

УДК.550.42:552.311(477)

**РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЯВЛЕНИЙ
РУДНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ В ПОРОДАХ БАТОЛИТА
АНТАРКТИЧЕСКОГО ПОЛУОСТРОВА**

Г.В. Артеменко ¹, В.Г. Бахмутов ², Л.Н. Бахмутова ³

¹ *Институт геохимии, минералогии и рудообразования им. Н.П. Семеновко НАН Украины 03680, г. Киев-142, пр. Акад. Палладина, 34, E-mail: regul@igmof.gov.ua*

² *Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, 03680, г. Киев-142, пр. Акад. Палладина, 32, E-mail: bakht@igph.kiev.ua*

³ *Национальный антарктический научный центр Государственного агентства по вопросам науки, инноваций и информатизации Украины, 01601, г. Киев, б-р Т. Шевченко, 16, E-mail: bakhml@meta.ua*

Реферат. В інтрузіях габроїдів, які належать до комплексу порід батоліту Антарктичного півострів, прояви рудної мінералізації магнетиту, ільменіту і сульфідів пов'язані з інтрамагматичними дайками габро та більш пізніми габро-пегматитами, що їх проривають. У них встановлений високий вміст V, Co, Cu. У лейкогабро з інтрамагматичних постінтрузивних дайок значно більший вміст Cu, U, Th, Sc і PЗЕ, а вміст Co в піриті досягає 3,5%. В інтрузіях гранітоїдів рудна мінералізація піриту, халькопіриту та магнетиту пов'язана з кварцевими жилами посттектонічної гідротермальної стадії та епігенетичними процесами у тектонічних розломах. У сульфідах з цих проявів встановлені домішки Ag і As.

Реферат. В интрузиях габброидов, относящихся к комплексу пород батолита Антарктического полуострова, проявления рудной минерализации магнетита, ильменита и сульфидов связаны с прорывающими их интрамагматическими дайками габбро и более поздними габбро-пегматитами. В них установлены повышенные концентрации V, Co, Cu. В лейкогаббро интрамагматических постинтрузивных даек более высокое содержание Cu, U, Th, Sc и PЗЭ, а содержание Co в пирите достигает 3,5%. В интрузиях гранитоидов рудная минерализация пирита, халькопирита и магнетита связана с кварцевыми жилами посттектонической гидротермальной стадии и эпигенетическими процессами в тектонических разломах. В сульфидах из этих проявлений установлены примеси Ag и As.

Abstract. In the gabbro intrusions of AP batholith rocks the manifestations of ore mineralization of magnetite, ilmenite and sulphides in connection with intramagmatic dikes and more late gabbro-pegmatites were defined. The elevated concentrations of V, Co, Cu were estimated. A significantly higher content of Cu, U, Th, Sc and REE is observed in gabbros of intramagmatic postinvasion dikes. The Co content in pyrite reaches 3,5 %. The ore mineralization of pyrite, chalcopyrite and magnetite in the granite intrusions is associated with quartz veins of post-tectonic hydrothermal stage and with epigenetic processes in the tectonic faults. The impurities of Ag and As in sulfides from this zones were detected.

Key words: gabbro, ore mineralization, quartz veins, epigenetic, dikes, faults.

1. Вступление

Геологическое строение Антарктиды очень неоднородно. Здесь выделяются докембрийская Антарктическая платформа (Восточно-Антарктический кратон), позднедокембрийско-раннепалеозойская складчатая система Трансантарктических гор и среднепалеозойско-мезозойская Западно-Антарктическая складчатая система [Бахмутов, 1998; Грикуров, 1973; Удинцев, Шенке, 2004; Хаин, 1971]. Это обуславливает разную металлогеническую

специализацию Западной и Восточной Антарктиды. Согласно геодинамическим реконструкциям, Восточно-Антарктический кратон 180 млн. лет тому назад входил в состав суперконтинента Гондвана, который включал все южные континентальные массы и Индию [Грикуров, 1973], известные большими запасами минеральных полезных ископаемых. Это дает основание многим исследователям предполагать, что земная кора Восточной Антарктиды также может быть богата полезными ископаемыми [Дубровин Л.И., Каменева Г.И., 1984; De Wit, 1988; Hawkes, 1982; Willan, 1990]. Потенциал минеральных ресурсов Западной Антарктиды значительно ниже, чем Восточной. История ее геологического развития связана с эволюцией южной окраины Тихого океана, включая Новую Зеландию и Южную Америку. Антарктический полуостров формировался на протяжении последних 200 млн. лет в результате процессов субдукции океанического ложа под Антарктический полуостров. Такие же процессы протекали и вдоль западного побережья Южной Америки, в результате чего были сформированы богатые медью руды в Чили. На основании этого Антарктический полуостров рассматривают как потенциально меденосную провинцию [Дубровин, Каменева, 1984; De Wit, 1988; Hawkes, 1982; Willan et al., 1990]. Планомерные геологические исследования в Антарктиде ведутся с 1945 г., однако выявленные в большинстве случаев рудопроявления имеют небольшие размеры и не имеют экономической оценки. Степень изученности подавляющего большинства проявлений весьма низкая и чаще всего сводится к констатации факта обнаружения тех или иных минеральных концентраций с визуальной оценкой их количественного содержания.

Концентрации железа в Западной Антарктиде представлены немногочисленными малозначительными проявлениями магматогенного генезиса [Дубровин, Каменева, 1984]. Проявления других руд чёрных металлов представлены титаномагнетитовой вкрапленностью, а также вкрапленностью и мелкими гнездообразными скоплениями хромита в серпентинизированных дунитах Южных Шетлендских островов. Сравнительно крупные проявления характерны для меди. Наибольший интерес представляют проявления на острове Анверс (архипелаг Палмера) и на острове Аспленд (Южные Шетлендские острова). Они относятся к медно-порфировому типу и характеризуются вкрапленным и прожилковым (реже желваковым) распределением халькопирита, халькозина, пирита, пирротина и молибденита, иногда с примесью галенита и сфалерита. По данным единичных анализов, содержание меди в интрузивных породах не превышает 0,02%, но в наиболее интенсивно минерализованных породах возрастает до 3,0%, где также присутствуют, по приблизительным оценкам, до 0,15% Mo, 0,70% Pb, 0,07% Zn, 0,03% Ag, 10% Fe, 0,07% Bi и 0,05% W. На западном побережье Антарктического п-ова выявлена зона проявлений колчеданной (преимущественно пирит-халькопиритовой с примесью золота и серебра) и медно-молибденовой (главным образом пирит-халькопирит-молибденитовой с примесью пирротина) минерализации, однако проявления в этой зоне ещё плохо изучены и не охарактеризованы анализами.

2. Геологическое строение района

Около 80% пород, обнажающихся в районе Западной Антарктики, представлены комплексом пород батолита Антарктического полуострова (AP batholith, [Leat et al.1995]), известных ранее также как андийский интрузивный комплекс, и группой вулканических пород Антарктического полуострова (AP Volcanic Group [Thompson and Pankhurst, 1983]), ранее известных как породы верхнеюрской вулканической группы. Магматические породы, слагающие батолит АП, образовывались во временном диапазоне от ~240 до 10 млн. лет при пике активизации в раннем мелу [Leat et al., 1995]. Они представлены в основном габбро и гранитоидами (с преобладанием диоритов) [Willan and Kelley, 1999; Leat et al., 1995], причем породы кислого состава по возрастным оценкам относят к более поздним [Rex, 1976]. Группа вулканогенных пород АП представлена андезитами, диабазами, базальтами, риолитами,

долеритами и дацитами, которые слагают жилы, дайки, толщи пирокластических пород и чередуются с базальтовыми потоками [Weaver et al., 1982; Riley et al., 2001].

Район наших работ охватывает архипелаг Аргентинские острова вблизи Украинской антарктической станции Академик Вернадский и прилегающую к нему часть Антарктического полуострова (АП) (рис. 1). В геологическом строении района выделяются породы верхнеюрской вулканической группы и интрузии батолита АП. Здесь западная часть Антарктического полуострова и восточная часть архипелага Аргентинские острова сложены главным образом вулканогенными породами основного, среднего и кислого составов. Возраст более чем тысячеметровой толщи вулканитов, обнажающихся вдоль горы Скотт, относят к среднеюрскому [Elliot, 1964; Бахмутов, 1998], но породы восточной части архипелага – андезитовые порфириды, дациты и др. – более молодые и имеют возрастные определения порядка 70–55 млн. лет [Rex, 1976].

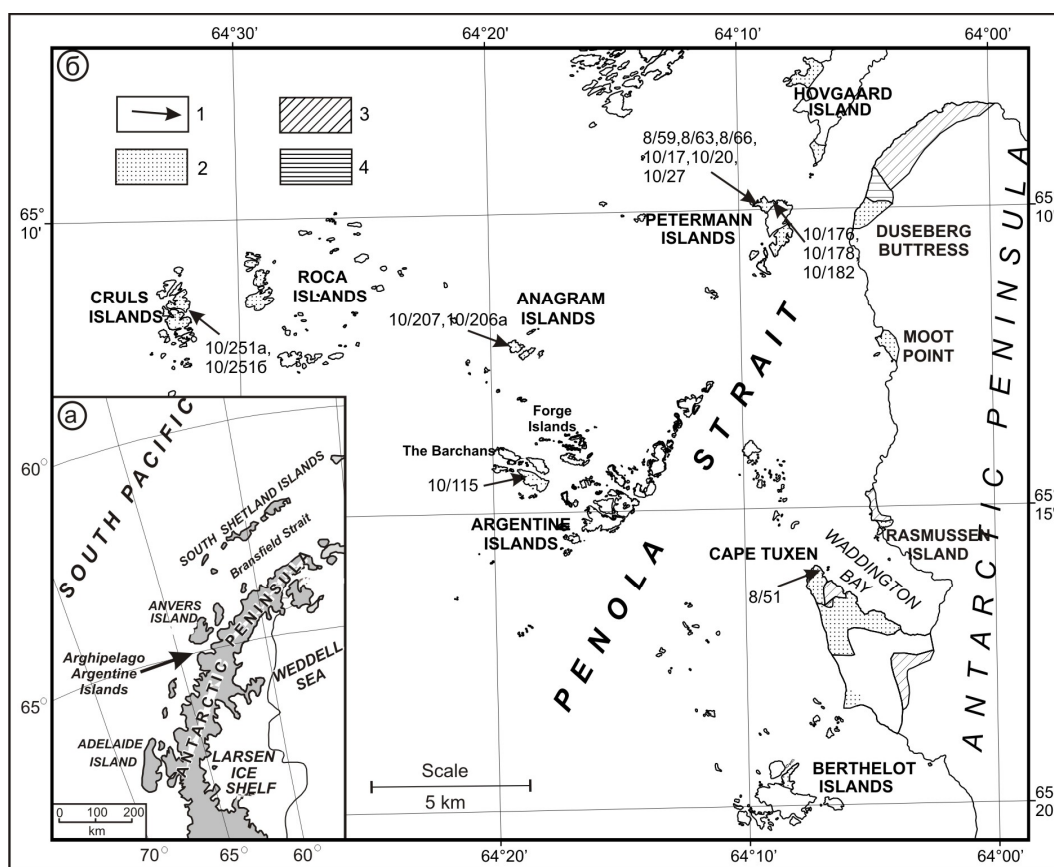


Рис. 1. Месторасположение архипелага Аргентинские острова (а) и геологическая схема района работ (б). 1 – точки отбора проб; 2 – интрузивные породы комплекса пород батолита АП – габбро, тоналиты, граниты, гранодиориты; породы вулканической группы; 3 – базальты, андезиты, дациты, риолиты; 4 – пирокластические породы.

Fig. 1. Location of Archipelago Argentine Islands (a) and geological scheme of sampling area (b). 1 - sampling points; 2 - intrusive rocks of the AP batholith (gabbros, tonalites, granites, granodiorites); 3 - basalts, andesites, dacites, rhyolites; 4 - pyroclastic rocks.

Интрузивные породы батолита АП, представленные габбро, диоритами, гранодиоритами и гранитами, распространены в основном к западу от архипелага Аргентинские острова и вдоль западного побережья АП. Они представляют собой серию плутонов различного возраста и состава с преобладанием пород основного состава [Leat et al., 1995], возраст которых, согласно геохронологическим данным, колеблется от 117 до 84 млн. лет [Tangeman et al., 1996].

3. Результаты геохимических исследований

Геохимическое исследование пород и минералов из зон рудной минерализации в интрузиях габброидов и гранодиоритов выполнены с использованием микрозонда JXA-5 в ИГМР им. Н.П.Семеново НАН Украины и на масс-спектрометрах ICP MS с индуктивно-связанной плазмой в ЦЛ ВСЕГЕИ (г. Санкт-Петербург) и в Институте проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов РАН, г. Черноголовка, Россия.

Габброиды интрузивного комплекса имеют массивную, гипидиоморфнозернистую, офитовую структуру. На участках проявления рудной минерализации наблюдается сидеронитовая структура (рудные минералы цементируют минералы силикатов).

Габброиды по хим. составу относятся к натриевой серии ($\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} > 4$), характеризуются низким содержанием K_2O (0,2-0,4%), при сумме щелочей (2,0-4,8%). Содержат TiO_2 – 0,84-3,62%, MgO – 3,64-7,47%, CaO – 8,70-13,92% (табл. 1), Ni – 12,8-21,3 ppm; V – 173-317 ppm; Cr 43,1-135 ppm; Co 22,1-34 ppm (табл. 2), высокожелезистые ($\text{Kf}=55,3-73,6\%$). На диаграмме АФМ точки составов исследованных габброидов попадают в поле пород толеитовой серии (рис. 2). Содержание редкоземельных элементов (РЗЭ) варьирует от 21,68 до 33,67 ppm. Распределение РЗЭ дифференцированное: $\text{La}/\text{Yb}_N=1,61-5,51$ (табл. 2, рис. 3). На спайдер-диаграмме выделяются отрицательные аномалии Nb, Zr, Hf и положительные – Ba, Sr, Ti (рис. 4). Расплавы габброидов контаминированы коровым веществом – $(\text{Nb}/\text{La})_N=0,23-0,63$ (табл. 2). Согласно геохимическим данным, габброиды кристаллизовались из высокофракционированной основной магмы, сформировавшейся в коровых магматических камерах. Дифференциация происходила преимущественно под контролем плагиоклаза и, по-видимому, ильменита.

По результатам полевых и лабораторных исследований пород и минералов архипелага Аргентинские острова и мыса Туксен Антарктического полуострова нами выделены следующие проявления рудной минерализации: 1). Ильменит-магнетитовая в габброидах интрамагматических¹ сининтрузивных² даек острова Питерман; 2). Ильменит-магнетит-пиритовая в лейкогаббро интрамагматических постинтрузивных³ даек острова Питерман; 3). Ильменит-магнетитовая в полосчатых габброидах острова Анаграмм; 4). Магнетит-ильменитовая в меланогаббро-пегматитах мыса Туксен; 5). Пирит-халькопирит-магнетитовая в кварцевых жилах среди гранодиоритов островов Барханы; 6). Пирит-магнетитовая в метасоматитах на острове Крулс.

Ильменит-магнетитовая минерализация в габброидах интрамагматических сининтрузивных даек о. Питерман. Интрамагматические сининтрузивные дайки крупнозернистых габбро среди габброидов андского комплекса обнаружены в северо-западной части

¹ Интрамагматическая дайка – дайка, образованная в результате кристаллизации магматического расплава в трещинах пород, несущая материнские черты плутонической интрузии.

² Сининтрузивная интрамагматическая дайка – продукт недифференцированной магмы, ее породы по химическому составу не отличаются от материнских, но имеют иные текстурные и структурные разновидности.

³ Постинтрузивная интрамагматическая дайка – продукт дифференцированной магмы, породы имеют минеральный и химический состав, отличный от состава материнских пород.

Таблица 1. Результаты химических анализов габброидов, %
Table 1. Results of chemical analysis of gabbroids, %

Окислы, %	1/ 8/58	2/ 8/59	3/ 8/66	4/ 10/178	5/ 8/32	6/ 8/42	7/ 8/51
SiO ₂	48,95	41,71	42,27	46,62	48,23	49,34	40,45
TiO ₂	0,94	2,66	3,62	0,74	1,34	0,84	2,09
Al ₂ O ₃	20,03	16,66	11,26	14,98	17,02	18,60	9,28
Fe ₂ O ₃	3,72	8,38	9,47	1,63	3,85	2,80	11,82
FeO	5,10	9,20	10,20	11,49	6,02	4,89	9,87
MnO	0,20	0,27	0,36	0,12	0,24	0,21	0,25
MgO	3,64	5,22	7,07	4,32	7,47	6,21	10,67
CaO	13,92	12,24	12,60	9,43	12,26	13,10	12,65
Na ₂ O	2,00	1,70	1,80	2,10	2,20	2,20	1,05
K ₂ O	0,20	0,40	0,20	0,40	0,20	0,40	0,20
S _{общ}	0,06	0,23	0,12	4,78	0,02	0,04	0,04
P ₂ O ₅	0,49	0,24	0,22	0,09	0,30	0,40	0,25
H ₂ O ⁻		0,04	0,05	0,57	0,01	0,04	0,03
П.п.п.	0,81	1,10	0,92	3,99	0,97	1,01	1,44
Сумма	100,03	99,94	100,10	99,69	100,12	100,06	100,09
F (%)	70,79	77,11	73,56	75,10	56,92	55,32	66,40
T (%)	7,54	11,67	13,54	4,27	7,73	6,04	6,58
f/t	9,38	6,61	5,43	17,59	7,36	9,16	10,09

Примечания. 1 – габбро-анортозит, северо-западная часть о. Питерман (обр. 8/58); 2 – габбро, там же, интрамагматическая сининтрузивная дайка (обр. 8/59); 3 – то же, там же (обр. 8/66); 4 – лейкогаббро, интрамагматическая постинтрузивная дайка, северо-восточная часть о. Питерман (10/178); 5 – габбро, мыс Туксен, на склоне у отвесной стены к вершине, ТН18 (8/32); 6 – габбро порфириовидное, там же, в 25 м ниже по склону от предыдущей точки (8/42); 7 – габбро-пегматит, там же, ниже по склону, ТН 22 (8/51). Химические анализы выполнены в ИГМР им. Н.П. Семеновко НАН Украины. Коэф. железистости: $f = (FeO+Fe_2O_3)/(FeO+Fe_2O_3+MgO)*100$; коэф. титанистости: $t = TiO_2/(FeO+Fe_2O_3+MgO)*100$.

о. Питерман (рис. 1). На поверхности они отличаются от вмещающих их пород бурой окраской. Наиболее крупная дайка имеет мощность 8 м и прослеживается с перерывами от уреза океана на протяжении около 50 м. Простирается дайки СЗ 325-330°; падение ЮЗ 235-240°, угол 55-70°. Контакт с вмещающими габбро-анортозитами резкий. Параллельно основному телу дайки расположены субсогласно еще два удлиненных фрагмента размером 1,5×1 м и 2×1 м, которые соединяются с основным телом апофизами, шириной до 0,2 м перпендикулярными к основному телу, что указывает на их внедрение в не полностью остывшую основную интрузию. Эти дайки пересекаются более поздними дайками мелкозернистых диоритов (прост. СВ 35°, аз. пад. ЮВ 125°, угол пад. 53°) и габбро (аз. прост. СЗ 345°, аз. пад. ЮЗ 255°, угол 80°).

Основная интрамагматическая дайка сложена габбро (обр. 10/59, 10/66). Это крупнозернистая порода, состоящая из длинных таблитчатых кристаллов плагиоклаза (40%), ксеноморфных и идиоморфных кристаллов амфиболитизированного пироксена (40%). Структура породы порфириовидная, местами пойкилитовая. Содержит фенокристы пироксена. Кристаллы плагиоклаза полисинтетически сдвойникованы. Породы содержит ксеноморфные рудные зерна (до 20%) и рудную пыль. Рудные минералы преимущественно приурочены к пироксену, который по краям замещен сине-зеленой роговой обманкой.

По данным микрозондового анализа, в габбро выделены следующие рудные минералы: пирит (обр.10/20; 10/27, 8/63), халькопирит (обр.10/17, 8/63), ильменит (обр.10/17, 10/20, 10/27,

Таблица 2. Содержание элементов в габброидах о-ва Питерман и мыса Туксен, ppm
 Table 2. Element content in gabbroids of the Peterman island and Cape Tuxen, ppm

Элементы, Ppm	1/ 8/58	2/ 8/59	3/ 8/66	4/ 10/178	5/ 8/32	6/ 8/42	7/ 8/51
Rb	3,97	8,50	3,86	12,5	2,75	5,85	3,58
Sr	739	470	381	401	403	522	211
Ba	82,8	125	68,2	129	87,1	109	38,3
V	177	575	861	89,2	317	173	987
Cr	43,1	27,1	16,6	39,7	135	127	53,1
Co	22,1	44,9	37,4	166	34	27,3	67,1
Ni	12,8	13,3	12,5	27,1	21,3	20,8	45,0
Cu	134	206	220	650	51,4	74,2	-
Zn	78,4	124	110	87	70,9	62,3	-
Ga	20,5	21,9	18	13,5	16	16,7	-
Y	8,79	8,24	11,5	14,2	10,6	11,0	14,3
Nb	1,21	1,02	1,29	2,0	2,23	1,94	1,49
Ta	0,12	0,10	0,12	0,17	0,17	0,14	<0,1
Zr	20,1	19,6	24	20,1	25	42,4	33,5
Hf	0,49	0,51	0,67	0,82	0,63	0,92	-
U	0,14	0,14	0,14	7,5	0,074	0,17	0,13
Th	0,53	0,44	0,51	1,9	0,26	0,55	0,31
La	4,99	2,73	2,69	7,4	3,41	4,50	3,12
Ce	11,3	6,15	5,83	16,8	7,55	10,4	8,59
Pr	1,58	0,98	1,05	2,3	1,11	1,48	1,41
Nd	7,60	4,42	5,42	10,2	5,14	6,71	7,52
Sm	1,69	1,41	1,85	2,6	1,50	1,58	2,34
Eu	0,78	0,71	0,72	0,72	0,69	0,72	0,70
Gd	1,91	1,38	1,95	2,8	1,61	2,02	2,40
Tb	0,26	0,23	0,34	0,45	0,28	0,33	0,44
Dy	1,54	1,52	2,18	2,6	1,76	1,88	2,60
Ho	0,34	0,34	0,45	0,55	0,40	0,39	0,55
Er	0,82	0,85	1,17	1,7	1,04	0,98	1,51
Tm	0,11	0,11	0,17	0,25	0,12	0,13	0,22
Yb	0,65	0,74	1,01	1,6	1,00	0,92	1,39
Lu	0,10	0,11	0,16	0,24	0,15	0,14	0,19
Ge	0,93	1,40	1,55	-	1,42	1,42	-
Mo	0,61	0,75	0,63	2,1	0,65	0,81	-
Sb	0,52	0,38	0,24	0,88	0,17	0,27	-
Cs	0,54	1,27	0,37	1,4	0,24	0,49	-
Sc	-	-	-	30,4	-	-	-
W	0,15	0,22	0,18	0,48	<0,15	0,19	-
Pb	9,82	9,98	6,05	34,2	1,91	4,81	-
ΣP3Э	33,67	21,68	24,49	50,21	25,76	32,18	32,98
(La/Yb) _N	5,51	2,65	1,91	3,32	2,45	3,51	1,61
Eu/Eu*	1,33	1,56	1,16	0,82	1,36	1,23	0,90
(Nb/La) _{pm}	0,23	0,36	0,46	0,26	0,63	0,41	0,46

Примечание. Привязки образцов указаны в табл. 1. Анализы 1–3, 5–7 выполнены в ЦЛ ВСЕГЕИ (г. Санкт-Петербург, Россия); 4 – в Институте проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов РАН, г. Черноголовка, Россия.

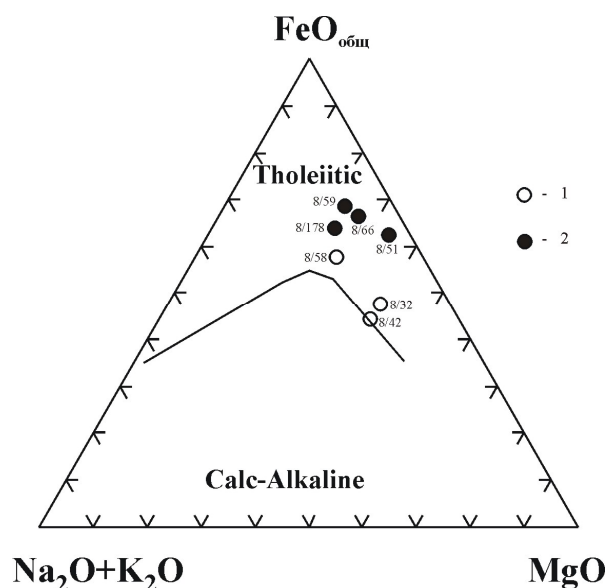


Рис. 2. Диаграмма AFM для габброидов комплекса пород батолита АП: 1 – вмещающие габбро; 2 – габбро с рудной минерализацией.

Fig. 2. AFM diagram for the batholith AP gabbros: 1 - enclosing gabbros, 2 - gabbros with the ore mineralization.

8/63) и магнетит (обр.8/63) (табл. 3-6). В пирите присутствуют примеси Ni (0,15-0,26%) и Co (0,14-0,29%), а в магнетите – 1,38% TiO₂ и 1,04% V₂O₅.

Графики распределения РЗЭ во вмещающих габбро-анортозитах и габбро интрамагматической дайки имеют одинаковый характер распределения тяжелых РЗЭ, положительные европиевые аномалии (Eu/Eu* 1,16-1,56) (рис. 3). Последние отличаются меньшим содержанием и недифференцированным составом легких РЗЭ. Графики на мультиэлементной диаграмме также близки между собой. На них выделяются отрицательные аномалии Nb, Hf, Zr и положительные – Eu, Sr, Ti (рис. 4). Габбро с рудной минерализацией обогащены Ti и имеют меньшее содержание РЗЭ. Геохимические данные указывают на формирование габбро-анортозитов и даек габбро с рудной минерализацией в одном магматическом источнике.

Ильменит-магнетит-пиритовая минерализация в лейкогаббро интрамагматических постинтрузивных даек, обнаруженных в северо-восточной части о. Питерман, где они прорывают крупнозернистое амфиболовое габбро (обр. 10/176а, 10/178, рис. 1). Аз. простирания – СЗ 355°, аз. падения – СВ 85, угол 70°. Лейкогаббро имеет габбровую, местами порфировую структуру, обусловленную присутствием порфиробластов плагиоклаза, мелкозернистое. Кристаллы плагиоклаза корродированы. В породе присутствуют биотит (2-3%) и рудный минерал (2-5%). Лейкогаббро интенсивно изменено вторичными наложенными процессами (окварцевание и амфиболизация). Рудные минералы приурочены к биотиту, реже – к амфиболизированному пироксену. В обр. 10/178 количество рудного вещества достигает 20–30% площади шлифа. Рудная минерализация очевидно является наложенной (вторичной). Дайка имеет несимметричное строение. В лежачем боку наблюдается зона измененных пород (метасоматитов) мощностью до 1,5 м, а в висячем – до 3-5 м. Количество сульфидов в метасоматитах возрастает в направлении к висячему боку дайки. В метасоматитах, вблизи к вмещающим крупнозернистым габбро, наблюдаются останцы к/з габбро размером до 10×15 см. Контакты дайки мелкозернистых

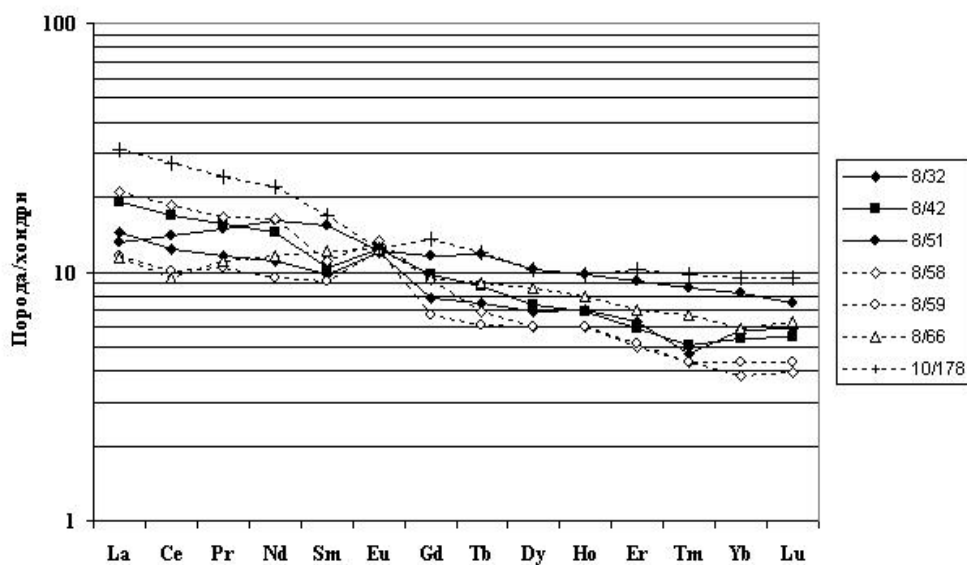


Рис. 3. Распределение РЗЭ в габброидах батолита АП. Нормировано на хондрит [Sun, McDonough, 1989].

Fig. 3. REE distribution in gabbroids of the batholith AP. Normalized was by chondrite [Sun, McDonough, 1989].

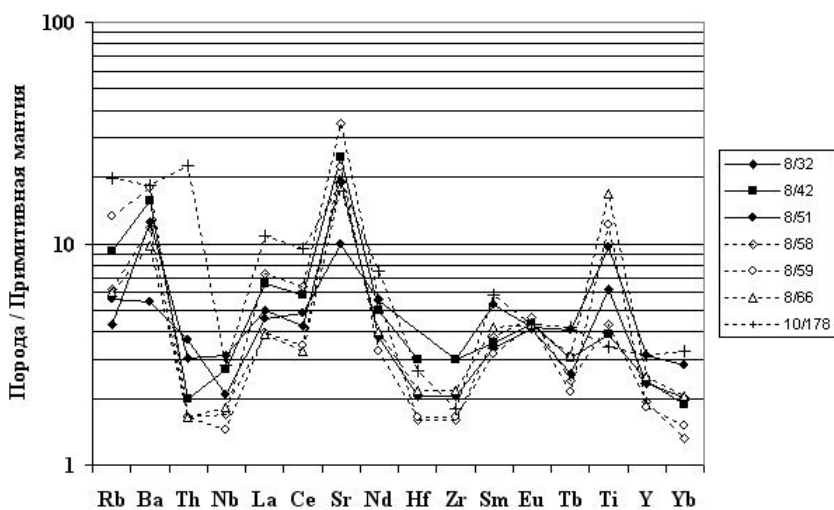


Рис.4. Мультиэлементная диаграмма для габброидов батолита АП. Нормировано на примитивную мантию [Sun, McDonough, 1989].

Fig. 4. Multielements diagram for the batholith AP gabbros. Normalized was by primitive mantle [Sun, McDonough, 1989].

лейкогаббро с вмещающими породами неровные, резкие. Судя по геологическим данным, дайка лейкогаббро с рудной минерализацией сформировалась на заключительном

(позднемагматическом) этапе формирования интрузии габбро. По сравнению с вмещающими габбро лейкогаббро имеет повышенное содержание сульфидов – (4,78%), Cu (650 ppm), Co (166 ppm), а также U, Th, Sc и РЗЭ (табл. 1, 2).

Графики распределения РЗЭ в лейкогаббро и вмещающих их габбро-анортозитах имеют существенные отличия. Лейкогаббро не обеднены тяжелыми РЗЭ, в них наблюдается отрицательная европиевая аномалия – $Eu/Eu^*=0,82$ (рис. 3). На мультиэлементной диаграмме наблюдается обогащение Th и легкими РЗЭ, а также отсутствует Ti/Ti^* аномалия (рис. 4).

В мелкозернистом лейкогаббро дайки выявлены пирит (обр. 10/176, 10/178), ильменит (обр. 10/178) и магнетит (обр. 10/176) (табл. 3, 5, 6). В пиритах установлено повышенное содержание кобальта (0,83-3,50%). В составе магнетита отсутствуют примеси TiO_2 и V_2O_5 ; в незначительном количестве присутствует MgO (0,13%).

Таблица 3. Результаты микрозондового анализа пирита, %
Table 3. The results of microprobe analysis of pyrite, %

Точка отбора проб	о-в Барханы	Северо-западная (СЗ) часть о-ва Питерман				Северо-восточная (СВ) часть о-ва Питерман				о-в Ноб	о-в Крулс		
		10/115	10/20	10/27	8/63	10/176	10/176a	10/176b	10/178		10/182	10/206a	10/251a
Fe	46,26	46,45	46,23	60,35	45,29	60,92	42,17	43,64	45,53	46,58	46,51	46,07	
Ni	0,00	0,25	0,01	0,14	0,00	0,00	0,16	0,01	0	-	0,00	0,03	
Co	0,09	0,14	0,28	0,26	0,82	0,07	3,50	2,28	0,65	-	0,03	0,39	
Cu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	0,04	0,04	0,04	-	0,02	0,00	
As	0,12	0,00	0,06	-	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	
Au	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,02	0,29	0,00	0,00	-	0,00	0,00	
Ag	0,01	0,00	0,00	-	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	-	0,05	0,00	
S	53,37	52,73	53,26	39,23	53,29	39,70	53,32	53,32	53,29	53,25	53,04	53,25	
Сумма	99,85	99,57	99,84	99,98	99,43	100,91	99,47	99,29	99,51	99,83	99,65	99,74	

Примечания. Привязки образцов, приведенных в таблицах с результатами микрозондовых анализов. **Таблица 3:** 10/115 – кварцевая жила, о. Барханы; 10/20 – габбро крупнозернистое, интрамагматическая сининтрузивная дайка, северо-западная часть о. Питерман; 10/27 – то же, там же; 8/63 – то же, там же; 10/176, 10/176a, 10/176b – лейкогаббро, интрамагматическая постинтрузивная дайка; 10/178 – то же, там же; 10/182 – то же, там же; 10/206a – рудный пироксенит, интрамагматическая дайка, о. Ноб; 10/251 a,b – эпидот-пирит-магнетитовая порода (метасоматит по гранодиориту), о. Крулс. **Таблица 5:** 10/17 – габбро крупнозернистое, интрамагматическая сининтрузивная дайка, северо-западная часть о. Питерман. **Таблица 6:** 10/207 – габбро диабазовое, крупнозернистое, меланократовый прослой в полосчатом габбро, северная часть о. Ноб; 8/51 – габбро-пегматит, мыс Туксен. Анализы выполнены в ИГМР НАН Украины.

Таблица 4. Результаты микрозондового анализа халькопирита, %
Table 4. The results of microprobe analysis of chalcopyrite, %

Точки отбора проб	о-в Барханы, кв. жила	СЗ часть о-ва Питерман	
№ обр.	10/115	10/17	8/63
Fe	30,66	31,09	31,95
Ni	0,00	0,00	0,00
Co	0,04	0,03	0,00
As	0,07	0,00	-
Au	0,00	0,00	-
Ag	0,06	0,02	-
Cu	34,76	33,72	34,02
S	34,19	34,51	34,02
Сумма	99,78	99,37	99,99

Таблица 5. Результаты микрозондового анализа ильменита, %
Table 5. The results of microprobe analysis of ilmenite, %

Точки отбора проб	СЗ о-ва Питерман				СВ часть о-ва Питерман	СВ часть о-ва Ноб	
	10/17	10/20	10/27	8/63		10/206 а	10/207
№ обр.	10/17	10/20	10/27	8/63	10/17	10/206 а	10/207
FeO	44,52	44,56	43,95	45,98	46,42	44,54	44,88
TiO ₂	52,67	51,69	52,85	51,31	50,34	50,84	51,09
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,08	0,00
MnO	1,84	1,87	2,42	1,86	2,42	3,11	3,41
V ₂ O ₃	0,31	0,31	0,36	0,08	0,31	0,26	0,25
Al ₂ O ₃	0,20	0,26	0,07	0,00	0,00	0,05	0,10
MgO	0,24	0,28	0,00	0,56	0,00	0,56	0,00
Au	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ag	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00
Сумма	99,78	98,98	99,65	99,79	99,55	99,5	99,73

Таблица 6. Результаты микрозондового анализа магнетита, %
Table 6. The result of microprobe analysis of magnetite, %

Точки	о-ва Барханы	СЗ о-ва Питерман	СВ о-ва Питерман	о-в Ноб, пироксенит		о-в Крулс		Мыс Туксен	
				10/206а	10/207	10/251b	10/251а	8/51-1	8/51-2
№ обр.	10/115	8/63	10/176	10/206а	10/207	10/251b	10/251а	8/51-1	8/51-2
FeO	92,68	88,62	93,00	92,55	98,27	98,45	97,98	93,52	95,54
TiO ₂	0,00	1,37	0,00	0,63	0,31	0,03	0,08	1,76	0,51
Cr ₂ O ₃	0,00	0,03	0,01	0,34	0,48	0,00	0,00	0,23	0,09
MnO	0,03	0,11	0,00	0,06	0,09	0,01	0,02	0,05	0,01
V ₂ O ₅	0,02	1,03	0,00	0,79	0,75	0,13	0,11	0,94	0,97
Al ₂ O ₃	0,23	0,90	0,00	0,42	0,38	0,04	0,16	0,00	0,00
MgO	0,00	0,00	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Сумма	92,96	92,06	93,13	94,79	100,28	98,66	98,36	96,5	97,12

Химический состав пирита, ильменита и магнетита из габбро сининтрузивных и постинтрузивных даек имеет существенные отличия. Сульфиды в постинтрузивных дайках обогащены кобальтом (до 3,5%). Разная ориентировка ранних и поздних интрамагматических даек может указывать на изменение вектора стрессовых напряжений во время становления интрузии.

Ильменит-магнетитовая минерализация в полосчатых габброидах острова Ноб (архипелаг островов Анаграм). Острова архипелага Анаграм сложены габброидами и гранитоидами андского комплекса. В северной части острова Ноб выявлены габбро со слоистой текстурой, слагающие зону шириной до 15 м (рис.1, S65° 12,119'; W64° 19,196'). Они имеют простирание – СВ 50, аз. пад. – СЗ 320, угол падения – 50°. Слоистая текстура габброидов (обр. 10/207) обусловлена чередованием темных слоев, сложенных амфиболом, пироксеном, плагиоклазом и рудным минералом, и более светлых прослоев плагиоклаз-пироксенового состава (рис. 1). Мощность слоев не превышает первых сантиметров. Среднее содержание магнетита в породе 8–10%, а на отдельных участках архипелага островов Анаграм достигает 30% [3]. В темных прослоях полосчатых габбро (обр. 10/207) по результатам микрозондовых анализов выявлены ильменит, магнетит и сульфиды (табл.

5, 6). В ильмените отмечается несколько повышенное содержание MnO (до 3,41%). Магнетит характеризуется повышенными содержаниями Cr_2O_3 (до 0,49%) и V_2O_5 (0,75%).

В СЗ части острова Ноб среди крупнозернистых габбро выделяется интрамагматическая дайка пироксенитов (10/206а) мощностью 0,3 м, ориентированная согласно полосчатости габброидов: аз. простирания СВ 60° , падение субвертикальное (рис. 1, $S65^\circ 12,201'$; $W64^\circ 19,130'$). Она имеет прерывистую форму и внедрялась, очевидно, в еще не полностью закристаллизованные габброиды. В пироксените (обр.10/206а) присутствуют следующие рудные минералы: пирит, ильменит и магнетит (табл. 3, 5, 6). В ильмените наблюдается примесь MnO (3,11%), а в магнетите – Cr_2O_3 (до 0,35%). Ильменит и магнетит из пироксенита интрамагматической дайки и полосчатых габбро близки по химическому составу, что указывает на их формирование в одном магматическом источнике.

Магнетит-ильменит-сульфидная минерализация в меланогаббро-пегматитах мыса Туксен. Тело овоидальной формы, сложенное меланогаббро-пегматитами, диаметром около 1 м, встречено среди роговообманкового габбро на мысе Туксен ($S65^\circ 16,093'$; $W64^\circ 06,902'$). Меланогаббро-пегматит (обр. 8-51, 8-52) представляет собой гигантозернистую породу с пегматоидной, местами сидеронитовой структурой. Минеральный состав (%): плагиоклаз (20-30), амфиболлизированный пироксен (40), рудные минералы (до 40). По сравнению с вмещающими их габбро они обогащены V – 987 ppm (табл. 2). В них также выше содержание Ni и Co. При микронзондовых исследованиях установлено присутствие магнетита (табл. 6).

Габбро-пегматиты отличаются от вмещающих габбро более высоким содержанием средних и тяжелых РЗЭ и меньшим – легких РЗЭ (рис. 3), присутствием отрицательной европиевой аномалии – $Eu/Eu^*=0,90$. На спайдер-диаграмме демонстрируется меньшее содержание Rb, Ba и большая величина Ti/Ti^* аномалии (рис. 4).

Пирит-халькопирит-магнетитовая минерализация в кварцевых жилах островов Барханы. На островах Барханы наблюдается серия кварцевых жил мощностью до 10 м, которые прорывают гранодиориты андского комплекса. Координаты обнажения: S $65^\circ 14,443'$; W $64^\circ 08,240'$ (рис. 1). Кварцевые жилы имеют аз. простирания – СЗ 355° ; аз. падения – СВ 75° , угол – 68° и являются, вероятно, постектоническими гидротермальными образованиями. В жилах белого сливного кварца (обр. 10/115) присутствуют скопления рудных минералов размером до 10×15 см. Среди рудных минералов присутствуют пирит, халькопирит и магнетит. В пирите и халькопирите отмечается небольшое количество As – 0,12% и 0,07% (соответственно) (табл. 3, 4). Магнетит отличается отсутствием примесей TiO_2 и V_2O_5 (табл. 6).

Пирит-магнетитовая минерализация в метасоматитах острова Крулс. В восточной части острова Крулс в гранодиоритах наблюдается тектоническая зона шириной до 10 м, в которой выделяются несколько субпараллельных крутопадающих (аз. пад. СЗ 345° , угол 82°) разломов и в плоскостях которой развита обильная сульфидная и магнетитовая минерализация. Мощность зоны достигает 0,5 м (обр. 10/251а, 10/251б). Координаты обнажения – $S65^\circ 11,845'$; $W64^\circ 32,068'$ (рис. 1). Отдельные разломы пересекаются между собой. Субпараллельно этим разломам расположены две тонкие (мощность до 15 см) дайки миндалекаменных диабазов, секущие зоны с сульфидной минерализацией. В раздробленных породах тектонических зон развиваются альбит, эпидот, пирит и магнетит. Крупные скопления пирита включают кристаллы магнетита. По вышеперечисленной минеральной ассоциации, они могут быть отнесены к низко- и среднетемпературным образованиям. В пирите обнаружены примеси Co (0,39%) и следы Ag (табл. 3). Магнетит имеет низкие содержания примесей TiO_2 (до 0,08%) и V_2O_5 (до 0,13%) (табл. 6).

На о. Крулс также встречена эпигенетическая сульфидная минерализация в виде тонких пленок на плоскостях трещин среди гранодиоритов ($S65^\circ 11,359'$; $W64^\circ 32,271'$). Вмещающие породы при этом не изменены наложенными процессами. Образцы этих сульфидов находятся на стадии изучения.

4. Выводы

В интрузиях габброидов, которые относятся к комплексу пород батолита АП, проявления рудной минерализации магнетита, ильменита и сульфидов связаны с прорывающими их интрамагматическими дайками габбро и более поздними габбро-пегматитами. В них наблюдается повышение концентраций V, Co, Cu и Zn. В габбро-пегматитах, в отличие от первых, отмечается большее содержание Ni. В габбро интрамагматических постинтрузивных даек наблюдаются более высокие содержания Cu, U, Th, Sc и РЗЭ, а содержание Co в пирите достигает 3,5%. В интрузиях гранитоидов рудная минерализация пирита, халькопирита и магнетита связана с кварцевыми жилами постектонической гидротермальной стадии и эпигенетическими процессами в тектонических разломах. Значимых концентраций рудных элементов в них не обнаружено.

Магнетит из зон первичномагматической рудной минерализации характеризуется присутствием примесей Cr_2O_3 и V_2O_5 , а ильменит – MnO. Рудные минералы из зон наложенной рудной минерализации отличаются составом примесей. В пирите из метасоматитов о. Крулс обнаружен Ag, а в пирите и халькопирите из кварцевых жил о. Барханы отмечается As. Магнетит отличается отсутствием TiO_2 , Cr_2O_3 и V_2O_5 .

Благодарности

Авторы благодарят руководство Национального антарктического научного центра и зимовщиков Украинской антарктической станции Академик Вернадский за помощь в организации и проведении полевых экспедиционных исследований. Работа выполнена при поддержке Украинского фонда фундаментальных исследований в рамках Проекта № Ф40.6/030.

Литература

- Бахмутов В.Г. Геологический обзор архипелага Аргентинские острова и прилегающей территории Антарктического полуострова. – Бюлл. УАЦ. 1998. Вып. 2. С. 77–84.
- Грикуров Г.Э. Геология Антарктического полуострова / М., Наука, 1973. – 120 с.
- Дубровин Л.И., Каменева Г.И. Горная энциклопедия. – М.: Советская энциклопедия. Под редакцией Е.А. Козловского. 1984—1991.
- Удинцев Г.Б., Шенке Г.В. Очерки геодинамики Западной Антактиды. М.: ГЕОС – 2004. – 132 с.
- Хаин В. Е. Региональная геотектоника (т. 1) – Северная и Южная Америка, Антарктида и Африка. М., 1971. – 548 с.
- Curtis R. The petrology of the Graham coast, Graham land. London. – 1966. – British Antarctic survey, Scientific reports № 50. – P. 3–51.
- De Wit M.J. (1988). The Economic Potential of the Dufek Complex // Mineral Resources Potential of Antarctica, Washington, D.C. USA. P. 33–53.
- Hawkes D.D. Nature and distribution of metalliferous mineralization in the northern Antarctic Peninsula // Journal of the Geological Society, 1982, V.139, no 6. P. 803–809.
- Elliot D.H. The petrology of the Argentine islands // British Antarctic survey, Scientific reports. – 1964. № 41. – P. 1–31.
- Leat P.T., Scarrow J.H. and I.L. Millar. On the Antarctic Peninsula batholith // Geological Magazine, 1995, Volume 132, Issue 04. P.399–412.
- Rex D.C. Geochronology in relation to the stratigraphy of the Antarctic Peninsula // British Antarctic Survey Bulletin. – 1976. 43. P. 49–58.
- Riley T.R., Leat P.T., Pankhurst R.J. and Harris C. Origins of large volume rhyolitic volcanism in the Antarctic Peninsula and Patagonia by crustal melting // J. Petrol. – 2001. 42 (6). P. 1043–1065.

Sun S.S. and McDonough W.F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes // Saunders A.D. & Norry M.J. *Magmatism in the Ocean Basins*, Geological Society. Special Publication. – 1989. – № 42. – P. 313–345.

Tangeman J.A., Mukasa S.B. and 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.

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. 1983. Cambridge University Press: P. 328–333.

Willan R., Macdonald D. and Drewry D. The mineral resource potential of Antarctica: geological realities / *The future of Antarctica: exploitation versus preservation*. Editor Grahame Cook. 1990, p. 25–43.

Willan R.C. and Kelley S.P. Mafic dike swarms in the South Shetland Islands volcanic arc: unravelling multi-episodic magmatism related to subduction and continental rifting // *J. Geophys. Res.* – 1999. **104** (B10). P. 23051–23068.