

<https://doi.org/10.15407/dopovidi2019.11.057>

УДК 550.4 (477)

Г.В. Артеменко

Институт геохимии, минералогии и рудообразования
им. Н. П. Семеновко НАН Украины, Киев
E-mail: regulgeo@gmail.com

Геохимия и генезис тонкорасслоенных габброидов острова Питерман (Западная Антарктида)

Представлено академиком НАН Украины А.Н. Пономаренко

В интрузии габброидов андийского комплекса на о. Питерман (Западная Антарктида) выявлен ксенолит (3 × 8 м) тонкорасслоенных габбро, в котором наблюдается чередование полос шириной 3 см габброидов с разным количеством темноцветных минералов. Происхождение такой расслоенности связывается с сортировкой зародышей кристаллов при ламинарном течении расплава в подводящем канале еще горячей интрузии и быстрой объемной кристаллизации. По химическому составу тонкорасслоенные габброиды не отличаются от вмещающих однородных габбро. Они образовались из высокотемпературного плюмового расплава и отличаются низким содержанием кремнезема и калия. Основным магматическим источником для них была мантия РМ. Габброиды контаминированы коровым веществом, на что указывают низкие значения отношения $(Nb/La)_N$ (0,22–0,86). Эта контаминация связана с регрессивным метаморфизмом габброидов, вызванным внедрением более поздних интрузий гранитоидов андийского комплекса. Ксенолит тонкорасслоенных габбро представляет собой, вероятно, фрагмент одного из подводящих каналов поздних интрузивных фаз габброидов массива.

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

Остров Питерман находится в архипелаге островов Вильгельма у западного побережья Антарктического полуострова (Земля Грея) (рис. 1). Он сложен интрузивными породами андийского комплекса. Согласно геохронологическим данным, габбро-гранитоидные интрузии андийского комплекса образовались почти на 100 млн лет позже вулканической группы Арктического полуострова [1–3] и, таким образом, они относятся к разным тектоно-магматическим этапам формирования магматической дуги Антарктического полуострова. Для выяснения их генезиса особый интерес представляют габброиды андийского комплекса, так как петрологические модели их формирования хорошо разработаны.

В северо-западной части о. Питерман на склоне в сторону бухты (S 65°09,881'; W 64°09,099') среди амфиболизированных габбро (уралитовое габбро) андийского комплекса выявлен

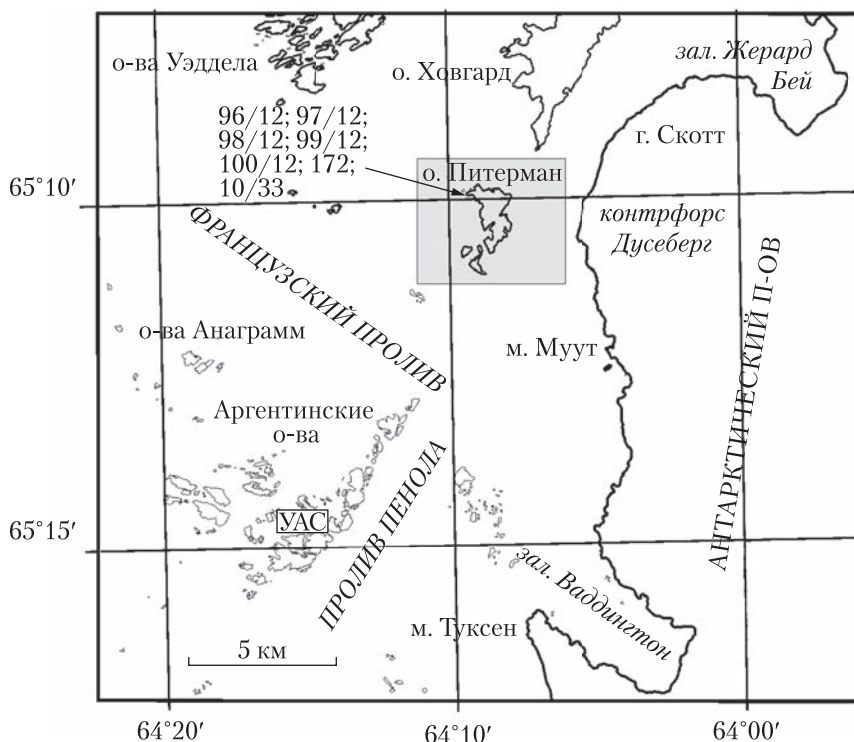


Рис. 1. Схематическая карта островов архипелагов Вильгельма, Аргентинские острова и прилегающей части Антарктического полуострова. УАС — Украинская антарктическая станция “Академик Вернадский”

ксенолит тонкорасслоенных габброидов шириной около 3 м и длиной до 8 м. Контакт между ними резкий (рис. 2, а). Зона закалки между ними отсутствует. В тонкорасслоенных габбро наблюдается чередование темных и светло-серых полос шириной около 3 см (см. рис. 2, б). Контакты между слоями постепенные. Расстояние между серединами смежных темных слоев составляет около 5 см. Азимут простирания полосчатости СЗ 320°, аз. пад. ЮЗ 230°, угол пад. 70°. Ксенолит тонкополосчатых габброидов и вмещающие амфиболизированные габбро прорываются жильными телами габбронорита амфиболизированного (см. рис. 2, а). Указанный комплекс габброидов прорывается жилой гранодиоритов андийского комплекса мощностью до 3,5 см (см. рис. 2, в).

Результаты исследований. Темные полосы тонкорасслоенных габбро (ширина до 3 см) сложены габбро амфиболизированным (обр. 96/12–1). Минералогический состав: плагиоклаз (лабрадор № 55) — 55 %; амфибол — 45 %; шпинель — 2–3 %; рудный минерал — 1 %. Структура породы гипидиоморфнозернистая, среднезернистая. Текстура полосчатая. Амфибол представлен вторичной роговой обманкой типа уралита, образующей псевдоморфозы выполнения по первичным пироксенам. Шпинель (герцинит) находится в виде включений в уралите.

Светлые полосы тонкорасслоенных габбро (ширина до 2 см) сложены габбро амфиболизированным (обр. 96/12-2). Минералогический состав: плагиоклаз (лабрадор) — 80–85 %; амфибол — 10–15 %; биотит — 1 %; рудный минерал — 1–2 %. Структура породы пани-

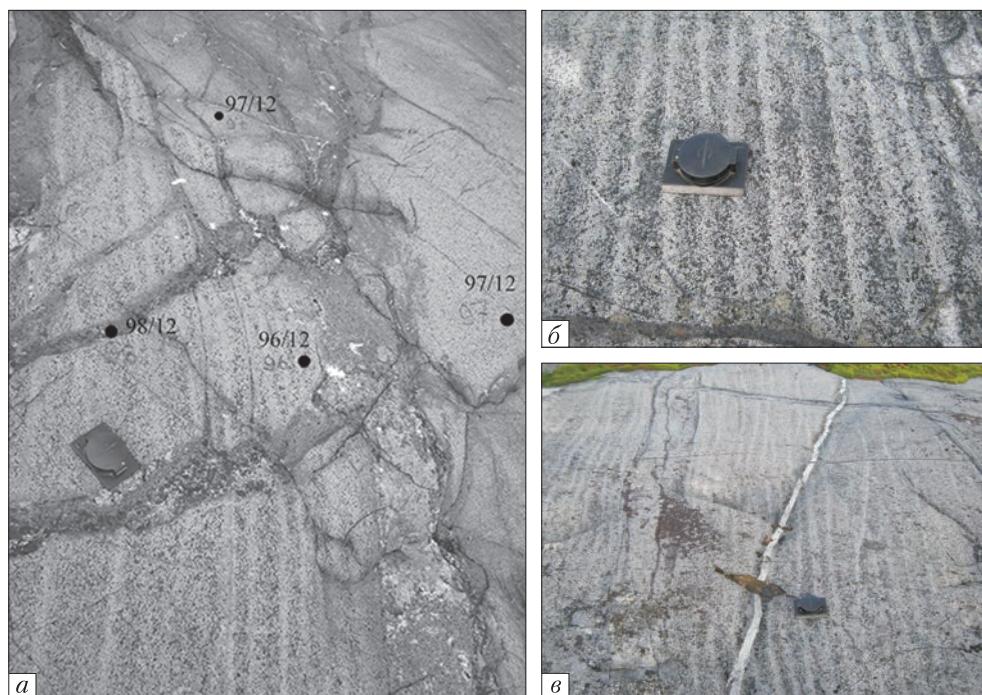


Рис. 2. Ксенолит тонкорасслоенных габбро на о. Питерман: *а* — геологические соотношения ксенолита тонкорасслоенных габбро (обр. 96/12), вмещающих амфиболизированных габбро (обр. 97/12) и жильных тел габбронорита амфиболизированного с порфиоровидной структурой (обр. 98/12); *б* — тонкорасслоенные габбро; *в* — геологические соотношения габброидов и жилы гранодиоритов андийского комплекса

диоморфнозернистая, среднезернистая (0,6–1,2 мм). Текстура полосчатая. Амфибол представлен уралитовой роговой обманкой, которая образует псевдоморфозы выполнения по первичным темноцветным минералам габбро (пироксенам и другим). Биотит встречается в виде оторочек вокруг зерен рудного минерала.

Темные и светлые полосы тонкорасслоенных габбро отличаются только количеством темноцветных минералов.

Вмещающими для ксенолита тонкорасслоенных габбро являются амфиболизированные габбро (уралитовое габбро) (шл. 97/12). Минералогический 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. Уралит слагает псевдоморфозы выполнения по первичному пироксену и, вероятно, другим минералам габбро. Биотит (вторичный) обычно находится в ассоциации с рудным минералом. Рудный минерал содержит включения биотита, плагиоклаза, уралита.

Секущие жильные тела габбронорита амфиболизированного рудного с порфиоровидной структурой (шл. 98/12). Минералогический состав: плагиоклаз — 35–40 %; пироксены (моноклинный и ромбический) — 10 %; амфибол — 35 %; рудный минерал — до 15 %; биотит — 2 %; апатит — доли %. Структура породы гипидиоморфнозернистая, среднезернистая, порфиоровидная. Вкрапленники представлены амфиболом размером до 1,5 × 3,0 см. Пироксены моноклинный и ромбический сохранились в виде реликтовых включений в амфиболовой (уралитовой) массе.

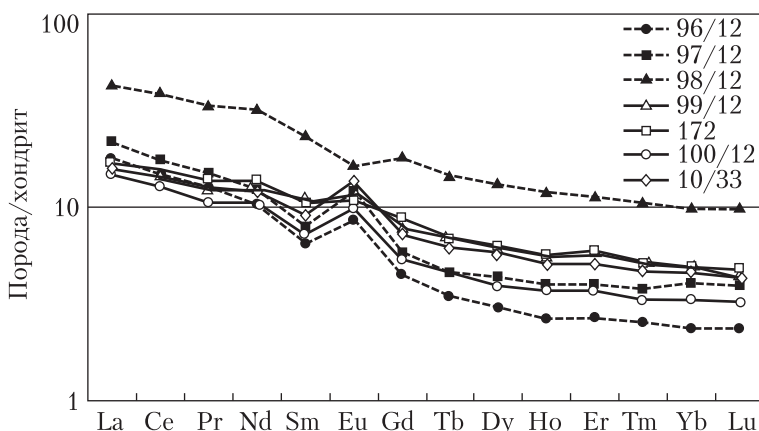


Рис. 3. График распределения РЗЭ для габброидов о. Питерман. Нормировано на хондрит С1

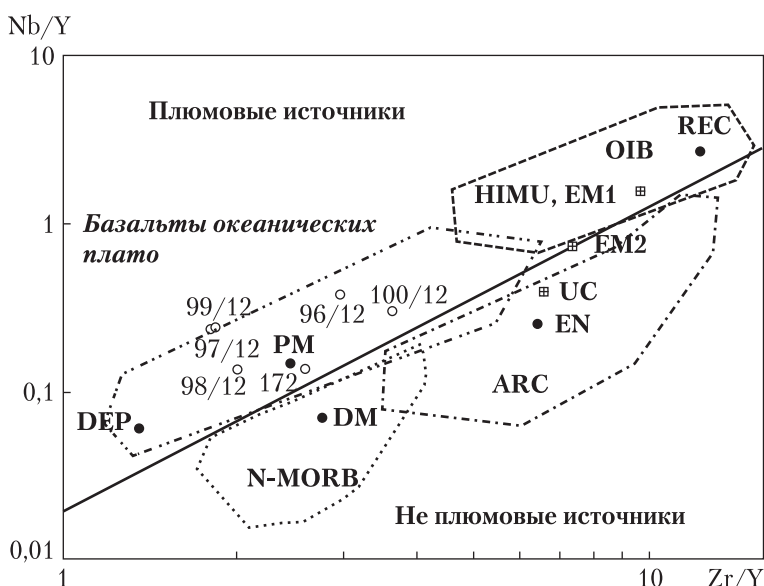


Рис. 4. Диаграмма Zr/Y – Nb/Y [4] для габброидов о. Питерман. Мантийные источники: обогащенная U+Th/Pb мантия (HIMU); обогащенная мантия (EM1, EM2); примитивная мантия (PM); деплетированная мантия (DM); глубинная деплетированная мантия (DEP); обогащенный компонент (EN); рециклированная литосфера (REC); верхняя кора (UC); обогащенные срединно-океанические базальты E-MORB; нормальные срединно-океанические базальты N-MORB; базальты океанических островов (OIB); базальты островных дуг (ARC)

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

Результаты петрохимических и геохимических исследований. Тонкорасслоенные габбро (обр. 96/12), вмещающие их амфиболизированные габбро (обр. 97/12) и прорывающие их жильные тела габбронорита (обр. 98/12) характеризуются низким содержанием SiO_2 (42,04–44,86 %), K_2O (0,06–0,2 %) и повышенным – TiO_2 (1,51–2,38 %) (табл. 1). На диа-

грамме TAS их фигуративные точки находятся в поле перидотитовых габбро. По отношению $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} = 7,5 \div 16$ они соответствуют натриевой петрохимической серии. На диаграмме AFM их фигуративные точки попадают в поле толеитовой серии. Темная полоса тонкорасслоенных габбро (обр. 96/12) и вмещающие их однородные габбро (обр. 97/12) имеют близкие коэффициенты железистости (фракционирования): $K_{\text{ф}} = 57,90 \div 58,8$ %. По геохимическим характеристикам они очень сходны.

В габбро темной полосы тонкополосчатого габбро (обр. 96/12) невысокие содержания Cr (62,2 ppm), Ni (38,1 ppm), V (283 ppm) и высокозарядных элементов Y (4,2 ppm), Nb (1,6 ppm) (табл. 2). График распределения редкоземельных элементов (РЗЭ) дифференцированный – $\text{La}/\text{Yb}_{\text{N}} = 7,53$, при $\text{Yb}_{\text{N}} = 0,6$. Выделяется положительная европиевая аномалия $\text{Eu}/\text{Eu}^* = 1,59$ (рис. 3).

Во вмещающих амфиболизированных габбро (обр. 97/12) также невысокие содержания Cr (107 ppm), Ni (34 ppm) и высокозарядных элементов Y (5,87 ppm), Nb (1,5 ppm), V

Таблица 1. Результаты силикатных анализов габброидов о. Питерман, %

Окислы	Номер образца					
	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 ₂ O ₃	23,10	21,20	17,85	20,40	20,40	21,45
Fe ₂ O 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 ₂ O	1,50	1,70	1,59	1,30	1,30	1,60
K ₂ O	0,20	0,10	0,20	0,10	0,10	0,10
S _{общ}	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
P ₂ O ₅	0,15	0,16	0,24	0,12	0,12	0,13
H ₂ O ⁻	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
K _ф , %	58,80	57,90	69,27	67,16	67,16	72,74
Na ₂ O/K ₂ O	7,50	17,00	7,95	13,00	13,00	16,00

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). Габброиды других участков о. Питерман: 4 – габбро амфиболизированное рудное (обр. 99/12); 5 – габбро амфиболизированное (обр. 172); 6 – габбро амфиболизированное рудное (обр. 100/12). Химические анализы выполнены в ИГМР им. Н.П. Семененко НАН Украины. $K_{\text{ф}} = (\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3) \cdot 100 / (\text{MgO} + \text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3)$.

Таблица 2. Содержание элементов в габброидах о. Питерман, ppm

Элементы	Номер образца						
	1–96/12	2–97/12	3–98/12	4–99/12	5–172	6–100/12	7–10/33
Li	9,4	5,8	5,2	4,6	11,4	6,7	7,2
Be	0,40	0,59	0,63	0,40	0,33	0,44	0,61
Sc	5,1	11,1	34,1	38,3	35,7	12,1	22,0
Rb	7,2	4,4	4,9	3,5	8,8	5,5	7,9
Sr	706	678	553	590	597	654	774
Ba	97,7	125	141	88,0	92,1	102	91,2
V	283	284	557	568	581	607	265
Cr	62,2	107	105	24,5	12,7	10,5	33,4
Co	38,0	41,3	45,9	36,8	36,6	49,7	28,1
Ni	38,1	34,0	32,1	22,8	10,6	27,8	19,1
Cu	12,1	13,4	19,8	16,5	47,3	13,9	53,0
Zn	71,7	79,8	108	85,0	93,7	101	85,1
Ga	20,3	20,3	20,6	20,9	20,9	21,4	21,1
As	0,61	0,88	< ПО	1,2	—	0,77	1,7
Y	4,2	5,87	18,2	8,57	8,6	5,6	7,4
Nb	1,6	1,5	2,3	2,3	1,2	1,7	3,6
Ta	0,21	0,33	1,0	0,61	0,11	0,20	0,84
Zr	12,2	10,0	18,6	14,7	20,8	13,9	5,6
Hf	0,43	0,44	0,84	0,66	0,75	0,53	0,24
U	0,21	0,19	0,20	0,13	0,13	0,10	0,18
Th	1,4	0,80	0,88	0,68	0,51	0,38	0,96
La	4,2	5,1	10,2	3,8	4,0	3,5	4,0
Ce	9,1	10,8	24,0	8,9	9,3	7,8	8,8
Pr	1,2	1,4	3,2	1,2	1,3	1,0	1,2
Nd	4,9	5,9	15,0	5,9	6,3	4,8	5,6
Sm	1,0	1,2	3,6	1,6	1,6	1,1	1,4
Eu	0,50	0,70	0,95	0,68	0,63	0,57	0,79
Gd	0,92	1,2	3,7	1,6	1,8	1,1	1,5
Tb	0,13	0,17	0,55	0,26	0,26	0,17	0,23
Dy	0,77	1,1	3,4	1,6	1,6	1,0	1,5
Ho	0,15	0,22	0,68	0,32	0,32	0,21	0,29
Er	0,44	0,66	1,9	1,0	1,0	0,62	0,85
Tm	0,064	0,095	0,27	0,13	0,13	0,085	0,12
Yb	0,40	0,68	1,7	0,83	0,83	0,56	0,80
Lu	0,059	0,10	0,25	0,11	0,12	0,082	0,11
Mo	0,92	0,46	0,64	0,49	0,73	0,38	0,55
Sn*	1,1	0,77	1,1	3,1	0,78	0,64	1,4
Sb	0,23	0,20	0,19	0,20	0,33	0,21	0,13
Cs	0,65	0,40	0,42	0,41	1,0	1,1	0,49
W	0,32	0,24	0,27	0,32	0,48	0,32	0,40
Pb	5,5	5,4	7,1	4,7	7,7	4,7	4,1
ΣPЗЭ	23,8	29,3	69,4	27,9	29,19	22,6	27,19
La/Yb _N	7,53	5,38	4,30	3,28	3,46	4,48	3,59
Eu/Eu*	1,59	1,78	0,80	1,59	1,14	1,58	1,67
(Nb/La) _N	0,36	0,28	0,22	0,58	0,29	0,86	0,87
ΔNb	0,44	0,79	0,83	0,71	0,16	0,45	1,19

Примечание. Привязки образцов 1–6 даны в примечании к табл. 1; 7 – габбронорит частично амфиболитизированный, северная часть о. Питерман (обр. 10/33).

(284 ppm) (см. табл. 2). График распределения РЗЭ дифференцированный — $La/Yb_N = 5,38$, при $Yb_N = 0,6$. Выделяется положительная европиевая аномалия $Eu/Eu^* = 1,78$ (см. рис. 3).

Секущие жильные тела габбронорита амфиболизированного с порфириковой структурой резко отличаются от тонкорасслоенных и вмещающих габбро. Они имеют более высокий коэффициент железистости — $K_{\text{ф}} = 69,27\%$. В них значительно выше содержание V (557 ppm), высокорядных элементов Y (18,2 ppm), Nb (2,3 ppm), тяжелых РЗЭ и суммы РЗЭ (69,4 ppm). В них невысокие содержания Sr (105 ppm), Ni (32,1 ppm) (см. табл. 2). График распределения РЗЭ дифференцированный — $La/Yb_N = 4,30$, при $Yb_N = 10$. Выделяется отрицательная европиевая аномалия $Eu/Eu^* = 0,80$ (см. рис. 3).

На мультиэлементных диаграммах наблюдаются положительные аномалии Sr, Eu, Ti, что указывает на дифференциацию исходного расплава в коровой магматической камере.

Таким образом, габброиды андийского комплекса кристаллизовались из высокофракционированной основной магмы, образовавшейся в промежуточных коровых магматических камерах. Дифференциация проходила преимущественно под контролем плагиоклаза и, вероятно, ильменита.

На диаграмме Nb/Y-Zr/Y [4] фигуративные точки изученных габброидов попадают в поле плюмовых составов, $\Delta Nb > 0$ (см. табл. 2, рис. 4). Основным магматическим источником для габброидов была мантия РМ.

Все габброиды сильно контаминированы коровым веществом, на что указывают низкие значения отношения $(Nb/La)_N$ (0,22–0,86) (см. табл. 2). Эта контаминация связана, вероятно, с регрессивным метаморфизмом габброидов андийского комплекса, вызванным внедрением более поздних интрузий гранитоидов андийского комплекса [5].

На основании результатов исследования можно сделать следующие выводы. Ксенолит тонкорасслоенных габбро (3 × 8 м) в интрузии габброидов на о. Питерман представляет собой, вероятно, раскристаллизованную магму одного из подводящих каналов поздних интрузивных фаз габбро. По химическому составу тонкорасслоенные габброиды не отличаются от вмещающих габбро. Габброиды о. Питерман образовались из высокотемпературного плюмового расплава. Они отличаются низким содержанием кремнезема и калия. Основным магматическим источником для них была мантия РМ. Габброиды контаминированы коровым веществом, о чем свидетельствуют низкие значения отношения $(Nb/La)_N$ (0,22–0,86). Эта контаминация обусловлена, по-видимому, регрессивным метаморфизмом габброидов, вызванным внедрением более поздних интрузий диоритов и гранитоидов андийского комплекса. Согласно Е.В. Шаркову [6], наблюдаемая расслоенность возникла еще на магматической стадии и является расслоенностью течения магмы.

Автор выражает благодарность руководству НАНЦ Украины за предоставленную возможность выполнить полевые исследования на УАС “Вернадский”.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. 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 Int. conf.* Kyiv: UAC, 2006. P. 36.

2. 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. *J. Petrology*. 2000. **41**, № 5. P. 605–625.
3. 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. P. 1309–1324.
4. Condie K.C. High field strength element ratios in Archean basalts: a window to evolving sources of mantle plumes? *Lithos*. 2005. **79**. P. 491–504.
5. Elliot D.H. The petrology of the Argentine Islands. London: Publ. British Antarctic Survey, 1964. 31 p. (British Antarct. Survey, Scientific reports № 41).
6. Шарков Е.В. Формирование расслоенных интрузивов и связанного с ними оруденения. Москва: Научный мир, 2006. 368 с.

Поступило в редакцию 23.09.2019

REFERENCES

1. Gladkochub, D., Bakhmutov, V., Vodovozov, V. & Vaschenko, V. (2006). New achievements in geological-geophysics investigations at the Academic Vernadsky Station area (Western Antarctica): petrology, geochronology and mineral resources. Proceedings of the III International Conference Scientific investigations in Antarctica (p. 36), Kyiv: UAC.
2. Pankhurst, R. J., Riley, T. R., Fanning, C. M. & Kelley, S. P. (2000). Episodic Silicic Volcanism in Patagonia and the Antarctic Peninsula: Chronology of Magmatism Associated with the Break-up of Gondwana. *J. Petrology*, 41, No. 5, pp. 605-625.
3. Tangeman, J. A., Mukasa, S. B. & Grunow, A. M. (1996). Zircon U-Pb geochronology of plutonic rocks from the Antarctic Peninsula: Confirmation of the presence of unexposed Paleozoic crust. *Tectonics*, 15, No. 6, pp. 1309-1324.
4. Condie, K. C. (2005). High field strength element ratios in Archean basalts: a window to evolving sources of mantle plumes? *Lithos*, 79, pp. 491-504.
5. Elliot, D. H. (1964). The petrology of the Argentine Islands. *British Antarctic Survey Scientific Reports*, No. 41. London: Publ. British Antarctic Survey.
6. Sharkov, E. V. (2006). Formation of stratified intrusions and associated mineralization. Moscow: Nauchnyi mir (in Russian).

Received 23.09.2019

Г.В. Артеменко

Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення
ім. М. П. Семененка НАН України, Київ
E-mail: regulgeo@gmail.com

ГЕОХІМІЯ ТА ГЕНЕЗИС ТОНКОРОЗШАРОВаниХ ГАБРОЇДІВ ОСТРОВА ПІТЕРМАН (ЗАХІДНА АНТАРКТИДА)

У інтрузії габроїдів андійського комплексу на о. Пітерман (Західна Антарктида) виявлено ксеноліт (3 × 8 м) тонкорозшарованих габро, в якому спостерігається чергування смуг завширшки 3 см габроїдів з різною кількістю темноколірних мінералів. Походження такої розшарованості пов'язується із сортуванням зародків кристалів при ламінарній течії розплаву у підвідному каналі ще гарячої інтрузії і швидкій об'ємній кристалізації. За хімічним складом тонкорозшаровані габроїди не відрізняються від вміщуючих однорідних габро. Вони утворилися з високотемпературного плюмового розплаву і відрізняються низьким вмістом кремнезему і калію. Основним магматичним джерелом для них була мантія РМ. Габроїди контаміновані коровою речовиною, на що вказують низькі значення відношення $(\text{Nb}/\text{La})_N$ (0,22–0,86). Ця контамінація пов'язана з регресивним метаморфізмом габроїдів, викликаним вкоріненням більш пізніх інтрузій гранітоїдів андійського комплексу. Ксеноліт тонкорозшарованих габро є, ймовірно, фрагментом одного з підвідних каналів для завершальних інтрузивних фаз габроїдів масиву.

Ключові слова: габро, андійський комплекс, розшарованість, острів Пітерман, Антарктичний півострів, амфіболізація, контамінація, рідкоземельні елементи.

G.V. Artemenko

M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy
and Ore-Formation of the NAS of Ukraine, Kyiv
E-mail: regulgeo@gmail.com

GEOCHEMISTRY AND GENESIS OF THIN-LAYERED GABBROIDS
OF THE PETERMAN ISLAND (WEST ANTARCTICA)

In the intrusion of gabbroids of the Andean complex on the Peterman island (West Antarctica), a xenolith (3×8 m) of thin-layered gabbro, in which there is an alternation of strips 3 cm wide of gabbroids with different amounts of dark-colored minerals, is revealed. The origin of this stratification is explained by the sorting of crystal nuclei during the laminar flow of the melt in the inlet channel of a still hot intrusion that underwent the rapid bulk crystallization. In terms of chemical composition, thin-layered gabbro do not differ from containing uniform gabbros. Gabbroids of the Peterman island were formed from a high temperature plume melt. They are characterized by a low content of silica and potassium. The main magma source for them was the PM mantle. Gabbroids are contaminated with a core material, as indicated by the low ratio $(\text{Nb}/\text{La})_N = (0.22-0.86)$. This contamination is probably due to the regressive metamorphism of gabbroids caused by the introduction of later intrusions of granitoids of the Andean complex. The xenolith of thin-layered gabbro is probably a fragment of one of the supply channels for the final intrusive phases of the gabbroid massif.

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