

ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук Тамаровой Анастасии
Павловны
на тему: «Минеральные ассоциации и межфазное распределение
примесных элементов на границе переходной зоны и нижней мантии
Земли»
по специальности 25.00.04 – «Петрология, вулканология»

Диссертация Анастасии Павловны Тамаровой посвящена очень интересной теме, - исследованию поведения примесных элементов в минеральных ассоциациях на границе переходной зоны и нижней мантии Земли. Проблема состава глубинной Земли в последние годы является одной из прорывных в современной петрологии благодаря геологическим находкам минеральных фаз переходной зоны и нижней мантии Земли в качестве включений в глубинных алмазах и качественно возросшим возможностям экспериментальной техники. А.П. Тамарова в полной мере использовала обе возможности для рассмотрения вопроса о поведении примесных элементов в этих зонах, который до последнего времени в научной литературе практически не рассматривался. Сама постановка этого вопроса – большое достижение диссертанта.

Диссертация состоит из шести глав и заключения общим объёмом 142 страницы.

В **Главе 1** содержится обзор литературы по исследуемому вопросу. Это отличный, полный обзор накопленных к настоящему времени данных. Диссертант выполнила обобщение имеющихся материалов,

систематизировала их, и в ряде случаев критически рассмотрела имеющиеся гипотезы образования различных минеральных ассоциаций. Более того, в этой главе А.П. Тамарова не ограничилась сводкой литературных данных, а предложила, в некоторых случаях, свои модели. Так, на Рис. 1 и в сопровождающем его тексте она предлагает свою, вполне логичную систематику механизмов изоморфного замещения железа алюминием в бриджманите.

Глава 2 посвящена описанию методики экспериментов и изучения образцов. В качестве стартовых веществ диссертантом использовались смеси оксидов кремния, алюминия, магния и железа, а также карбонаты натрия и калия в качестве источников щелочных металлов. Эти смеси вполне близки к реальному составу переходной зоны и нижней мантии Земли, но с повышенным содержанием щелочей (Na и K), - до 14-20 %. Введение в систему Al_2O_3 вполне оправдано, поскольку катион Al^{3+} обеспечивает реализацию изоморфизма в бриджманите с образованием вакансии кислорода. В ряде экспериментов в систему добавлялись оксиды титана и хрома с целью изучения распределения этих элементов между минеральными фазами переходной зоны и нижней мантии. В другой серии экспериментов добавлялись карбонаты и до 2 мас.% воды в виде брусита. В экспериментах буферы фугитивности кислорода не использовались, однако диспропорционирования железа не происходило, поскольку металлическое железо в образцах не было обнаружено.

Эксперименты выполнялись на многопуансонном аппарате в интервале давлений 21,5-24 ГПа при температурах 1100-2300 °С, что соответствует условиям нижней части переходной зоны и пограничной части нижней мантии Земли. Анализы примесных элементов производились на приборах ICP-MS в двух независимых лабораториях Японии и Китая.

Структура фаз изучалась на автоматическом дифрактометре Enraf Nonius – CAD4 и на дифрактометре типа Bruker-Enraf MACH3 в Университета Флоренции (Италия). Результаты этих исследований моделировались в вычислительном центре МГУ. Такая комплексная методика исследований, с использованием современной аппаратуры и методики, позволила надёжно интерпретировать экспериментально полученные результаты.

Глава 3 содержит результаты исследований межфазного распределения К и Na в системах, моделирующих состав и условия переходной зоны и граничащей с ней части нижней мантии Земли. Эти результаты базируются на материалах 18 экспериментов в интервале температур 1100–1900 °С при давлениях 21,5-24 ГПа. В результате были получены образцы, в которых можно выделить несколько парагенезисов, соответствующих различным давлениям. Очень интересны результаты экспериментов при давлениях 23-24 ГПа. Они показывают ассоциацию карбонатов с бриджманитом лишь при невысоких температурах (1300-1400 °С), давая тем самым возможность качественной термометрии природных геологических ассоциаций. Возможно, дальнейшие исследования натрия в бриджманите позволят разработать количественную термометрию минеральных ассоциаций в области переходной зоны – нижней мантии, т.к. А.П. Тамарова выявила интересную закономерность: растворимости натрия в бриджманите увеличивается с повышением температуры. Это имеет важное значение, поскольку в настоящее время геотермо- и геобарометров для глубинных ассоциаций не имеется; их разработка является первоочередной петрологической задачей.

В этом отношении интересны также полученные диссертантом данные о положительной корреляции концентрации щелочей в бриджманите

с содержанием в нём алюминия, и обратной – с трёхвалентным железом. Эти данные придётся учитывать при разработке новых геотермобарометров.

Глава 4 диссертации посвящена результатам исследования межфазового распределения редкоземельных элементов в условиях частичного плавления при термодинамических параметрах переходной зоны и нижней мантии Земли, - аналогичных изученным в предыдущих главах. Вполне ожидаемо, РЗЭ в ассоциации бриджманит + CaSiPrv накапливаются в CaSiPrv. О распределении РЗЭ в минеральных фазах судить трудно, поскольку оно, очевидно, определяется их соотношением в стартовых составах. К тому же, исходные соотношения вводимых в систему трёх РЗЭ (La, Sm и Lu) в работе не приводятся. Это затрудняет суждение о распределении РЗЭ в получаемых в экспериментах фазах.

Распределения щелочей и РЗЭ, выполненные в главах 3 и 4, проводились для простых систем, моделирующих составы параметрах переходной зоны и нижней мантии Земли лишь принципиально. **В главе 5** эти исследования были выполнены в многокомпонентных системах. Для этого в состав стартового пиролита вводились карбонаты и вода, которые действовали как факторы понижения температуры плавления пиролита (на величину до 400 °С), а также РЗЭ. Как и в простых системах, кристаллизация карбонатов наблюдается только при относительно невысоких температурах (1300-1400 °С). При повышении температуры до 2300 °С наблюдаются различные последовательности плавления.

Составы полученных фаз в целом соответствуют их составам в простых системах. Показательно изменение концентрации глинозёма в бриджманите от 1 до 10 мас.%. При этом остаётся непонятным отсутствие в этом минерале корреляции между содержаниями железа и магния. Интересны вариации железистости ферропериклаза в зависимости от состава исходного

материала: более железистый ферропериклаз образуется в карбонатизированном пиролите, а менее железистые – в водосодержащем пиролите. Не исключено, что этот фактор может быть привлечён для объяснения наличия железистого ферропериклаза в нижней мантии, известного из геологических наблюдений. Интересным также является то, что в экспериментах натрий не распределяется в CaSiPrv (как можно было ожидать), а идет преимущественно в ферропериклаз.

Глава 6 посвящена обсуждению результатов исследований. В целом полученные диссертантом данные согласуются с основными моделями и геологическими материалами по составу включений в глубинных алмазах и их распространённости. В то же время, материалы А.П. Тамаровой несколько отличаются от экспериментальных данных Литасова и Шацкого (Litasov и Shatskiy, 2018), Литвина с соавторами (Литвин и др., 2016) и Томиоки и Мияхары (Tomioka and Miyahara, 2017), что объясняется различиями в количестве и составе карбонатов в исходных системах.

Одним из известных несоответствий между экспериментальными и геологическими данными является неодинаковая распространённость и состав ферропериклаза в природных включениях и результатах опытов. В результате исследований А.П. Тамаровой удалось установить, что существенно железистый ферропериклаз (до $f_{\text{Fe}} = 0.66$) может образоваться в системе карбонатизированного пиролита.

Особым достижением диссертанта явилось, в развитие работ своего руководителя профессора А.В. Боброва, выявление особой роли натрия в глубинных силикатно-карбонатных системах. Оказалось, что такие фазы, как рингвудит, магнезиовюстит, акимотоит, бриджманит могут содержать от 1.6 до 4.4 мас.%. Na_2O . Наличие примеси Na_2O влияет не только на стехиометрию, но также на структуру минералов. Это указывает на важную роль натрия в

глубинных парагенезисах, которая до последнего времени недооценивалась, а также на особую роль натрокарбонатитовой ассоциации в глубинной Земле. В то же время трудно согласиться с утверждением диссертанта о том, что «сверхглубинные алмазы образуются в субдуцированных карбонатитах, которые взаимодействуют с перидотитовой мантией в переходной зоне и нижней мантии Земли» (стр. 111). Нами было показано ранее, что натрокарбонатитовый материал, крайне редкий на поверхности Земли, не поступает в мантию в процессе субдукции, а образуется в результате частичного плавления ниже-мантийного материала, обогащённого углеродом и другими летучими, на глубинах более 2000 км (Kaminsky et al. 2016).

Вместе с тем, указанные замечания имеют частный характер и не умаляют значимости диссертационного исследования. Это отличная работа, выполненная на международном уровне. Её актуальность определяется рассмотрением наиболее интенсивно развивающегося вопроса в современной петрологии, решением ряда научных проблем в этой области. Все научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, полностью обоснованы полученными экспериментальными данными и могут считаться вполне достоверными. Определение высокой роли натрия и выяснение поведения РЗЭ в условиях переходной зоны и верхней части нижней мантии Земли являются новыми в рассматриваемой проблеме. Результаты диссертационной работы А.П. Тамаровой прошли апробацию на Российских и международных научных конференциях и опубликованы в ведущих международных изданиях.

Диссертация А.П. Тамаровой отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует паспорту

специальности 25.00.04 – «Петрология, вулканология» (по геолого-минералогическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, а также оформлена, согласно приложениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Таким образом, соискатель Тамарова Анастасии Павловна заслуживает присуждения ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.04 – «Петрология, вулканология».

Официальный оппонент:

Доктор геолого-минералогических наук,

Профессор, член-корреспондент РАН,

Главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Ордена Ленина и Ордена Октябрьской Революции Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук

КАМИНСКИЙ Феликс Витольдович



Контактные данные:

тел.: +7(916)156-66-21, e-mail: kaminsky@geokhi.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация:

25.00.05 – «Минералогия, Петрография»

Адрес места работы:



молдовича

119991, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ордена
Ленина и Ордена Октябрьской Революции Институт геохимии и
аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук
(ГЕОХИ РАН); Лаборатория геохимии углерода
г. Москва, ул. Косыгина, д.19

Тел.: +7(499)137-5367; e-mail: kaminsky@geokhi.ru