

ОТЗЫВ

**официального оппонента на диссертацию Чепурова Алексея Анатольевича
«Экспериментальное исследование кристаллизации и преобразования
силикатных и оксидных минералов мантийных парагенезисов,
ассоциирующих с алмазом»
представленную на соискание ученой степени
доктора геолого-минералогических наук по специальности 25.00.05 – минералогия,
кристаллография**

Представленная работа, несомненно, актуальна, поскольку все вопросы, которые касаются генезиса природного алмаза и кристаллизации этого минерала в парагенезисе с силикатными и оксидными минералами в экспериментах, имеют исключительно значение для решения фундаментальных проблем эволюции Земли и для решения ряда прикладных задач от поиска алмазных месторождений до решения проблем получения искусственного алмаза. Автор данной работы А.А. Чепуров справедливо отмечает, что еще много в этом направлении нерешенных вопросов. Общее впечатление от представленной работы очень хорошее, хотя есть, конечно, некоторые замечания.

Так, например, хорошо известно, что экспериментам по кристаллизации алмаза и ассоциирующих с ним минералов посвящено немало работ. И если в данной работе большое внимание уделено существующим представлениям о кристаллизации алмаза, образовании хромистых гранатов и генезисе кимберлитовых расплавов, то экспериментальным работам по кристаллизации алмаза и минералов, ассоциирующих с ним, в работе не уделено должного внимания. Вот, например, Ю.Л. Литвин считает, что силикатные минералы во включениях в алмазе – это не сингенетические включения, а в определенной степени ксеногенный материал. А сингенетические – это сложные по составу гетерогенные флюидные включения. По этой причине необходимо было А.А. Чепурову более детально остановиться на этом вопросе. Такое литературное обобщение, по нашему мнению, необходимо было в данной работе, чтобы понять, почему А.А. Чепуров вел данную работу и в чем его работа отличается от предыдущих. Никто этим не занимался до него? Остались нерешенные задачи?

Другое замечание. В работе 4 защищаемых положения. Обычно работу строят по защищаемым положениям. Это очень удобно для понимания сути работы. Или, например, идут по такому пути. Идет, скажем, глава, и затем в конце главы делают заключение, что представленный материал в такой-то главе отвечает такому-то защищаемому положению.

Здесь в этой работе все идет по защищаемым положениям, но надо самому читателю найти, где и какая часть той или иной главы отвечает такому-то защищаемому положению. Это очень неудобно для читателя, напрягает его, и необходимо несколько раз внимательно читать работу, прежде всего для выделения материала, который отвечает конкретному защищаемому положению. Особенно это касается второго и третьего положений.

А потом уже, после того как разобрались с этим, читатель принимается за анализ работы.

Это общие замечания. Работа очень многоплановая, и в ней представлен огромный экспериментальный материал.

Основные задачи понятны и логичны. Их семь, и они отражают суть работы.

С целью работы тоже все ясно. Здесь также нет вопросов. Большой фактический материал, много экспериментов, разнообразные методы исследований полученных образцов в результате экспериментов.

Научная новизна несомненна, и также мы имеем все основания говорить и о ее практической значимости. Здесь и новые технологические приемы выращивания кристаллов алмаза в системе сопутствующих минералов, и некоторые новые данные, которые могут быть использованы для совершенствования критериев оценки алмазности кимберлитов. Кроме того, получено 4 патента.

Публикации соответствуют требованиям ВАКа. И все в порядке со структурой работы. Большая библиография. Это впечатляет.

Теперь перейдем к анализу самой работы.

Начнем с **Главы 1. Существующие представления о кристаллизации алмаза, образовании хромистых гранатов и генезисе кимберлитовых расплавов.**

Сколько по этому направлению опубликовано работ! Тысячи! Суть различных главных гипотез образования алмазов представлена верно на основании синтеза алмаза в различных средах и обстановках. Это и силикатно-флюидные, силикатно-сульфидные, силикатно-карбонатные, металл-углеродные, металл-сульфид-углеродные. В современных моделях образование алмазов рассматривают через метасоматический процесс, отводя огромную роль флюидам. Здесь мы бы в этом обзоре А.А. Чепурова рассмотрели процессы образования алмаза на всем разрезе мантии вплоть до глубин порядка 700 км, а не ограничивались только фразой, что **«Находки в алмазах включений Fe-Ni-углерод-сульфидного сплава совместно с карбидом и флюидной фазой, состоящей из метана и водорода, явились ярким подтверждением того, что в глубинах мантии Земли присутствуют области с металлическими расплавами, содержащими растворенный углерод и водород»**. В каких глубинах мантии? Присутствуют некие области? А вне этих областей? Хорошо, такие области предполагаются, но в какой связи с флюидной фазой? Какую роль эта флюидная фаза играет?

Это то, что касается алмаза.

Теперь перейдем к образованию субкальциевых хромистых гранатов в мантии Земли. Автор работы справедливо отмечает, что подобный гранат занимает особое место среди гранатов, поскольку именно эти гранаты наиболее распространены в качестве включений в алмазе. Здесь и генетическое их значение и поисковое. Об этом мы все хорошо знаем. Но вся суть вопроса – это вопрос об их происхождении. Вот А.А. Чепуров считает вслед за большой группой известных зарубежных специалистов, что «генезис субкальциевых гранатов тесно связан с деплетированными перидотитовыми породами верхней мантии Земли, достаточно богатыми хромом. Эти породы испытали погружение в область устойчивости алмаза и граната уже в древние эпохи Архея, при этом регулярно подвергались влиянию флюидов сложного состава». Здесь один вопрос, что такое «в область устойчивости... граната». Какого граната? Уже есть хромистый гранат деплетированных перидотитов. В чем здесь дело?

Теперь о происхождении кимберлитовых расплавов. Здесь все более-менее понятно.

Чего мне не хватило в этой главе. Я бы хотел в итоге видеть четко нерешенные проблемы, часть из которых Алексей Анатольевич и решает в своей работе. А так все профессионально.

Еще хотелось бы сказать вот что. Здесь через меня проходило много отличных работ ваших специалистов. И многие из них в той или иной степени касаются экспериментальных работ по синтезу алмаза в разных средах, P-T-условиях и т.д. Вот, например, только недавно была отличная защита докторской работы Жимулева. **Цель работы: «экспериментальное моделирование образования алмазов при дифференциации силикатной и металлической фаз на этапе формирования мантии и ядра Земли, а также посткристаллизационного отжига алмазов и сохранности при выносе к поверхности Земли».** И вы знаете, что интересно: в следующих работах, например, в работе А.А. Чепурова, никакого упоминания об этих работах предыдущих исследователей. Вообще что ли нет никакой связи?! Я хочу на это обратить особое внимание. Меня это тревожит.

Глава 2. Методика работы. Методика работы у всех наших коллег из Института минералогии и геологии на высоком уровне. Без всякого сомнения. В исследованиях был использован многопуансонный аппарат высокого давления (АВД) типа “разрезная сфера”, известный в современной литературе как “БАРС”. Этот аппарат хорошо известен специалистам. При этом именно его конструкция и внутреннее наполнение были отдельной методической работой, которая была проведена в ходе подготовки диссертации, а также опубликована в статьях и патентах РФ с участием автора. Это методическое достоинство работы. Очень хорошая современная исследовательская аппаратура, я даже на ней не буду останавливаться.

Теперь пойдут главы, материал которых лежит в обосновании защищаемых положений.

Первое защищаемое положение: При давлении 5.5 ГПа и температуре 1450 °C 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 алмазосодержащих парагенезисов.

Вот с Главы 3. Экспериментальное моделирование совместной кристаллизации алмаза и силикатных минералов мы и начнем анализ работы. Материал этой главы и лежит в обосновании первого положения. И надо было бы Алексею Анатольевичу Чепурову буквально одной фразой связать первое положение и Главу 3, и все бы было просто отлично. Это небольшое замечание, и оно касается, кстати, всех положений.

Основная мысль положения: основным агентом алмазообразования является Fe-Ni расплав с растворенным углеродом. Это главное.

В этой Главе (3) А.А. Чепуров рассматривал различные аспекты результатов моделирования. В первом разделе этой главы рассматривается рост кристаллов алмаза в металлическом расплаве, содержащем силикатные компоненты. Эксперименты проводили при 5.5-6 ГПа и 1450-1500 °С, моделируя природный перидотит и эклогит.

Проведенные эксперименты продемонстрировали кристаллизацию алмаза в металл-углеродной системе совместно с силикатными и оксидными минералами. Это были кристаллы куб-октаэдрического габитуса, что важно, т.к. присутствие в металлических расплавах силикатных компонентов или силикатного расплава не сказывается на кристаллизационных возможностях таких расплавов. Это важный вывод.

А вот влияние силикатных компонентов на морфологию кристаллов алмаза начинало сказываться при их количестве около и более 10 вес.%, когда наблюдалось появление на октаэдрических гранях алмаза пологих вицинальных бугорков треугольной формы с контурами, параллельными контурам граней кристалла, а дальше рост монокристаллов становился невозможным и алмаз продолжал расти как расщепленный кристалл.

Самое важное в результате экспериментов то, что процессы кристаллизации алмаза и силикатных минералов в экспериментах А.А. Чепурова происходили одновременно, демонстрируя совместный рост алмаза и силикатных минералов. Это, конечно, интересный результат, и его еще необходимо осмыслить.

Следующий раздел – это оценка железистости силикатных минералов, кристаллизующихся с алмазом в высоковосстановительных условиях. Это очень интересный вопрос. Синтезированные в экспериментах силикатные минералы и шпинель характеризовались достаточно низкой железистостью. Это первый вывод автора работы. На основании этого А.А. Чепуров предполагает, что алмазы с включениями низкожелезистых силикатных минералов могли образовываться в высоковосстановительных условиях. Самое важное, что

силикаты всплывают в металлическом расплаве вверх. Таким образом, металлический расплав может быстро “очиститься” от силикатного вещества. Это позволяет кристаллам алмаза беспрепятственно расти в металлическом расплаве.

В следующем разделе (3.3) этой главы показаны результаты исследования микроморфологии кривогранных поверхностей природных алмазов из кимберлитов методом атомно-силовой микроскопии. Округлые поверхности, сформированные дитригональными и тригональными слоями, имеют много общих морфологических свойств. Очень интересные данные, из которых следует, что тригональные слои на алмазах из кимберлитов также могут быть результатом частичного растворения исходных плоскогранных октаэдрических кристаллов.

Таким образом, первое защищаемое положение принимается.

Материал, изложенный в **Главе 4. Экспериментальное моделирование кристаллизации хромистых гранатов**, имеет отношение ко **второму защищаемому положению**. *При давлении 5 ГПа и температурах 1100-1300 °С в результате взаимодействия серпентинита и хромита возникают минеральные ассоциации, состоящие из высокомагнезиального оливина, ортопироксена, хромистой шпинели и граната. При этом в условиях поступления кальция состав граната изменяется в широком диапазоне от самых низкокальциевых (0.3 мас.% СаО) до высококальциевых (20 мас.% СаО) разновидностей, что демонстрирует определяющую роль миграции кальция на кристаллизацию широкого спектра гранатов.*

У меня здесь, да и по ходу дальше одно замечание. Алексей Анатольевич широко использует слово «гранат», хотя для оливина он применяет более конкретное обозначение: высокомагнезиальный оливин. Для шпинели – хромистая шпинель. По нашему мнению, гранат – это обобщенное название. Может быть, здесь подходит более точное определение: хромистый гранат.

В Главе 4, так же как и в Главе 3, весь материал изложен по разделам.

В разделе 4.1 изложен материал по кристаллизации низкокальциевых хромистых гранатов в системе серпентин – хромит целью выяснения влияния состава среды кристаллизации на их образование. При этом А.А. Чепуров отталкивался от гипотезы о том, что океанические серпентиниты, метаморфизованные при высоких Р-Т-параметрах, могли быть протолитами субкальциевых пиропов при субдуцировании серпентинитов на большие глубины [Schulze, 1986]. Исходными материалами для работы были природные серпентин-антигорит и образцы хромита с различным значением Cr# (89.8 и 46.4). Эксперименты проводили при давлении 4-5.5 ГПа и температурах 1100-1200 °С, которые соответствуют мантийным глубинам на уровне 120-150 км.

В продуктах экспериментов были зафиксированы оливин, ортопироксен, исходный хромит, а также новообразованные гранат и шпинель. Новообразованные гранаты характеризуются, в первую очередь, очень низким содержанием кальция (среднее около 0.3 мас.%) и высоким содержанием хрома, до 10 мас.% Cr₂O₃.

Таким образом, в проведенном эксперименте было показано, что в среде, исключительно обедненной по CaO, которая характерна для истощенных мантийных гарцбургитов, могут кристаллизоваться гранаты, по химическому составу приближенные к субкальциевым хромистым гранатам из включений в природных алмазах.

Далее во втором разделе исследования касались экспериментального изучения кристаллизации хромистых гранатов с широкими вариациями содержаний CaO и Cr₂O₃ в модельной системе ультраосновного состава с Ca-содержащим водным флюидом. Автор работы отталкивался от известного факта, что химический состав гранатов из включений в природных алмазах и ксенолитах ультраосновных пород в отношении CaO и Cr₂O₃ весьма разнообразен, и по соотношению этих компонентов гранаты относят к нескольким типам парагенезисов: гарцбургитовому, лерцолитовому или верлитовому. При этом, как показывает анализ современной литературы, образование лерцолитовых хромистых пиропов и уваровитовых гранатов из верлитов в большей степени связывают с развитием мантийного метасоматоза.

А.А. Чепуров особо подчеркивает, что в моделях метасоматического преобразования перидотитов водосодержащие флюиды являются одними из наиболее распространенных агентов, при этом роль водных флюидов в процессах образования хромистых гранатов пока что до конца не ясна. Да, с этим можно согласиться. Была проведена серия опытов с различным соотношением CaO/Cr₂O₃/Al₂O₃. И надо сказать, что были получены очень интересные результаты. В разных сериях эксперимента от низкой добавки CaO до высокой были четко получены гранаты. Гранаты из серии А) (“безкальциевая” сборка образца), характеризуются самым низким содержанием CaO (0.16 - 0.40 мас.%), при этом их хромистость достаточно высокая (5.35 - 11.46 мас.% Cr₂O₃). Гранаты из серии В), где был добавлен кальций, также имеют высокую хромистость, но их отличает повышенное содержание CaO (2.97 - 6.09 мас.%). Гранаты из серии С) (система с очень низким содержанием алюминия и высоким кальция) характеризуются очень высоким содержанием CaO (13.32 - 24.03 мас.%), при этом содержание хрома колеблется в интервале 16.07 - 21.62 мас.% Cr₂O₃.

Сравнение химического состава полученных в опытах гранатов с литературными данными по природным образцам выявило следующее: гранаты в “безкальциевых” опытах серии А) попадают в самую низкокальциевую часть области гарцбургитовых гранатов из включений в природных алмазах. В гранатах серии В), где водный флюид транспортировал CaO, их составы отвечают полю наиболее распространенных включений гранатов гарцбургитового парагенезиса в алмазах с содержанием CaO около 3 мас.%, а часть анализов соответствует включениям гранатов лерцолитового парагенезиса. Эксперименты серии С) выявили ассоциацию минералов, по химическому составу близкую к редким образцам природных гранатсодержащих верлитов: высокомагнезиальный оливин вместе с диопсидом и зеленым уваровитовым гранатом.

Значит водный флюид может играть существенную роль при кристаллизации хромистых гранатов, что и показали проведенные эксперименты. Что и требовалось доказать.

В результате реакций хромитсодержащих гарцбургитов с водным флюидом и привноса кальция возникают породы, состоящие преимущественно из высокомагнезиального оливина, орто- или клинопироксена, хромистой шпинели и граната, состав которого изменяется в широком диапазоне, демонстрируя тренд от низкокальциевых пироповых разновидностей гарцбургитовой ассоциации до высококальциевых уваровитовых гранатов из верлитов.

И, наконец, последний раздел, в котором изложены результаты экспериментов по изучению особенностей зональности высокохромистых гранатов ультраосновной системы. Здесь все очень просто, и А.А. Чепуров очень изящно это продемонстрировал. В качестве источника СаО в систему был добавлен природный мантийный карбонатит, и автор показал, что наблюдается увеличение содержания СаО от 0.68 мас.% в центральной зоне кристалла до 2.01 мас.% на периферии кристалла. Содержание хрома также плавно увеличивается от центра, хотя на последних стадиях роста наблюдается зона небольшого понижения содержания хрома.

А.А. Чепуров показал, что реакции кристаллизации граната происходили при участии флюида сложного состава с преобладанием водной компоненты. При этом содержание Cr_2O_3 в гранате достигает высоких значений (до 14.25 мас.%), а зональность по СаО демонстрирует, что гранат чутко реагирует на изменение состава среды кристаллизации, и даже в пределах одного зерна новообразованного граната можно видеть вариации составов, характерных для всего поля гарцбургитовых природных пиропов.

Только при этом необходимо помнить, что в опытах получены хромистые гранаты одного эволюционного тренда, т.к. в опытах не были задействованы такие элементы, как титан, например, или железо. Разнообразие гранатов ультраосновного парагенезиса в природе широкое, и А.А. Чепуров остановился только на той части, которая отражает соотношение кальция и хрома в природных системах.

У нас нет особых замечаний к этой части работы, и считаем, что второе защищаемое положение доказано.

Вот здесь я хотел бы высказать свою точку зрения на то, что А.А. Чепуров исходя из материалов Главы 4 особо сформулировал третье защищаемое положение:

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.

Напомню, что гранаты в “безкальциевых” опытах А.А. Чепурова серии А) попадают в самую низкокальциевую часть области гарцбургитовых гранатов из включений в природных алмазах с хромом более 10 мас.% и кальцием меньше 3 мас.% .

Также напомню, что А.А. Чепуров показал, что реакции кристаллизации граната происходили при участии флюида сложного состава с преобладанием водной компоненты. При этом содержание Cr_2O_3 в гранате достигает высоких значений (до 14.25 мас.%), а зональность по СаО демонстрирует, что гранат чутко реагирует на изменение состава среды кристаллизации, и даже в пределах одного зерна новообразованного граната можно видеть вариации составов, характерных для всего поля гарцбургитовых природных пиропов.

И все это в рамках модели метасоматического преобразования истощенных перидотитов. Моя точка зрения такова, надо было в третьем защищаемом положении это и отметить особо, а не формулировать в отдельном положении.

И в том и другом случае принципиально важным является роль метасоматических процессов в образовании хромистых гранатов с широкими вариациями хрома и кальция. Это важный результат и вывод.

И, наконец, четвертое защищаемое положение. 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 пиропа 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.

Здесь у меня такое общее замечание, можно было бы об этом и раньше сказать, но здесь, я думаю, оно более уместно. Вот сколько я оппонировал диссертации, в которых изложен экспериментальный материал, столько раз я удивлялся. Ни в одной работе, и в этой тоже, ни слова о выборе параметров температуры и давления. Вот и здесь: **При давлении 4 ГПа и температурах 1300-1500 °С экспериментально установлен ряд... и т.д. А если 4.5 Гпа? А если 1250, а не 1300? Как были выбраны P-T-параметры?**

К этому положению материал изложен в Главе 5. **Экспериментальное изучение взаимодействия силикатных минералов с кимберлитовым расплавом.** Вообще взаимодействию минералов глубинных пород и самого алмаза с кимберлитовым транспортером в последнее время, так лет 10-15, уделяется огромное внимание. Здесь многое удалось понять и самое главное, что

транспортёр в сильнейшей степени влияет на сохранность алмаза и его индикаторных минералов.

В этой главе, так же как и в предыдущих главах, материал изложен по разделам.

В первом разделе рассматриваются вопросы взаимодействия пиропового граната с кимберлитовым расплавом и кристаллизация высококальциевого граната.

В экспериментах в качестве объектов был взят кимберлит и гранаты пиропового и пироп-альмандинового состава. Опыты проводились при давлении 4 ГПа и температуре 1200-1400 °С. Что получилось: «В составе каймы (100 мкм) вокруг исходного граната присутствовал гранат, по составу отличный от исходного: в нем значительно возросло содержание СаО (до 17.6 мас.%) при одновременном уменьшении содержания MgO и FeO, кристаллизовался высококальциевый гранат ряда пироп-гроссуляр (свыше 70% молекулы $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$). Самое высокое содержание СаО (более 24 мас.%) было определено в новообразованных гранатах из основной массы кимберлита». Отсюда очень важный вывод: «можно полагать, что основная стадия роста алмаза с захватом включений предшествовала этапу формирования кимберлитовых расплавов, при этом состав ростовой системы характеризовался очень низким содержанием кальция». **Важный экспериментальный вывод, подтверждающий природный процесс кристаллизации алмаза в мантийных условиях.**

Здесь есть замечание. В качестве объектов был взят кимберлит и гранаты пиропового и пироп-альмандинового состава. А в чем разница в полученных результатах? Это до конца не раскрыто.

В следующем разделе оценивалась скорость растворения силикатных минералов в кимберлитовом расплаве. Экспериментальные исследования проводились при давлении 4 ГПа и температурах 1300-1500 °С при одновременном растворении оливина, граната и пироксенов в кимберлитовой магме.

Первый важный вывод из проделанной работы: «кимберлитовый расплав в течение подъема меняет свой состав при частичной ассимиляции перидотитовых ксенолитов, приводящей к полному растворению ортопироксена».

Второй важный вывод: «в условиях проведенных экспериментов неравновесными с кимберлитовым расплавом оказались в разной степени все исследуемые минералы, при этом устанавливается следующий ряд устойчивости минералов в кимберлитовом расплаве в изученном интервале температур по скорости их растворения $\text{клинопироксен} \geq \text{ортопироксен} \geq \text{гранат} \geq \text{оливин}$. Таким образом, наиболее устойчивыми оказались гранат и оливин.

Очень интересные результаты связаны с опытами по гравитационному фракционированию кристаллов силикатных минералов в кимберлитовом расплаве. Для этого были проведены экспериментальные исследования процесса их осаждения при 4 ГПа и 1400°С в модельной системе монокристалл – кимберлитовый расплав.

Для экспериментов отбирали кристаллы алмаза, граната и оливина и использовалось известное гравитационное осаждение твердых фаз в расплаве меньшей плотности. Также были сделаны теоретические оценки скоростей гравитационного осаждения ксенокристаллов алмаза, оливина, граната и ильменита в кимберлитовой магме. В результате проведенных А.А. Чепуровым экспериментов было показано, что скорость оседания кристаллов силикатных минералов в ультранизковязкой кимберлитовой магме является очень высокой и составляет порядка одного метра в час и более в зависимости от плотности и размера кристаллов. Это все очень интересные результаты, и они могут объяснить нам многие любопытные примеры из наблюдения распределения ксенокристаллов в трубках. Так, например, было хорошо известно о скоплении желваков пикроильменита в определенных слоях кимберлитовой породы, и это описывали В.П. Серенко и Е.Е. Лазько еще в конце 1970-х годов для трубки Мир. Вообще сегодня ясно, что движение транспортера – это непрерывно-дискретный процесс с остановками, медленным движением, быстрым движением, затем извержением в нескольких этапах.

Результаты исследований поверхностей кристаллов алмаза с помощью метода атомно-силовой микроскопии показали (см. раздел 3.3 Главы 3), что да, алмаз ксеногенен по отношению к кимберлиту. На это указывают наноморфологические признаки растворения поверхности алмазов до попадания алмаза в кимберлитовый транспортер. Отсутствие плоских участков на округлых поверхностях алмазов может быть объяснено тем, что они образовались в процессе растворения. Об этом также свидетельствует присутствие отрицательных тригонов на гранях (111) алмаза (рис. 12) как с дитригональными, так и тригональными слоями.

В заключении А.А. Чепуров совершенно правильно замечает, что экспериментальное моделирование – лишь первое приближение к сложным процессам, происходившим в недрах Земли за миллиарды лет. При этом очевидно, что ни один эксперимент не может воссоздать всего того природного многообразия параметров, условий, процессов, что происходили в глубинах Земли, да и в окружающем мире.

Апробация работы вполне отвечает всем требованиям ВАКа. Работа логично построена, интересна и, несомненно, несет научную новизну. Работа направлена на решение одной из фундаментальных проблем петрологии и минералогии, а именно генезиса природного алмаза. Все задачи логично сформулированы, четкие и отражают существо работы. Диссертация полностью соответствует разделу 4 паспорта научной специальности 25.00.05.

Таким образом, в целом работу можно признать весьма актуальным, имеющим генетическое значение и практическую значимость исследованием. Представленная диссертация полностью соответствует требованиям ВАКа, предъявляемым к работам, представленным на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук. Достаточный список опубликованных работ, в том числе и в реферируемых научных журналах. Автореферат

полностью отражает суть представленной работы. Работа написана понятным русским языком.

Автор данной работы Алексей Анатольевич Чепуров – крупный специалист в области экспериментальной минералогии и, несомненно, заслуживает присвоения ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 25.00.05 – минералогия, кристаллография.

Научный руководитель Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана РАН,
Лауреат Премии Правительства в области науки и техники,
Лауреат Премии им. А.Е. Ферсмана РАН,
профессор, доктор геол.-мин. наук

Виктор Константинович Гаранин

Отзыв утвержден на Заседании Ученого совета Минмузея РАН

Ученый секретарь Совета, кандидат геол.-мин. наук Е.Н. Матвиенко



**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ МУЗЕЙ им. А.Е.ФЕРСМАНА Российской академии наук**

Ленинский пр-т, дом 18, корпус 2, Москва, 119071

Телефон (495) 952-00-67; факс (495) 952-48-50. E-mail: mineral@fmm.ru; vgaranin@mail.ru