

УДК 550.42:552.311(477)

Г.В. Артеменко<sup>1</sup>, В.Г. Бахмутов<sup>2</sup>, И.А. Самборская<sup>1</sup>, Л.И. Кануникова<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины  
03680, г. Киев-142, Украина, пр. Акад. Палладина, 32

## ПРОЯВЛЕНИЯ РУДНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ В ИНТРУЗИВНОМ КОМПЛЕКСЕ АРХИПЕЛАГА АРГЕНТИНСКИЕ ОСТРОВА (ЗАПАДНАЯ АНТАРКТИКА)

В интрузиях габброидов, относящихся к комплексу пород батолита Антарктического п-ова, 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 РЗЭ, а содержание Со 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.

**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 [1, 2, 4–6]. 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, охватывавшего все южные континентальные массы и Индию [4–6], которые характеризуются большими запасами минеральных полезных ископаемых. Это дает основание многим исследователям предполагать, что земная кора Восточной Антарктиды также может быть богата полезными ископаемыми [3, 8, 10, 13]. Потенциал минеральных

ресурсов Западной Антарктиды значительно ниже, чем Восточной. История ее геологического развития связана с эволюцией южной окраины Пацифики (и, возможно, Тихого океана), включая Новую Зеландию и Южную Америку. Антарктический п-ов (АП) формировался на протяжении последних 200 млн лет в результате процессов субдукции океанического ложа под АП [4–6]. Этот процесс также происходил на территории Новой Зеландии и вдоль западного побережья Южной Америки. В результате были сформированы богатые медью руды в Чили. На основании этого многие исследователи рассматривают АП как потенциально меденосную провинцию [3, 8, 10, 13]. Планомерные геологические исследования в Антарктиде ведутся с 1945 г., однако выявленные в большинстве случаев рудопроявления невелики и не имеют экономической ценности. Степень изученности большинства проявлений весьма низкая и чаще всего сводится к констатации факта обнаружения тех или иных минеральных концентраций с визуальной оценкой их количественного содержания [3].

© Г.В. АРТЕМЕНКО, В.Г. БАХМУТОВ,  
И.А. САМБОРСКАЯ, Л.И. КАНУНИКОВА, 2011

Железо в Западной Антарктиде образует немногочисленные и малозначительные проявления магматогенного генезиса [3]. Проявления других руд черных металлов представлены титаномагнетитовой вкрапленностью, а также вкрапленностью и мелкими гнездобразными скоплениями хромита в серпентинизированных дунитах на Южных Шетландских о-вах. Сравнительно крупные проявления характерны для меди. Наибольший интерес представляют проявления на о-вах Анверс (архипелаг Палмера) и Аспленд (Южные Шетландские о-ва). 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 %, в наиболее интенсивно минерализованных породах возрастает до 3,0 %. В последних присутствуют, по приблизительным оценкам, %: Mo — 0,15, Pb — 0,70, Zn — 0,07, Ag — 0,03, Fe — 10, Bi — 0,07 и W — 0,05. 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 еще плохо изучены и не охарактеризованы аналитически [3].

**Результаты геохимического исследования.**

Район наших работ охватывал архипелаг Аргентинские о-ва и прилегающую к нему часть АП, вблизи украинской антарктической станции "Академик Вернадский" (рис. 1). Нами изучены проявления рудной минерализации в интрузивных породах батолита АП, широко известных в литературе как андийский интрузивный комплекс, а в настоящее время выделяемых как комплекс пород батолита АП [11]. Геохимическое исследование пород и минералов из зон рудной минерализации выполнено с помощью микрозонда JXA-5 в ИГМР им. Н.П. Семеново НАН Украины, масс-спектрометров ICP MS с индуктивно-связанной плазмой в ЦЛ ВСЕГЕИ (г. Санкт-Петербург, Россия) и в ИПТМ РАН (г. Черноголовка, Россия).

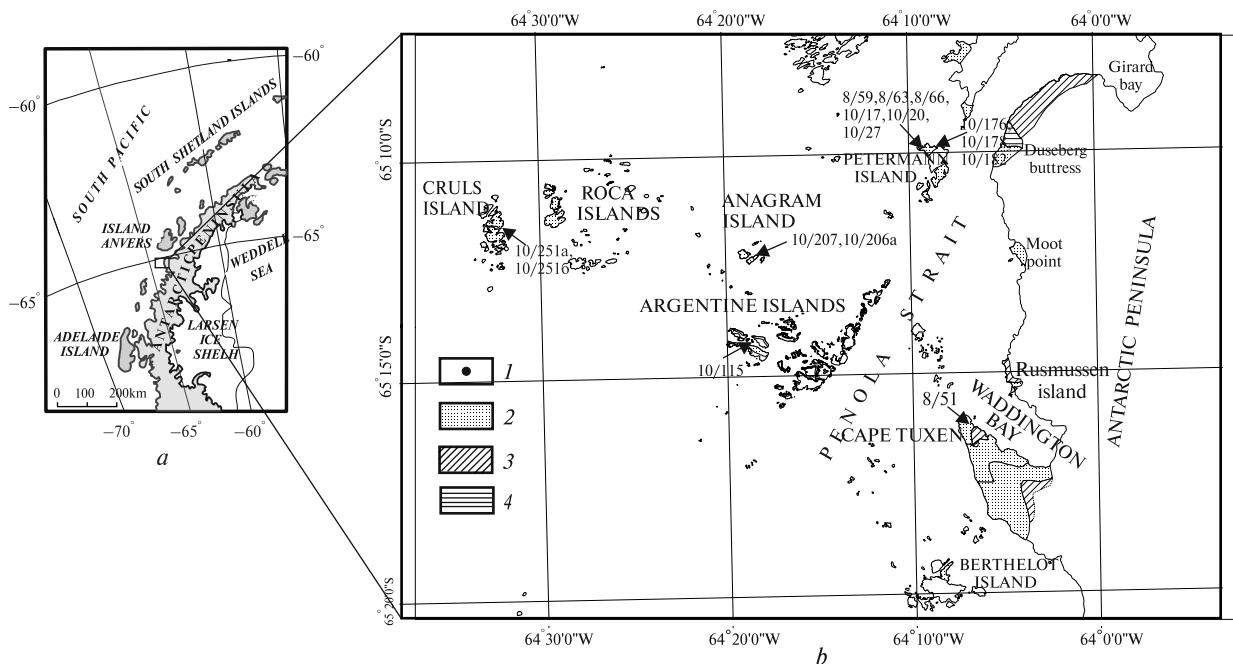


Рис. 1. Схематическая геологическая карта района работ: 1 — точки отбора проб; 2 — интрузивные породы комплекса пород батолита АП (габбро, тоналиты, граниты, гранодиориты); 3, 4 — породы вулканической группы (3 — базальты, андезиты, дациты, риолиты, 4 — пирокластические породы основного, среднего и кислого состава)

Fig. 1. Schematic geological map of the area with sampling points: 1 — sampling points, 2 — intrusive rocks of the AP batholith (gabbros, tonalites, granites, granodiorites); 3, 4 — rocks of volcanic series (3 — basalts, andesites, dacites, rhyolites, 4 — pyroclastic rocks of basic, intermediate and acid composition)

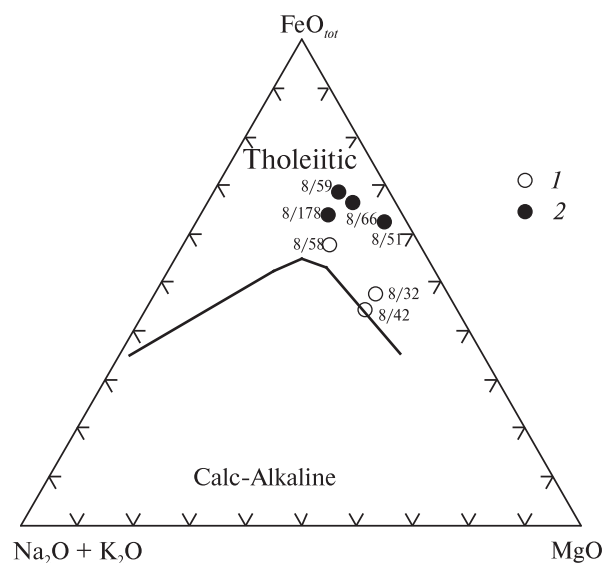


Рис. 2. Диаграмма AFM для габброидов комплекса пород батолита АП: 1 — вмещающие габбро; 2 — габбро с рудной минерализацией

Fig. 2. AFM diagram for the batholith AP gabbro complex: 1 — enclosing gabbro, 2 — gabbro with the ore mineralization

В геологическом строении района выделяются породы верхнеюрской вулканической группы и интрузии батолита АП. Западная часть АП и острова восточной части архипелага Аргентинских о-вов сложены преимущественно вулканогенными породами основного, среднего и кислого состава возрастом 100—110 млн лет [4, 7, 9, 11]. Более молодые интрузивные породы батолита АП представлены габбро, диоритами, гранодиоритами, гранитами и распространены в основном в западной части архипелага Аргентинских о-вов и вдоль западного побережья АП. Они формируют серию плутонов разного возраста и состава с преобладанием пород кислого состава [11]. Согласно геохронологическим данным (SHRIMP), U-Pb изотопный возраст габбро мыса Туксен составляет  $88 \pm 1,11$  млн лет, а тоналита о-ва Питерман —  $92 \pm 3$  млн лет [4].

Габброиды батолита АП имеют массивную, гипидиоморфнозернистую, офитовую структуру. На участках проявления рудной

Таблица 1. Результаты химического анализа габброидов, %

Table 1. Results of chemical analysis of gabbroids, %

| Оксиды                         | 1 — 8/58 | 2 — 8/59 | 3 — 8/66 | 4 — 10/178 | 5 — 8/32 | 6 — 8/42 | 7 — 8/51 |
|--------------------------------|----------|----------|----------|------------|----------|----------|----------|
| SiO <sub>2</sub>               | 48,95    | 41,71    | 42,27    | 46,62      | 48,23    | 49,34    | 40,45    |
| TiO <sub>2</sub>               | 0,94     | 2,66     | 3,62     | 0,74       | 1,34     | 0,84     | 2,09     |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 20,03    | 16,66    | 11,26    | 14,98      | 17,02    | 18,60    | 9,28     |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 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 <sub>2</sub> O              | 2,00     | 1,70     | 1,80     | 2,10       | 2,20     | 2,20     | 1,05     |
| K <sub>2</sub> O               | 0,20     | 0,40     | 0,20     | 0,40       | 0,20     | 0,40     | 0,20     |
| S <sub>общ.</sub>              | 0,06     | 0,23     | 0,12     | 4,78       | 0,02     | 0,04     | 0,04     |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,49     | 0,24     | 0,22     | 0,09       | 0,30     | 0,40     | 0,25     |
| CO <sub>2</sub>                | Не опр.  | Не опр.  | Не опр.  | —          | Не опр.  | Не опр.  | Не опр.  |
| H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>  | —        | 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    |

Примечание. 1 — габбро-анортзит, северо-западная часть о-ва 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-ва Питерман (обр. 10/178); 5 — габбро, мыс Туксен, на склоне у отвесной стены к вершине, ТН 18 (обр. 8/32); 6 — габбро порфиридовое, там же, в 25 м ниже по склону от предыдущей точки (обр. 8/42); 7 — габбро-пегматит, там же, ниже по склону, ТН 22 (обр. 8/51). Химические анализы выполнены в ИГМР им. Н.П. Семененко НАН Украины. Коэффициент железистости пород:  $f = (\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3) / (\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}) \cdot 100$ ; коэффициент титанистости пород:  $t = \text{TiO}_2 / (\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}) \cdot 100$ .

минерализации наблюдается сидеронитовая структура (рудные минералы цементируют минералы силикатов). Габброиды по химическому составу относятся к натриевой серии ( $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} > 4$ ), характеризуются низким со-

держанием  $\text{K}_2\text{O}$  (0,2 — 0,4 %) при сумме щелочей (2,0—4,8 %) и высокой железистостью ( $f = 55,3\text{—}73,6\%$ ). Содержат, %:  $\text{TiO}_2$  — 0,84—3,62;  $\text{MgO}$  — 3,64—7,47;  $\text{CaO}$  — 8,70—13,92 (табл. 1), а также, ppm: Ni — 12,8—21,3; V —

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

| Элемент                      | 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                           | 82,80    | 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     | —        |
| $\Sigma$ PЗЭ                 | 33,67    | 21,68    | 24,49    | 50,21      | 25,76    | 32,18    | 32,98    |
| $(\text{La}/\text{Yb})_N$    | 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     |
| $(\text{Nb}/\text{La})_{pm}$ | 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 ИПТМ РАН (г. Черноголовка, Россия).

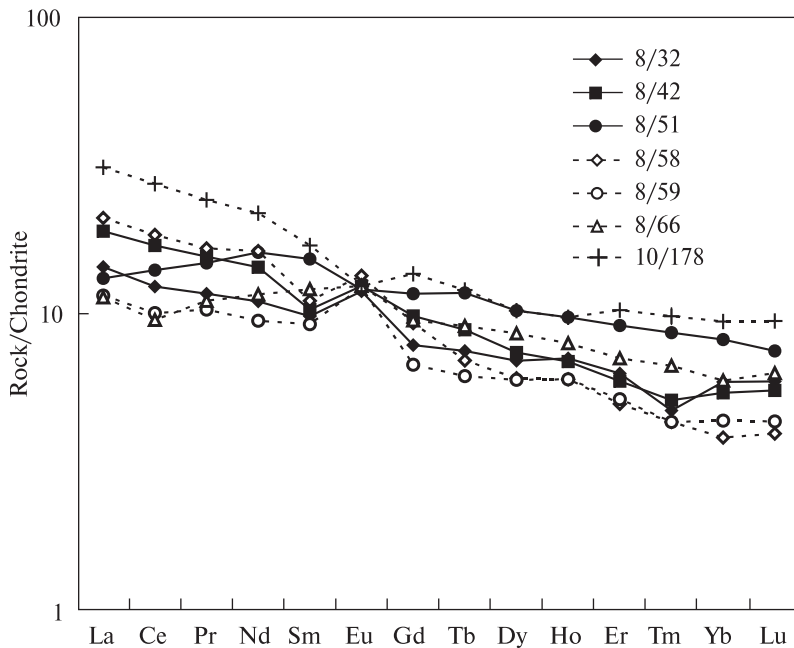


Рис. 3. Распределение РЗЭ в габброидах батолита АП. Нормировано на хондрит [12]

Fig. 3. REE distribution in gabbroids of the batholith AP. Normalized by chondrite [12]

173—317; Cr — 43,1—135; Co — 22,1—34 (табл. 2). На диаграмме *AFM* точки состава исследованных образцов габброидов попадают в поле пород толеитовой серии (рис. 2). Содержание редкоземельных элементов (РЗЭ) — от 21,68 до 33,67 ppm. Распределение РЗЭ дифференцированное:  $(La/Yb)_N = 1,61—5,51$  (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 —  $(Nb/La)_N = 0,23—0,63$  (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 их минералов архипелага Аргентинские о-ва и мыса Туксен АП авторами статьи выделены следующие проявления рудной минерализации: 1) магнетит-ильменит-сульфидная в габброидах интрамагматических сининтрузивных даек о-ва Питерман; 2) пирит-магнетитовая в лейкогаббро интрамагматических постинтрузивных даек о-ва Питерман; 3) магнетит-ильменит-сульфидная в полосчатых габброидах о-ва Ноб; 4) магнетит-ильменитовая в меланогаббро-пегматитах мыса Туксен; 5) пирит-халькопирит-магнетитовая в кварцевых жилах среди гранодиоритов

(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. Простираение 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 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 пересечены более поздними дайками мелкозернистых диоритов (простираение СВ 35°, азимут падения ЮВ 125°, угол падения 53°) и габбро (азимут простираения СЗ 345°, азимут падения ЮЗ 255°, угол 80°).

Основная интрамагматическая дайка сложена габбро (обр. 10/59, 10/66). Это крупнозернистая порода, состоящая из удлиненных

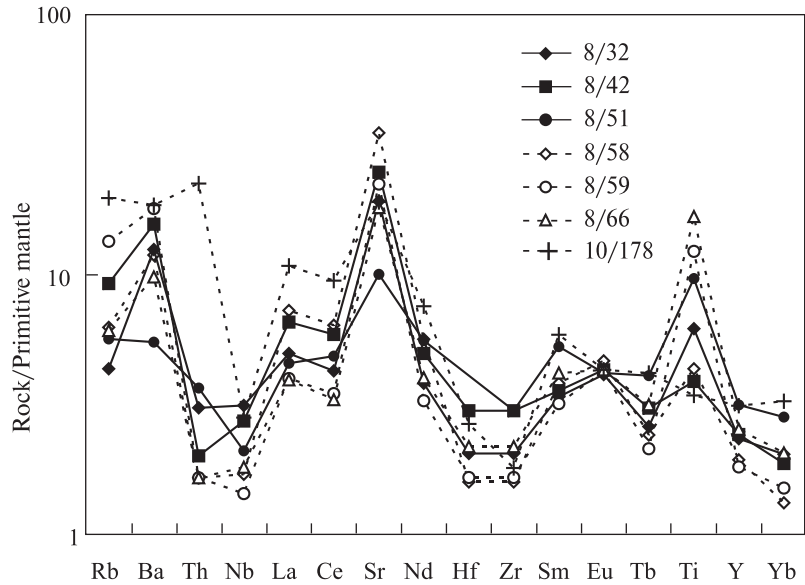
\* Интрамагматическая дайка — дайка, образованная в результате кристаллизации магматического расплава в трещинах пород, несущая материнские черты плутонической интрузии.

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

Рис. 4. Мультиэлементная диаграмма для габброидов батолита АП. Нормировано на примитивную мантию [12]

Fig. 4. Multielement diagram for the batholith AP gabbro complex. Normalized by the primitive mantle [12]

таблитчатых кристаллов плагиоклаза (40 %), ксено- и идиоморфных кристаллов амфиболитизированного пироксена (40 %). Структура породы порфирированная, местами пойкилитовая. Содержит фенокристы пироксена. Кристаллы плагиоклаза полисинтетически сдвойникованы. Порода содержит ксеноморфные рудные зерна (до 20 %) и рудную пыль. Рудные минералы преимущественно приурочены к пироксену, который по краям замещен сине-зеленой роговой обманкой. Порода содержит  $TiO_2$  — 2,66—3,62 %, высокожелезистая ( $f = 73,6—77$  %). Содержание V (575—861 ppm) превышает кларк, по А.П. Виноградову, для основных пород в три—четыре раза, Cu (206—220 ppm) — в два раза.



По данным микрозондового анализа минералов, в габбро выделены следующие рудные минералы: магнетит (обр. 8/63), ильменит (обр. 10/17, 10/20, 10/27, 8/63), пирит (обр. 10/20, 10/27, 8/63) и халькопирит (обр. 10/17, 8/63) (табл. 3—5). В пирите присутствуют примеси Ni (0,15—0,26 %) и Co (0,14—0,29), а в магнетите —  $TiO_2$  (1,38) и  $V_2O_5$  (1,04 %).

На графиках распределения РЗЭ во вмещающих габбро-анортозитах и габбро интра-

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 |
| 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   |

Примечание. Привязки образцов, приведенных в табл. 1 (здесь и в табл. 4—6): 10/115 — кварцевая жила, о-в Барханы; 10/20 — габбро крупнозернистое, интрамагматическая сининтрузивная дайка, СЗ часть о-ва Питерман; 10/27 — то же, там же; 8/63 — то же, там же; 10/176 — лейкогаббро, интрамагматическая постинтрузивная дайка; 10/178 — то же, там же; 10/182 — то же, там же; 10/206a — рудный пироксенит, интрамагматическая дайка, о-в Ноб; 10/251 a, b — эпидот-пирит-магнетитовая порода (метасоматит по гранодиориту), о-в Крулс; 10/17 — габбро крупнозернистое, интрамагматическая сининтрузивная дайка, СЗ часть о-ва Питерман; 10/207 — габбро диабазовое, крупнозернистое, меланократовый прослой в полосчатом габбро, северная часть о-ва Ноб; 8/51 — габбро-пегматит, мыс Туксен. Анализы выполнены в ИГМР им. Н.П. Семененко НАН Украины.

Таблица 4. Результаты микрозондового анализа халькопирита, %

Table 4. The results of microprobe analysis of chalcopyrite, %

| Точка отбора проб | о-в Барханы, кварцевая жила | СЗ часть о-ва Питерман |       |
|-------------------|-----------------------------|------------------------|-------|
|                   |                             | 10/17                  | 8/63  |
| Номер образца     | 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 |

магматической дайки наблюдается одинаковый характер распределения тяжелых РЗЭ и положительные Eu аномалии ( $Eu/Eu^* = 1,16-1,56$ ) (рис. 3). Габбро интрамагматической дайки характеризуются меньшим содержанием и недифференцированным составом легких РЗЭ. Графики на мультиэлементной диаграмме также подобны между собой. На них выделяются отрицательные аномалии Nb, Hf, Zr и положительные — Eu, Sr и Ti (рис. 4). Габбро с видимой рудной минерализацией обогащены Ti и имеют меньшее содержание РЗЭ. Геохимические данные указывают на формирование габбро-анортозитов и габбро с рудной минерализацией даек в одном магматическом очаге.

*Пирит-магнетитовая минерализация в лейкогаббро интрамагматических постинтрузивных\* даек* (обр. 10/176а, 10/178), обнаруженных в северо-восточной части о-ва Питерман, где они прорывают крупнозернистое амфиболовое габбро. Азимут простирания — СЗ 355°, азимут падения — СВ 85°, угол 70° (рис. 1). Лейкогаббро мелкозернистое (обр. 10/176а) имеет габбровую, местами порфировую структуру, обусловленную присутствием порфириобластов плагиоклаза. Кристаллы плагиоклаза корродированны. В породе присутствуют также 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, наложенная (вторичная). Порода высокожелезистая ( $f = 75$  %), низкотитанистая ( $t = 4,3$  %). Дайка лейкогаббро имеет несимметричное строение. В ее лежачем боку наблюдается зона измененных пород (метасоматитов) мощностью до 1,5 м, а в висячем — до 3–5 м. Количество сульфидов в метасоматитах возрастает по направлению к висячему боку дайки. В метасоматитах, вблизи вмещающих крупнозернистых габбро, наблюдаются

\* Постинтрузивная интрамагматическая дайка — продукт дифференцированной магмы, породы имеют минеральный и химический состав, отличный от состава материнских пород.

Таблица 5. Результаты микрозондового анализа ильменита, %

Table 5. The results of microprobe analysis of ilmenite, %

| Точка отбора проб              | СЗ о-ва Питерман |       |       |       | СВ о-ва Питерман | о-в Ноб |        |
|--------------------------------|------------------|-------|-------|-------|------------------|---------|--------|
|                                | 10/17            | 10/20 | 10/27 | 8/63  |                  | 10/206а | 10/207 |
| Номер образца                  | 10/17            | 10/20 | 10/27 | 8/63  | 10/17            | 10/206а | 10/207 |
| FeO                            | 44,52            | 44,56 | 43,95 | 45,98 | 46,42            | 44,54   | 44,88  |
| TiO <sub>2</sub>               | 52,67            | 51,69 | 52,85 | 51,31 | 50,34            | 50,84   | 51,09  |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 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 <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | 0,31             | 0,31  | 0,36  | 0,08  | 0,31             | 0,26    | 0,25   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 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  |

останцы крупнозернистых габбро размером до 10 × 15 см. Контакты дайки мелкозернистых лейкогаббро с вмещающими породами неровные, резкие. Судя по геологическим данным, дайка лейкогаббро с наложенной рудной минерализацией сформировалась на заключительном (позднемагматическом) этапе формирования интрузии габбро. По сравнению с вмещающими габбро, лейкогаббро (обр. 10/178) имеет повышенное содержание Cu — 650 ppm (выше кларка в 6,5 раза); Co — 166 (выше кларка в 3,7 раза); Mo — 2,1 (выше кларка в 1,5 раза), а также U, Th, Sc и PЗЭ (табл. 1, 2).

Распределение PЗЭ в лейкогаббро и вмещающих их амфиболовых габбро разное. Лейкогаббро не обеднены тяжелыми PЗЭ, для них характерна отрицательная аномалия европия —  $Eu/Eu^* = 0,82$  (рис. 3). На мультиэлементной диаграмме наблюдается обогащение Th и легкими PЗЭ, а также отсутствует Ti аномалия (рис. 4).

В мелкозернистом лейкогаббро дайки установлены пирит (обр. 10/176, 10/178), ильменит (обр. 10/178) и магнетит (обр. 10/176) (табл. 3—5). В пирите определена примесь кобальта (0,83—3,50 %). В составе магнетита отсутствуют примеси  $TiO_2$  и  $V_2O_5$ , в незначительном количестве присутствует MgO (0,13 %).

Химический состав пирита, ильменита и магнетита из габбро син- и постинтрузивных даек существенно разный. Сульфиды в постинтрузивных дайках обогащены кобальтом (до 3,5 %). Разная ориентировка ранних и поздних интрамагматических даек может ука-

зывать на изменение вектора стрессовых напряжений во время становления интрузии.

*Магнетит-ильменит-сульфидная минерализация в полосчатых габброидах о-ва Ноб (архипелаг о-вов Анаграм).* О-ва архипелага Анаграм сложены габброидами и гранитоидами андского комплекса. В северной части о-ва Ноб выявлены габбро со слоистой текстурой, слагающие зону шириной до 15 м (рис. 1; S 65°12,119'; W 64°19,196'), простирание зоны — СВ 50°, азимут падения — СЗ 320°, угол падения — 50° (рис. 1). Слоистая текстура габброидов (обр. 10/207) обусловлена чередованием темных слоев, сложенных амфиболом, пироксеном, плагиоклазом и рудным минералом, и более светлых прослоев плагиоклаз-пироксенового состава. Мощность слоев не превышает первых сантиметров. Среднее содержание магнетита в породе 8—10 %, а на отдельных участках архипелага о-вов Анаграм достигает 30 % (по литературным данным [3]). В темных прослоях полосчатых габбро (обр. 10/207), по результатам микрозондового анализа минералов, установлены ильменит, магнетит и пирит (табл. 4, 5). В ильмените выявлено несколько повышенное содержание MnO (до 3,41 %). Магнетит содержит  $Cr_2O_3$  (до 0,49 %) и  $V_2O_5$  (0,75 %).

В СЗ части о-ва Ноб среди крупнозернистых габбро обнаружена интрамагматическая дайка пироксенитов (обр. 10/206а) мощностью 0,3 м, ориентированная согласно полосчатости габброидов — ее азимут простирания СВ 60°, падение субвертикальное (рис. 1; S 65°12,201'; W 64°19,130'). Она имеет прерывистую форму и внедрялась, очевидно, в еще не пол-

Таблица 6. Результаты микрозондового анализа магнетита, %

Table 6. The results of microprobe analysis of magnetite, %

| Точка отбора проб              | о-в Барханы | о-в Питерман |        | о-в Ноб |        | о-в Крулс |         | мыс Туксен |        |
|--------------------------------|-------------|--------------|--------|---------|--------|-----------|---------|------------|--------|
|                                |             | СЗ           | СВ     |         |        |           |         |            |        |
| Номер образца                  | 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 <sub>2</sub>               | 0,00        | 1,37         | 0,00   | 0,63    | 0,31   | 0,03      | 0,08    | 1,76       | 0,51   |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 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 <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,02        | 1,03         | 0,00   | 0,79    | 0,75   | 0,13      | 0,11    | 0,94       | 0,97   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 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  |



ностью закристаллизованные габброиды. В пироксените (обр. 10/206a) установлены пирит, ильменит и магнетит (табл. 3—5). Ильменит содержит примесь MnO (3,11 %), а магнетит —  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (до 0,35 %). Ильменит и магнетит из пироксенита интрамагматической дайки и полосчатых габбро подобны по химическому составу, что указывает на их формирование в одном магматическом очаге.

*Магнетит-ильменитовая минерализация в меланогаббро-пегматитах мыса Туксен.* Тело овоидальной формы, сложенное меланогаббро-пегматитами, диаметром около 1 м встречено среди роговообманкового габбро на мысе Туксен (S 65°16,093'; W 64°06,902'). Меланогаббро-пегматит (обр. 8-51, 8-52) — это гигантозернистая порода с пегматоидной, местами сидеронитовой структурой. Минеральный состав, %: плагиоклаз — 20—30, амфиболитизированный пироксен — 40, рудные минералы — до 40. По сравнению с вмещающими их габбро, они обогащены V — 987 ppm (табл. 2), что превышает кларк, по А.П. Виноградову, в пять раз, а Co — в полтора раза. В них также несколько выше содержание Ni. При микрозондовых исследованиях минералов установлен магнетит (табл. 6).

Габбро-пегматиты отличаются от вмещающего габбро более высоким содержанием средних и тяжелых РЗЭ, меньшим — легких РЗЭ (рис. 3), а также присутствием отрицательной Eu аномалии —  $\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0,90$ . На спайдер-диаграмме наблюдается меньшее содержание Rb, Ba и большая величина Ti аномалии (рис. 4).

*Пирит-халькопирит-магнетитовая минерализация в кварцевых жилах о-вов Барханы.* На о-вах Барханы обнаружена серия кварцевых жил мощностью до 10 м, которые прорывают гранодиориты андского комплекса, вероятно, это посттектонические гидротермальные образования. Координаты обнажения: S 65°14,443'; W 64°08,240' (рис. 1), азимут простирания кварцевых жил — СЗ 355°, азимут падения — СВ 85°, угол — 68°. В жилах из 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 отмечено небольшое количество As — 0,12 и 0,07 % соответственно (табл. 3, 4). Магнетит не имеет примесей  $\text{TiO}_2$  и  $\text{V}_2\text{O}_5$  (табл. 6).

*Пирит-магнетитовая минерализация в метасоматитах о-ва Крулс.* В восточной части о-ва Крулс в гранодиоритах выявлена тектоническая зона шириной до 10 м, где расположены несколько субпараллельных крутопадающих (азимут падения СЗ 345°, угол 82°) разломов и в плоскостях которой развита обильная сульфидная и магнетитовая минерализация (обр. 10/251a, 10/251b). Мощность зоны — 0,5 м. Координаты обнажения — S 65°11,845'; W 64°32,068' (рис. 1). Некоторые разломы пересекаются. Субпараллельно разломам расположены две тонкие (мощностью до 15 см) дайки миндалекаменных диабазов, секущие зоны с сульфидной минерализацией. В раздробленных породах тектонических зон развиваются альбит, эпидот, пирит и магнетит, в больших скоплениях пирита присутствуют кристаллы магнетита. Исходя из установленной минеральной ассоциации, эти породы могут быть отнесены к низко- и среднетемпературным образованиям. В пирите установлена примесь Co (0,39 %) и следы Ag (табл. 3). Магнетит имеет низкое содержание примесей  $\text{TiO}_2$  (до 0,08 %) и  $\text{V}_2\text{O}_5$  (до 0,13 %) (табл. 6).

На о-ве Крулс также встречена эпигенетическая сульфидная минерализация в виде тонких пленок на плоскостях трещин среди гранодиоритов (S 65°11,359'; W 64°32,271'). Вмещающие породы при этом не изменены наложенными процессами. Образцы этих сульфидов находятся на стадии изучения.

**Выводы.** В интрузиях габброидов, относящихся к комплексу пород батолита АП, проявления рудной минерализации магнетита, ильменита и сульфидов связаны с прорывающими их интрамагматическими син- и постинтрузивными дайками габбро и более поздними габбро-пегматитами. В них установлены повышенные концентрации V, Co, Cu. Габбро-пегматиты, в отличие от первых, имеют несколько большее содержание Ni. В габбро интрамагматических постинтрузивных даек зафиксировано более высокое содержание 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 посттектонической гидротермальной стадии и эпигенетическими процессами в тектонических разломах. Значимых концентраций рудных элементов в них не обнаружено.

Магнетит в габбро из зон первично-магматической рудной минерализации имеет примеси  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  и  $\text{V}_2\text{O}_5$ , а ильменит —  $\text{MnO}$ . Рудные минералы из зон наложенной рудной минерализации различаются составом примесей. В пирите из метасоматитов о-ва Крулс установлена примесь  $\text{Ag}$ , а в пирите и халькопирите из кварцевых жил о-вов Барханы отмечен  $\text{As}$ . Магнетит не содержит примесей  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  и  $\text{V}_2\text{O}_5$ .

*Авторы выражают глубокую благодарность руководству Национального Антарктического научного центра и зимовщикам украинской антарктической станции "Академик Вернадский" за помощь в организации и проведении полевых экспедиционных исследований.*

1. Бахмутов В.Г. Геологический обзор архипелага Аргентинские острова и прилегающей территории Антарктического полуострова // Бюл. УАЦ. — 1998. — Вып. 2. — С. 77—84.
2. Грикуров Г.Э. Геология Антарктического полуострова. — М.: Наука, 1973. — 120 с.
3. Дубровин Л.И., Каменева Г.И. Горная энциклопедия / Под ред. Е.А. Козловского. — М.: Сов. энциклопедия, 1984—1991.
4. Комплексні дослідження земної кори Західної Антарктиди за геолого-геофізичними даними: (Звіт про н.-д. роботу) / Ін-т геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України. — К., 2006. — 162 с.
5. Удищев Г.Б., Шенке Г.В. Очерки геодинамики Западной Антарктиды. — М.: ГЕОС, 2004. — 132 с.
6. Хаин В.Е. Региональная геотектоника. Т. 1. Северная и Южная Америка, Антарктида и Африка. — М., 1971. — 548 с.
7. Curtis R. The petrology of the Graham coast, Graham land // British Antarctic surv. Sci. repts. — 1966. — No 50. — P. 3—51.
8. De Wit M.J. The Economic Potential of the Dufek Complex // Miner. Res. Potential of Antarctica. — Washington (D.C. USA), 1988. — P. 33—53.
9. Elliot D.H. The petrology of the Argentine islands // British Antarctic surv. Sci. repts. — 1964. — No 41. — P. 1—31.
10. Hawkes D.D. Nature and distribution of metalliferous mineralization in the northern Antarctic Peninsula // J. Geol. Soc. — 1982. — 139, No 6. — P. 803—809.
11. Leat P.T., Scarrow J.H., Millar I.L. On the Antarctic Peninsula batholith // Geol. Mag. — 1995. — 132, Is. 04. — P. 399—412.
12. Sun S.S., McDonough W.F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes // Magmatism in the Ocean Basins / Eds. A.D. Saunders, M.J. Norry. — 1989. — P. 313—345. — (Geol. Soc. Spec. Publ.; No 42).
13. Willan R., Macdonald D., Drewry D. The mineral resource potential of Antarctica: geological realities // The future of Antarctica: exploitation versus preservation / Ed. G. Cook. — 1990. — P. 25—43.

Поступила 04.03.2011

*Г.В. Артеменко, В.Г. Бахмутов,  
І.А. Самборська, Л.І. Канунікова*

ПРОЯВИ РУДНОЇ МІНЕРАЛІЗАЦІЇ  
У ІНТРУЗИВНОМУ КОМПЛЕКСІ  
АРХІПЕЛАГУ АРГЕНТИНСЬКІ ОСТРОВИ  
(ЗАХІДНА АНТАРКТИДА)

У інтрузіях габроїдів, що належать до комплексу порід батоліту Антарктичного п-іва, 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  $\text{V}$ ,  $\text{Co}$ ,  $\text{Cu}$ . У лейкогабро із інтрамагматичних постінтрузивних дайок — значно більший вміст  $\text{Cu}$ ,  $\text{U}$ ,  $\text{Th}$ ,  $\text{Sc}$  і РЗЕ, а вміст  $\text{Co}$  в піриті досягає 3,5 %. У інтрузіях гранітоїдів рудна мінералізація піриту, халькопіриту та магнетиту пов'язана з кварцовими жилами посттектонічної гідротермальної стадії та епігенетичними процесами у тектонічних розломах. У сульфідах з цих проявів встановлені домішки  $\text{Ag}$  і  $\text{As}$ .

*G.V. Artemenko, V.G. Bahmutov,  
I.A. Samborska, L.I. Kanunikova*

MANIFESTATIONS OF ORE  
MINERALIZATION IN THE INTRUSIVE  
COMPLEX OF THE ARCHIPELAGO  
ARGENTINE ISLANDS, WEST ANTARCTICA

In the gabbro intrusions, which belong to the rock complex of the batholith of the Antarctic Peninsula, the manifestations of ore mineralization of magnetite, ilmenite and sulphides are associated with intramagmatic dikes and latter gabbro-pegmatites erupting them.  $\text{V}$ ,  $\text{Co}$ ,  $\text{Cu}$  concentrations are high in them. A significantly higher content of  $\text{Cu}$ ,  $\text{U}$ ,  $\text{Th}$ ,  $\text{Sc}$  and REE is observed in the gabbro intramagmatic postintrusion dikes, and  $\text{Co}$  content in pyrite reaches 3.5 %. Ore mineralization of pyrite, chalcopyrite and magnetite in the granitoid intrusions is associated with quartz veins of post-tectonic hydrothermal stage and epigenetic processes in the tectonic faults.  $\text{Ag}$  and  $\text{As}$  impurities were found in sulfides of these manifestations. Magnetite from the zones of primary ore mineralization is characterized by the presence of impurities  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  and  $\text{V}_2\text{O}_5$ , and ilmenite —  $\text{MnO}$ . Ore minerals of the zones of superimposed ore mineralization are of different impurity compositions.  $\text{Ag}$  impurities were detected in pyrite from metasomatites of the Kruls island and  $\text{As}$  — in pyrite and chalcopyrite in quartz veins on the Barchanes islands. Magnetite is distinguished by the absence of  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , and  $\text{V}_2\text{O}_5$  impurities.