

В целом, проведенные исследования включений в хромшпинелидах показали, что часть перидотитов зоны разлома 15°20' формировалась в ходе кристаллизации в интрузивной камере исходного пикробазальтового расплава при снижении температуры от 1360°C до 1215°C. В результате анализа расплавных включений с помощью ионного зонда было выделено два типа расплавов, участвовавших при формировании гипербазитов зоны разлома 15°20': сухие и истощенные РЗЭ расплавы, а также относительно обогащенные водой и легкими РЗЭ магматические системы

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 08-05-00180).

ЛИТЕРАТУРА

1. Добрецов Н.Л., Симонов В.А., Буслов М.М., Котляров А.В. Магматизм и геодинамика Палеоазиатского океана на венд-кембрийском этапе его развития // Геология и геофизика. 2005. Т. 46. № 9. С. 952-967.
2. Куренков С.А., Диденко А.Н., Симонов В.А. Геодинамика палеоспрединга. М.: ГЕОС, 2002. 294 с.
3. 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.
4. Симонов В.А., Шарков Е.В., Ковязин С.В., Бортников Н.С. Расплавные включения в хромшпинелидах из Fe-Ti интрузивных комплексов Центральной Атлантики: ключ к познанию физико-химических параметров гидротермально-магматических систем медленно-спрединговых океанических хребтов // Доклады РАН. 2008. Т. 418. № 5. С. 679-682.
5. Соболев А.В. Включения расплавов в минералах как источник принципиальной петрологической информации // Петрология. 1996. Т. 4. № 3. С. 228-239.
6. Шелепаев Р.А. Эволюция базитового магматизма Западного Сангиленга (Юго-Восточная Тува). Автореф. дисс. ... канд. геол.-мин. наук. Новосибирск: ИГМ СО РАН, 2006. 20 с.
7. Danyushevsky L.V. The effect of small amounts of H₂O on crystallisation of mid-ocean ridge and backarc basin magmas // J. Volcan. Geoth. Res. 2001. V. 110. № 3-4. P. 265-280.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ФОРМИРОВАНИЯ РАССЛОЕННОГО ГАББРО-ГИПЕРБАЗИТОВОГО КОМПЛЕКСА В ОФИОЛИТАХ ЮЖНОЙ ТУВЫ

Симонов В.А., Шелепаев Р.А., Котляров А.В.

*Институт геологии и минералогии СО РАН, Новосибирск, Россия
e-mail: simonov@uiggm.nsc.ru*

PHYSICAL AND CHEMICAL PARAMETERS OF STRATIFIED GABBRO-ULTRABASIC COMPLEX FORMATION IN THE SOUTH TIVA OPHIOLITES

Simonov V.A., Shelepaev R.A., Kotlyarov A.V.

*Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia
e-mail: simonov@uiggm.nsc.ru*

Data on melt inclusions in Cr-spinel from dunite-vehrlite-pyroxenite association in the South Tuva ophiolites characterize processes of layered complex crystallization in magmatic chamber. Inclusions also correspond to melts, that form gabbro-diorite series and are responsible for dyke complex formation. The computation on the basis of inclusion composition has shown, that crystallization of ultramafic rocks took place at higher temperatures (dunite – 1380-1250°C, vehr lite – 1250-1220°C), than gabbro (1220-1140°C) and gabbro-diorite series (1220-1120-1020°C). The main part of melt inclusions have the same REE patterns as calculated initial melts of the South Tuva ophiolite stratified series and are depleted in LREE. Inclusions of the diorite and dyke compositions show an enrichment of REE.

В Агардагской офиолитовой зоне, располагающейся на Юге Тувы, можно выделить последовательно с запада на восток четыре основных участка, содержащих различные фрагменты палеоокеанической коры, сформировавшейся при участии магматических систем срединно-океанических хребтов [1, 2]: 1. Агардагский – гипербазиты основания офиолитов; 2. Карашатский – дунит-верлит-пироксенитовый комплекс + габбро + диориты + дайковые серии; 3. Тесхемский – дайки + лавы; 4. Чонсаирский – габбро + дайки. При исследовании условий формирования офиолитов большое внимание было уделено анализу расплавных включений, сохранивших прямую информацию о параметрах магматических процессов. Включения удалось найти в хромшпинелидах из дунитов расслоенного дунит-верлит-пироксенитового комплекса Карашатского участка.

Изучаемые хромшпинелиды практически не прозрачны и невозможно вести непосредственные наблюдения за включениями в процессе нагрева, поэтому была разработана особая методика экспериментов и создана специальная микрокамера [4]. Стекла закаленных включений анализировались на рентгеновском микроанализаторе Camebax-Micro в Институте геологии и минералогии СО РАН, г. Новосибирск. Содержания редких и редкоземельных элементов в расплавных включениях определены методом вторично-ионной масс-спектрометрии на ионном микроанализаторе IMS-4f в Институте микроэлектроники РАН (г. Ярославль) по методике [5].

Стекла прогретых и закаленных расплавных включений в хромшпинелидах из Карашатского массива по содержанию SiO_2 (от 46 до 59 мас.%) соответствуют серии габбро – диориты – кварцевые диориты, породы которой хорошо представлены на этом участке Агардагской офиолитовой зоны. Включения содержат небольшое количество щелочей и отвечают породам нормальной щелочности. На диаграмме $\text{FeO}/\text{MgO}-\text{SiO}_2$ точки составов включений располагаются, главным образом, в поле толеитовых серий в тесной ассоциации с габброидами и дайками офиолитов Южной Тувы.

На диаграмме $\text{TiO}_2-\text{SiO}_2$ включения в хромшпинелидах ассоциируют с габбро, дайками и диоритами. Можно выделить два тренда – включения с максимумом TiO_2 отвечают данным по дайкам, а включения с повышенным SiO_2 согласуются, в основном, с диоритами. По соотношениям $\text{Al}_2\text{O}_3-\text{FeO}/\text{MgO}$ расплавные включения показывают два основных пути эволюции магматической системы: кумуляция оливина и плагиоклаза. Включения с повышенными значениями FeO соответствуют остаточным расплавам.

По содержанию магния включения в хромшпинелидах из офиолитов Южной Тувы разбиваются на две группы. Первая, с высокими (12-28 мас.%) значениями MgO приурочена к собственно расслоенной габбро-гипербазитовой серии, а вторая группа (3.5-6.2 мас.% MgO) тесно связана с габбро-диоритовыми породами. На диаграммах, показывающих эволюцию составов пород Карашатского массива в зависимости от содержания магния, первая группа трассирует тренд последовательной внутрикамерной кристаллизации расплавов. Вторая группа включений располагается на окончании тренда совместно с габбро и диоритами. В то же время, есть включения, обогащенные кальцием и титаном, находящиеся вне этого тренда, но в тесной ассоциации с данными по породам дайковых офиолитовых серий. Таким образом, рассмотренные включения в хромшпинелидах характеризуют, во-первых, собственно процессы дифференциации в магматической камере, с образованием расслоенного комплекса. Во-вторых, отвечают составам расплавов, завершающих внутрикамерное фракционирование, с формированием серии пород: габбро – диориты – кварцевые диориты. В-третьих, они содержат информацию об отделившихся расплавах, ответственных за развитие дайковых серий.

Расчет ликвидусных параметров по программе PETROLOG [7] на основе полученных данных по составам расплавных включений в хромшпинелидах свидетельствует, что кристаллизация минералов при формировании собственно расслоенной кумулятивной серии происходила при значительно более высоких температурах (оливин – минимум 1340-1300°C, клинопироксен – до 1280°C), чем образование дифференцированной габбро-диоритовой серии – 1140-1020°C.

Моделирование по программе PLUTON [3] на основе данных по составам расплавных включений показало, что исходным для габбро-гипербазитовой расслоенной серии наиболее вероятно был пикробазальтовый расплав с содержанием магния около 18 мас.%. Установлено, что кристаллизация (оливин) этого расплава началась при температурах около 1380°C и при сни-

жении до 1250°C формировались дуниты. В последующем (1250-1220°C) образовывались верлиты (оливин + клинопироксен). Завершали (1220-1140°C) формирование расслоенной серии габбронориты (клинопироксен + ортопироксен + плагиоклаз). Эти данные в целом уточняют температурные характеристики, полученные по программе PETROLOG.

На заключительных стадиях формирования расслоенной серии (1220-1140°C) в расплавах идет накопление SiO₂ (до 53-54 мас.%) и TiO₂ (до 1.2-1.6 мас.%). Подобные составы характерны для пород дайковой серии. Таким образом, расчеты по программе PLUTON свидетельствуют о том, что дифференциация в магматической камере приводила к появлению расплавов, отделяющихся в ходе спрединговых процессов с образованием даек. В то же время, как показывают расплавные включения, для расплавов, ответственных за кристаллизацию диоритов, характерны более высокие значения SiO₂ (до 58-59 мас.%) и меньшие содержания TiO₂ (до 0.8 мас.%). Это говорит о том, что напрямую при непрерывных процессах кристаллизации исходного пикробазальтового расплава вряд ли могут получиться диориты и кварцевые диориты, широко представленные в офиолитах Южной Тувы. Моделирование с помощью программы PLUTON на основе данных по группе включений (с повышенными значениями SiO₂ и пониженным титаном), находящейся в начале тренда габбро – диориты – кварцевые диориты, показало, что при снижении температуры (1220-1120°C) в присутствии воды в остаточных расплавах накапливается в основном SiO₂ (56-59 мас.%) и в меньшей степени TiO₂ (0.7-0.9 мас.%). Подобные составы хорошо согласуются с данными по диоритам Карашатского массива.

Спектры распределения редкоземельных элементов в расплавных включениях имеют положительный наклон с ростом роли тяжелых лантаноидов и положительную европиевую аномалию. Устанавливается серия субпараллельных графиков с синхронным повышением значений всех редкоземельных элементов, отражающим процессы эволюции расплавов в ходе кристаллизации расслоенной серии офиолитов. Спектры включений с минимальными значениями элементов практически совпадают по своим характеристикам (наклон и положительная аномалия Eu) с данными по габбронориту и с полем расчетных исходных расплавов Карашатского массива [6]. Некоторое отличие наблюдается только в случае тяжелых лантаноидов, количество которых несколько больше в расплавных включениях. Спектры включений с диоритовым составом (SiO₂ 56-59 мас.%) и ассоциирующихся по титану с дайками располагаются вдоль верхней границы поля основной группы включений, отличаясь повышенной ролью легких лантаноидов. В целом, расплавы, формировавшие расслоенные серии офиолитов Южной Тувы, по особенностям распределения редкоземельных элементов хорошо согласуются с габброидами из районов разлома 15°20' и Сьерра-Леоне (Срединно-Атлантический хребет).

Для большинства расплавных включений спектры распределения рассмотренных редких и редкоземельных элементов на спайдер-диаграмме обладают Sg максимумом и практически совпадают с графиками исходных расплавов и габбронорита Карашатского массива. Отличие устанавливается только по повышенным значениям Rb и пониженным Zr для расплавных включений. Графики включений диоритового и дайкового составов полностью повторяют конфигурацию спектров основной группы и располагаются вдоль верхней границы поля, демонстрируя обогащенность всеми элементами по сравнению с расслоенными расплавами.

В целом, проведенные исследования включений в хромшпинелидах из дунит-верлит-пироксенитовой ассоциации офиолитов Южной Тувы позволили выяснить условия кристаллизации расслоенного комплекса в магматической камере. Установлены также параметры расплавов, формировавших габбро-диоритовые серии и дайковые комплексы. Моделирование на основе данных по расплавным включениям показало, что кристаллизация ультраосновных пород происходила при значительно более высоких температурах (дуниты – 1380-1250°C, верлиты – 1250-1220°C), чем габбро (1220-1140°C) и габбро-диоритовые серии (1220-1120-1020°C). С помощью анализа включений на ионном зонде установлено, что расплавы, формировавшие расслоенные серии офиолитов Южной Тувы, по особенностям распределения редкоземельных элементов хорошо согласуются с данными по габброидами из современных океанов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 08-05-00180) и Проекта ОНЗ 2.1.

ЛИТЕРАТУРА

1. Добрецов Н.Л., Симонов В.А., Буслов М.М., Котляров А.В. Магматизм и геодинамика Палеоазиатского океана на венд-кембрийском этапе его развития // Геология и геофизика. 2005. Т. 46. № 9. С. 952-967.
2. Куренков С.А., Диденко А.Н., Симонов В.А. Геодинамика палеоспрединга. М.: ГЕОС, 2002. 294 с.
3. Лавренчук А.В. Программа для расчета внутрикамерной дифференциации основной магмы «PLUTON» // Тез. докл. Второй Сибирской междунар. конф. молодых ученых по наукам о Земле. Новосибирск, 2004. С. 105-106.
4. Симонов В.А., Шарков Е.В., Ковязин С.В., Бортников Н.С. Расплавные включения в хромшпинелидах из Fe-Ti интрузивных комплексов Центральной Атлантики: ключ к познанию физико-химических параметров гидротермально-магматических систем медленно-спрединговых океанических хребтов // Доклады РАН. 2008. Т. 418. № 5. С. 679-682.
5. Соболев А.В. Включения расплавов в минералах как источник принципиальной петрологической информации // Петрология. 1996. Т. 4. № 3. С. 228-239.
6. Шеленаев Р.А. Эволюция базитового магматизма Западного Сангиленга (Юго-Восточная Тува). Автореф. дисс. ... канд. геол.-мин. наук. Новосибирск: ИГМ СО РАН, 2006. 20 с.
7. Danyushevsky L.V. The effect of small amounts of H₂O on crystallisation of mid-ocean ridge and backarc basin magmas // J. Volcan. Geoth. Res. 2001. V. 110. № 3-4. P. 265-280.

СИЛУРИЙСКАЯ ДАТИРОВКА ОФИОЛИТОВ ВОСТОЧНОЙ ЗОНЫ СРЕДНЕГО УРАЛА

Смирнов В.Н., Иванов К.С.

*Институт геологии и геохимии УрО РАН, Екатеринбург, Россия
e-mail: smirnov@igg.uran.ru*

ISOTOPIC DATA ON SILURIAN AGE OF THE OPHIOLITES EASTERN ZONE OF THE MIDDLE URALS

Smirnov V.N., Ivanov K.S.

*Institute of Geology and Geochemistry UB RAS, Ekaterinburg, Russia
e-mail: smirnov@igg.uran.ru*

The U-Pb-dating (SHRIMP-II) of the zircons from the gabbro (upper part of the ophiolites) of the Eastern zone of the Middle Urals determined the age of 428±3.7 Ma, which corresponds to the boundary between Llandovery and Wenlock. This data allows to establish a relation between the forming of ophiolite association Eastern zone of the Middle Urals and the spreading behind Late Ordovician-Silurian arc island. There are fragments of this arc remained in Tagil volcanic zone situated to the West.

Датировка пород офиолитовой ассоциации имеет принципиальное значение для расшифровки истории геологического развития Урала, тем не менее, вопрос о времени формирования офиолитов на Урале до сих пор окончательно не решен. До 80-х годов XX века возраст подавляющего большинства Уральских офиолитов условно считался силурийским. Позже, после массовых находок комплексов конодонтов в сингенетичных прослоях яшм среди толеитовых базальтов было установлено (работами К.С. Иванова, В.Н. Пучкова, О.В. Артюшковой, В.А. Маслова и др.), что вулканы верхней части офиолитовых разрезов Урала относятся к ордовику (преимущественно среднему и позднему), а также к среднему девону. Имеющиеся цифры изотопного возраста офиолитов [1-4 и др.] преимущественно относятся к двум оторванным друг от друга возрастным интервалам. Более древние (604-490 млн. лет) отвечают поздневендско-кембрийскому времени, более молодые (410-370 млн. лет) соответствуют девону. В результате U-Pb-датирования циркона из офиолитовых габбро Восточной зоны Среднего Урала с помощью микрозонда SHRIMP-II (ВСЕГЕИ) впервые получено надежное доказательство наличия на Урале офиолитов силурийского возраста.