

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 003.067.02 НА БАЗЕ  
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ  
ИНСТИТУТА ГЕОЛОГИИ И МИНЕРАЛОГИИ ИМ. В. С. СОБОЛЕВА СИБИРСКОГО  
ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от 18 декабря 2018 г. № 02/5

О присуждении Чепурову Алексею Анатольевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора геолого-минералогических наук.

Диссертация «Экспериментальное исследование кристаллизации и преобразования силикатных и оксидных минералов мантийных парагенезисов, ассоциирующих с алмазом» по специальности 25.00.05 «минералогия, кристаллография» принята к защите 12 сентября 2018 г. (протокол № 02/2) диссертационным советом Д 003.067.02 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии и минералогии им. В. С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук (630090, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга, 3; приказ № 105/нк от 11.04.2012 г.)

Соискатель Чепуров Алексей Анатольевич, 1972 года рождения.

В 1995 г. окончил магистратуру при Новосибирском государственном университете (Федерального государственного бюджетного образовательного учреждение высшего профессионального образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет») по специальности геохимия (кафедра минералогии и петрографии). В 1999 г. окончил очную аспирантуру при Объединенном институте геологии геофизики и минералогии им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук (ОИГМ СО РАН) по специальности 25.00.05 – «минералогия, кристаллография». В 2000 году защитил диссертацию на тему «Экспериментальное исследование кристаллизации алмаза в системах металл-силикат-углерод и металл-оксид-углерод» на соискание учёной степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.05 – «минералогия, кристаллография» (решение диссертационного совета Д 002.050.01 ОИГМ СО РАН, от 26 декабря 2000 г. № 01/10, диплом КТ № 041167 от 16 марта 2001 г.).

Соискатель работает старшим научным сотрудником в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук.

Диссертация выполнена в лаборатории «Экспериментальной петрологии» (№ 449) Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институте геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук.

Официальные оппоненты:

**Гаранин Виктор Константинович**, доктор геолого-минералогических наук, профессор, академик РАЕН, научный руководитель Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана РАН,

**Бобров Андрей Викторович**, доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры петрологии геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, доцент,

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

**Ведущая организация** Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт экспериментальной минералогии имени академика Д.С. Коржинского Российской академии наук (ИЭМ РАН) (г. Черноголовка) в своем положительном заключении, подписанном Директором ИЭМ РАН д.г.-м.н. Сафоновым О.Г., заместителем директора ИЭМ РАН по науке д.х.н Осадчим Е.Г., ведущим научным сотрудником лаборатории флюидно-магматических процессов ИЭМ РАН д.г.-м.н. Спивак А.В., ученым секретарем Ученого совета ИЭМ РАН к.г.-м.н. Федькиным В.В., **указала, что** представленная крупная обобщающая работа актуальна, обладает научной новизной и имеет практическое значение. Цели и задачи работы четко сформулированы и ясны. Основу диссертации составляют результаты многолетних исследований при высоких давлениях и температурах, которые оказывают существенное влияние на развитие эксперимента и его значимости в решении широкого круга геологических задач, имеющих фундаментальное значение. Новизна работы отразилась в получении принципиально новых экспериментальных результатов и данных. Не вызывает сомнения и практическая значимость работы. Текст автореферата полностью соответствует содержанию диссертационной работы.

Острая дискуссионность тематики диссертации вызвала также различные вопросы. Отмечено, что в литературном обзоре не рассмотрена "мантийно-карбонатитовая концепция генезиса алмаза" и недостаточно учтены флюидные включения в алмазах. Рекомендовано полнее структурировать фактический материал. В главе 3, выводы по железистости силикатов в равновесии с металлическим расплавом являются дискуссионными, в частности, влияние металлической фазы на железистость силикатных минералов трудно оценить, а также спорными представляются равновесия с участием  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{Al}_2\text{SiO}_5$ . Желательно привести сводную таблицу условий и результатов экспериментов. К сожалению, изучение зональности кристаллов граната недостаточно полно представлено в выводах. Недостаточно обоснован выбор составов исходного граната в разделе 4.1. Дискуссионными являются реакции, объясняющие последовательность растворения минералов в кимберлитовом расплаве.

**Сделано заключение о том, что в соответствии со всеми требованиями ВАК и «Положением ВАК России» о докторских диссертациях,** данная работа «Экспериментальное исследование кристаллизации и преобразования силикатных и оксидных минералов мантийных парагенезисов, ассоциирующих с алмазом» является законченным трудом, докторской диссертацией, а ее автор Чепуров Алексей Анатольевич достоин присуждения ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 25.00.05 – «минералогия, кристаллография».

Соискатель имеет 49 научных работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, в том числе по теме диссертации **31 статью и 4 патента РФ**. Все работы по теме диссертации – **31 статья, опубликованы в журналах, входящих в перечень ВАК**, из них 28 статей, входящих в перечень Web of Science.

***Статьи в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК:***

1. Федоров И.И., Багрянцев Д.Г., Чепуров А.А., Осоргин Н.Ю., Похilenko Л.Н., Чепуров А.И. Экспериментальное изучение захвата летучих примесей алмазами при их кристаллизации // Геохимия. – 1998. – № 4. – С. 416-421.
2. Фёдоров И.И., Чепуров А.А., Сонин В.М., Туркин А.И., Чепуров А.И. Влияние фугитивности кислорода на железистость силикатов в условиях верхней мантии // Геохимия. – 1999. – № 9. – С. 961-966.
3. Chepurov A.A., Derepelle J.M., Fedorov I.I., Chepurov A.I. The change of Fe-Ni alloy inclusions in synthetic diamond crystals due to annealing // Diamond and Related Materials. – 2000. – V.

9. – Р. 1374-1379.
4. Чепуров А.А., Федоров И.И., Чепуров А.И.. Экспериментальное изучение кристаллизации алмаза в металл-силикатно-углеродных системах // Отечественная геология. – 2001. – № 1. – С. 56-60.
5. Чепуров А.А., Сонин В.М., Чепуров А.И.. Влияние силикатов на рост синтетических кристаллов алмаза // Записки ВМО. – 2002. – Ч.СXXXI. – № 1. – С. 107-110.
6. Fedorov I.I., Chepurov A.A., Dereppe J.M. Redox conditions of metal-carbon melts and natural diamond genesis // Geochemical Journal. – 2002. – V. 36. – № 3. – P. 247-253.
7. Надолинный В.А., Юрьева О.П., Елисеев А.П., Похilenko Н.П., Чепуров А.А. Разрушение азотных В1-центров при пластической деформации природных алмазов типа IaB и поведение образующихся при этом дефектов при Р,Т – обработке // Доклады Академии Наук. – 2004. – Т. 399. – № 4. – С. 532-536.
8. Федоров И.И., Чепуров А.И., Чепуров А.А., Куроедов А.В. Оценка скорости «самоочищения» алмазов от металлических включений в мантии Земли в посткриSTALLизационный период // Геохимия. – 2005. – № 12. – С. 1340-1344.
9. Федоров И.И., Чепуров А.И., Сонин В.М., Чепуров А.А., Логвинова А.М. Экспериментальное и термодинамическое изучение кристаллизации алмаза и силикатов в металл-силикатно-углеродной системе // Геохимия. – 2008. – № 4. – С. 376-386.
10. Чепуров А.И., Федоров И.И., Сонин В.М., Логвинова А.М., Чепуров А.А. Температурные воздействия на сульфидные включения в алмазах // Геология и геофизика. – 2008. – Т. 49. – № 10. – С. 978-983.
11. Nadolinny V.A., Yuryeva O.P., Chepurov A.A., Shatsky V.S. Titanium Ions in the Diamond Structure: Model and Experimental Evidence // Applied Magnetic Resonance. – 2009. – V. 36. – № 1. – P. 109-113.
12. Чепуров А.И., Томиленко А.А., Жимулев Е.И., Сонин В.М., Чепуров А.А., Сурков Н.В., Ковязин С.В. Проблема воды в верхней мантии: разложение антигорита // Доклады Академии Наук. – 2010. – Т. 434. – № 3. – С. 391-394.
13. Чепуров А.И., Сонин В.М., Чепуров А.А., Жимулев Е.И., Толочко Б.П., Елисеев В.С. Взаимодействие алмаза с ультрадисперсным порошком железа, полученным различными способами // Неорганические материалы. – 2011. – Т. 47. – № 8. – С. 957-961.
14. Чепуров А.И., Жимулев Е.И., Сонин В.М., Чепуров А.А., Томиленко А.А., Похilenko Н.П. Экспериментальная оценка скорости гравитационного фракционирования ксенокристаллов в кимберлитовой магме при высоких Р-Т параметрах // Доклады Академии Наук. – 2011. – Т. 440. – № 5. – С. 678-681.
15. Чепуров А.И., Томиленко А.А., Жимулев Е.И., Сонин В.М., Чепуров А.А., Ковязин С.В., Тимина Т.Ю., Сурков Н.В. Консервация водного флюида во включениях в минералах и межзерновом пространстве при высоких Р-Т параметрах в процессе разложения антигорита // Геология и геофизика. – 2012. – Т. 53. – № 3. – С. 305-320.
16. Чепуров А.И., Сонин В.М., Чепуров А.А., Жимулев Е.И., Косолобов С.С., Соболев Н.В. Взаимодействие алмаза с ультрадисперсными частицами железа в среде водорода: микроморфология поверхности // Доклады Академии Наук. – 2012. – Т. 447. – № 3. – С. 322-325.
17. Сонин В.М., Чепуров А.А., Щеглов Д.В., Косолобов С.С., Логвинова А.М., Чепуров А.И., Латышев А.В., Соболев Н.В. Исследование поверхности природных алмазов методом атомно-силовой микроскопии // Доклады Академии Наук. – 2012. – Т. 447. – № 4. – С. 437-439.

18. Чепуров А.А., Тычков Н.С., Соболев Н.В. Экспериментальное моделирование условий кристаллизации субкальциевых хромистых пиропов // Доклады Академии Наук. – 2013. – Т. 452. – № 6. – С. 664-668.
19. Чепуров А.И., Жимулев Е.И., Агафонов А.В., Сонин В.М., Чепуров А.А., Томиленко А.А. Устойчивость ромбического и моноклинного пироксенов, оливина и граната в кимберлитовой магме // Геология и геофизика. – 2013. – Т. 54. – № 4. – С. 406-415.
20. Чепуров А.А., Туркин А.И. Изменение состава пиропа в кимберлитовом субстрате при высоких Р-Т параметрах // Геохимия. – 2015. – Т. 53. – № 1. – С. 83-87.
21. Чепуров А.А., Похilenko Н.П. Экспериментальная оценка вязкости кимберлитового расплава // Доклады Академии Наук. – 2015. – Т. 462. – № 4. – С. 467-470.
22. Chepurov A.A., Turkin A.I., Dereppe J.M. Interaction of serpentine and chromite as a possible formation mechanism of subcalcic chromium garnet in the upper mantle: an experimental study // European Journal of Mineralogy. – 2016. – V. 28. – № 2. – P. 329-336.
23. Чепуров А.А., Косолобов С.С., Щеглов Д.В., Сонин В.М., Чепуров А.И., Латышев А.В. Наноскульптуры на округлых поверхностях природных алмазов // Геология рудных месторождений. – 2017. – Т. 59. – № 3. – С. 251-260.
24. Чепуров А.А., Туркин А.И.. Проблема генезиса высокохромистых гранатов в перидотитах верхней мантии по экспериментальным данным // Отечественная геология. – 2017. – № 3. – С. 69-73.
25. Чепуров А.А., Туркин А.И., Похilenko Н.П.. Кристаллизация высококальциевого хромистого граната при взаимодействии серпентина, хромита и Ca-содержащего водного флюида // Доклады Академии Наук. – 2017. – Т. 476. – № 6. – С. 688-692.
26. Чепуров А.А., Сонин В.М., Чепуров А.И., Томиленко А.А.. Влияние содержания ксенокристаллов оливина на вязкость кимберлитового расплава (экспериментальные данные) // Вулканология и сейсмология. – 2018. – № 2. – С. 1-10.
27. Sonin V.M., Leech M., Chepurov A.A., Zhimulev E.I., Chepurov A.I. Why are diamonds preserved in UHP metamorphic complexes? Experimental evidence for the effect of pressure on diamond graphitisation // International Geology Review. – 2018, in press.
28. Chepurov A.I., Sonin V.M., Zhimulev E.I., Chepurov A.A., Pomazansky B.S., Zemnukhov A.L. Dissolution of diamond crystals in a heterogeneous (metal-sulfide-silicate) medium at 4 GPa and 1400 °C // Journal of Mineralogical and Petrological Sciences. – 2018. – V. 113. – P. 59-67.
29. Chepurov A.A., Dereppe J.M., Turkin A.I., Lin V.V. From subcalcic pyropes to uvarovites: experimental crystallization of Cr-rich garnets in ultramafic systems with presence of Ca-bearing hydrous fluid // Neues Jahrbuch für Mineralogie. – 2018. – V. 195 (1). – P. 65-78.
30. Zhimulev E.I., Chepurov A.I., Sonin V.M., Litasov K.D., Chepurov A.A. Experimental modeling of percolation of molten iron through polycrystalline olivine matrix at 2.0-5.5 GPa and 1600°C // High Pressure Research. – 2018, DOI: 10.1080/08957959.2018.1458847.
31. Chepurov A., Sonin V., Shcheglov D., Latyshev A., Filatov E., Yelisseyev A.A highly porous surface of synthetic monocrystalline diamond: Effect of etching by Fe nanoparticles in hydrogen atmosphere // International Journal of Refractory Metals and Hard Materials. – 2018. – V. 76. – P. 12-15.

#### *Патенты на изобретение*

1. Чепуров А.А., Булатов А.В. Способ обработки алмаза и реакционная ячейка многопуансонного аппарата для его осуществления. Патент РФ № 2201797. Приоритет от 07.12.2001. Зарегистрирован в Гос. реестре изобретений РФ 10 апреля 2003 года.
2. Чепуров А.А. Реакционная ячейка многопуансонного аппарата высокого давления для выращивания малоазотных монокристаллов алмаза. Приоритет от 17.01.2003. Патент РФ № 2254910. Зарегистрировано в Гос. реестре изобретений РФ 27 июня 2005.

3. Чепуров А.А. Реакционная ячейка многопуансионного аппарата для отжига алмазов. Патент РФ на полезную модель № 54045. Приоритет от 15.03.2005. Зарегистрирован в Гос. реестре изобретений РФ 10 июня 2006.
4. Чепуров А.И., Сонин В.М., Чепуров А.А., Жимулев Е.И. Способ обработки алмаза. Патент РФ № 2451774. Приоритет от 02.12.2010. Зарегистрировано в Гос. реестре изобретений РФ 27 мая 2012. Патентообладатель: ИГМ СО РАН.

На диссертацию и автореферат поступило **7 отзывов** (все положительные, из них 2 без замечаний) от: 1) Костровицкого С.И., д.г.-м.н., ведущего научного сотрудника; Медведева А.Я., д.г.-м.н., главного научного сотрудника; Яковлева Д.А., к.г.-м.н., старшего научного сотрудника – ФГБУН Института геохимии им. А.П. Виноградова Сибирского отделения Российской академии наук (г. Иркутск); 2) Бескрованова В.В., д.г.-м.н., профессора кафедры «Физика материалов и технология сварки» Физико-технического института ФГАОУ ВО Северо-восточный университет им. М.К. Аммосова (г. Якутск); 3) Шумиловой Т.Г., д.г.-м.н., главного научного сотрудника лаборатории минералогии алмаза Института геологии имени академика Н.П. Юшкина Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук ФГБУН Федерального исследовательского центра «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук» (г. Сыктывкар); 4) Хачатрян Г.К., д.г.-м.н., старшего научного сотрудника отдела минералогии и изотопной геохимии ФГБУ Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов (ЦНИГРИ) (г. Москва); 5) Афанасьева В.П., д.г.-м.н., главного научного сотрудника лаборатории минералов высоких давлений и алмазных месторождений ФГБУН Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН (г. Новосибирск); 6) Ивахненко С.А., д.т.н., профессор, заведующий отделом монокристаллов сверхтвердых материалов Института сверхтвердых материалов им. В.М. Бакуля НАН Украины (г. Киев, Украина); 7) Винса В.Г., д.ф.-м.н., директора ООО «ВЕЛМАН» (г. Новосибирск).

**В отзывах отмечено**, что диссертация А.А. Чепурова посвящена исследованию актуальной проблемы – выяснению условий кристаллизации алмаза и высокобарных минералов алмазоносных парагенезисов: орто-, клинопироксена, граната и оливина. Продемонстрированные в работе механизмы кристаллизации алмаза из гетерогенного металло-силикатного расплава позволяют оценить его каталитическую способность превращать графит в алмаз и установить, что основное влияние силикатов на рост алмазов в металл-углеродной системе заключается в потере морфологической устойчивости октаэдрических граней кристаллов алмаза. Показана специфика поведения Ca при кристаллизации силикатов алмазного парагенезиса. Обоснована возможность образования субкальциевых хромистых гранатов за счет серпентинитов, взаимодействующих с мантийными шпинель-содержащими перидотитами. Показано, что субкальциевые хромистые пиропы в составе мантийных пород могут быть образованы в результате преобразований гарцбургитов под действием водного флюида. На основании проведенных экспериментов показано, что при мантийных Р-Т параметрах в кимберлитовом расплаве кристаллизуется высококальциевый гранат, что свидетельствует в пользу того, что рост природного алмаза с захватом включений субкальциевых гранатов осуществлялся в средах с очень низким содержанием кальция. Автор экспериментальным путем определил последовательность растворения барофильных минералов в кимберлитовом расплаве, степень их устойчивости, что чрезвычайно важно при выделении и обосновании разных мантийных парагенезисов. Установлено быстрое гравитационное осаждение ксенокристаллов мантийных силикатов в кимберлитовом расплаве при мантийных условиях. Полученные результаты имеют высокую как научную, так и практическую значимость.

**Все отзывы отмечают**, что диссертация соответствует требованиям Положения ВАК о присуждении ученых степеней, а ее автор Чепуров Алексей Анатольевич достоин присуждения

ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 25.00.05 – «минералогия, кристаллография».

В отзывах был выделен ряд замечаний и предложений. Отмечено, что при изучении образцов не учитывается неоднородность кристаллов алмаза, которая может нести важную генетическую информацию о среде кристаллизации (Бескрованов В.В.). Замечено, что представленные в работе модели не стоит транслировать на все природные объекты (Костровицкий С.И., Медведев А.Я., Яковлев Д.А.; Хачатрян Г.К.). Высказано, что можно шире представить результаты исследований как с точки зрения Р-Т параметров (Шумилова Т.Г.), так и особенностей НРНТ отжига кристаллов алмаза (Винс В.Г.).

**Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что** В.К. Гаранин является одним из наиболее известных в России и за рубежом экспертом в области изучения природных алмазов и его минералов-спутников из кимберлитов; А.В. Бобров является высококвалифицированным специалистом в области экспериментальной минералогии и петрологии; З.В. Специус является авторитетным специалистом по проблемам алмазоносных парагенезисов и компетентен в вопросах изучения кимберлитов. Все три оппонента имеют целый ряд публикаций в соответствующей данной диссертационной работе сфере исследования.

**Выбор ведущей организации** (ФГБУН Институт экспериментальной минералогии имени академика Д.С. Коржинского Российской академии наук) обосновывается тем, что она проводит фундаментальные и прикладные исследования по основному научному направлению «Физико-химические исследования состава и структуры глубинных зон. Создание новых методов синтеза алмаза». Направление научно-исследовательской деятельности организации полностью соответствует тематике рассматриваемой диссертации. Сотрудники института: д.г.-м.н. Осадчий Е.Г., д.г.-м.н. Спивак А.В., к.г.-м.н. Федькин В.В., являются высококвалифицированными специалистами в области экспериментальной минералогии и петрологии. Они, несомненно, способны определить и аргументированно обосновать научную и практическую ценность представленной диссертации.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований: разработаны** методики по кристаллизации алмаза и сопутствующих фаз в гетерогенных металл-углерод-силикатных системах, а также методики по кристаллизации и устойчивости пиропового граната и других силикатных минералов в различных модельных системах на многопуансонных аппаратах высокого давления типа «БАРС», что позволило продемонстрировать кристаллизацию и преобразование широкого спектра силикатных и оксидных минералов мантийных алмазодержащих парагенезисов. **Установлена** кристаллизация силикатных и оксидных минералов совместно с алмазом, где основным агентом алмазообразования является Fe-Ni расплав, причем рост монокристаллов алмаза сменяется формированием его расщепленных кристаллов при содержании силикатного вещества более 10 вес.%. **Исследованы** кристаллы алмаза и сопутствующие им силикатные и оксидные фазы, выращенные в системах Fe-Ni-C-силикатный расплав (или твердый силикат). **Предложена** модель кристаллизации природных алмазов совместно с силикатными минералами в мантийных условиях при участии металлических расплавов в высоковосстановительной обстановке. **Экспериментально доказана** возможность образования субкальциевых (СаО менее 1 мас.%) высокохромистых пиропов в процессе преобразования хромитсодержащего серпентинита при давлении 4-5 ГПа и температурах 1100-1200 °С. **Продемонстрировано**, что в условиях поступления кальция в систему, состоящую из высокомагнезиального оливина, ортопироксена, хромистой шпинели при давлении 5 ГПа и температуре 1300 °С происходит кристаллизация граната, состав которого изменяется в широком диапазоне от самых

низкокальциевых (0.3 мас.% CaO) до высококальциевых (20 мас.% CaO) разновидностей. **Впервые осуществлена** кристаллизация крупных зональных зерен субкальциевых высокочромистых пиропов ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$  до 14.25 мас.% и CaO до 3.5 мас.%) при участии флюида преимущественно водного состава и продуктов разложения карбонатита в системе, моделирующей природный гарцбургит при высоких Р-Т параметрах. **Выявлено**, что при взаимодействии пиропового граната с кимберлитовым расплавом при 4 ГПа в температурном интервале 1200-1400 °C происходит преобразование пиропа в пироп-гроссуляровый гранат с высоким содержанием CaO до 24 мас.%. **Получены новые данные** по оценке скорости растворения силикатных минералов в кимберлитовом расплаве при давлении 4 ГПа и температурах 1300-1500 °C. **Подтверждено**, что скорость осаждения ксенокристаллов силикатных минералов в кимберлитовом расплаве очень высокая и составляет порядка 1 м/час. На основании изучения кристаллов природного алмаза с дитригональными и тригональными слоями методом атомно-силовой микроскопии **сделан вывод** в пользу того, что оба типа скульптур на природных алмазах сформировались в результате растворения.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что доказаны следующие положения:**

1. 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 алмазсодержащих парагенезисов.

2. При давлении 5 ГПа и температурах 1100-1300 °C 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.% 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 °C в системе оливин-ортопироксен-хромит-корунд в присутствии водного флюида и до 1.5 вес.% Ca-содержащего субстрата происходит кристаллизация гранатов с содержанием  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  до 14.25 мас.% и CaO 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 °C экспериментально установлен ряд устойчивости силикатных минералов перidotитового парагенезиса в кимберлитовом расплаве, а именно оливин >> гранат > ортопироксен > клинопироксен, что указывает на возможный механизм обогащения расплава кремнеземом в мантийных условиях. 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 CaO 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.

**Применительно к проблематике диссертации результативно использован комплекс современных методов исследования**, включающий в себя оптическую, сканирующую электронную и атомно-силовую микроскопии, рентгеноспектральный микроанализ, оптическую спектроскопию, рентгенофазовый анализ и газовую хромато-масс-спектрометрию. В основу работы положены результаты многолетних (1995-2018 гг.) экспериментальных исследований на многопулансонном аппарате высокого давления типа «БАРС». По теме диссертации проведено более 500 опытов при высоком давлении. В процессе работы автором разработаны новые ячейки высокого давления и созданы специальные методики проведения экспериментов.

**Изложены и обоснованы** в виде защищаемых положений новые данные, а их интерпретации вносят существенный вклад в понимание процессов кристаллизации и преобразования силикатных минералов мантийных парагенезисов, ассоциирующих с алмазом. В частности, **изучены** процессы кристаллизации алмаза совместно с силикатными минералами в гетерогенных системах, состоящих из металлического расплава и силикатных компонентов, и **установлено** изменение морфологии кристаллизующихся алмазов в зависимости от содержания силикатов в системе. **Раскрыта** роль флюидов преимущественно водного состава в процессах кристаллизации хромистых гранатов с широкими вариациями содержаний хрома и кальция, а также **изучены взаимоотношения** между содержаниями кальция в среде кристаллизации и составе новообразованных гранатов – аналогов природных минералов-спутников алмаза. **Изучены** процессы взаимодействия мантийных силикатных минералов, типичных для алмазсодержащих пород с кимберлитовым расплавом, и **установлено**, что растворение силикатных минералов указывает на возможный механизм обогащения кимберлитовых расплавов кремнеземом в мантийных условиях.

**Значение полученных соискателем результатов исследований для практики подтверждается тем, что:**

1. В ходе выполнения работы были усовершенствованы и запатентованы технологические приемы, используемые для выращивания и отжига кристаллов алмаза на аппарате высокого давления БАРС.

2. Результаты изучения состава гранатов, кристаллизовавшихся в поле устойчивости алмаза, а также новые экспериментальные данные по взаимодействию гранатов с кимберлитовыми расплавами могут быть полезны для совершенствования критериев оценки алмазоносности кимберлитов и поиска алмазов.

3. При подготовке диссертации была разработана и запатентована методика травления поверхности алмазов наночастицами железа, которая позволяет создавать на поверхности алмаза чрезвычайно шероховатую поверхность. Данный способ обработки был опробован в технологии пайки алмазного инструмента.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

Высокая степень достоверности и обоснованности результатов проведенных исследований, обобщенных в виде защищаемых положений и выводов диссертации А.А. Чепурова, определяется эффективным использованием современных методов экспериментального моделирования в решении проблемы генезиса алмаза и его минералов-спутников. Полученные в ходе экспериментов образцы детально изучены с применением оптической, сканирующей электронной и атомно-силовой микроскопии, рентгеноспектрального микроанализа, оптической спектроскопии, рентгенофазового анализа и газовой хромато-масс-спектрометрии. Результаты исследований обсуждались на российских и международных конференциях, а также опубликованы в рецензируемых российских и зарубежных журналах.

**Теоретическое обобщение построено** на основе результатов комплексного экспериментального исследования кристаллизации силикатных и оксидных минералов, типичных для мантийных алмазсодержащих парагенезисов, в том числе совместно с алмазом в

металлическом расплаве, а также изучения взаимодействия силикатных минералов с кимберлитовым расплавом при мантийных давлениях и температурах.

**Идеи диссертации базируются как на общепринятых моделях и концепциях, касающихся проблематик, связанных с особенностями кристаллизации и преобразования мантийных силикатных и оксидных минералов в связи с генезисом алмаза (Соболев, 1974; Sobolev et al., 2004; Boyd, Gurney, 1982; Haggerty, 1986; Stachel et al., 1998; Klein-Ben David, Pearson, 2009; Russell et al., 2012), так и на вновь развивающихся гипотезах (Shirey et al., 2013; Shu, Brey, 2015; Smith et al., 2016). Результаты не противоречат ранее опубликованным работам и во многом дополняют экспериментальные данные по этой теме.**

**Установлена согласованность результатов** исследования с данными, полученными при исследованиях минеральных включений силикатных и оксидных минералов в природных алмазах из кимберлитов (Соболев, 1974; Gurney, 1989; Stachel, Harris, 2008).

**Личный вклад соискателя.** Автором проведен детальный анализ существующей научной литературы по тематике диссертации. На основании проведенного анализа соискатель сформулировал цель исследования и задачи, актуальность которых не вызывает сомнения. Для решения поставленных задач автор диссертации выполнял весь комплекс мероприятий, необходимый для проведения экспериментальных исследований, включающий в себя разработку методик экспериментов, планирование и проведение опытов, а также последующую разборку ячеек высокого давления после опытов и подготовку образцов для анализов. Автор непосредственно участвовал в изучении образцов, анализировал результаты экспериментов и проводил сопоставление полученных данных с литературными материалами. Полученные при участии автора новые данные были использованы при выполнении исследовательских грантов различных фондов, а также явились основой для подготовки публикаций в рецензируемые научные журналы и оформления заявок на получение патентов на изобретения Российской Федерации.

Диссертация Чепурова А.А. является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований **сформулированы и разработаны научные положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение в области экспериментальной минералогии**, а именно: экспериментального моделирования кристаллизации силикатных и оксидных минералов совместно с алмазом в гетерогенных металл-углерод-силикатных системах; кристаллизации высокохромистых гранатов аналогичных гранатам из ультраосновных алмазсодержащих парагенезисов, а также исследования устойчивости и преобразования силикатных мантийных минералов в кимберлитовом расплаве.

На заседании 18 декабря 2018 г. диссертационный совет принял решение присудить Чепурову Алексею Анатольевичу ученую степень доктора геолого-минералогических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 6 докторов наук по специальности 25.00.05, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за - 13, против - 2, недействительных бюллетеней - 3.

Председатель диссертационного совета

Н. В. Соболев

Ученый секретарь диссертационного совета



О. Л. Гаськова

20 декабря 2018 г.