

ОТЗЫВ официального оппонента

о диссертации на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук Новоселова Ивана Дмитриевича на тему: «Образование гранатов в реакциях декарбонатизации и их взаимодействие с $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ -флюидами при P,T-параметрах литосферной мантии» по специальности 1.6.4. «Минералогия, кристаллография.

Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых»

Мантийный метасоматоз является одним из наиболее распространенных проявлений глубинного петрогенеза. Многие аспекты этого явления остаются невыясненными в силу комплексного характера процесса, определяемого фазовыми превращениями в породах разного химического состава под воздействием флюидов (расплавов) при меняющихся термодинамических условиях. Изучение различных проявлений метасоматоза, реакций генерации флюида является одной из основных и актуальных задач современной науки.

В диссертационной работе И.Д.Новоселова основной акцент сделан на экспериментальном изучении условий декарбонатизации, ведущей к образованию гранатов, а также на исследовании реакционных взаимодействий гранатов мантийных парагенезисов с углекислыми и водно-углекислыми флюидами при P-T параметрах литосферной мантии. Многие экспериментальные серии соискателем выполнялись впервые, что позволило получить ряд интересных и важных результатов.

Основу работы составляют 50 экспериментов при высоких P-T параметрах, продукты которых изучались с помощью электронной и сканирующей микроскопии, а также различных аналитических методов.

По теме диссертационной работы были опубликованы 6 статей в ведущих научных журналах, а также тезисы 5 докладов, представленных на авторитетных научных конференциях.

Автореферат отражает основные положения диссертации.

Диссертация состоит из введения, 7 глав и заключения. Она изложена на 214 страницах и сопровождается 116 иллюстрациями и 33 таблицами. Список литературы включает 289 наименований.

Во *введении* обосновывается актуальность исследования, формулируются цель и задачи работы. Рассматривается состояние изученности процессов декарбонатизации в мантии Земли, роль гранатов в этих процессах и их взаимодействие с CO_2 -флюидами. Описывается научная новизна, практическая значимость исследования и основные методы, применяемые в работе.

В *первой главе* представлен обзор существующих исследований, посвященных минералогическим ассоциациям верхней мантии Земли, фазам углерода в мантии и мантийным метасоматическим процессам. Обсуждаются основные типы минералов, такие как гранаты, и их роль в процессе метасоматоза. Также рассматриваются модели мантийного метасоматоза, включая системы с CO_2 -флюидом.

Глава написана в целом хорошо, но имеются следующие замечания:

1. Утверждения о том, что все эклогиты – биминеральные породы, которые химически подобны океаническим базальтам – взаимно противоречивы и не соответствуют действительности. Следовало бы сказать, что среди мантийных эклогитов часто встречаются биминеральные разности. Ведь эклогиты могут содержать в породообразующих количествах кварц, кианит и другие минералы. Кроме того, состав биминерального эклогита заметно отличается от океанического базальта как по петрогенным, так и по малым элементам.

2. Образование мантийных пироксенитов далеко не всегда связывают с фракционированием базальтовых магм. Стоило бы сообщить о реакционно-магматической гипотезе образования этих пород.

3. При обсуждении образования водосодержащих флюидов в верхней мантии дается ссылка лишь на работу более чем тридцатилетней давности (Thompson, 1992). Следовало

бы учесть более современные исследования, которые показывают, что дегидратация и взаимодействие минералов с водными флюидами происходят на различных глубинах и затрагивают минералы различного состава, а не только плотные и магнезиальные, как изложено в диссертации.

Во *второй главе* детально описываются методики экспериментальных исследований, использованные для моделирования реакций в литосферной мантии. Приводится описание исходных веществ и методы исследования образцов, полученных в экспериментах. Рассматриваются методы анализа, включая химические и минералогические исследования.

Герметичность ампул при проведении ряда экспериментов достигалась путем использования платиновых ампул с внутренними графитовыми капсулами. Отметим также использование в экспериментах гематитового буферирующего контейнера, предотвращающего диффузию водорода в платиновые ампулы и стабилизирующего состава флюида.

В *третьей главе* рассматриваются многочисленные, аккуратно выполненные эксперименты, в которых изучены реакции разложения карбонатов разного состава (Mg, Fe, Ca, Mn и др.) в присутствии SiO_2 и Al_2O_3 с образованием граната и выделению CO_2 в широком диапазоне P-T условий. По результатам выполненных экспериментов установлены P-T параметры реакций декарбонатизации и стабильности соответствующего граната в углекислом флюиде. Заметим, что многие из реакций до настоящего времени не изучались. При этом по представленным результатам есть вопросы, сформулированные ниже.

Замечания по главе:

1. В тексте сообщается, что целью этой экспериментальной серии является «...определить P,T-области устойчивости природных карбонатов с широкими вариациями составов, провести экспериментальное моделирование реакций декарбонатизации, сопряженных с образованием гранатов, характерных для мантийных ассоциаций и формированием CO_2 флюида...». При этом карбонаты в ампулах помещались в смесь оксидов кремния и алюминия. Если эксперименты нацелены на изучение природных ассоциаций, желательнее объяснить, к какому протолиту применимы реакции с участием корунда (кианита) и кварца, особенно в свете того, что эклогиты в первой главе были представлены как биминеральные породы без этих минералов.

2. Линии реакции декарбонатизации (дегидратации), как правило, становятся круче на P-T диаграмме по мере повышения давления, что имеет вполне ясное термодинамическое объяснение. Представленная форма кривых декарбонатизации строго противоположна «классической», что требует дополнительного объяснения, возможно, с сопоставлением расчётных кривых.

Четвертая глава диссертации посвящена экспериментам по взаимодействию эклогитового и лерцолитового гранатов с CO_2 -флюидом. В главе анализируются условия образования новых фаз, таких как карбонаты, кианит и коэсит, а главное – изменения в составе гранатов в зависимости от температуры и исходного состава. Обнаружены интересные закономерности, например, разнонаправленные тренды изменения состава эклогитового и лерцолитового гранатов в области их разложения на карбонат, кианит и коэсит (при $T \leq 1250$ °C) и в поле их стабильности ($T \geq 1350$ °C). Нельзя не отметить еще одну интересную находку. Установлено, что графитовые ампулы являются ловушками для флюида (расплава?), что делает их источником информации о составе флюида, его зависимости от температуры, состава гранатовых кайм и прочее. По результатам этой серии экспериментов удалось выявить диагностические признаки углекислотного метасоматоза в мантии и дать им объяснение – еще один важный результат.

Из представленных результатов следует, что углекислый флюид может растворять при высоких P-T параметрах весьма значимые количества SiO_2 (до 15 масс %), Al_2O_3 (до 5) и даже Cr_2O_3 (до 2) (табл.4.3). Имеются ли литературные данные о столь высокой

емкости CO₂-флюида для петрогенных оксидов? Почему исключается возможность присутствия алмосиликатного расплава?

В пятой главе выполненная ранее серия изобарических экспериментов с гранатами эклогитового и перидотитового парагенезисов расширена за счет добавления в систему H₂O. Для новой системы также установлены поля стабильной разных минеральных парагенезисов, разнонаправленные тренды изменения состава граната, изменения состава жидкостей, карбонатов и хромсодержащих фаз. Обсуждаются результаты исследований состава вещества, захваченного графитовыми ампулами. По экспериментальным данным установлены диагностические признаки водно-углекислотного метасоматоза и выделены схемы взаимодействия граната с флюидом и расплавом.

Шестая глава описывает особенности и P-T условия кристаллизации графита и алмаза в системах с гранатом. Для каждой из систем установлены также скорости роста алмаза на затравочных кристаллах и их изменение в зависимости от температуры. Результаты экспериментов показали, что система гранат-H₂O-CO₂-C является более эффективной для алмазообразования, чем система гранат-CO₂-C. Стоит также отметить установление ингибирующего воздействия граната на рост алмаза в системе гранат-C-CO₂ по сравнению с безгранатовой системой, а также скоростей, среды и P-T условий роста алмаза на затравочных кристаллах. Неожиданно широким оказался температурный диапазон кристаллизации метастабильного графита при взаимодействии гранат±H₂O-CO₂-C - 950-1550 °C при 6.3 ГПа. Из этого делается справедливый вывод о том, что совместное нахождение графита и алмаза, наблюдаемое в мантийных ксенолитах, не обязательно является следствием их образования на линии равновесия графит/алмаз или перемещения породы в поле стабильности графита, а может быть следствием кристаллизации графита как метастабильной фазы.

В седьмой главе приводится сравнительный анализ результатов выполненных экспериментов с другими экспериментами и природными данными. В частности, приводится сравнение P-T условий, составов граната, карбонатов и расплавов. На всех диаграммах хорошо видно, что меняющиеся составы экспериментальных фаз, как правило попадают в поля природных фаз, что указывает на то, что процессы метасоматоза с участием CO₂ и H₂O-CO₂ флюидами могли недоучитываться при интерпретации некоторых природных данных. Заслуживают внимание установленные изменения составов лерцолитовых гранатов при метасоматозе, при которых низкотемпературные гранаты попадают в поле верлитовых гранатов, а высокотемпературные – в поле гарцбургитовых гранатов. В целом, можно сказать, что в данной главе показывается важность полученных результатов для понимания ряда петрологических процессов в литосферной мантии Земли.

Высказанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования и не противоречат главным защищаемым положениям диссертационной работы. Диссертация отвечает требованиям, предъявляемым ВАК при Минобрнауки России к кандидатским диссертациям, как по широте, важности и научной значимости разработок, так и с точки зрения новизны и достоверности представленного материала, а ее автор, Новоселов Иван Дмитриевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.4. «Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых».

Официальный оппонент:

доктор геолого-минералогических наук,
заведующий кафедрой петрологии и вулканологии

Геологического факультета

Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова

Иванович Алексей Леонидович

письмо Перуше А.А. заверяю

в канцелярии геологического ф-та

М.Г. Вебер



Иванович

17 сентября 2024 года

Контактные данные:

тел.: 7(495)9391305, e-mail: alp@geol.msu.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом
защита диссертация:

25.00.04 – петрология, вулканология

Адрес места работы:

119234, г. Москва, ул. Ленинские горы, д. 1

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, геологический
факультет.

Тел.: 7 (495) 939-2970; e-mail: dean@geol.msu.ru

17.09.2024 г.