

ФЕДЕРЕЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ МУЗЕЙ им. А.Е.ФЕРСМАНА

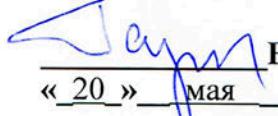
Российской академии наук

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

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

«УТВЕРЖДАЮ»:

Директор Федерального  
государственного бюджетного  
учреждения науки  
Минералогического музея  
им. А.Е. Ферсмана  
Российской академии наук,  
доктор геолого-минералогических  
наук, профессор

 В.К. Гаранин  
«20 » мая 2014 года



### О Т З Ы В

ведущей организации – Федерального государственного бюджетного учреждения науки Минералогического музея имени А.Е. Ферсмана Российской академии наук – на кандидатскую диссертацию Н.А. Солоповой «Кристаллизация алмаза в карбонатных расплавах минералогического значения (эксперимент при 5,5–84,0 ГПа)», представленную на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.05 – минералогия, кристаллография

Кандидатская диссертация Н.А. Солоповой посвящена экспериментальному исследованию ростовых сред, подобных материнским мантийным средам природных алмазов, главным образом, при высоких давлениях и температурах, с изучением кристаллизации алмаза.

Работа исключительна по **актуальности**, вносит заметный вклад не только в развитие методов синтеза особо ценного, имеющего стратегическое значение материала и изучение его свойств, но и в фундаментальные знания по материаловедению, химии, генетической минералогии. Заявленная как главная цель работы – исследование кристаллизации в расплавах-растворах карбонат-углеродных систем и свойств карбонат-алмазов – весьма важна в свете перспективного перехода на их экологичное промышленное производство от теперешнего получения алмазов из растворов углерода в расплавах тяжелых металлов.

Диссертация подытоживает объемные исследования, выполненные автором с использованием различной аппаратуры как в отечественных учреждениях, так и за рубежом. Причем целый ряд результатов получены впервые, что отражает высокий уровень **научной новизны работы**. Это и изучение ряда карбонатных систем в жестких термодинамических условиях с построением РТ – фазовых

диаграмм, и исследование кристаллизации алмаза в определенных карбонат-углеродных расплавах, в том числе на затравке, установление примесных составов и свойств полученных карбонат-синтетических алмазов, и синтез алмазов с углеродом различного изотопного состава, и получение нового алмазного материала и изучение его свойств.

Диссертация общим объемом 112 страниц состоит из введения, шести глав, заключения и списка литературы из 148 наименований; включает 63 рисунка и 12 таблиц. Работа компактная, цельная, написана понятным языком, насыщена большим фактическим материалом, хорошо оформлена.

Главы сбалансированы по насыщенности материалом. В 1-й главе, по сути, в обоснование актуальности темы работы на основе литературных данных дана картина развития и современного состояния исследований сред кристаллизации алмазов и условий их синтеза. Убедительно показана, в том числе на основе данных по включениям в алмазы-минералы, определениям состава их материнских сред, необходимость изучения карбонат-углеродных ростовых систем. В последних уже были получены «карбонат-синтетические» алмазы с перспективными свойствами, более близкие к природным, чем синтезированные в металлических средах. Причем наличие «сверхглубинных» природных алмазов с карбонатными включениями породило серию уже начатых интереснейших работ по изучению упомянутых сред как ростовых для алмаза не только при параметрах верхней мантии, но и в РТ-условиях переходной зоны и нижней мантии, а также работ по изучению изменений карбонатных минералов при соответствующих экстремальных параметрах.

2-я глава посвящена характеристике методики экспериментов. Описание аппаратов высокого давления, определения в них РТ-параметров опытов не очень удачно, формально, хотя понятно, что защищаемая работа отнюдь не техническая и читать об этих методах и уникальной технике следует в соответствующей литературе. Автор же обнаруживает достаточные познания в этой сфере, часть информации, пожалуй, можно было и опустить. Но вот при описании методов, применявшимся при исследовании вещества, инструментария современного минералога, стоило дать более подробные характеристики использованных приборов и условий проведенных измерений. Тем более что результаты: большое число снимков, полученных с помощью электронного микроскопа, рамановских спектров и др., определенный на микрозонде состав образовавшихся фаз в таблицах и т.п. – основа диссертационной работы. Во всяком случае, автор обнаруживает хорошее знание широкого спектра современных методов физического исследования вещества на приборах последних поколений. Можно сказать также о владении методиками расчета ростовых параметров, таких как плотность нуклеации, размеры кристаллов, нормальная скорость их роста.

3-я и 4-я главы центральные в работе.

В 3-й приводятся результаты экспериментальных исследований кристаллизации алмаза на основе многокомпонентных карбонатных расплавов, близких к ростовым средам природных алмазов, в том числе массовой кристаллизации карбонат-синтетического алмаза, а также его роста на затравке в карбонат-углеродных растворах-расплавах. Показана высокая алмазообразующая

эффективность использованных сред в РТ-условиях верхней мантии. Получены кинетические характеристики массовой кристаллизации алмаза и установлена их прямая связь с РТ-условиями опыта: степень пересыщения раствора углерода по отношению к алмазу значительно уменьшается с понижением давления и в меньшей степени – с повышением температуры. Влияние последней на степень пересыщения в тексте первого защищаемого положения оценено как незначительное, с чем трудно согласиться. Эта неточность, видимо, вызвана стремлением к лаконичности формулировки. Судя по приведенным данным, плотности нуклеации алмазной фазы при увеличении температуры от 1500 до 1800 °С уменьшается почти в 7 раз. Изучены и полно охарактеризованы полученные алмазы. Приведены фотографии, превосходно отражающие их морфологические особенности. Спектры фотолюминесценции и катодолюминесценции, ИК-спектры, характеризующие примесную структуру этих карбонат-синтетических алмазов, подробно проанализированы. Таким образом, показаны их яркие отличительные особенности по сравнению с металл-синтетическими алмазами: октаэдрический габитус и принадлежность к смешанному типу Ia+Ib.

Опыты, поставленные с учетом анализа ранее имевшихся данных, позволили также выделить перспективную для роста алмаза на затравке зону и изучить начальные стадии роста карбонат-синтетического алмаза на затравочных металл-синтетических кристаллах. Получены прекрасные изображения поверхностей алмазов с элементами микрорельефа, которые показывают ориентированность всех новообразованных слоев роста параллельно граням октаэдра, отражают тангенциальный механизм зарастания октаэдрических граней.

Следующая, **4-я глава** посвящена описанию экспериментального изучения фазовых взаимоотношений ряда карбонатных систем, перспективных для понимания алмазогенезиса, с точки зрения его мантийно-карбонатитовой модели, в особенности «сверхглубинного» (переходной зоны и нижней мантии). Поставлены очень трудоемкие опыты на уникальной аппаратуре, с применение уникальных методик, в результате построены РТ – фазовые диаграммы карбонатов Na и Mg с установлением поля стабильности карбонатных расплавов в диапазоне давления 12–84 ГПа, а также определены границы частичного и полного плавления многокомпонентной тройной карбонатной Mg-Fe-Na-системы в более узком РТ-диапазоне. Эта глава могла бы составить отдельную работу. Ее содержание выходит за рамки, обозначенные темой диссертации. Хотя, конечно, ей не противоречит, напротив, работы по синтезу и должны строиться на таком фундаментальном основании, как исследование фазовых отношений потенциальных ростовых систем. Тем более что при изучении карбонатных систем было установлено образование алмазов. В Na-карбонатной системе как за счет углерода – продукта разложения карбоната, так и за счет углерода графита – поглотителя лазерного излучения и вещества алмазных наковален пресса, а также в Mg-карбонатной системе – при разложении расплава магнезита. Обилие информации создает сложности ее структурирования. Так, упомянутые данные 4-й главы об образовании алмазов в однокомпонентных карбонатных системах приведены в автореферате в описании 3-й главы, как и очень интересные данные

опытов с использованием материалов с разным по изотопии углеродом и образованием соответствующего алмаза и графита со смешанным изотопным составом  $^{12+13}\text{C}$ , двух разных физико-химических механизмов образования алмаза. Здесь же, в автореферате, в описании 3-й главы сообщается о результатах исследования алмазообразующей эффективности Na-карбонат-, Mg-карбонат- и Mg-Na-Fe-карбонат-углеродных систем, которые также упомянуты в 4-й главе самой работы и так четко, как в автореферате, не выделены. Попытки вписать обширный материал в поставленные рамки названий глав: параметры верхняя мантия – более глубинные зоны – вступают в противоречие с логикой экспериментов и изложения. Приведенные в 4-й главе результаты очень важные, представительные, добротные, фазовые определения наглядно подтверждены снимками со сканирующего микроскопа, рамановскими спектрами.

**Пятая глава** еще более расширяет спектр затронутых алмазных тем, представляя отдельную работу по исследованию прямого превращения сферических образцов стеклоуглерода в химически разных средах в новый алмазный материал и исследование его свойств. Приведены снимки образцов, отличные изображения сфер алмаза со сканирующего микроскопа, рамановские спектры, показывающие, что сферы представляют собой компактный, однородный поликристаллический агрегат из множества наночастиц алмаза, так называемый «сферический нанокристаллический алмаз». Определения модуля упругости сферического углерода и алмазного материала при комнатной температуре и давлениях до 70 ГПа показали, что последний значительно превосходит по прочностным характеристикам стеклоуглерод и кристаллический алмаз. Установленные данные позволяют получать и использовать этот ценный материал, что автор и предлагает, в качестве вторичных алмазных наковален для уникальной техники, обеспечивающей экстремальные РТ-условия, для точной обработки сверхтвердых материалов.

Последняя, **6-я глава** содержит основные выводы работы: о характерных чертах кристаллизации карбонат-синтетического алмаза, особенностях ростовых сред «сверхглубинного» алмаза и механизмах его образования в свете данных по изученным карбонатным расплавам и о полученном новом нанополикристаллическом алмазном материале. Суммировано их значение и возможное использование.

К защите выдвинуто шесть положений, с каждым из них можно согласиться.

Диссертант обнаруживает исключительную результативность и разносторонность. Перечень использованных приборов, привлеченных научных организаций и специалистов впечатляет. Достаточно сказать, что опыты ставились с применением трех типов аппаратов высокого давления. Причем диссертант хорошо ориентируется в научной литературе, глубоко разбирается в сложных методиках, самых современных методах исследования вещества. Проведены уникальные сложные эксперименты и проанализированы на лучшем научном уровне.

Автореферат диссертации соответствует тексту диссертационной работы. Работа прошла основательную **апробацию**, ее основные положения

опубликованы в семи рецензируемых ВАК РФ журналах плюс в 21 статье и тезисах конференций, в том числе международных.

Кандидатская диссертация является законченной работой, вносящей существенный вклад в изучение кристаллизации алмаза в карбонатных расплавах минералогического значения, в решение задач синтеза перспективных алмазных материалов, в знания по материаловедению, химии, генетической минералогии.

Полученные результаты имеют прямой выход в практику: могут быть **использованы** в постановке работ по синтезу карбонат-синтетических алмазов, а также для получения нового материала будущего – сверхпрочного «сферического нанокристаллического алмаза» и его применения. Работа, безусловно, отвечает всем требованиям, предъявляемым к кандидатской диссертации, а ее автор Н.А. Солопова заслуживает ученой степени кандидата геолого-минералогических наук.

Старший научный сотрудник

Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана Российской академии наук,  
кандидат геолого-минералогических наук *Матвиенко* Е.Н. Матвиенко

Отзыв заслушан и одобрен в качестве официального на заседании Ученого совета Минмузея РАН (Протокол № 4 от 20 мая 2014 г.)

Председатель,  
директор Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана Российской  
академии наук,  
доктор геолого-минералогических наук, профессор *Гаранин* В.К. Гаранин

Ученый секретарь  
Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана Российской академии наук,  
кандидат геолого-минералогических наук *Борисова* Е.А. Борисова