

**Геохимическая информативность закалочных вулканических стекол  
на примере 13–14° с.ш. САХ**  
(научный руководитель А. Н. Перцев)

Океаническая кора, слагающая около 60 % поверхности Земли, формируется в глобальной системе срединно-океанических хребтов (СОХ), открытых в конце 50-х гг. XX века, представляющих собой подводные поднятия ложа океанов в зонах дивергенции литосферных плит.

В СОХ верхняя часть коры сложена пиллоу-лавами, которые имеют, в основном, однотипный толеитовый состав и называются MORB (Mid-Ocean Ridge Basalts). Вариации состава MORB контролируются тремя главными факторами: (1) составом магмогенерирующих источников; (2) степенью и механизмами частичного плавления мантийного материала; (3) кристаллизационным фракционированием. Эти факторы по-разному влияют на параметры состава магм. Кристаллизационные процессы в наибольшей степени сказываются на соотношениях главных пороодообразующих и накоплении несовместимых элементов. Изотопный состав ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  и  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ ) отражает состав магмогенерирующих источников. Соотношения несовместимых элементов в расплавах ( $\text{K}_2\text{O}/\text{TiO}_2$ , Nb/Zr, La/Sm, Ce/Yb) слабо зависят от кристаллизационных процессов и характеризуют состав магматических источников, а также степень их частичного плавления [Klein, 2005]. Широкое распространение свежих закалочных стекол в современных лавах позволяет непосредственно проследить вариации состава базальтовых расплавов в различных структурах СОХ.

Цель работы – показать первичные различия базальтовых магм и их связь с сегментацией зоны спрединга. Задачей работы является анализ геохимической неоднородности базальтовых магм и его пространственного выражения в изучаемом сегменте САХ.

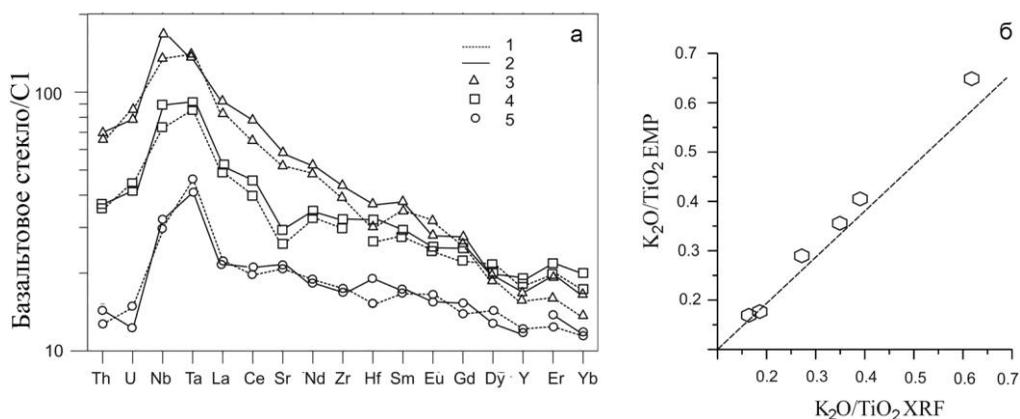


Рис. 1. Спайдер-диаграммы для базальтовых расплавов, нормированных к хондриту, по данным ICP-MS (1) и SIMS (2), где обозначения 3, 4, 5 соответствуют проанализированным образцам (а); корреляция значений  $K_2O/TiO_2$  в закалочных стеклах между полученными данными по EMP и XRF (б).

За несколько лет (с 2005 по 2012 гг.) в ИГЕМ РАН накопилась коллекция закалочных стекол из 54 станций опробования на  $13-14^\circ$  с.ш. Срединно-Атлантического хребта (САХ). 64 образца стекол были проанализированы на главные и редкие элементы методами электронно- и ионно-зондового микроанализа соответственно. Личный вклад автора состоял в 1) изучении петрографии лав; 2) пробоподготовке образцов вулканического базальтового стекла для проведения ряда контрольных анализов на главные и редкие элементы методами XRF и ICP-MS; 3) отборе проб неизмененного стекла и базальтовых агрегатов для анализа изотопного состава Sr и Nd методом TIMS; 4) обработке аналитических данных и изучении пространственного распределения вещественных групп лав. В результате проделанной работы показана корректность имеющихся аналитических данных по главным и редким элементам (рис. 1а, б). В добавление к имеющимся петро- и геохимическим данным получены новые данные по изотопному составу Sr и Nd для 27 проб из 25 станций опробования (рис. 2а), что дало принципиально новые представления о вещественных группах базальтовых расплавов и их пространственного проявления.

Изучаемый сегмент САХ ограничен с юга трансформным разломом Марафон ( $12^\circ 50'$  с.ш.), а с севера – зоной нетрансформного смещения ( $13^\circ 35'-13^\circ 45'$  с.ш.). Данный сегмент имеет многолетнюю историю геолого-геофизических и вещественных исследований. Известна хорошо выраженная асимметрия сегмента, характерная для тектонического спрединга: на протяжении около 75 км вдоль западного фланга хребта в лежачих боках высокоамплитудных пологих разломов растяжения (детачментов) обнажается серия габбро-перидотитовых массивов [Karson, Lawrence, 1997]. Изучение базальтовых лав показало наличие геохимически аномального магматизма, выраженного в обогащении магм несовместимыми элементами при значительных вариациях отношений  $K_2O/TiO_2$ , La/Sm, Ta/Hf, Nb/Zr, соответствующих N- и E-типам MORB, что позволяет предполагать различные мантийные магматические источники, включая высокообогащенные [Bougault et al., 1988; Силантьев, Беляцкий, 1998; Silantjev et al., 1998; Силантьев и др., 2000]. Недавние исследования [Wilson et al., 2013] показали присутствие в 9 км к западу от осевой рифтовой зоны необычных базаль-

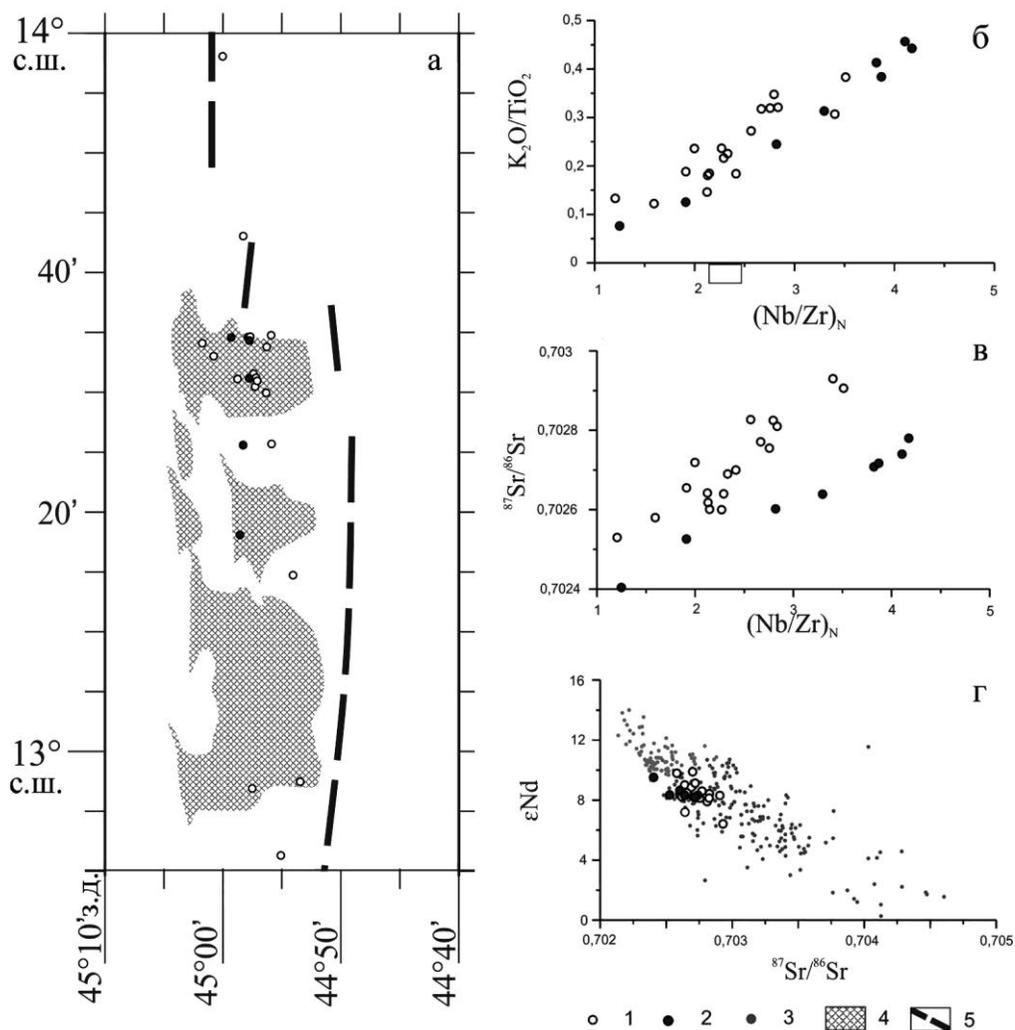


Рис. 2. Станции опробования (а); вариации состава стекол по  $K_2O/TiO_2$  и  $Nb/Zr$  (б); вариации состава по  $^{87}Sr/^{86}Sr$  и  $Nb/Zr$  (в); сопоставление проб с базальтами САХ (по PetDB) по изотопному составу  $Nd$  и  $Sr$  (г).

1, 2 – выделяемые группы по составу базальтовых лав; 3 – базальты САХ (по PetDB); 4 – серпентинизированные перидотиты по [Smith et al., 2008]; 5 – осевые зоны САХ по [Smith et al., 2008].

тов, названных М1, экстремально обогащенных несовместимыми элементами без признаков существенного обогащения источника по изотопным характеристикам. Предполагается, что базальты М1 фиксируют этап более раннего осевого вулканизма, который соответствовал аномально низкой степени частичного плавления и началу тектонического спрединга [Wilson et al., 2013].

Значительно более детальное опробование базальтовых лав и, в особенности, закалочных стекол, было проведено в рейсах НИС «Профессор Логачев», в результа-

те чего получены принципиально новые данные о составе и пространственном распределении различных типов магм изучаемого района. Петрографически и петрохимически изучаемые лавы относятся к типичным океаническим толеитовым оливин- и плагиофировым базальтам, за исключением редких субщелочных разностей с самыми высокими отношениями  $K_2O/TiO_2$ , часть которых соответствует М1 (по [Wilson et al., 2013]). Эти разности не содержат плагиоклаз ни во вкрапленниках, ни в основной массе. Вкрапленники представлены только редким оливином, а в раскристаллизованной основной массе преобладает клинопироксен. Обобщение имеющихся аналитических данных по закалочным стеклам показывает единый тренд по соотношениям  $K_2O/TiO_2$  и  $Nb/Zr$ , который может соответствовать линии 2-х-компонентного смешения (рис. 2б). Вместе с тем, новые данные по изотопному составу Sr и их корреляция с отношением  $Nb/Zr$  позволяют выделить две группы базальтовых магм (рис. 2в). Корреляция изотопного состава Sr и Nd (рис. 2г) хорошо соответствует лавам Атлантики в целом и не позволяет предполагать искажение  $^{87}Sr/^{86}Sr$  вследствие контаминации морской водой. Субщелочные базальты, соответствующие М1 (по [Wilson et al., 2013]), близки к наиболее обогащенным членам группы 2. Пространственно точки отбора разностей всей группы 2 располагаются вдоль субмеридиональной линии на протяжении около 30 км (рис. 2а).

В качестве интерпретации полученных данных предполагается, что две вещественные группы магм образовались в результате разных степеней частичного плавления мантийного источника. Так, магмы, аномально обогащенные несовместимыми элементами (судя по отношениям  $K_2O/TiO_2$  и  $Nb/Zr$ ), могли образоваться при очень низкой степени частичного плавления умеренно обогащенного мантийного источника (судя по отношению  $^{87}Sr/^{86}Sr$ ) (рис. 2б, в), как это предлагалось ранее для базальтов М1 [Wilson et al., 2013]. Указанные авторы предполагают, что лавы М1 формировались в осевой рифтовой зоне САХ, а затем последовательно отодвигались на запад по мере развития асимметричного спрединга. Однако 30-километровая субмеридиональная линейная зона распространения лав группы 2, установленная в результате более детального опробования, могла быть наложенной внеосевой зоной, поскольку она пересекает структуру перидотитового массива ( $13^{\circ}30'$  с.ш.), а также может служить южным продолжением современной осевой зоны на  $13^{\circ}40'$  с.ш. (рис. 2а). Дальнейшее изучение петро-, геохимических и изотопных характеристик лав позволит уточнить генезис базальтовых магм и их связи со структурами тектонического спрединга.

*Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 14-05-00958).*

## Литература

Силантьев С. А., Беляцкий Б. В. Концентрация и изотопный состав стронция, свинца и неодима в мантийных реститах Срединно-Атлантического хребта и их связь с эндогенными и экзогенными факторами аккреции океанской литосферы // Мат. XV Симп. по геохимии изотопов им. акад. А. П. Виноградова. Москва, 1998. С. 260–261.

Силантьев С. А., Карпенко С. Ф., Беляцкий Б. В. Эволюция мантийного субстрата САХ,  $14^{\circ}$ – $16^{\circ}$  с.ш. и  $33^{\circ}40'$  с.ш.: временные и вещественные ограничения процессов аккреции океанической литосферы по данным исследования Sm-Nd изотопной системы // Российский журнал наук о Земле. 2000. Т. 2. № 3/4.

Bougault H., Dmitriev L., Schilling J.-G. et al. Mantle heterogeneity from trace elements: MAR triple junction near  $14^{\circ}$  N // Earth and Planetary Science Letters. 1988. Vol. 88. P. 27–36.

*Karson J. A., Lawrence R. M.* Tectonic setting of serpentinite exposures on the Western median valley wall of the Mark Area in the vicinity of site 920 // In: Karson J. A. et al. (Eds.). Proc. ODP Sci. Results. 1997. Vol. 153. P. 5–21.

*Klein E. M.* Geochemistry of the igneous oceanic crust // in: The Crust: Treatise on Geochemistry. Rudnick R. L. (ed.). Oxford, Elsevier–Pergamon, 2005. P. 433–464.

*Silantyev S. A., Casey J. F., Dick H. J. B. et al.* How many mantle sources involved in formation of residual peridotites from MAR between 14° and 16° N? // European Geophysical Society. Annales Geophysicae, Part 1, Society Symposia, Solid Earth Geophysics & Geodesy, Supplement 1 to Volume 16, 1998. P. 294.

*Smith D. K., Escartín J., Schouten H., Cann J. R.* Fault rotation and core complex formation: significant processes in seafloor formation at low-spreading mid-ocean ridges (Mid-Atlantic Ridge, 13°–15° N) // Geochemistry. Geophysics. Geosystems. 2008. Vol. 9 (3). P. 1525–2027.

*Wilson S. C., Murton B. J., Taylor, R. N.* Mantle composition controls the development of an oceanic core complex // Geochemistry. Geophysics. Geosystems. 2013. Vol. 14 (4). P. 979–995.