

ВКЛЮЧЕНИЯ КАРБОНАТНО-СИЛИКАТНЫХ РАСПЛАВОВ В ГРАНАТАХ ГРАНИТОВ ЮЖНОЙ КРАЕВОЙ ЗОНЫ ГАНУЛИТОВОГО КОМПЛЕКСА ЛИМПОПО, ЮАР, КАК СВИДЕТЕЛЬСТВО КАРБОНАТСОДЕРЖАЩЕГО ИСТОЧНИКА ГРАНИТНЫХ МАГМ

А.С. Митяев, О.Г. Сафонов, В.О. Япаскурт, В.Д. Щербаков

Полифазные включения в минералах мигматитов высоких ступеней метаморфизма часто интерпретируются как раскристаллизованные включения расплавов [1, 2]. Исследование таких включений дает информацию о составах расплавов, возникающих при коровом анатексисе, об условиях этого процесса, а также помогает выяснить состав протолита, подвергшегося анатексису. Расплавные включения обычно содержатся в минералах, возникших в ходе перитектического плавления. Обычно минералом-хозяином расплавных включений в минералах мигматитов является гранат, хотя они также встречены и других минералах [1, 2]. Обычно полифазные включения состоят из силикатных фаз и представляют собой продукты кристаллизации флюидонасыщенных расплавов гранитного, гранодиоритового и тоналит-трондьемитового состава. Однако в работе [3] в гранатах мигматитов Богемского массива описаны включения, содержащие кальцит. Эти включения ассоциируются с обычными полифазными «гранитными» (Bt+Pl+Qtz) включениями и включениями CO₂ флюида. На основе этих наблюдений авторы сделали вывод о генерации карбонатитовых и гранитных расплавов в ходе анатексиса гетерогенного карбонатсодержащего протолита. Включения, описанные [3], являются уникальным примером включений коровых карбонатно-силикатных расплавов, связанных с анатексисом при высокотемпературном метаморфизме. Однако подобные включения в породах докембрийских гранулитовых комплексов ранее не были известны.

В работе представлены результаты изучения карбонатсодержащих полифазных включений в гранатах из гранитов Южной Краевой Зоны (ЮКЗ) неоархейского (2.72-2.62 млрд. лет) гранулитового комплекса Лимпопо, ЮАР. Реинтегрированные составы полевых шпатов из гранитов указывают на температуру гранитной магмы 870 – 950°C, а преобладание углекислых флюидных включений в кварце из гранитов свидетельствует о существенно углекислом составе флюида, сопровождавшего ее.

Граниты содержат крупные зерна граната ($X_{Mg} = 0.19 - 0.28$, $X_{Ca} = 0.02 - 0.03$, $X_{Mn} = 0.01 - 0.02$), в ядрах которых идентифицированы карбонатсодержащие полифазные включения размером 8 - 20 мкм. Включения обычно имеют форму «отрицательного кристалла», характерную для расплавных включений. В отличие от [3], карбонатная фаза, составляющая 20 – 80 об. % отдельных включений, представлена (Mg, Fe)CO₃ ($X_{Mg} = 0.24 - 0.78$), тогда как Ca-содержащие карбонаты очень редки. Алюмосиликатной составляющей этих включений является водосодержащая и Fe-Mg-содержащая (3 – 7 мас. % FeO+MgO) фаза с соотношением Si/Al ~ 2, характерным для пирофиллита. В отдельных включениях обнаружены рутил, Zn-

шпинель, циркон, ZnS. Наряду с карбонатсодержащими включениями в гранатах присутствуют силикатные включения, содержащие биотит, кварц, калиевый полевой шпат, плагиоклаз, иногда силлиманит. В отличие от карбонатно-силикатных включений, силикатные включения заметно крупнее (50 - 400 мкм), неправильной формы и часто окружены трещинами.

Микрозондовые растровые анализы индивидуальных включений показали, что составы включений в гранатах связаны трендами. Они выражены в положительной корреляции $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ с $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ и отрицательной с $\text{MgO} + \text{FeO}$. Так для богатых карбонатной составляющей включений сумма $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ не превосходит 0.2 мас. %, в то время как в силикатных включениях она составляет 1.8 - 3.8 мас. %.

Включения карбонатно-силикатных расплавов в гранатах гранитов ЮКЗ указывают на происхождение гранитных магм из гетерогенного карбонатсодержащего источника. Им могли быть вулканогенно-осадочные толщи зеленокаменных поясов кратона Каапвааль, погруженные под гранулиты ЮКЗ на стадии эксгумации комплекса Лимпопо в период времени 2.69-2.62 млрд. лет. Заметное обеднение включений CaO и присутствие в них в качестве дочерней фазы богатой Al_2O_3 фазы - пиррофиллита позволяет предположить, что протолитом могли служить двуслюдяные метапелиты, переслаивающиеся с карбонатными породами. Плавление такого протолита начиналось, вероятно, с образования небольших порций карбонатитовых расплавов. Возможны два сценария развития процесса: (1) карбонатитовые расплавы сосуществовали с силикатными расплавами [3], но по мере развития процесса поглощались ими; (2) карбонатитовые расплавы непрерывно трансформировались в силикатные расплавы по мере увеличения степени плавления силикатной составляющей протолита.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 18-17-00206.

1. Bartoli O., Acosta-Vigil A., Ferrero S., Cesare B. Granitoid magmas preserved as melt inclusions in high-grade metamorphic rock // *American Mineralogist*. 2016. V. 101. P. 1543-1559.
2. Cesare B., Acosta-Vigil A., Bartoli O., Ferrero S. What can we learn from melt inclusions in migmatites and granulites? // *Lithos*. 2015. V. 239. P. 186-215.
3. Ferrero S., Wunder B., Ziemann M. A., Wälle M., O'Brien P. J. (2016). Carbonatitic and granitic melts produced under conditions of primary immiscibility during anatexis in the lower crust // *Earth and Planetary Science Letters*. 2016. V. 454. P. 121-131.