

УДК 551.242.2

**ПЕРВЫЕ ДАННЫЕ О СОСТАВЕ ПОРОД ПОДНЯТИЯ
АТЛАНТИС (ЦЕНТРАЛЬНАЯ АТЛАНТИКА)****А. А. Пейве**

Представлено академиком РАН Ю.М. Пушаровским 14.09.2017 г.

Поступило 26.09.2017 г.

Приводятся оригинальные данные по составам вулканитов поднятия Атлантис в Центральной Атлантике. По соотношениям некогерентных элементов вулканиты поднятия образовались при низких степенях частичного плавления в пределах гранатовой фации глубинности. Согласно изотопным отношениям Pb и Nd, их составы не могут безоговорочно быть отнесены к какой-либо из близлежащих магматических провинций (Мадейра, Канарская или Зеленомысская). Их отличает большая радиогенность изотопов Pb, свидетельствуя о существенной примеси компонента HIMU. Не наблюдается также значимой примеси EM 1. Можно считать, что вулканиты поднятия Атлантис образовались из самостоятельного мантийного источника.

Ключевые слова: Центральная Атлантика, вулканиты, магматические провинции, океанические поднятия.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-56524872179-184>

Подводные горы являются одними из наиболее широко распространённых структур ложа Центральной Атлантики. Согласно имеющимся представлениям, они могли быть образованы в различных геодинамических обстановках как в процессе формирования океанической коры в пределах Срединно-Атлантического хребта (САХ), так и существенно позднее, в океанических котловинах. Изучение таких структур исключительно важно для понимания общей динамики перемещения и трансформации глубинного вещества Земли. В то же время до настоящего времени имеются данные только по некоторым из таких структур, что связано со сложностями в сборе материала коренных пород.

В 33-м рейсе нис “Академик Николай Страхов” (2016 г.) был получен каменный материал с поднятия Атлантис, входящего в систему подводных гор Атлантис — Грейт Метеор Центральной Атлантики. До настоящего времени не имелось данных по составу пород данного поднятия.

Поднятие Атлантис протяжённостью более 150 км находится среди нескольких аналогичных структур северо-западного простирания, расположенных на общем цоколе с глубиной около 3 км. Вершинная поверхность плоская, находится на глубине 200 м. В ходе драгирования был поднят материал с северо-восточного склона (34°36′ с.ш., 30°34′ з.д., интервал глубин 840–800 м, станция

S3302). Среди каменного материала имелось несколько крупных фрагментов осадочных брекчий с обломками вулканитов.

Вулканиты оливин-порфировые. Вкрапленники оливина в основном 0,5–3 мм, октаэдрической формы, практически не затронуты вторичными изменениями (местами развивается идингсит), составляют около 10–15% породы. Имеются единичные крупные (до 5 мм) вкрапленники клинопироксена. Основная масса микролитовая, состоит из оливина, титаномагнетита и витрифицированного стекла.

По классификации, основанной на соотношении $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 3,2–3,8% и SiO_2 39–41%, рассматриваемые породы относятся к щелочным пикритами, однако имеют заметно более низкие концентрации MgO 6–7,5% по сравнению с типичными пикритами. Отмечаются повышенные концентрации TiO_2 4–4,1%, P_2O_5 0,6–0,9%, Al_2O_3 15–17% и некогерентных элементов, таких как U 2–2,2 г/т, Zr 263–280 г/т и Nd 49–56 г/т. На диаграмме РЗЭ все спектры редкоземельных элементов имеют одинаковый, заметно фракционированный тип распределения, характерный для щелочных пород, с резким закономерным повышением линии спектра от тяжёлых к средним ($(\text{Tb/Lu})_{\text{cn}}$ 2,44–2,59) и от средних к лёгким ($(\text{La/Sm})_{\text{cn}}$ 2,87–3,06) лантаноидам (рис. 1). Глубинность частичного плавления при формировании исходных расплавов вулканитов зависит от многих параметров, в том числе и от распределения ряда некогерентных элементов. Так, повышенные

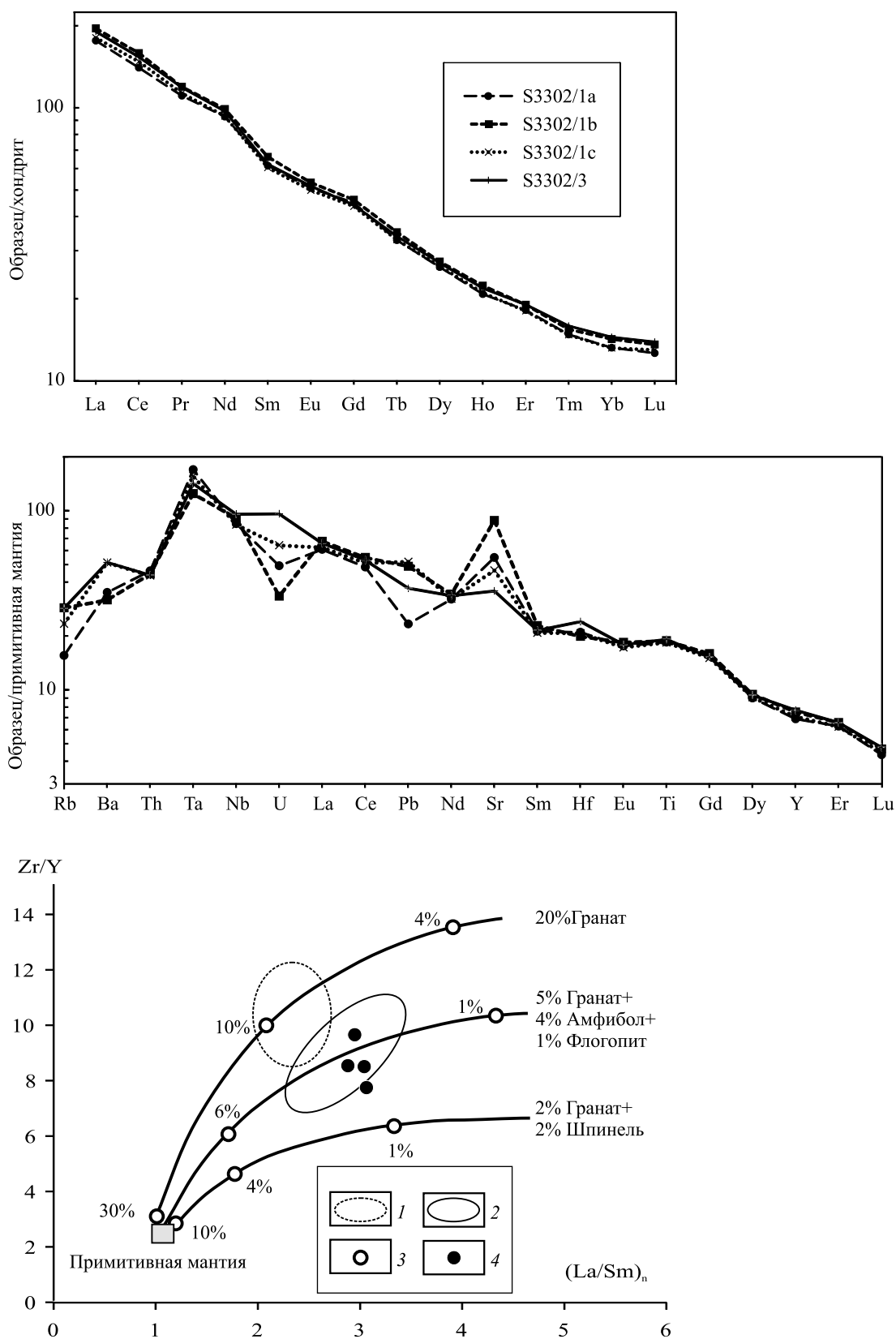


Рис. 1. Диаграммы соотношений редких элементов изученных вулканитов. На диаграмме $Zr/Y-(La/Sm)_n$ линиями показаны модельные составы вулканитов при частичном плавлении примитивной мантии с различным исходным содержанием граната, амфибола и шпинели [1, 2]. 1–2 — Канарский архипелаг [2]: 1 — восточные острова, 2 — западные острова; 3 — степени частичного плавления; 4 — составы вулканитов поднятия Атлантик.

отношения Ce/Y 2,7–3,3 и низкие Sm/Nd 0,2 в вулканитах поднятия Атлантис указывают на плавление в условиях гранатовой фации.

По соотношению Zr/Y и $(La/Sm)_n$ можно приблизительно оценить степень частичного плавления и особенности минерального состава источника плавления в мантии, используя линии модельно порционного плавления перидотитов, отвечающих составам примитивной мантии [1, 2]. Увеличение отношений Zr/Y соответствует увеличению количества граната в мантийных источниках, а отношение $(La/Sm)_n$ в большей степени отражает степень частичного плавления. Наблюдаемые составы вулканитов поднятия Атлантис согласно данной модели соответствуют низким степеням плавления (около 2%) мантийных перидотитов с содержанием граната 5%, амфибола 4% и флогопита 1%. Аналогичные составы и степени плавления характерны для западных островов Канарского архипелага (Тенерифе, Ла Пальма и Гомера), а также для северных островов Зелёного Мыса [2].

Вариации отношений высоко некогерентных элементов, особенно с близкими коэффициентами распределения порода/расплав, для минеральных ассоциаций мантийных перидотитов (Ba/Nb , La/Nb , Nb/U , Ba/Th , Ce/Pb), как правило, используются для оценки соотношений конечных компонентов смешения, что отражает особенности мантийных источников, так как эти элементы слабо фракционируют в ходе частичного плавления и фракционной кристаллизации мантийного вещества, состоящего главным образом из оливина, пироксенов граната и (или) шпинели. Как видно, близкие значения отношений некогерентных элементов $(La/Yb)_n$ 13–14; Ce/Y 2,7–2,8; Nb/Zr 0,2; Nb/Ta 9–12 свидетельствуют о том, что изученные породы образовались из единого мантийного источника.

Более точное представление об особенностях мантийных источников вулканитов можно получить при анализе отношений радиогенных изотопов Pb , Nd и Sr . Все образцы характеризуются близкими изотопным составами с вариациями $^{143}Nd/^{144}Nd$ 0,51291–0,51292; $^{206}Pb/^{204}Pb$ 19,8–20,02; $^{207}Pb/^{204}Pb$ 15,65–15,67; $^{208}Pb/^{204}Pb$ 39,57–39,75. Отношения $^{87}Sr/^{86}Sr$ сильно различаются. В наименее изменённом образце (S3302/3) $^{87}Sr/^{86}Sr$ 0,703483, что соответствует значения $^{143}Nd/^{144}Nd$. Все остальные образцы характеризуются завышенными отношениями $^{87}Sr/^{86}Sr$ 0,705021–0,706835, которые не коррелируются с соответствующими отношениями $^{143}Nd/^{144}Nd$, что, вероятно, связано с захватом морской воды в ходе вторичных преобразований. Как

известно, данный процесс может приводить к существенному увеличению $^{87}Sr/^{86}Sr$ в породах. Согласно изотопным отношениям $^{207}Pb/^{204}Pb$ и $^{206}Pb/^{204}Pb$, образцы (за исключением обр. S3302/3) находятся на или ниже NHRL, что говорит о том, что они практически не претерпели контаминацию осадочным материалом (рис. 2).

Из диаграмм корреляции радиогенных изотопов видно, что для объяснения особенностей составов требуется смешение материала по крайней мере двух мантийных источников. Это компоненты DM (деплетированная астеносферная мантия) и HIMU. Причём вклад второго компонента существенно превышает 50%. О наличии такого компонента говорит также положительная аномалия нормализованных на состав примитивной мантии Nb и Ta (рис. 1). Компонент HIMU обычно связывается с глубинными источниками вещества, образуемыми на границе ядро—мантия и поднимаемыми в верхние оболочки Земли мантийными плюмами. Он несёт изотопные метки рециклированной, гидротермально изменённой океанической коры [3]. Наибольшая концентрации данного компонента известна в базальтах о. Св. Елены.

В работе [4] было показано, что по данным сейсмической томографии от восточной части Центральной Атлантики на северо-восток вплоть до Центральной Европы прослеживается низкоскоростная аномалия, а составы кайнозойских вулканитов этого крупного региона на изотопных диаграммах образуют вытянутые поля, сходящиеся в одной области, которая может соответствовать составам исходного плюма, формирующего низкоскоростную сейсмическую аномалию (LVC). Здесь обособляются три изотопно-геохимические провинции [5]. Это Мадейра на севере, Канарские о-ва в центральной части и о-ва Зелёного Мыса на юге. Изотопно-вещественные особенности магматических областей были сформированы в ходе подъёма плюмового материала с учётом захвата материала вышележащей мантии, состав которой является веществом неоднородным.

По радиогенным изотомам базальты Мадейры близки N-MORB и образованы в значительной степени из мантийного источника типа DMM. Данный источник базальтов не является глубинным и отражает плавление преимущественно деплетированного астеносферного материала, что в первую очередь характерно для процессов генерации магм в срединно-океанических хребтах и гораздо менее распространено в источниках базальтов океанических островов. Базальты о-вов Зелёного Мыса

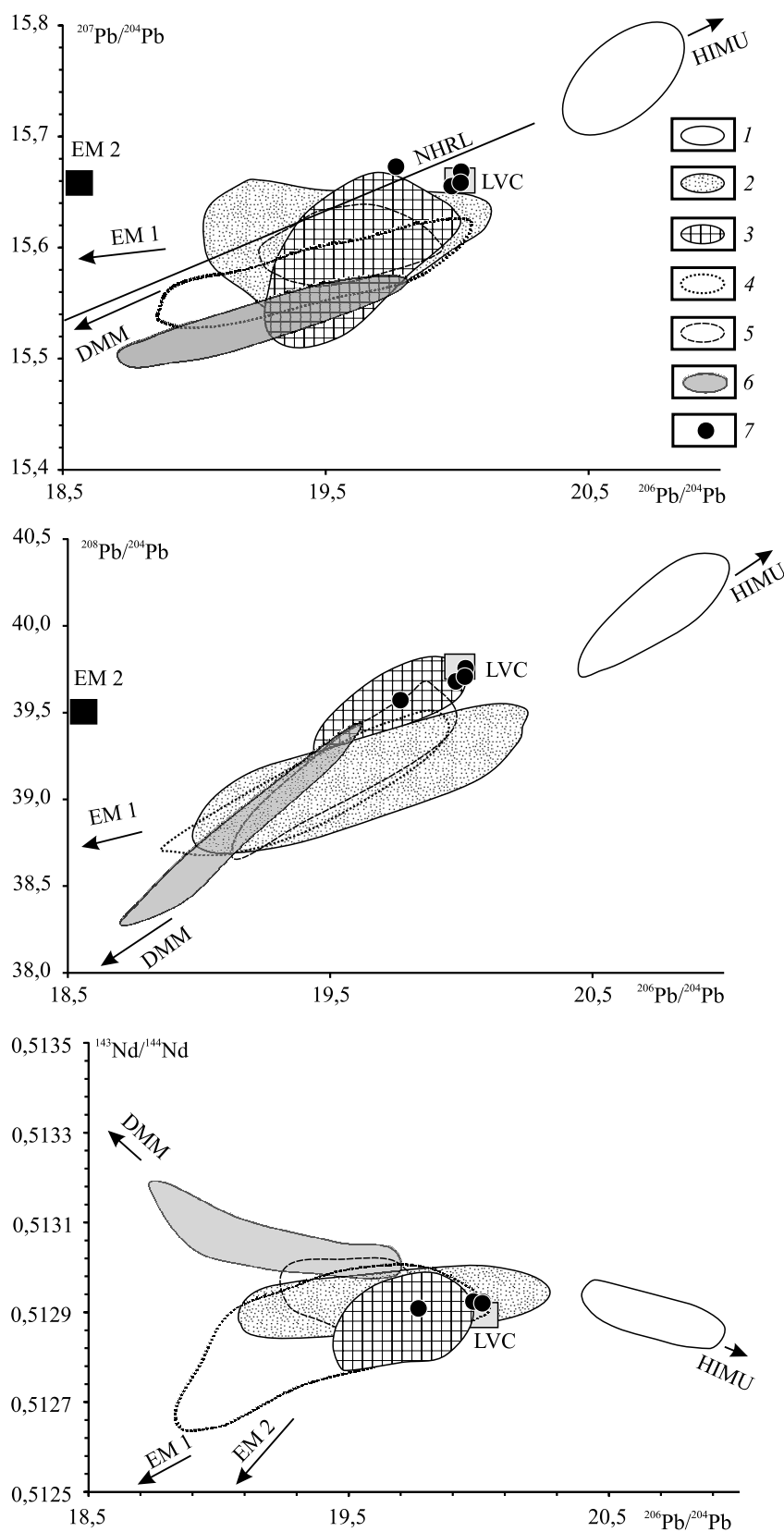


Рис. 2. Диаграммы вариаций изотопных отношений $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ и $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$. 1 — о. Св. Елены, 2 — Азорские о-ва (кроме Сан Мигель), 3 — Канарские о-ва (Тенерифе), 4 — южные о-ва Зелёного Мыса (Фогу, Сантьягу, Брера), 5 — северные о-ва Зелёного Мыса (Санту-Антан, Сан-Висенти), 6 — Мадейра, 7 — поднятие Атлантик. При построении диаграммы использованы данные [6].

Таблица 1. Валовой состав (мас. %) и содержание элементов примесей (г/т) в образцах вулканитов поднятия Атлантик

Компонент	S3302/1a	S3302/1b	S3302/1c	S3302/3
SiO ₂	39,58	39,49	40,94	38,97
TiO ₂	3,99	4,07	3,98	4,14
Al ₂ O ₃	15,66	17,47	15,38	15,29
FeO	5,87	5,83	4,84	6,13
Fe ₂ O ₃	7,18	6,74	8,14	7,31
MnO	0,17	0,18	0,17	0,19
MgO	7,63	6,22	7,46	7,45
CaO	11,66	11,54	11,51	12,01
K ₂ O	0,64	0,55	0,84	0,82
Na ₂ O	2,61	2,85	2,92	2,88
P ₂ O ₅	0,70	0,92	0,64	0,60
п.п.п.	3,67	3,50	2,65	3,54
Сумма	99,35	99,36	99,46	99,33
Sc	28	33	30	27
V	309	329	294	292
Cr	244	219	255	204
Co	49	49	49	47
Ni	149	119	138	134
Cu	75	72	67	69
Zn	104	100	101	108
Ga	18	17	19	18
Rb	9,3	4,8	17	17
Sr	1046	1517	864	625
Y	31	29	31	34
Zr	266	281	263	265
Nb	51	49	51	56
Mo	3,9	2,1	3,8	<2,0
Th	5,1	4,3	4,9	4,8
U	2,0	2,2	2	2
Pb	4,7	<2,0	3,0	3,2
Ba	244	222	258	243
La	41,7	46,3	42,8	45,1
Ce	85,8	97,1	90,4	94,0
Pr	10,5	11,3	10,7	11,3
Nd	43,4	46,2	43,5	45,4
Sm	9,4	10,1	9,2	9,5
Eu	2,9	3,1	2,9	3,0
Gd	9,2	9,5	9,0	9,1
Tb	1,2	1,3	1,2	1,3
Dy	6,6	6,9	6,7	6,9
Ho	1,2	1,3	1,2	1,2
Er	3,0	3,1	3,0	3,1
Tm	0,4	0,4	0,4	0,4
Yb	2,2	2,4	2,2	2,5
Lu	0,32	0,35	0,33	0,35

Примечание. Составы определялись в ГИН РАН. Концентрации редких элементов — методом ICP MS на масс-спектрометре Element2 фирмы “Thermo Finnigan”. Валовой — методом РФА.

по соотношениям радиогенных изотопов отчётливо разделяются на южные (Фогу, Сантьягу, Брера) и северные (Санту-Антан, Сан-Висенти). Для первых характерен существенный вклад обогащённого мантийного материала ЕМ 1. Базальты северных островов представляют смешение компонентов НМУ, ДММ и ЕМ 1. Они в гораздо меньшей степени обогащены материалом ЕМ 1 и занимают промежуточное положение между более деплетированными составами Мадейры и обогащёнными составами южных островов Зелёного Мыса. Это наиболее распространённый тип составов, который с некоторыми вариациями характерен также для Азорских и западной группы Канарских о-вов (Тенерифе, Гомера, Ла-Пальма). Хотя для этих групп островов вклады компонента НМУ более, а ЕМ 1 менее существен.

Таким образом, островные поднятия востока центральной Атлантики образовались в процессе подъёма из мантии порций плюмового материала, близкого по составу к НМУ, а вариации изотопных составов обусловлены различным структурным положением и соответственно примешиванием в плюмовый материал вещества деплетированной астеносферной (западные Канары и Мадейра) или фрагментов субконтинентальной мантии полученных из обогащённого мантийного материала субконтинентальной литосферной мантии Пангеи (ЕМ 1) в процессе её распада (восточные Канары, южные о-ва Зелёного Мыса) [1, 2].

Из анализа полученных данных следует, что по соотношениям некогерентных элементов вулканиты поднятия Атлантик образовались при низких степенях частичного плавления в пределах гранатовой фации глубинности. Согласно распределению радиогенных изотопов Pb и Nd, вулканиты поднятия Атлантик не могут безоговорочно быть отнесены к какой-либо из близлежащих магматических провинций (Мадейра, Канарская или Зеленомысская). Их отличает большая радиогенность изотопов Pb. Это отчётливо проявлено в повышенных отношениях $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ и $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, что свидетельствует о существенной примеси компонента НМУ. Не наблюдается значимой примеси компонентов ЕМ 1, что свидетельствует о том, что расплавы не захватывали материал субконтинентальной мантии. Таким образом, можно считать, что вулканиты поднятия Атлантик образовались из самостоятельного мантийного источника. Этот источник очень близок, но не тождествен так называемому LVC.

По всей видимости, начиная с позднего мезозоя в мантии под Восточной Атлантикой располагается область разогретого (разуплотнённого) мантийного

Таблица 2. Изотопный состав вулканитов поднятия Атлантик

№ образца	Sm, г/т	Nd, г/т	¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd	¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd	2s, abs	Rb, ppm	Sr, ppm	⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr	2s, %
S332/1a	9,767	46,46	0,12707	0,512924	0,000001	7,727	1258	0,01777	0,432
S3302/1c	9,695	46,07	0,12720	0,512920	0,000002	15,97	938	0,04927	0,403
S3302/1b	10,19	48,45	0,12718	0,512924	0,000001	4,419	1733	0,00738	0,472
S332/3	10,08	48,02	0,12688	0,512909	0,000002	16,76	668	0,07255	0,399

№ образца	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	2s, abs	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	2s, abs	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb	2s, abs	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb	2s, abs
S332/1a	0,706097	0,000012	19,9794	0,0016	15,6553	0,0014	39,6792	0,0038
S3302/1c	0,705021	0,000006	20,0138	0,0012	15,6584	0,0010	39,7067	0,0026
S3302/1b	0,706835	0,000008	20,0160	0,0019	15,6683	0,0015	39,7555	0,0042
S332/3	0,703483	0,000007	19,7680	0,0021	15,6727	0,0018	39,5718	0,0049

Примечание. Химическая сепарация элементов осуществлялась хроматографическим методом на ионно-обменных колонках. Бланки (холостой опыт) во время проведения анализов не превышали 0,01 и 0,05 нг для Rb и Sr, и 0,02 нг для Sm, Nd, и 0,01 нг для Pb. Содержания элементов определялись методом изотопного разбавления с добавлением калиброванного изотопного трассера. Измерения изотопного состава элементов проводились на многоколлекторном твердофазном масс-спектрометре TRITON (ЦИИ ВСЕГЕИ) в статическом режиме. Для нормализации использовались значения $^{88}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 8,375209$ и $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0,7219$. Величина измеренных международных стандартов соответствовала: JNdi-1 NBS-987. Погрешность соответствующего изотопного отношения приведена при 95%-м уровне значимости в абсолютных величинах (2s, abs) или процентах (2s, %).

материала, рассматриваемая как LVC [4], который время от времени в виде отдельных плюмов поднимался до уровня литосферы, поставляя расплавы, сформировавшие крупные магматические структуры данного региона. Состав плюмов и соответственно расплавов определялся разномасштабными веществами неоднородностями верхней мантии и астеносферы.

Благодарности. Автор выражает благодарность сотрудникам ГИН РАН Н.П. Чамову и А.А. Разумовскому за помощь в проведении драгировочных работ.

Источники финансирования. Работа проведена по теме НИР 0135–2019–0050 и при финансовой поддержке гранта РФФИ 18–55–7806 Итал_т.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hofmann A.W. // Earth Planet. Sci. Lett. 1988. V. 90. P. 297–314.
2. Gurenko A.A., Hoernle K.A., Hauff F., et al. // Chem. Geol. 2006. V. 233. P. 75–112.
3. Zindler A., Hart S. // Annu. Rev. Earth Planet. Sci. 1986. V. 14. P. 493–571.
4. Hoernle K., Zhang Y.-S., Graham D. // Nature. 1995. V. 374. P. 34–39.
5. Abratis M., Schmincke H.-U., Hansteen T.H. // Int. J. Earth Sci. (Geol. Rundsch.). 2002. V. 91. P. 562–582.
6. <http://georoc.mpch-mainz.gwdg.de/georoc/>

FIRST DATA ON THE COMPOSITION OF THE ATLANTIS RISE ROCKS (CENTRAL ATLANTIC)

A. A. Peyve

Geological Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

Presented by Academician of the RAS Yu.M. Pushcharovskii September 14, 2017

Received September 26, 2017

Paper provides original data on the composition of the volcanic rocks of Atlantis Rise in the Central Atlantic. In relation to incompatible elements, volcanics of the Rise were formed at low degrees of partial melting within the garnet depth facies. According to Pb and Nd isotopic ratios, their composition cannot be unconditionally attributed to any of the nearby magmatic provinces (Madeira, Canary or Cape Verde). They are distinguished by the high radiogenicity of Pb isotopes, pointing to a significant addition of the HIMU component. There is no significant addition of the EM 1 component. We can assume that the volcanics of the of the Atlantic Rise were formed from an independent mantle source.

Keywords: Central Atlantic, volcanics, magmatic provinces, oceanic rises.