

В диссертационный Совет Д 003.067.03 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения РАН, г. Новосибирск.

ОТЗЫВ официального оппонента

на докторскую диссертацию Чепурова Алексея Анатольевича на тему
«Экспериментальное исследование кристаллизации и преобразования силикатных и оксидных минералов мантийных парагенезисов, ассоциирующих с алмазом»
по специальности 25.00.05 – минералогия, кристаллография на соискание ученой степени
доктора геолого-минералогических наук, представленную диссертационному совету
Д 003.067.02.

Диссертация посвящена фундаментальной проблеме экспериментальной минералогии, а именно - моделированию условий образования и устойчивости силикатных минералов мантийных парагенезисов, ассоциирующих с алмазом. Работа базируется на большом фактическом материале, включая более 500 опытов при высоком давлении. При изучении полученных образцов был использован комплекс современных методов.

Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения и списка литературы из 524 наименований. Объем диссертации составляет 318 страниц, включая 106 иллюстраций и 43 таблицы. Материалы диссертации опубликованы в 31 статье в рецензируемых отечественных и зарубежных журналах по перечню ВАК, получено 4 патента на изобретения РФ, основные результаты были представлены автором на российских и международных конференциях.

Актуальность работы не вызывает сомнений, поскольку диссертантом ставятся задачи экспериментального моделирования процессов, которые могут быть широко распространены в природных условиях. Существующие модели еще недостаточно совершенны, особенно с точки зрения понимания условий кристаллизации высокохромистых гранатов и их тесной связи с алмазообразованием. В последние годы резко возрос интерес к изучению процессов образования алмазов при участии металлических расплавов, а проведенные в диссертационной работе эксперименты по совместной кристаллизации силикатных и оксидных минералов совместно с алмазом в расплаве Fe-Ni, дают ответы на ряд вопросов, касающихся возможных условий кристаллизации минералов мантийных алмазодержащих пород, а также роли силикатных и оксидных минералов в процессе кристаллизации таких алмазов. Весьма актуальными и

убедительными выглядят результаты экспериментов по моделированию устойчивости силикатных минералов в кимберлитовом расплаве, т.к. подобные исследования способны расширить наши знания об эволюции кимберлитовых магм в природе.

Целью работы являлось экспериментальное исследование кристаллизации силикатных и оксидных минералов, типичных для мантийных алмазосодержащих парагенезисов, в том числе совместно с алмазом в металлическом расплаве, а также изучение взаимодействия силикатных минералов с кимберлитовым расплавом.

В связи с этим автором решались следующие основные задачи: проведение совместной кристаллизации алмаза и силикатных минералов в силикат-металл-углеродных системах при высоких давлениях и температурах; кристаллизация высокохромистых гранатов в модельных системах при P-T условиях, соответствующих верхней мантии Земли; экспериментальное исследование устойчивости силикатных минералов при взаимодействии с кимберлитовым расплавом при мантийных P-T параметрах; НРНТ отжиг алмазов; выявление особенностей поверхностных микроструктур на кристаллах природного алмаза с использованием атомно-силовой микроскопии.

В первую очередь необходимо отметить большую методическую работу, которая была выполнена при подготовке диссертации и позволила обеспечить автору получение качественных результатов. А.А. Чепуровым получены интересные данные по изучению химического состава минералов, кристаллизующихся совместно с алмазом в высоковосстановительных условиях, соответствующих устойчивости металлических Fe-Ni расплавов и проведено сопоставление с данными по природным образцам ксенолитов в кимберлитах и включениям в природных алмазах. Результаты проведенного моделирования кристаллизации хромистых гранатов продемонстрировали возможность образования широкого спектра высокохромистых гранатов ультраосновных ассоциаций, включая субкальциевые хромистые пиропы – типичные минералы индикаторы алмаза. Отдельным пунктом следует отметить проведенные эксперименты по устойчивости и преобразованию силикатных минералов в кимберлитовом расплаве при мантийных P-T параметрах, моделирующий глубинный этап выноса минерального вещества. Диссертантом также исследован процесс гравитационного фракционирования кристаллов силикатных минералов в кимберлитовом расплаве при давлении 4 ГПа. В дополнение стоит сказать о применении автором нового подхода к изучению особенностей микроморфологии поверхности кристаллов алмаза с использованием метода атомно-силовой микроскопии, позволившим утверждать, что тригональные слои на алмазах из кимберлитов могут быть результатом частичного растворения. Опыт диссертанта в

области отжига при высоком давлении и температуре (НРНТ) позволил ему изучить влияние отжига на сульфидные включения в природных алмазах.

В первой главе диссертации содержится литературный обзор существующих представлений о кристаллизации алмазов в природных условиях и эксперименте, современных знаниях об образовании субкальциевых хромистых гранатов в мантии Земли и взгляды на происхождение кимберлитовых расплавов. Обзор написан достаточно полно, изложены основные гипотезы, сделаны необходимые обоснования цели и задач по теме диссертации.

Вторая глава посвящена характеристике аппарата высокого давления, методикам проведения экспериментов и методам исследований. Представлено описание устройства аппарата "БАРС" и приемов работы на нем, а также схемы сборок образцов. Приводятся химические составы и характеристики исходных материалов, включая природные образцы минералов, которые были широко использованы при проведении экспериментов. Глава написана последовательно, лаконично и представленные сведения замечаний не вызывают.

Последующие главы являются тематическими. Эти главы заканчиваются выводами, сделанными на основании проведенных исследований. Такая структура диссертации очень удобна для восприятия представленного материала и анализа полученных результатов. Текст диссертации хорошо структурирован и иллюстрирован. Содержание автореферата полностью соответствует содержанию диссертации.

Защищаемые положения диссертации:

- 1. При давлении 5.5 ГПа и температуре 1450 °С в гетерогенной среде, состоящей из расплавов Fe-Ni-C и силикатсодержащего материала основным агентом алмазообразования является Fe-Ni расплав, причем рост монокристаллов алмаза сменяется образованием его расщепленных кристаллов при содержании силикатного вещества более 10 вес.%. Химический состав силикатов и оксидов, кристаллизующихся совместно с алмазом, соответствует минералам мантийных алмазсодержащих парагенезисов.*
- 2. При давлении 5 ГПа и температурах 1100-1300 °С в результате взаимодействия серпентинита и хромита возникают минеральные ассоциации, состоящие из высокомагнезильного оливина, ортопироксена, хромистой шпинели и граната. При этом, в условиях поступления кальция состав граната изменяется в широком диапазоне от самых низкокальциевых (0.3 мас.% CaO) до высококальциевых (20 мас.% CaO) разновидностей, что демонстрирует определяющую роль миграции кальция на кристаллизацию широкого спектра гранатов.*

3. При давлении 5 ГПа и температуре 1300 °С в системе оливин-ортопироксен-хромит-корунд в присутствии водного флюида и до 1.5 вес.% Са-содержащего субстрата происходит кристаллизация гранатов с содержанием Cr_2O_3 до 14.25 мас.% и СаО не более 3.5 мас.%, сходных по составу с гарцбургитовыми гранатами из включений в природных алмазах, что демонстрирует принципиальную возможность образования субкальциевых хромистых пиропов мантийных парагенезисов путем метасоматических преобразований гарцбургитов.
4. При давлении 4 ГПа и температурах 1300-1500 °С экспериментально установлен ряд устойчивости силикатных минералов перидотитового парагенезиса в кимберлитовом расплаве, а именно оливин >> гранат > ортопироксен > клинопироксен, что указывает на возможный механизм обогащения расплава кремнеземом в мантийных условиях. При этом показана высокая скорость оседания кристаллов силикатных минералов в кимберлитовом расплаве, которая составляет порядка 1 м/час. Преобразование пиропы в пироп-гроссуляровый гранат с высоким содержанием СаО до 24 мас.% служит свидетельством роста природного алмаза с захватом включений субкальциевых гранатов в средах с очень низким содержанием кальция. Ксеногенность монокристаллов алмаза по отношению к кимберлиту подтверждается по данным атомно-силовой микроскопии наноморфологическими признаками растворения поверхности алмазов.

Анализ полученных автором работы результатов и сделанных выводов позволяет утверждать, что защищаемые положения и выводы, сформулированные в диссертации, вполне обоснованы. Новизна исследования четко сформулирована, а достоверность полученных результатов подкрепляется большим объемом экспериментальных данных и корректным исследованием продуктов опытов современными аналитическими методами. Исследование, проведенное автором, имеет важное значение для науки и практики. Разработанные и запатентованные технологические приемы выращивания и отжига кристаллов алмаза при высоком давлении могут быть полезными для дальнейшего совершенствования НРНТ-технологии (High Pressure - High Temperature); результаты изучения состава гранатов, кристаллизовавшихся в поле устойчивости алмаза, а также новые экспериментальные данные по взаимодействию гранатов с кимберлитовыми расплавами могут быть использованы для совершенствования критериев оценки алмазоносности кимберлитов.

Проведенное А.А.Чепуровым экспериментальное изучение процессов кристаллизации минералов мантийных парагенезисов, а также сравнение полученных

результатов с известными данными по природным образцам, позволило автору диссертации не только продемонстрировать условия образования высокохромистых гранатов ультраосновных ассоциаций – минералов индикаторов алмаза, но и внести существенный вклад в усовершенствование современной модели алмазообразования при участии металлических расплавов. Дополнительно следует подчеркнуть, что эксперименты по изучению взаимодействия силикатных минералов с кимберлитовым расплавом позволили оценить устойчивость мантийных силикатов в условиях верхней мантии Земли в ходе эволюции кимберлитовых магм.

В то же время следует отметить некоторые замечания:

-Выражение расщепленные кристаллы, употребляемое автором в ряде случаев, представляется нам не совсем корректным.

-Представляется весьма дискуссионным утверждение о том, что преобразование пироп в пироп-гроссуляровый гранат с высоким содержанием CaO до 24 мас.% служит свидетельством роста природного алмаза с захватом включений субкальциевых гранатов в средах с очень низким содержанием кальция. В таких случаях мы должны были бы встречать пироп-гроссуляровые гранаты с высоким содержанием кальция во включениях алмазов даже ультраосновного парагенезиса. Однако подобные гранаты зафиксированы только в ксенолитах кианитовых эклогитов и гросспидитов или в соответствующих включениях эклогитового парагенезиса в алмазах. Тем более, что в заключении работы диссертантом подчеркивается, что содержание Ca в гранате, главным образом определяют не P-T условия его образования, а состав среды кристаллизации.

-Рецензенту кажется весьма маловероятным, что в эклогите доломит и коэсит участвуют в образовании алмаза, как пишет диссертант, со ссылкой на [Luth, 1993]. Поскольку доломит практически не фиксируется как первичная фаза в эклогитах, а коэсит встречается достаточно редко в виде включений в алмазах, но при этом коэсит относительно широко распространен в не алмазоносных разновидностях эклогитов.

-Несколько неудачен пример срастания алмаза с силикатными и оксидными минералами (рис.7 автореферата, соответственно, рис. 3.10 текста диссертации), который скорее иллюстрирует обрастание алмаза силикатами.

Высказанные замечания имеют непринципиальный характер в отношении защищаемых положений, отнюдь не умаляют и не снижают общей высокой оценки работы и носят характер пожеланий в дальнейших исследовательских работах автора. Представленные в работе экспериментальные данные, несомненно, способствуют

пониманию условий кристаллизации минералов, типичных для мантийных алмазосодержащих пород и решению проблемы генезиса алмазов в природе. Диссертационная работа Чепурова Алексея Анатольевича на тему «Экспериментальное исследование кристаллизации и преобразования силикатных и оксидных минералов мантийных парагенезисов, ассоциирующих с алмазом», представленная на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 25.00.05 – минералогия, кристаллография, является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором экспериментальных исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение, что соответствует требованиям п. 7 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 30.01.2002 г. № 74 (с изменениями, внесенными Постановлением Правительства РФ от 20.06.2011 г. № 475), а ее автор, несомненно, заслуживает присуждения ему искомой ученой степени.

Официальный оппонент,

доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории «Петрология кимберлитов» Отдела комплексного анализа минералов и руд Научно-исследовательского геологического предприятия (НИГП) АК «АЛРОСА» (ПАО) Специус Здислав Витольдович

Адрес: г. Мирный, Чернышевское шоссе, 16, тел. 841136-45771, spetsiuszv@alrosa.ru

Я, Специус Здислав Витольдович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой Диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

Подпись



З.В. Специус

Подпись Специуса З.В. удостоверяю.

Ведущий инженер НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО)

Е.А. Толстова

Дата оформления отзыва - 26 ноября 2018 г.