

УДК 551.14:[550.42:546.027]

## МАНТИЙНЫЕ ПЛЮМЫ И ИЗОТОПНАЯ ГЕТЕРОГЕННОСТЬ МАНТИИ (НА ПРИМЕРЕ АТЛАНТИКИ И ПРИЛЕГАЮЩИХ КОНТИНЕНТОВ)

© 2003 г. Ю. В. Миронов, В. М. Ряховский, А. А. Пустовой, И. В. Лapidус

Представлено академиком Д.В. Рундквистом 19.02.2003 г.

Поступило 19.02.2003 г.

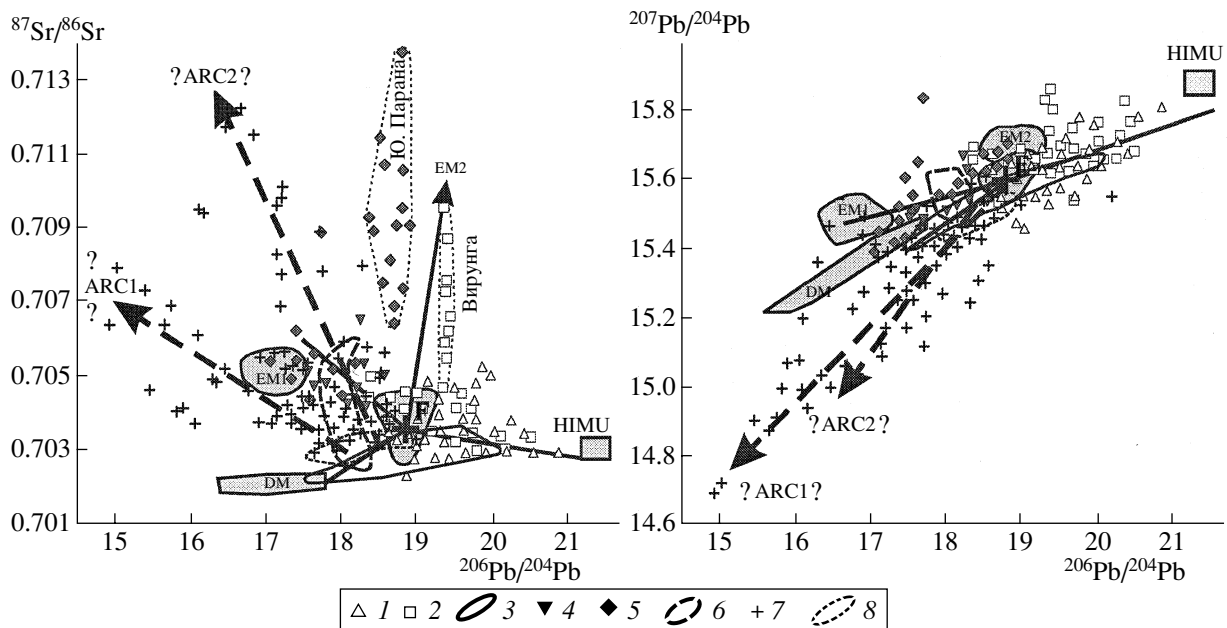
Одними из наиболее дискуссионных вопросов в современной геологии являются: 1) что первично – рифтогенез или зарождение мантийных плюмов? 2) существуют ли надежные изотопно-геохимические индикаторы этих плюмов? 3) как совместить конвекцию в мантии с ее изотопной гетерогенностью? Ключом для решения этих вопросов могут быть результаты исследования в Атлантическом океане и на прилегающих континентах. Здесь установлены области разуплотненной (низкоскоростной) мантии, которые рассматриваются как места зарождения плюмов (Исландский, Азорский, Африкано-Кергеленский) [1, 2], а также интенсивные изотопно-геохимические аномалии, свидетельствующие о взаимодействии рифтов с “горячими точками” [3 и др.]. Ранее нами показано, что Атлантический океан обладает и наиболее четкой субширотной Sr–Nd–Pb изотопной гетерогенностью мантии [4–7]. В данной работе предпринята попытка проследить эти изотопные неоднородности на континентах, а также проанализировать их соотношение с областями низкоскоростной мантии, выделенными согласно новейшей сейсмографической модели [8].

Для систематики пород использован модифицированный изотопный “мантийный тетраэдр” (рис. 1). Его важнейшим элементом наряду с известными конечными компонентами (DM, HIMU, EM1, EM2) [9] служит некий компонент F (“focal”), который был выявлен методами многомерной статистики [4–7]. Этот компонент близок к среднему составу совокупности внутритетраэдрных компонентов (FOZO, C, PREMA и др.), которые часто рассматриваются как индикаторы нижнемантийных плюмов [10, 11]. На основе дан-

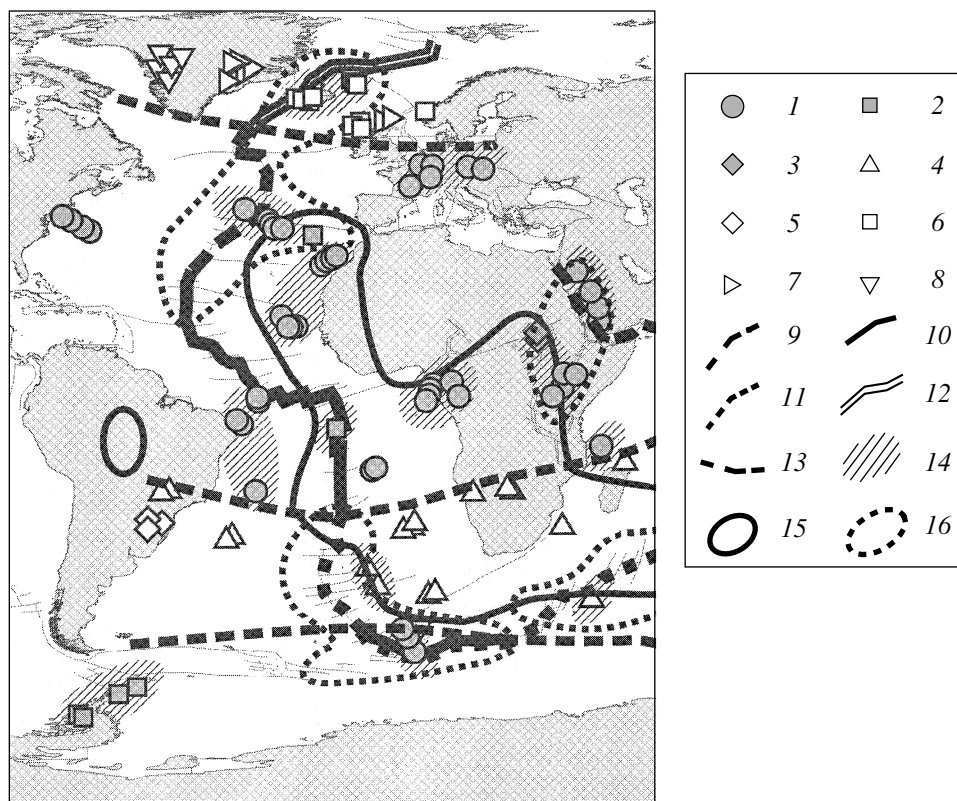
ной систематики выделены четыре изотопные провинции, каждая из которых включает срединно-океанические хребты, океанские внутриплитные поднятия, а также позднемезозойско-кайнозойские континентальные рифты и траппы (рис. 2). Типоморфными для этих провинций являются либо конечные изотопные компоненты HIMU (Северо-Центральная, Буве-Антарктическая провинции) и EM1 (Южная провинция – атлантическая область известной изотопной DUPAL-аномалии Южного полушария [12]), либо выделенные нами компоненты ARC1 и ARC2 (Арктическая провинция). Компоненты ARC (Arctic), которые расположены далеко за пределами “мантийного тетраэдра” в области экстремально низких значений  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  и  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ , но высоких значений  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ , соответствуют конечным членам трендов составов платобазальтов Восточной (ARC1) и Западной (ARC2) Гренландии (рис. 1). Породы внутриплитных океанских и континентальных структур преимущественно отвечают по составу квазибинарным смесям между типоморфным (для данной провинции) компонентом и общим компонентом F. Базальты срединно-океанских хребтов из этих провинций различаются по устойчивой примеси тех же типоморфных компонентов, хотя в целом их состав соответствует квазибинарной смеси F + DM, реже DM + HIMU (приэкваториальный сегмент Срединно-Атлантического хребта) [13, 14]. Таким образом, изотопные субширотные неоднородности, которые ранее были установлены в Атлантике [4–7], прослеживаются на континентах. При этом они дискордантны к областям низкоскоростной мантии (рис. 2).

Среди областей низкоскоростной мантии выделяется обширная и относительно изометричная область, которую можно отождествить с Африкано-Кергеленским суперплюмом (рис. 2). Она характеризуется подошвой, расположенной глубоко в нижней мантии (не менее 2510 км), и резко варьирующей глубиной кровли (рис. 3). Районы молодого плиоцен-современного магматизма распределены вдоль границ проекции подошвы

Государственный геологический музей  
им. В.И. Вернадского  
Российской Академии наук, Москва  
Атлантическое отделение  
Института океанологии им. П.П. Ширшова  
Российской Академии наук, Калининград



**Рис. 1.** Изотопный состав магматических пород провинций Атлантики прилегающих континентов. 1–3 – Северо-Центральная и Буве-Антарктическая (1 – внутриплитные океанские структуры, 2 – континентальные структуры, 3 – срединно-океанские хребты), 4–6 – Южная (4 – внутриплитные океанские структуры, 5 – континентальные структуры, 6 – срединно-океанские хребты), 7, 8 – Арктическая (7 – континентальные структуры, 8 – острова и срединно-океанские хребты).



**Рис. 2.** Изотопные провинции и области разуплотненной мантии в Атлантическом регионе. 1–8 – изотопные типы пород внутриплитных структур: 1 – F + HIMU, 2 – DM + HIMU, 3 – F + HIMU + EM2, 4 – F + EM1, 5 – F + EM1 + EM2, 6 – F + DM + (ARC), 7 – F + DM + ARC1, 8 – F + DM + ARC2; изотопные типы базальтов срединно-океанских хребтов; 9 – F + DM + (HIMU), 10 – DM + HIMU, 11 – F + DM + (EM1), 12 – F + DM + (ARC); 13 – границы изотопных провинций; 14 – районы плиоцен-четвертичного вулканизма; 15–16 – области низкоскоростной мантии: 15 – на глубине 2510 км, 16 – на глубине 220 км [8].

Районы плиоцен-четвертичного вулканизма	Типоморфные изотопные компоненты	Глубина низкоскоростной мантии, км [8]				
		2510	2080	1510	790	220
Юго-Восточная Атлантика (Вознесения, Гоф, Тристан-да-Кунья)	HIMU, EM1					
Обрамление Северо-Восточной Африки (Канары, Зеленого Мыса, Камерунская линия)	HIMU					
Восточно-Африканские рифты (западная ветвь)	HIMU				?	?
Юго-Запад Индийского океана (Принц Эдуард, Реюньон, Кергелен и др.)	EM1					
Юго-Западная Атлантика (Фернандо-де-Норонья, Мартин Вос и др.)	HIMU			?		
Северная Атлантика (Ян-Майен, Исландия, Азоры)	HIMU ARC					
Восточно-Африканские рифты (восточная ветвь)	HIMU					
Красное море	HIMU					
Южная Атлантика (тройное сочленение Буве)	HIMU, EM1					
Рифты Центральной и Западной Европы	HIMU					
Рифты Антарктиды	HIMU					

Рис. 3. Глубины областей разуплотненной мантии в районах плиоцен-четвертичного магматизма Атлантики и прилегающих континентов.

суперплюма, которые на большем своем протяжении примерно повторяют контуры крупнейших рифтогенных структур (Африканские рифты, тройные сочленения Азоры и Буве, Срединно-Атлантический и Африкано-Антарктический хребты) (рис. 2). Неясно, возникли ли эти магматически активные структуры на границе “холодной” мантии и разогретого поднимающегося суперплюма или, напротив, определили зарождение плюма и его конфигурацию. Однако можно предположить, что подошва Африкано-Кергеленского суперплюма каким-то образом приспособливается к контурам рифтогенных структур и, вероятно, расширяется вслед за отодвиганием континентальных рифтов от срединно-океанских рифтов при раскрытии океанов.

Области низкоскоростной мантии другого типа фиксируются с глубин 1510 и 790 км, соответствующих средней мантии, и прослеживаются до верхов мантии (рис. 3). Эти области (Исландия – Азоры, Буве, восточная ветвь рифтов Африки – Красное море) более локальны и протягиваются симметрично вдоль отдельных участков осей рифтов и тройных сочленений, характеризующихся наиболее интенсивным магматизмом (рис. 2). Вероятно, именно эти срединномантийные плюмы вторичны по отношению к рифтогенезу (модель Дон Андерсона [15]). Наряду с этим имеются районы молодого рифтового магматизма (Европа, Антарктида), под которыми низкоскоростная мантия не выявлена ни на одной из исследованных глубин (рис. 2, 3).

Таким образом, ниже- и срединномантийные области низкоскоростной мантии отличаются друг от друга формой, размерами, соотношением с главнейшими тектоническими элементами и характером распределения районов молодого магматизма. Однако различий в Sr–Nd–Pb изотопном составе магматических комплексов, как связанных, так и не связанных с каждым из этих типов областей, не выявлено, а комплексы, ассоциирующие с единой областью, могут быть изотопно гетерогенны (рис. 2, 3). В качестве изотопных индикаторов специфического материала мантийных плюмов обычно рассматриваются внутритектонические компоненты (FOZO, C, PREMA или F) [10, 11]. Однако, как уже указывалось нами ранее [4–7], компонент F является важнейшей составной частью не только всех типов плюмовых образований, но и пород, сформированных далеко за пределами плюмов, включая базальты срединно-океанских хребтов – продукты малоглубинного типа магматизма. Следовательно, граница между относительно однородным (возможно, в силу конвекции) резервуаром F, в котором зарождаются как ниже-, так и срединномантийные плюмы, и латерально гетерогенной частью мантии может подниматься до сравнительно небольших глубин в пределах верхней мантии. Данная модель в определенной мере снимает фундаментальное противоречие между фактом изотопной гетерогенности мантии и неизбежностью конвекции в основном объеме мантии.

Авторы выражают искреннюю благодарность академикам Л.Н. Когарко и Д.В. Рундквисту за всемерную поддержку работы.

Исследования выполнены при поддержке РФФИ (проекты 00–15–98535, 00–07–90000, 01–05–65497, 01–05–64182, 02–07–90140), а также Программ “Интеграция” и “Мировой океан” РАН и Минпромнауки РФ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Fukao Y., Maruyama S., Obayashi M., Inoue H.* // *J. Geol. Soc. Jap.* 1994. V. 101. № 1. P. 7–23.
2. *Wolfe C.J., Bjarnson I.Th., Van Decar J.C., Solomon S.C.* // *Nature.* 1997. V. 385. P. 245–247.
3. *Schilling J.-G.* // *Nature.* 1973. V. 242. P. 565–571.
4. *Рундквист Д.В., Ряховский В.М., Миронов Ю.В., Пустовой А.А.* // *ДАН.* 2000. Т. 370. № 2. С. 223–226.
5. *Ryakhovsky V.M.* *Geodynamics and Metallogeny: Theory and Implications for Applied Geology.* М.: Geocart, 2000. P. 449–467.
6. *Mironov Yu.V., Rhyakhovskii V.M., Pustovoi A.A.* // *Geochem. Intern.* 2000. V. 38. Suppl. 1. P. 20–27.
7. *Миронов Ю.В., Ряховский В.М., Пустовой А.А.* Проблемы геологии континентов и океанов. Докл. рос. ученых – участников XXXI МГК. Школа-семинар на нис “Академик Иоффе”. Июль–август 2000 г. Магадан: Кордис, 2001. С. 86–96.
8. *Becker T.W., Boschi L.* // *Geochem., Geophys., Geosyst.* (G<sup>3</sup>). 2002. V. 3. №2001GC000168.
9. *Zindler A., Hart S.* // *Ann. Rev. Earth and Planet. Sci.* 1986. V. 14. P. 493–571.
10. *Тумаева Н.А.* // *Петрология.* 2001. Т. 9. № 5. С. 504–518.
11. *Hofmann A.W.* // *Nature.* 1997. V. 385. P. 219–229.
12. *Hart S.R.* // *Nature.* 1984. V. 309. P. 753–757.
13. *Пустовой А.А., Миронов Ю.В., Ряховский В.М.* Проблемы геологии континентов и океанов. Докл. рос. ученых – участников XXXI МГК. Школа-семинар на нис “Академик Иоффе”. Июль–август 2000 г. Магадан: Кордис, 2001. С. 107–115.
14. *Pustovoy A.A., Mironov Yu.V., Ryakhovsky V.M.* // *Inter-Ridge News.* 2002. V. 11. № 1. P. 33–37.
15. *Anderson D.L.* // *Geology.* 1994. V. 22. P. 39–42.