

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 ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИХ НАУК

Аттестационное дело № _____

Решение диссертационного совета от 16.02.2022 г. № 02/3

О присуждении **Баталевой Юлии Владиславне**, гражданке Российской Федерации, учёной степени доктора геолого-минералогических наук.

Диссертация **«Экспериментальное моделирование метасоматических минералообразующих процессов в углеродсодержащей литосферной мантии»** по специальности 25.00.05 – «минералогия, кристаллография» принята к защите 11 ноября 2021 г., протокол № 02/9, 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, просп. акад. Коптюга, 3), приказ № 105/нк от 11.04.2012 г.

Соискатель Баталева Юлия Владиславна, 1984 года рождения, защитила в 2012 году диссертацию на соискание учёной степени кандидата геолого-минералогических наук на тему **«Экспериментальное моделирование минералообразования при карбонат-оксидном и карбонат-оксид-сульфидном взаимодействии в условиях литосферной мантии»** в диссертационном совете, созданном на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук. 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 минералогии и кристаллогенезиса (№ 453) ФГБУН Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН.

Научный консультант – доктор геолого-минералогических наук Пальянов Юрий Николаевич работает в ФГБУН Институте геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН на должности заведующего лабораторией экспериментальной минералогии и кристаллогенезиса (№ 453).

Официальные оппоненты:

- 1) **Луканин Олег Александрович** – доктор геолого-минералогических наук по специальности 04.00.02 – «геохимия», заведующий лабораторией геохимии мантии Земли, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН (г. Москва);
- 2) **Перчук Алексей Леонидович** - доктор геолого-минералогических наук по специальности 25.00.04 – «петрология, вулканология», зав. кафедрой петрологии и вулканологии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова» (г. Москва);
- 3) **Ширяев Андрей Альбертович** - доктор химических наук по специальности 02.00.21 – «химия твердого тела», профессор РАН, ведущий научный

сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физической химии и электрохимии имени А.Н. Фрумкина РАН (г. Москва) дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт экспериментальной минералогии РАН (г. Черноголовка), в своем положительном заключении, подписанном **Спивак Анной Валерьевной**, доктором геолого-минералогических наук, ведущим научным сотрудником, **Персиковым Эдуардом Сергеевичем**, доктором геолого-минералогических наук, главным научным сотрудником, и **Олегом Геннадьевичем Сафоновым**, доктором геолого-минералогических наук, директором ИЭМ РАН, указала, что представленная диссертация является законченной научно-исследовательской работой, основанной на большом объеме новых экспериментальных результатов, комплексных аналитических и теоретических данных, полученных на высочайшем научно-методическом уровне, и квалифицировала диссертацию как решение крупной научной проблемы; диссертационная работа отвечает требованиям ВАК, предъявляемым к докторским диссертациям, а диссертант Ю.В. Баталева заслуживает присуждения ей учёной степени доктора геолого-минералогических наук.

Соискатель Ю.В. Баталева имеет 47 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 25 статей в рецензируемых научных изданиях из списка ВАК, баз данных Web of Science и Scopus:

- 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-пироба и эсколаита в процессах мантийного метасоматоза: экспериментальное моделирование. Доклады РАН 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 P-T параметрах литосферной мантии. Доклады РАН 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 P-T параметрах литосферной мантии. *Геология и геофизика* 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. Доклады РАН 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. Геология и Геофизика 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 металлсодержащими породами литосферной мантии. ДАН 2016, 466 (3), с. 331-334.
- 13) **Баталева Ю.В.**, Пальянов Ю.Н., Борздов Ю.М., Здрокков Е.В., Соболев Н.В. Экспериментальное моделирование взаимодействия субдуцированных карбонатов и серы с мантийными силикатами. Доклады РАН 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., Здрокков 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 декарбонатизации, сопряженных с образованием Mg,Fe-гранатов и CO₂-флюида при мантийных P,T-параметрах. *Геология и геофизика*, 2020, 61, S5-6, 794-809.

На диссертацию и автореферат поступило 11 отзывов (все положительные) от: 1) д.г.-м.н., член-корреспондента РАН, профессора, главного научного сотрудника Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН Каминского Феликса Витольдовича; 2) д.г.-м.н., директора Научно-исследовательского геологического предприятия Акционерной компании «АЛРОСА» Толстова Александра Васильевича и к.г.-м.н., заведующего лабораторией Научно-исследовательского геологического предприятия Акционерной компании «АЛРОСА» Бардухинова Леонида Данииловича; 3) д.г.-м.н., член-корреспондента РАН, главного научного сотрудника Лаборатории метаморфизма и метасоматоза ИГЕМ РАН Арановича Леонида Яковлевича; 4) д.г.-м.н., научного руководителя Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана, профессора Гаранина Викторovichа Константиновича; 5) д.ф.-м.н., профессора, главного научного сотрудника лаборатории физики монокристаллов Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН Непомнящих Александра Иосифовича; 6) д.г.-м.н., главного научного сотрудника, заведующего лабораторией минералогии алмаза Института геологии им. Н.П. Юшкина ФИЦ Коми НЦ УрО РАН Шумиловой Татьяны Григорьевны; 7) д.г.-м.н., профессора, член-корреспондента РАН, главного научного сотрудника Южно-Уральского ФНЦ Минералогии и геоэкологии УрО РАН Масленникова Валерия Владимировича; 8) д.х.н., заведующего лабораторией моделирования геохимических процессов, главного научного сотрудника Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН Владимира Львовича Таусона; 9) д.г.-м.н., главного научного сотрудника лаборатории петрологии, геохимии и рудогенеза Института земной коры СО РАН, Дорогокупца Петра Ивановича, к.г.-м.н., заведующего лабораторией петрологии, геохимии и рудогенеза Института земной коры СО РАН Шарыгина Игоря Сергеевича и к.г.-м.н., старшего научного сотрудника лаборатории петрологии, геохимии и рудогенеза Института земной коры СО РАН Дымшиц Анны Михайловны; 10) д.г.-м.н., заместителя декана по науке, профессора кафедры петрологии и вулканологии геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова Боброва Андрея Викторovichа; 11) д.г.-м.н., ведущего научного сотрудника Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН Титкова Сергея Васильевича;

В отзывах отмечено, что диссертационная работа является серьезным научным исследованием, решающим крупную научную проблему и вносящим огромный вклад в теорию образования алмаза и изучение процессов мантийного метасоматоза. Подчеркивается значительный объем и качественная проработка аналитических данных, применение очень широкого круга современных аналитических методов исследования. Полученные соискателем результаты признаны мировым сообществом, что

подтверждается их опубликованием в высокорейтинговых журналах, в большинстве статей – в качестве первого автора. Основные защищаемые положения достоверны и обоснованы.

Основные замечания и предложения по автореферату и диссертации касаются следующего:

1) Из отзыва ведущей организации (Спивак А.В., Персиков Э.С., Сафонов О.Г.):

«При обсуждении синтеза алмаза в карбонат-силикатных системах не обсуждаются работы А.В. Боброва и Ю.А. Литвина по изучению влияния силикатной составляющей на эффективность к алмазообразованию карбонат-силикатных систем».

«Недостаточно рассмотрена сравнительная роль щелочных карбонатов в метасоматозе мантийных пород и в проблеме генезиса алмаза в мантии по сравнению с выбранными автором системами.»

«Автор предполагает, что средой взаимодействия карбонат-Fe и карбонат-Fe₃C был «флюид», имея в виду, по-видимому, CO₂. Однако свидетельства присутствия этого флюида (пузыри) в данных сериях экспериментов не описаны. Ни одна реакция (3.1)-(3.5) не содержит CO₂ как продукт взаимодействия.»

«В качестве причины кристаллизации графита вместо алмаза в ассоциации с магниевюститом автор указывает «отсутствие растворителя». Однако ранее автор указывает на присутствие карбонатного расплава, который должен быть хорошим растворителем углерода. Возможно, что для данной системы P-T параметры эксперимента соответствуют области метастабильно пересыщенного раствора углерода к алмазу, что приводит к нуклеации метастабильного графита в P-T-области термодинамически стабильного алмаза (Spivak, Litvin, 2004)».

«Схема распространения «редокс фронта» на рис. 3.4. не согласуется с тем, что пишет автор в тексте. На стр. 76 указывается, что «в процессе взаимодействия градиент fO₂ постепенно снижается», но на рисунке профиль, напоминающий диффузионный, остается одинаковым со временем. По нашему мнению, это может отражать разные механизмы: «снижение», т.е. выравнивание градиента означает диффузионный механизм, а сохранение профиля fO₂ отражает инфильтрационный механизм взаимодействия.»

«При интерпретации экспериментальных данных в системе (Ca,Mg)CO₃-Al₂O₃-SiO₂-FeS автор предлагает реакции 3.18 и 3.19 (стр. 105). Реакции записаны с использованием некоего «S₂ в сульфидах», а не FeS₂, который присутствует в продуктах экспериментов.»

«На стр. 156 автор делает вывод, что «исследуемая система (Ca,Mg)CO₃-Al₂O₃-SiO₂-ильменит не достигает второй критической точки», означающий, что не только растворимость CO₂ в расплаве высока, но растворимость компонентов расплава в CO₂ настолько высока, что составы флюида и расплава становятся одинаковыми. Вряд ли такая ситуация возможна с флюидом CO₂.»

«В качестве замечания к главе 7 укажем то, что в ней не хватает изображения структуры Fe³⁺-содержащего магниевюstitа, с указанием позиций, занятых Fe²⁺, Fe³⁺ и Mg²⁺.»

«Вызывает сомнение тезис о роли «богатых Fe³⁺ карбонатно-силикатных расплавов» как реальных метасоматических агентов».

2) Из отзыва официального оппонента Ширяева А.А.:

«Стр. 16 – обсуждение включений «чистого CO₂». На самом деле, в большинстве таких включений флюид заведомо содержит большое количество примесей (например, вода, азот и т.п.), что следует из детального анализа ИК-спектров поглощения (см. Varannik et al., 2021). Данное замечание относится и к ряду других глав.»

«Стр. 33. Отождествление элементарного углерода с графитом. Графит – четко определенная форма углерода. Очевидно, что далеко не весь обнаруженный в природе углерод с sp²-гибридизацией можно отнести именно к графиту. Существует очень широкий спектр графитоподобных материалов и в огромном количестве случаев речь надо вести именно о «графитоподобном» углероде. Конечно «графит» - традиционный термин в минералогии, но все же следует стараться использовать более корректные термины.»

«Стр. 37. Синтез алмазов в карбонат-содержащих системах продемонстрирован еще в начале 70-х годов (патенты Шульженко и Гетмана). Синтез алмаза при разложении углеводородов впервые был систематически исследован в ИФВД АН СССР в группе Яковлева еще в середине 80-х. Более того, в настоящее время именно аналогичные подходы активно используются для контролируемого легирования субмикронных алмазов.»

«Стр. 115 и 121. Обнаружение включений «алмаз в алмазе». По текстурным соображениям (захваченные алмазы покрыты карбонатной пленкой), было две генерации этого минерала. Хотелось бы увидеть обсуждение этих событий.»

«Стр. 120. Наличие силикатных включений в алмазах из металлических систем отмечалось в работах Дорошева и др., 1996, Lang et al., 1995. В упомянутых случаях такие включения явно представляли собой части среды, передающей давление. В некотором смысле аналогичная ситуация могла складываться в использованной в работе схеме ампулы.»

3) Из отзыва официального оппонента Перчука А.Л.:

«Нет убедительного обоснования того, что фугитивность кислорода (системы карбонат-железо, карбонат-карбид) соответствует буферным реакциям IW и CCO на разных концах ампул.»

«В предлагаемых схемах реакций (напр., 3.1, 3.6 и др.) даются коэффициенты, которые не выравнивают содержания элементов в исходных веществах и продуктах реакции. Отметим, что эта небрежность характерна для всей диссертации.»

4) Из отзыва А.В. Толстова и Л.Д. Бардухинова:

«Параметры и условия природного алмазообразования несколько отличаются от описанных автором в методической части. Как известно, температура образования природного алмаза находится ниже 1400 °С, но автор в своих моделях использует повышенные температуры. Насколько это целесообразно?»

5) Из отзыва Арановича Л.Я.:

«Хотя объем автореферата ограничен, следовало бы привести конкретные составы изученных систем.»

«Практически сквозной в автореферате является тема образования алмаза в результате взаимодействия литосферной мантии с веществом погружающегося в мантию слэба. Однако для многих алмазов и мантийных ксенолитов установлен очень древний возраст (архей и палеопротерозой), т.е. период, протекание субдукции в котором остается очень дискуссионным.»

- 6) Из отзыва Шумиловой Т.Г.:
«Остается нерешенным вопрос о вероятности смешения углерода из разных источников в реализованных экспериментальных системах – от углерода алмазных затравок и графита из ампул и углерода карбонатов и карбидов. Не в полной мере ясно, соответствует ли типоморфизм синтезированного алмаза природному алмазу литосферной мантии».
- 7) Из отзыва Масленникова В.В.:
«В первом защищаемом положении моделирование привязано к границе субдуцированного слэба с породами мантии. Однако, признаки таких слэбов не рассмотрены.»
- 8) Из отзыва Таусона В.Л.:
«Из автореферата трудно понять, на каких основаниях делаются выводы об особенностях структуры магнезиовюститита.»
«На с. 28 появляется интересная информация об азоте в алмазах в зависимости от редокс условий, но конкретно об азоте в автореферате ничего не сказано, и неясно, контролировали ли N в системе.»

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что Луканин Олег Александрович, Перчук Алексей Леонидович и Ширяев Андрей Альбертович являются высококвалифицированными специалистами в области геохимии, экспериментальной и теоретической петрологии, а также минералогии алмаза. Оппоненты имеют многочисленные публикации в высокорейтинговых изданиях в области исследования, соответствующей тематике диссертации, и способны объективно оценить данную диссертационную работу.

Выбор ведущей организации обосновывается тем, что направление ее научно-исследовательской деятельности полностью соответствует тематике диссертации, а специалисты могут объективно и аргументированно оценить научную и практическую значимость диссертационной работы.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненным соискателем исследований:

Разработан новый экспериментальный подход для моделирования процессов минералообразования при мантийном метасоматозе с участием окислительных и восстановительных агентов, а также исследования условий образования алмаза и графита из углерода карбонатов и карбида в данных процессах. Предложены новые представления о мантийных метасоматических минералообразующих процессах, сопряженных с образованием алмаза в результате окислительно-восстановительных реакций, впервые определен редокс механизм образования алмаза при взаимодействии карбонат-железо, и установлены контрастные неоднородности алмазов по составу включений, изотопному составу углерода и содержанию примесного азота. Предложены новые сценарии поведения флюидов серы 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. Доказана перспективность использования полученных результатов для моделирования метасоматических процессов в мантии.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что доказаны следующие положения:

1. Взаимодействие Mg,Ca-карбонат-металлическое железо, моделирующее процессы на границе субдущированного слэба с породами мантии, содержащими металлическую фазу (Fe, Ni), осуществляется за счет градиента fO_2 и формирования редокс фронта. В данном процессе алмазы образуются как в восстановительных (расплав Fe), так и в окислительных (расплав карбоната) условиях за счет углерода карбоната. Кристаллы резко контрастны по составу включений, содержанию азота и изотопному составу углерода, что позволяет объяснить одну из возможных причин гетерогенности природных алмазов.

2. В карбонатно-оксидных системах с участием вюстит и ильменита, моделирующих условия генерации окислительных агентов мантийного метасоматоза, происходит образование высокожелезистых карбонатно-силикатных расплавов, обогащенных молекулярным CO_2 . Данные расплавы формируются при значениях fO_2 от соответствующих буферу FMQ до FMQ+2 лог. ед. и характеризуются высокими значениями $Fe^{3+}/\Sigma Fe$ (0,20-0,43). Индикаторами переработки мантийных пород подобными расплавами могут являться обогащенные Fe^{3+} минералы – фаялит-магнетитовая шпинель, магнетит и гранат.

3. Взаимодействия карбида железа с восстановительными агентами мантийного метасоматоза - серосодержащими флюидами и сульфидными расплавами, являются потенциальными углерод-продуцирующими процессами. В данных процессах реализуется экстракция углерода из карбида, сопровождающаяся образованием графита и ростом алмаза в металл-сульфидном расплаве. Взаимодействие карбида железа с окислительными агентами – карбонат-содержащими расплавами, включает реакции декарбонатизации, экстракцию углерода из Fe_3C и восстановление CO_2 или карбонатного компонента расплава до графита или алмаза.

4. Взаимодействие мантийных ультраосновных пород с серосодержащими восстановительными агентами метасоматоза приводит к их сульфидизации, сопровождающейся перекристаллизацией оливина, экстракцией железа и никеля из оливина и формированием сульфидов и силикатов. Обогащенный серой флюид является эффективным метасоматическим агентом, способным модифицировать состав ультраосновных пород, инициировать образование мантийных сульфидов и их включений в мантийных силикатах.

5. Ассоциация Fe^{3+} -магнезиовюстит + графит/алмаз является индикатором метасоматических преобразований с участием CO_2 -флюида или карбонатного расплава. Концентрации Fe^{3+} в магнезиовюстите зависят от fO_2 и изменяются от 0-0,05 форм. ед. в восстановительных условиях ($fO_2 \sim FMQ-5$ лог.ед), до 0,19 форм. ед. в окислительных ($fO_2 \sim FMQ-1$ лог.ед.). Процессы образования ассоциации Fe^{3+} -магнезиовюстит + графит / алмаз связаны с редокс реакциями, включая диспропорционирование железа.

Применительно к проблематике диссертации эффективно использованы экспериментальные методики высокобарических высокотемпературных исследований на многопуансонном аппарате «разрезная сфера» (БАРС). Применен комплекс современных прецизионных аналитических методов: микронзондовый (4000 опр.) и рентгенофазовый (60 опр.) анализы, энергодисперсионная спектроскопия (> 25 000 опр.), оптическая и электронная микроскопия (> 6400 фотографий), спектроскопия комбинационного рассеяния света (350 опр.), инфракрасная (> 60 опр.) и Мёссбауэровская (> 150 опр.) спектроскопия, а также численные методы – термодинамические расчеты и расчеты баланса масс.

Изложены новые экспериментально обоснованные идеи о роли сульфидов, карбида и металлического железа как восстанавливающих агентов в процессах образования алмаза из углерода карбонатов; **раскрыты** потенциальные механизмы образования алмаза в результате взаимодействий карбонат-оксид-сульфид, карбонат-железо, карбонат-карбид при P,T-параметрах литосферной мантии. **Изучены** закономерности взаимодействия карбида железа (когенита) с мантийными минералами и метасоматическими агентами в различных редокс условиях; обосновано, что экстракция углерода из карбида может рассматриваться графит- и алмаз-продуцирующим процессом.

Проведена модернизация существующих представлений о роли сульфидов, карбидов и самородного железа в процессах образования алмаза при мантийном метасоматозе; впервые определены условия генерации потенциальных окислительных метасоматических агентов - обогащенных Fe^{3+} карбонатно-силикатных расплавов; впервые предложена модель сульфидизации силикатной мантии восстановленными серосодержащими флюидами.

Значение полученных соискателем результатов исследований для практики подтверждается тем, что экспериментально полученные 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. **Определены** редокс механизмы образования алмаза при взаимодействиях карбонат – металл и CO_2 флюид – сульфид, которые могут являться основой для обоснования сценариев природного алмазообразования. На их основе **разработаны** новые методы синтеза алмаза с неграфитовыми источниками углерода. Впервые **определены** индикаторные характеристики мантийных ассоциаций Fe^{3+} -магнезиовюстит + алмаз/графит, и **выявлена** конкретная связь этих характеристик с процессами мантийного метасоматоза. Полученные данные могут представлять интерес для реконструкций процессов генезиса алмаза с включениями магнезиовюстита. **Создан** комплексный методический подход для экспериментального моделирования процессов мантийного метасоматоза и **представлены рекомендации** по применению данного подхода при работе с флюидами и расплавами различных составов при высоких P,T-параметрах.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что экспериментальные исследования проведены на беспрессовом многопуансонном аппарате высокого давления типа «разрезная сфера» (БАРС), с обоснованными калибровками и доказанной воспроизводимостью результатов экспериментов. Комплекс аналитических исследований выполнен на сертифицированном современном оборудовании: стереомикроскопы Stemi 508, Axio Imager 2 (Carl Zeiss Microscopy) и Olympus BX51, сканирующий электронный микроскоп Tescan MIRA3 LMU с энергодисперсионной приставкой INCAEnergy-350 (детектор XMAX-80), микрозондовый анализатор Jeol JXA-8100, а также приставка Cameca Camebax-Micro, дифрактометр ДРОН-3, Мёссбауэровский спектрометр MC-1104Ем с источником $Co^{57}(Cr)$, спектрометр Horiba J.Y. LabRAM HR800, спектрометр Bruker Vertex 70 FTIR, оснащенный ИК-микроскопом Hyperion 2000, масс-спектрометры Finnigan Delta и Finnigan MAT 253.

Теоретическая часть работы затрагивает проблему мантийного метасоматоза с участием окислительных и восстановительных агентов, в том числе вопрос об источнике углерода и среды кристаллизации алмаза в процессах мантийного метасоматоза, и

