

## БЕРИНГИЙСКАЯ ПРОВИНЦИЯ ВНУТРИПЛИТНОГО ЩЕЛОЧНОБАЗАЛЬТОВОГО ВУЛКАНИЗМА

В.В. Акинин<sup>1</sup>, Т. Нтафлос<sup>2</sup>, В.В. Леонова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт ДВО РАН, Магадан,  
e-mail: akinin@neisri.ru

<sup>2</sup>Департамент литосферных исследований, Венский Университет, Вена, Австрия

Берингийская провинция (БП) позднекайнозойского щелочнобазальтового вулканизма включает проявления внутриплитного мафического вулканизма на островах Берингова моря и прилегающих участках суши на Чукотке и Аляске [Moll-Stulcup, 1994; Акинин, Апт, 1994]. По объему извергнутых щелочнобазальтовых магм – это наиболее масштабное магматическое событие в Арктике за последние 10 млн. лет. По типу извержений большинство проявлений вулканизма относится к извержениям центрального типа. Как правило это небольшие щитовые вулканы с постройкой центрального типа и отходящими потоками лав протяженностью в первые десятки километров. Нередки изолированные остатки неков, даек и шлаковых конусов, в некоторых проявлениях на Аляске (Дэвил Маунтин) известны относительно крупные маары и связанные с ними тефроиды. Во всех исследуемых проявлениях извержения не носили катастрофического характера, реконструируются спокойные излияния лав, что обычно для низковязких магм основного состава.

Пространственное положение внутриплитного вулканизма БП сразу за Алеутской островной дугой является примечательным и предполагает, по мнению некоторых исследователей, возможное влияние молодых субдукционных процессов на природу хотя бы части проявлений. В целом, вулканизм БП может быть результатом различных процессов, среди которых: 1) задуговое растяжение, компенсирующее субдукцию в Алеутской дуге; 2) декомпрессия вследствие развития континентального рифта (ранее предполагалось для БП: [Turner, Swanson, 1981; Mackey et al., 1997]); 3) термальная аномалия в мантии по типу горячей точки или плюма [Акинин, Апт, 1997]. Для предметного обсуждения каждой концепции необходим полный набор петрологических и изотопно-геохронологических данных для наиболее значимых проявлений позднекайнозойского вулканизма в БП. По совокупности геолого-геофизических данных (главным образом сейсмологических данных) в пределах акватории Берингова моря выделяется Берингоморский блок (или микроплита), границы которого следятся по эпицентрам многочисленных землетрясений [Mackey et al., 1997]. Под воздействием давления субдуцирующей под Алеутскую дугу Тихоокеанской плиты Берингоморский блок смещается к западу и испытывает вращение по часовой стрелке. При этом, во фронтальной части блока в пределах Корякского нагорья сформировалась система взбросов, надвигов и правых сдвигов, а в его тылу (Западная Аляска-Восточная Чукотка) возникла зона растяжения в северо-восточном-юго-западном направлении, называемом Берингоморским рифтом [Mackey et al., 1997]. Ранее [Turner, Swanson, 1981], континентальная рифтовая структура уже выделялась на п-ве Сьюард и прилегающем участке Берингова моря на основе комплекса данных (особенности топографии, локальные повышенные концентрации газообразного гелия в почвах, геотермальные аномалии, проявления молодого базальтового вулканизма, развитие обширных позднечетвертичных грабен, высокий уровень сейсмичности в центральной части п-ва Сьюард). Данные по сейсмической томографии указывают на развитие низкоскоростного разуплотненного мантийного материала под шельфом Берингова моря до глубины около 400 км [Gorbatov et al., 2000], такая особенность глубинного строения характерна для кайнозойских вулканических провинций юго-востока Азии в целом. Выразительно, что именно под областью выделяемого Берингоморского рифта реконструируется область высокоскоростной аномалии. Суммируя все данные, можно заключить, что рифтовая модель позднеэоценового развития может быть предложена только для локальной области в северной части БП. Более того, мы полагаем, что уместнее говорить о предрифтовой ситуации, т.к. классических геолого-геофизических признаков линейных структур не выявлено, проявления новейшего вулканизма не трассируют осевую часть гипотетического рифта, а значения теплового потока не являются аномально повышенными. Геодинамическая обстановка задугового растяжения для БП не исключается, однако геохимические признаки базальтов в провинции не позволяют относить их к типичным

задуговым (N-MORB островодужные базальты и толеиты). Напротив, состав базальтов БП ближе по распределению главных и примесных элементов к базальтам островных дуг (OIB) типа гавайских и отличается от N-MORB более обогащенными изотопными метками на уровне перекрытия для значений MORB и OIB [Moll-Stallcup, 1994; Акинин, Апт, 1997].

Наиболее интересные и объемные вулканические поля БП - Энмеленские вулканы на Чукотском п-ве (как самые недосыщенные и богатые включениями мантийных ксенолитов), вулканическое поле Кукулиджит на о. Св. Лаврентия, щелочные базальты о.Нунивак, вулканическое поле Имурук на п-ве Сьюард (Аляска). Опубликованные датировки возраста лав провинции (K-Ag по валу) в целом показывает разброс дат от 28 млн. лет до 0.01 млн. лет, с пиком около 6 млн. лет. При этом Ag-Ag датировки, как более прецизионные, показывают несколько более узкие интервалы вулканизма.

Особый интерес представляет вулканическое поле Имурук, т.к. оно самое большое по объему извергнутых базальтов и возрастному интервалу в БП. Вулканические породы слагают потоки лав, шлаковые конусы, экструзивные купола и некки. Лавовые фации преобладают, пирокластические отложения присутствуют только как небольшие агломератовые и шлаковые конусы в составе подводных вулканических каналов. По составу различаются преобладающие по объему щелочные базальты и подчиненными им поздние толеитовые базальты и андезибазальты. По результатам наших полевых наблюдений, геохронологических и геохимических исследований в районе оз. Имурук можно выделить три цикла вулканизма. Наиболее ранний включает щелочные базальты и базаниты свиты Кугрук.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  возраст свиты 26.5 – 27.9 млн. лет [Акинин и др., 2006]. Определения проведены по мегакристу ортоклаза, возраст которого составил  $27.9 \pm 0.07$  млн. лет (1s, СКВО = 0.69,  $p = 0.6$ , 71.2% выд.  $^{39}\text{Ar}$  по 6 ступ. плато) и мегакристу амфибола, изохронный возраст которого составил  $26.50 \pm 0.63$  млн. лет (2s, 13 точек, 40/36 intercept:  $293 \pm 15$ , СКВО= 53,  $p = 0.001$ ,  $J=0.000820323 \pm 0.2\%$  1s). Полученные данные полностью согласуются с предыдущими определениями изотопного возраста K-Ag методом. Свиты Имурук и Газлинг по нашим предварительным K-Ag датировкам базальтов показывают возраст от 5 до 6 млн. лет [Акинин и др., 2006].  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  датирование этих свит ранее также показало относительно узкий интервал возраста, 5.2 – 6.1 млн. лет [Mukasa, Andronikov, 2007]. Третий, заключительный интервал вулканизма, представлен голоценовыми субщелочными базальтами потоков Лост Джим и Камиллэ (общая площадь выходов - 446 км<sup>2</sup>).  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  возраст базальтов составляет менее 0.1 млн. лет, более точные значения требуют приложения иных методов изотопного датирования. Общий минимальный объем щелочных базальтов и толеитов, излившихся в вулканическом поле Имурук и примыкающем к нему с востока поля Кэндл мы оцениваем в 474 км<sup>3</sup> (общая площадь - 9800 км<sup>2</sup> при средних минимальных мощностях свит от 10 до 50 м). Максимальная активность извержений приходится на период времени  $6 \pm 1$  млн. лет назад (формирование свит Имурук и Газлинг), когда скорость накопления вулканитов составляла около 230 м<sup>3</sup>/год.

Химический состав базальтов БП, так же как и пород щелочных серий, отличается заметным обогащением Ti, Fe и некогерентных элементов. Распределение элементов примесей в лавах такое же, как и в базальтах океанических островов, - с высоким содержанием Nb и Ta, отрицательной калиевой аномалией и пониженным содержанием Rb и Cs. Для лав характерен прямолинейный фракционированный график распределения редкоземельных элементов (REE), свойственный вулканитам океанических островов. Энмеленские вулканы занимают особое положение, т.к. их лавы наиболее основные и даже ультраосновные. Они сильно недонасыщены кремнеземом ( $\text{SiO}_2 = 38.7-44.2\%$ ), высокомагнезиальные ( $\text{Mg}/\text{Mg}+\text{Fe} > 0.6$ ), щелочные ( $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}=4.7-8.1\%$ ), высокотитанистые ( $\text{TiO}_2=2.6-5\%$ ), относительно слабо дифференцированные. Энмеленские оливиновые тефриты отличаются от меланефелинитов пониженным содержанием легких REE и повышенным - тяжелых (оливиновые тефриты -  $\text{La}_N/\text{Yb}_N = 13,2-17,3$ ;  $\text{La}_N/\text{Sm}_N = 2,41-2,65$ ; меланефелиниты -  $\text{La}_N/\text{Yb}_N = 14,3-26,4$ ;  $\text{La}_N/\text{Sm}_N = 2,58-3,38$ ). В целом, анализ вариаций примесных элементов лав БП показывает, что фракционная кристаллизация и ассимиляция не играли существенной роли в петрогенезисе исследованных вулканических серий. Моделирование частичного плавления по уравнениям динамического плавления [Zou, Reid, 2001] показало, что поздннеогеновые щелочно-базальтовые магмы БП могли генерироваться при 0.8-9% частичном плавлении деплецированного гранатового перидотита. Для такого состава источника, наваринские щелоч-

ные базальты формировались при относительно низкой степени плавления (0.8-2%), энмеленские оливиновые меланефелениты – при относительно повышенном (4.5-9%). Промежуточные значения 1.7– 4.2 % получены для щелочных базальтов свиты Кугрук в вулканическом поле Имурук на Аляске.

Распределение изотопных отношений Sr, Nd, Pb щелочных базальтов ультраосновных фойдитов провинции свидетельствует о различающемся составе мантийных источников для разных проявлений и находится на диаграммах в поле перекрытия данных для гавайских и исландских базальтов. Отношения изотопов Sr и Nd, Pb в лавах вулканического поля Имурук, о.Нунивак, Теллер, о.Св. Павла соответствуют наиболее деплетированному мантийному резервуару. Наиболее аномальные изотопные характеристики установлены в базальтах, драгированных во впадине Наварин. Отношения изотопов Sr, Nd, Pb в лавах Энмеленских вулканов варьируют относительно слабо, соответствуют деплетированному мантийному резервуару, изотопный состав которого находится на графиках в поле перекрытия данных для MORB и OIB ( $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0,513052-0,512995$ ,  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,703036-0,703297$ ,  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 17,8-18,4$  [Акинин, Апт, 1997]). Напротив, отношения радиогенных изотопов в лавах о. Св. Михаила, отчасти м. Наварин, варьируют достаточно широко, фигуративные точки изученных вулканитов располагаются на линии смешения компонентов DMM+HIMU с EM-I [Акинин и др., 2008]. Изотопный состав гелия в большинстве проанализированных образцов не выходит за пределы обычных вариаций для атмосферы ( $^3\text{He}/^4\text{He} = \text{от } 0.5 \text{ до } 8 \times 10^{-6}$ ). Однако в голоценовых субщелочных базальтах потока Лост Джим, представляющего финальные стадии в вулканическом поле Имурук на Аляске, обнаружены высокие значения, сопоставимые с плюмовыми ( $^3\text{He}/^4\text{He} = \text{до } 28.5 \times 10^{-6}$ ). При этом концентрации главных и примесных элементов, изотопных отношений Sr в целом показывают обычные для лав БП значения. Учитывая диффузный и импульсный характер проявления базальтового вулканизма в Берингской провинции, толеитовые тенденции в составе поздних молодых извержений ВПИ с нарастанием степени плавления мантийного источника и увеличением вулканической активности в голоцене мы предполагаем активизацию горячей точки в западной части п-ва Сьюард. Исследования выполнены при поддержке гранта РФФИ-АНФ 09-05-91005а, гранта ДВО РАН 09-1-П16-11 и Направления 2 Программы 16 Президиума РАН.

### Список литературы

- Акинин В.В., Апт Ю.Е.** Энмеленские вулканы (Чукотский п-ов): петрология щелочных лав и глубинных включений. Магадан. СВКНИИ ДВО РАН, 1994. 97 с.
- Акинин В.В., Апт Ю.Е.** Позднекайнозойский щелочнобазитовый вулканизм на Северо-Востоке России // Магматизм и оруденение Северо-Востока России. Магадан. СВКНИИ ДВО РАН, 1997. С. 155-175.
- Акинин В.В., Калверт А., Хоуриган Дж.** и др. Состав и эволюция щелочнобазальтовых магм вулканического поля Имурук, п-ов Сьюард, Аляска (Берингская вулканическая провинция) // Геология, география и биологическое разнообразие Северо-Востока России. Магадан. СВНИЦ. 2006. С. 44-46.
- Gorbatov A.S., Widiyantoro S., Fukao Y., Gordeev E.** Signature of remnant slabs in the North Pacific from P-wave tomography // *Geophysical Journal International*, 2000. V. 142. P. 27-36.
- Moll-Stalcup E.J.** Latest Cretaceous and Cenozoic magmatism in mainland Alaska // *The geology of North America*. Boulder, Colorado: The Geological Society of America, V.G-1. 1994. P. 589-619.
- Turner D.L., Swanson S.E.** Continental rifting - a new tectonic model for the central Seward Peninsula // *Geothermal reconnaissance survey of the central Seward Peninsula*. University of Alaska: Geophysical Institute Report UAG R-284, 1981. P. 7-36.
- Mackey K.G., Fujita K., Gunbina L.V.** et al. Seismicity of the Bering Strait region: evidence for a Bering block // *Geology*, 1997. V. 25. № 11. P. 979-982.
- Hopkins D.M.** Geology of the Imuruk Lake Area, Seward Peninsula, Alaska // *US Geological Survey Bulletin* 1141-C. 1963. P. 101.
- Mukasa S.B., Andronikov A.V.** Lithospheric mantle evolution beneath the Bering Sea volcanic Province: an isotopic and trace element study of peridotite xenoliths and their host lavas // *EOS, Trans. AGU*, 2002. V. 83. P. F1435.
- Zou H., Reid M.R.** Quantitative modeling of trace element fractionation during incongruent dynamic melting // *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2001. V. 65. № 1. P. 153-162.