

ГЕОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА

УДК 550.4 (477)

DOI: 10.30758/0555-2648-2019-65-4-449-461

ГАББРОИДЫ ОСТРОВА ПИТЕРМАН (ЗАПАДНАЯ АНТАРКТИДА): ПЕРВЫЕ СВЕДЕНИЯ ПО ГЕОХИМИИ

Г.В. АРТЕМЕНКО¹*, В.И. ГАНОЦКИЙ²

¹ — Институт геохимии, минералогии и рудообразования НАН Украины, г. Киев, Украина

² — Национальный технический университет «Днепровская политехника», г. Днепр, Украина

*regulgeo@gmail.com

GABBROIDES OF PETERMAN ISLAND (WEST ANTARCTICA). FIRST INFORMATION ON GEOCHEMISTRY

G.V. ARTEMENKO¹*, V.I. GANOTSKIY²

¹ — Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation, Kiev, Ukraine

² — National Technical University "Dneprovskaya Polytechnica", Dnipro, Ukraine

*regulgeo@gmail.com

Received August, 30, 2019

Accepted October, 15, 2019

Keywords: amphibolization, Andean complex, Antarctic Peninsula, contamination, gabbro, Peterman Island, REE, thin-layered gabbro.

Summary

Peterman Island is located in the archipelago of the Wilhelm Islands on the west coast of the Antarctic Peninsula (Graham Land). It is composed of gabbroids and granitoids of the Andean complex, which formed almost 100 million years later than the volcanic group of the Antarctic Peninsula. To clarify their genesis and geodynamic conditions of formation, gabbroids of the Andean complex are of particular interest, since the petrological models of their formation are well developed. Gabbroid intrusions comprise small bodies that are widespread along the Antarctic Peninsula. Among them stand out olivine gabbros, normal gabbros, norites and hornblende gabbros. Also are found small bodies of melanogabbro-pegmatites and intramagmatic dykes, that are associated with the manifestations of ore mineralization of magnetite, ilmenite and sulfides. For this reason, they are of interest for both the minerals search and for solving the question of their genesis. To this end, we performed geochemical studies of Peterman Island gabbroids. Gabbroids of Peterman Island are represented by amphibolized medium-grained gabbro with hypidiomorphic texture. Among them, xenoliths of thinly stratified

Citation: Artemenko G.V., Ganotskiy V.I. Gabbroides of Peterman island (West Antarctica): first information on geochemistry. *Problemy Arktiki i Antarktiki*. Arctic and Antarctic Research. 2019, 65 (4): 449–461. [In Russian]. doi: 10.30758/0555-2648-2019-65-3-449-461.

gabbroids 3×8 m in size were found, which are characteristic of stratified intrusions, for example, Stillwater, Bushveld, etc. Gabbroids of Peterman Island have low content of silica and potassium and according to the petrochemical characteristics correspond to peridotite gabbro. They have low contents of Cr, Ni, V and high strength lithophilic Y and Nb elements. Gabbroids have been crystallized from basic magma, differentiated in the intermediate crustal magma chambers. Positive anomalies of Sr, Eu, and Ti in the multielement diagrams and positive anomalies of europium Eu/Eu^* suggest the accumulation of plagioclase and apparently, ilmenite in the magmatic chamber. The primary magma source for gabbroids was probably the primitive mantle (PM). Gabbroids are contaminated with crustal matter. This contamination is probably due to their regressive metamorphism, caused by the introduction of later intrusions of Andean complex granitoid. Finely layered xenolithic gabbroids do not differ from other homogeneous gabbros of Peterman Island in terms of chemical composition. This xenolith most likely represents a part (fragment) of the wall of the magma chamber in which the differentiation of the initial main magma took place. According to the obtained geochemical data, a wide range of compositions of the Andean complex gabbroids formed as a result of crystallization differentiation of magma melted from rocks of the composition of the primitive mantle (PM) in crustal magma chambers, which also resulted in the accumulation of ore elements — V, Co, and Cu in the residual magmatic melts.

Поступила 30 августа 2019 г.

Принята к печати 15 октября 2019 г.

Ключевые слова: амфиболизация, андийский комплекс, Антарктический полуостров, габбро, контаминация, остров Питерман, РЗЭ, расслоенность.

В статье представлены результаты геохимических исследований габброидов о. Питерман (Аргентинские острова). С интрузиями габброидов андийского комплекса связаны мелано-габбро-пегматиты и позднемагматические дайки с проявлениями минерализации магнетита, ильменита, сульфидов и повышенные концентрации V, Co и Cu, что представляет интерес как для поисков полезных ископаемых, так и для решения вопроса об их генезисе. Согласно полученным данным, широкий спектр составов габброидов андийского комплекса образовался в результате кристаллизационной дифференциации магмы, выплавленной из пород состава примитивной мантии в коровых магматических камерах, в результате которой осуществлялось и накопление V, Co и Cu в остаточных магматических расплавах.

ВВЕДЕНИЕ

Остров Питерман находится в архипелаге островов Вильгельма у западного побережья Антарктического полуострова (Земля Грэм) (рис. 1). Он, как и другие острова, которые протягиваются вдоль западного побережья Антарктического полуострова, сложен преимущественно интрузивными породами андийского комплекса, а Антарктический полуостров — породами вулканической группы Антарктического полуострова (АП) [1–4]. Породы вулканической группы АП представлены лавами и туфогенными образованиями основного, среднего и кислого составов. Они прорываются габброидами и гранитоидами андийского комплекса. Породы вулканической группы АП формировались в интервале 188–153 млн лет [5]. U-Pb возраст (классический метод) по циркону кварцевых диоритов $84,8 \pm 0,5$ Ma и $85,2 \pm 0,7$ Ma (мыс Туксен); гранодиоритов андийского комплекса $84,5 \pm 0,9$ Ma (в 1,0 км южнее от мыса Туксен) [6]. По результатам датирования ион-ионным методом (SHRIMP), U-Pb изотопный возраст циркона из габбро мыса Туксен составляет $88 \pm 1,11$ млн лет [7].

Согласно геохронологическим данным, габбро-гранитоидные интрузии андийского комплекса образовались почти на 100 млн лет позже вулканической группы АП, и, таким образом, они относятся к разным тектоно-магматическим этапам формирования магматической дуги Антарктического полуострова. Для выяснения их

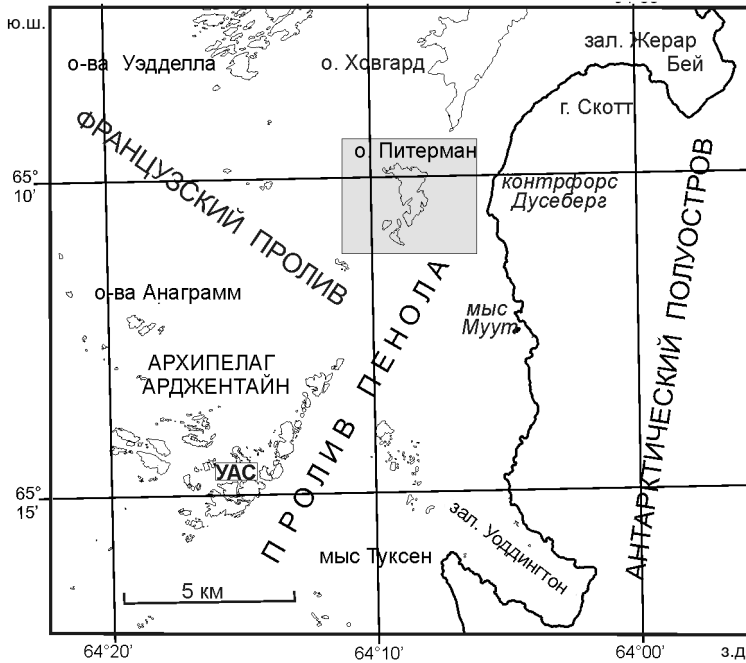


Рис. 1. Схематическая карта островов архипелагов Вильгельма, Арджентайн и прилегающей части Антарктического полуострова. УАС — Украинская антарктическая станция «Академик Вернадский»

Fig. 1. Schematic map of the islands of archipelago Wilhelm, Ardjentina and the adjacent part of the Antarctic Peninsula. UAS — Ukrainian Antarctic station “Akademik Vernadsky”

генезиса особый интерес представляют габброиды андийского комплекса, так как петрологические модели их формирования хорошо разработаны. Интрузии габброидов слагают небольшие по размерам тела, которые широко распространены вдоль Антарктического полуострова. Среди них выделяются оливиновые габбро, нормальные габбро, нориты и роговообманковые габбро. Встречены также небольшие тела меланогаббро-пегматитов и интрамагматические дайки. С ними связаны проявления рудной минерализации магнетита, ильменита и сульфидов [8].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Силикатные анализы пород выполнены методом мокрой химии в Институте геохимии, минералогии и рудообразования Национальной академии наук Украины (ИГМР НАН Украины). Содержания редких и рассеянных элементов определялись методами атомной эмиссии с индуктивно связанной плазмой (АЭС-ИСП) и масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (МС-ИСП). Разложение образцов проводили кислотным разложением в открытой системе и в автоклавах с резистивным нагревом по методикам, описанным в [9]. Правильность анализа подтверждена результатами определения состава международных и российских стандартных образцов GSP-2, BM, СГД-1А, СТ-1. Относительная погрешность определения элементов находилась в пределах от 5 до 10 %.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Результаты полевых геолого-структурных наблюдений

Остров Питерман, размером 1,8×1,2 км, сложен интрузивными породами андийского комплекса (рис. 2). Габброиды выделяются в северной части о. Питерман, а остальная, преобладающая часть острова, сложена гранитоидами. В северо-западной части о. Питерман на склоне в сторону бухты ($65^{\circ} 09,881' \text{ ю.ш.}, 64^{\circ} 09,099' \text{ з.д.}$) среди амфиболизированных габбро (уралитовое габбро) андийского комплекса выявлен ксенолит тонкорасслоенных габброидов шириной около 3,0 м и длиной до 8 м. Контакт между ними резкий (рис. 3а). Вмещающие амфиболизированные габбро срезают полосчатость на их простирации. Зона закалки между тонкорасслоенными и вмещающими габбро отсутствует. В тонкорасслоенных габбро наблюдается чередование темных и светло-серых полос шириной около 3 см (рис. 3б). Контакты между слоями постепенные. Расстояние между серединами смежных темных слоев составляет около 5 см. Останец тонкополосчатых габброидов и вмещающие амфиболизированные

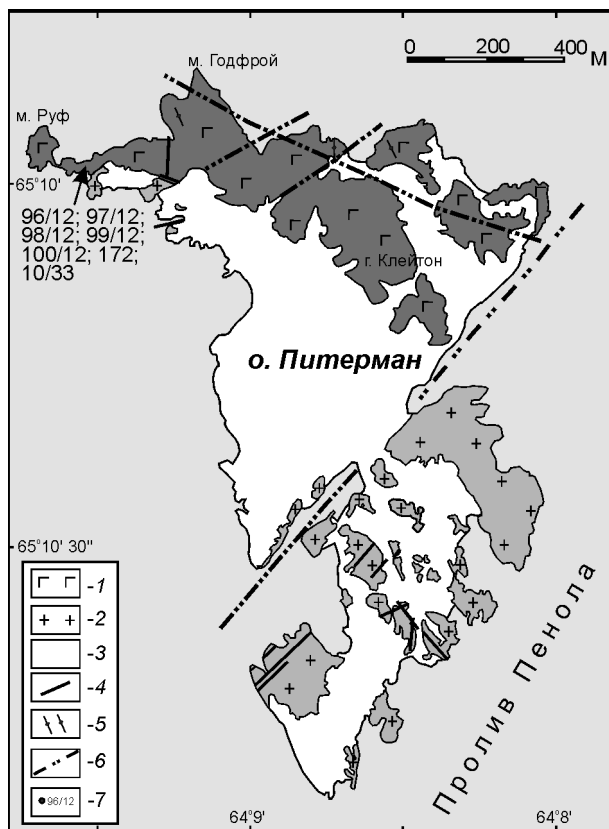


Рис. 2. Схематическая геологическая карта о. Питерман [10]: 1 — габброиды; 2 — гранитоиды; 3 — снеговой и ледяной покров; 4 — дайки базитов; 5 — элементы залегания слоистости габброидов; 6 — тектонические нарушения; 7 — точки отбора проб

Fig. 2. Schematic geological map of Petermann island and the adjacent part of the Antarctic Peninsula [10]: 1 — gabbroids; 2 — granitoids; 3 — snow and ice cover; 4 — basite dykes; 5 — elements of occurrence of gabbroid; 6 — faults; 7 — sampling points

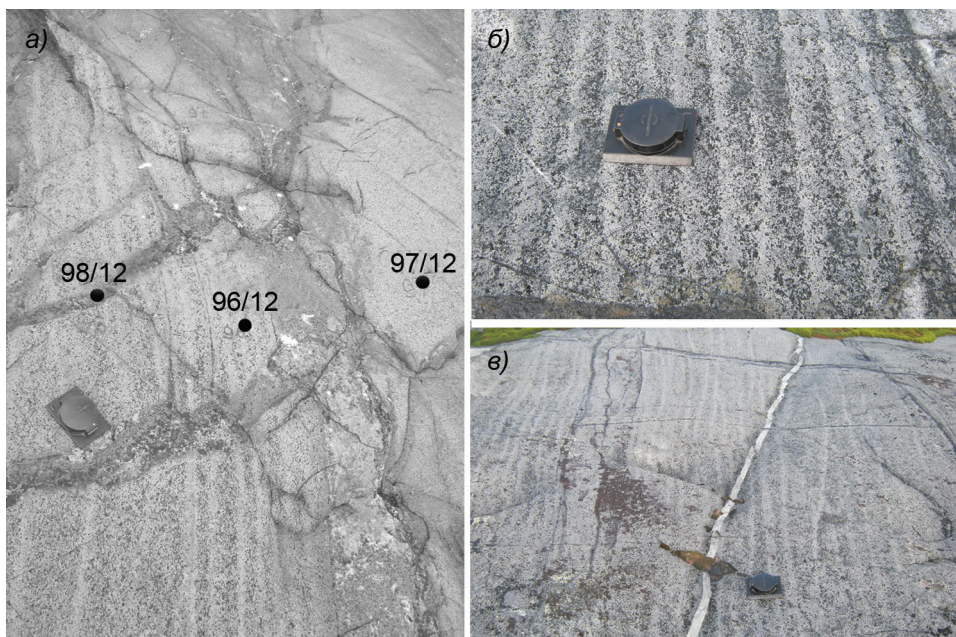


Рис. 3. Ксенолит тонкорасслоенных габбро на о. Питерман: а) — геологические соотношения ксенолита тонкорасслоенных габбро (обр. 96/12), вмещающих амфиболизированных габбро (обр. 97/12) и жильных тел габбронорита амфиболизированного с порфировидной структурой (обр. 98/12); б) — тонкорасслоенные габбро; в) — геологические соотношения габброидов и жилы гранодиоритов

Fig. 3. The xenolith of thin-layered gabbro on Peterman Island: а) — geological relationships of xenolithic thin-layered gabbro (smp. 96/12) containing amphibolized gabbro (smp. 97/12) and vein bodies of gabbro-norite amphibolized with a porphyry structure (smp. 98/12); б) — thin-layered gabbro; в) — geological relationships of gabbroids and veins of granodiorites

габбро прорываются жильными телами габбронорита амфиболизированного (3а). Указанный комплекс габброидов прорывается жилой гранодиоритов (рис. 3с).

Подобное строение имеет дюймовая полосчатость, описанная Хессом в массиве Стиллуотер [11], однако выявленная нами расслоенность габброидов отличается большей шириной темных и светлых полос и большими расстояниями между ними.

Краткое петрографическое описание пород обнажения тонкорасслоенных габброидов

Темные полосы тонкорасслоенных габбро (ширина до 3 см) сложены габбро амфиболизированным (шл. 96/12-1). Мин. состав: плагиоклаз — 55 %; амфибол — 45 %; шпинель — 2–3 %; рудный минерал — 1 %. Структура породы гипидиоморфнозернистая, среднезернистая с размером зерен минералов 0,8–2,5 мм. Текстура полосчатая. Плагиоклаз образует кристаллы гипидиоморфной, реже таблитчатой изометрической формы, величиной 0,8–2,5 мм. По углу симметричного погасания двойников определен как лабрадор № 55. Кристаллы плагиоклаза участками пересекаются микропрожилками уралита толщиной 0,03–0,08 мм. Амфибол представлен вторичной роговой обманкой типа уралита, образующей псевдоморфозы выполнения по первичным пироксенам.

Рудный минерал наблюдается в виде зерен неправильной формы размером 0,08–0,4 мм. Шпинель (герцинит) образует сростки микрозерен. Размер сростков 0,025–0,3 мм, форма их неправильная (ветвистая). Она находится в виде включений в уралите. Рудный минерал наблюдается в виде зерен неправильной формы размером 0,08–0,4 мм.

Светлые полосы тонкорасслоенных габбро (ширина до 2 см) сложены лейкогаббро амфиболизированным (шл. 96/12-2). Мин. состав: плагиоклаз (лабрадор) — 80–85 %; амфибол — 10–15 %; биотит — 1 %; рудный минерал — 1–2 %. Структура породы панидиоморфнозернистая, среднезернистая (0,6–1,2 мм). В породе преобладают зерна плагиоклаза таблитчатой изометрической формы. Текстура полосчатая. Плагиоклаз образует преимущественно таблитчатые изометрические, реже гипидиоморфнозернистые кристаллы величиной 0,5–1,2 мм, sdвойникованные. Включает редкие иглы уралита, а также местами рассекается микропрожилками уралита толщиной 0,03–0,05 мм. Амфибол представлен уралитовой светло-зеленой в шлифе роговой обманкой. Форма кристаллов уралита призматическая (столбчатая) или игольчатая в составе волокнистых агрегатов. Уралитовая роговая обманка образует псевдоморфозы выполнения по первичным темноцветным минералам габбро, вероятно пироксенам. Биотит встречается в виде оторочек вокруг зерен рудного минерала. Рудный минерал образует зерна неправильной формы величиной до 0,6 мм.

Темные и светлые полосы тонкорасслоенных габбро отличаются только количеством темноцветных минералов. Согласно Е.В. Шаркову [12], наблюдаемая расслоенность аналогична первично-магматической расслоенности, встречающейся в мелких телах базитов, которая образуется еще на стадии течения расплава до его кристаллизации [12, 13].

Вмещающие для останца тонкорасслоенных габбро являются амфиболизированные габбро (уралитовое габбро) (шл. 97/12). Мин. состав: плагиоклаз — 55–60 %; уралитовая роговая обманка — 30–35 %; биотит — 3 %; рудный минерал — 3–5 %, апатит — 1 %. Структура породы гипидиоморфнозернистая, среднезернистая (0,5–2,0 мм). Текстура массивная. Плагиоклаз образует преимущественно гипидиоморфные удлиненные кристаллы величиной от 0,5 до 2,0 мм. Уралит образует столбчатые и игольчатые (в составе волокнистых агрегатов), которые слагают псевдоморфозы выполнения по первичному пироксену и, вероятно, другим минералам габбро. Биотит обычно находится в ассоциации с рудным минералом. Он, как и уралит, — вторичный. Рудный минерал образует зерна неправильной формы размером 0,1–1,2 мм нередко пойкилитовой структуры. Он содержит включения биотита, плагиоклаза, уралита. Апатит встречается в виде зерен овальной или удлиненно-овальной формы величиной 0,2–0,6 мм

Секущие жильные тела габбронорита амфиболизированного рудного с порфировидной структурой (шл. 98/12). Мин. состав: плагиоклаз — 35–40 %; пироксены (моноклинный и ромбический) — 10 %; амфибол — 35 %; рудный минерал до 15 %; биотит — 2 %; апатит — доли процента. Структура породы гипидиоморфнозернистая, среднезернистая, порфировидная. Вкрапленники представлены амфиболом (15 %) размером до 1,5×3,0 см. Плагиоклаз образует гипидиоморфные удлиненные кристаллы размером 0,3–1,5 мм. Пироксены моноклинный и ромбический сохранились в виде реликтовых включений в амфиболовой (уралитовой) массе. Амфибол представлен вторичной уралитовой роговой обманкой, образующей псевдоморфозы выполнения по первичным цветным минералам габбро. Рудный минерал образует зерна неправильной формы величиной 0,1–0,8 мм. Местами встречается в виде чер-

вевидных гистерогенных выделений в амфиболовой массе с образованием симплектитовой структуры. Биотит часто образует оторочки вокруг зерен рудного минерала. Апатит встречается в виде единичных зерен размером до 1,0 мм.

Все изученные габбро и габбронориты в разной степени амфиболизированы нередко до полного замещения пироксенов уралитовой роговой обманкой. Плагноклаз при нескольких определениях оказался лабрадором № 55–57. В одном случае – андезином № 45–50.

Результаты петрохимических и геохимических исследований

Темная полоса тонкорасслоенных габбро (обр. 96/12), вмещающие их амфиболизированные габбро (обр. 97/12) и жильное тела габбронорита амфиболизированного с порфиroidной структурой (обр. 98/12) характеризуются низким содержанием SiO_2 (42,04–44,86 %) и K_2O (0,06–0,2 %) (табл. 1). На диаграмме TAS их фигуративные точки находятся в поле перидотитовых габбро (рис. 4). По отношению ($\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} = 7,5\text{--}16$) они соответствуют натриевой петрохимической серии. На диаграмме AFM их фигуративные точки попадают в поле толеитовой серии (рис. 5). Темная полоса тонкорасслоенных габбро (обр. 96/12) и вмещающие их однородные габбро (обр. 97/12) имеют коэффициент железистости $\text{Kф} = 57,90\text{--}58,8\%$ ($\text{Kф} = (\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3) \times 100 / (\text{MgO} + \text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3)$). У них очень близкий химический состав (табл. 1, 2).

В габбро темной полосы тонкополосчатого габбро (обр. 96/12) невысокие содержания Cr (62,2 ppm), Ni (38,1 ppm) V (283 ppm) и высокочargedных литофильных элементов — Y (4,2 ppm), Nb (1,6 ppm) (табл. 2). График редкоземельных элементов (РЗЭ) слабо дифференцированный — $\text{La/YbN} = 7,53$, при $\text{YbN} = 0,6$ (рис. 6). Выделяется положительная европиевая аномалия $\text{Eu/Eu}^* = 1,59$.

Таблица 1

Силикатные анализы габброидов о. Питерман, %

Окислы	1/ 96/12	2/ 97/12	3/ 98/12	4/ 99/12	5/ 172	6/ 100/12
SiO_2	43,54	44,86	44,82	42,80	42,80	42,04
TiO_2	1,51	1,71	1,73	2,38	2,38	2,28
Al_2O_3	23,10	21,20	17,85	20,40	20,40	21,45
Fe_2O_3	3,00	2,73	4,71	3,96	3,96	9,48
FeO	6,19	7,20	9,36	7,49	7,49	4,18
MnO	0,13	0,16	0,19	0,13	0,13	0,17
MgO	6,44	7,22	6,24	5,60	5,60	5,12
CaO	12,65	11,27	11,42	14,03	14,03	11,80
Na_2O	1,50	1,70	1,59	1,30	1,30	1,60
K_2O	0,20	0,10	0,20	0,10	0,10	0,10
$\text{S}_{\text{общ}}$	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
P_2O_5	0,15	0,16	0,24	0,12	0,12	0,13
H_2O	0,29	0,35	0,25	0,35	0,25	0,28
П.п.п.	0,95	1,00	0,97	1,00	0,97	0,87
Сумма	99,65	99,66	99,57	99,53	99,53	99,50
$\text{K}_{\text{ф}} (\%)$	58,80	57,90	69,27	67,16	67,16	72,74
$\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$	7,5	17	7,95	13,00	13	16

Примечание. Обнажение тонкорасслоенных габбро: 1 — габбро амфиболизированное (обр. 96/12); 2 — габбро амфиболизированное (уралитовое габбро) (обр. 97/12); 3 — жила габбронорита амфиболизированного с порфиroidной структурой (обр. 98/12). Другие обнажения габброидов на о. Питерман: 4 — габбро амфиболизированное рудное (обр. 99/12); 5 — габбро амфиболизированное (обр. 172); 6 — габбро амфиболизированное рудное (обр. 100/12).

Содержания элементов в габброидах о. Питерман, ppm

Элементы	1/ 96/12	2/ 97/12	3/ 98/12	4/ 99/12	5/ 172	6/ 100/12
Li	9,4	5,8	5,2	4,6	11,4	6,7
Be	0,40	0,59	0,63	0,40	0,33	0,44
Sc	5,1	11,1	34,1	38,3	35,7	12,1
Rb	7,2	4,4	4,9	3,5	8,8	5,5
Sr	706	678	553	590	597	654
Ba	97,7	125	141	88,0	92,1	102
V	283	284	557	568	581	607
Cr	62,2	107	105	24,5	12,7	10,5
Co	38,0	41,3	45,9	36,8	36,6	49,7
Ni	38,1	34,0	32,1	22,8	10,6	27,8
Cu	12,1	13,4	19,8	16,5	47,3	13,9
Zn	71,7	79,8	108	85,0	93,7	101
Ga	20,3	20,3	20,6	20,9	20,9	21,4
As	0,61	0,88	< ПО	1,2	–	0,77
Y	4,2	5,87	18,2	8,57	8,6	5,6
Nb	1,6	1,5	2,3	2,3	1,2	1,7
Ta	0,21	0,33	1,0	0,61	0,11	0,20
Zr	12,2	10,0	18,6	14,7	20,8	13,9
Hf	0,43	0,44	0,84	0,66	0,75	0,53
U	0,21	0,19	0,20	0,13	0,13	0,10
Th	1,4	0,80	0,88	0,68	0,51	0,38
La	4,2	5,1	10,2	3,8	4,0	3,5
Ce	9,1	10,8	24,0	8,9	9,3	7,8
Pr	1,2	1,4	3,2	1,2	1,3	1,0
Nd	4,9	5,9	15,0	5,9	6,3	4,8
Sm	1,0	1,2	3,6	1,6	1,6	1,1
Eu	0,50	0,70	0,95	0,68	0,63	0,57
Gd	0,92	1,2	3,7	1,6	1,8	1,1
Tb	0,13	0,17	0,55	0,26	0,26	0,17
Dy	0,77	1,1	3,4	1,6	1,6	1,0
Ho	0,15	0,22	0,68	0,32	0,32	0,21
Er	0,44	0,66	1,9	1,0	1,0	0,62
Tm	0,064	0,095	0,27	0,13	0,13	0,085
Yb	0,40	0,68	1,7	0,83	0,83	0,56
Lu	0,059	0,10	0,25	0,11	0,12	0,082
Mo	0,92	0,46	0,64	0,49	0,73	0,38
Sb	0,23	0,20	0,19	0,20	0,33	0,21
Cs	0,65	0,40	0,42	0,41	1,0	1,1
W	0,32	0,24	0,27	0,32	0,48	0,32
Pb	5,5	5,4	7,1	4,7	7,7	4,7
Сумма РЗЭ	23,8	29,3	69,4	27,9	29,19	22,6
La/Yb _N	7,53	5,38	4,30	3,28	3,46	4,48
Eu/Eu*	1,59	1,78	0,80	1,59	1,14	1,58
Nb/La _N	0,36	0,28	0,22	0,58	0,29	0,86
Ti/Zr	742	1025	558	970	403	983
ΔNb	0,44	0,79	0,83	0,71	0,16	0,45

Примечание. Привязки образцов в таблице 1. $\Delta Nb = \lg(Nb/Y) + 1,74 - 1,92 \lg(Zr/Y)$ [16].

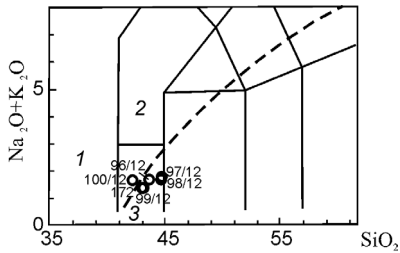


Рис. 4. Диаграмма TAS ($\text{SiO}_2 - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$) для габброидов о. Питерман. Классификационные поля по [14]: 1 — фойдолит, 2 — фойдогаббро, 3 — перидотитовое габбро. Штриховая линия разделяет поля щелочных и известково щелочных пород

Fig. 4. The TAS diagram ($\text{SiO}_2 - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$) for the gabbroids of Peterman Island. Classification fields according to [14]: 1 — foidolite, 2 — foidogabbro, 3 — peridotite gabbro. The dashed line separates the fields of alkaline and calc-alkaline rocks

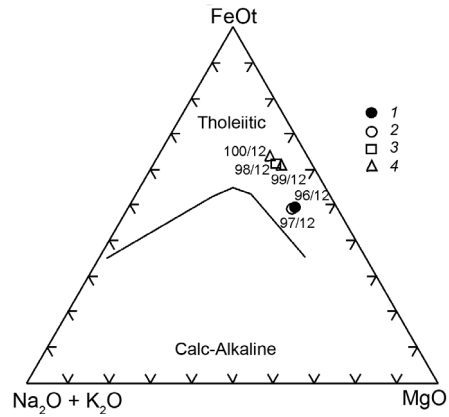


Рис. 5. Диаграмма AFM для габброидов о. Питерман: 1 — габбро темной полосы тонкопосластчатых габбро; 2 — вмещающие габбро; 3 — жильные тела габбронорита амфиболизированного с порфирированной структурой; 4 — габброиды других участков о. Питерман

Fig. 5. The AFM diagram for gabbroids of Peterman Island: 1 — gabbro of a dark strip of thin-layered gabbro; 2 — inklosing gabbro; 3 — vein of amphibolized gabbronorite with a porphyry structure; 4 — gabbroids of other sites of Peterman Island

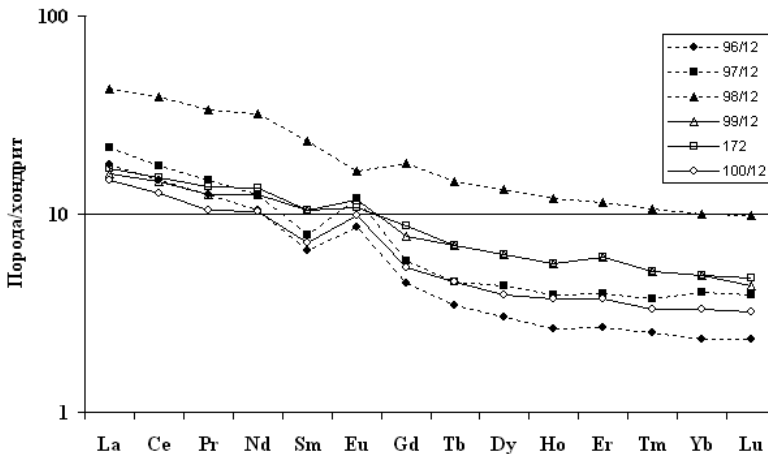


Рис. 6. График распределения РЗЭ для габброидов о. Питерман. Нормировано на состав хондрита C1 [15]

Fig. 6. REE distribution diagram for gabbroids of Peterman Island. Normalized to the composition of chondrite C1 [15]

Во вмещающих амфиболизированных габбро (обр. 97/12) также невысокие содержания Cr (107 ppm), Ni (34 ppm) и высоkozарядных литофильных элементов — Y (5,87 ppm), Nb (1,5 ppm), V (284 ppm) (табл. 2). График РЗЭ дифференцированный — $La/YbN = 5,38$, при $YbN = 0,6$ (рис. 6). Выделяется положительная европиевая аномалия $Eu/Eu^* = 1,78$.

Секущие жильные тела габбронорита амфиболизированного с порфировой структурой (обр. 98/12) имеют более высокий коэффициент железистости — $Kф = 69,27\%$ (табл. 1). В них значительно выше содержание V (557 ppm), Y (18,2 ppm) и РЗЭ (табл. 2). Содержания Cr (105 ppm) и Ni (32,1 ppm) невысокие. График РЗЭ слабо дифференцированный — $La/YbN = 4,30$, при $YbN = 10$ (рис. 6). Выделяется отрицательная европиевая аномалия $Eu/Eu^* = 0,80$. По этим геохимическим характеристикам они отличаются от тонкорасслоенных и вмещающих габбро.

На мультиэлементных диаграммах для всех изученных габбро выделяются положительные аномалии Sr, Eu, Ti и отрицательные аномалии Nb (рис. 7). Положительные аномалии Sr, Eu и Ti указывают на кумуляцию плагиоклаза и, по-видимому, ильменита в магматическом источнике. За исключением секущих жил поздних интрузивных габброноритов (обр. 98/12), на графиках РЗЭ габброидов наблюдаются положительные европиевые аномалии (рис. 6).

Согласно полученным геохимическим данным, габброиды кристаллизовались из дифференцированной магмы, которая образовалась в промежуточных коровых магматических камерах. Дифференциация проходила преимущественно под контролем плагиоклаза и, вероятно, ильменита. Габброиды о. Питерман отличаются от базальтов срединно-океанических хребтов типа MORB сильной дифференцированностью (рис. 7).

На диаграмме $Zr/Y - Nb/Y$ [16] фигуративные точки изученных габброидов попадают в поле плюмовых составов (рис. 8) вблизи точки состава примитивной мантии (PM).

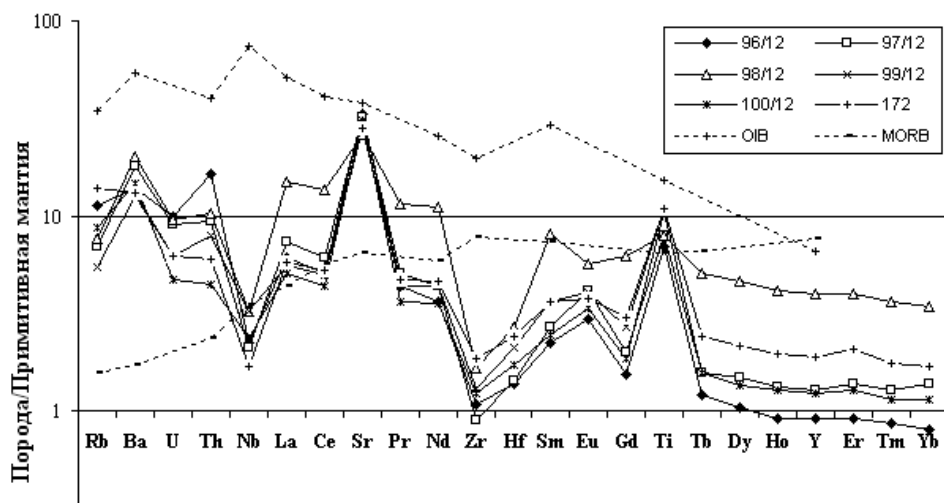


Рис. 7. Мультиэлементная диаграмма для габброидов о. Питерман. Нормировано на состав примитивной мантии (PM) [15]

Fig. 7. The Multielement diagram for gabbroids of Peterman Island. It is normalized to the composition of the primitive mantle (PM) [15]

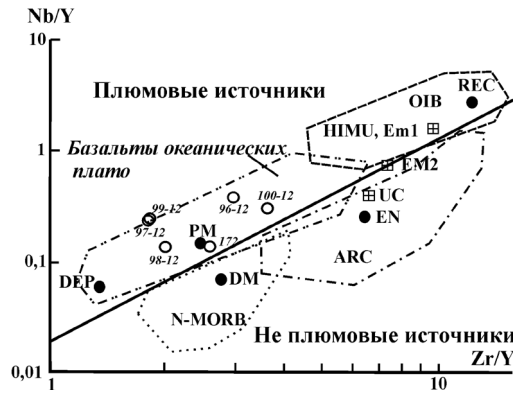


Рис. 8. Диаграмма $Zr/Y - Nb/Y$ [16] для габброидов о. Питерман

Fig. 8. The $Zr/Y - Nb/Y$ diagram [16] for gabbroids of Peterman Island

Все габброиды сильно загрязнены коровым веществом, на что указывают низкие значения отношения $(Nb/La)_N$ (0,22–0,86) (табл. 2). Эта контаминация связана, вероятно, с регрессивным метаморфизмом габброидов, вызванным внедрением более поздних интрузий гранитоидов андийского комплекса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Габброиды о. Питерман представлены в разной степени амфиболизированными среднезернистыми габбро с гипидиоморфной структурой. Среди них выявлен ксенолит тонкорасслоенных габброидов размером 3×8 м, в котором наблюдается чередование темных и светло-серых полос шириной около 3 см, отличающихся только количеством темноцветных минералов. Габброиды о. Питерман имеют низкое содержание кремнезема и калия и по петрохимическим характеристикам соответствуют перидотитовым габбро. В них невысокие содержания Cr, Ni, V и высокозарядных литофильных элементов Y и Nb. Габброиды кристаллизовались из основной магмы, дифференцированной в промежуточных коровых магматических камерах. Положительные аномалии Sr, Eu и Ti на мультиэлементных диаграммах и позитивные аномалии европия Eu/Eu^* указывают на кумуляцию плагиоклаза и, по-видимому, ильменита в магматическом источнике. Основным магматическим источником для габброидов была, вероятно, примитивная мантия (PM). Габброиды загрязнены коровым веществом. Эта контаминация связана, вероятно, с их регрессивным метаморфизмом, вызванным внедрением более поздних интрузий гранитоидов андийского комплекса. Тонкорасслоенные габброиды ксенолита по химическому составу не отличаются от остальных однородных габбро о. Питерман. Темные и светлые полосы тонкорасслоенных габбро отличаются только количеством темноцветных минералов. На генезис этой расслоенности есть две точки зрения. Согласно Е.В. Шаркову [12], наблюдаемая расслоенность аналогична первично-магматической расслоенности, встречающейся в мелких телах базитов, которая образуется еще на стадии течения расплава до его кристаллизации [12, 13]. Это представление, однако, не согласуется с геологическими данными, так как тело тонкорасслоенных габброидов имеет резко несогласные контакты с вмещающими габбро. Более вероятно, что этот ксенолит представляет собой часть (фрагмент) стенки магматической камеры, в которой происходила дифференциация основной магмы, которая была перемещена потоком магмы в верхнюю часть интрузии.

Благодарности. Автор благодарит руководство НАНЦ Украины за предоставленную возможность выполнить полевые исследования на УАС «Академик Вернадский». Работа выполнена в рамках Государственной целевой научно-технической программы Украины в Антарктике на 2011–2020 гг.

Acknowledgments. The author thanks the administration of the National Science Center of Ukraine for the provided opportunity to carry out field research from the Ukrainian Antarctic station “Akademik Vernadsky”. The work was carried out within the framework of the State Target Scientific and Technical research program of Ukraine in Antarctica for 2011–2020 years.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грикуров Г.Э. Геология Антарктического полуострова. М.: Наука, 1973. 120 с.
2. Curtis R. The petrology of the Graham Coast, Graham Coast, Land // British Antarct. Surv. Sci. Rep. 1966. № 50. P. 3–51.
3. Elliot D.H. The petrology of the Argentine Islands // British Antarct. Surv. Sci. Rep. 1964. № 41. P. 1–31.
4. Storey B.C., Garrett S.W. Crustal growth of the Antarctic Peninsula by accretion, magmatism and extension // Geol. Mag. 1985. V. 122. P. 5–14.
5. Pankhurst R.J., Riley T.R., Fanning C.M., Kelley S.P. Episodic Silicic Volcanism in Patagonia and the Antarctic Peninsula: Chronology of Magmatism Associated with the Break-up of Gondwana // Journ. of Petrology. 2000. V. 41. № 5. P. 605–625.
6. Tangeman J.A., Mukasa S.B., Grunow A.M. Zircon U-Pb geochronology of plutonic rocks from the Antarctic Peninsula: Confirmation of the presence of unexposed Paleozoic crust // Tectonics. 1996. V. 15. № 6. P. 1309–1324.
7. Gladkochub D., Bakhmutov V., Vodovozov V., Vaschenko V. New achievements in geological-geophysics investigations at the Academic Vernadsky Station area (Western Antarctica): petrology, geochronology and mineral resources // Scientific investigations in Antarctica: Abstracts of III International Conference. Kiev: UAC, 2006. P. 36.
8. Артеменко Г.В., Бахмутов В.Г., Самборская И.А., Канунникова Л.И. Проявления рудной минерализации в интрузивном комплексе архипелага Аргентинские острова (Западная Антарктика) // Мінерал. журн. 2011. Т. 33. № 3. С. 90–99.
9. Karandashev V. K., Khvostikov V. A., Nosenko S. V., Burmii Zh. P. Stable highly enriched isotopes in routine analysis of rocks, soils, grounds, and sediments by ICP-MS // Inorganic Materials. 2017. V. 53. № 14. P. 1432–1441.
10. Митрохин О., Бахмутов В., Гаврилів Л., Алексєєнко А. Геологічна будова острова Пітерман (Архіпелаг Вільгельма, Західна Антарктика) // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка, сер. Геологія. 2018. V. 1 (80). С. 7–15.
11. Wager L.R., Brown, G.M. Layered Igneous Rocks. Edinburgh: Oliver and Boyd, 1968. 588 p.
12. Шарков Е.В. Формирование расслоенных интрузивов и связанного с ними оруденения. М.: Научный мир, 2006. 368 с.
13. Елисеев Н.А. Основы структурной петрологии. Л.: Наука, 1967. 258 с.
14. Le Maitre R.W. A Proposal by the IUGS Subcommission on the Systematics of igneous rocks for a chemical classification of volcanic rocks based on the total Alkali – Silica (TAS) diagram // Australian J. Earth Sci. 1984. V. 31. P. 243–255.
15. Sun S.S., McDonough W.F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes // Magmatism in the Ocean Basins / Saunders A.D., Norry M.J. (eds). Geological Society. Special Publication. Cambridge University Press, 1989. № 42. P. 313–345.

16. *Condie K.C.* High field strength element ratios in Archean basalts: a window to evolving sources of mantle plumes? // *Lithos*. 2005. V. 79. P. 491–504.

REFERENCES

1. *Grikurov G.E.* *Geologiya Antarktičeskogo poluostrova*. Geology of the Antarctic Peninsula. Moscow: Nauka, 1973: 120 p. [In Russian].
2. *Curtis R.* The petrology of the Graham Coast, Graham Coast, Land. British Antarct. Surv. Sci. Rep. 1966, 50: 3–51.
3. *Elliot D.H.* The petrology of the Argentine Islands. British Antarct. Surv. Sci. Rep. 1964, 41: 1–31.
4. *Storey B.C., Garrett S.W.* Crustal growth of the Antarctic Peninsula by accretion, magmatism and extension. *Geol. Mag.* 1985, 122: 5–14.
5. *Pankhurst R.J., Riley T.R., Fanning C.M., Kelley S.P.* Episodic silicic volcanism in Patagonia and the Antarctic Peninsula: Chronology of magmatism associated with the break-up of Gondwana. *Journ. of Petrology*. 2000, 41(5): 605–625.
6. *Tangeman J.A., Mukasa S.B., Grunow A.M.* Zircon U-Pb geochronology of plutonic rocks from the Antarctic Peninsula: Confirmation of the presence of unexposed Paleozoic crust. *Tectonics*. 1996, 15 (6): 1309–1324.
7. *Gladkochub D., Bakhmutov V., Vodovozov V., Vaschenko V.* New achievements in geological-geophysics investigations at the Academic Vernadsky Station area (Western Antarctica): petrology, geochronology and mineral resources. Scientific investigations in Antarctica: Abstracts of III International Conference. Kiev: UAC, 2006: 36.
8. *Artemenko G.V., Bakhmutov V.G., Samborska I.A., Kanunnikova L.I.* Manifestations of ore mineralization in the intrusive complex of the archipelago of the Argentine Islands (West Antarctica). *Mineral. Journal*. 2011, 33 (3): 90–99. [In Russian].
9. *Karandashev V.K., Khvostikov V.A., Nosenko S. V., Burmii Zh. P.* Stable highly enriched isotopes in routine analysis of rocks, soils, grounds, and sediments by ICP-MS. *Inorganic Materials*. 2017, 53 (14): 1432–1441.
10. *Mitrokhin O., Bakhmutov V., Gavryliv L., Alekseyeyenko A.* Geological structure of Peterman Island (Wilhelm Archipelago, Western Antarctica). *Visnyk Kyivskogo nacionalnogo universytetu imeni Tarasa Shevchenka, ser. Geologiya*. Bulletin of the Taras Shevchenko National University of Kiev, ser. Geology. 2018, 1 (80): 7–15 [In Ukraine].
11. *Wager L.R., Brown G.M.* Layered Igneous Rocks. Edinburgh: Oliver and Boyd, 1968: 588 p.
12. *Sharkov E.V.* *Formirovaniye rassloyennykh intruzivov i svyazannogo s nimi orudeneniya*. Formation of layered intrusions and their ore mineralization. Moscow: Scientific world, 2006: 368 p. [In Russian].
13. *Eliseev N.A.* *Osnovy strukturnoi petrologii*. Fundamentals of structural petrology. Leningrad: Nauka, 1967: 258 p. [In Russian].
14. *Le Maitre R.W.* A Proposal by the IUGS Subcommittee on the systematics of igneous rocks for a chemical classification of volcanic rocks based on the total Alkali – Silica (TAS) diagram. *Australian J. Earth Sci.* 1984, 31: 243–255.
15. *Sun S.S., McDonough W.F.* Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. *Magmatism in the Ocean Basins*. Saunders A.D., Norry M.J. (eds). Geological Society. Special Publication. Cambridge University Press, 1989, 42: 313–345.
16. *Condie K.C.* High field strength element ratios in Archean basalts: a window to evolving sources of mantle plumes? *Lithos*. 2005, 79: 491–504.