

# ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ КИСЛОРОДА В МИОЦЕН-ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ПОРОДАХ СРЕДИННОГО ХРЕБТА КАМЧАТКИ И СОСТАВ ИСТОЧНИКОВ МАГМ

**Анна Волынец<sup>1</sup>, Gerhard Woerner<sup>2</sup>, Rheinhold Przybilla<sup>2</sup>**

*1 Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, Россия, e-mail: a.volynets@gmail.com*

*2 Geowissenschaftliches Zentrum, Georg-August-Universitaet Goettingen, Germany, e-mail: gwoerner@gwdg.de*

Опубликованные исследования изотопного состава кислорода в вулканических породах характеризуют Камчатку как регион с исключительно широкими вариациями  $\delta^{18}\text{O}$  [Auer et al., 2009; Portnyagin et al., 2007; Bindeman et al., 2004, 2005; Dorendorf et al., 2000; Покровский и Волынец, 1999; и др.]. В качестве источника тяжелых изотопов кислорода рассматривают флюид, отделяющийся от поддвигаемой плиты [Dorendorf et al., 2000], плавление субдуцируемого осадка и/или контаминацию корового материала, в зависимости от других петрологических характеристик породы [Bindeman et al., 2005]; также были выдвинуты предположения о существовании родительских расплавов с изначально высокими значениями  $\delta^{18}\text{O} > 6.5\text{‰}$ , возникшими в результате плавления утолщенной нижней коры [Bindeman et al., 2005]; наконец, наличие пород с самыми высокими из всех известных в базальтах островных дуг значениями  $\delta^{18}\text{O}$  на вулкане Ключевском было объяснено Auer с соавторами как следствие ассимиляции гидротермально-измененной части литосферной мантии, обогатившейся тяжелым кислородом в период, когда в этой части Камчатки находилась преддуговая область соответствующей зоны субдукции, до миграции фронта дуги [Auer et al., 2009]. В настоящей работе представлены данные по изотопному составу кислорода в породах Срединного хребта. В исследование были включены четвертичные породы вулкана Алней, Седанкинского дола, Кекукнайской зоны моногенного вулканизма, моногенные конуса р.Правая Озерная, Тобельцен и Ныльгимелкин, а также миоцен-плиоценовые платобазальты р.Правая и Левая Озерная, Двухъюрточного плато и хребта Крюки. Для анализа были отобраны чистые от включений расплава и шпинели зерна оливина.

Все включенные в настоящее исследование породы были детально охарактеризованы по составу макро-, микроэлементов и изотопному составу стронция, неодима и свинца в работе [Volynets et al., 2010]. Авторы считают, что миоцен-плиоценовые платобазальты Срединного хребта (СХ) с типично-островодужным распределением микроэлементов были образованы в процессе субдукции Тихоокеанской плиты в неогене (когда СХ представлял собой фронтальную часть зоны субдукции) в результате высоких степеней флюид-индуцированного плавления (оценки степени плавления - более 20%, количество флюида - 1.5-4%). Плейстоцен-голоценовые породы стратовулканов и моногенных лавовых полей с гибридным типом распределения микроэлементов (сочетающим в себе обогащение всеми HFSE и повышенные значения отношений флюид-мобильных элементов к неподвижным во флюиде элементам) образовались в результате более низких степеней преимущественно декомпрессионного плавления (8-10%) с меньшим участием флюидного компонента (<2%) в условиях тыловой части зоны субдукции.

Значения  $\delta^{18}\text{O}$ , измеренные в оливинах пород СХ, колеблются от 5.47 до 7.78 ‰, что соответствует рассчитанным значениям 6.17-8.48 ‰ в магме ( $\delta^{18}\text{O}_{\text{melt}} = \delta^{18}\text{O}_{\text{ol}} + 0.7$ ), что значительно выше мантийных значений ( $\delta^{18}\text{O}_{\text{ol}} \sim 5-5.5\text{‰}$ ). Корреляции с возрастом исследуемых пород отсутствуют - оливины с тяжелым кислородом присутствуют как в молодых, так и в более древних породах; также не наблюдается никакой связи с положением вулканических центров относительно современного фронта вулканической дуги, и пространственным (север-юг) положением их в Срединном хребте. Все включенные в исследование породы характеризуются мантийными значениями  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  (0.7028-0.70336),

$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  (0,51291-0,51310) и нерадиоогенным составом свинца (например,  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} \sim 18.2$ ) [Volynets et al., 2010]. При сравнении полученных данных по изотопам кислорода с другими изотопными системами обнаруживаются некоторые закономерности. Так,  $\delta^{18}\text{O}$  в породах всех возрастов негативно коррелирует с изотопами неодима. Неогеновые плато-базальты имеют слабовыраженную позитивную корреляцию с изотопами свинца  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ; на диаграмме  $\delta^{18}\text{O}$  vs.  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  они также показывают слабую тенденцию к позитивной корреляции. В то же время, четвертичные породы имеют выраженную отрицательную корреляцию изотопов кислорода с изотопами свинца и не показывают никаких зависимостей от изотопов стронция. При сравнении изотопного состава кислорода с микроэлементными отношениями выявлена четкая позитивная зависимость величины  $\delta^{18}\text{O}$  в неогеновых породах от величины отношений таких элементов, как Ba/Th, Ba/Nb, Sr/Yb, U/Nb, отражающих степень участия островодужного флюида в генезисе пород. Четвертичные породы никаких зависимостей с этими отношениями не обнаруживают. Количественные расчеты, проведенные нами с целью моделирования смешения различных источников при генезисе магм, ясно показывают, что субдуцированные осадки, равно как и ассимилированная кора, не могут служить объяснением для появления столь высоких значений изотопов кислорода в изученных породах. В работе [Auer et al., 2009] по Ключевскому вулкану, где также были обнаружены высокие значения  $\delta^{18}\text{O}$ , предлагается сценарий предварительного обогащения преддуговой мантии тяжелым кислородом, до миграции фронта дуги. Возможно, что тяжелый кислород в неогеновых платобазальтах Срединного хребта Камчатки также связан с подобными процессами, что, однако, требует дальнейшего объяснения возможности аккумулировать большие количества флюида в мантии без ее плавления.

Наиболее интригующим результатом настоящего исследования, пожалуй, является положительная корреляция  $\delta^{18}\text{O}$  в четвертичных породах с такими микроэлементными отношениями, как Ta/Yb, Zr/Y, повышение значений которых в породах традиционно связывается с обогащенностью мантии высокозарядными элементами (и успешно моделируется для изученных пород путем добавления в источник мантии OIB-типа [Volynets et al., 2010]). В работе [Harmon and Hoefs, 1995] упоминается, что щелочные породы OIB имеют тенденцию к обогащению тяжелым кислородом по сравнению с толеитовыми OIB, а [Покровский и Волинец, 1999] отмечают наличие положительной корреляции изотопов кислорода в щелочных породах с содержанием калия, однако спектр вариаций  $\delta^{18}\text{O}$  в этих породах, опубликованный в литературе, на порядок меньше, чем полученные нами результаты для СХ.

Таким образом, наличие высоких значений  $\delta^{18}\text{O}$  в породах двух возрастных групп мы связываем с двумя различными сценариями. Неогеновые плато-базальты Срединного хребта появились в результате смешения деплетированной мантии MORB-типа с островодужным флюидом, несущим в себе тяжелый кислород (не исключена также возможность ассимиляции некоторого количества корового материала). Источник магм четвертичных вулканических пород СХ должен соответствовать нескольким характеристикам: 1) он должен быть основным по составу; 2) быть обогащенным высокозарядными элементами; и 3) нести в себе тяжелый кислород. Появление подобной характерной подписи может быть связано как с предварительной переработкой мантийного клина островодужными флюидами с тяжелым кислородом, так и с существованием дополнительного источника тяжелого кислорода (со значениями  $\delta^{18}\text{O}$  порядка  $\sim 10-15\text{‰}$ ), возникшего в результате ассимиляции переработанного древнего субдуцированного материала.

Работа выполнена при поддержке грантов ДВО РАН 12-III-A-08-165, DAAD A/04/00138, DAAD A/10/08073, РИ-112/001/610 «Ведущие научные школы», РФФИ- 10-05-01122-а.

Покровский Б.Г., Волинец О.Н. Геохимия изотопов кислорода в эффузивах Курило-Камчатской дуги. // Петрология, 1999. Т. 7, N3. С. 227-251.

- Auer S., Bindeman I., Wallace P., Ponomareva V., Portnyagin M. The origin of hydrous, high- $\delta^{18}\text{O}$  voluminous volcanism: diverse oxygen isotope values and high magmatic water contents within the volcanic record of Klyuchevskoy volcano, Kamchatka, Russia // Contributions to mineralogy and petrology, 2009, Vol.157, № 2, p. 209-230
- Bindeman I.N., Ponomareva V.V., Bailey J.C., Valley J.W. Volcanic arc of Kamchatka: a province with high-  $\delta^{18}\text{O}$  magma sources and large scale  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  depletion of the upper crust // Geochimica et Cosmochimica Acta 2004, vol. 68, p. 841- 865
- Bindeman I.N., Eiler J.M., Yogodzinski G.M., Tatsumi Y., Sterne C.R., Grove T.L., Portnyagin M., Hoernle K., Danyushevsky L.V. Oxygen isotope evidence for slab melting in modern and ancient subduction zones // Earth and Planetary Science Letters, 2005, vol. 235, p. 480- 496
- Dorendorf F., Wiechert U., Wörner G. Hydrated sub-arc mantle: a source for the Kluchevskoy volcano, Kamchatka/Russia // Earth and Planetary Science Letters, 2000, vol. 175, 69-86.
- Harmon R. and Hoefs J. Oxygen isotope heterogeneity of the mantle deduced from global  $^{18}\text{O}$  systematics of basalts from different geotectonic settings // Contributions to mineralogy and petrology, 1995, vol. 120, № 1, p.95-114
- Portnyagin M., Bindeman I., Hoernle K., Hauff F. Geochemistry of primitive lavas of the Central Kamchatka Depression : magma generation at the edge of the Pacific Plate // Geophysical monograph, 2007, vol. 172, p. 199-239
- Volynets A., Churikova T., Wörner G., Gordeychik B., Layer P. Mafic Late Miocene - Quaternary volcanic rocks in the Kamchatka back arc region: implications for subduction geometry and slab history at the Pacific-Aleutian junction // Contributions to mineralogy and petrology, 2010, vol. 159, p. 659–687