

ОТЗЫВ

**официального оппонента на диссертацию Михайленко Дениса Сергеевича
«Минералогия графит- и алмазсодержащих ксенолитов из кимберлитовой
трубки «Удачная»,
представленную на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.05 – минералогия,
кристаллография**

Рецензируемая работа актуальна, поскольку в ней отражены новые аспекты в изучении алмазоносных эклогитов, новые данные о кристаллизации графита и алмаза в этих породах, и все эти новые факты несут ценную информацию для осмысления и «понимания глобального углеродного цикла»

Цель работы - исследовать графит и алмаз в графит- алмазсодержащих мантийных породах, и дать представление об условиях их кристаллизации, образования графит-алмазсодержащих пород и самих алмазов и графита в них.

Для достижения цели решалось несколько основных задач: это, конечно, минералого-петрографические особенности этих ксенолитов из трубки «Удачная». Конечно, изучение полиморфных модификаций углерода в подобранной коллекции ксенолитов. И, наконец, оценка физико-химических параметров образования графит-алмазносных ксенолитов из трубки «Удачная».

Объект исследований – коллекция алмазоносных ксенолитов из этой трубки. Больше всего в коллекции – образцов эклогитов (из общего количества 30 образцов 26 отнесены к эклогитам).

Фактический материал и методы изучения. Здесь все ясно. Из этих ксенолитов были сделаны шлифы, они изучены оптическими методами, а далее все те современные локальные методы, которые необходимо применять к изучению локальных областей минералов, алмаза и графита. Это электронно-

зондовые методы, ИК-спектроскопия, КР-спектроскопия, изотопные исследования.

Научная новизна несомненна. Впервые было проведено комплексное изучение графит-алмазосодержащих ксенолитов: минералогическое, спектроскопическое и изотопное. Впервые детально изучены графит и алмаз и показано и доказано, что эти минералы совместно кристаллизуются в поле стабильности алмаза в породах верхней мантии. Впервые дана оценка температур и давлений для графит-алмазосодержащих ксенолитов по геотермобарометру (Ravna, Paguin, 2003). Сделано предположение из установленной степени агрегации азота в алмазах и предполагаемого древнего возраста кристаллов алмаза с графитом, что графит может сохраняться в условиях верхней мантии в области устойчивости алмаза длительное время (~1 млрд. лет). Изотопные характеристики углерода в алмазе в совокупности с литературными данными позволили автору работы сделать заключение, что алмаз и графит имеют мантийные показатели, что дает возможность заключить, что алмаз и графит имеют мантийный источник, это свидетельство общности источника углерода и P-T-условий их образования.

Практическая значимость также несомненна. Новые данные имеют непосредственное отношение к пониманию источника алмаза и определения корреляционных связей алмаза с веществом кимберлитовых тел.

Автор работы выдвинул три защищаемых положения

1. Формирование первичных парагенезисов высоконатровых (Grt-Cpx-Ky-Coe) и магнезиально-железистых (Grt-Cpx-Coe) графит- и алмазосодержащих эклогитов из трубки «Удачная» происходило при температуре 1000-1250°C и давлении 4.7-7.2 ГПа, что соответствует полю стабильности алмаза. Транспортировка этих ксенолитов на поверхность кимберлитовым расплавом приводит к образованию вторичных минеральных ассоциаций (Pl-Kfs-CpxII) уже в области стабильности графита 2.3-1.2 ГПа и 990-660°C.

2. Включения кристаллов графита и алмаза в гранате, клинопироксене, коэсите и кианите из высоконатровых (Grt-Cpx-Ky-Coe) и магнезиально-

железистых (Grt-Cpx-Coe) эклогитов трубки «Удачная» указывают на совместное образование полиморфных модификаций углерода и первичных породообразующих минералов в поле стабильности алмаза. В исследованных образцах эклогитов не установлено признаков кристаллизации графита при температуре и давлении, отвечающих его полю стабильности.

3. На поверхности кристалла алмаза, находящегося в межзерновом пространстве в непосредственной близости с кристаллом графита (на расстоянии менее 70 мкм), следы графитизации отсутствуют. Высокая степень агрегации азота в кристаллах алмаза (%N1 38-40), содержащих частично выходящие за их пределы включения кристаллов графита, является свидетельством сохранения графита в поле стабильности алмаза длительное время ~1 млрд. лет.

Соответствие результатов работы научным специальностям:

Результаты работы соответствуют пункту 2 (минералогия земной коры и мантии Земли, ее поверхности и дна океанов) паспорта специальности 25.00.05.

Автор имеет 5 статей в научных журналах, рекомендованных ВАК.

Структура и объем работы:

Квалификационная работа состоит из введения, 6 глав и заключения, общим объемом 159 страниц и сопровождается 55 рисунками и 22 таблицами. Список использованной литературы составляет 312 наименований.

Теперь перейдем к анализу работы. Здесь все очень просто.

Глава 1 – это состояние проблемы изученности условий кристаллизации графита- и алмазосодержащих ксенолитов из кимберлитов. В начале главы даны петрологические и минералогические особенности алмазоносных ксенолитов, характеристики алмазов. Особо отмечено, что графит-алмазсодержащие ксенолиты описаны ранее в единичных случаях и указывается, что, вероятно, мы имеем метастабильный рост графита в поле стабильности алмаза. Указано, что умеренно окисленные обстановки во всех неметаллических системах являются наиболее благоприятными для кристаллизации алмаза. Приводятся примеры изученности, механизмы образования и генетические особенности образования кристаллов графита, как на поверхности, так и внутри кристаллов алмаза.

Делается вывод, что вопрос о причинах кристаллизации различных полиморфных модификаций углерода, как в экспериментальных системах, так и в природных образцах остается пока дискуссионным. Да и не так много и не так обстоятельно изучены графит-алмазсодержащие ксенолиты мантийных пород. Еще остается много вопросов по поводу их образования, минералогии, и в том числе алмаза и графита. И это все требует их дальнейшего изучения и накопления новых данных по всем направлениям петрологии, геохимии и минералогии как пород, так и минералов.

Глава 2 – методы исследования. Стандартная глава при широком использовании современных локальных методов изучения твердых тел.

Глава 3 – характеристика трубки Удачная и минералого-петрографическая характеристика графит-алмазсодержащих ксенолитов. Вообще-то это наиболее изученная трубка. В каких только работах не найдешь описание трубки, возраста, петрографии и геохимии пород и т.д. И правильно, автор работы привел только краткий очерк по трубке. Мне только кажется, что надо было дать краткую информацию об алмазе и МСА. Потому что трубка высокоалмазоносная, а минералы (МСА) завязаны на ксенолиты мантийных пород.

Далее автор работы дает описание непосредственно графит- и алмазсодержащих ксенолитов, среди которых выделено две группы пород – основная (эклогитовая) и ультраосновная. Описание очень хорошее, профессиональное. И, по существу, практически вся Глава 3 посвящена описанию этих графит-алмазоносных эклогитов. При это дано описание, как первичных минералов, так и вторичных, а также разнообразных акцессориев. Описаны все взаимоотношения между этими минералами. Хочу заметить, что находки подобных ксенолитов достаточно редки и, по существу, подобное описание – это одно из достижений данной работы. При этом даны не только описания, но и составы минералов с таблицами составов. Также Глава хорошо иллюстрирована. Таким образом, в этой главе представлены вполне новые результаты изучения минералогии графит-алмазсодержащих ксенолитов в трубке «Удачная», но удивительно и странно, что из представленного большого и во

многим новым материалам не сделаны никакие выводы, и автор не сумел или не хотел перевести это в разряд защищаемого положения! Это могло бы быть частью первого защищаемого положения, в котором говориться только о том, что «Формирование первичных парагенезисов высоконатровых (Grt-Cpx-Ky-Coe) и магнезиально-железистых (Grt-Cpx-Coe) графит- и алмазсодержащих эклогитов из трубки «Удачная» происходило при температуре 1000-1250 °С и давлении 4.7-7.2 ГПа, что соответствует полю стабильности алмаза». А эта часть первого положения формируется из материала Главы 5. Геотермобарометрия мантийных ксенолитов. И в чем здесь изюминка? Ведь формирование этих уникальных пород понятно, могло происходить только при высоких P-T-параметра, и это было показано в литературе на многочисленных примерах изучения алмазоносных эклогитов. Хорошо, даны значения температур и давлений в положении. Посмотрим в Главе 5, откуда эти конкретные данные? По этой причине мы вынуждены перейти к рассмотрению материала Главы 5, чтобы провести анализ геотермобарометрии до конца, прежде чем закончить с формулировкой первого защищаемого положения.

В работе прямо указано, что « В целом, для графит- алмазсодержащих ксенолитов эклогитов характерен диапазон давлений-температур от 4.4-5.1 ГПа и 1000-1000°С (в значениях температур видимо есть ошибка)». А где те значения температур и давлений, которые указаны в защищаемом положении? А куда делись оценки температур и давлений для графит-алмазсодержащих вебстеритов и ортопироксенита? Их что не надо что ли указывать в положении?

Нас в определенной степени первая часть формулировки первого защищаемого положения не убеждает. А весь прекрасный материал минералогического изучения этих ксенолитов говорит только об одном, что можно было сформулировать более емкое и понятное положение. К сожалению, автор работы не сумел это сделать.

Теперь проанализируем вторую часть данного положения: **«Транспортировка этих ксенолитов на поверхность кимберлитовым расплавом приводит к образованию вторичных минеральных ассоциаций (Pl-Kfs-CpxII) уже в области стабильности графита 2.3-1.2 ГПа и 990-660 °С».**

Вторичная минерализация достаточно хорошо представлена. Здесь больших вопросов нет. Только один вопрос, и он касается вот какой темы. Мы хорошо знаем, что есть существенное влияние на мантийные породы, в том числе и эклогиты, метасоматоза, т.е. воздействие на породы и минералы флюидов в областях мантии. Их действие приводит к катаклазу пород, проникновению по трещинам флюидов и воздействию их на первичные минералы еще в мантии, до воздействия протокимберлитовых и кимберлитовых расплавов. И здесь Д.С. Михайленко совершенно ясно дает понять, что образование вторичных минералов он связывает с воздействием исключительно кимберлитового расплава. В работе нет каких-либо объяснений по этому вопросу, а вопрос не праздный, и он остался без ответа в данной работе.

Таким образом, по поводу первого защищаемого положения можно сказать следующее. Материал, который лежит в основе этого положения, большой, оригинальный, новый, и на основании этого материала можно было легко сформулировать более полное и точное защищаемое положение. В сегодняшней формулировке первое защищаемое положение может удовлетворить оппонента только частично. Оно не до конца проработано с учетом того, что материал к нему гораздо более емкий и большой.

Теперь перейдем ко второму защищаемому положению.

Включения кристаллов графита и алмаза в гранате, клинопироксене, коэсите и кианите из высоконатровых (Grt-Cpx-Ky-Coe) и магнезиально-железистых (Grt-Cpx-Coe) эклогитов трубки «Удачная» указывают на совместное образование полиморфных модификаций углерода и первичных породообразующих минералов в поле стабильности алмаза. В исследованных образцах эклогитов не установлено признаков

кристаллизации графита при температуре и давлении, отвечающих его полю стабильности.

Вот здесь, в отличие от первого защищаемого положения, все ясно и предельно понятно.

Находки крупных включений кристаллов графита в гранате, кианите и омфаците, однозначно свидетельствуют, что, по крайней мере, часть кристаллов графита кристаллизовалась до или совместно с гранатом и другими порообразующими минералами в широком интервале температур (1000-1350°C) и давления (4.5-7.2 ГПа). Это показано Д.С. Михайленко предельно ясно.

А вот наличие графита в межзерновом пространстве, на границе зерен граната и симплектита, позволяет предположить кристаллизацию данного графита совместно с образованием вторичного мелкозернистого агрегата. Здесь тоже все понятно. И что импонирует, здесь весь материал задействован и сфокусирован на формулировке второго защищаемого положения.

Здесь мы хотим вернуться к первому защищаемому положению. Д.С. Михайленко пишет, что «Наличие алмазов в графит- и алмазсодержащих ксенолитах указывает на метасоматическую "проработку" образцов». Значит, есть и другие, кроме алмаза, минералогические факторы, указывающие на эту метасоматическую проработку. Возможно, это некоторая часть вторичных минералов в каймах на порообразующих минералах. Здесь надо было Д.С. Михайленко несколько глубже опуститься в эту интересную проблематику.

В материале к этому положению прекрасно описан и алмаз, и графит, и их взаимоотношения. И вторичный графит и его физические характеристики. Разбираются разные экспериментальные работы по синтезу алмаза при генерации CO₂, роли флюида CO₂ – H₂O и т.д. Приведены доказательства смены условий кристаллизации центральных частей кристаллов алмаза к периферии. Рассматриваются разные процессы кристаллизации полиморфных модификаций углерода: нуклеация и рост метастабильного графита → нуклеация и рост метастабильного графита + рост алмаза (на затравочные кристаллы) → нуклеация и рост алмаза. И, наконец, в работе приведены доказательства

нескольких этапов роста алмаза. Все это действительно новое, и является сильным аргументом в пользу второго защищаемого положения.

И, наконец, третье защищаемое положение: **«На поверхности кристалла алмаза, находящегося в межзерновом пространстве в непосредственной близости с кристаллом графита (на расстоянии менее 70 мкм), следы графитизации отсутствуют. Высокая степень агрегации азота в кристаллах алмаза (%N1 38-40), содержащих частично выходящие за их пределы включения кристаллов графита, является свидетельством сохранения графита в поле стабильности алмаза длительное время ~1 млрд. лет.»**

При работе над материалом диссертации возникает определенная трудность, поскольку материал к защищаемым положениям разбросан по различным Главам от 3 до 6. Вот и в этом случае описание взаимоотношений графита и алмаза можно найти в Главе 4, а генетические особенности обсуждаются в Главе 6. Вот и при анализе материала к третьему защищаемому положению также приходится обращаться то к Главе 4, то к Главе 6. Положение как бы состоит из двух частей. В первой части говорится о том, что обнаружение графита и алмаза в непосредственной близости друг от друга (70 мкм) является первой находкой подобного рода и свидетельствует о том, что происходит совместная кристаллизация метастабильного графита и алмаза.

В изученных ксенолитах эклогитов формирование алмазов с высокой степенью агрегации азота происходило задолго (~1 млрд. лет назад) до захвата ксенолитов кимберлитовым расплавом и это является прямым свидетельством сохранения графита в поле стабильности алмаза в течение длительного времени. Можно с уверенностью сделать вывод о том, что и третье защищаемое положение имеет под собой весомые аргументы и может быть принятым.

Таким образом, можно отметить в качестве итога анализа данной работы, что в результате комплексного исследования минералогии графита и алмаза в графит- алмазосодержащих ксенолитах в сочетании с детальным изучением морфологии, дефектно-примесного и изотопного состава алмаза и графита. Установлены основные закономерности минералообразования в этих уникальных

ксенолитах на всех этапах изменения этих пород в мантии и в кимберлитовом расплаве. Исходя из анализа минералого-петрографических особенностей нахождения полиморфных модификаций углерода и рассчитанных P-T параметров, впервые установлена метастабильная кристаллизация графита в области стабильности алмаза.

В заключении приведены основные выводы, которые отражают суть проделанной работы и те достижения, которые следуют из этой работы.

Очень интересен последний вывод в заключении: «Изотопные характеристики углерода для кристаллов алмаза из алмаз-графитсодержащих ксенолитов демонстрируют широкие вариации от -4.04 до -16.14 ‰, указывающие как на мантийный, так и на коровый источник углерода для алмаза.

К сожалению, автор работы не стал интерпретировать далее полученные параметры, а только их констатировал. А ведь это очень интересный результат – коровые (-16 ‰) и мантийные источники (-4.04‰) углерода зафиксированы. О чем это говорит: разные генерации алмаза? Длительности метасоматоза (начало в мантии, конец в коре) или фракционировании изотопов углерода? Все это можно было бы обсудить более полно.

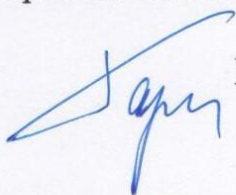
Тем не менее, работа сильная, проделана большая научная работа. Д.С. Михайленко показал себя тонким исследователем. А то, что есть некоторые вопросы к защищаемым положениям – это просто свидетельство того, что нет еще опыта обобщения с четкой отработкой своей позиции по тем или иным вопросам алмазообразования, образование мантийных алмазсодержащих пород. Это все приходит не сразу. Для многих молодых исследователей наряду со знаниями необходим опыт.

Апробация работы вполне отвечает всем требованиям ВАК, а работа логично построена, интересна и несет научную новизну. 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 Д.С. Михайленко можно признать весьма актуальной, новой, имеющей большое генетическое значение и практическую значимость. Диссертация Д.С. Михайленко соответствует всем требованиям ВАК,а, предъявляемым к работам, представленным на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук. Достаточный список опубликованных работ, в том числе и в реферируемых научных журналах. Автореферат полностью отражает суть представленной работы. Работа написана ясным и понятным русским языком.

Автор данной работы, Денис Сергеевич Михайленко, вполне сложившийся специалист в области экспериментальной минералогии, минералогии и петрологии мантии и несомненно, заслуживает присвоения ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.05 – минералогия, кристаллография.

Научный руководитель Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана,
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

19.01.2017

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

