

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор Института экспериментальной  
минералогии РАН  
Чл.-корр. РАН, д.-т.-м. н. Ю. Б. Шаповалов

14 сентября 2015 г.



Федеральное государственное бюджетное  
учреждение науки  
Институт экспериментальной минералогии  
Российской академии наук (ИЭМ РАН)  
ул. Ак. Осипьяна, 4, г. Черноголовка, Московская  
область, 142432  
Тел./факс: 8(495)993-58-17, <http://www.iem.ac.ru>

### Отзыв

официальной ведущей организации

Федерального государственного бюджетного учреждения науки

Института экспериментальной минералогии Российской академии наук (ИЭМ РАН)  
на диссертационную работу АЛИФИРОВОЙ Таисии Александровны «Продукты распада  
твердых растворов в гранатах и пироксенах (на материале мантийных ксенолитов из  
кимберлитов)», представленную на соискание ученой степени кандидата геолого-  
минералогических наук по специальности 25.00.05 «минералогия, кристаллография»

Диссертационная работа Т.А. Алифировой посвящена комплексному изучению и реконструкции условий образования продуктов распада твердых растворов гранатов и пироксенов на материале мантийных ксенолитов перидотитов, вебстеритов, пироксенитов и эклогитов из кимберлитов Якутии и Финляндии.

В основе работы лежит каменный материал, собранный в ходе полевых экспедиций при участии автора. В целом, коллекция включает 40 ксенолитов пород, и для их изучения диссертантом были рассмотрены более 120 плоскополированных пластинок и шлифов. Для решения поставленных задач работы автором применен широкий комплекс методов исследования, включающий в себя более 750 анализов рентгеноспектральным методом породообразующих минералов и продуктов их распада, получение более 1200 энергодисперсионных спектров, расшифровку более 450 спектров комбинационного рассеяния минералов закономерно ориентированных сростаний. Для определения модальных соотношений минералов в структурах распада оцифровано и обработано более 600 изображений в отраженном свете и в обратно-рассеянных электронах. Выполнены расчеты 86 химических составов исходных гомогенных минералов. Данные по редкоэлементному составу минералов (более 350 анализов минералов) получены методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой и лазерной абляцией.

Актуальность работы определяется тем, что исследование структур распада твердых растворов (эксклюзионных структур) дает ценную генетическую информацию о

составе, происхождении и эволюции исходных гомогенных минералов. Находки подобных образований в силикатах мантийных ксенолитов сравнительно редки и, главным образом, ограничены изучением структур распада только в одном из минералов. Особо актуальными представляются детализация и анализ минералогических и геохимических данных по структурам распада в сосуществующих гранатах и пироксенах разных парагенезисов, охватывающих весь разрез континентальной литосферной мантии. В рамках диссертационной работы проведено систематическое исследование минералогии и геохимии продуктов распада граната, клинопироксена и ортопироксена, которое позволяет выявить парагенетические связи между составом вмещающих минералов и ассоциациями структур распада, а также установить  $P$ - $T$ -параметры эволюции исходных минералов.

Научная новизна и практическая значимость работы не вызывают сомнений. В экссолюционных структурах породообразующих силикатов мантийных ксенолитов из кимберлитовых трубок Якутии определены ранее не диагностированные амфиболы, апатит, коэсит, кварц. Охарактеризованные в гранатах и пироксенах структуры распада твердых растворов являются первой находкой в лерцолитовых ксенолитах из кимберлитов Финляндии. Исследования автора показали, что дочерние минералы в гранатах и пироксенах (оливин, хромшпинелиды, амфиболы и др.) закономерно ориентированы. Новым в работе является нахождение в гранатах вебстерит-пироксенитового типа парагенезиса ламелей клинопироксенов, содержащих собственные ориентированные пластинки (рутил, ильменит), а также клинопироксена в сростаниях с плагиоклазом. Аналитически доказано, что обогащение по легким редкоземельным элементам в гранатах, слагающих ламели в пироксенах, унаследовано от минерала-хозяина. Результаты данного диссертационного исследования могут быть использованы при оценке глубинности формирования новых кимберлитовых тел, потенциальной алмазоносности россыпей. Полученные данные применимы к прогнозной оценке исследуемых территорий при поисках алмазов и их алмазоносных тел.

В целом, диссертация Е.А. Алифировой состоит из введения, шести глав, заключения и списка цитированной литературы из 346 наименований. Объем диссертации составляет 247 страниц, в том числе 79 рисунков, 5 таблиц и 4 приложения.

Во **Введении** автор диссертации показывает актуальность работы, определяет ее цели и задачи, характеризует фактический материал и методы исследования, рассматривает научную и практическую значимость полученных результатов, приводит данные об апробации работы на различных международных и отечественных конференциях и в публикациях, указывает долю личного вклада в исследования и доказывает соответствие диссертации Паспорту научной специальности 25.00.05 «минералогия, кристаллография». Далее во Введении формулируются три защищаемых положения, которые обоснованно доказываются в последующих 4-х главах.

В **Главе 1** приводится обзор литературных данных, касающийся истории изученности и современного состояния исследований структур распада твердых растворов в гранатах и пироксенах мантийных пород. Среди выделившихся минералов в гранатах мантийных ассоциаций из кимберлитов Якутии установлены рутил, ильменит, моноклинный и ромбический пироксены, шпинелиды, оливин. Проанализированы выполненные в отдельных работах оценки  $P$ - $T$  параметров стабильности исходных гранатов. Показано преобразование морфологии продуктов распада в пироксенах и гранатах при длительном отжиге в условиях верхней мантии и прослежена стадийность

формирования экссолюционных структур. С целью уточнения задач диссертационной работы обозначены пробелы в изучении минералов с экссолюционными структурами. В частности, автор рассматривает необходимость сравнения минерального состава продуктов распада гранатов и пироксенов, изучения геохимии продуктов распада пироксенов и сопоставления данных Р-Т эволюции сосуществующих вмещающих гранатов и пироксенов.

В **Главе 2** приводится геологическая характеристика районов исследования, систематизирована информация о местонахождении, геологическом строении, возрасте и тектонической позиции кимберлитовых трубок, образцы из которых изучены в диссертационной работе.

**Глава 3** посвящена характеристике использованных в работе методов исследования. Детально описаны методы оптической и сканирующей электронной микроскопии, спектроскопии комбинационного рассеяния, рентгеноспектрального микроанализа с электронным зондом, масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой и лазерной абляцией (LA ICP-MS). Особого внимания заслуживает описание оценки составов исходных гомогенных твердых растворов, выполненной на основе химических анализов минералов, слагающих структуры распада, их модальных соотношений и расчетных плотностей. Модальные содержания определены при анализе изображений с оптического и сканирующего электронного микроскопов с помощью программного модуля PlotCalc.

В **Главе 4** приводится минералого-петрографическая характеристика мантийных ксенолитов и их минералов, содержащих закономерно ориентированные включения. В гранатах и пироксенах выделены моно- и полиминеральные продукты распада. Полиминеральные (или составные) продукты *распада* представляют собой сростания выделившихся индивидов.

Закономерные топотаксические сростания в гранатах автором условно разделены на две группы: а) развитые структуры распада с индивидами более 2–5 мкм в поперечнике; б) тонкие (зачаточные) структуры распада с индивидами менее 0.5 мкм в поперечнике. В 37 образцах коллекции (из 39 с гранатом) гранат содержит структуры распада (в 9 из них только тонкие). В экссолюционных структурах в гранатах диссертантом идентифицировано 12 минералов, в число которых входят рутил, ильменит, клинопироксен, ортопироксен, оливин, минералы группы кричтонита (Lvn, Ctn), апатит, хромшпинелиды, Na-Ca-амфиболы (Mkt, Brs), коэсит, кварц, плагиоклаз. По мнению автора, из них 10 (исключая последние два) являются продуктами распада гранатового твердого раствора. Очень интересные результаты были получены Т.А. Алифировой с использованием КР-спектроскопии: установлено, что кварц из структур распада в гранате представляет собой параморфозы по коэситу, так как остаточное давление кварца достигает 1.5–2.0 ГПа, коэсита – 0.9–1.4 ГПа.

Среди продуктов распада клинопироксена и ортопироксена отмечено 7 и 6 минеральных видов, соответственно, включающих пироксены (Срх или Орх), гранат, рутил, ильменит, хромшпинелиды, Ca- и Na-Ca-амфиболы, апатит.

*Нам представляется, что утверждение об отнесении почти всех минералов, находящихся в виде ориентированных включений в кристаллах граната и пироксена является мало обоснованным. В частности, речь идет об апатите, амфиболах, коэсите и кварце. Для подтверждения экссолюционной природы этих фаз автору следовало*

*провести определение ориентировок включений, подтвердив тем самым кристаллохимический контроль минерала-хозяина в их расположении.*

**Глава 5** является наиболее важной в работе и содержит характеристики химического состава породообразующих минералов перидотитового (P-типа), пироксенитового (W-типа) и эклогитового (E-типа) парагенезисов, а также минералов-продуктов распада их твердых растворов. Важное значение имеют выполненные автором исследования составов продуктов распада, обнаруженных в гранатах и клинопироксенах всех парагенезисов. Выполнены геотермобарометрические оценки условий образования перидотитовых и пироксенитовых пород с использованием гранат-ортопироксенового барометра в сочетании с «Са в ортопироксене» и двупироксеновым термометрами. В случае эклогитовых пород применены гранат-клинопироксеновые термометры с косвенной оценкой давлений по расчетным температурам, сопоставленным с известными РТ-значениями для мантийных геотерм. Геохимические особенности минералов, охарактеризованные по характеру распределения РЗЭ в клинопироксенах из ксенолитов лерцолитов и оливиновых вебстеритов, позволили выделить две группы пород по отношению [La/Yb] – низкотемпературные клинопироксениты и ортопироксениты, а также вебстериты и высокотемпературные клинопироксениты. Исследованы спектры распределения РЗЭ как в породообразующих, так и в экссолюционных гранатах пироксенов, позволило обнаружить характерные повышенные содержания легких РЗЭ в экссолюционных ламелях. Изучено также распределение средних и тяжелых РЗЭ в клинопироксенах и гранатах эклогитового парагенезиса. Важное значение имеют выполненные автором анализы составов клинопироксенов, ортопироксенов и гранатов парагенетических P- и W-типов, а также клинопироксенов и гранатов эклогитового парагенезисов, на основе полученных при этом данных осуществлена реконструкция составов исходных гомогенных гранатов. В целом в данном разделе последовательно охарактеризованы перидотитовый, вебстеритовый и эклогитовый типы парагенезисов.

*Уместно заметить, что автор ни в каком виде не оперирует с Na-мэйджоритовым компонентом  $Na_2MgSi_5O_{12}$  мантийных гранатов (Бобров А.В., Литвин Ю.А., Дымищ А.М. Экспериментальные исследования карбонатно-силикатных систем мантии в связи с проблемой алмазообразования. М.: ГЕОС, 2011. 208 с.). Между тем, экспериментально установлено, что при давлениях выше 5 ГПа и температурах 1000 – 1800 °С Na-мэйджоритовый компонент становится характеристическим для мантийных гранат-клинопироксеновых ассоциаций как перидотитовых, так и эклогитовых. Более того, на основе экспериментальных и минералогических данных показано его фундаментальное значение в гранат-пироксеновой барометрии мантийных парагенезисов. Если автор не учитывает возможное присутствие данного компонента в исследуемых породах, «переуравновешенных» при 4.5 – 5.6 ГПа и 890 - 1270 °С, то, казалось бы, это было бы необходимо сделать для реконструированных исходных гомогенных гранатов при аргументируемых 1100 – 1400 °С и 5 - 6 ГПа для пород перидотитового и вебстерит-пироксенитового парагенезисов и, в особенности, при 1250 – 1400 °С и 6 – 8 ГПа для пород эклогитового парагенезиса.*

**В Главе 6** рассматривается происхождение структур распада в гранатах и пироксенов перидотитов, вебстеритов-пироксенитов и эклогитов из кимберлитов Якутии и Финляндии. По результатам проведенных исследований диссертантом сделано предположение, что низкомагнезиальные эклогиты из трубок Удачная и Зарница являлись фрагментами переработанной океанической коры, субдуцированной и подверженной

частичному плавлению с образованием TTG-расплавов, т.е. представляют собой остаточные эклогиты, впоследствии приобщенные к континентальной литосфере. Протолит высокомагнезиального эклогита из трубки Обнаженная мог иметь гибридное корово-мантийное происхождение или же происходить из нижних частей кумулятивного слоя океанической коры.

В заключение необходимо отметить, что защищаемые положения довольно хорошо обоснованы результатами проведенных автором исследований, а также глубоким теоретическим анализом литературных данных. Большой список использованной литературы свидетельствует о том, что автор имеет широкий кругозор и глубокие знания о предмете исследования. Т.А. Алифирова является автором 20 печатных работ, из них четырех статей в российских и зарубежных рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК. Результаты работы были представлены в виде докладов на российских и международных конференциях. Приведенные в отзыве замечания во многом имеют рекомендательный характер и могут быть учтены в последующей работе. Следует подчеркнуть сложность изученных объектов и использование существующих методов их исследования в полном объеме. Автореферат и опубликованные работы отражают содержание диссертации. Полученные диссертантом результаты вносят значительный вклад в минералогию мантйных ксенолитов из кимберлитов, а также в решение проблемы глубинного строения и состава мантии Земли.

Представленная работа соответствует всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Алифирова Таисия Александровна, заслуживает присуждение ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.05 «минералогия, кристаллография».

Заведующий лабораторией флюидно-магматических  
процессов ИЭМ РАН,  
доктор химических наук, профессор



ЛИТВИН Ю.А.

Старший научный сотрудник ИЭМ РАН,  
доктор геолого-минералогических наук



БОБРОВ А.В.

Отзыв заслушан и одобрен в качестве официального на заседании Ученого совета ФГБУН  
Института экспериментальной минералогии РАН (ИЭМ РАН) 1.3.2015., протокол №4/

.....

Председатель Ученого совета ИЭМ РАН  
член-корреспондент РАН, д. г.-м. н.



ШАПОВАЛОВ Ю.Б.

Ученый секретарь совета, к. г.-м. н.



ФЕДЬКИН В.В.