

Министерство науки и высшего образования РФ
Российское минералогическое общество
Федеральный исследовательский центр
«Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук»
Институт геологии имени академика Н. П. Юшкина

**Современные проблемы теоретической,
экспериментальной и прикладной минералогии
(Юшкинские чтения – 2022)**

Материалы российской конференции с международным участием

Сыктывкар, Республика Коми, Россия
18–20 мая 2022 г.

**Modern Problems of Theoretical, Experimental
and Applied Mineralogy
(Yushkin Readings – 2022)**

Proceedings of Russian conference with international participation

Syktvkar, Komi Republic, Russia
18–20 May 2022

Сыктывкар



2022

УДК 548

Современные проблемы теоретической, экспериментальной и прикладной минералогии (Юшкинские чтения — 2022): Материалы российской конференции с международным участием. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2022. 256 с.

В сборнике представлены материалы российской конференции с международным участием «Современные проблемы теоретической, экспериментальной и прикладной минералогии» (Юшкинские чтения — 2022). Рассматриваются фундаментальные проблемы генетической минералогии и кристаллографии, наноминералогии и биоминералогии. Широко представлены материалы по актуальным вопросам рационального использования минерального сырья и экспериментального моделирования процессов минералообразования. Большое внимание уделено минералогии месторождений полезных ископаемых. Сборник представляет интерес для минералогов и специалистов естественно-научного профиля.

Modern Problems of Theoretical, Experimental and Applied Mineralogy (Yushkin Readings — 2022): Proceedings of Russian conference with international participation. Syktyvkar, IG FRC Komi SC UB RAS, 2022. 256 p.

The volume contains Proceedings of Russian conference with international participation «Modern problems of theoretical, experimental and applied mineralogy» (Yushkin Readings — 2022). The fundamental problems of genetic mineralogy and crystallography, nanomineralogy and biomineralogy are considered. Data on actual problems of rational usage of mineral raw materials and experimental modeling of mineral formation processes are widely presented. Much attention is paid to mineralogy of mineral deposits. The volume is of great interest of mineralogists and specialists in the field of natural science.

Тексты докладов воспроизведены в авторской редакции.
Proceedings have been reproduced in the author version.

Экспериментальное изучение процессов дегидратации/декарбонатизации и частичного плавления карбонатсодержащих метаморфических пород в условиях континентальной коры

А. С. Митяев^{1,2}, О. Г. Сафонов^{1,2}, Д. А. Варламов¹

¹ИЭМ РАН, Черногловка; *classic_ten@mail.ru*.

²МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва

Образование гранитоидных магм связано с процессами метаморфизма и анатексиса в условиях верхнеамфиболитовой и гранулитовой фаций в нижней и средней коре, где метаморфические ассоциации выступают реститами от частичного плавления разнообразных коровых субстратов [1]. Высокотемпературный метаморфизм характеризуется специфическим флюидным режимом, в котором заметную роль играет CO_2 [напр. 2], а первичные флюидные включения, содержащие CO_2 и/или дочерние карбонатные фазы [3], в минералах гранитоидов однозначно указывают на участие углекислых флюидов в гранитообразовании. Перспективным направлением в решении вопроса связи углекислых (водно-углекислых) флюидов и гранитоидных магм может быть модель, согласно которой источником для магм и флюидов в отдельных случаях могли служить породы, изначально содержащие карбонаты [4]. Однако эта модель не подтверждена экспериментально, поскольку экспериментальные данные по плавлению метаморфических субстратов, содержащих карбонаты, в условиях континентальной коры отсутствуют.

В данной работе приведены результаты экспериментов по дегидратации/декарбонатизации и частичному плавлению карбонатсодержащих метаграувакк, метабазитов, метаультрамафитов в условиях высокотемпературного метаморфизма и моделирование фазовых отношений в этих породах посредством метода псевдосечений. Эксперименты проводились в интервале давлений 6–15 кбар на установке цилиндр-поршень в ИЭМ РАН. Продолжительность каждого эксперимента составляла 7 суток.

Эксперименты с карбонат-биотитовым гнейсом по составу близкого к метаграувакке при давлениях 6, 10 и 15 кбар в температурном интервале 800–950°C и моделирование фазовых отношений в этой породе посредством метода псевдосечений выявили субвертикальный положительный dP/dT наклон солидуса породы. В продуктах опытов при давлениях 6 и 10 кбар и температурах > 850°C выявлены ассоциации клинопироксена, ортопироксена и ильменита, а при 15 кбар ортопироксен и ильменит отсутствуют, но стабильны кальциевый гранат и рутил. Первые порции расплава вблизи солидуса при 6 и 10 кбар представляют собой бедные SiO_2 (44–50 мас. %) расплавы, образование которых обусловлено участием карбонатных фаз в реакциях плавления. С повышением температуры расплавы приобретают гранитный состав, который

близок к составу расплавов, образующихся при плавлении ассоциации плагиоклаз + биотит + кварц без участия карбонатов. С расплавами сосуществует (водно-)углекислый флюид, содержащий Ca-Mg-Fe карбонатные компоненты. Сравнение результатов экспериментов с литературными данными по частичному плавлению ассоциации плагиоклаз + биотит + кварц без участия карбонатов позволяет сделать предварительный вывод о том, что Ca-Mg-Fe карбонаты способствуют понижению температуры плавления.

Эксперименты с карбонатсодержащим метаультрабазитом (хлорит-амфибол-карбонатный сланец) проводились при температурах 600, 700 и 800°C, давлении 7 кбар. При 600°C заметных изменений в образце не выявлено. При 700°C в зернах доломит-анкеритового карбоната появляются многочисленные поры, свидетельствующие об его разложении и, вероятно, растворении водным флюидом, образованном при дегидратации хлорита. Содержание магниевой составляющей карбоната заметно снижается с 0.43 до 0.35, но растет отношение $\text{Ca}/(\text{Ca}+\text{Mg}+\text{Fe})$ до 0.57, указывая тем самым, вероятно, на активное перераспределение магниевой составляющей карбонатного компонента во флюид. На контактах зерен карбоната с хлоритом и амфиболом появляется ортопироксен. При 800°C происходит практически полное разложение карбоната, на контактах реликтов зерен карбоната с амфиболом и хлоритом образуются каймы орто- и клинопироксена. Состав карбоната становится близким к кальциту ($X_{\text{Ca}} = 0.80\text{--}0.90$). Свидетельств частичного плавления сланца не установлено. Термодинамическое моделирование минеральных ассоциаций этой породы показало, что водный флюид начинает образовываться в результате разложения хлорита и амфиболов при температуре выше 650–670°C. Выделение CO_2 при разложении карбоната происходит при температуре выше 750–800°C.

Предварительные эксперименты с карбонатсодержащим метабазитом (амфибол + плагиоклаз + кварц + биотит + кальцит) при температуре 900 и 950°C и давлении 10 кбар показали первые порции расплава образуются при 900°C, однако содержание расплава не превосходит 2 об. %. На контактах карбоната с биотитом, кварцем и плагиоклазом образуется клинопироксен. При 950°C в продуктах опытов отсутствует кварц, количество клинопироксена увеличивается и появляется Сагранат. Содержание расплава увеличивается до 10–15 об. %. С расплавами сосуществует (водно-)угле-

кислый флюид, содержащий Ca-Mg-Fe карбонатные компоненты. Сравнение результатов экспериментов с литературными данными по частичному плавлению ассоциации амфибол + плагиоклаз + кварц (+биотит) без участия карбонатов позволяет сделать предварительный вывод о том, что основными минералогическими индикаторами присутствия карбоната в реакциях частичного плавления являются клинопироксен и Са-гранат, в то время как главной фазой в процессах плавления указанной ассоциации без участия карбоната является ортопироксен.

Эксперименты продемонстрировали возможность образования гранитных магм совместно с (водно-)углекислыми флюидами в карбонатсодержащем источнике в условиях высокотемпературного метаморфизма в средней и нижней коре. Присутствие Са-граната, клинопироксена или двупироксеновых ассоциаций (в зависимости от состава исходного протолита) в гранитоидах может рассматриваться как минералогический индикатор этого процесса.

Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ №20-35-90013 для аспирантов и частично гранта РНФ 18-17-00206-П.

Литература

1. Brown M. Granite: from genesis to emplacement. // GSA Bull. 2013, 125, 1079–1113.
2. Santosh M., Omori S. CO₂ flushing: a plate tectonic perspective. Gondwana Res. 2008, 13, 86–102.
- Safonov O. G., Mityaev A. S., Yapaskurt V. O., Belyanin G. A., Elburg M., Rajesh H. M., Golunova M. A., Shcherbakov V. D., Butvina V. G., van Reenen D. D., Smit A. C. Carbonate-silicate inclusions in garnet as evidence for a carbonate-bearing source for fluids in leucocratic granitoids associated with granulites of the Southern Marginal Zone, Limpopo Complex, South Africa. Gondwana Res. 2020, 77, 147–167.
- Lowenstern J.B. Carbon dioxide in magmas and implications for hydrothermal systems // Mineralium Deposita, 2001. V. 36. P. 490–502.