

УДК 551.2

## “ДИФфуЗИОННАЯ” ГРАНИЦА ИЗОТОПНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ ИНДИЙСКОГО И ТИХООКЕАНСКОГО MORB-ТИПОВ ПОД КАМЧАТКОЙ

М. Ю. Давыдова\*, Ю. А. Мартынов

Представлено академиком РАН А.И. Ханчуком 30.06.2017 г.

Поступило 10.07.2017 г.

Зоны конвергенции литосферных плит в СЗ Пацифике являются границами двух основных изотопных доменов Земли — индийского и тихоокеанского типов MORB, разделённых между собой холодной и плотной океанической литосферой. Такая конфигурация ограничивает возможность их взаимодействия особыми геодинамическими условиями — влиянием плюмовых источников или повышенной проницаемостью океанической плиты, с внедрением в субконтинентальную надсубдукционную мантию океанической астеносферы. Последний механизм реконструируется в Центрально-Камчатской депрессии на основании комплекса геологических, геохимических и высокоточных свинцовых изотопных данных. Влияние океанической астеносферы на магматические процессы в зонах конвергенции океанических и континентальных литосферных плит — слабо изученное, но не уникальное явление, которое необходимо учитывать при геодинамических реконструкциях и создании новых более реалистичных моделей формирования ювенильной континентальной коры.

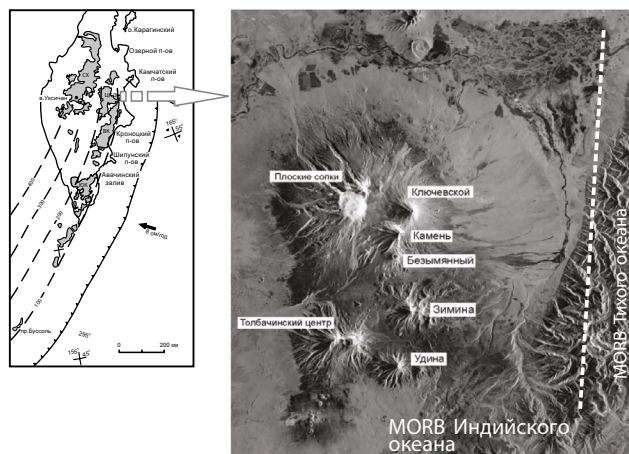
**Ключевые слова:** зоны конвергенции, Камчатка, магматизм, микроэлементы, свинцовые изотопы, океаническая астеносфера.

**DOI:** <https://doi.org/10.31857/S0869-56524866691-694>

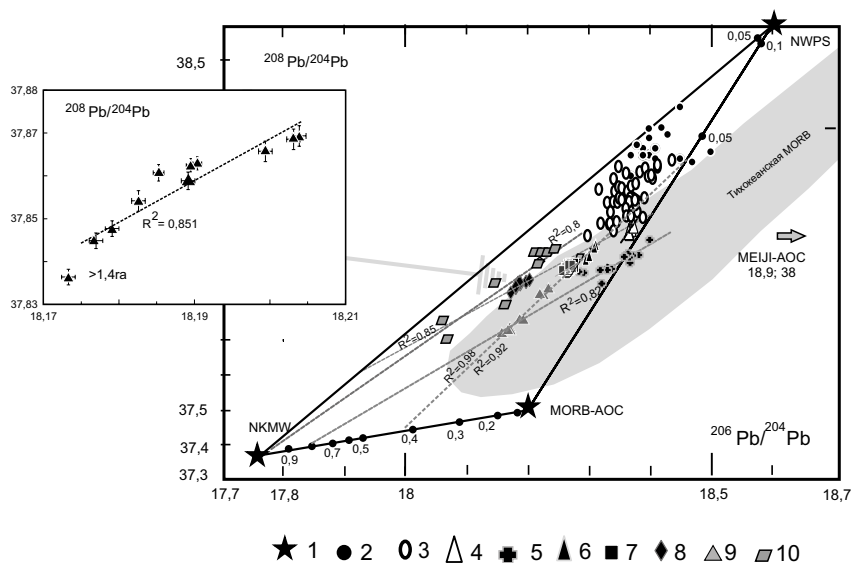
Зоны конвергенции литосферных плит в СЗ Пацифике одновременно являются границами двух основных изотопных доменов Земли — индийского и тихоокеанского MORB-типов. Такая конфигурация, предполагающая разделяющую холодную океаническую литосферу, должна ограничивать возможность их взаимодействия. Переходные или “диффузионные” границы между ними зафиксированы лишь на западе и юго-западе Тихого океана в зоне влияния плюмовых источников [1]. В данной статье на примере Камчатки рассматривается другой тип диффузионной границы, формирующийся в зоне конвергенции литосферных плит при активном астеносферном диапиризмe.

Современный вулканизм Камчатки связан с погружением под континент древней (~80–90 млн лет) и холодной [2] Тихоокеанской плиты со скоростью ~80 мм/год (рис. 1). Глубина до поверхности слэба под вулканическим фронтом оценивается в 100 км; угол наклона варьируется от 55° на юге полуострова до 25° вблизи северной границы Тихоокеанской плиты [2 и др.]. Выплаживание слэба сопровождается усложнением вулканической структуры полуострова, связанным с формированием Центрально-Камчатской депрессии (ЦКД), занимающей нетипичное для островных дуг промежуточное положение

между фронтальной (Восточный вулканический пояс) и тыловой (Срединный хребет) зонами. Для этой структуры характерны преимущественно базальтовый состав излившихся пород, их повышенная щёлочность, и, что особенно важно, аномально высокая вулканическая активность. Средний годовой объём излившихся продуктов (~0,042 км<sup>3</sup>/год) в ЦКД на порядок превышает таковой для островодужных вулканов (0,002–0,005 км<sup>3</sup>/год) и сопоставим с объёмом излившихся магм гавайских щитовых вулканов (0,1–0,15 км<sup>3</sup>/год), развивающихся над горячем полем мантии [3].



**Рис. 1.** Схематичная геологическая карта Камчатского полуострова (врезка) и геоморфологическая карта Ключевской группы вулканов. Пунктирной линией условно показана граница изотопных доменов MORB Тихого и Индийского океанов.



**Рис. 2.** Изотопный состав Pb в разновозрастных вулканитах Камчатки: 1 – модельные конечные члены свинцовой изотопной системы по [4]; 2, 3 – надсубдукционные вулканиты Курильской островной дуги (2) и Восточного вулканического пояса Камчатки (3); 4–8 – базальты и андезибазальты вулканических центров Карымского (4), Шивелуч (5), Ключевского (6), Безымянного (7), Толбачик (8); 9 – плиоценовые адакиты ЦКД; 11 – базальты Начикинского вулкана. Для вулканических центров использовались только высокоточные свинцовые изотопные данные. На врезке в более крупном масштабе показаны вариации составов и статистический тренд базальтов Толбачинского центра [4]. Источник данных [4–7].

Несмотря на многочисленные исследования, многие вопросы магмогенезиса Камчатки остаются не прояснёнными. В данной статье некоторые из них рассматриваются на основании высокоточных свинцовых изотопных данных, чья информативность определяется принадлежностью к различным изотопным резервуарам основных магматических источников – надсубдукционной мантии, океанических осадков, базальтового слоя океанической плиты и океанической астеносферы (рис. 2).

При геохимическом моделировании в качестве конечных членов принимались: (1) средний состав осадков северной части Тихого океана (NWPS), (2) состав изменённых океанических базальтов из офиолитового комплекса Камчатки (MORB-AOC) и (3) рассчитанный состав надсубдукционной мантии (NKMW) [4]. В поле ограниченное этими компонентами попадают практически все составы голоценовых и плиоценовых вулканитов Камчатки, включая ЦКД (рис. 2).

Первые данные по свинцовой изотопии позволили отнести Камчатку к мантийному резервуару тихоокеанского MORB-типа [8]. Но изучение Nd–Hf-изотопной системы [9] и растущая база данных по Pb-изотопам не подтверждают этот вывод. Составы надсубдукционных вулканитов Восточного вулканического пояса (ВК) хотя и смещены в область более низких значений  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  по сравне-

нию с лавами Курильских островов, остаются в области значений, типичных для MORB Индийского океана (рис. 2). Аномально низкими концентрациями радиогенного Pb отличаются только вулканиты ЦКД, что подтверждает уникальность этой структуры.

Высокоточные свинцовые изотопные данные позволяют реконструировать два типа мантийной гетерогенности. Первый, связанный с субдукционными процессами, проявляется в небольших, но статистически значимых вариациях изотопных составов в пределах локальных вулканических центрах. Во всех случаях они описываются линейными трендами с высокими коэффициентами корреляции ( $R^2=0,8–0,98$ ) (рис. 2, врезка), свидетельствующими о вкладе в магмогенезис до 10% океанического осадка. Близкая пропорция (<5%) была рассчитана для других островных дуг, в том числе Курильской [5], что свидетельствует о сходных процессах магмогенерации в различных субдукционных системах.

Более масштабный тип мантийной неоднородности, проявляется при сопоставлении однотипных пород в вулканических центрах Ключевской группы вулканов. Впервые петрологически описанная в работе [10] она отчетливо выражена и в свинцовых изотопных данных. Продолжение описанных выше линейных трендов до пересечения линии смещения

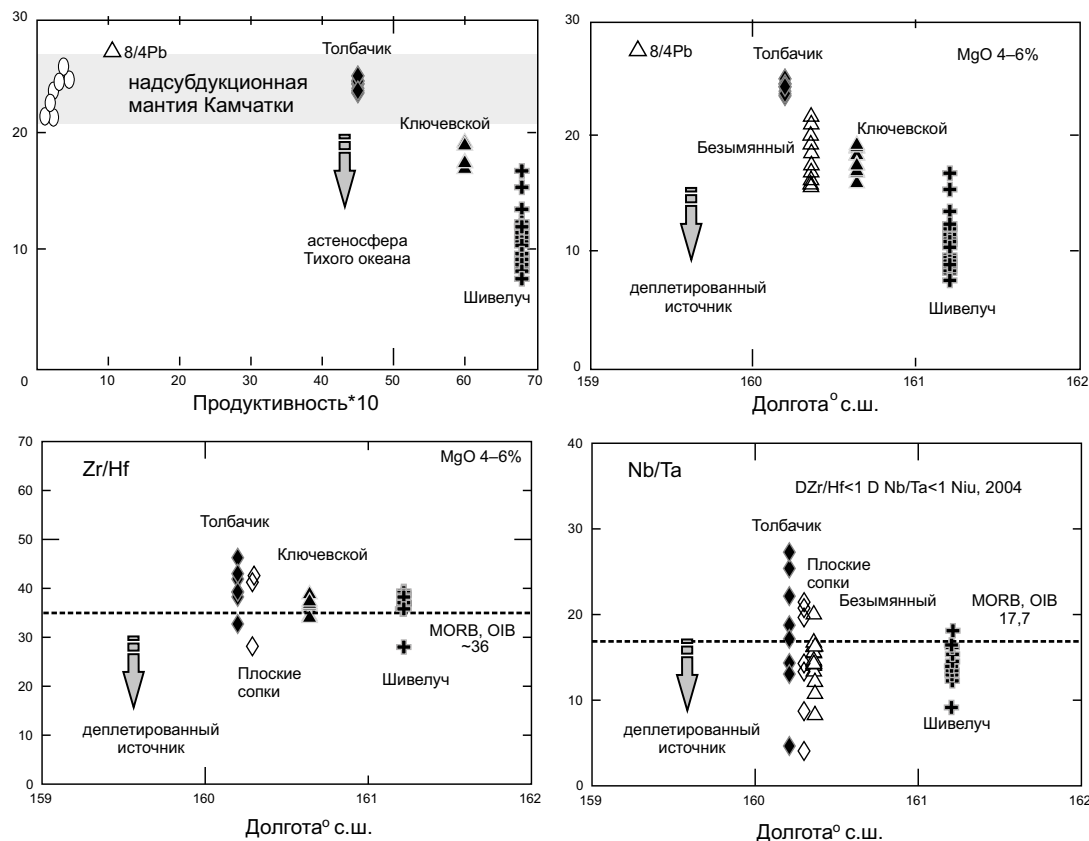


Рис. 3. Корреляционная зависимость составов базальтов Ключевской группы вулканов от продуктивности вулканических центров и географической локализации. Продуктивность по [11].

NKMW и MORB-AOC (рис. 2) свидетельствует о значительных вариациях вклада MORB-AOC-компонента в магмогенезис — от практически нулевого для Толбачинского центра до 65% — для вулканов Ключевской и Шивелуч. При этом два последних вулкана отличаются наибольшей продуктивностью в Ключевской группе вулканов (рис. 3). Таким образом, здесь, хотя и в меньшем масштабе, прослеживается та же закономерность, что и ранее описанная для ЦКД в целом.

В работе [12] аномальная вулканическая продуктивность вулканов ЦКД рассматривалась как следствие высокого флюидного потока, связанного с дегидратацией океанической коры повышенной мощности в зоне погружения гайота Мейджи. Такая модель позволяет объяснить и низкие значения  $\Delta 8/4Pb$  в породах, поскольку, согласно расчётам [13], до 70% Pb в зонах субдукции контролируется флюидной фазой. Но такой модели противоречит отсутствие признаков влияния Meiji-AOC-изотопного компонента ( $^{206}Pb/^{204}Pb = 18,9$ ) на состав вулканических пород. Кроме того, изменения  $\Delta 8/4Pb$  в базальтах Ключевской группы положительно коррелируют с отношениями консервативных HFSE

(Nb/Ta, Zr/Hf) (рис. 3), что даёт основание предполагать изменение состава мантийного источника. Таким образом, свинцовые изотопные данные и микроэлементный состав подтверждают модель, предусматривающую изменение термальной структуры надсубдукционной мантии в результате астеносферного диапиризма вдоль северной границы Тихоокеанской плиты [4] или в зонах разрыва слэба тектоническими процессами [14].

Процессы, описанные в данной статье, не являются уникальными для зон конвергенции океанических и континентальных плит [15], и их следует учитывать при построении моделей формирования ювенильной континентальной коры.

**Благодарности.** Авторы искренне признательны М.В. Портнягину за обсуждение и конструктивную критику, способствовавшие улучшению качества данной статьи.

**Источник финансирования.** Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ № 16-35-00138 мол\_а и проекта ДВО РАН № 15-I-2-042.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Miyazaki T., Kimura J.-I., Senda R., Vaglarov B.S., Chang Q., Takahashi T., Hirahara Y., Hauff F., Hayasaka Y., Sano S., Shimoda G., Ishizuka O., Kawabata H., Hirano N., Machida S, Ishii T., Tani K., Yoshida T. // *Geochem. Geophys. Geosyst.* 2015. V. 16. DOI: 10.1002/2015GC005911.
2. Gorbatov A., Kostoglodov V., Suárez G., Gordeev E. // *J. of Geophys. Res.* 1997. V. 102. № B8. P. 17883–17898.
3. Auer S., Bindeman I., Wallace P., Ponomareva V., Portnyagin M. // *Contribs. Mineral. and Petrol.* 2008. V. 157. № 2. P. 209–230.
4. Portnyagin M., Duggen S., Hauff F., Mironov N., Bindeman I., Thirlwal M., Hoernle K. // *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 2015. V. 307. P. 133–155.
5. Мартынов Ю.А., Ханчук А.И., Кимура Дж.-И., Рыбин А.В., Мартынов А.Ю. // *Петрология.* 2010. Т. 18. № 5. С. 1–25.
6. Перепелов А.Б. Кайнозойский магматизм Камчатки на этапах смены геодинамических обстановок. Автореф. дис. д-ра геол.-минерал. наук. Иркутск. 2014. 41 с.
7. Kayazar T.M., Nelson B.K., Bachmann O., Bauer A.M., Izbekov P.E. // *Contribs. Mineral. and Petrol.* 2014. V. 168. P. 1067. DOI: 10.1007/s00410-014-1067-6
8. Kersting A.B., Arculus R.J. // *J. Petrol.* 1994. V. 35. № 1. P. 1–41.
9. Münker C., Worner G., Yogodzinski G., Churikova T. // *Earth and Planet. Sci. Lett.* 2004. V. 24. P. 275–293.
10. Portnyagin M., Bindeman I., Hoernle K., Hauff F. // *Volcanism and Subduction: The Kamchatka Region // Geophys. Monograph Ser.* V. 172. P. 199–239.
11. Поляк Б.Г., Мелекесцев И.В. // *Вулканоология и сейсмология.* 1981. № 5. С. 22–37.
12. Davies J.H. // *Nature.* 2002. V. 418. P. 736–737.
13. Straub S.M., Goldstein S.L., Class C., et al. // *Nature Geoscience.* V. 2. 2009. DOI: 10.1038/NNGEO471
14. Ханчук А.И., Иванов В.В. // *Геология и геофизика.* 1999. Т. 40. № 11. С. 1635–1645.
15. Martynov Yu.A., Khanchuk A.I., Grebennikov A.V., Chashchin A.A., Popov V.K. // *Gondwana Research.* 2017. V. 47. P. 358–371.

## “DIFFUSIVE” BORDER OF ISOTOPIC RESERVOIRS OF INDIAN AND PACIFIC MORB TYPES BENEATH KAMCHATKA

**M. Yu. Davydova, Yu. A. Martynov**

*Far Eastern Geological Institute of the Far East Branch of the Russian Academy of Sciences,  
Vladivostok, Russian Federation*

Presented by Academician of the RAS A.I. Khanchuk June 30, 2017

Received July 10, 2017

The convergence zones of lithospheric plates in the Northwest Pacific are the boundaries of the two main isotopic domains of the Earth — the Indian and Pacific MORB types, separated by cold oceanic lithosphere. This configuration limits of their interaction by special geodynamic environments — the influence of deep plume sources or the distraction of the subducted slab and intrusion of the oceanic asthenosphere into the subcontinental mantle wedge. The latter mechanism is reconstructed in the Central Kamchatka Depression on the basis of geological, geochemical, and high-precision (double-spike) lead isotopic data. The role of the oceanic asthenosphere in magma generation in the zones of convergence of oceanic and continental lithospheres is a poorly studied but not unique phenomenon that must be considered under geodynamic reconstructions and the creation of new, more realistic models of the juvenile continental crust formation

*Keywords:* convergence zones, Kamchatka, magmatism, trace elements, lead isotopes, oceanic asthenosphere.