

фоидиты и пикриты имеют самую низкую распространенность (8 и 4 %, соответственно). При сопоставлении характера магматизма островов Зеленого Мыса и ОИВ Атлантики видно, что если оставить за пределами рассмотрения низкомагнезиальную, а, соответственно, высококремнеземистую часть выборки, отмечается общая специфика распределения типов щелочных расплавов: главную роль во всех случаях играют базанитовые расплавы, составляя до 40 %.

Нами может быть сделан вывод о преобладающем базанитовом характере щелочного магматизма островов Зеленого Мыса при подчиненном фоидитовом и пикритовом типах. Щелочно-базальтовая компонента и толеитовый магматизм развиты незначительно. Отличием вулканитов Зеленого Мыса является повышенная доля фоидитов и незначительная роль щелочных базальтов и толеитов, что, в целом, нетипично для ОИВ Атлантики.

Литература

Классификация магматических (изверженных) пород и словарь терминов. Рекомендации подкомиссии по систематике изверженных пород международного союза геологических наук. М.: Недра, 1997. 248 с.

Козарко Л. Н., Асавин А. М., Ряховский В. И. Типизация первичных расплавов и петрохимическое районирование внутриплитного щелочного магматизма Атлантики // Доклады академии наук. 2002. Т. 385. № 1. С. 1–4.

Green D. H., Ringwood A. E. The genesis of basaltic magmas // Contribution to Mineralogy and Petrology. 1967. Vol. 15. P. 103–190.

Hofmann A. W. Sampling mantle heterogeneity through oceanic basalts: isotopes and trace elements // Treatise on Geochemistry. 2003. Vol. 2. P. 61–101.

Le Bas M. J., Streckeisen A. L. The IUGS systematics of igneous rocks // Journal of Geological Society. London, 1991. Vol. 148. P. 825–833.

MacDonald R. Nomenclature and petrochemistry of the peralkaline oversaturated extrusive rocks // Bulletin Volcanologique. 1974. Vol. 38. P. 498–516.

В. А. Зайцев

*Институт геохимии и аналитической химии РАН, г. Москва
va_zaitsev@inbox.ru*

Эволюция внутриплитного магматизма Атлантики на примере анализа банка данных разновозрастных пород – подходы и результаты

В последние десятилетия периодически возникают дискуссии об эволюции магматизма Земли, что неизбежно связано с представлениями об эволюции мантии, поставляющей вещество и энергию. Наиболее ярко это проявлено в случае магматизма, связанного с плюмами, которые несут информацию не только о процессах в самой мантии, но и на границе раздела мантия-ядро. Анализ распределения возрастов карбонатитов привел к выводу о прогрессивном увеличении количества проявлений карбонатитов в геологической истории [Woolley, 1989]. И. Вайцер с соавторами [Veizer et al., 1992] считают, что это распределение отражает сохранность проявлений карбонатитов в процессах эрозии и орогенеза. Более общее рассмотрение (не только карбона-

титового, но и щелочного магматизма в геологической истории) предпринято Л. Н. Когарко [2006] и привело ее к выводу, что наблюдаемое распределение датировок отражает рост активности щелочного магматизма в геологической истории. Этот рост связывается с процессом прогрессивного окисления мантии за счет субдукционного привноса в нее окислителей – воды и углекислоты.

В свете этой дискуссии интересно рассмотреть эволюцию внутриплитного магматизма Атлантического океана, поскольку он практически со всех сторон окружен пассивными океаническими окраинами, а это значит, что для геологического изучения доступна практически вся созданная с момента его возникновения океаническая литосфера.

Для статистического анализа была использована база данных GIM, созданная в рамках проекта «Электронная Земля. Геодинамика, геохимия, металлогения, электронная картография». Первичная выборка содержала 23515 анализов пород, свойственных внутриплитному магматизму Атлантического океана, из них 6655 анализов содержали данные о возрасте породы, определенном с точностью до периода и лучше. Из рассмотрения были изъяты данные по Исландии, Карибскому бассейну и дуге Скотта, поскольку магматизм этих участков не является чисто внутриплитным.

Для того, чтобы проследить, как менялась геохимия внутриплитного магматизма в ходе эволюции Атлантического океана, удобно воспользоваться систематикой, предложенной в работе [Когарко и др., 2002]: по содержанию MgO 8–24 % 1235 анализов из общего числа отнесено к первичным магмам, после чего первичные магмы были разделены на пять типов: I – фойдиты, II – пикриты, III – тефриты-базаниты, IV – щелочные базальты и V – толеиты. Распределение анализов каждого из типов первичных магм по возрастам приведено в таблице.

Т а б л и ц а

**Распределение анализов, характеризующих внутриплитный магматизм
Атлантического океана по временным интервалам**

	Длительность, млн лет	Число анализов	Число анализов длительность (млн лет ⁻¹)	Первичные магмы, %*					Доля первичных магм, %
				I тип	II тип	III тип	IV тип	V тип	
K	80	2503	31.29	4/1	5/1	3/1	8/2	473/96	20
K ₁	45.9	2156	44.86	1/0	1/0	1/0	6/1	419/98	20
K ₂	34.1	319	8.94	3/5	4/6	2/3	2/3	51/82	19
P	42.47	1495	35.20	14/5	1/0	3/1	0/0	249/93	18
P ₁	9.70	226	22.25	0/0	0/0	0/0	0/0	4/100	2
P ₂	21.9	424	18.49	0/0	0/0	1/2	0/0	58/98	14
P ₃	10.87	800	70.30	0/0	1/1	0/0	0/0	187/99	24
N	21.22	1416	66.73	28/10	14/5	76/27	8/3	159/56	20
N ₁	17.7	1144	61.73	3/2	8/4	27/14	2/1	147/79	16
N ₂	3.52	261	70.82	25/26	6/6	48/49	6/6	12/12	37
Q	1.81	680	375.69	7/3	2/1	93/39	54/23	81/34	35
Q ₁	1.71	80	44.68	4/13	2/7	20/67	2/7	2/7	38
Q ₂	0.10	422	4030.69	1/1	0/0	67/38	34/19	74/42	42

П р и м е ч а н и е . *, числитель – число анализов, знаменатель – отношение этого числа к числу всех анализов первичных магм данного возраста.

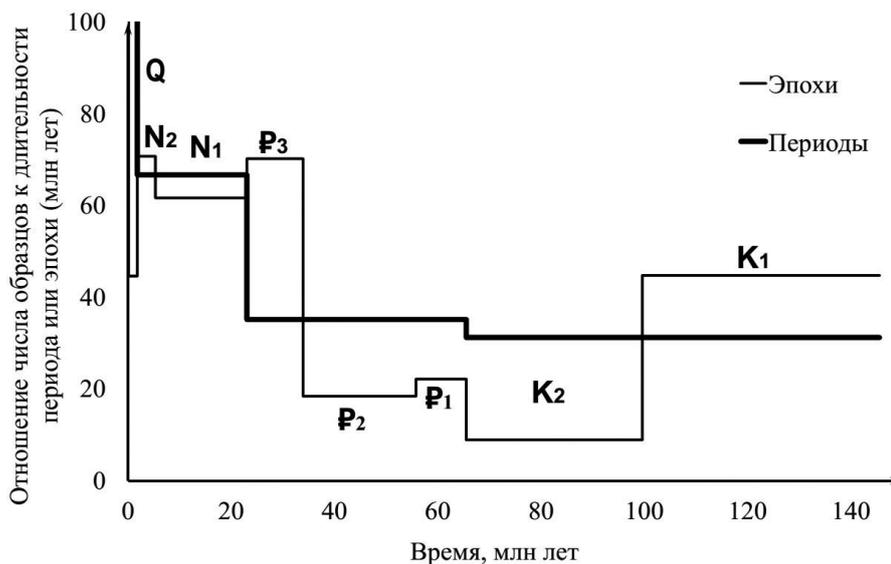


Рис. 1. Эволюция активности внутриплитного магматизма Атлантического океана – модифицированная гистограмма во времени, выраженная как отношение числа анализов к длительности соответствующего периода или эпохи. Величины для голоцена (4031) и четвертичного периода (376) выходят за пределы графика.

Особенностью имеющейся общности анализов является преобладание не абсолютных (изотопных), а геологических датировок, что делает невозможным построение по ним классических гистограмм, используемых в построениях Л. Н. Когарко и А. Вулли, поскольку деление геохронологической шкалы неравномерно. Приведенные на рисунке 1 графики являются, по существу, модифицированными гистограммами, где по оси времени отложены длительности промежутков времени, а по вертикальной – отношение количества анализов к длительности соответствующего периода или эпохи. В этом случае, площадь под каждым из горизонтальных отрезков пропорциональна количеству образцов в базе данных, а высота отрезка – отражает **суммарную** активность внутриплитного магматизма Атлантического океана для данного временного промежутка. Рисунок 1 отчетливо демонстрирует рост суммарной активности внутриплитного магматизма Атлантического океана во времени, начиная с позднего мела. Высокий уровень внутриплитной активности для раннего мела может быть объяснен раскрытием океана под действием суперплюмов. Чрезвычайно высокая величина отношения, рассчитанная для последнего промежутка времени (422 анализа, возраст которых относится к голоцену, длительностью всего 100 тыс. лет), несравнима со значениями, характерными для более ранних промежутков времени. Объяснение этого не может быть только геологическим, а в большей степени связано с эффектом опробования.

Поскольку площадь Атлантического океана существенно увеличивалась за время его существования, логично оценивать также **удельную** активность внутриплитного магматизма, как отношение суммарной активности к площади океана в соответствующий момент времени (площадь океана в разные моменты времени взята из работы [Асавин, Чесалова, 2006] с поправкой на датировки палеомагнитных инверсий

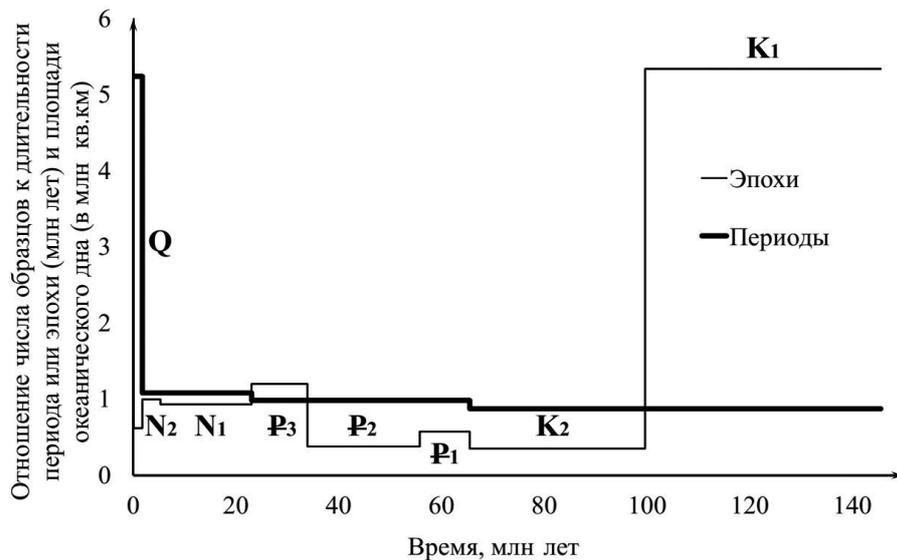


Рис. 2. Эволюция активности внутриплитного магматизма Атлантического океана – модифицированная гистограмма во времени, выраженная как отношение числа анализов к длительности соответствующего периода или эпохи. Величина для голоцена (56) выходит за пределы графика.

[Gee, Kent, 2007]). На рисунке 2 показана эволюция «удельной активности» магматизма Атлантики. На графике видно, что она оставалась практически постоянной в течение всего времени, начиная с позднего мела и лишь для четвертичного периода наблюдается ее возрастание. Таким образом, начиная с позднего мела, способность мантии под Атлантическим океаном продуцировать магматизм сохранялась постоянной, и рост числа проявлений вулканизма был связан с увеличением площади океана.

Рассмотрим эволюцию соотношения между первичными магмами и дифференциатами и эволюцию доли разных типов первичных магм. Рассмотрение последней колонки таблицы показывает, что доля первичных магм во внутриплитном магматизме Атлантического океана сначала уменьшалась, а затем – возрастала до современного уровня. Очевидно, эта доля не связана с какой-либо эволюцией мантии, а определяется процессами, проходящими в верхних оболочках Земли, где происходит дифференциация расплавов.

Соотношение различных типов первичных магм также закономерно меняется в ходе эволюции Атлантического океана. До раннего неогена включительно преобладают толеиты при подчиненном значении остальных типов магм. В неогене и четвертичном периоде доля толеитов уменьшается, в то время как доли других типов магм увеличиваются. Наименее ярко это проявлено для пикритов, доля которых невелика и приблизительно одинакова в неогене и плейстоцене. Для фойдитов и базанит-тефритов максимум проявлен более отчетливо, причем для фойдитов он приходится на плиоцен, а для базанит-тефритов – на плейстоцен. Доля щелочных базальтов в неогеновом и четвертичном периодах постепенно растет, достигая своего максимума в современное время. Также в современное время наблюдается повторный рост доли толеитов, причем более резкий, чем рост доли щелочных базальтов. Таким образом, можно

выстроить типы первичных магм по времени максимального развития в неоген-четвертичное время: фойдиты – пикриты – тефрит-базаниты – щелочные базальты – толеиты (повторный рост). Этот ряд совпадает с рядом уменьшения плотности расплавов, рассчитанным при помощи программы Glass Density Calc v3.0 по средним составам из работы [Когарко и др., 2002]: фойдиты – 2.96, пикриты – 2.90, тефрит-базаниты – 2.88, щелочные базальты – 2.82, толеиты – 2.78 (в качестве содержания воды взята оценка среднего для внутриплитных магм содержания 0.44 % [Коваленко и др., 2000]). Расчет выполнен для давления 30 кбар и температуры 1000 °С.

Плотность расплавов – важнейшая характеристика, определяющая их транспорт к поверхности и геометрические характеристики вулканических центров через условие гидростатического равновесия [Масуренков, 1979]. Поэтому наличие четкой связи между плотностью магм и наблюдаемым распределением их возрастов свидетельствует о том, что изменение пропорций типов первичных магм связано не с эволюцией состава мантийного источника, а с процессами в верхних этажах литосферы, прежде всего, построением вулканических аппаратов и их разрушением, определяющими для пород того или иного состава и возраста сохранность и доступность для опробования.

В ряде случаев, в пределах одного острова наблюдаются породы, сформированные при застывании разновозрастных первичных магм. При рассмотрении геологии таких островов становится очевидным существование контрастных комплексов, более древний из которых толеитовый – формирует большую часть объема постройки. Часто он представлен интрузивными породами и продуктами подводных излияний, тогда как более молодые породы формируют стратовулканы. Таким образом, статистический анализ банка данных показывает, что эволюция внутриплитного магматизма Атлантического океана определяется не направленным изменением состава мантийного субстрата, а ростом океана и закономерными различиями в сохранности разных типов пород.

Литература

- Асавин А. М., Чесалова Е. И. Существовал ли временной сдвиг в активности толеитового и щелочного вулканизма Атлантического океана? // Тез. вулканол. сов. Улан-Удэ, 2006. Т. 3. С. 12–16.
- Коваленко В. И., Наумов В. Б., Ярмолюк В. В., Дорофеева В. А. Летучие компоненты (H₂O, CO₂, Cl, F, S) в базитовых магмах различных геодинамических обстановок по данным изучения расплавных включений и закалочных стекол // Петрология. 2000. № 2. С. 131–164.
- Когарко Л. Н. Щелочной магматизм и обогащенные мантийные резервуары. Механизмы возникновения, время появления и глубины формирования // Геохимия. 2006. № 1. С. 1–10.
- Когарко Л. Н., Асавин А. М., Ряховский В. И. Типизация первичных расплавов и петрохимическое районирование внутриплитного, щелочного магматизма Атлантики // Доклады академии наук. 2002. Т. 358. № 1. С. 97–100.
- Масуренков Ю. П. Вулканы над интрузиями. М.: Наука, 1979. 221 с.
- Geer J. S., Kent D. V. Source of oceanic magnetic anomalies and the geomagnetic polarity time scale. Columbia University Academic Commons, 2007. <http://hdl.handle.net/10022/AC:P:12454>.
- GIM. База данных по геохимии внутриплитного магматизма. http://earth.jscc.ru/databases_ru.php
- Glass Density Calc v3.0. <http://www.kaylaicovino.com/tools-for-petrologists/>
- Veizer J., Bell K., Jansen S. L. Temporal distribution of carbonatites // Geology. 1992. Vol. 20. P. 1147–1149.
- Woolley A. R. The spatial and temporal distribution of carbonatites // in Bell K. (ed.) Carbonatites: Genesis and evolution. London, Unwin Hyman, 1989. P. 15–37.