65%, составляя в среднем 50,67%. Содержание MgO колеблется в пределах 3,49–7,66%, среднее для комплекса – 6,09%. Содержания CaO и Al₂O₃ варьируют слабо и составляют в среднем 9,98% и 13,80%

Таблица 4
Составы амфиболов из коронитовых габбро

	Ca-15-3		Ca-15-4	C-1793-6B
	1	2		
SiO ₂	41,327	42,036	41,359	46,3
TiO ₂	1,985	2,039	1,64	1,813
Al ₂ O ₃	10,609	10,891	12,27	12,805
Cr ₂ O ₃	0,046	0,02	0	0,032
FeO	17,615	16,797	18,274	11,766
MnO	0	0,041	0,093	0,084
MgO	9,506	9,771	8,176	12,805
CaO	11,2	11,712	11,339	11,959
Na ₂ O	1,835	1,807	1,825	1,564
K ₂ O	1,664	1,632	1,629	1,236
Total	95,787	96,746	96,605	100,364
Кристаллохимический состав				
Si	6,41	6,43	6,37	6,57
AlIV	1,59	1,57	1,63	1,43
Fe ³⁺	0,00	0,00	0,00	0,00
Ti	0,00	0,00	0,00	0,00
Сумма Т	8,00	8,00	8,00	8,00
AlVI	0,35	0,39	0,59	0,71
Fe ³⁺ VI	0,00	0,00	0,00	0,00
Ti	0,23	0,23	0,19	0,19
Mg	1,41	1,37	1,22	1,09
Fe ²⁺	0,00	0,00	0,00	0,00
Mn	0,00	0,00	0,00	0,00
Сумма С (M2)	2,00	2,00	2,00	2,00
MgM1	0,79	0,85	0,66	1,61
Fe ²⁺ M1	2,21	2,15	2,34	1,39
MnM1	0,00	0,00	0,00	0,00
Сумма M1	3,00	3,00	3,00	3,00
Ca	1,86	1,92	1,87	1,82
Mg	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe ²⁺	0,07	0,00	0,01	0,01
Mn	0,00	0,01	0,01	0,01
Na	0,07	0,07	0,10	0,16
K	0,00	0,00	0,00	0,00
Сумма В (M4)	2,00	2,00	2,00	2,00
Na	0,49	0,46	0,44	0,27
K	0,33	0,32	0,32	0,22
v	0,18	0,22	0,24	0,51
Сумма А	0,82	0,78	0,76	0,49

Примечание. Ca-15-3, 4 – коронитовые габбро из дайки в районе д. Ковда, C-1793-6B – дайка коронитовых габбро на о. Березовец.

соответственно. Содержания щелочей довольно низкие, среднее Na₂O – 1,48%, K₂O – 0,56%.

На диаграмме TAS (Le Maitre, 1989) точки составов коронитовых габбро располагаются в поле базальтов нормального ряда (рис. 9, А), а на диаграмме AFM (Na₂O + K₂O – FeO – MgO; Irvine, Baragar, 1971)

(рис. 9, Б) – в поле пород толеитовой серии. На диаграмме $\text{FeO}^*/\text{MgO} - \text{Al}_2\text{O}_3$ (рис. 9, В; Arndt, 1976) точки составов коронитовых габбро располагаются в поле обогащенных Fe толеитов и частично в поле промежуточных (магнезиальных) толеитов. Составы наиболее типичных коронитовых габбро из разных групп приведены в табл. 5.

Новые данные по геохимии пород комплекса коронитовых габбро позволяют выделить в его составе как минимум три геохимически различные группы пород:

Коронитовые габбро возраста 2,11 млрд. лет характеризуются, прежде всего, высокими содержаниями FeO^* (до 16,5%) и TiO_2 (до 1,7%). Этой группе свойственны широкие вариации содержаний MgO – от 3,5 до 7,1% и относительно низкие содержания CaO (не более 10,5%) (рис. 10). Для пород этой группы типичны высокие содержания высокозарядных элементов, промежуточные между содержаниями этих эле-

ментов в дайках Воротной Луды и дайках Ковдозера и Избной Луды (рис. 11). Для коронитовых габбро этой группы характерно плоское распределение тяжелых и средних РЗЭ и незначительное обогащение легкими РЗЭ. Абсолютные концентрации РЗЭ в 10–20 раз превышают содержания в примитивной мантии.

Коронитовые габбро Воротной Луды характеризуются наиболее высокими содержаниями MgO среди коронитовых габбро (более 7%), наиболее низкими среди коронитовых габбро содержаниями FeO^* (до 13%) и TiO_2 (менее 1%). Для них отмечены также максимальные среди коронитовых габбро содержания CaO (рис. 10) и Al_2O_3 . По характеру распределения рассеянных элементов наиболее близкими аналогами даек Воротной Луды являются базальты N-MORB. Это главное отличие пород данной группы от других коронитовых габбро, являющихся аналогами континентальных платобазальтов (Степанова, 2004). Среди раннепротерозойских мафических даек БПП породы

Таблица 5
Химический состав коронитовых габбро Беломорского подвижного пояса

	1	2	3	4	5*	6	7*	8*	9*
Mg #	48,67	44,63	49,25	33,92	41,14	47,98	39,33	36,86	50,43
SiO ₂	51,93	52,84	51,37	51,06	50,34	49,65	48,34	48,46	48,83
TiO ₂	1,07	1,32	1,36	2,36	1,26	2,37	2,14	2,26	0,99
Al ₂ O ₃	13,95	13,37	12,87	13,63	15,27	13,58	13,82	14,01	14,66
FeO*	12,46	12,98	13,04	15,00	13,82	13,39	15,59	15,75	12,82
MnO	0,19	0,21	0,22	0,21	0,22	0,22	0,25	0,24	0,22
MgO	6,63	5,87	7,10	4,32	5,42	6,93	5,67	5,16	7,32
CaO	10,10	9,81	10,53	8,83	9,92	10,20	8,44	8,15	11,02
Na ₂ O	2,86	2,52	2,80	3,14	2,79	2,61	2,41	2,45	1,96
K ₂ O	0,46	0,70	0,37	0,95	0,37	0,49	0,75	0,89	0,03
P ₂ O ₅	0,14	0,17	0,12	0,25	0,22	0,36	0,52	0,59	0,09
H ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,00	0,12	0,07	0,05
LOI	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,19	1,06	1,14
Cr	127	243	302	125	82	346	211	146	277
Ni	111	82	95	43	83	106	164	126	164
Co	–	–	–	–	39	–	58	55	59
Sc	35	41	44	31	32	38	37	35	39
V	234	340	404	258	123	293	352	354	261
Cu	156	139	154	74	39	343	105	92	150
Rb	12	23	14	30	8	21	20	22	0
Ba	144	225	80	262	84	142	350	380	7
Sr	172	164	98	183	109	110	262	249	53
Ta	0,00	0,37	0,00	0,65	0,55	0,69	1,26	1,11	0,20
Nb	2,8	4,4	5,7	9,3	10,7	14,7	16,5	16,3	4,7
Hf	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,63	4,47	0,71
Zr	100	114	82	155	95	193	136	175	23
Ti	6415	7913	8153	14148	7554	14208	14386	14873	4879
Y	21	29	23	35	31	45	51	56	21
La	7,73	10,02	7,71	10,55	10,37	13,23	25,84	27,38	3,71
Ce	17,28	22,49	19,28	25,87	21,41	35,85	62,83	64,96	9,49
Pr	2,29	2,91	2,69	3,65	3,43	4,65	8,45	8,49	1,41
Nd	11,79	15,34	15,22	19,27	16,10	23,23	36,86	38,48	6,62
Sm	2,85	3,78	4,26	4,97	4,21	5,86	8,54	9,08	2,07
Eu	0,79	0,92	1,10	1,32	1,21	1,57	2,58	2,44	0,62
Gd	3,36	0,00	5,07	5,88	4,79	7,27	9,15	9,18	2,43
Tb	–	–	–	–	0,86	–	1,59	1,58	0,44
Dy	3,86	5,32	5,89	6,69	5,42	8,28	9,66	9,66	3,27
Ho	–	–	–	–	1,11	–	1,98	2,07	0,78
Er	2,24	2,91	3,25	3,65	3,20	4,65	5,35	5,52	2,48
Tm	–	–	–	–	0,46	–	0,80	0,82	0,39
Yb	2,08	2,76	2,99	3,45	3,17	4,34	4,93	5,05	2,51
Lu	0,25	0,34	0,37	0,42	0,48	0,53	0,71	0,74	0,39

Примечание. 1 – обр. С-2007-2, оз. Ворочистое; 2 – обр. С-1643-3, р. Кемь; 3 – обр. С-765-1, о. Крестовая Луда; 4 – обр. С-2003-2, оз. Ворочистое; 5 – обр. С-2717-2а, коронитовое габбро возраста 2115 млн. лет; 6 – обр. С-1093-2, оз. Ковдозеро; 7 – обр. IZ-F1, о. Избная Луда; 8 – обр. IZ-F2/5, о. Избная Луда; 9 – обр. С-2407-64, о. Воротная Луда. Анализы, отмеченные *, выполнены в аналитической лаборатории Института геологии и геохимии УрО РАН, г. Екатеринбург, остальные анализы выполнены в Институте электронной оптики, Университет Оулу, Финляндия.

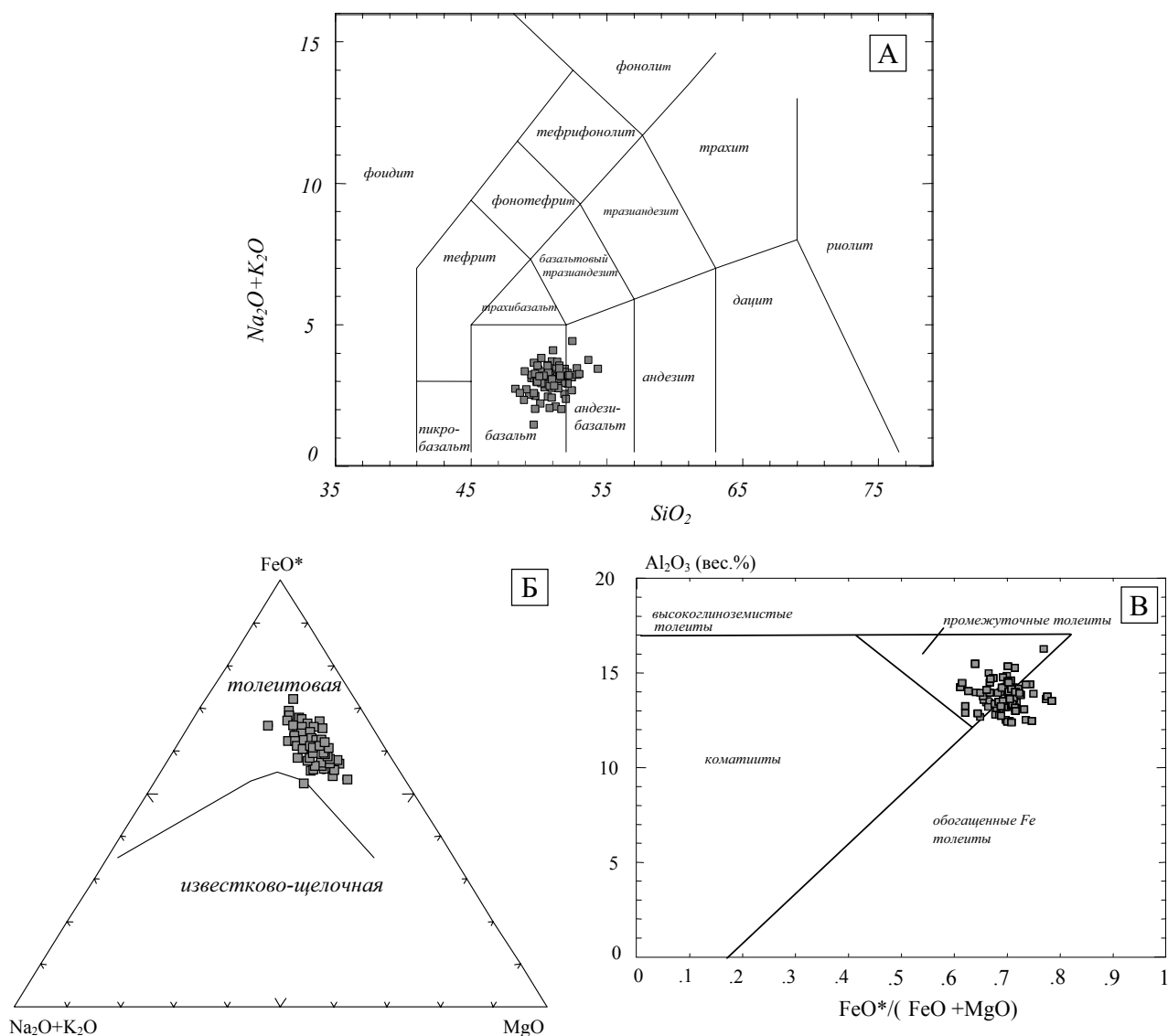


Рис. 9. Положение коронитовых габбро на классификационных диаграммах:

А – диаграмма TAS (Le Maitre, 1989); Б – диаграмма AFM (Irvine, Baragar, 1971); В – диаграмма Н. Арндта для базальтовых и коматитовых пород (Arndt, 1976)

такого состава ранее установлены не были. Им присуща слабая деплетированность легких РЗЭ и плоское распределение в центральной и тяжелой частях спектра (рис. 12). Низкие содержания несовместимых рассеянных элементов в дайках Воротной Луды отличают их от других коронитовых габбро (табл. 5).

Коронитовые габбро района оз. Ковдозеро характеризуются сочетанием высоких содержаний MgO (около 7%) и TiO_2 (более 2,2%), высокими содержаниями FeO^* (около 13,5%). Им свойственны также максимальные среди коронитовых габбро содержания высокозарядных элементов (рис. 11). Характер распределения редкоземельных элементов в породах этой группы близок к коронитовым габбро возраста 2115 млн. лет, но абсолютные концентрации несколько выше (рис. 12).

Специфическими являются породы даек коронитовых габбро Избной Луды, которые характеризуются высокими (более 2%) содержаниями TiO_2 , высокими содержаниями FeO^* (более 16%) и относительно

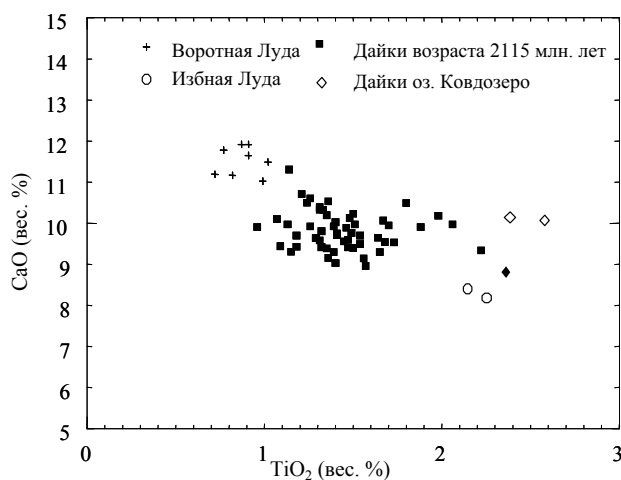


Рис. 10. Вариации содержаний окислов петрогенных элементов в коронитовых габбро

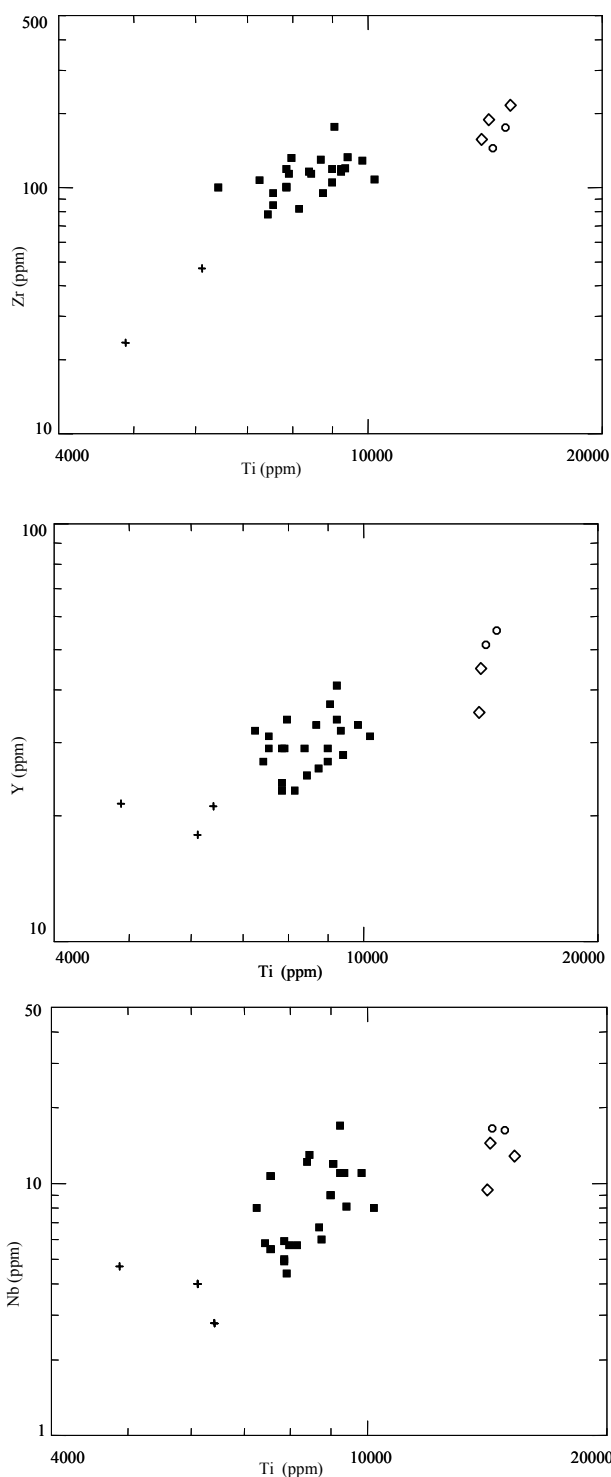


Рис. 11. Вариации содержаний Ti, Zr, Y в коронитовых габбро Беломорского подвижного пояса

Усл. обозн. те же, что и на рис. 10

низкими содержаниями MgO (табл. 5). Для них характерны максимально высокие среди коронитовых габбро содержания редкоземельных элементов – приблизительно в 100 раз превышающие содержания этих элементов в примитивной мантии с плоским распределением тяжелых и средних редкоземельных элементов и слабым обогащением легкими РЗЭ (рис. 12). Кроме того, в этих породах установлены высокие содержания

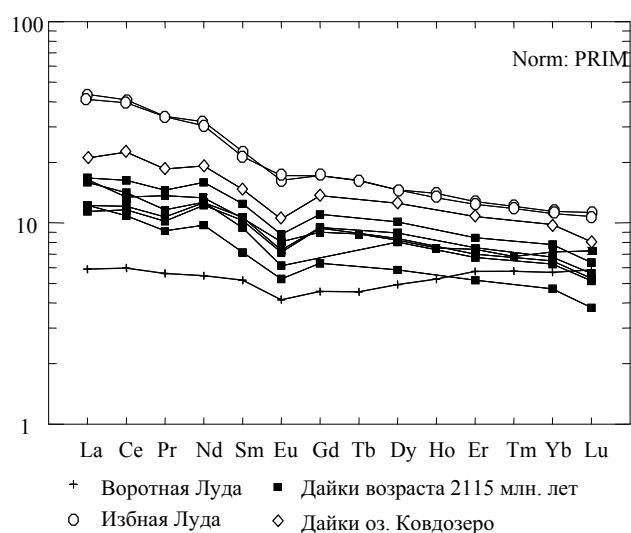


Рис. 12. Вариации содержаний редкоземельных элементов в коронитовых габбро Беломорского подвижного пояса, нормированных к примитивной мантии

несовместимых рассеянных элементов, близкие к коронитовым габбро оз. Ковдозеро (рис. 11).

Сопоставление коронитовых габбро с базальтами ятулийской платобазальтовой провинции (Малашин и др., 2003), прежде всего, показало сходство в характере распределения несовместимых рассеянных и редкоземельных элементов между коронитовыми габбро возраста 2,12 млрд. лет и базальтами среднего ятулия, а также между коронитовыми габбро Избной Луды и базальтами позднего ятулия.

Сопоставление коронитовых габбро с дайками высокожелезистых толеитов Карельского архейского кратона показало значительное сходство в составе оливиновых Fe-толеитов (Степанова, 2004) и коронитовых габбро оз. Ковдозеро, а также коронитовых габбро возраста 2,12 млрд. лет и кварцевых Fe-толеитов (Степанова, 2004). Кроме того, необходимо отметить сходство в составе даек толеитов Пяозерского поднятия (Степанова, 2004) и коронитовых габбро Воротной Луды, характеризующихся низкими содержаниями высокочarged элементов, низкими абсолютными содержаниями редкоземельных элементов и деплетированностью легких редкоземельных элементов и в целом близким к базальтам N-MORB редкоэлементным составом.

Выводы

Анализ геологического положения, морфологии тел и геохимических характеристик пород комплекса коронитовых габбро, а также сопоставление их с базальтами ятулийской платобазальтовой провинции и дайками высокожелезистых толеитов Карельского архейского кратона показали следующее:

1. В составе комплекса коронитовых габбро объединены несколько геохимически различных групп пород, которые, возможно, различаются и по времени образования.

2. Для каждой из выделенных групп существуют геохимические аналоги среди базальтов ятулийской платобазальтовой провинции и (или) даек

высокожелезистых толентов Карельского архейского кратона.

Таким образом, необходимо целенаправленное геохимическое, изотопно-геохимическое и геохронологическое изучение коронитовых габбро Беломор-

ского подвижного пояса, основанное на полученных в ходе проведенного исследования результатах, что позволит определить возраст, условия формирования и место коронитовых габбро в ряду магматических комплексов региона.

ЛИТЕРАТУРА

Малашин М. В., Голубев А. И., Иваников В. В., Филиппов Н. Б. Геохимия и петрология мафических вулканических комплексов нижнего протерозоя Карелии. I. Ятулийский вулканический комплекс // Вестн. С.-Петерб. ун-та, сер. 7: Геология, география. 2003. Вып. 1, № 7. С. 3–19.

Степанов В. С. Основной магматизм докембрия Западного Беломорья. Л., 1981. 216 с.

Степанов В. С. Магматиты района д. Гридино (вещество, последовательность образования, некоторые черты эволюции) // Докембрий Северной Карелии. Петрозаводск, 1990. С. 78–101.

Степанов В. С., Слабунов А. И. Амфиболиты и ранние базит-ультрабазиты докембрия Северной Карелии. Л., 1989. 175 с.

Степанова А. В. Геология и петрология раннепротерозойских Fe-толентовых дайковых комплексов Северной Карелии // Материалы XI молодежной науч. конф. «Геология и геоэкология Фенноскандии, Северо-Запада и Центра России» (15–18 мая 2000 г.). Петрозаводск, 2000. С. 84–89.

Степанова А. В. Петрология высокожелезистых толентовых дайковых комплексов раннего протерозоя Северной Карелии: Автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. СПб., 2004. 24 с.

Степанова А. В., Ларионов А. Н., Бибикова Е. В. и др. Раннепротерозойский (2,1 млрд. лет) Fe-толентовый магматизм беломорской провинции Балтийского щита: геохимия, геохронология // ДАН. 2003. Т. 390, № 4. С. 528–532.

Arndt N. T. Thick layered peridotites-gabbro lava flows in Munro Township, Ontario // Canadian Journal of Earth Sciences. 1976. 14. P. 2620–2637.

Bogdanova S. V., Bibikova E. V. The «Saamian» of the Belomorian Mobile Belt: new geochronological constraints // Precambrian Research. 1993. N 64. P. 131–152.

Griffin W. L., Heier K. S. Petrological implications of some corona structures // Lithos. 1975. Vol. 6. S. 315–335.

Irvine T. N., Baragar W. R. A. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks // Can. J. Earth Sci. 1971. Vol. 8. P. 523–548.

Jan M. Q., Karim A. Coronas and high-P veins in the meta-gabbros of the Kohistan island arc, northern Pakistan: evidence for crustal thickening during cooling // J. Metamorphic. Geol. 1995. Vol. 13. P. 357–366.

Le Maitre R. W. (ed.). A classification of igneous rock and glossary of terms. Oxford: Blackwell, 1989. 193 p.

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. 92. P. 223–250.

Rivers T., Mengel F. C. Contrasting assemblages and petrogenetic evolution of corona and noncorona gabbros in the Grenville Province of Western Labrador // Can. J. Earth Sci. 1988. Vol. 25. P. 1629–1648.