

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



2021 г.

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 минералогии и кристаллогенезиса (№ 453) Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук.

Диссертационная работа «Экспериментальное моделирование метасоматических минералообразующих процессов в углеродсодержащей литосферной мантии» выполнена в лаборатории экспериментальной минералогии и кристаллогенезиса (№ 453) Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук.

Баталева Юлия Владиславна, род. 30.10.1984, гражданство России, окончила Новосибирский государственный университет в 2009 году по направлению «геология», специальность «петрология».

С 2004 г. Баталева Ю.В. является сотрудником лаборатории экспериментальной минералогии и кристаллогенезиса № 453 Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук (с 2004 по 2006 г. на должности лаборанта-исследователя, с 2006 по 2012 г. – инженера, с 2012 г. – младшего научного сотрудника, с 2014 г. – научного сотрудника, с 2016 г. по настоящее время - старшего научного сотрудника).

В 2012 г. в диссертационном совете, созданном на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук, защитила диссертацию на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности

25.00.05 (минералогия, кристаллография), на тему «Экспериментальное моделирование минералообразования при карбонат-оксидном и карбонат-оксид-сульфидном взаимодействии в условиях литосферной мантии».

Научный консультант – Пальянов Юрий Николаевич, доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией экспериментальной минералогии и кристаллогенезиса № 453 ИГМ СО РАН.

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

По итогам обсуждения диссертационного исследования «Экспериментальное моделирование метасоматических минералообразующих процессов в углеродсодержащей литосферной мантии», представленного на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 25.00.05 (минералогия, кристаллография), **принято следующее заключение:**

Цель работы заключалась в экспериментальном выявлении закономерностей минералообразующих процессов при мантийном метасоматозе в углеродсодержащей литосферной мантии, сопряженных с образованием алмаза и графита из углерода карбонатов и карбидов в результате окислительно-восстановительных реакций.

Актуальность темы диссертационного исследования

По современным представлениям, базирующимся на результатах изучения глубинных пород, включений в алмазах, а также данных термодинамического и экспериментального моделирования, мантийный метасоматоз, наряду с магматизмом, является одним из определяющих процессов в мантийном минералообразовании в целом и генезисе алмаза в частности. Процессы метасоматоза в условиях гетерогенной углеродсодержащей литосферной мантии включают в себя чрезвычайно широкий спектр химических и физических преобразований мантийных минералов и пород. Наиболее распространенными метасоматическими агентами в мантии являются флюиды состава C-O-H-N-S, силикатные, карбонатитовые, карбонатные и сульфидные расплавы, а также высокоплотные (HDF) флюиды-рассолы. Учитывая специфику (неравновесность) метасоматических процессов, для их экспериментального моделирования требуются специальные методики и адекватный подбор систем, применение которых позволит ответить на ряд дискуссионных вопросов об условиях генерации агентов метасоматоза, эволюции их состава и свойств, а также рассмотреть ключевые проблемы генезиса алмаза, включающие механизмы его образования, состав среды кристаллизации и источники углерода. Особенный интерес в настоящее время представляют экспериментальные исследования, направленные на изучение процессов мантийного метасоматоза, включая алмазообразование, в системах, моделирующих природные среды с использованием неграфитовых источников углерода (карбонаты, карбид, C-O-H-N-S флюид). Таким образом, значимость проблемы мантийного метасоматоза для минералообразующих процессов в литосферной мантии, в том числе кристаллизации алмаза, определяет актуальность комплексного изучения явления и диктует необходимость систематических экспериментальных исследований.

Наиболее важные результаты, полученные соискателем:

1. Экспериментально смоделированы процессы взаимодействия на границе карбонатсодержащего слэба с металлсодержащими (Fe, Ni) породами мантии, в которых за счет градиента fO_2 (~ 4 лог. ед.) формируется редокс фронт. Установлено, что в данных процессах алмазы могут формироваться за счет углерода карбоната как в восстановительных (металлический расплав), так и в окислительных (обогащенный Са карбонатный расплав) условиях. Алмазы демонстрируют резкий контраст по составу включений, содержанию азота и изотопному составу углерода, что позволяет объяснить одну из возможных причин гетерогенности природных алмазов.

2. Экспериментально установлено, что в условиях литосферной мантии сульфиды являются восстановительными агентами для CO_2 , образующегося при декарбонатизации, до C^0 – алмаза или графита. Кристаллизация алмаза при этом осуществлялась из пересыщенного углеродом CO_2 флюида за счет окислительно-восстановительных реакций, а источником углерода алмаза и графита являлся исходный магнезит.

3. Результаты экспериментального моделирования показали, что обогащенные CO_2 Fe^{3+} -содержащие карбонатно-силикатные расплавы характеризуются высокими значениями $Fe^{3+}/\Sigma Fe$ на уровне 0,2 и 0,43, могут формироваться в карбонатно-окислительных средах в присутствии вюститита и ильменита при fO_2 вблизи буферов WM и IRM.

4. Установлено, что при давлениях верхней мантии в присутствии восстановительных агентов (серосодержащих флюидов и сульфидных расплавов) и окислительных агентов (CO_2 и карбонатный расплав) метасоматоза, когенит неустойчив даже при относительно низких температурах. Взаимодействия когенита с метасоматическими агентами являются потенциальными C^0 -продуцирующими процессами. Экстракция углерода из карбида, приводящая к образованию графита и росту алмаза, а также восстановление CO_2 или карбонатного расплава до графита/алмаза могут рассматриваться в качестве потенциальных процессов глобального углеродного цикла.

5. Экспериментально продемонстрировано, что сульфидизация пород силикатной мантии эфемерными восстановительными серосодержащими агентами метасоматоза включает в себя перекристаллизацию оливина в серном расплаве, экстракцию Fe и Ni из оливина и формирование новообразованных сульфидов и силикатов. Подобная метасоматическая переработка пород силикатной мантии является одним из вероятных процессов генезиса мантийных сульфидов.

6. Установлено, что ассоциация Fe^{3+} -магнезиевюститита с графитом или алмазом является индикатором процессов мантийного метасоматоза с участием окислительных агентов - CO_2 -флюида или карбонат-содержащего расплава. Концентрации трехвалентного железа в магнезиевюститите зависят от фугитивности кислорода и закономерно изменяются от 0-0,05 форм. ед.

Личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации

Работа представляет собой итог и обобщение результатов многолетних исследований, проведенных автором в лаборатории экспериментальной минералогии и кристаллогенезиса ИГМ СО РАН. Автор непосредственно участвовала в разработке методик, планировании и подготовке высокобарических экспериментов. Лично проводила отбор, аналитику и подготовку исходных реагентов для проведения экспериментов, выполняла весь комплекс работ по пробоподготовке и специфической обработке

полученных образцов. Проводила аналитические исследования методами рентгенофазового и микронзондового анализов, оптической и электронной микроскопии, энергодисперсионной и Рамановской спектроскопии, а также выполняла интерпретацию данных Мёссбауэровской спектроскопии. Автором проведена реконструкция процессов фазообразования, подготовлен иллюстративный графический материал и составлены таблицы результатов исследований. Из 25 научных статей по теме диссертации 22 опубликованы за её первым авторством.

Научная новизна результатов проведенных исследований

Впервые определен редокс механизм образования алмаза при взаимодействии Mg,Ca-карбонат-железо, и установлены контрастные неоднородности алмазов по составу включений, изотопному составу углерода и содержанию примесного азота.

Впервые экспериментально воспроизведены сценарии поведения серосодержащих метасоматических агентов в мантии Земли. Проведена комплексная реконструкция сульфидизации силикатов, карбонатов и карбидов, представляющая интерес в рамках изучения глобальных циклов серы и углерода. Впервые реализован рост кристаллов алмаза из углерода карбонатов и/или карбида в процессах метасоматоза с участием серосодержащих агентов.

Экспериментально определены закономерности взаимодействия Fe_3C с восстановительными и окислительными агентами метасоматоза, а также мантийными минералами. Обосновано, что экстракция углерода из карбида при взаимодействии с метасоматическими агентами может рассматриваться графит- и алмаз-продуцирующим процессом.

Проведены экспериментальные исследования по кристаллизации мантийных минералов (Ol, Opx, Cpx, Grt, Ms, Dol, Dm) с включениями и определены индикаторные спектроскопические характеристики данных включений. Осуществлен синтез монокристаллов алмаза с включениями, по составу соответствующими природным.

Практическая значимость проведенных исследований

Экспериментально установленные закономерности и совокупность результатов, полученных в карбонат-, карбид-, силикат-, оксид-, и сульфидсодержащих системах являются основой для построения экспериментально обоснованных моделей мантийного метасоматоза и природного алмазообразования, и представляют интерес для развития представлений об условиях формирования алмазсодержащих пород.

Впервые экспериментально изучены редокс механизмы образования алмаза при взаимодействиях карбонат – металл и CO_2 -флюид – сульфид, которые могут являться основой для обоснования сценариев природного алмазообразования, а также для разработки новых методов синтеза алмаза с неграфитовыми источниками углерода. Впервые установлены индикаторные характеристики верхнемантийных ассоциаций Fe^{3+} -магнезиовюстит + алмаз / графит, и определена конкретная связь этих характеристик с процессами метасоматоза в мантии. Полученные данные могут представлять интерес для реконструкций процессов генезиса алмаза с включениями магнезиовюстита.

Диссертационная работа Баталевой Ю.В. представляет собой завершённую научную работу. Содержание диссертации **соответствует формуле специальности 25.00.05** - «минералогия, кристаллография» (области исследований соответствуют пунктам

11 – «Экспериментальная минералогия», 1 – «Состояния минерального вещества в различных термодинамических и геодинамических условиях» и 2 - «Минералогия земной коры и мантии Земли, ее поверхности и дна океанов») по геолого-минералогическим наукам.

Основные материалы и результаты диссертационного исследования Баталевой Ю.В. достаточно полно освещены в научных публикациях. По материалам диссертации опубликовано 48 научных работ, в том числе 25 статей в рецензируемых научных отечественных и международных периодических изданиях, рекомендованных ВАК.

Заключение

По результатам исследования автором опубликовано **48** работ, в том числе **25** статей в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора наук (из них **25** статей в отечественных и зарубежных научных изданиях, индексируемых Scopus, WoS и др.), 0 монографий, **23** публикации в сборниках материалов международных и всероссийских научных конференций (из них **5** зарубежных конференций).

Статьи в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России (не менее 10):

1. Palyanov Y.N., Borzdov Y.M., **Bataleva Y.V.**, Sokol A.G., Palyanova G.A., Kupriyanov I.N. Reducing role of sulfides and diamond formation in the Earth's mantle. **Earth and Planetary Science Letters** 2007, 260, p. 242-256.

2. **Баталева Ю.В.**, Пальянов Ю.Н., Сокол А.Г., Борздов Ю.М., Соболев Н.В. Условия образования Cr-пиропа и эсколаита в процессах мантийного метасоматоза: экспериментальное моделирование. **ДАН** 2012, 442, с.96-101.

3. **Bataleva Y.V.**, Palyanov Y.N., Sokol A.G., Borzdov Y.M., Palyanova G.A. Conditions for the origin of oxidized carbonate-silicate melts: implications for mantle metasomatism and diamond formation. **Lithos** 2012, 128-131, p.113-125.

4. Palyanov Y.N., **Bataleva Y.V.**, Sokol A.G., Borzdov Y.M., Kupriyanov I.N., Reutsky V.N., Sobolev N.V. Mantle–slab interaction and redox mechanism of diamond formation. **PNAS** 2013, 110 (51), p.20408-20413.

5. **Баталева Ю.В.**, Пальянов Ю.Н., Борздов Ю.М., Баюков О.А., Соболев Н.В. Взаимодействие карбида железа и серы при Р-Т параметрах литосферной мантии. **ДАН** 2015, 463 (2), с. 192–196.

6. **Баталева Ю.В.**, Пальянов Ю.Н., Сокол А.Г., Борздов Ю.М., Баюков О.А. Роль пород, содержащих самородное железо, в образовании железистых карбонатно-силикатных расплавов: экспериментальное моделирование при Р-Т параметрах литосферной мантии. **Геол. геофиз.** 2015, 56(1-2), с. 188-203.

7. **Bataleva Y.V.**, Palyanov Y.N., Sokol A.G., Borzdov Y.M., Bayukov O.A. Wüstite stability in the presence of a CO₂-fluid and a carbonate-silicate melt: implications for the graphite/diamond formation and generation of Fe-rich mantle metasomatic agents. **Lithos** 2016, 244, p. 20-29.

8. **Bataleva Y.V.**, Palyanov Y.N., Borzdov Y.M., Sobolev N.V. Sulfidation of silicate mantle by reduced S-bearing metasomatic fluids and melts. **Geology** 2016, 44 (4), p. 271–274.
9. **Баталева Ю.В.**, Пальянов Ю.Н., Борздов Ю.М., Соболев Н.В. Образование графита и алмаза при взаимодействии карбида железа и Fe,Ni-сульфида при мантийных P,T-параметрах. **ДАН** 2016, 471 (1), с. 77-81.
10. **Bataleva Y.V.**, Palyanov Y.N., Borzdov Y.M., Kupriyanov I.N., Sokol A.G., 2016. Synthesis of diamonds with mineral, fluid and melt inclusions. **Lithos** 265, 292-303.
11. **Баталева Ю.В.**, Пальянов Ю.Н., Борздов Ю.М., Баюков О.А., Соболев Н.В. Условия образования графита и алмаза из карбида железа при P,T-параметрах литосферной мантии. **Геол. Геофиз.** 2016, 57 (1), с. 225-240.
12. **Баталева Ю.В.**, Пальянов Ю.Н., Борздов Ю.М., Баюков О.А., Соболев Н.В. Образование графита при взаимодействии субдуцированных карбонатов и серы с металлосодержащими породами литосферной мантии. **ДАН** 2016, 466 (3), с. 331-334.
13. **Баталева Ю.В.**, Пальянов Ю.Н., Борздов Ю.М., Здроков Е.В., Соболев Н.В. Экспериментальное моделирование взаимодействия субдуцированных карбонатов и серы с мантийными силикатами. **ДАН** 2016, 470(2), с.199–203.
14. **Bataleva Yu.V.**, Palyanov Yu.N., Borzdov Yu.M., Bayukov O.A., Zdrokov E.V. Iron carbide as a source of carbon for graphite and diamond formation under lithospheric mantle P-T parameters. **Lithos** 2017, 286, p.151-161.
15. **Bataleva Y.V.**, Palyanov Y.N., Borzdov Y.M., Novoselov I.D., Bayukov O.A. Graphite and diamond formation in the carbide-oxide-carbonate interactions (experimental modeling under mantle P,T-conditions). **Minerals** 2018, 8, 522.
16. **Bataleva Y.**, Palyanov Y., Borzdov Y. Sulfide formation as a result of sulfate subduction into silicate mantle (experimental modeling under high P,T-parameters). **Minerals** 2018, 8, 373.
17. **Баталева Ю.В.**, Пальянов Ю.Н., Борздов Ю.М., Здроков Е.В., Новоселов И.Д., Соболев Н.В. Образование ассоциации Fe, Mg-силикатов, FeO и графита (алмаза) в результате окисления когенита в условиях силикатной мантии. **Доклады РАН** 2018, 479 (1), с. 59–62.
18. **Баталева Ю.В.**, Пальянов Ю.Н., Борздов Ю.М., Баюков О.А., Соболев Н.В. Экспериментальное моделирование углерод-продуцирующих процессов с участием когенита и CO₂-флюида в условиях силикатной мантии. **Доклады РАН** 2018, 483 (1), с. 1427–1430.
19. **Баталева Ю. В.**, Пальянов Ю. Н., Борздов Ю. М., Новоселов И. Д., Баюков О. А., Соболев Н. В. Условия образования включений железо-углеродного расплава в гранатах и ортопироксенах при P-T параметрах литосферной мантии. **Петрология** 2018, 26 (6), с. 571–582.
20. **Bataleva Y.**, Palyanov Y., Borzdov Y., Bayukov O. Processes and conditions of the origin for Fe³⁺-bearing magnesiowüstite under lithospheric mantle pressures and temperatures. **Minerals** 2019, 9 (8), 474.
21. Zdrokov E., Novoselov I., **Bataleva Y.**, Borzdov Y., Palyanov Y. Experimental modeling of silicate and carbonate sulfidation under lithospheric mantle P,T-parameters. **Minerals** 2019, 9 (7), 425.
22. **Bataleva Y.V.**, Palyanov Y.N., Borzdov Y.M., Novoselov I.D., Bayukov O.A. An effect of reduced S-rich fluids on diamond formation under mantle-slab interaction. **Lithos** 2019, 336-337, 27-39.

23. **Bataleva Y.V.**, Kruk A.N., Novoselov I.D., Palyanov Y.N. Formation of spessartine and CO₂ via rhodochrosite decarbonation along a hot subduction P-T path. **Minerals**, 2020, 10(8), 1-12, 703.

24. **Bataleva Y.V.**, Kruk A.N., Novoselov I.D., Furman O.V., Palyanov Y.N. Decarbonation reactions involving ankerite and dolomite under upper mantle P,T-parameters: Experimental modeling. **Minerals**, 2020, 10(8), 1-17, 715.

25. **Баталева Ю.В.**, Новоселов И.Д., Крук А.Н., Фурман О.В., Реутский В.Н., Пальянов Ю.Н. Экспериментальное моделирование реакций декарбонизации, сопряженных с образованием Mg,Fe-гранатов и CO₂-флюида при мантийных P,T-параметрах. **Геология и геофизика**, 2020, 61, S5-6, 794-809.

Основные положения диссертации были доложены и обсуждены на научных конференциях:

1. Global-Network Symposium on Earth's Dynamics (Sendai, Japan, 2010);
2. The 3rd Deep Carbon Cycle International Workshop (DCO-3) (Новосибирск-Алтай, 2011);
3. Годичные собрания Российского минералогического общества (Санкт-Петербург, 2012, 2014, 2017 гг.);
4. The 65th Diamond Conference, University of Warwick (United Kingdom, Warwick, 2014);
5. XVII Всероссийское совещание по экспериментальной минералогии (Новосибирск, 2015);
6. 8-я Международная Сибирская молодежная геологическая конференция (Новосибирск, 2016);
7. Совещание «Геология и минерагения Северной Евразии», посвященное 60-летию основания Института геологии и геофизики СО АН СССР (Новосибирск, 2017);
8. XXXV Международная конференция «Магматизм Земли и связанные с ним месторождения стратегических металлов» (Миасс, 2018);
9. Всероссийские ежегодные семинары по экспериментальной минералогии, петрологии, геохимии (Москва, 2018, 2021);
10. Международная конференция, посвященная 110-летию академика В.С. Соболева «Проблемы магматической и метаморфической петрологии, геодинамики и происхождения алмазов» (Новосибирск, 2018);
11. XXII Meeting of the International Mineralogical Association (IMA2018) (Melbourne, Australia, 2018);
12. XIX Международное совещание по кристаллохимии, рентгеновской дифракции и спектроскопии минералов (Апатиты, 2019).

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, включенным в диссертацию.

Диссертационная работа Баталевой Юлии Владиславны «**Экспериментальное моделирование метасоматических минералообразующих процессов в углеродсодержащей литосферной мантии**» рекомендуется к защите на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности **25.00.05 - минералогия, кристаллография.**

Заключение принято на расширенном заседании лаборатории экспериментальной минералогии и кристаллогенезиса (№ 453) Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук.

Присутствовали на заседании 33 человека (из них: 2 академика РАН, 1 член-корреспондент РАН, 9 д.г.-м.н., 2 д.ф.-м.н., 7 к.г.-м.н., 1 к.ф.-м.н.).

Результаты голосования: «за» – 33 чел., «против» – 0 чел., «воздержалось» – 0 чел.

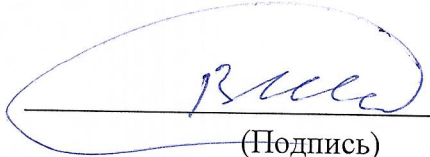
Председательствующий на заседании

Шацкий Владислав Станиславович

Академик РАН

Главный научный сотрудник лаборатории
экспериментальной минералогии и
кристаллогенезиса (№ 453) ИГМ СО РАН

Зам. председателя совета Д 003.067.02



(Подпись)