

В. А. Симонов¹, Ю. Е. Глазырин¹, С. В. Ковязин², А. А. Пейве³
¹ – Институт геологии ОИГГМ СО РАН, г. Новосибирск
² – Институт минералогии и петрографии СО РАН, г. Новосибирск
³ – Геологический институт РАН, г. Москва

Эволюция глубинных расплавов в зоне трансформного разлома Вима (Центральная Атлантика)

Трансформный разлом Вима (10.5–11° с. ш.) является одной из крупнейших структур в Центральной Атлантике. Исследования с помощью глубоководных обитаемых аппаратов «Наутилус» показали, что в борту разлома можно наблюдать практически ненарушенный разрез литосферы на протяжении более 270 км [8]. Таким образом, имеется возможность проследить особенности формирования магматических комплексов в широком возрастном диапазоне. Во время 19-го (1998 г.) и 22-го (2000 г.) рейсов НИС «Академик Николай Страхов», при непосредственном участии авторов, были проведены исследования практически всей активной части разлома Вима [9, 10]. Для выяснения особенностей изменения магматических систем во времени изучены образцы, отобранные на станциях, расположенных вдоль южного борта разломного трога с запада на восток.

Особенности глубинных расплавов в зоне трансформного разлома Вима рассмотрены в основном в результате исследования базальтовых стекол и расплавных включений в минералах. Составы стекол и гомогенизированных расплавных включений установлены на рентгеновском микроанализаторе «Самебах-мисго» в Аналитическом центре ОИГГМ СО РАН. Расплавные включения исследовались в высокотемпературной термокамере с инертной средой [5]. Эксперименты с включениями проводились по опубликованной ранее методике [1]. Содержания редких и редкоземельных элементов во включениях и базальтовых стеклах определены методом вторично-ионной масс-спектрометрии на ионном зонде IMS-4f (Институт микроэлектроники РАН, г. Ярославль) согласно методике [4].

Оценки возраста магматических комплексов из разных драгировочных станций были проведены на основе $^{40}\text{Ar}/\text{Ar}^{39}$ изотопного датирования [6] и данных по скорости спрединга. В результате определены следующие значения возраста магматических ассоциаций различных станций, расположенных последовательно с запада на восток: S1920 – около 27 млн лет, S1901 – 18.5 млн лет, S1934 – 13 млн лет, S2215 – 9 млн лет, S2204 – 3.5 млн лет.

Экспериментальные исследования показали, что температуры гомогенизации расплавных включений в плагиоклазах существенно варьируют для разных участков отбора образцов (°C): S1920 – 1160–1180, S1934 – 1215–1260, S2215 – 1230–1270, S2204 – 1250–1275, Ve19 – 1245–1260. Включения в клинопироксене (станция S1901) полностью гомогенными становятся при температурах 1245–1260 °C, а в оливине (станция S2215) – 1280–1300 °C. Температуры гомогенизации расплавных включений практически для всех станций (кроме S1920) хорошо соотносятся с расчетными ликвидусными температурами и являются показателем того, что включения были захвачены на ранних стадиях кристаллизации.

Сравнительный анализ полученных по расплавным включениям данных выявил отчетливые изменения основных характеристик магматических систем во времени в зоне разлома Вима (рис. 1). В период с 27 до 13 млн лет происходило явное закономерное изменение основных характеристик магматических систем с последовательным ростом температур кристаллизации от 1160–1180 °C до 1215–1260 °C, падением степени фракционирования (железистости) от 1.8–2.5 до 0.8–1.1 и содержания титана (от 0.95–1.97 мас. % до 0.53–1.06 мас. %). Около 10–12 млн лет тому назад существенно меняется характер расплавов и примерно с 9 млн лет до настоящего времени магматические системы обладают достаточно высокими и устойчивыми температурами (1230–1275 °C). Составы расплавов существенно изменяются с резким ростом в период 10–12 млн лет таких важных характеристик, как FeO/MgO и TiO₂ и последующим достаточно равномерным снижением их значений до настоящего времени. Фактически с 9–10 млн лет начинается новый цикл развития магматических систем с таким же закономерным изменением геохимических характеристик как в предыдущий период с 27 до 13 млн лет, но на более высокотемпературном уровне.

Оценки глубин плавления мантийного субстрата (рис.) с образованием первичных расплавов, проведенные на основе данных по включениям, показали, что максимальные параметры с широкими вариациями глубин (от 35 до 85 км) и температур (около 1300–1500 °C) характерны для древних магматических систем станции S1920. Далее, в период от 27 млн лет до 13 млн лет, параметры генерации глубинных расплавов закономер-

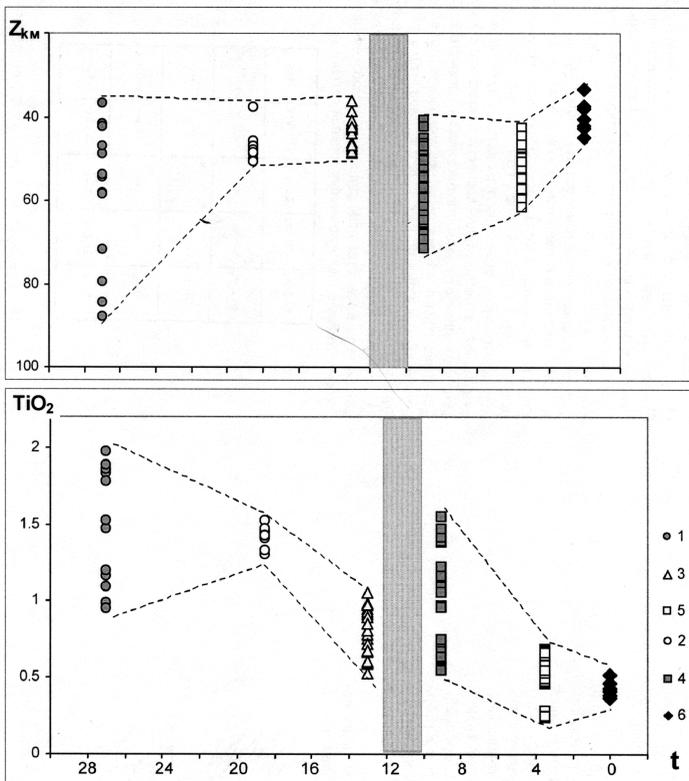


Рис. Изменение содержания титана в расплавных включениях и глубин генерации первичных расплавов в зависимости от возраста магматических систем в зоне разлома Вима.

1–6 – данные по образцам соответствующих станций S1920 (1), S1901 (2), S1934 (3), S2215 (4), S2204 (5) и отобранных во время 19-го погружения (Ve19) глубоководного аппарата «Наутилус» [3](6). t (млн лет) – возраст магматических комплексов. $Z_{км}$ – глубины генерации. Серой полосой показан интервал времени с резким изменением характеристик магматических систем в зоне трансформного разлома Вима но изменяются с уменьшением максимальных глубин от 85 км до 57 км и температур от 1500 до 1400 °С. Около 10–12 млн лет происходил достаточно резкий скачок условий плавления мантии (рост глубин до 70 км и температур до 1430 °С) и с последующими (от 9 млн лет до настоящего времени) закономерными снижениями параметров (глубины от 70 км до 38–45 км и температуры от 1430 до 1280–1330 °С).

Детальный анализ распределения редких и редкоземельных элементов в стеклах и включениях показал наибольшее относительное обеднение несовместимыми элементами расплавных включений в плагиоклазах. Концентрации почти по всему спектру редких элементов в этих расплавах равномерно понижены относительно базальтов NMORB. Отмечаются лишь относительные максимумы по содержанию Eu, Sr и K, доходящие до уровня концентраций этих элементов в стеклах. По-видимому, это связано с накоплением совместимых с плагиоклазом Eu и Sr в равновесном с ним расплаве при кристаллизации. Концентрации элементов-примесей в закалочных стеклах базальтов станций S22-15 лежат в области распределений базальтов NMORB, а включения в оливинах имеют промежуточные составы, попадающие в район нижней границы поля NMORB на мультиэлементных диаграммах.

Для сопоставления сведений, полученных при изучении расплавных включений и закалочных стекол района разлома Вима, с расчетными параметрами магматических процессов было проведено моделирование кристаллизационной дифференциации с помощью программы КОМАГМАТ [7]. Начальное давление и скорость декомпрессии (понижения давления при подъеме магмы к поверхности) устанавливались в соответствии с оценками для расплавов NMORB [2]. Наилучшие результаты получены при моделировании фракционной кристаллизации при начальных давлениях от 6 до 10 кбар и скорости декомпрессии от -0.3 до -0.2 кбар/моль. Состав начального расплава брался исходя из состава высокомагнезиального включения в оливине. Модельный тренд кристаллизующегося расплава при таких условиях проходит через область составов включений в оливине при высоких температурах, пересекает область включений в плагиоклазах и при высоких степенях кристаллизации (около 30 %) оканчивается вблизи составов закалочных стекол базальтов. Поведение примесных элементов при моделировании кристаллизационной дифференциации имеет простой характер с монотонным повышением концентрации в расплаве всех несовместимых компонентов, что наблюдается и в реальных расплавах при переходе от включений к закалочным стеклам.

Основные выводы

Установлены особенности изменения параметров магматических систем зоны трансформного разлома Вима во времени. В период от 27 до 13 млн лет в происходила последовательная эволюция базальтового магматизма с ростом температур кристаллизации,

падением степени фракционирования и уменьшением содержания титана и калия. Закономерно снижались максимальные параметры генерации первичных глубинных магм. Важным является рубеж около 10–12 млн лет, когда происходило резкое скачкообразное изменение как глубинных условий формирования исходных расплавов, так и характеристик кристаллизации магм. Далее (с 9 млн лет до настоящего времени) устанавливается эволюция расплавов, сходная по своей направленности с предыдущим периодом, но с кристаллизацией при более высоких температурах. Таким образом, отчетливо просматривается явная периодичность развития магматических систем в зоне разлома Вима.

Работа выполнена в рамках программы «Мировой океан» и при финансовой поддержке РФФИ (проекты №№ 00-05-64235, 02-05-64046).

Литература

1. *Симонов В. А.* Петрогенезис офиолитов (термобарогеохимические исследования). Новосибирск: ОИГГМ СО РАН, 1993. 247 с.
2. *Симонов В. А., Колобов В. Ю., Пейве А. А.* Петрология и геохимия геодинамических процессов в Центральной Атлантике. Новосибирск: Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГГМ, 1999. 224 с.
3. *Симонов В. А., Пейве А. А., Бонатти Э., Ковязин С. В.* Условия формирования современных и древних магматических комплексов трансформного разлома Вима (Центральная Атлантика) // Петрология магматических и метаморфических комплексов. Томск: ТГУ, 2000. С. 69–72.
4. *Соболев А. В.* Включения расплавов в минералах как источник принципиальной петрологической информации // Петрология, т. 4, № 3. 1996. С. 228–239.
5. *Соболев А. В., Слуцкий А. Б.* Состав и условия кристаллизации исходного расплава сибирских меймечитов в связи с общей проблемой ультраосновных магм // Геология и геофизика, № 12. 1984. С. 97–110.
6. *Травин А. В., Симонов В. А., Пономарчук В. А., Пейве А. А., Перфильев А. С., Тихунов Ю. В., Юдин Д. С.* $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ исследования магматических и метаморфических пород из зоны трансформного разлома Вима (Центральная Атлантика) // Изотопное датирование геологических процессов: новые методы и результаты. М.: ГЕОС, 2000. С. 370–372.
7. *Ariskin A. A., Frenkel M. Ya., Barmina G. S., Nielsen R. L.* COMAGMAT: a Fortran program to model magma differentiation processes // Computers & Geosciences. V. 19. № 8. 1993. P. 1155–1170.
8. *Auzende J. M., Bideau D., Bonatti E. et al.* Direct observation of a section through slow-spreading oceanic crust // Nature. V. 337. N. 6209. P. 726–729.
9. *Fabretti P., Bonatti E., Peyve A., et al.* First results of cruise S19 (PRIMAR Project): petrological and structural investigations of the Vema

Transverse Ridge (equatorial Atlantic) // *Giornale di Geologia*, ser. 3^a. V. 60. 1998. P. 3–16.

10. *Peyve A., Bonatti E., Brunelli D., et al.* New data on some major MAR structures: preliminary results of R/V Akademik Nikolaj Strakhov 22 cruise // *InterRidge News*. V. 9 (2). 2000. P. 28.