

УДК 550.42:552.323.5(470.118)

НОВЫЕ ДАННЫЕ ПО ГЕОХИМИИ БАЗАЛЬТОВ АРХИПЕЛАГА ЗЕМЛЯ ФРАНЦА-ИОСИФА

© 2003 г. Е. А. Чернышева, Г. С. Харин, Н. М. Столбов

Представлено академиком О.А. Богатиковым 13.10.2002 г.

Поступило 22.11.2002 г.

Мезозойский базальтовый магматизм архипелага Земля Франца-Иосифа (ЗФИ) по масштабам проявления менее значителен, чем пермо-триасовый трапповый магматизм Восточной Сибири, но близок ему по природе (внутриплитовый континентальный) и, как предполагается [1, 2 и др.], связан с деятельностью одного и того же мантийного плюма (Исландского). В результате проводимого в течение многих лет ВНИИОкеангеология планомерного исследования архипелага ЗФИ [3, 4] получены новые данные по геологии островов, а также по петрологии и геохимии базальтов, расширяющие представления о геотектоническом развитии Арктического региона.

Архипелаг ЗФИ расположен на северной окраине Баренцево-Карской шельфовой плиты, которую, по мнению [5], можно рассматривать как пассивную материковую окраину атлантического типа – тектоническую структуру, по характеристикам земной коры промежуточную между континентом и океаном. Наиболее масштабные проявления базальтового магматизма здесь происходили в средней–поздней юре и раннем мелу [2, 3].

Базальты представлены покровами, эффузивными толщами, перемежающимися с осадочными породами, силлами и многочисленными дайками [3]. По содержаниям главных петрогенных элементов и по типу щелочности предыдущими исследователями выделены две ассоциации пород: низкокальциевые толеиты и андезибазальты (по классификации Ле-Метра, 1989) [4]. Степень изученности пород различна. Для толеитовых базальтов юго-запада архипелага выполнены довольно подробные геохимические, в том числе изотопные, исследования [6], для ассоциации андезибазальтов данных опубликовано существенно меньше. Одной из задач нашего исследования

являлось восполнение дефицита геохимических данных, необходимых для сопоставления базальтов ЗФИ с магматическими породами других регионов.

Были изучены образцы из толеитовых покровов (о-ва Земля Георга, Луиджи, Чамп), покровов андезибазальтов (о-ва Джексона, Пайера, Грили, Циглера и Винер-Нейштадт), а также из субвулканических тел андезибазальтов (о-ва Брэди и Королевского Общества) и вулканической бомбы толеитового базальта о. Солсбери. Проведено петрографическое изучение пород, исследован химический состав, определены содержания элементов-примесей. Содержания главных элементов определены рентгенофлуоресцентным методом (РФА), элементы-примеси анализировали атомно-эмиссионным и атомно-абсорбционным методами, а для трех образцов – 2330-5 (о. Чамп), 2336-4 (о. Джексона) и 2361-3 (о. Брэди) – выполнен более детальный анализ методом ICP-MS (табл. 1)*.

Петрографически низкокальциевые толеиты представлены преимущественно среднезернистыми долеритами с палагонитом в виде редких псевдоморфоз по оливину(?) и в интерстициях кристаллов плагиоклаза и клинопироксена, реже (Земля Георга) – гломеропорфировыми базальтами с мелко-, среднезернистой долеритовой основной массой с палагонитом. Породы ассоциации андезибазальтов (по [4]) – преимущественно порфировые, с микрокристаллитовой (нередко трахитоидной) или преимущественно стекловатой основной массой, в которой иногда присутствуют округлые включения более кислого бурого стекла с мелкими кристаллитами. Вкрапленники представлены преимущественно основным плагиоклазом и клинопироксеном, сегрегациями кристаллов $Sr_x + P_1$, сложными сростками кристаллов Sr_x , в центре которых иногда сохраняется реликтовый ортопироксен, последний иногда образует самостоятельные вкрапленники с оторочкой Sr_x (обр. 2336-4), что, вероятно, свидетельствует

* Все аналитические работы выполнены в лабораториях Института геохимии им. А.П. Виноградова РАН, г. Иркутск.

Атлантическое отделение
Института океанологии им. П.П. Ширшова
Российской Академии наук, Калининград
Всероссийский научно-исследовательский институт
геологии и природных ресурсов Мирового океана,
Санкт-Петербург

вует о дифференциации расплава. Наблюдалось также более позднее метасоматическое замещение Орх крупнопластинчатым биотитом (о. Джексона). Изредка (обр. 2361-3) в базальтах присутствуют изометричные псевдоморфозы хлорита по вкрапленникам оливина (?). Как долериты, так и порфиновые базальты содержат богатую вкрапленность титаномагнетита в идиоморфных или скелетных кристаллах.

Полученные аналитические данные подтвердили выявленные ранее [4] различия между двумя выделяемыми группами базальтов по содержаниям главных элементов. Низкокалиевые толеиты (с содержанием $K_2O < 0.3\%$) отличаются относительно пониженными содержаниями SiO_2 , TiO_2 , P_2O_5 и суммы щелочей и несколько повышенными содержаниями CaO , MgO и Al_2O_3 . Все изученные базальты и долериты, согласно классификации [7], относятся к толеитовым (с нормативным гиперстеном и кварцем) базальтам нормального ряда (рис. 1), среди которых различаются: 1) низкокалиевые ($< 0.3\% K_2O$) и 2) обогащенные калием, умеренно- и высококалиевые толеиты ($<$ и $> 0.7\% K_2O$ соответственно). На классификационной диаграмме (рис. 1) вторая группа пород располагается вблизи линии раздела базальтов нормального и субщелочного ряда. В коллекции изученных пород практически не оказалось образцов, соответствующих андезибазальтам (средним породам), по принятой классификации [7], за исключением двух образцов из покровов о. Джексона (один из которых представляет собой метасоматически преобразованную породу и здесь не рассматривается). Исходя из этого, в данной работе при дальнейшем обсуждении вместо названия “ассоциация андезибазальтов”, по [4], мы используем название “обогащенные калием толеитовые базальты”. Правомерно, на наш взгляд, и употребление термина “субщелочной толеит”. Среди изученных образцов отсутствуют пикритовые разности, содержание MgO в породах не превышает 6.5%. Породы слабо дифференцированы. По соотношению щелочей большая часть низко- и умереннокалиевых толеитов относится к Na-типу, а высококалиевые, близкие к субщелочным базальтам, – главным образом к K–Na-типу. Все породы характеризуются низкой или умеренной глиноземистостью ($al' = 0.66–0.72$).

Разделение базальтов ЗФИ на две группы подтверждается также и поведением элементов-примесей (табл. 1 и результаты других анализов). Низкокалиевые толеиты характеризуются более высокими содержаниями Cu и Ni , тогда как толеиты повышенной щелочности наряду с калием значительно обогащены Rb , Ba , Sr , Zr , Y , редкоземельными элементами (РЗЭ), а также летучими V и CO_2 . По общему составу и содержаниям элементов-примесей низкокалиевые толеитовые базальты о-вов Земля Георга, Луиджи, Чамп и Сол-

Таблица 1. Состав базальтов архипелага Земля Франца-Иосифа (главные компоненты определены методом РФА, мас. %, элементы-примеси определены методом ICP-MS, г/т)

Компонент	Толейт		Субщел. толеиты	
	низко-К		высоко-К	умерен.-К
	обр. 2330-5	обр. 2336-4	обр. 2361-3	
SiO_2	48.66	54.07	50.98	
TiO_2	2.03	2.80	3.30	
Al_2O_3	13.90	13.02	12.69	
Fe_2O_3	5.09	3.60	5.22	
FeO	7.07	8.75	8.25	
MnO	0.20	0.20	0.23	
MgO	6.46	3.48	4.77	
CaO	11.00	7.10	8.76	
Na_2O	2.43	2.81	3.26	
K_2O	0.17	1.39	0.67	
P_2O_5	0.18	0.41	0.35	
П.п.п.	1.83	1.31	0.46	
Сумма	99.02	98.94	98.94	
Sc	40.88	29.84	31.24	
V	380.00	319.25	428.11	
Cr	154.00	35.57	62.77	
Co	49.35	38.10	53.91	
Ni	80.00	28.08	60.37	
Cu	206.00	41.88	122.50	
Zn	108.90	157.60	144.00	
Ga	22.25	29.62	26.47	
Ge	1.79	2.35	2.07	
Rb	1.91	44.57	26.40	
Sr	216.67	316.45	498.10	
Y	31.76	48.07	39.98	
Zr	143.16	370.80	289.16	
Nb	10.50	23.48	32.74	
Mo	0.64	2.21	2.58	
Cs	0.07	1.22	0.94	
Ba	55.51	229.70	321.05	
La	12.01	30.44	33.03	
Ce	29.69	73.65	76.04	
Pr	4.19	9.71	9.89	
Nd	18.49	41.51	39.49	
Sm	5.13	10.43	9.25	
Eu	1.87	3.40	3.08	
Gd	6.21	10.78	9.58	
Tb	1.08	1.74	1.50	
Dy	6.33	9.71	8.12	
Ho	1.35	1.93	1.57	
Er	3.82	5.20	4.13	
Tm	0.53	0.74	0.60	
Yb	3.30	4.45	3.67	
Lu	0.48	0.65	0.48	
Hf	3.81	9.30	7.62	
Ta	0.77	5.03	2.29	
W	0.71	2.13	0.81	
Pb	4.16	6.04	4.97	
Th	1.66	4.13	4.31	
U	0.45	1.16	1.16	

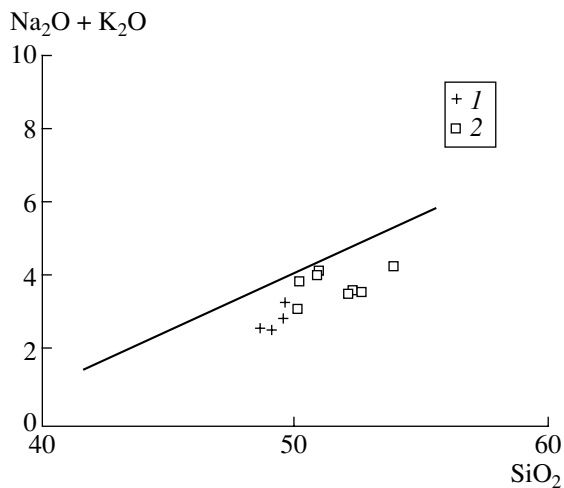


Рис. 1. Базальты архипелага Земля Франца-Иосифа на классификационной диаграмме $\text{SiO}_2 - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ [7]. Здесь и на рис. 2, 3: 1 – низкокальциевые толеиты; 2 – обогащенные калием толеиты. Линия разделяет поля базальтов нормальной щелочности и субщелочные.

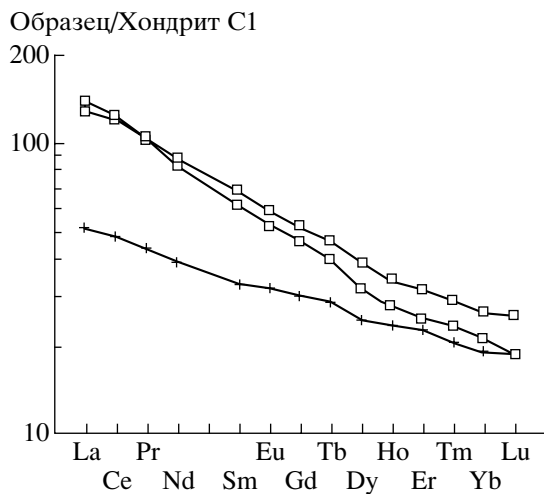


Рис. 2. Распределение РЗЭ в низкокальциевом толеите (обр. 2330-5) и обогащенных калием толеитах (обр. 2336-4 и 2361-3) архипелага ЗФИ.

сбери оказались тождественны или очень близки толеитам о-вов Хукер и Мабл [6], что позволяет предполагать для них общую историю (время формирования около 100 млн. лет назад) и источник выплавления (деплементированная мантия). В дополнение к данным [6] нами определены содержания ряда других микропримесей (Pb, Cu, V), важных для петрологических построений, и более детальный состав РЗЭ. Что касается обогащенных калием толеитов (ассоциация андезибазальтов, по [4]), то данные по составу РЗЭ и большинству других микропримесей для них приведены впервые. Как можно видеть из диаграммы (рис. 2), обе разновидности базальтов ЗФИ характеризуются типичным для континентальных платобазальтов

распределением РЗЭ [8] с существенным обогащением легкими РЗЭ, особенно значимым в обогащенных калием разностях. Отношение $(\text{La}/\text{Sm})_N$ уменьшается от 2.30 и 1.88 в обогащенных калием толеитах до 1.51 в низкокальциевом, что рассматривается как свидетельство увеличения степени плавления материнского субстрата от первых ко вторым [9]. Величина отношения $(\text{La}/\text{Lu})_N$ также убывает от 7.38 и 5.02 в обогащенных калием до 2.68 в низкокальциевом толеите. Это свидетельствует об относительном уменьшении доли гранат-содержащего материала в источнике выплавления низкокальциевого толеита (уменьшение глубины образования) по сравнению с толеитами повышенной щелочности [10]. При этом максимальные величины индикаторных отношений наблюдаются в умереннокальциевом, менее дифференцированном базальте (обр. 2361-3).

Значительно более высокие содержания других некогерентных элементов (Rb, Sr, Ba, Nb, Zr, Y и др.) в обогащенных калием толеитах по сравнению с низкокальциевыми отражены на спайдерграммах (рис. 3а, б). Важно отметить при этом противоположные знаки у аномалий Nb и Pb на кривых базальтов ЗФИ и кривой базальта MORB (по S.S. Sun, W.R. McDonough, 1989). Как показано Хофманном [11], отрицательная аномалия Nb и положительная аномалия Pb на спайдерграммах свидетельствуют об ассимиляции корового вещества материнскими расплавами базальтов. Слабее выраженная, чем у низкокальциевого толеита, аномалия Pb на графике высококальциевого толеита 2336-4 и ее отсутствие на аналогичном графике для менее дифференцированного базальта 2361-3 (рис. 3б) со “сглаженной” аномалией Nb свидетельствуют, вероятно, о меньшей доле корового материала в более щелочных расплавах, что не вполне согласуется с данными изотопных исследований [12], предполагающих обратную картину.

Как уже отмечалось ранее [4], базальты ЗФИ имеют много общего с траппами Восточной Сибири, отличаясь от них отсутствием пикритовых разностей и более высокими содержаниями титана и железа. Среди вулканических пород Сибири базальты толеитовой серии также представлены низко-, умеренно- и высококальциевыми разностями [13], при этом обогащенные калием породы по многим петрогеохимическим характеристикам близки базальтам субщелочной серии. Субщелочные базальты Сибирской платформы, как и субщелочные толеиты ЗФИ, тоже характеризуются значительным преобладанием легких РЗЭ над тяжелыми и высокими содержаниями несоместимых элементов-примесей, тогда как покровные низкокальциевые толеиты обеднены ими [8, 10, 13]. Величины индикаторных отношений $(\text{La}/\text{Sm})_N$ и $(\text{La}/\text{Lu})_N$, судя по имеющимся аналитическим данным [13, 14], варьируют в тех же пре-

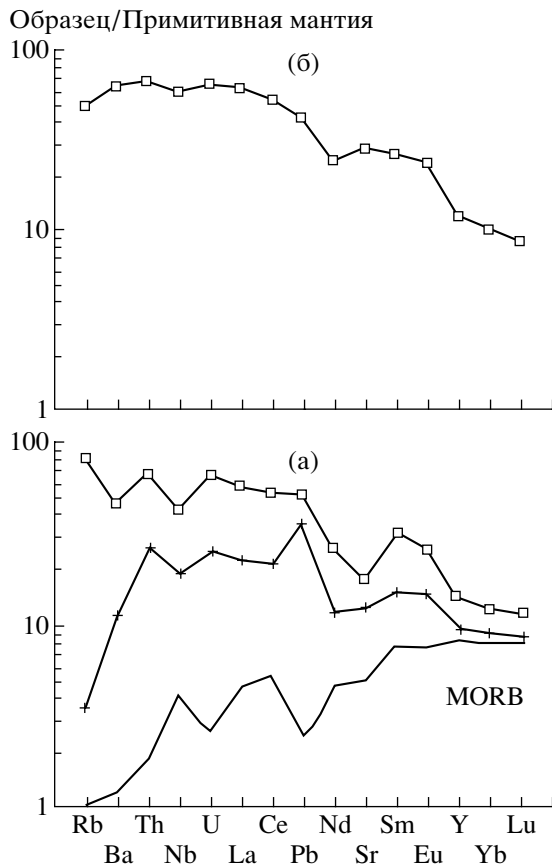


Рис. 3. Распределение нормированных по примитивной мантии несовместимых редких элементов в базальтах архипелага ЗФИ и MORB: а – в низкокальциевом толеите (обр. 2330-5) и обогащенном калием толеите (обр. 2336-4) ЗФИ и в среднем базальте океанических хребтов (MORB), по данным S.S. Sun, W.R. Mc Donough, 1989; б – в умереннокальциевом толеите ЗФИ (обр. 2361-3).

делах, что и в базальтах ЗФИ: от 2.45 и 6.21 (среднее по субщелочным базальтам) до 1.70 и 2.98 (среднее по толеитам). Общей чертой магматизма обоих регионов является также контаминация базальтовых расплавов коровым материалом, которую для базальтов Сибири можно проиллюстрировать, в частности, спайдерграммами, подобными представленным на рис. 3а.

Таким образом, полученные нами геохимические данные: 1) подтверждают выводы предыдущих исследователей о существовании на ЗФИ двух групп базальтов, различающихся по химизму; 2) свидетельствуют о формировании обогащенных калием толеитов на относительно больших глубинах при низкой степени плавления субстрата и о более обширном выплавлении низкокальциевых толеитовых базальтов в условиях малых глубин; 3) демонстрируют загрязнение базальтовых расплавов коровым веществом. Показанное выше сходство базальтов ЗФИ с траппами Сибири предполагает близкий механизм их формирова-

ния при подъеме восходящего горячего мантийного диапира (плюма) к нижней границе литосферы [10, 13, 14]. Наблюдаемые отличия в составе базальтов ЗФИ (более пересыщенный состав толеитов, более высокие содержания Fe и Ti, отсутствие более глубоких пикритов), возможно, следует связывать с меньшей мощностью консолидированной коры Баренцево-Карской шельфовой плиты [6], на что косвенно указывают результаты последних исследований траппов Сибирской платформы [15].

Авторы благодарны А.И. Альмухамедову и А.Я. Медведеву за содействие в проведении исследования и всем аналитикам за выполненные анализы.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 01-05-64182).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Харин Г.С. // Петрология. 2000. Т. 8. № 2. С. 115–130.
2. Грачев А.Ф., Аракелянец М.М., Лебедев В.А. и др. // Рос. журн. наук о Земле. 2001. Т. 3. № 1.
3. Geology of Franz Josef Land. Norsk Polarinstittutt, Meddelelser № 146 / Ed. V.D. Dibner. Oslo. 1998. 190 p.
4. Столбов Н.М. В сб.: Геолого-геофизические характеристики литосферы Арктического региона. СПб.: ВНИИОкеангеология, 2000. В. 3. С. 137–144.
5. Дараган-Суцова Л.А., Павленкин А.Д., Поселов В.А. и др. В сб.: Геолого-геофизические характеристики литосферы Арктического региона. СПб.: ВНИИОкеангеология, 2000. В. 3. С. 145–160.
6. Amundsen H., Evdokimov A., Dibner V.D., Andresen A. In: The Northern Barents Sea Geotraverse. Norsk Polarinstittutt. Meddelelser № 151. Oslo, 1998. P. 105–120.
7. Классификация и номенклатура магматических горных пород / Под ред. О.А. Богатинова, Н.П. Михайлова, В.И. Гоньшаковой. М.: Недра, 1981. 160 с.
8. Альмухамедов А.И., Медведев А.Я., Митчелл К., Золотухин В.В. // Геология и геофизика. 1996. Т. 37. № 10. С. 3–16.
9. Tegner C., Leshner C.E., Larsen L.M., Watt W.S. // Nature. 1998. V. 395. P. 591–594.
10. Ryabchikov I.D., Ntaflou Th., Buchl A., Solovova I.P. // Геохимия. 2001. № 5. С. 467–483.
11. Hoffmann A.W. // Nature. 1997. V. 385. P. 219–229.
12. Макарьева Е.М., Столбов Н.М., Богомолов Е.С. и др. Sm–Nd-изотопные системы базитов Земли Франца-Иосифа: Материалы сем. “Геология магматических пород”. М.: ГЕОХИ РАН, 2001. С. 51–52.
13. Гладких В.С., Гусев Г.С., Песков А.И., Тарновецкий Л.Л. // Геохимия. 1994. № 3. С. 367–382.
14. Альмухамедов А.И., Медведев А.Я., Курда Н.П. // Геология и геофизика. 1999. Т. 40. № 11. С. 1575–1587.
15. Шаповов В.Н., Васильев Ю.Р., Прусская С.Н. // Геология и геофизика. 2001. Т. 40. № 9. С. 1299–1313.