

Sr-ИЗОТОПНАЯ АНОМАЛИЯ НА КУРИЛАХ – ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ ОБЪЯСНЕНИЯ

А.В. Колосков

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский, 683006;
e-mail: kolosav@kscnet.ru*

При изучении четвертичного вулканизма Курильской островной дуги [1, 2, 25] была обнаружена четко выраженная аномалия Sr-изотопных составов (рис. 1), состоящая в том, что в центральной части дуги (на широте 45-50°N) отношение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ составляет 0.7030-0.7032, а при движении вдоль дуги на север и юг это отношение возрастает до значений 0.7036-0.7039). Кроме того, было установлено, что вкрест дуги наблюдается уменьшение радиогенности Sr от фронтальной зоны к проявлениям промежуточного и тылового вулканизма [4]. Поскольку изменение отношений изотопов Sr по простиранию дуги коррелируется с мощностью Земной коры (переход от дугового сектора в сторону Южной Камчатки на севере и о-ва Хоккайдо на юге), то этот феномен связывался с разной степенью контаминации исходных расплавов материалом коры [5, 25].

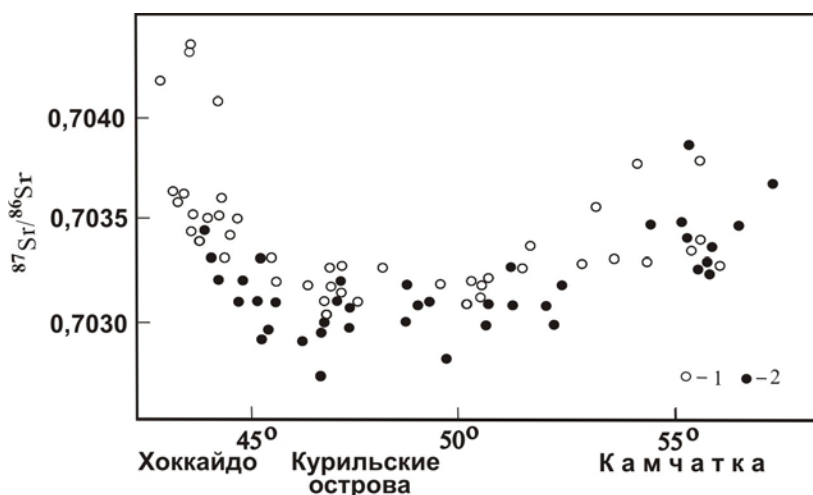


Рис. 1. Вариации изотопного состава стронция по профилю о. Хоккайдо-Камчатка.
1 - фронтальная зона, 2- тыловая зон

Результаты исследования и их обсуждение

Посмотрим, какие еще крупные изотопные аномалии существуют в пределах Тихоокеанского региона. Еще в начале 80-х годов Б. Дюпре и С. Аллегре [12] в Индийском океане выделили обширную область, в пределах которой базальты океанических островов имеют аномальные Sr, Nd и Pb характеристики. Эта область получила название DUPAL-аномалии. С. Харт [15, 16], анализируя материалы по изотопному составу вулканитов океанических островов и некоторых континентальных окраин, пришел к выводу, что эта аномалия может быть прослежена почти непрерывно вокруг южного полушария между экватором и широтой 60° к югу. Для Тихоокеанского региона она выглядит так, как представлено на рис. 2.

Автором настоящего сообщения была предпринята попытка анализа этой изотопной неоднородности с использованием современных моделей [18, 28] интерпретации изотопно-геохимических данных. Пример такой интерпретации представлен на рис. 3.

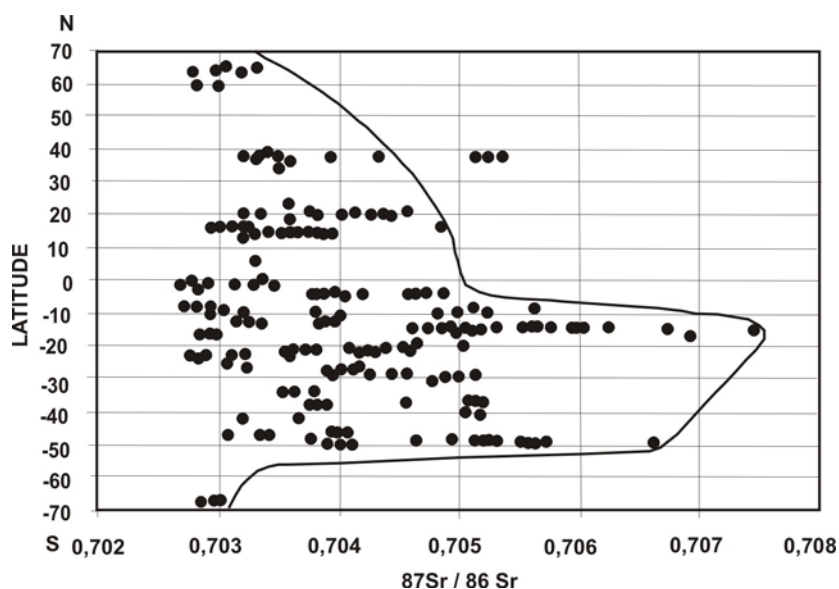


Рис. 2. Вариации изотопного состава стронция для 318 образцов базальтов островов Тихого океана в зависимости от их широтного расположения. [16]

Здесь используется сочетание двух изотопных систем: Rb-Sr и U-Pb. Первая выражена изотопными отношениями $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, вторая - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$. На рис. 3 представлен пример корреляционной зависимости между этими отношениями для позднекайнозойских базальтоидов различных районов Восточной и Юго-Восточной Азии. Вер трендов отражает участие различных источников (B-1 – B-9) в изотопном составе пород разных регионов. На примере базальтов Юго-Восточного Китая и был предложен критерий выделения астеносферного мантийного компонента [28]. Схождение разнонаправленных трендов (B-1 и B-9 на рис. 3) для одновозрастных базальтов Юго-Восточного и Северо-Восточного Китая рассматривается китайскими учеными, как область, наименее контаминированную литосферным материалом и наиболее приближенную по изотопным характеристикам к составу астеносферного источника. Отмеченные на рис. 3 изотопные составы ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.7033-0.7034$) и представляют те изотопные отношения, которые были выделены китайскими учеными в качестве источника астеносферной мантии. Подобным образом, на этой и других диаграммах был проведен анализ обширной информации (оригинальных авторских и литературных данных) по изотопному составу позднекайнозойских вулканитов западной и восточной окраин, а также некоторых районов центральной Пацифики. Результаты такого анализа представлены на рис. 4. В какой-то мере полученная картина сходна с упомянутой выше DUPAL аномалией [16], но отличается тем, что большинство полученных точек отражает наличие четко выраженной геоцентрической Sr-изотопной зональности, которая состоит в том, что радиогенность Sr возрастает в экваториальной части и уменьшается при движении к полюсам. В эту картину хорошо «вписываются» точки эталонных составов, для которых сами авторы определили предполагаемый состав астеносферной мантии, а также тренд эволюции мантийного источника известной «гавайско-императорской горячей точки» [18, 21, 27]. Эти замечания свидетельствуют о корректности проведенных исследований, то есть, мы, действительно получили некоторую картину пространственного изменения Sr-изотопных характеристик в астеносфере – ближайшей геосфере Земли, в которой по ее реологическим особенностям может проявиться ротационная зональность. Однако, на рис. 4 не все точки укладываются в отмеченную закономерность. Флуктуация Sr-изотопных составов для базальтов задуговых бассейнов не зависит от их географического положения и составляет $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} \approx 0.7028-0.7034$. Кроме того, на диаграмму рис. 4 нанесены точки изотопных составов Тихоокеанских MORB, изотопные составы которых также меняются независимо

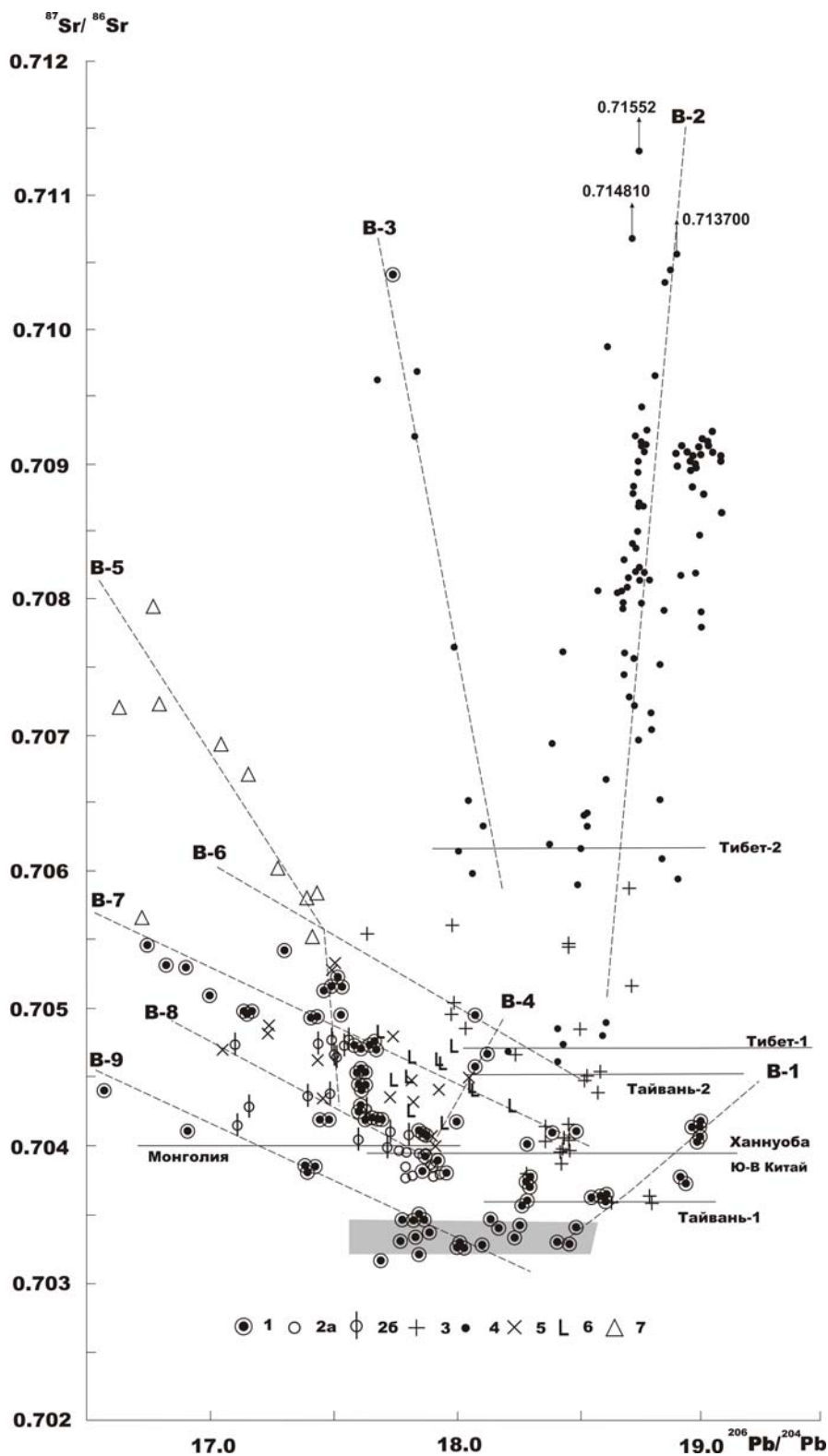


Рис. 3. Соотношение изотопов Sr и Pb в позднекайнозойских вулканитах Восточной и Юго-Восточной Азии.

1 – Восточный и Юго-Восточный Китай [8; 19; 22; 24; 28]; 2 – Ксенолит-содержащие вулканиты Восточного Китая, р-он Ханнуоба [22]; 2а-щелочные, 2б-промежуточные и толеитовые базальты; 3 – Тайвань [9; 26]; 4 – Тибет [11; 13; 14; 24]; 5 – Монголия [7]; 6 – Восточные Саяны [6]; 7 – Алданские лампроиты [7]. Выделена область предположительного Sr-изотопного состава астеносферного источника для Восточного Китая, по [28]. Субвертикальные и наклонные пунктирные линии (B-1 – B-9) – тренды изменения изотопных составов вулканитов, горизонтальные сплошные линии – предполагаемый плюм-астеносферный Sr-изотопный состав.

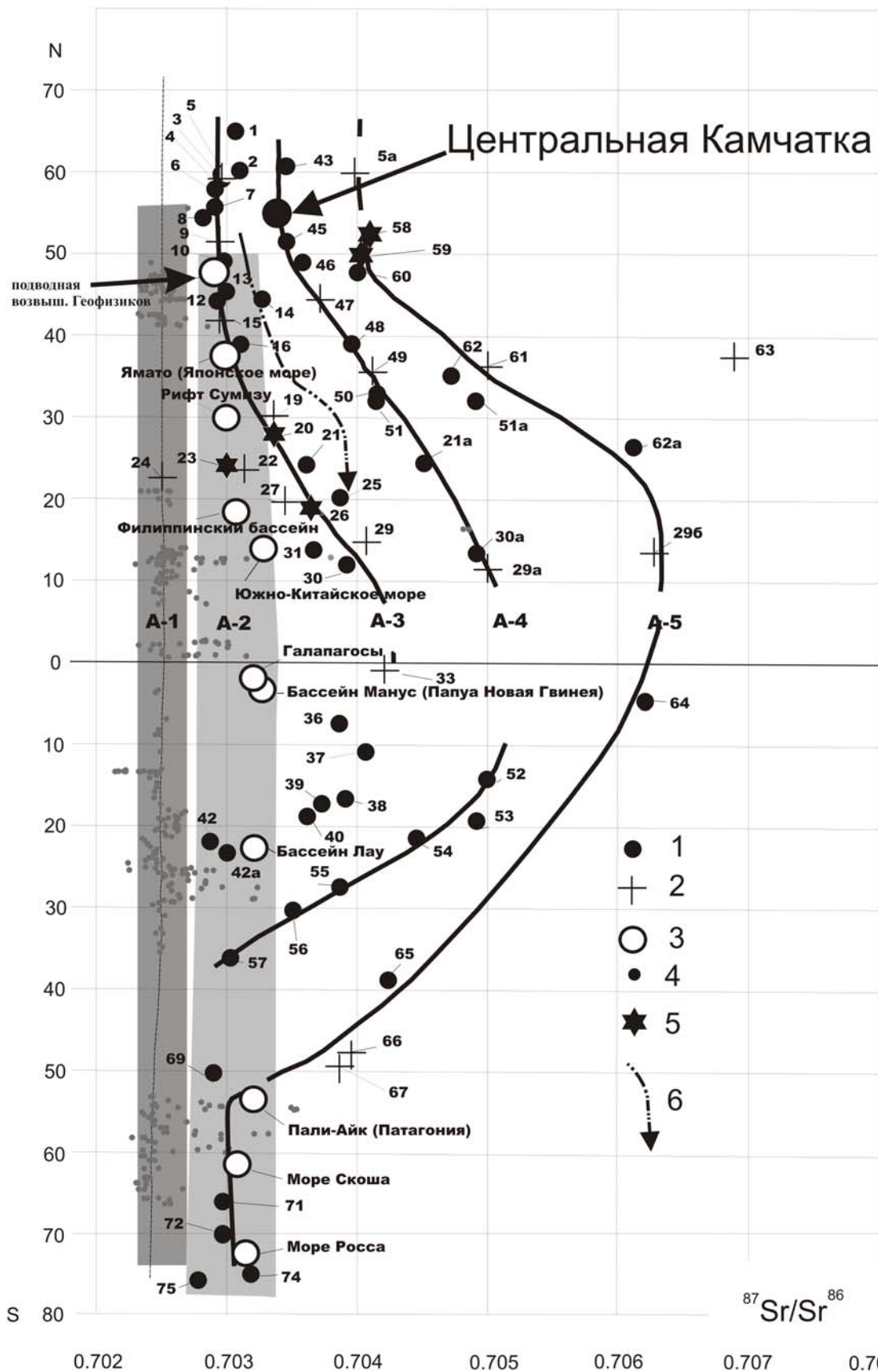


Рис. 4. Обобщенная диаграмма пространственного расположения точек, предположительно отражающих астеносферные характеристики базальтов Тихоокеанского бассейна и его ближайшего окружения.

1 – Западная окраина Пацифики; 2 – Восточная окраина; 3 – Окраинные бассейны; 4 – Тихоокеанские MORB (базальты срединно-океанического хребта, валовые составы, стекла); 5 – Эталонные образцы; 6 – Гавайско-Императорский тренд. А-1 – А-5 - поля и линии («треки») усредненных значений Sr-изотопных астеносферных характеристик (см. продолж. на след. стр.)

(продолжение подписи к рис. 4) Использован банк данных по регионам (цифры на графике): 1 – Эмеленский массив, Чукотка; 2 – Северное Приохотье; 3 – р. Валовая, Корякия; 4 – о. Нунивак; 5 – Северная Канада-1; 5a – Северная Канада-2; 6 – Начикинский вулкан; 7 – о-ва Прибылова; 8 – Вулкан Пийпа; 9 – Британская Колумбия; 10 – Алеуты; 12 – вулкан Богдана Хмельницкого; 13 – вулкан Ришири (Япония); 14 – вулкан Кудрявый, о.Итуруп; 15 – Вашингтон, Каскады; 16 – Северная Япония; 19 – Сан Карлос, Аризона; 20 – Восточный Китай; 21 – Тайвань-1; 21a – Тайвань-2; 22 – Полуостров Калифорния; 23 – Гавайи (астеносферный источник); 24 – Аларкон (Калифорния); 25 – о. Хайнань; 26 – Гавайи (Лоа-тренд); 27 – Мексика; 29 – Малые Антилы-1; 29a – Малые Антилы-2; 29b – Малые Антилы-3; 30 – Вьетнам-1 (Фуок Лонг); 30a – Вьетнам-2 (Плейку); 31 – Таиланд; 33 – Эквадор; 36 – Папуа, Новая Гвинея; 37 – Малайта, Соломоновы о-ва; 38 – Северное Тонга; 39 – Северный Квинсленд, Австралия; 40 – Вити Леву, Фиджи; 42 – о. Мангайа, Полинезия; 42a – Маркизы, Гамбье, Полинезия; 43 – мыс Наварин, Чукотка; 45 – о. Атту (Алеуты); 46 – Восточный Сихотэ-Алинь; 47 – Йеллоустонский плюм; 48 – Восточный Китай (Ханнуоба); 49 – Нью Мехико (Тайос, Джемес); 50 – Фукуока, Япония; 51 – Корея-1; 52a – Корея-2; 52 – о. Самоа; 53 – о. Аллутаки, Кук-Австралия; 54 – о. Раротонга, Кук-Австралия; 55 – о. Рапа, Кук-Австралия; 56 – Дуга Кермадек; 57 – Новая Зеландия; 58 – Саяны; 59 – Байкальская провинция; 60 – Монголия; 61 – Колорадо; 62 – Тибет-1 (центральный Тибет); 62a – Тибет-2 (провинция Яннан); 63 – Южная Невада; 64 – Биру, Сулавеси; 65 – Западная Виктория, Австралия; 66 – Южная Аргентина; 67 – Патагония-1 (южная часть); 69 – острова Антиподов; 71 – Сеал Нунатакс, Антарктида; 72 – о. Александра, Антарктида; 74 – Хоббс, Антарктида; 75 – Море Росса-2, Антарктида.

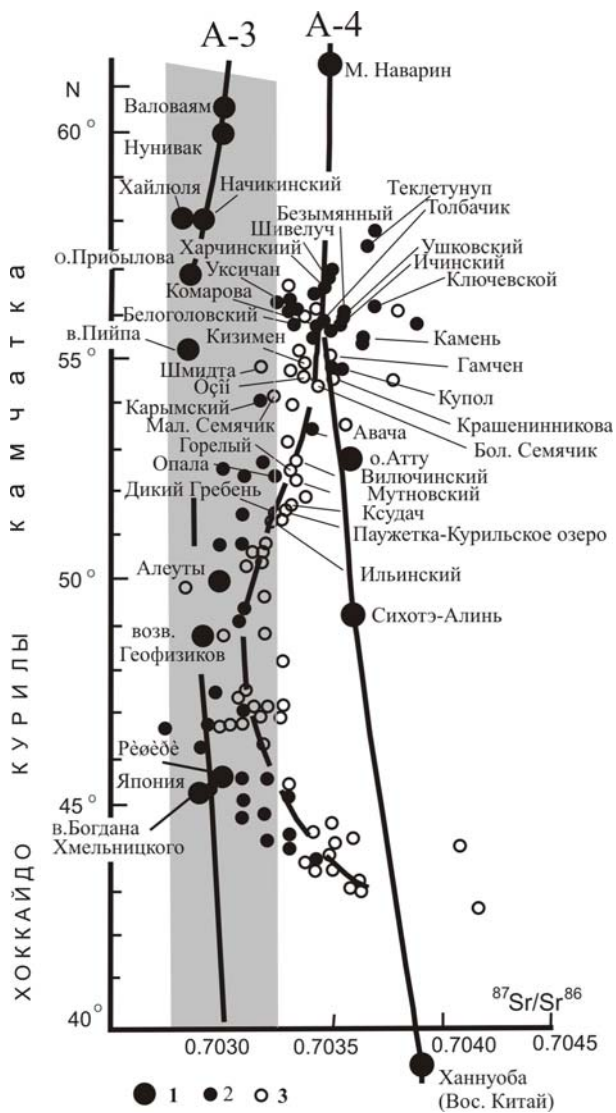


Рис. 5. Характер распределения Sr-изотопных составов вулканитов по профилю: остров Хоккайдо – Курилы – Камчатка.

1- точки «опорных составов», взятые с диаграммы рис. 4. 2-3 – вулканиты тыловой (2) и фронтальной (3) зоны Курило-Камчатского региона. А-3 и А-4 – тоже, что и на рис.4. Выделено поле изотопных составов вулканитов окраинных бассейнов. Пунктиром показано изменение Sr-изотопных характеристик по рассматриваемому профилю

от их географического положения. В общем плане, картину изменения Sr-изотопных характеристик можно представить как серию «треков» в виде дуговых линий и полос стабильности, геометрия которых отражает характер пространственно-возрастной эволюции астеносферы. Можно отметить три этапа такой эволюции: 1) этап относительной гомогенности астеносферного источника, который соответствует времени проявления вулканизма Тихоокеанских MORB 85-120 мл. лет [17] или формированию Западных плато Тихого океана 90-200 мл. лет [3]; 2) этап гетерогенности астеносферной мантии, проявление «ротационной зональности» в период от 35-40 до 85-90 мл. лет (время проявления вулканизма в пределах Императорского хребта Тихого океана); 3) этап новой астеносферной гомогенности моложе 35-40 мл. лет, (период образования большинства задуговых бассейнов).

Эти закономерности можно использовать для объяснения Курильской изотопной аномалии (рис. 5). Уменьшение изотопных составов вулканитов при движении от Южной оконечности Камчатки к центральной части дуги и ее тыловой зоны следствие перехода от одного «трека» (состав более древней астеносферы) к другому, отражающему изотопные характеристики вновь образующейся «новой» астеносферы.

Вторичное возрастание Sr-изотопных составов при переходе к острову Хоккайдо – обратный переход к «треку» «старой астеносферы» с учетом закономерного широтного возрастания этой характеристики (геоцентрическая зональность).

Заключение

Предлагается, таким образом, альтернативный вариант интерпретации известной изотопной зональности на Курилах, при котором нет надобности обращения к процессам коровой контаминации. С учетом всего сказанного, подобный вариант объяснения можно применить при анализе изотопной зональности на траверсе: окраинный бассейн – континентальная окраина (или стабилизированный участок островодужной системы) для любого региона Тихоокеанской окраины. Например, анализ характера изменения изотопно-геохимических характеристик при переходе от вулканов Ключевской и Шивелуч к вулканам Начикинский и Хайлюля (в сторону Берингоморской котловины) привел некоторых исследователей [20] к выводу об участии астеносферной мантии недавно активного Командорского бассейна в процессе магмообразования под северной частью Центрально-Камчатской депрессии. Но это лишь частный случай этой глобальной закономерности.

Работа проводилась при поддержке грантов ДВО РАН № 06-III-A-08-328 и № 06-I-III-074

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Авдейко Г.П., Антонов А.Ю., Волюнец О.Н. и др.* Подводный вулканизм и зональность Курильской островной дуги. М.: Наука, 1992. 528 с.
2. *Волюнец О.Н., Авдейко Г.П., Виноградов В.И. и др.* Изотопная зональность в четвертичных лавах Курильской островной дуги // Тихоокеанская геология. 1988. № 1. С. 19-27
3. *Голубева Э.Д.* Геохимия и петрология толеитовых базальтов провинций Тихого океана: Дисс... докт. геол.-мин. наук. Владивосток. 2004. 217 с.
4. *Журавлев Д.З., Цветков А.А., Журавлев А.З. и др.* Изотопный состав неодима и стронция в четвертичных вулканитах Курильской островной дуги в связи с проблемой генезиса островодужных магм // Эволюция системы кора-мантия. М.: Наука, 1986. С. 62-78
5. *Покровский Б.Г.* Коровая контаминация мантийных магм по данным изотопной геохимии. М.: Наука, 2000. 227 с.
6. *Рассказов С.В., Саранина Е.В., Демонтерева Е.И., и др.* Мантийные компоненты позднекайнозойских вулканических пород Восточного Саяна (по изотопам Pb, Sr, и Nd) // Геология и геофизика. 2002. Т. 43. № 12. С. 1065-1079.

7. Barry T.L., Saunders A.D., Kempton P.D., et al. Petrogenesis of Cenozoic Basalts from Mongolia: Evidence for the Role of Asthenospheric versus Metasomatized Lithospheric Mantle Sources // *J. Petrol.* 2003. V.44 (1). P. 55-91.
8. Basu A.R., Junwen W., Wankang H. et al. Major element, REE, and Pb, Nd and Sr isotopic geochemistry of Cenozoic volcanic rocks of eastern China: implications for their origin from suboceanic-type mantle reservoirs // *Earth Planet. Sci. Lett.* 1991. V.105. P.149-169.
9. Chung S-L., Jahn B-M., Chen S-J., et al. Miocene basalts in northwestern Taiwan: Evidence for EM-type mantle sources in the continental lithosphere // *Geochim. Cosmochim. Acta.* 1995 V. 59. N. 3. P. 549-555.
10. Davies G.R., Stolz A.J., Mahotkin L.L., et al. Trace element and Sr-Pb-Nd-Hf isotope evidence for Ancient, Fluid-Dominated Enrichment of the Source of Aldan shield Lamproites // *J. Petrol.* 2006. V. 47 (6). P. 1119-1146.
11. Ding L., Kapp P., Zhong D. Cenozoic Volcanism in Tibet: Evidence for a Transition from Oceanic to Continental Subduction. // *J. Petrol.* 2003. V. 44 (10). P.1833-1865.
12. Dupre B. and Allegre C.J. Pb-Sr isotope variation in Indian Ocean basalts and mixing phenomena // *Nature.* 1983. V. 303 P. 142-146.
13. Guo Z., Wilson M., Liu J., et al. Post-collisional, Potassic and Ultrapotassic Magmatism of the Northern Tibetan Plateau: Constraints on Characteristics of the Mantle Source, Geodynamic Setting and Uplift Mechanisms // *J. Petrol.* 2005. V.46 (1). P. 33-78.
14. Guo Z., Hertogen J., Liu J., et al. Potassic Magmatism in Western Sichuan and Yunnan Provinces, SE Tibet, China: Petrological and Geochemical Constraints on Petrogenesis // *J. Petrol.* 2006. V.47 (6). P. 1177-122
15. Hart S. R. A large-scale isotope anomaly in the Southern Hemisphere mantle // *Nature.* 1984. V.309. P. 753-757.
16. Hart S. R. Heterogeneous mantle domains: signatures, genesis and mixing chronologies // *Earth Planet. Sci. Lett.* 1988. V. 90. P.273-297.
17. Larson. Latest pulse of Earth: Evidence for a mid-Cretaceous superplume. // *Geology.* 1991, V. 19. P. 547-550
18. Lassiter J.C. and De Paolo D.J. Isotopic evolution of Mauna Kea volcano: Results from the initial phase of the Hawaii Scientific Drilling Project // *J. Geoph. Research*, 1996, V. 101 N. B5. P. 11769-11780
19. Peng Z.C., Zartman R.E., Futa K., et al. Pb-, Sr- and Nd-isotopic systematics and chemical characteristics of Cenozoic basalts, eastern China // *Chem. Geol. (Isotope Geoscience Section).* 1986. V. 59. P. 3-33.
20. Portnyagin M., Hoernle K., Avdeiko G., et al. Transition from arc to oceanic magmatism at the Kamchatka-Aleutian junction // *Geology.* 2005. V. 33. N. 1. P. 25-28.
21. Regelous M., Hofmann A.W., Abouchami W. Et al. Geochemistry of Lavas from the Emperor Seamounts, and the Geochemical Evolution of Hawaiian Magmatism from 85 to 42 Ma // *J. Petrology.* 2003, V 44 (1). P. 113-140
22. Song Y., Frey F.A., Zhi X. Isotopic characteristics of Hannuoba basalts, eastern China: implications for their Petrogenesis and the composition of subcontinental mantle // *Chem. Geol.* 1990. V.85. P.35-52.
23. Tatsumoto M., Basu A.R., Huang W., et al. Sr, Nd and Pb isotopes of Ultramafic xenoliths in volcanic rocks of eastern China: Enriched components EMI and EMII in subcontinental lithosphere // *Earth Planet. Sci. Lett.* 1992. V. 113. P.107-128.
24. Turner S., Arnaud N., Liu J., et al. Post-collision, Shoshonitic Volcanism on the Tibetan Plateau: Implications for Convective Thinning of Lithosphere and the Source of Ocean Island Basalts // *J. Petrol.* 1996. V. 37 (1). P. 45-71.
25. Volynets O.N. Geochemical Types, petrology and genesis of Late Cenozoic volcanic rocks from the Kurile-Kamchatka island-arc system // *Intern. Geol. Rev.* 1994. V. 36. N. 4. P. 373-405
26. Wang K-L., Chung S-L., O'Reilly S., et al. Geochemical Constraints for the Genesis of Post-collisional Magmatism and the Geodynamic Evolution of the Northern Taiwan Region // *J. Petrol.* 2004. V.45. (5). P. 975-1011.
27. West H.B. and Leeman W.P. Isotopic evolution of lavas from Haleakala Crater, Hawaii // *Earth Planet. Sci. Lett.* 1987. V.84. P. 211-225.

28. Zou H., Zindler A., Xu X., et al. Major, trace element, and Nd, Sr, and Pb isotope studies of Cenozoic basalts in SE China: mantle sources, regional variations, and tectonic significance // Chem. Geol. 2000. V.171. P. 33-47.

SR-ISOTOPE ANOMALY ON THE KURILE ISLANDS: POSSIBLE WAYS OF AN EXPLANATION

A.V. Koloskov

*Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683006
e-mail: kolosav@kscnet.ru*

The known Sr-isotope anomaly observed on the Kurile Islands (minimal values of $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratio in the central part of the arch and its increase to the south and north) is unlikely a consequence of contamination of initial melts by crustal material. This anomaly reflects heterogeneity of asthenospheric source in the profile lying through Southern Kamchatka – the Kurile Islands and Hokkaido Island.