

УДК 550.93 (477)

**РАССЛОЕННАЯ ИНТРАМАГМАТИЧЕСКАЯ ДАЙКА В ИНТРУЗИИ АНОРТОЗИТОВ НА ОСТРОВЕ БЕРСЕЛОТ (АРХИПЕЛАГ АРГЕНТИНСКИЕ ОСТРОВА, ЗАПАДНАЯ АНТАРКТИДА)**Г. В. Артеменко<sup>1</sup>, В. Г. Бахмутов<sup>2</sup>, И. А. Самборская<sup>1</sup>, Л. Н. Бахмутова<sup>3</sup>.<sup>1</sup> *Институт геохимии, минералогии и рудообразования НАН Украины, г. Киев; regul@igmof.gov.ua;*<sup>2</sup> *Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, г. Киев; bakhmutovvg@gmail.com*<sup>3</sup> *Национальный Антарктический научный центр МОН Украины; bakhml@meta.ua*

**Реферат.** Расслоенность интромагматической дайки основного состава на о. Берселот обусловлена внедрением уже частично солидифицированной магмы по трещинам в остывающую интрузию анортозитов. Расплав дайки был обогащен V, Cr, Cu, P и Sc, что указывает на его позднемагматическую природу. Интромагматические дайки в интрузиях габброидов на о. Питерман и мысе Туксен имеют существенные отличия по химическому составу, что определяется, вероятно, другим составом исходной магмы. В них наблюдается рудная минерализация V, Co, Cu и Zn. Результаты геохимических исследований обогащенных рудными элементами остаточных магматических фаз остывающих интрузий габброидов позволяют более точно прогнозировать рудоносность интрузий габброидов андсийского комплекса.

**Розшарована інтрамагматична дайка в інтрузії анортозитів на острові Берселот (Архіпелаг Аргентинські острови, Західна Антарктида).**

Г. В. Артеменко, В. Г. Бахмутов, И. А. Самборська, Л. Н. Бахмутова.

**Реферат.** Розшарованість інтрамагматичної дайки основного складу на о. Берселот обумовлена вкорінням вже частково солідифікованої магми по тріщинах у застигаючу інтрузію анортозитів. Розплав дайки був збагачений на V, Cr, Cu, P та Sc, що вказує на його пізньомагматичну природу. Інтрамагматичні дайки в інтрузіях габброїдів на о. Пітерман і мисі Туксом мають суттєві відмінності за хімічним складом, що визначається, ймовірно, іншим складом вихідної магми. В них спостерігається рудна мінералізація – V, Co, Cu та Zn. Результати геохімічних досліджень збагачених рудними елементами залишкових магматичних фаз застигаючих інтрузій габброїдів дозволяють більш точно прогнозувати рудоносність інтрузій габброїдів андійського комплексу.

**Layered intramagmatic dike in the anorthosite intrusion on the Berthelot Islands (Argentine Islands archipelago, West Antarctica).**

G. V. Artemenko, V. G. Bakhmutov, I. A. Samborskaya, L. N. Bakhmutova.

**Abstract.** The observed layering of the intramagmatic dike of basic composition on the Berthelot Island is probably determined due to the impregnation of partially solidified magma in the fracture into the cooling anorthosite intrusion. The melt of dikes was enriched on V, Cr, Cu, P and Sc, which indicate their late magmatic nature. The intramagmatic dike in the gabbro intrusions on Petermann Island and Cape Tuxen have the significant differences in chemical composition, which is probably determined by the different composition of the original magma. They shown of ore – V, Co, Cu and Zn mineralization. The results of geochemical studies of ore enriched magmatic phases of solidifying cooling gabbro intrusions are predict the ore content of gabbroid intrusions of the Andean complex.

**Key words:** Berthelot Islands, solidified magma, Andean complex, intramagmatic dike.

## Введение

Около 80 % пород, слагающих Западную Антарктику и прилегающую территорию шельфа моря Беллингаузена, представлены двумя группами пород – интрузивными образованиями батолита Антарктического полуострова (AP batholiths), известных также как породы андийского интрузивного комплекса, и вулканогенными породами (AP Volcanic Group) [Thomson & Pankhurst, 1983; Leat et al., 1995]. К базитовым разностям, рассматриваемым в составе андийского комплекса, относятся разнообразные габброиды, слагающие значительные по масштабам изолированные массивы. Породы среднего состава представлены диоритами и кварцевыми диоритами. Кислые разновидности пород, относимых к андийскому комплексу, представлены тоналитами, гранитами, гранодиоритами, гранит-порфирами и аплитами.

Все эти комплексы пород обнажаются как вдоль побережья западной части Антарктического полуострова, так и на прилегающих с запада островных архипелагах [Curtis, 1966]. В течение последних нескольких лет был получен новый материал по их составу, возрасту, петрофизическим свойствам и др. (см., например, [Гладкочуб и др., 2012; Бахмутов и др., 2013]).

Небольшие по размерам интрузии габброидов андийского интрузивного комплекса достаточно широко распространены в районе архипелага Аргентинские острова, где расположена Украинская антарктическая станция «Академик Вернадский». Они сложены оливиновыми габбро, габбро, норитами, роговообманковыми габбро и анортозитами. Среди них были выявлены участки, сложенные полосчатыми габбро различного генезиса, которые были детально описаны в работах [Adie, 1955; Hooper, 1962; Goldring, 1962; Fraser, 1964; Elliot, 1964; Curties, 1966].

В последние годы полосчатые габбро были описаны в северо-западной части острова Питерман [Артеменко и др., 2013]. Новые геохимические исследования с использованием современных методов анализа (ICP-MS) позволили охарактеризовать микроэлементный состав габброидов андийского комплекса, а также наиболее поздних магматических фаз, представленных интрамагматическими дайками, и дать оценку их рудной минерализации [Артеменко и др., 2011]. Изучение петрологических процессов дифференциации магмы интрузий габброидов и эволюции состава их магмы представляют большой интерес в связи с тем, что с ними связаны проявления рудной минерализации магнетита, ильменита и сульфидов.

## 2. Результаты и обсуждение

В восточной части о. Берселот в обнажении (S65°19,647', W64°08,567'), представляющем собой скальную стенку высотой до 7 м среди мелкозернистых анортозитов наблюдается пологозалегающая (аз. пад. ЮЗ 230°, угол 20°) интрамагматическая дайка (рис. 1). Она обнажается на протяжении 30 м и имеет мощность от 2 до 4 м. Тело дайки сложено расслоенной крупнозернистой основной породой нормальной щелочности, натриевой серии (табл. 1). Вариации в содержаниях  $Al_2O_3$  и MgO отражают количественные соотношения плагиоклаза и амфибола в светлых и темных слоях породы. Величина порообразующих минералов в разных слоях закономерно варьирует от 2 x 2 мм до 7 x 7 мм.



Рис. 1. Расслоенная интрамагматическая дайка в интрузии анортозитов на о. Берселот.

**Светлые слои (обр-цы 118/12, 121/12)** сложены свдвойникованным плагиоклазом основного состава (60–80 %), амфиболитизированным клинопироксеном (18–38 %) и рудными минералами (2 %). Их химический состав представлен в табл. 1. Количественным спектральным методом в породе определены содержания следующих элементов, ppm (знаменатель – кларк распространенности элемента по [А.П. Виноградов, 1962]: V — 100-150/200; Cr — 300/200; Cu — 30-40/100; Sc — 60-100/24; P — 355/1400.

**Темные слои (обр-цы 116/12, 122/12)** состоят на 98 % из амфибола, единичных вкрапленников плагиоклаза кислого состава и рудных минералов (2 %). Их химический состав приведен в табл. 1. Содержания V, Cr, Cu, Sc, P, определенных количественным спектральным методом, здесь значительно выше кларка: V — 500-1000/200; Cr — 1000-2000/200; Cu — 200-50/100; Sc — 400-500/24; P — 3000-5000/1400. По результатам исследований методом ICP-MS здесь выявлена ртуть (Hg — 18,57 ppm). На мультиэлементной диаграмме обр. 122/12 выделяются положительные аномалии Nb, Sr, P и Ti, что указывает на кумуляцию плагиоклаза и титансодержащих рудных минералов (рис. 2).

Распределение редкоземельных элементов (РЗЭ) на графике близко к графику распределения РЗЭ в амфиболах (рис. 3).

Таблица 1

**Результаты химических анализов габброидов**

Окислы, %	1/ 116/12	2/ 118/12	3/ 121/12	4/ 122/12	5/ 122 а/12
SiO <sub>2</sub>	49,76	44,87	47,50	49,36	44,99
TiO <sub>2</sub>	0,94	0,84	0,84	0,84	0,84
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,59	19,98	21,24	5,13	16,91
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,64	2,02	1,02	1,70	2,98
FeO	6,54	5,63	3,66	6,47	8,12
MnO	0,20	0,16	0,11	0,21	0,23
MgO	12,99	8,81	4,68	14,39	11,98
CaO	19,74	12,49	16,93	20,03	11,46
Na <sub>2</sub> O	0,54	1,33	1,46	0,46	0,92
K <sub>2</sub> O	<0,05	<0,05	0,20	<0,05	<0,05
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,03	0,03	0,06	<0,02	0,03
H <sub>2</sub> O-	0,22	0,42	0,31	0,21	0,15
В.п.п.	1,47	2,99	1,63	1,37	1,10
S <sub>общ.</sub>	0,02	<0,02	0,03	0,02	<0,02
<b>Сумма</b>	<b>99,73</b>	<b>99,64</b>	<b>99,67</b>	<b>100,26</b>	<b>99,78</b>
K <sub>φ</sub> (%)	38,64	46,48	50,0	36,21	48,09
Na <sub>2</sub> O/K <sub>2</sub> O	10,80	26,60	7,30	9,20	18,40
al'	0,26	1,21	2,27	0,23	0,73

*Примечание.* 1 — порода меланократового слоя (обр. 116/12); 2 — порода лейкократового слоя (обр. 118/12); 3 — порода лейкократового слоя (обр. 121/12); 4 — порода меланократового слоя (обр. 122/12); 5 — вмещающая порода (анортозит, обр. 122а/12). Химические анализы выполнены в лаборатории ИГМР НАН Украины.

Результаты анализов габброидов спектральным и ICP-MS методами

Эл-ты, Ррм	116/12	118/12	121/12	122/12	122a/12	ICP-MS 122/12	Кларк по Виногра- дову [4]
1	2	3	4	5	6	7	8
Rb	H/o	H/o	H/o	H/o	H/o	2,855	
Sr	H/o	H/o	H/o	H/o	H/o	93,52	
Ba	-	-	-	-	-	21,57	
V	<b>1000</b>	<b>100</b>	<b>150</b>	<b>500</b>	<b>300</b>	H/o	200
Cr	<b>2000</b>	<b>300</b>	<b>300</b>	<b>1000</b>	<b>350</b>	H/o	200
Co	30	50	10	20	40	H/o	45
Ni	100	80	50	80	60	H/o	160
Cu	50	30	40	<b>200</b>	40	H/o	100
Zn	60	-	-	-	50	H/o	130
Y	20	8	30	6	6	7,324	20
Nb	3	2	2	3	2	3,354	20
Ta	-	-	-	-	-	1,410	
Zr	50	40	80	30	80	12,86	100
Hf	-	-	-	-	-	0,697	
U	H/o	H/o	H/o	H/o	H/o	0,056	
Th	-	-	-	-	-	0,212	
La	-	-	-	-	-	0,881	
Ce	-	-	-	-	-	2,618	
Pr	H/o	H/o	H/o	H/o	H/o	0,464	
Nd	H/o	H/o	H/o	H/o	H/o	2,861	
Sm	H/o	H/o	H/o	H/o	H/o	1,043	
Eu	H/o	H/o	H/o	H/o	H/o	0,433	
Gd	-	-	-	-	-	1,338	
Tb	H/o	H/o	H/o	H/o	H/o	0,221	
Dy	H/o	H/o	H/o	H/o	H/o	1,490	
Ho	H/o	H/o	H/o	H/o	H/o	0,313	
Er	H/o	H/o	H/o	H/o	H/o	0,828	
Tm	H/o	H/o	H/o	H/o	H/o	0,116	

1	2	3	4	5	6	7	8
Yb	4	2	3	~1	~1	0,731	2
Lu	H/o	H/o	H/o	H/o	H/o	0,110	
Sn	5	3	-	3	3	H/o	1,5
Cs	H/o	H/o	H/o	H/o	H/o	0,628	
Pb	6	6	10	8	8	4,130	8
Mn	2000	1000	1000	<b>2500</b>	1500	H/o	2000
Ti	5000	2500	2500	3500	3000	3318	9000
Sc	<b>400</b>	<b>60</b>	<b>100</b>	<b>500</b>	<b>100</b>	<b>134,8</b>	24
P	<b>3000</b>	<b>1000</b>	<b>3000</b>	<b>5000</b>	<b>3000</b>	355,1	1400
Li	-	10	-	20	-		15
Hg	H/o	H/o	H/o	H/o	H/o	<b>18,57</b>	0,09

*Примечание.* Выделены анализы с повышенным содержанием элементов в породе. H/o — не определялось. Количественный спектральный анализ элементов выполнен в лаборатории ИГМР НАН Украины, а анализ методом ICP-MS — в АСИЦ ИПТМ РАН.

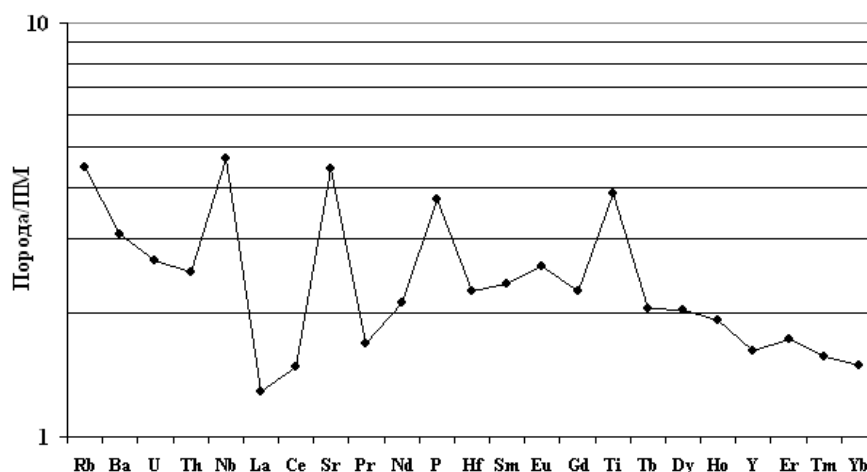


Рис. 2. Мультиэлементная диаграмма для породы меланократового прослоя (обр. 122/12) интромагматической дайки. Нормирование на примитивную мантию [Sun & McDonough, 1989].

Тело дайки несет следы пластических деформаций, выраженных внутрислоевыми мелкими складками. Наблюдаются также следы более поздних тектонических нарушений, разбивших тело дайки на небольшие блоки. Породы расслоились и начали кристаллизоваться, но не солидифицировались полностью и, как следствие, были способны испытывать деформации. Эти внутрислоевые мелкие складки образовались в результате деформации простого сдвига (simple shear) при расположении плоскости сдвига практически параллельно полосчатости. Время их образования привязано к периоду солидификации пород после их кристаллизации и расслаивания (то есть, перед полной солидификацией пород). В теле дайки наблюдаются округлые и полосовидные останцы вмещающих пород.

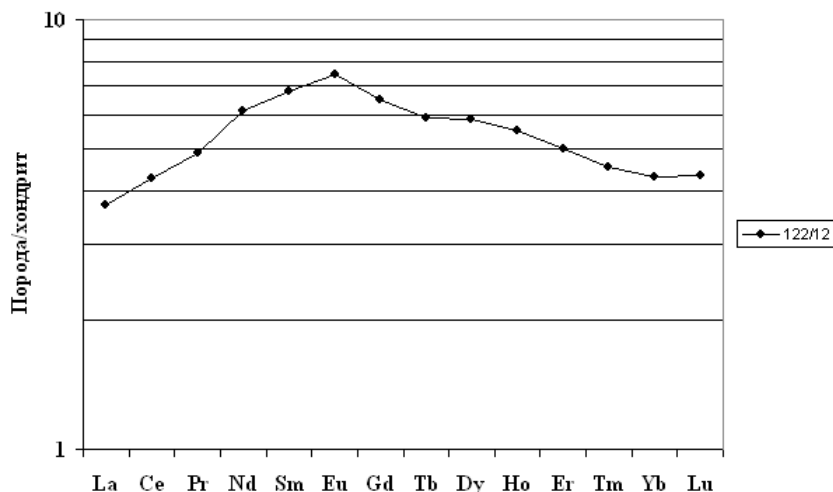


Рис. 3. График распределения РЗЭ для породы меланократового прослоя (обр. 122/12) интромагматической дайки. Нормирование на хондрит C1 [Sun & McDonough, 1989].

Вмещающая порода дайки представлена анортозитами (обр. 122a/12, химический состав – в табл. 1.). Они мелкозернистые с диабазовой структурой, сложены плагиоклазом (95 %) и ортопироксеном (5 %).

Эндоконтактная зона дайки, мощностью 15–25 см, имеет массивное строение и сложена породой с крупными кристаллами (до 1,5 x 5,0 см) амфибола и плагиоклаза.

### 3. Выводы

Расслоенность интромагматической дайки на о. Берселот обусловлена, вероятно, внедрением уже частично солидифицированной магмы по трещинам в остывающую интрузию анортозитов. Расплав дайки был обогащен V, Cr, Cu, P и Sc, что указывает на его позднемагматическую природу. Интромагматические дайки в интрузиях габброидов на о. Питерман, мысе Туксен и о. Берселот имеют существенные отличия по химическому составу, что определяется, вероятно, другим составом исходной магмы. В них наблюдается рудная минерализация V, Co, Cu и Zn. Результаты геохимических исследований обогащенных рудными элементами остаточных магматических фаз остывающих интрузий габброидов позволяют более точно прогнозировать рудоносность интрузий габброидов андийского комплекса.

### Литература

1. **Артеменко Г. В.**, Бахмутов В. Г., Самборская И. А., Бахмутова Л. Н., Шпира В. В. Магматическая расслоенность габброидов батолита Антарктического полуострова // Украинский антарктический журнал. — 2013. — № 1 2. — С. 30 — 33.
2. **Артеменко Г. В.**, Бахмутов В. Г., Самборская И. А., Канунникова Л. И. Проявления рудной минерализации в интрузивном комплексе архипелага Аргентинские острова (Западная Антарктика) // Мiнерал. журн. — 2011. — Т. 33. — № 3. — С. 90 — 99.
3. **Бахмутов В. Г.**, Гладкочуб Д. П., Шпира В. В. Возрастная позиция, геодинамическая специфика и палеомагнетизм интрузивных комплексов западного побережья Антарктического полуострова // Геофиз. журн. — 2013. — 35, № 3. — С. 3 — 30.
4. **Виноградов А. П.** Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных пород земной коры / А. П. Виноградов // Геохимия. — 1962, № 7. — С. 555.
5. **Гладкочуб Д. П.**, Донская Т. В., Бахмутов В. Г. Особенности состава, возраст и модель образования габброидов Андийского комплекса (мыс Туксен, Западная Антарктика) // Украинский Антарктический журнал. — 2012. — № 10—11. — С. 39 — 47.

6. **Adie R. J.** 1955. The Petrology of Graham Land: II. The Andean Granite-Gabbro Intrusive Suite, Falkland Islands Dependencies Survey Scientific Reports. — № 12. — 39 p.
7. **Curtis R.** The petrology of the Graham coast, Graham land. London. — 1966. — British Antarctic survey, Scientific reports. — № 50. — P. 3 — 51.
8. **Elliot D. H.** The petrology of the Argentine islands. 1964. — British Antarctic survey, Scientific reports. — № 41. — P. 1 — 31.
9. **Fraser A. G.** Banded gabbros of the Anagram islands, Graham Land //British Antarctic Survey Bulletin, 1964.
10. **Goldring D. C.** The Geology of the Loubert Coast. British Antarctic survey, Scientific reports. — 1962. — № 36. — P. 50.
11. **Hooper P. R.** 1962. The Petrology of Anvers Island and Adjacent Islands. Falkland Islands Dependencies Survey Scientific Reports. — № 34. — 66 p.
12. **Leat P. T.**, Scarrow J. H. and Millar I. L. On the Antarctic Peninsula batholith // Geol. Mag.-1995. — 132 (4). — P. 399 — 412.
13. **Sun S. S.** & McDonough W.F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes // Magmatism in the Ocean Basins: Geological Society Special Publication / A. D. Saunders & M. J. Norry. — 1989. — № 42. — P. 313 — 345.
14. **Thompson M. R. A.** and Pankhurst R. J. Age of Post-Gondwanian calc-alkaline volcanism in the Antarctic Peninsula region. — In: Antarctic Earth Science (eds. R. L. Oliver, P. R. James and J. B. Jago). — Canberra: Australian Academy of Science and Cambridge; Cambridge University Press.— 1983.— P. 328– 333.