

УТВЕРЖДАЮ

Директор Федерального
государственного бюджетного
учреждения науки Института
геологии и минералогии им. В.С.
Соболева Сибирского отделения
Российской академии наук, член-
корреспондент РАН Крук Николай
Николаевич



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

**Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института
геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской
академии наук
(ИГМ СО РАН)**

На основании решения расширенного заседания лаборатории «Экспериментальной петрологии» №449 Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институте геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук (ИГМ СО РАН).

Диссертация «Нарастание кристаллов алмаза на лонсдейлитсодержащие фрагменты импактных алмазов Попигайской астроблемы в статических условиях высоких давлений и температур (экспериментальные данные)» выполнена в лаборатории «Экспериментальной петрологии» №449 Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институте геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук (ИГМ СО РАН).

Карпович Захар Алексеевич, 2. 04. 1996 года рождения, гражданство России, в 2018 году получил степень бакалавра в Новосибирском государственном техническом университете (НГТУ) по направлению подготовки: 22.03.01 Материаловедение и технологии материалов. Номер диплома: 105408 0033552. В 2020 году получил степень магистра с отличием в Новосибирском государственном техническом университете (НГТУ) по направлению подготовки: 22.04.01 Материаловедение и технологии материалов. Номер диплома: 105408 0034669

В 2020 году зачислен в аспирантуру ИГМ СО РАН на очную форму обучения по специальности «минералогия кристаллография» 25.00.05. В настоящее время закончил второй курс очной аспирантуры.

Справка о сдаче кандидатских экзаменов № 146 от 21. июня 2022 года. Выдана в отделе аспирантуры ИГМ СО РАН.

Научный руководитель/научный консультант:

Жимулов Егор Игоревич, доктор геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории № 449 «Экспериментальная петрология» ИГМ СО РАН.

Текст диссертации был проверен в системе «Антиплагиат» и не содержит заимствованного материала без ссылки на авторов.

По итогам обсуждения диссертационного исследования «Нарастание кристаллов алмаза на лонсдейлитсодержащие фрагменты импактных алмазов Попигайской астроблемы в статических условиях высоких давлений и температур (экспериментальные данные)», представленного на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности «минералогия кристаллография» 25.00.05, принято следующее заключение:

Цель работы заключалась в изучении взаимоотношений лонсдейлитсодержащих импактных алмазов Попигайской астроблемы с кубическим алмазом на основе экспериментального моделирования особенностей нарастания алмаза на лонсдейлитсодержащие фрагменты в статических условиях высоких давлений и температур.

В ходе выполнения исследования решались следующие задачи:

1. Разработать методику экспериментальных исследований для наращивания алмаза на импактные кристаллы в системах на основе расплава железа и провести опыты по росту алмаза в системе Fe-C с добавлением серы.
2. Провести эксперименты по наращиванию алмаза на импактные алмазы разных типов при высоких Р-Т параметрах.
3. Исследовать полученные образцы после опытов методами оптической и электронной микроскопии, ИК-спектроскопии, КР-спектроскопии, фотолюминесценции и рентгенофазового анализа.
4. Определить особенности нарастания кубической фазы (алмаза) на паракристаллы импактных лонсдейлитсодержащих алмазов Попигайской астроблемы разных типов.
5. Оценить влияние содержания лонсдейлитового компонента на тип нарастания кристаллов алмаза.
6. Провести сопоставление полученных экспериментальных результатов с данными по природным импактным алмазам в Попигайской астроблеме.

Актуальность темы диссертационного исследования

Общепризнано, что образование лонсдейлитсодержащих импактных алмазов происходило в ходе катастрофического явления – масштабного взрыва на поверхности Земли в результате падения крупного метеорита.

Изучение импактных алмазов Попигайской астроблемы проводили многие исследователи [Сохор, Футергендлер, 1974; Налетов и др., 1985; Вальтер и др., 1992; Кvasница и др., 1999; Denisov et al., 2011; Masaitis, 2013; Afanasiev et al., 2019, Афанасьев и др., 2019]. Были изучены многие особенности этих алмазов, включая макро- и микроморфологию, внутреннее строение, изотопный состав, а также геохимические и петрологические особенности вмещающих пород, геологическое строение астроблемы. Но, несмотря на многолетние и всесторонние исследования импактных алмазов из Попигайской астроблемы, остается ряд вопросов.

Что такое лонсдейлит: самостоятельная фаза, как предполагали [Bundy, Kasper, 1967], или дефект структуры кубического алмаза? Может ли кубический алмаз в условиях статических давлений нарастать на лонсдейлитсодержащие импактные алмазы и как это отражается на морфологии растущих кристаллов? Обнаруженные мелкокристаллические и нанокристаллические кубические алмазы в астроблемах [Kvasnytsya et.al., 2016] в том числе на паракристаллах импактных алмазов так же представляют интерес для экспериментального моделирования.

Наконец, изучение кристаллизации искусственных алмазов на импактных алмазах огромного Попигайского месторождения важно для практических целей (проектирование и изготовление алмазного инструмента).

Наиболее важные научные результаты, полученные соискателем:

1. Установлено, что Введение серы в систему Fe-C в количестве 1 мас.% не увеличивает Р-Т параметры роста кристаллов алмаза, но существенно снижает концентрацию примесного азота. Алмазы растут в виде прозрачных, почти бесцветных кристаллов с содержанием примесного азота в диапазоне 20-40 ppm. Азот в алмазах находится, в основном, в азотно-вакансационных комплексах в разных состояниях заряда (NV^0 , NV^-) и, в меньшей степени, в A и H3 центрах.
2. Показано, что при 5.5 ГПа и 1450°C в системе Fe-Ni-C на импактные лонсдейлитсодержащие паракристаллы алмаза происходит нарастание кубической алмазной фазы. Рост лонсдейлита не имеет места. Соотношение лонсдейлит/алмаз в затравочных паракристаллах сохраняется неизменным.
3. Экспериментально доказано, что в системе Fe-Ni-C при 5.5 ГПа и 1450°C ориентация нарастающих микрокристаллов кубической алмазной фазы зависит от содержания лонсдейлита в исходных импактных паракристаллах: при 0-25 мол.% формируются параллельные и субпараллельные индивиды, при 45-55 мол.% - разноориентированные микрокристаллы новообразованной кубической фазы алмаза. Образование сростка субпараллельных микрокристаллов алмаза

соответствует подобным образованиям на природных импактных алмазах Попигайской астроблемы с малым содержанием лонсдейлита.

Личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации

Работа основана на результатах экспериментальных исследований, проведенных в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте геологии и минералогии Сибирского отделения Российской академии наук в период с 2018 по 2022 годы. Автором самостоятельно выполнен литературный анализ. Эксперименты проведены на многопуансонном аппарате типа разрезная сфера «БАРС» при давлении 5.5 - 6 ГПа, температуре 1450°C в системах: Fe-Ni-C на затравках импактных лонсдейлитсодержащих алмазах Попигайской астроблемы и Fe-S-C - эксперименты по росту и синтезу малоазотных алмазов. Автор принимал личное участие в экспериментах, включая сборку реакционных ячеек, проведение опытов и исследование полученных образцов. В работе применялся комплексный подход к исследованию полученных образцов. Им были лично изучены как природные образцы, так и экспериментальные образцы, полученные в опытах при высоких Р-Т параметрах. Использовались методы ИК-спектроскопии и КР-спектроскопии, XRD, сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) MIRA LMU, оптической микроскопии.

Степень достоверности результатов проведенных исследований

Достоверность представленных в диссертации результатов подтверждается большим количеством экспериментальных наблюдений и современным уровнем привлеченных методов исследования, которые соответствуют целям работы и поставленным задачам. Сформулированные научные положения и выводы основаны на фактических данных, опубликованных в рецензируемых статьях с соавторством соискателя.

Научная новизна

Впервые проведены эксперименты при высоких Р-Т параметрах по наращиванию алмазов на импактные лонсдейлитсодержащие алмазы Попигайской астроблемы. Детально изучено взаимодействие импактной подложки с новообразованными кристаллами алмаза и показано зональное строение перехода от затравочной поверхности к новообразованному алмазу.

На импактных алмазах в системе Fe-Ni-C при 5,5 Гпа и 1450°C нарастают субиндивиды кубической алмазной фазы, формирующие сросток кристаллов, причем на алмазах типа 1 субиндивиды находятся в одной ориентировке, а типа 2 – субиндивиды разориентированы. Установлено, что нарастание кубического алмаза на фрагменты импактных лонсдейлитсодержащих алмазов происходит одновременно из разных центров роста с образованием незакономерных сростков.

Показано, что в системе Fe-S-C в присутствии серы в количестве 1 мас.% от массы металла происходит существенное уменьшение содержания азота в кристаллизующихся алмазах.

Практическая значимость

Импактные лонсдейлитсодержащие алмазы Попигайской астроблемы представляет большой практический интерес, поскольку в данном месторождении содержатся огромные запасы алмазов с необычными механическими свойствами: высокой твердостью, устойчивостью на истирание, износостойкостью и другими эксплуатационными свойствами, превосходящими в этом отношении искусственные и природные алмазы. Изучение взаимодействия искусственного алмаза и металлуглеродных сплавов с импактными алмазами важно для выяснения возможности использования их уникальных механических свойств и разработки различных видов алмазного инструмента.

Соответствие результатов работы научным специальностям

Результаты работы соответствуют пунктам: 1 (Состояния минерального вещества в различных термодинамических и геодинамических условиях), 2 (минералогия земной коры и мантии Земли, ее поверхности и дна океанов) и 11 (экспериментальная минералогия) паспорта специальности 25.00.05.

По результатам исследования автором опубликовано 6 работ, в том числе 6 статей в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук (из них 3 статей в научных изданиях, индексируемом Scopus, WoS и др.). Получен патент РФ. 6 публикации в сборниках материалов международных и всероссийских научных конференций.

Статьи в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России:

1. Грязнов И.А., Карпович З.А., Ишутин И.А., Жимулев Е.И. Растворение макрокристаллов оливина в кимберлитовом расплаве при высоких Р-Т параметрах // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле» 2019. Т. 28. С. 34–47.
2. Карпович З.А., Жимулев Е.И. Экспериментальное моделирование процессов алмазообразования в системе Fe-C-S при высоких Р-T-параметрах // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле» 2020. Т. 34. С. 67–81.
3. Жимулев Е.И., Бабич Ю.В., Карпович З.А., Чепуров А.И., Похilenko Н.П. Об образовании малоазотных алмазов в системе Fe–C–S // Доклады Российской академии наук. 2020. Т. 494. №1. С. 39–42.
4. Чепуров А.И., Жимулев Е.И., Сонин В.М., Чепуров А.А., Карпович З.А., Горяйнов С.В., Афанасьев В.П., Похilenko Н.П. Морфология кристаллов, нарастающих на импактные алмазы Попигайской астроблемы (экспериментальные данные) // Доклады Российской академии наук. 2021. Т. 498. № 1. С. 42–45.
5. Карпович З.А., Жимулев Е.И., Чепуров А.И. Рост алмаза на импактном лонсдейлитсодержащем алмазе Попигайской астроблемы // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле» 2021. Т. 38. С. 41–53.

6. Yelisseyev A.P., Zhimulev E.I., Karpovich Z.A., Chepurov A.A., Sonin V.M., Chepurov A.I. Characterization of the nitrogen state in HPHT diamonds grown in Fe-C system with a low sulfur addition. CrystEngComm. 2022. 24. P 4408–4416.

Патент РФ:

Чепуров А.А., Жимулев Е.И., Ишутин И.А., Кarpovich З.А., Лин В.В., Сонин В.М., Чепуров А.И. Реакционная ячейка многопуансонного аппарата высокого давления и температуры для обработки алмаза. Патент РФ № 2 705 962. Дата подачи заявки: 09.04.2019, Опубликовано: 12.11.2019.

Основные положения диссертации были доложены и обсуждены на научных конференциях:

1. Карпович З.А., Жимулев Е.И. Оптимизация внутреннего объема ЯВД при росте алмаза в системе Fe-S-C // Сб. Научных статей VI Международной Российско-Казахстанской молодежной научно-технической конференции «Новые материалы и технологии», Барнаул, 2018, С. 58-61.
2. Карпович З.А., Жимулев Е.И. Экспресс анализ алмазгенерирующих свойств различных металл-углеродных систем на примере Fe-S-C при высоких Р-Т параметрах // Новые материалы и технологии: сборник научных статей VII Международной Российской-Казахстанской молодежной научно-технической конференции. Барнаул, 2019, С.122-124.
3. Жимулев Е.И., Бабич А.В., Карпович З.А., Чепуров А.И. Рост малоазотных алмазов в системе Fe-C-S при высоких Р-Т параметрах // Труды Всероссийского ежегодного семинара по экспериментальной минералогии, петрологии и геохимии – ВЕСЭМПГ-2020, 14-15 апреля 2020, С. 29-31.
4. Карпович З.А., Жимулев Е.И., Бабич Ю.В. Новый способ размещения геттера азота (Ti) при росте алмаза в системе Fe-Ni-C при высоких Р-Т параметрах // Сб. статей VIII Международной Российской-Казахстанской молодежной научно-технической конференции «Новые материалы и технологии», Барнаул, 2020. С. 122-125.
5. Жимулев Е.И., Карпович З.А., Чепуров А.И. Нарастание кубического алмаза на фрагменты импактных алмазов Попигайской астроблемы в системе Fe-Ni-C // Труды Всероссийского ежегодного семинара по экспериментальной минералогии, петрологии и геохимии – ВЕСЭМПГ-2021
6. Карпович З. А. Морфологические особенности алмаза выращенного на затравках импактных алмазов Попигайской астроблемы в системе FE-NI-C // Труды Всероссийского ежегодного семинара по экспериментальной минералогии, петрологии и геохимии – ВЕСЭМПГ-2022

Диссертация соответствует требованиям п.п. 9-14 раздела II Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (ред. от 11.09.2021) и не содержит заимствованного материала без ссылки на авторов.

Первичная документация проверена и соответствует материалам, включенными в диссертацию.

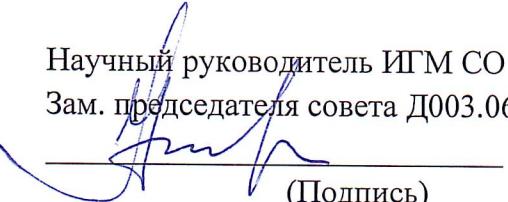
Заключение

Диссертационная работа Карповича Захара Алексеевича «Нарастание кристаллов алмаза на лонсдейлитсодержащие фрагменты импактных алмазов Попигайской астроблемы в статических условиях высоких давлений и температур (экспериментальные данные)» рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата _кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.05 «минералогия и кристаллография».

Заключение принято на заседании лаборатории «Экспериментальная петрология» №449 ИГМ СО РАН. Присутствовало 17 человек, из них академик РАН - 1 докторов геол.-мин. наук - 6, докторов физ-мат. наук 1, кандидатов геол.-мин. наук - 5, младший научный сотрудник 1, инженер 2, аспирант 1. Результаты голосования: «за» – 17 чел., «против» – 0 чел., «воздержалось» – 0 чел.

Председательствующий на заседании
Похilenко Николай Петрович
Академик РАН

Научный руководитель ИГМ СО РАН
Зам. председателя совета Д003.067.02


(Подпись)