

ОСОБЕННОСТИ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА ОРТОГНЕЙСОВ ВОСТОЧНОГО БОРТА ЛЕДНИКА ЭЙМЕРИ (ЗЕМЛЯ ПРИНЦЕССЫ ЕЛИЗАВЕТЫ), ВОСТОЧНАЯ АНТАРКТИДА

На основании анализа петрохимических и геохимических данных показано, что протолитом серии Пикеринг являются породы андезибазальтовой ассоциации. В ней по геохимическим критериям могут быть выделены две группы, различающиеся, вероятно, составом источника и/или условиями образования. Для ортопироксеновых гнейсов серии Маннинг выявлены геохимические признаки магматического генезиса протолита и генетической связи с образованиями серии Пикеринг. Протолитом серий Пикеринг и Маннинг, возможно, служил единый комплекс осадочно-вулканогенных пород.

Ключевые слова: мезопротерозой, метаморфические породы, геохимические данные, ледник Эймери, Восточная Антарктида.

Using petrochemical and geochemical data analysis, it was revealed that andesite-basalt association was protolith of Pickering suite rocks. This association could include two rock types having different magma sources and/or generation conditions. Geochemical features of Manning suite orthopyroxene gneisses indicate their magmatic origin and genetic relationship with Pickering suite orthogneisses. Therefore consolidated volcanogenic-sedimentary association could be proposed as protholith of Pickering and Manning series.

Keywords: Mesoproterozoic, metamorphic rocks, geochemical data, Amery Ice Shelf, East Antarctica.

Восточный борт ледника Эймери расположен в пределах Земли Принцессы Елизаветы (Восточная Антарктида) и прослеживается почти на 300 км по цепи мелких нунатаков и горных массивов, где кристаллические образования фундамента Восточно-Антарктической платформы доступны для непосредственного изучения. Горные выходы на восточном борту ледника Эймери детально изучены в 2004 г. геологическими работами 49-й РАЭ. Выделены две метаморфические серии мезопротерозойского возраста – Маннинг и Пикеринг, испытавшие метаморфизм гранулитовой фации [3]. К серии Пикеринг были отнесены ортопироксеновые плагиогнейсы среднего состава и двупироксеновые кристаллические сланцы основного состава предположительно магматического происхождения. При анализе петрохимических данных установлено, что точки составов плагиогнейсов и сланцев формируют на диаграмме АФМ тренд, характерный для известково-щелочных серий [4]. В серию Маннинг, сложенную предположительно породами осадочно-вулканогенного происхождения, объединены гранат-биотитовые и ортопироксеновые гнейсы кислого состава, а также кальцифиры и двупироксеновые кристаллические сланцы, формирующие прослои в указанных породах (таблица).

Определение первичного состава и происхождения пород серии Пикеринг – одна из важнейших геологических задач для данного региона, так как протолитом данных метаморфических образований, по-видимому, являлась магматическая ассоциация пород основного и среднего состава. Эта ассоциация может быть использована для уточнения строения разреза первичного вещественного комплекса, определения тектонической обстановки его фор-

мирования, а также для расшифровки первичного состава слагающих ее пород и установления их взаимоотношений с образованиями серии Маннинг. Дополнительно проанализированы имеющиеся результаты рентгенофлуоресцентного анализа по выборке представительных образцов метаморфических пород с восточного борта ледника Эймери (48 шт.) в ЦЛ ВСЕГЕИ, также определено содержание в них редких и рассеянных элементов методами ICP-MS и ICP-AES.

Литологическая характеристика метаморфических толщ восточного борта ледника Эймери

Название серии (толщи) и ее предполагаемая мощность	Литологический состав
Маннинг ? (более 400 м)	Ортопироксеновые гнейсы кислого состава Биотитовые гнейсы кислого состава Прослои и линзы двупироксеновых кристаллических сланцев основного состава
Маннинг (более 1500 м)	Гранат-биотитовые гнейсы Прослои кальцифиров Согласные тела двупироксеновых кристаллических сланцев основного состава
Пикеринг (более 800 м)	Ортопироксеновые плагиогнейсы среднего состава Двупироксеновые кристаллические сланцы основного состава

В ходе геологических работ 49-й РАЭ установлено, что ортогнейсы серии Пикеринг встречаются в основном в южной части района (нунатаки Пикеринг и Хейг), а породы серии Маннинг занимают его центральную и северную части (нунатаки Маннинг, Шатры). Взаимоотношения пород серии Маннинг с ортогнейсами серии Пикеринг зафиксированы лишь в северных обрывах нунатака Лафф, где моноклинально расположенные гнейсы кислого состава серии Маннинг залегают со структурным несогласием на гнейсах серии Пикеринг, смятых изоклинальной складчатостью. Для обеих серий характерны согласные прослои двупироксеновых кристаллических сланцев, однако если в разрезе серии Пикеринг они могут иметь значительные мощности, то в серии Маннинг это, как правило, маломощные прослои и линзы.

При обработке петрохимических данных для ортопироксеновых плагиогнейсов серии Пикеринг выявлена корреляционная зависимость содержаний петрогенных элементов от содержания кремнезема, наиболее отчетливо проявленная для Fe, Mg, Ca, Ti.

Наименьшую степень корреляции с кремнеземом обнаруживают содержания K и Na. Наблюдаемые корреляционные тренды для большинства петрогенных элементов позволяют предполагать сохранение в имеющихся метаморфических образованиях петрохимических особенностей исходных пород. Необходимо отметить, что исследования по изменению химизма пород при амфиболитовом и гранулитовом метаморфизме в основном подтверждают инертность большинства петрогенных элементов, за исключением щелочей. Нами рассматривались геохимические особенности в рамках выборки пород, не затронутых процессами диафореза и метасоматоза. Значительное количество ортопироксеновых гнейсов района было подвергнуто биотитизации, выразившейся в замещении ортопироксена биотитом. Наиболее масштабно данный процесс затронул гнейсы кислого состава серии Маннинг, что привело к образованию пачек биотитовых гнейсов, несущих петрографические и петрохимические признаки пород, образованных по типичным ортопироксеновым гнейсам, но здесь о них не говорится.

Отчетливые корреляционные зависимости для плагиогнейсов серии Пикеринг прослеживаются между индексом магнезиальности пород и содержанием кремнезема (рис. 1). Предполагается, что значения данного индекса не изменились по сравнению с исходным протолитом. Выявлено наличие в породах серии Пикеринг двух групп, отличающихся по магнезиальности, формирующих самостоятельные тренды корреляции.

Двупироксеновые кристаллические сланцы основного состава, наблюдаемые только среди пород серии Маннинг в виде маломощных прослоев и линз, выделены в самостоятельную группу. Они наименее магнезиальны среди пород данного типа и рассматриваются в качестве образований серии Маннинг.

Наблюдаемые в серии Пикеринг корреляционные зависимости и валовые содержания петрогенных элементов дают основание предполагать, что их исходными протолитами были породы магматического происхождения, при этом остается открытым вопрос их взаимоотношений с ортопироксеновыми гнейсами серии Маннинг. Последние схожи с наиболее кислыми предшественниками ортогнейсов

серии Пикеринг по минеральному составу, отличаюсь только присутствием калиевого полевого шпата. Ортопироксеновые гнейсы серии Маннинг, судя по их положению на диаграмме $mg-SiO_2$, могут быть более кислыми разновидностями пород, относимых к серии Пикеринг (рис. 1).

Для изучения происхождения ортопироксеновых гнейсов серии Маннинг использована диаграмма Д. Шоу, разработанная на основе исследований большого количества петрохимических данных по кислым гнейсам Канадского щита [5]. Ортопироксеновые гнейсы кислого состава серии Маннинг на диаграмме Д. Шоу, как и большинство низкомагнезиальных плагиогнейсов среднего состава серии Пикеринг, характеризуются положительными значениями критерия DF, что указывает на магматическое происхождение их протолитов (рис. 2). Высокомагнезиальные плагиогнейсы серии Пикеринг характеризуются как положительными, так и отрицательными значениями критерия DF. Положение точек составов гранат-биотитовых гнейсов серии Маннинг подтверждает их осадочное происхождение.

Интерпретация состава исходных пород ортопород проводилась с помощью диаграмм, использующих отношения содержаний наименее подвижных при метаморфических изменениях химических элементов. На классификационной диаграмме Дж. А. Винчестера и П. А. Флойда [2] в координатах $Zr/TiO_2-Nb/Y$ точки составов двупироксеновых сланцев основного состава попадают в поле базальтов, плагиогнейсов среднего состава — в поле андезитов (рис. 3). Точки, отвечающие составам ортопироксеновых гнейсов серии Пикеринг, расположены в полях риолитов и трахиандезитов.

Анализ распределения редкоземельных элементов по группам пород, полученным на основе петрографических и петрохимических данных, проведен для всех пород серии Пикеринг, а также ортопироксеновых гнейсов кислого состава серии Маннинг (рис. 4).

Сланцы из прослоев и линз, встречающихся только в серии Маннинг, резко отличаются от остальных пород основного состава по суммарному содержанию РЗЭ (рис. 4) — 228–242 г/т. Для них характерны заметная отрицательная Eu аномалия ($Eu/Eu^* 0,56-0,72$) и слабофракционированное распределение РЗЭ ($(La/Yb)_N - 3,23-4,88$).

Двупироксеновые сланцы серии Пикеринг пониженной магнезиальности характеризуются суммарным содержанием РЗЭ от 46 до 81 г/т и отсутствием существенной Eu аномалии (рис. 4), в некоторых случаях фиксируется слабопроявленная положительная аномалия ($Eu/Eu^* 0,93-1,28$), распределение РЗЭ характеризуется незначительной фракционированностью ($(La/Yb)_N 1,33-3,86$). Двупироксеновые сланцы серии Пикеринг повышенной магнезиальности представлены двумя образцами. Один из них имеет заметно отрицательную Eu аномалию ($Eu/Eu^* 0,66$), второй обеднен тяжелыми РЗЭ по сравнению с низкомагнезиальными сланцами.

Ортопироксеновые плагиогнейсы серии Пикеринг по распределению РЗЭ схожи с кристаллическими сланцами той же серии (рис. 4), но при этом довольно обогащены легкими РЗЭ. Аномалия Eu в низкомагнезиальных разновидностях незначительна ($Eu/Eu^* 0,84-0,92$), в то время как в высокомагнезиальных породах она более существенна

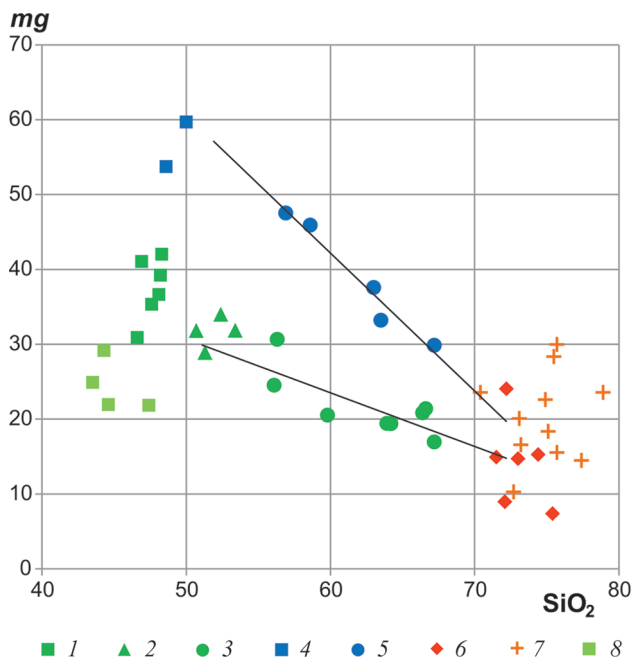


Рис. 1. Диаграмма $mg-SiO_2$ для метаморфических пород восточного борта ледника Эймери

Серия Пикеринг: 1 – низкомагнезиальные двупироксеновые сланцы основного состава; 2 – низкомагнезиальные двупироксеновые сланцы основного-среднего состава; 3 – низкомагнезиальные ортопироксеновые плагиогнейсы среднего состава; 4 – высокомагнезиальные двупироксеновые сланцы основного состава; 5 – высокомагнезиальные ортопироксеновые плагиогнейсы среднего состава. **Серия Маннинг:** 6 – ортопироксеновые гнейсы кислого состава; 7 – гранат-биотитовые гнейсы кислого состава; 8 – двупироксеновые сланцы из линзовидных тел

(Eu/Eu^* 0,64–0,83). Плагиогнейсы с повышенной магнезиальностью отличаются также пониженными содержаниями тяжелых РЗЭ (рис. 4), что может быть связано с образованием их протолитов за счет плавления гранатсодержащих пород.

Ортопироксеновые гнейсы серии Маннинг наследуют особенности распределения РЗЭ, присущие плагиогнейсам серии Пикеринг (рис. 4). Образцы, обедненные тяжелыми РЗЭ, со спектрами, подобными высокомагнезиальным плагиогнейсам, также отличаются наибольшей магнезиальностью. Вероятно, данная группа, как и плагиогнейсы серии Маннинг, геохимически неоднородна и может представлять собой метаморфизованные кислые разновидности пород, бывших протолитом плагиогнейсов.

Основываясь на результатах анализа геохимических данных и учитывая геологические особенности положения различных типов пород в разрезах района и их минерального состава, можно сделать следующие выводы:

- ортопироксеновые плагиогнейсы и двупироксеновые кристаллические сланцы серии Пикеринг имеют магматическое происхождение, их протолиты соответствуют составу андезибазальтовой ассоциации нормальной щелочности;

- серия Пикеринг может быть разделена по геохимическим критериям на две группы, включающие породы основного и среднего состава; различия между группами, вероятно, связаны с отличиями по составу источника и/или условиям образования;

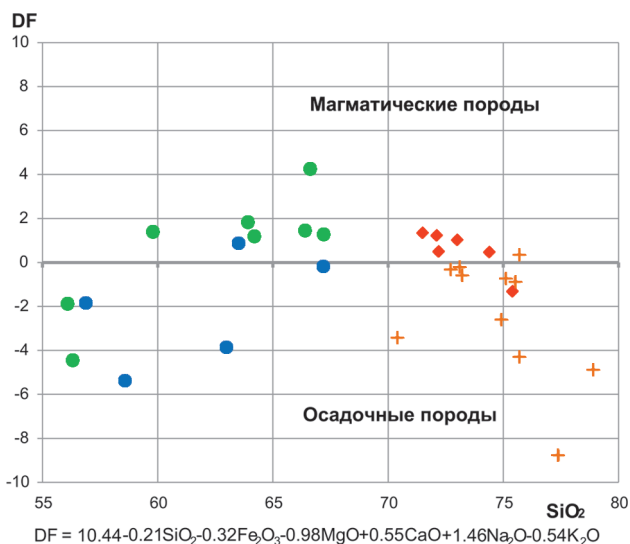


Рис. 2. Петрохимическая диаграмма Д. Шоу для разделения орто- и парагнейсов [3] (усл. обозн. см. на рис. 1)

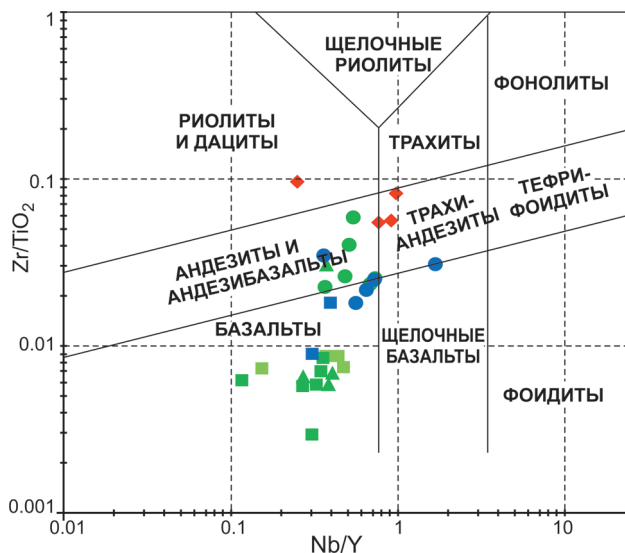


Рис. 3. Диаграмма $Zr/TiO_2-Nb/Y$ для ортопород восточного борта ледника Эймери [2] (усл. обозн. см. на рис. 1)

- серия Маннинг представлена как породами осадочного происхождения (гранат-биотитовые гнейсы), так и магматического (ортопироксеновые гнейсы). Последние, вероятно, более кислые производные магматических пород, являющихся протолитами серии Пикеринг;

- первичные породы серий Пикеринг и Маннинг, возможно, составляли единый осадочно-вулканогенный комплекс, включающий преимущественно вулканогенную часть (протолит серии Пикеринг) и вулканогенно-осадочную (протолит серии Маннинг).

1. Бойнтон В.В. Космохимия редкоземельных элементов: изучение метеорита // Геохимия редкоземельных элементов / ред. П. Хендерсон. – Амстердам: Эльзевир, 1984. – С. 63–114.

2. Винчестер Дж.А., Флэйд П.А. Геохимическое разделение различных магматических серий и продуктов их дифференциации с помощью малоподвижных элементов // Хим. геология. 1977. Вып. 20. – С. 325–343.

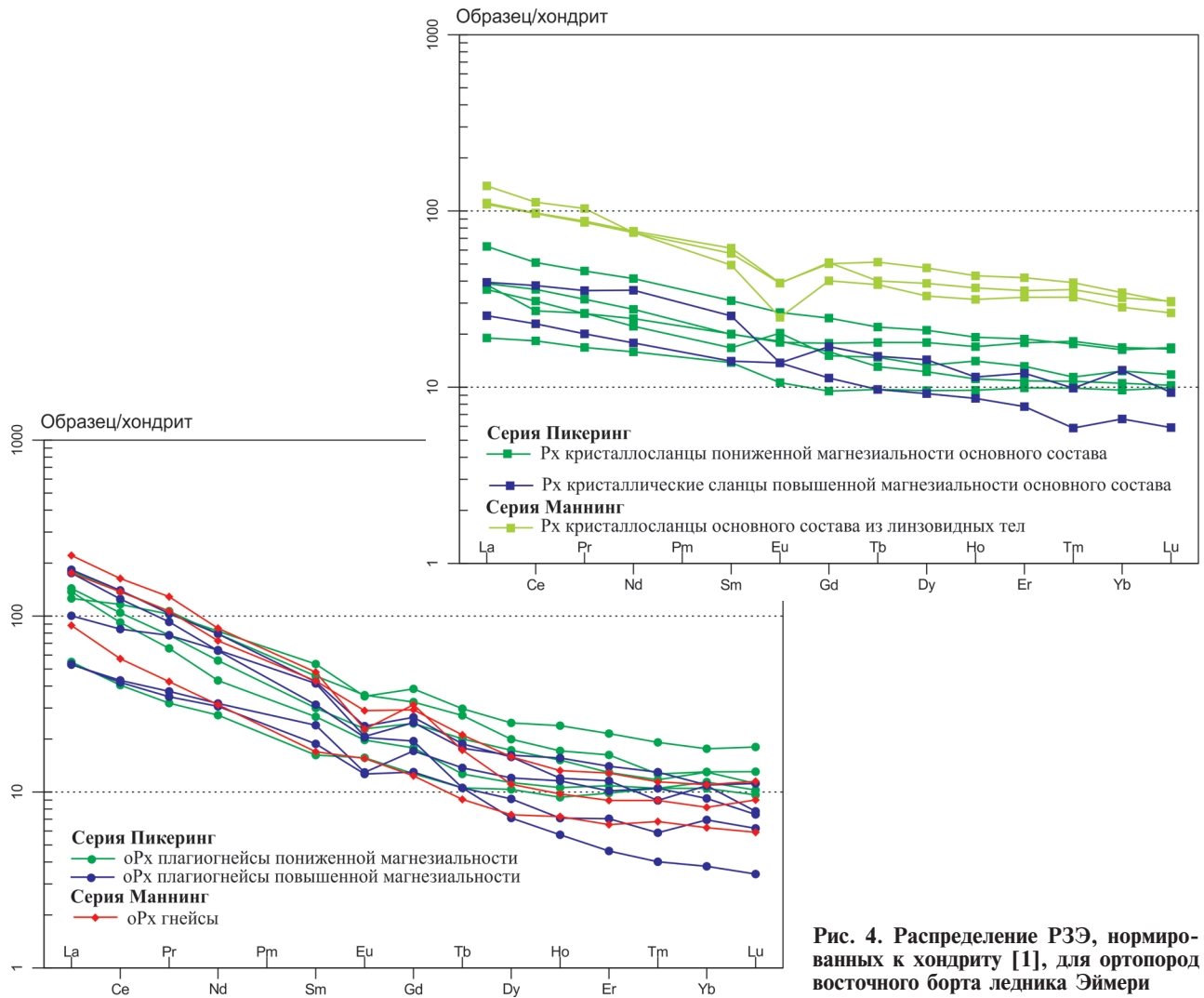


Рис. 4. Распределение РЗЭ, нормированных к хондриту [1], для ортопород восточного борта ледника Эймери

3. Лайба А.А., Кудрявцев И.В. Геологическое строение восточного борта шельфового ледника Эймери (Земля Принцессы Елизаветы) по результатам работ 49-й РАЭ // Научные результаты российских геолого-геофизических исследований в Антарктике: Сб. науч. трудов. Вып. 1. — СПб.: ВНИИОкеангеология, 2006. — С. 33–53.

4. Михальский Е.В., Лайба А.А., Беляцкий Б.В. Возраст и некоторые черты вещественного состава горных пород массива Мередит (горы Принс-Чарльз) и восточного побережья шельфового ледника Эймери // Научные результаты российских геолого-геофизических исследований в Антарктике: Сб. науч. трудов. Вып. 1. — СПб.: ВНИИОкеангеология, 2006. — С. 66–93.

5. Шоу Д.М. Происхождение гнейсов Апсли, Онтарио // Канадский журнал наук о Земле. 1972. Вып. 9. — С. 18–35.

1. Boynton W.V. Cosmochemistry of the rare earth elements: meteorite // Rare earth elements geochemistry /

Ed. by P. Henderson. — Amsterdam: Elsevier, 1984. — P. 63–114. (In Russia).

2. Winchester J.A., Floyd P.A. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements // Chem. Geology. 1977. Vol. 20. — P. 325–343. (In Russia).

3. Laiba A.A., Kudryavtsev I.V. Geological observations on the eastern fringe of the Amery Ice Shelf during the 49th Russian Antarctic Expedition, Russian Earth Science Research in Antarctica, Coll. of papers. Vol. 1. — SPb: All-Russian Research Institute for Geology and Mineral Resources of the World Ocean, 2006. — P. 33–53. (In Russia).

4. Mikhalsky E.V., Laiba A.A., Beliatsky B.V. Age and compositional features of rocks from Mt. Meredith and the eastern fringe of the Amery Ice Shelf, Russian Earth Science Research in Antarctica, Coll. of papers. Vol. 1. — SPb: All-Russian Research Institute for Geology and Mineral Resources of the World Ocean, 2006. — P. 66–93. (In Russia).

5. Shaw D.M. The origin of the Apsley gneiss, Ontario // Canad. J. Earth Sci. 1972. Vol. 9. — P. 18–35. (In Russia).

Иван Вячеславович Кудрявцев — зам. директора, Центр глубинной геофизики ВСЕГЕИ. Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского (ВСЕГЕИ). Средний пр., 74, Санкт-Петербург, 199106, Россия. <ivan_kudryavtsev@vsegei.ru>

Ivan Kudryavtsev — Deputy Director of Center for deep geophysics. A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute (VSEGEI). 74, Sredny prospect, St. Petersburg, 199106, Russia. <ivan_kudryavtsev@vsegei.ru>