

УДК.550.42:552.311(477)

**ЭЛЕМЕНТЫ-ПРИМЕСИ В СУЛЬФИДАХ ИЗ АНДЕЗИТОВ И ДАЦИТОВ  
ВЕРХНЕЮРСКОЙ ВУЛКАНИЧЕСКОЙ ГРУППЫ  
(АРХИПЕЛАГ АРГЕНТИНСКИЕ ОСТРОВА, ЗАПАДНАЯ АНТАРКТИДА)**

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

<sup>1</sup> *Институт геохимии, минералогии и рудообразования им. Н. П. Семеновка НАН Украины, г. Киев, regul@yahoo.com.ua*

<sup>2</sup> *Институт геофизики им. С. И. Субботина НАН Украины, г. Киев, bakhmutovvg@gmail.com*

**Реферат.** В результате петролого-минералогических и микрозондовых исследований установлено, что сульфидная минерализация в андезитах и дацитах верхнеюрской вулканической группы, изученных на о. Иризар, Скуа и Винтер, является сингенетической и относится к вкрапленному типу. В брекчиях метадацитов о. Иризар содержание сульфидов достигает 20–25% объема породы. В пиритах из брекчии дацитов о. Иризар присутствуют примеси Au (0,08 %), Ag (0,04 %), Co (0,17 %) и Cu (0,12 %). В пирите из дацитов о. Скуа определены содержания Au (0,06 %) и Co (0,11 %), а в пиритах из андезитов о. Винтер обнаружены Au (0,18 %), Ag (0,05 %) и Co (0,10 %). В результате проведенных работ определена перспективность исследований андезитов и дацитов верхнеюрской вулканической группы на благороднометалльную минерализацию.

**Ключевые слова:** сульфиды, элементы-примеси, архипелаг Аргентинские острова, андезиты, дациты, верхнеюрская вулканическая группа Антарктического полуострова.

**Елементи-домішки у сульфідах з андезитів та дацитів верхньорської вулканічної групи (архіпелаг Аргентинські острови, Західна Антарктида).**

Г. В. Артеменко, В. Г. Бахмутов, І. А. Самборська, Л. В. Кануннікова.

**Реферат.** В результаті петролого-мінералогічних і мікрозондових досліджень встановлено, що сульфідна мінералізація у андезитах та дацитах верхньорської вулканічної групи, вивчених на о. Ірізар, Скуа і Вінтер, є сингенетичною і відноситься до вкрапленого типу. У брекчіях дацитів о. Ірізар вміст сульфідів досягає 20–25 % об'єму породи. У пириті з брекчії дацитів о. Ірізар присутні домішки Au (0,08 %), Ag (0,04 %), Co (0,17 %) і Cu (0,12 %). У пириті з дацитів о. Скуа присутні Au (0,06 %) і Co (0,11 %), а в пиритах з андезитів о. Вінтер виявлені Au (0,18 %), Ag (0,05 %) і Co (0,10 %). В результаті проведених робіт встановлено перспективність досліджень андезитів та дацитів верхньорської вулканічної групи на благороднометалльну мінералізацію.

**Impurity elements in sulfides from andesites and dacites of Upper Yurassic volcanic groups (archipelago Argentine Islands, West Antarctica)**

G.V. Artemenko, V.G. Bahmutov, I.A. Samborska, L.V. Kanunnikova.

**Abstract.** As a result, of petrological, mineralogical and microprobe studies was found, that sulfide mineralization in andesites and dacites of Upper Yurassic volcanic group, investigated in Irizar, Skua and Winter Island, is synchronous and refers to the inclusions type. In dacites breccias of Irizar Islands sulphide content reaches 20–25 % of the rock. In pyrite from dacites breccia from Irizar Island present Au (0,08 %), Ag (0,04 %), Co (0,17 %) and Cu (0,12 %). In

pyrites from dacites in Skua Island present Au (0,06 %) and Co (0,11 %), and in andesites from Winter Island discovered Au (0,18 %), Ag (0,05 %) and Co (0,10 %). As a result of studies found promising research of andesites and dacites of Upper Yurassic volcanic group on noble metal mineralization.

**Key words:** sulfide, impurity elements, archipelago Argentine Island, andesites, dacites, Upper Yurassic volcanic group of Antarctic Peninsula.

## 1. Вступление

В геологическом строении архипелага Аргентинские острова ( $65^{\circ}15'S$ ,  $64^{\circ}15'W$ ) выделяются породы верхнеюрской вулканической группы (AP Volcanic Group) и интрузивные образования батолита Антарктического полуострова (AP batholiths) [Грикуров, 1973; Elliot, 1964; Curtis, 1966; Бахмутов, 1998]. Породы верхнеюрской вулканической группы представлены лавами и туфогенными образованиями основного, среднего и кислого составов. Они формировались в интервале 188–153 млн лет [Pankhurst et al, 2000]. Более молодые интрузивные породы батолита АП представлены габбро, диоритами, гранодиоритами и гранитами. U-Pb (SHRIMP), изотопный возраст габбро мыса Туксен составляет  $88 \pm 1,1$  млн лет, а тоналита о. Питерман –  $95,9 \pm 1,0$  млн лет [Бахмутов и др., 2013].

Вулканические и интрузивные породы Антарктического полуострова относятся к известково-щелочной магматической серии, с которой в Андийском поясе Южной Америки связаны медно-свинцово-цинковые и подобные руды, часто содержащие серебро и золото. Однако на Антарктическом полуострове значительных концентраций этих металлов не обнаружено. Авторы [Rowley, Pride 1982] объясняют это большим эрозионным срезом пород на Антарктическом полуострове по сравнению с Южной Америкой. Наиболее известные проявления меди найдены на островах западной оконечности Антарктического полуострова, которые ассоциируют с наиболее поздней интрузивной фазой трондьемитов андского комплекса [Rowley, Pride, 1982]. Жильный и, вероятно, порфировый тип метасоматитов находится на острове Анверс [Ferguson, 1921; Rowley, Pride, 1982] в районе Le Maire Channel [Vieira et al, 1982]. Метасоматически измененные и минерализованные породы находятся как внутри пород батолита, так и во вмещающих вулканических породах верхнеюрской вулканической группы. Медно-молибденовое проявление на о. Livingston приурочено к сильно метасоматически измененным гранодиоритам андского комплекса. Здесь обнаружены пирит, халькопирит, молибденит, сфалерит, вторичные минералы меди [Rowley and others, 1984]. Помимо известных многочисленных точек минерализации меди, в южной части Антарктического полуострова известны три не имеющие экономического значения месторождения меднопорфирового типа, связанные с плутонами мелового возраста. На медно-молибденовом месторождении “Copper Nunataks” в центральной части района Lassiter Coast [Rowley and others, 1977] максимальные содержания не превышают 200 ppm меди, 100 ppm свинца и 50 ppm молибдена. На месторождении меди “Sky-Hi Nunataks” в восточной части района Ellsworth Land средние содержания в рудной зоне не превышают 200 ppm меди и 50 ppm цинка [Rowley and Pride, 1982]. Незначительные количества золота и серебра были отмечены в анализах сульфидных минералов, найденных вблизи интрузий андского комплекса в нескольких местах Антарктического полуострова [Knowles, 1945] – на острове Stonington, центральной части области Marguerite Bay, гор Welch, «Eternity Range» района Black Coast и мысе Eielson (Boggs). Золото и серебро были зарегистрированы в следовых количествах в пирите. Диапазон содержаний золота – от 0,3 до 2 ppm; серебра – от 1 до 10 ppm. По результатам полуквантитативного спектрального анализа повышенные содержания серебра выявлены на месторождениях Lassier Coast – 300 ppm, Sky-Hi Nunataks – 4 ppm (не включая содержания в кварцевых жилах) и в штоке Merrick Mountais – 50 ppm [Rowley and others, 1977]. Данные о наличии серебра на островах Brooklyni Pelsener района залива Wilhelmina на Земле Дансо – 35 и 32 ppm соответственно [Aларсон, 1976].

На Аргентинских островах рудная минерализация представлена редкими кварц-молибденит-халькопиритовыми и кварц-пиритовыми прожилками и крупными кварц-магнетитовыми жилами [Hawkes, 1981]. Они связаны с третичным гранодиоритовым плутоном, который интрузирует мезозойские вулканические породы. Гидротермальные изменения, затрагивающие как интрузию, так и вулканические породы, связаны с жилами, обогащенными калием. Они переходят непосредственно в зону пропилитового изменения. Филлитовое изменение присутствует, но ограничивается небольшими участками, локализованными в пределах зоны пропилитизации. Тип минерализации и распределение зон изменения свидетельствует о характере источника зоны как меднопорфировой системы [Hawkes, 1981].

## 2. Постановка проблемы

На архипелаге Аргентинские острова и прилегающей к нему части Антарктического полуострова проявления рудной минерализации и контрастные геохимические аномалии связаны с остаточными расплавами интрузий габброидов, кварцевыми жилами постектонической гидротермальной стадии интрузий гранодиоритов, зонами метасоматоза, связанными с поздними жилами монзонитов и тектоническими разломами северо-восточного простирания (эпигенетическими процессами). Значительное место в зонах рудной минерализации играют сульфиды – пирит, халькопирит и пирротин. Изучение их микроэлементного состава позволит получить важные данные о их генезисе и источниках рудной минерализации этого района.

## 3. Методы исследований

Распределение сульфидов в вулканитах изучалось в аншлифах на микроскопе Nikon ECLIPSE LV100POL. Микрофотографии аншлифов выполнялись фотокамерой Nikon PS-Fi1. Геохимические исследования сульфидов были выполнены на рентгеновском микроанализаторе JXA-733 (Jeol) с использованием волнового и энерго-дисперсионного спектрометров. Режим работы: ускоряющее напряжение 20 KV, рабочий ток 20 нА, размер зонда 1–5 мкм.

## 4. Результаты и обсуждение

Участок исследований охватывал острова Иризар, Скуа и Винтер архипелага Аргентинские острова вблизи Украинской антарктической станции Академик Вернадский (рис. 1). Опробовались вулканиты с признаками сульфидной минерализации (породы покрытые бурой пленкой гидроокислов).

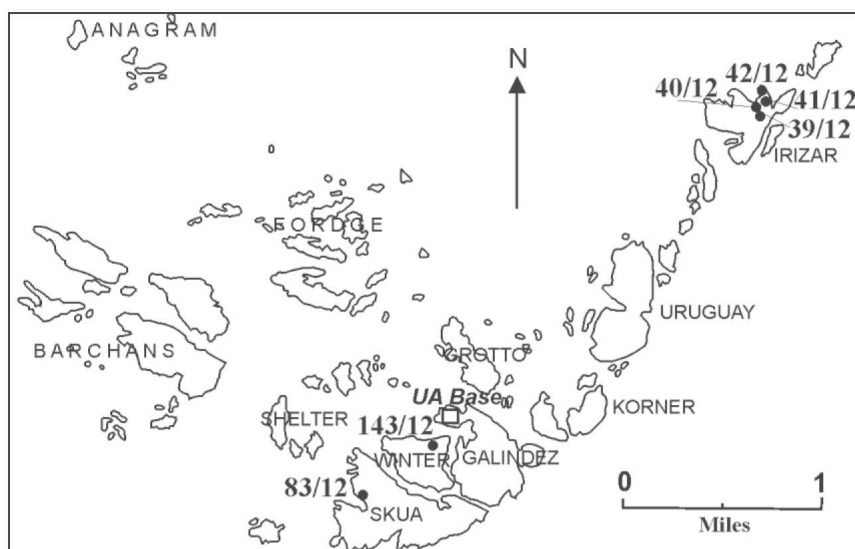


Рис.1. Схема отбора проб андезитов и дацитов для геохимических исследований сульфидов.

**Брекчия дацитов, обр. 40/12** (о. Иризар,  $S65^{\circ}13,433'$ ;  $W64^{\circ}12,178'$ ). Элементы залегания сланцеватости: аз. пр.  $S3\ 340^{\circ}$ , падение – субвертикальное. Трещины и поверхность расланцевания брекчии дацитов покрыты желто-бурой пленкой гидроокислов железа.

Дацит (обр. 40/12) мелкозернистый, имеет порфиоровую структуру. Порода содержит ксенолиты базальта. Рудная минерализация представлена идиоморфными и ксеноморфными кристаллами и рудной пылью. Сульфиды составляют до 25 % объема породы и достигают размера 2,5 x 3,0 см (рис. 2 а, б). Сульфидная минерализация является сингенетичной к формированию породы.

Согласно микрозондовым данным, пирит (обр. 40/12-2, табл. 1), содержит примеси кобальта (0,10–0,11 %), меди (0,08–0,09 %), мышьяка (0,10–0,18 %) и золота (0,08 %).

В 20 м к северу от этой точки наблюдения взят образец дацитов 41/12. Вкрапленники кварца достигают размера до 3 x 3 мм. Наблюдаются мелкие вкрапленники сульфидов в основной массе породы. Более поздние вкрапленники сульфидов связаны с просечками кварца. Они более крупные (до 1,5 x 1,5 мм). Их содержание в породе достигает 10 %. Сульфидная минерализация является сингенетической.

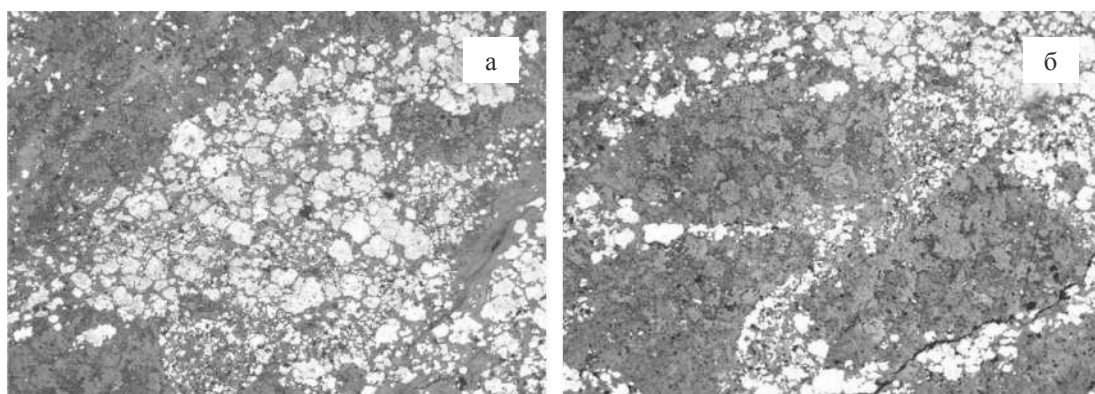


Рис. 2 а, б. Вкрапленность сульфидов в брекчии дацитов (обр. 40/12).

Микрозондовое изучение сульфидов (обр. 41/12-1, 41/12-2, табл. 1) показало, что пирит содержит примеси кобальта (0,12-0,17 %), меди (0,06-0,08 %), мышьяка (до 0,08 %), и золота (до 0,05 %).

**Брекчия дацитов, обр. 42/12** (о. Иризар, S65°13,230'; W64° 12,183'). Элементы залегания тела дацитов: аз пад. ЮЗ 210°, угол 62°. Они прорывают андезитовые порфириды. Дацит (обр. 42/12, табл. 2) мелкозернистый, порфиroidный. Плаггиоклаз сильно измененный. Порфирические выделения представлены рудным минералом идиоморфной и ксеноморфной формы. Концентрация рудного минерала достигает 20 % шлифа. По трещинам и на поверхности расщепления порода покрыта пленкой желто-бурого цвета гидроокислов железа.

Сульфидные минералы приурочены к кварцу и окружают мелкие фрагменты породы кварц-плаггиоклазового состава. Они сингенетичны с формированием дацитов и формировались на заключительном этапе кристаллизации породы.

Согласно микрозондовым данным (табл. 1), пирит (обр. 42/12-1, 42/12-2, табл. 1) содержит примеси кобальта (0,06-0,09%) и меди (0,06-0,07%).

Таблица 1

Результаты микрозондовых анализов сульфидов, %

Точки отбора проб	о. Иризар, дацит, S65°13,430'; W64° 12,187'				о. Иризар, брекчия дацитов, S65°13,433'; W64° 12,178'	
	Py	Py	Py	Py	Py	Py
№ обр.	39/12-1-1	39/12-1-2	39/12-2-1	39/12-2-2	40/12-1	40/12-2
Fe	45,68	46,27	45,83	46,26	46,48	46,27
Ni	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01
Co	0,04	0,10	0,11	0,07	0,11	0,10
Cu	0,12	0,08	0,04	0,10	0,08	0,09
As	0,32	0,00	0,15	0,00	0,18	0,10
Au	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,08
Ag	0,04	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00
S	54,10	53,18	53,16	52,87	53,13	53,16
Сумма	100,34	99,65	99,29	99,32	99,99	99,81

Примечание. Геохимическое исследование сульфидов выполнены с использованием микрозонда JXA-5 в ИГМР им. Н.П.Семененка НАН Украины

Г. В. Артеменко, В. Г. Бахмутов, И. А. Самборская, Л. В. Канунникова  
ЭЛЕМЕНТЫ-ПРИМЕСИ В СУЛЬФИДАХ ИЗ АНДЕЗИТОВ И ДАЦИТОВ ВЕРХНЕЮРСКОЙ ВУЛКАНИЧЕСКОЙ  
ГРУППЫ (АРХИПЕЛАГ АРГЕНТИНСКИЕ ОСТРОВА, ЗАПАДНАЯ АНТАРКТИДА)

Продолжение таблицы 1

Точки отбора проб	о.Иризар, дацит катаклазированный, S65о13,272'; W64о 12,044'		о. Иризар, брекчия дацитов, S65о13,230'; W64о 12,183'		о. Скуа, западная часть, дацит катаклазированный, S65о15,175'; W64о 16,422'			о. Винтер, сев. часть, андезит, S65о14,858'; W64о 15,992'	
	Py	Py	Py	Py	Py	Py	Pyгг	Py	Pyгг
№ обр.	41/12-1	41/12-2	42/12-1	42/12-2	83/12-1	83/12-2	83/12-3	143/12-1	143/12-2
Fe	46,29	46,42	46,17	46,50	46,49	46,33	61,03	45,64	60,38
Ni	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Co	0,17	0,12	0,09	0,06	0,07	0,11	0,11	0,07	0,10
Cu	0,06	0,08	0,06	0,07	0,00	0,03	0,13	0,02	0,04
As	0,08	0,00	0,00		0,00	0,00	0,37	0,00	
Au	0,00	0,05	0,02	0,02	0,02	0,06	0,04	0,18	0,03
Ag	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,05
S	52,59	53,26	53,22	53,25	52,95	53,14	38,05	53,52	39,38
Сумма	99,18	99,91	99,56	99,92	99,55	99,66	99,73	99,43	99,98

Примечание. Py – пирит, Pyгг – пирротин.

Таблица 2

Результаты химических анализов пород

Окислы, %	Номера образцов			
	39/12	42/12	83/12	143/12
SiO <sub>2</sub>	65,95	58,60	66,73	63,98
TiO <sub>2</sub>	1,13	0,64	0,87	1,14
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,76	20,83	13,92	13,29
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,43	2,76	0,10	1,23
FeO	3,31	1,60	5,18	5,46
MnO	0,19	<0,03	0,10	0,20
MgO	1,68	1,68	2,88	1,56
CaO	6,38	1,01	4,70	3,70
Na <sub>2</sub> O	0,79	0,40	1,63	4,20
K <sub>2</sub> O	<0,05	6,10	1,70	1,40
S <sub>общ</sub>	2,12	2,05	<0,02	0,67
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,18	<0,05	0,18	0,13
CO <sub>2</sub>	н/о	н/о	н/о	н/о
H <sub>2</sub> O	0,43	0,44	0,55	0,25
П.п.п.	2,26	4,56	1,10	2,65
Сумма	100,61	100,67	99,54	99,86

Примечание. 39/12 – дацит; 42/12 – брекчия дацитов; 83/12 – дацит катаклазированный; 143/12 – андезит. Анализы выполнены в ИГМР им. М.П. Семененка НАН Украины.

**Дациты**, обр. 39/12 (о. Иризар, S65°13,430'; W64° 12,187'). Тело дацитов мощностью до 2 м находится в зоне катаклаза андезитовых порфириров. Элементы залегания дацитов: аз пад. ЮЗ 170°, угол 60°.

Дацит (обр. 39/12, табл. 2) мелкозернистый, порфирированный. Основная масса породы сильно изменена вторичными процессами. Порфирированные выделения представлены кварцем и рудным минералом (до 30 % шлифа). Вторичная рудная минерализация представлена рудной пылью.

Сульфиды в породе образуют вкрапленники размером до 2 x 2 мм, имеющие преимущественно кубическую форму (обр. 39/12-1-1, 39/12-1-2, 39/12-2-1, 39/12-2-2, табл. 1). Сульфиды являются сингенетическими с основной массой породы. Количество сульфидов в породе достигает 15 %. Пирит содержит примеси кобальта (0,04–0,11%), меди (0,04–0,12%), мышьяка (до 0,32%) и следы золота и серебра (табл. 2).

В более поздних лейкократовых прожилках, пересекающих дациты, сульфиды отсутствуют.

**Дациты катаклазированные**, обр. 83/12 (о. Скуа, западная часть, со стороны о. Шелтерс, S65°15,175'; W64° 16,422'). Зона катаклазированных дацитов, шириной до 7 м наблюдается возле дайки базитов, шириной до 4 м (часть ее находится под водой). Элементы залегания дайки базитов: аз пр. ВЗ 180°, падение – вертикальное. Трещины катаклазированных дацитов покрыты желто-бурым налетом гидроокислов железа. Дацит (обр. 83/12, табл. 2) мелкозернистый, с порфирированными вкрапленниками кварца и сдвойникового плагноклаза. Концентрация рудного минерала достигает 2–5 % шлифа.

Сульфиды в катаклазированных дацитах образуют вкрапленность в породе, а также выполняют микротрещины.

Пирит (обр. 83/12-1, 83/12-2, табл. 1) содержит примеси кобальта (0,07–0,11%) и золота (до 0,06%) (табл. 2). В пирротине (обр. 83/12-3, табл. 1) выявлены примеси кобальта (0,11%), меди (0,13%), мышьяка (0,37%) и золота (до 0,04 %).

**Андезит** (обр. 143/12, табл. 2) северная часть о. Винтер; S65°14,858'; W64° 15,992'. сильно окварцованный. Содержание рудных минералов в породе около 10 %. Сульфиды представлены вкрапленниками кубической формы, размером до 1,5 x 1,5 мм.

Микрондовым методом среди сульфидов определены пирит и пирротин. Пирит (обр. 143/12-1, табл. 1) содержит примеси кобальта (0,07 %) и до 0,18 % золота. В пирротине (обр. 143/12-2, табл. 1) определены примеси кобальта (0,10%), меди (0,04%), золота (0,03 %) и серебра (0,05 %).

## 5. Выводы

В результате петролого-минералогических и микрондовых исследований установлено, что сульфидная минерализация в андезитах и дацитах верхнеюрской вулканической группы, изученных на о. Иризар, Скуа и Винтер, является сингенетической и относится к вкрапленному типу. В брекчиях дацитов о. Иризар содержание сульфидов достигает 20–25 % объема породы. В пиритах из брекчии дацитов о. Иризар присутствуют примеси Au (0,08 %), Ag (0,04 %), Co (0,17 %) и Cu (0,12 %). В пирите из дацитов о. Скуа присутствуют Au (0,06 %) и Co (0,11 %), а в пиритах из андезитов о. Винтер обнаружены Au (0,18 %), Ag (0,05 %) и Co (0,10 %). В результате проведенных работ установлена перспективность исследований андезитов и дацитов верхнеюрской вулканической группы на благороднометальную минерализацию.

## Список литературы

1. Артеменко Г. В., Бахмутов В. Г., Самборская И. А., Канунникова Л. И. Проявления рудной минерализации в интрузивном комплексе архипелага Аргентинские острова (Западная Антарктика) // Минерал. журнал. – 2011. – 33, № 3. – С. 90 – 99.
2. Бахмутов В. Г. Геологический обзор архипелага Аргентинские острова и прилегающей территории Антарктического полуострова. – Бюлл. УАЦ. 1998, Вып. 2. С. 77 – 84
3. Бахмутов В. Г., Гладкочуб Д. П., Шпыра В. В. Возрастная позиция, геодинамическая специфика и палеомагнетизм интрузивных комплексов западного побережья Антарктического полуострова // Геофиз. Журнал. – 2013. – 3(35). – С. 3 – 30.
4. Грикуров Г. Э. Геология Антарктического полуострова // М., Наука, 1973. – 120 с.
5. Alarcon B., Ambros J. Olcay L., Vieira C. Geologia del Estrecho de Gerlache entre los paralelos 64° y 65° lat. Sur, Antarctica Chilena // Instituto Antartico Chilleno, Series Cientifica, 1976, v.4, no. 1, P.7 – 51.
6. Curtis R. The petrology of the Graham coast, Grahamland. London. – 1966. – British Antarctic survey, Scientific reports № 50. – P.3 – 51;

7. **Elliot D. H.** The petrology of the Argentine islands. 1964. – British Antarctic survey, Scientific reports № 41. – P. 1 – 31.
8. **Ferguson D.** Geological observations in the South Shetlands, the Palmer archipelago, and Graham Land, Antarctica: Royal Society of Edinburgh Transactions, v.53, pt. 1, 1921, P. 29–56
9. **Hawkes D. D., Littlefair M. J.** An Occurrence of Molybdenum, Copper, and Iron Mineralization in the Argentine Islands, West Antarctica // *Economic Geology*, Vol 76, 1981, P. 898 – 904.
10. **Knowles P. H.** Geology of Southern Palmer Land Peninsula, Antarctica // *Am. Philos. Soc. Proc.*, v. 89, № 1, 1945, P. 132 – 145.
11. **Pankhurst R. J., Riley T. R., Fanning C. M. and Kelley S. P.** Episodic Silicic Volcanism in Patagonia and the Antarctic Peninsula: Chronology of Magmatism Associated with the Break-up of Gondwana // *J. of Petrology*. V.41, № 5. 2000, P. 605 – 625.
12. **Rowley P. D., Pride D. E.** Metallic mineral resources of the Antarctic Peninsula // *Antarctic geoscience: Madison University of Wiskonsin Press*, 1982, P. 859 – 870.
13. **Rowley P. D., Williams P., Pride D. E.** Mineral Occurrences of Antarctica // *Petroleum and Mineral Resources of Antarctica. Geological Survey Circular 909.* – 1984, P. 25–49.
14. **Rowley P. D., Williams P. L., Schmidt D. L.** Geology of an Upper Cretaceous copper deposit in the Andean Province, Lassiter Coast, Antarctic Peninsula // *U.S. Geological Survey Professional Paper 984*, 1977, 36 p.
15. **Vieira C., Alarcon B., Ambrus J., Olcay L.** Metallic mineralization in the Gerlache Strait region, Antarctica // *Antarctic geoscience: Madison University of Wiskonsin Press*, 1982, P. 871 – 876.