

## НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ БАЗАЛЬТОВ ПЛАТО КЕРГЕЛЕН, ИНДИЙСКИЙ ОКЕАН (РЕЙСЫ ODP 120, 183)

В.Б. Курносов

Геологический институт РАН, Москва, e-mail: vic-kurnosov@rambler.ru

Внутриплитные поднятия – это гигантские структуры океанического дна. Они характеризуются своеобразной морфологией, составом магматических пород и излиянием лав как в мелководных, так и глубоководных условиях. Внутриплитные поднятия формируются в различных тектонических обстановках: (1) вдоль срединно-океанических спрединговых хребтов; (2) при внутриплитном вулканизме, возможно над мантийной горячей точкой; (3) как островные дуги вдоль конвергентных границ плит; (4) как результат подъема древней океанической коры, с проявлением синхронного вулканизма; или (5) как различные комбинации перечисленных обстановок [Vallier et al., 1981]. Такое разнообразие тектонических обстановок обуславливает вариации в химическом составе лавовых потоков и пиллоу-лав, их геохимическую специфичность по сравнению с базальтами срединно-океанических хребтов, своеобразие термальной истории, циркуляцию морской воды и флюидов в этих вулканических постройках и изменение пород в постэруптивных гидротермальных процессах [Kurnosov, Murdmaa, 1996].

Плато Кергелен – типичное внутриплитное поднятие, относящееся к Большим Магматическим Провинциям (Large Igneous Provinces – LIP's). На сегодняшний день плато Кергелен наиболее полно опробовано скважинами глубоководного бурения в рейсах ODP 120 и 183 (ODP – Ocean Drilling Program) по сравнению с другими внутриплитными поднятиями в океане. Плато находится в юго-восточном, антарктическом секторе Индийского океана и протягивается на 2300 км между 46° и 64° южной широты [Schlich et al., 1989]. Меловые базальты, слагающие плато Кергелен, по составу являются переходными между MORB и OIB. Все опробованные лавы испытали постмагматические изменения в низкотемпературных условиях.

В данной работе рассматриваются результаты изучения образцов измененных и свежих базальтов плато Кергелен, которые были отобраны из керна скважин 747C, 1136A, 1137A, 1138A и 1140A.

Точка бурения 1136 находится в южной части плато Кергелен. Скважина 1136A глубиной 161,4 м вскрыла 128,1 м осадков и 33,3 м подстилающих их базальтов, излившихся в субаэральной обстановке. Нижняя часть осадочного разреза имеет возраст от сеномана до раннего альба [Coffin et al., 2000].

Скважина 1137A пробурена на восточной окраине плато (банка Элан) на глубину 371,2 м. В интервале 219,5-371,2 м (нижние 150 м разреза) были опробованы базальтовые лавовые потоки, переслаивающиеся с осадками и вулканокластическими отложениями. Большинство лавовых потоков изливалось в субаэральных условиях [Coffin et al., 2000].

Точки бурения скважин 747 и 1138 расположены в центральной части плато Кергелен. Скважина 747C неглубокая (53,9 м) прошла через 12 лавовых потоков, разделенных базальтовыми брекчиями. Скважина 1138A достигла глубины 842,7 м, вскрыла 698 м осадков от плейстоценового до позднемелового возраста и вошла примерно на 144 м в базальтовый фундамент. Большинство встреченных вулканитов отнесено к субаэральным базальтовым “раhоеhое” и классическим “aa” лавам.

На северной оконечности плато была пробурена скважина 1140A глубиной 321,9 м. В ней опробовано 87 м пиллоу-базальтов, образовавшихся в субаквальной обстановке. С юга на север возраст базальтов уменьшается приблизительно от 120 млн лет до 35 млн лет [Coffin et al., 2000].

Базальты, изученные из скважин, пробуренных в разных частях плато Кергелен, в геохимическом отношении являются производными толеитовых расплавов, но возникших на больших глубинах, чем расплавы срединно-океанических хребтов [Артамонов, Золотарев, 2003; 2007]. Базальты плато Кергелен обогащены Ti, P, Zr, Sr и легкими РЗЭ. Только в северной части плато (скважина 1140A) базальты сформировались вероятно под влиянием двух источников, расположенных на разных глубинах [Артамонов, Золотарев, 2003; 2007]. Этот вывод сделан на основе установленных вариаций содержания Ti. Базальты с низким

содержанием Ti близки базальтам срединно-океанических хребтов. Базальты с повышенным содержанием Ti – производные более глубоко расположенных первичных расплавов.

### **Вторичные минералы**

Базальты из скважины 1136А изменены слабо, иногда достигая среднего уровня изменения. Слабо измененные базальты содержат от 0,90 до 1,58 вес.%  $H_2O^+$ . Оливин и стекло из интерстиций замещены глинистыми минералами, преимущественно смектитами. Плаггиоклаз частично затронут слоистыми силикатами. Везикулы заполнены, главным образом, смектитами. Гидрослюда, кальцит и гейландит совместно со смектитами формируют жилы. Весь набор вторичных минералов, идентифицированный в базальтах из этой скважины, отражает низкотемпературные условия их изменения.

Отдельные образцы базальтов из скважины 1137А несколько сильнее изменены, чем базальты из скважины 1136А. В них содержание  $H_2O^+$  иногда достигает 3,03 вес.%. Встречены также участки окисленных базальтов (отношение  $Fe_2O_3/FeO$  достигает 3,5). Железomagнезиальные минералы и стекло интерстиций замещены глинистыми минералами. В плаггиоклазовых фенокристаллах встречен вторичный калиевый полевой шпат (КПШ), карбонат и глинистые минералы. Плаггиоклаз из матрикса также содержит КПШ. Наиболее распространенный минерал в везикулах – смектит, часто с примесью цеолитов (клиноптилолит и гейландит). Маломощные жилки содержат смектит, кальцит, клиноптилолит и кварц как небольшую примесь. Комплекс вторичных минералов, встреченных в базальтах из 1137А, связан с низкотемпературным процессом изменения пород. При рассмотрении всего разреза базальтов не выявлена вертикальная зональность в их изменении.

Изучение базальтов из скважины 1138А показало, что их изменение варьирует от слабого уровня до относительно интенсивного. Изменениями затронута от 10% до 50% объема породы (содержание  $H_2O^+$  достигает 5 вес.%). Базальты не окислены, редко слабо окислены (отношение  $Fe_2O_3/FeO$  от 0,4 до 3). Оливин, плаггиоклаз и стекло, заполняющее интерстиции, замещены в разной степени глинистыми минералами. В отличие от других скважин, пробуренных на плато Кергелен, вторичные минералы из везикул представлены относительно широким набором цеолитов (гейландит, клиноптилолит, морденит, стилбит, анальцит, натролит, иногда встречается томсонит). Распределение вторичных минералов, как заполняющих везикулы и трещины, так и замещающих минералы-фенокристы и минералы основной массы, показывают отсутствие вертикальной зональности изменения базальтов по всему вскрытому скважиной 1138А разрезу. В то же время, в индивидуальных лавовых потоках обнаруживается внутренняя зональность, которая наиболее проявлена через развитие смектита в кровле потоков и в появлении хлорита и серпентина(?) в их центральных частях.

Скважина 747С расположена недалеко от скважины 1138А. Базальты из скважины 747С изменены в разной степени (содержание  $H_2O^+$  варьирует от 0,69 вес.% до 5,14 вес.%). Среди вторичных минералов преобладают смектиты или смектиты с хлоритом или с разбухающим хлоритом. Цеолиты были изучены из крупных везикул, а также в плаггиоклазовых фенокристаллах. Наиболее подробно цеолиты были изучены [Sevigny et al., 1992]. Он диагностировал шабазит, натролит, томсонит, мезолит, стилбит и гейландит. Температура их образования около  $120^{\circ}C$ , которая была замерена при современном формировании этих цеолитов в Исландии [Kristmannsdottir, Tomasson, 1978]. Кальцит встречен в везикулах и жилах, а также участвует в замещении порообразующих минералов. Окисление базальтов маркируется главным образом гетитом и Fe-гидроксидами.

Наименее изменены и не окислены базальты из скважины 1140А, излившиеся в относительно глубоководных условиях. Основной вторичный минерал – смектит. Он отражает низкотемпературные условия изменения пород. Цеолиты не встречены ни в одном из многочисленных изученных образцов в отличие от базальтов, излившихся в субаэральной обстановке (скважины 1136А, 1137А, 747С и, особенно, скважина 1138А). Возможно существует связь формирования цеолитов с субаэральной обстановкой излияния лав.

### **Мобильность химических элементов**

Валовый химический состав базальтов (главные элементы) был получен методом “мокрого” силикатного анализа. Малые элементы были определены рентгено-флюоресцентным методом. Содержание редкоземельных элементов (РЗЭ) получено с помощью нейтронно-активационного анализа.

При слабом изменении базальтов из скважины 1136А в них уменьшается содержание Si, Fe, Mn, Ca, Cu, Zn и Th, в то время как концентрации большинства РЗЭ слабо увеличиваются. В

базальтах с признаками окисления (окисление как наложенный процесс на предшествующие изменения в неокислительной обстановке) уменьшается содержание P, P3Э, Nb и Zr.

Привнос/вынос химических элементов при взаимодействии вода-порода в низкотемпературных условиях также был изучен для базальтов из скважины 1140А, измененных в неокислительной обстановке (по терминологии Bass, 1976: “non-oxidative” и “oxidative environments of alteration”).

В качестве репера был выбран свежий не окисленный базальт со следующими характеристиками:  $H_2O^+ = 0,74$  вес.%, отношение  $Fe_2O_3/FeO = 1,01$ , плотность =  $2,93$  г/см<sup>3</sup>). С ним был сопоставлен слабо измененный также не окисленный базальт ( $H_2O^+ = 1,40$  вес.%,  $Fe_2O_3/FeO = 0,69$ ). Сравнительный анализ этой пары показал, что при неокислительном слабом изменении проявлена тенденция к выносу из породы Cu, Y, Rb и Sr. Базальт при этом слабо обогащается Ni, V, Co, Zn и Ba.

Более сильно измененный образец базальта из скважины 747С содержит меньше Sc, V, Cu, Y, Nb, Sr и Ba, но больше Rb.

### **Заключение**

Все изученные базальты из скважин, пробуренных на плато Кергелен, претерпели в основном слабые изменения в низкотемпературных участках гидротермальных систем. Наименее изменены базальты из скважины 1140А (пиллоу-лавы, образовавшиеся в субаквальных условиях излияния лав). Основной вторичный минерал в них – смектит. В везикулах и жилах нет цеолитов, характерных для базальтов из других скважин, в которых опробованы базальты из лавовых потоков, изливавшихся в субаэральных обстановках. В свою очередь, выявленный ряд цеолитов отражает хотя и низкотемпературные условия, но относящиеся к гидротермальным, т.к. температура их образования оценена около 120°C.

Распределение вторичных минералов в разрезах базальтов, вскрытых скважинами на плато Кергелен, показало отсутствие вертикальной зональности в их изменении. Кроме того, лентоподобное распределение анальцима, стилбита и морденита в разрезах базальтового фундамента, а также проявление внутренней зональности в распределении глинистых минералов в индивидуальных лавовых потоках, показывает, что изменения пород происходило вдоль контактов лавовых потоков при субгоризонтальном движении растворов. Зональность в распределении глинистых минералов в пределах лавовых потоков и отсутствие вертикальной зональности в разрезах базальтов были выявлены при изучении Гавайско-Императорской цепи одиночных симаунтов [Курносов, 1986; Kurnosov et al., 2008] и гайотов западной части Тихого океана [Kurnosov et al., 1995; Kurnosov et al., 2008]. Влияние горячих вод, циркулирующих вдоль контактов лавовых потоков, на образование субгоризонтальных цеолитовых зон в базальтах было изучено в Исландии [Walker, 1960; Tomasson, Kristmannottir, 1972; Kristmannottir, Tomasson, 1978].

Полученные результаты по привносу/выносу элементов при слабом изменении пород нередко находятся в пределах или почти в пределах аналитических ошибок, поэтому для подтверждения тенденций в мобильности элементов при взаимодействии вода-порода необходимо накопление значительного статистического материала. Кроме того, если при неокислительном типе изменения пород можно проследить вполне определенную тенденцию в привносе/выносе элементов, то при смешении обстановок их изменения (окислительного типа наложенного на неокислительный) в каждом отдельном случае тренды мобильности элементов будут находиться в прямой зависимости от пропорций этого смешения. В гидротермальных системах, представляющих собой разнотемпературные зоны, низкотемпературные участки составляют значительную их часть. Поэтому, несмотря на малые величины перераспределяющихся элементов при низкотемпературном взаимодействии вода-порода, в целом они могут собираться в большие объемы вещества, переносимого в гидротермальных системах. Таким образом, их вклад в минерализацию растворов может быть сопоставим с количеством вещества, освобождающегося из пород при их взаимодействии с горячими растворами в высокотемпературных гидротермальных зонах.

### **Список литературы**

**Артамонов А.В., Золотарев Б.П.** Вулканизм плато Кергелен (Индийский океан): состав, эволюция, источники // Литология и полезные ископаемые, 2003. № 4. С. 425-448.

- Артамонов А.В., Золотарев Б.П.** Тектоника и магматизм внутриплитных океанических поднятий и гипотеза “горячих точек” // Геотектоника, 2007. № 6. С. 1-20.
- Курнос В.Б.** Гидротермальные изменения базальтов в Тихом океане и металлоносные отложения (по материалам глубоководного бурения) // М.: Наука, 1986.
- Bass M.N.** Secondary minerals in oceanic basalt, with special reference to Leg 34, Deep Sea Drilling Project, 1976 // In Yeats R.S., Hart S.R. et al., Init. Repts. DSDP, 34: Washington (US Govt. Printing Office), P. 393-432.
- Coffin M.F., Frey F.A., Wallace P.J.** et al. Proc. ODP, Init. Repts., 183 [CD-ROM], 2000. Available from: Ocean Drilling Program, Texas A&M University, College Station, TX 77845-9547, USA.
- Kristmannsdottir H., Tomasson J.** Zeolite zones in geothermal areas in Iceland // Natural zeolites, Occurrence, Properties, Use. Oxford and New York: Pergamon Press, 1978. P. 277-284.
- Kurnosov V.B., Murdmaa I.O.** Hydrothermal and cold-water circulation within the intraplate seamounts: effects on rock alteration // The oceanic lithosphere and scientific drilling into the 21<sup>st</sup> Century, Woods Hole, MA, USA, 1996. P. 87-88.
- Kurnosov V.B., Zolotarev B.P., Eroshchev-Shak V.A.** et al. Alteration of basalts from the West Pacific Guyots, Legs 143 and 144 // In Haggerty J.A., Premoli Silva I., Rack F., and McNutt M.K. (Eds), Proc. ODP, Sci. Results, 144: College Station, TX (Ocean Drilling Program), 1995. P. 475-491.
- Kurnosov V.B., Zolotarev B.P., Artamonov A.V.** et al. Alteration effects in the upper oceanic crust – data and comments // Transact. GIN, V. 581. [Booklet and CD-ROM]: Moscow, GEOS, 2008. 1056 p. [Internet address [http://www.ginras.ru/files/docs/publications/TechNote\\_AlterationEffects.pdf](http://www.ginras.ru/files/docs/publications/TechNote_AlterationEffects.pdf) or <http://www-odp.tamu.edu/publications/pubs2.htm>]
- Schlich R., Wise S.W.** et al. Proc. ODP, Init. Repts., 120: College Station, TX (Ocean Drilling Program), 1989.
- Sevigny J.H., Whitehutch H., Storey M., Salters V.J.M.** Zeolite-facies metamorphism of Central Kerguelen Plateau basalts // In Wise S.W. Schlich J.R. et al., 1992. Proc. ODP, Sci. Results, 120: College Station, TX (Ocean Drilling Program), 1992. P. 63-69.
- Tomasson J., Kristmannsdottir H.** High temperature alteration minerals and geothermal brine, Reykjanes, Iceland // Contr. Mineral. Petrol., 1972. V. 36. № 2. P. 123-134.
- Valier T.L., Rea D.K., Dean W.E.** et al. The geology of Hess Rise, Central North Pacific Ocean // In Thiede J., Valier T.L., et al., Init. Repts. DSDP, 62: Washington (US Govt. Printing Office), 1981. P. 1031-1072.
- Walker G.P.L.** Zeolite zones and dyke distribution in relation to the structure of the basalts in Eastern Iceland // J. Geol., 1960. 68. P. 515-525.