

**И. Н. Колбасин**  
*Российский государственный геологоразведочный университет  
(МГРИ-РГГРУ), г. Москва  
nestle88@bk.ru*

**Магматическая брекчия по перидотиту в районе гидротермального  
сульфидного поля Семенов-2 (Центральная Атлантика)**  
(научный руководитель А. Н. Перцев)

В медленно-спрединговых обстановках, таких как Срединно-Атлантический хребет (САХ), магматическое формирование базитовой коры чередуется с зонами тектонического растяжения, которое проявляется асимметрично, в виде высокоамплитудных пологих разломов растяжения (детачментов) [Cannat et al., 1995; Smith et al., 2008]. Морфологической особенностью такого тектонического спрединга является то, что вдоль одного из бортов рифтовой долины хребта, в лежащих боках детачментов обнажаются мантийные перидотиты с телами габбро, и эти габбро-перидотитовые массивы (но не ассоциации пород) получили название внутренних океанических комплексов (ВОК) [Karson, Lawrence, 1997]. Другой важной особенностью тектонического спрединга является значительная гидротермальная активность, а также гидротермально-магматическое взаимодействие, непосредственно приуроченные к проницаемым зонам детачментов и ВОК [Силантьев и др., 2011; Jöns et al., 2009 и др.].

В сегменте САХ между трансформными разломами Марафон (12°45' с.ш.) и Зеленого Мыса (15°20' с.ш.) выходы ВОК прослеживаются на 70 % протяженности хребта, а магматическая и тектоническая активность обнаруживают обратную корреляцию [Escartín et al., 2003]. Одним из наиболее интересных объектов этого сегмента является субширотное поднятие к западу от оси САХ на 13°30' с.ш. (рис. 1), описанное

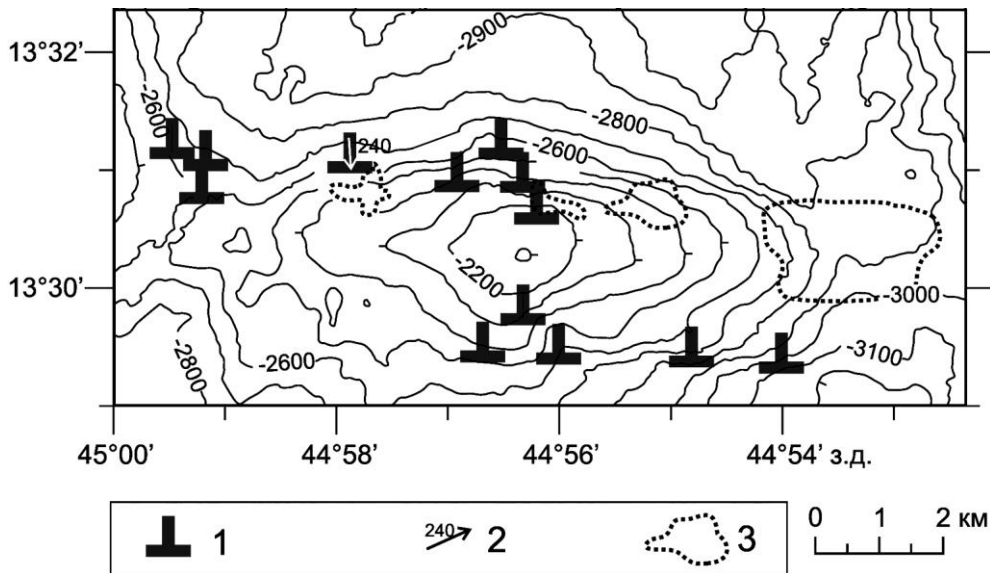


Рис. 1. Батиметрическая схема района поднятия 13°30' с.ш. (модифицировано по [Аранович и др., 2015]).

1 – измененные перидотиты; 2 – линия драгировки, где была поднята изучаемая порода; 3 – контуры гидротермальных сульфидных полей.

как ВОК [MacLeod et al., 2009], в котором была открыта серия гидротермальных сульфидных полей [Beltenev et al., 2009]. Цель данной работы – исследование особенностей минералообразования в перидотитах при тектоническом спрединге. В задачу входило выяснение природы брекчии по перидотиту в поднятии 13°30' с.ш. Работа основана на петрографическом изучении, а также изучении состава и неоднородности минералов. Личный вклад автора состоит в петрографическом исследовании, обобщении и интерпретации данных микросондового анализа.

Геологические исследования поднятия на 13°30' с.ш. (батиметрия, сонограммы бокового обзора, глубинная видеосъемка и опробование [MacLeod et al., 2009; Beltenev et al., 2009]) показали его существенно габбро-перидотитовый состав. Сохранившиеся реликты первичных перидотитов представлены гарцбургитами и диопсидо-держащими гарцбургитами с высокомагнезильным оливином и протогранулярными крупнозернистыми структурами, характерными для океанской литосферной мантии. Значительная часть перидотитов серпентинизирована или превращена в талькиты.

Структура изученного образца брекчиевая с темными красновато-серыми угловатыми обломками размером от нескольких миллиметров до 6 см и светло-зеленовато-серым матриксом в приблизительно равных объемных соотношениях (рис. 2а). В центральных частях наиболее крупных обломков хорошо сохраняются первичный гарцбургитовый состав и протогранулярная структура. Первичный материал обломков сложен изометричными зернами оливина размером до 3 мм (~85 %), зернами энстатита изометричной и удлиненной формы 0.2–1 мм, иногда в сростках с незначительным количеством диопсида (~10 %) и темно-коричневой хромшпинели (~5 %). Серпентинизация проявлена слабо в виде петельчатых агрегатов хризотила с пылевидным магнетитом по оливину. Края крупных обломков и мелкие обломки полностью замещены

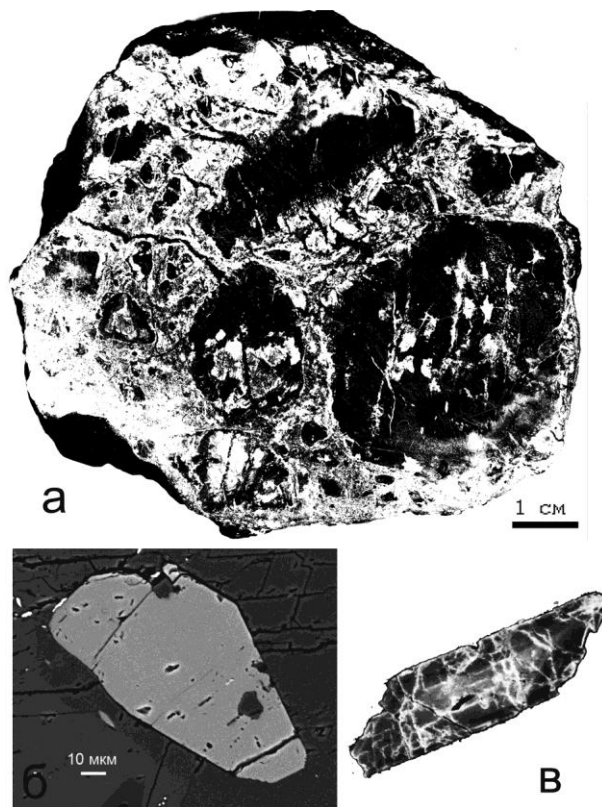


Рис. 2. Минералого-петрографические особенности брекчии по перидотиту: а) общий вид образца; б) включение апатита в титанистом паргасите (фотография в обратно-рассеянных электронах, шлиф); в) зональный циркон (катодоллюминесцентное изображение, шлиф).

магнетит-талковым криптоагрегатом и окаймлены нематобластовым агрегатом бесцветного амфибола. Матрикс имеет хлорит-амфиболовый и тальк-хлорит-амфиболовый состав ( $\pm$  титанит) и характеризуется присутствием реликтовых минералов, не имеющих отношения к перидотиту: коричневой роговой обманки, замещаемой нематобластовыми агрегатами неоднородного бесцветного амфибола, крупных (до 0.5 мм)

зерен магнетита и ильменита, единичных включений апатита (до  $50 \times 100$  мкм) в роговой обманке (рис. 2б), а также многочисленных зерен циркона размером до  $0.2 \times 0.6$  мм (рис. 2в).

Оливин, энстатит и диопсид в гарцбургитовых реликтах имеют однородный состав:  $Mg/(Mg+Fe)$  (мол. %) составляет 0.91, 0.91 и 0.93 соответственно. Хромшпинель характеризуется  $Cr/(Cr+Al) = 0.54$  мол. % при содержании магнетитового минала 5 % и  $TiO_2$  0.2–0.3 мас. %. В оливине локально проявлены микромасштабные неоднородности – это линейные зоны многочисленных изометричных расплавных включений диаметром до 5 мкм, вблизи которых проявлены множественные пластинчатые микровключения размером до  $0.5 \times 8$  мкм с выдержанной общей ориентировкой. Количественный анализ кристаллических микровключений невозможен ввиду их размерности, однако рентгеноспектральная диагностика показала хромшпинелевый состав с содержанием Ti существенно выше, чем в аксессуарной хромшпинели. Кроме того, в этих зонах зафиксировано заметное снижение  $Mg/(Mg+Fe)$  оливина до 0.8.

В матриксе реликты коричневого амфибола имеют состав титанистого паргасита/эденита, характерный для магматических роговых обманок океанической коры [Tribuzio et al., 2000]. В нематобластовых агрегатах с хлоритом, замещающих коричневый амфибол и, в основном, слагающих матрикс, состав амфибола значительно варьирует между магнезиальной роговой обманкой, эденимом и актинолитом; также присутствует куммингтонит. В наиболее крупных зернах циркона проявлена концентрическая катодоллюминесцентная зональность (рис. 2в) с ядром, относительно обога-

ценным  $Y_2O_3$  (0.6 мас. %), и наружной зоной с содержанием  $Y_2O_3$  около 0.1 мас. %. Подобная зональность циркона описана в океаническом плагиограните и объясняется магматическо-гидротермальным переходом [Аранович и др., 2015].

Для интерпретации имеющихся данных принципиально важно реконструировать первичную природу матрикса брекчии. Следует отметить его первичное магматическое происхождение ввиду резкой контрастности состава по отношению к обломкам перидотита (несоизмеримо более высокие содержания Al, Ti, Zr, судя по присутствию соответствующих минералов), наличия титанистого паргасита, а также магматического преобразования оливина с появлением расплавных включений и микронных включений титанистой хромшпинели. Из магматических океанических пород, богатых цирконом (не менее десятка зерен на шлиф), известны только плагиограниты, в том числе и в рассматриваемом ВОК. Однако матрикс брекчии не мог быть плагиогранитом из-за полного отсутствия плагиоклаза или каких-либо продуктов его изменения. Можно предположить, что матрикс брекчии формировался как продукт взаимодействия плагиогранитного расплава с перидотитом в сдвиговой зоне detachment с образованием магматической породы типа горнблендита с акцессорными магнетитом, ильменитом, цирконом и апатитом. Дальнейшее интенсивное замещение матрикса магматической брекчии хлорит-амфиболовыми агрегатами и оталькование перидотитовых обломков было обусловлено магматическо-гидротермальным переходом. Аналогичные ассоциации описаны в разбуренной глубинной зоне detachment на  $14^{\circ}43'$  с.ш. САХ и объясняются внедрением плагиогранитного расплава, образовавшегося в результате частичного плавления габброидов при взаимодействии с гидротермальными флюидами – производными морской воды [Jöns et al., 2009].

Таким образом, на основе петрографического и минералогического изучения образца брекчии по перидотиту показаны признаки магматического взаимодействия перидотит/расплав, контрастный состав матрикса и обломков, а также присутствие в матриксе магматических минералов, таких как титанистый паргасит и циркон, обогащенный Y. В качестве интерпретации предполагается внедрение водосодержащего расплава, образовавшегося в зоне detachment при глубинном гидротермально-магматическом взаимодействии.

## Литература

Аранович Л. Я., Прокофьев В. Ю., Перцев А. Н. и др. Гранитный расплав, обогащенный  $K_2O$ , в Срединно-Атлантическом хребте на  $13^{\circ}34'$  с.ш.: состав и происхождение по данным анализа расплавных включений и минералов габбро-плагиогранитной ассоциации // Доклады Академии наук. 2015. Т. 460. № 6. С. 691–696.

Силантьев С. А., Краснова Е. А., Каннат М., и др. Перидотит-габбро-трондьемитовая ассоциация пород Срединно-Атлантического хребта в районе  $12^{\circ}58'$ – $14^{\circ}45'$  с.ш.: гидротермальные поля Ашадзе и Логачев // Геохимия. 2011. № 4. С. 339–372.

Beltenev V., Ivanov V., Rozhdestvenskaya I. et al. New data about hydrothermal fields on the Mid-Atlantic Ridge between  $11^{\circ}$ – $14^{\circ}$  N: 32nd Cruise of R/V Professor Logatchev // InterRidge News. 2009. Vol. 18. P. 14–18.

Cannat M., Mevel C., Maia M. et al. Thin crust, ultramafic exposures, and rugged faulting patterns at the Mid-Atlantic Ridge (22–24 N) // Geology. 1995. Vol. 23. № 1. P. 49–52.

Escartin J., Mével C., MacLeod C. J., McCaig A. M. Constraints on deformation conditions and the origin of oceanic detachments: The Mid-Atlantic Ridge core complex at  $15^{\circ}45'$  N // Geochemistry, Geophysics, Geosystems. 2003. Vol. 4. № 8. 1067, doi: 10.1029/2002/GC 000472.

*Jöns N., Bach W., Schroeder T.* Formation and alteration of plagiogranites in an ultramafic-hosted detachment fault at the Mid-Atlantic Ridge (ODP Leg 209) // Contributions to Mineralogy and Petrology. 2009. Vol. 157. № 5. P. 625–639.

*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 // Proceedings of the ODP Scientific results. National Science Foundation, 1997. P. 5–22.

*MacLeod C. J., Searle R. C., Murton B. J. et al.* Life cycle of oceanic core complexes // Earth and Planetary Science Letters. 2009. Vol. 287. № 3. P. 333–344.

*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.

*Tribuzio R., Tiepolo M., Thirlwall M. F.* Origin of titanian pargasite in gabbroic rocks from the Northern Apennine ophiolites (Italy): insights into the late-magmatic evolution of a MOR-type intrusive sequence // Earth and Planetary Science Letters. 2000. Vol. 176. № 3. P. 281–293.