

УТВЕРЖДАЮ:
Директор Федерального
государственного бюджетного
учреждения науки
Институт геологии и минералогии
им. В. С. Соболева СО РАН
академик РАН Н.П. Похиленко



2016г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения РАН (ИГМ СО РАН).

Диссертация «Условия образования кимберлитоподобных магм при взаимодействии карбонатных расплавов с литосферными перидотитами: экспериментальное исследование» выполнена в лаборатории экспериментальной минералогии и кристаллогенезиса (№ 453) Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения РАН.

В период подготовки диссертации, соискатель Крук Алексей Николаевич работал в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева Сибирского отделения РАН в лаборатории экспериментальной минералогии и кристаллогенезиса (№ 453) в должности инженера, младшего научного сотрудника и научного сотрудника.

В 2013 году Алексей Николаевич окончил геолого-геофизический факультет Новосибирского государственного университета («Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет») по специальности «геология».

Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов № 112 от 29.09.2016 выдано от Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения РАН.

Научный руководитель – Сокол Александр Григорьевич, доктор геолого-минералогических наук, работает в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева Сибирского отделения РАН в лаборатории экспериментальной минералогии и кристаллогенезиса (№ 453) в должности ведущего научного сотрудника.

По итогам обсуждения работы принято следующее заключение:

Цель диссертационной работы А.Н. Крука заключалась в экспериментальном моделировании минералообразующих процессов, осуществляющихся при взаимодействии

щелочных карбонатных расплавов с мантийными перидотитами, а также в реконструкции температурного и флюидного режимов генерации кимберлитоподобных расплавов в условиях основания континентальной литосферы (на примере кимберлита тр. Удачная).

Актуальность исследований и постановка научной проблемы

Кимберлиты привлекают к себе пристальное внимание, так как образованы наиболее глубинными мантийными магмами, которые транспортировали алмазы на земную поверхность. Основные концепции генезиса кимберлитовых магм связывают их зарождение либо с плавлением карбонатизированного лерцолита, либо с взаимодействием глубинных летучих с породами литосферной мантии. При этом современные представления о температурном и флюидном режиме этого уникального процесса достаточно противоречивы. Слабо изученной также остается ранняя метасоматическая стадия проработки потенциальных протолитов кимберлитов с участием карбонатитовых расплавов и водных флюидов. Методы экспериментальной минералогии и петрологии эффективно используются для решения широкого круга задач как непосредственно связанных с генезисом кимберлитов, так и процессами метасоматоза с участием карбонатных расплавов. Однако, механизм и продукты реакционного взаимодействия карбонатных расплавов с мантийными перидотитами изучены недостаточно. Также дополнительное исследование требует влияние минерального состава метасоматически измененного протолита, флюидного и температурного режима, на состав кимберлитоподобных магм, генерированных в условиях континентальной литосферной мантии.

Наиболее важные научные результаты, полученные соискателем

Установлено, что взаимодействие карбонатных расплавов с гарцбургитами или лерцолитами при P-T параметрах основания литосферной мантии, в основном осуществляется через Mg-Ca обмен и приводит к образованию богатого щелочами, но бедного SiO_2 (≤ 7 мас.%) карбонатного расплава. Его Ca# варьирует от 37 до 50 и контролируется минеральным составом перидотита. Взаимодействие при 1200°C приводит к верлитизации гарцбургита за счет расходования ортопироксена и кристаллизации клинопироксена и магнезита. С увеличением температуры до 1350°C этот процесс прекращается, концентрация клинопироксена и магнезита в перидотите падает, а ортопироксена увеличивается. Таким образом, метасоматоз сухими карбонатитовыми расплавами может вызвать генерацию карбонатизированных лерцолитов или иногда верлитов, являющихся потенциальным источником кимберлитовых магм. Однако, такой процесс не может приводить к образованию магнезитсодержащих гарцбургитов в диапазоне изученных P-T параметров. Силикатные фазы, образующиеся в результате взаимодействия карбонатитов и перидотитов имеют составы, схожие с составами минералов высокотемпературных перидотитов, но заметно отличаются от мегакристов из кимберлитов. Гранаты, кристаллизующиеся в результате реакционного взаимодействия между карбонатитовыми расплавами и гарцбургитом с увеличением температуры от 1200 до 1350°C , демонстрируют изменение содержания CaO и Cr_2O_3 , воспроизводящее некоторые закономерности эволюции состава гранатов из ксенолитов метасоматизированных перидотитов кимберлита трубки Удачная. Характерно, что равновесные с перидотитами карбонатные расплавы близки по составу только к богатым магнием карбонатным включениям в алмазах.

Показано, что температуры ликвидуса практически всех систем, моделирующих составы первичных кимберлитовых магм ($>1470^{\circ}\text{C}$) превышают максимальные температуры ($\sim 1400^{\circ}\text{C}$), фиксируемые термометрией для наиболее глубоких ксенолитов из кимберлитов. Однако, для генерации богатых водой кимберлитовых магм требуется существенно менее мощный дополнительный источник тепла. Вблизи ликвидуса кимберлитоподобных систем границы стабильности отдельных фаз и мультифазного насыщения в целом, зависят как от концентрации главных петрогенных компонентов, так и от X_{CO_2} в стартовом составе. Оливинсодержащая мультифазная ассоциация стабильна вблизи ликвидуса при $X_{\text{CO}_2} < 0,5$. Причем при увеличении MgO/CaO весового отношения в составах от 1,8 до >4 происходит смена равновесных с расплавом ассоциаций: $\text{Ol} + \text{Grt} + \text{Cpx} \rightarrow \text{Ol} + \text{Grt} + \text{Opx} + \text{Cpx} \rightarrow \text{Ol} + \text{Grt} + \text{Opx}$. В изученных системах с преобладанием воды ($X_{\text{CO}_2} < 0,3$) мультифазное насыщение расплава не фиксируется для составов с MgO/CaO отношением около 5 и для высококальциевых составов с SiO_2/MgO отношением более 2. Магнетитсодержащие мультифазные ассоциации стабильны при $X_{\text{CO}_2} > 0,5$.

Карбонатизированный гранатсодержащий лерцолит может быть материнской породой для значительной части составов первичных магм с $X_{\text{CO}_2} < 0,5$. Генерация первичных магм с высоким содержанием кальция ($\text{MgO}/\text{CaO} < 2$) и $X_{\text{CO}_2} < 0,5$ возможна из карбонатизированного гранатсодержащего верлита. В диапазоне проанализированных давлений реконструированные составы первичных магм не попадают в область генерации из карбонатизированного гарцбургита. Первичные расплавы с высокой долей CO_2 ($X_{\text{CO}_2} > 0,5$) гипотетически могут образовываться в безоливиновых породах - карбонатизированных гранатовых ортопироксенитах или вебстеритах.

Личное участие автора в получении результатов, изложенных в диссертации

Основу диссертации составляют исследования, проведенные в 2010-2016 гг. Лично автором на многопуансонном аппарате типа «разрезная сфера» выполнено более 30 экспериментов при мантийных P-T параметрах и получено 56 образцов. Автор принимал непосредственное участие в постановке задач, обработке и интерпретации экспериментальных данных, а также формулировании выводов.

Высокая степень достоверности и обоснованности результатов проведенных исследований, обобщенных в виде защищаемых положений, базируется на большом экспериментальном материале, полученном при высоких температурах и давлениях на аппаратуре БАРС, и на детальном исследовании образцов с помощью современных аналитических методов. Результаты исследований апробированы на российских и зарубежных конференциях и семинарах, а также опубликованы в высокорейтинговых журналах, в том числе *Geochimica et Cosmochimica Acta* и *Lithos*.

Научная новизна и практическая значимость

Впервые экспериментально при P-T параметрах основания континентальной литосферы изучена специфика реакционного взаимодействия щелочных карбонатитовых расплавов с гарцбургитом и лерцолитом. В уникальных экспериментах длительностью 150 часов установлены особенности составов равновесных расплавов, силикатных фаз перидотита, а также определены границы стабильности магнетита. В гранатах из реакционно измененного гарцбургита экспериментально воспроизведены основные закономерности эволюции состава гранатов из метасоматизированных перидотитов кимберлитовой трубки Удачная. Показано, что равновесные с перидотитом карбонатные расплавы по составу схожи только с высокомагнезиальной серией карбонатных включений в кристаллах алмаза с волокнистым строением. При этом большинство богатых кальцием и железом карбонатных включений в алмазах с перидотитом не равновесны. Впервые при мантийных давлениях и высоких концентрациях воды изучены

фазовые отношения вблизи ликвидуса кимберлита трубки Удачная. Установлены зоны мультыфазного насыщения и обосновано, что их границы зависят как от концентрации основных петрогенных компонентов, так и летучих в стартовом составе. Анализ полученных данных в целом позволил сделать вывод о важной роли как предварительной метасоматической переработки протолитов, так и повышенных концентраций воды при генерации кимберлитовых магм I группы.

Результаты диссертационного исследования могут послужить основой для построения петролого-геохимических моделей генерации алмазоносных кимберлитовых магм, которые будут полезны при разработке более совершенных критериев поиска алмазоносных кимберлитовых трубок.

Соответствие диссертации специальности, по которой она рекомендуется к защите:

Диссертационная работа А.Н. Крука представляет собой научно-квалификационную работу, в которой содержится решение актуальной задачи экспериментального моделирования минералообразующих процессов в литосферной мантии, осуществляющихся при взаимодействии щелочных карбонатных расплавов с мантийными перидотитами, а также в реконструкции температурного и флюидного режимов генерации кимберлитоподобных расплавов в условиях основания континентальной литосферы. Область исследования **соответствует формуле специальности 25.00.05** – «минералогия, кристаллография», а именно 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.**

Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем ученой степени.

Основные научные результаты и материалы диссертационного исследования полно изложены в научных публикациях соискателя А.Н. Крука. По теме диссертации опубликовано 17 научных работ, в том числе 8 статей в рецензируемых научных отечественных и международных периодических научных изданиях, рекомендованных ВАК.

Основные публикации соискателя, в которых опубликованы материалы диссертации:

Статьи в журналах из списка ВАК:

1. Sokol, A.G., Kupriyanov, I.N., Palyanov, Y.N., **Kruk, A.N.**, Sobolev, N.V. Melting experiments on the Udachnaya kimberlite at 6.3-7.5 GPa: Implications for the role of H₂O in magma generation and formation of hydrous olivine // *Geochimica Et Cosmochimica Acta*, 2013, V. 101, P. 133-155
2. Sokol, A.G., **Kruk, A.N.**, Palyanov, Y.N. The role of water in generation of group II kimberlite magmas: Constraints from multiple saturation experiments, *American Mineralogist*, 2014, V. 99, I. 11-12, P. 2292-2302

3. А.Г. Сокол, **А.Н. Крук**. Условия генерации кимберлитовых магм: обзор экспериментальных данных // Геология и геофизика, 2015, т. 56, № 1—2, с. 316—336.
4. Сокол А.Г., **Крук А.Н.**, Чеботарев Д.А., Пальянов Ю.Н., Соболев Н.В, Условия образования флогопита при взаимодействии карбонатитовых расплавов с перидотитами субкратонной литосферы // Доклады академии наук, 2015, т.462, №6, с. 696-700.
5. Сокол А.Г., **Крук А.Н.**, Чеботарев Д.А., Пальянов Ю.Н., Соболев Н.В, Состав гранатов как индикатор условий взаимодействия перидотит-карбонатит в субкратонной литосфере (по экспериментальным данным) // Доклады академии наук, 2015, т. 463, № 3, с. 331-336.
6. Сокол А.Г., **Крук А.Н.**, Чеботарев Д.А., Пальянов Ю.Н., Соболев Н.В, Условия карбонатизации и верлитизации литосферных перидотитов при их взаимодействии с карбонатитовыми расплавами // Доклады академии наук, 2015, т. 465, № 5, с. 577-582.
7. **Крук А.Н.**, Сокол А.Г., Чеботарев Д.А., Пальянов Ю.Н., Соболев Н.В. Состав карбонатитового расплава, равновесного с лерцолитом при 5.5-6.3 ГПа, 1350°C // Доклады академии наук, 2016, т. 467, №3, с. 324-328.
8. A.G. Sokol, **A. N. Kruk**, D. A. Chebotarev, Y. N. Palyanov, Carbonatite melt–peridotite interaction at 5.5–7.0 GPa: Implications for metasomatism in lithospheric mantle // Lithos, 2016, v.248-251, p. 66-79.

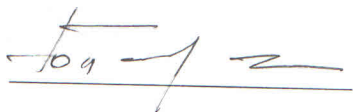
статьи в других изданиях:

1. Sokol A.G., Kupriyanov I.N., Palyanov Yu.N., **Kruk A.N.** Fluid regime in subcratonic mantle and formation of kimberlite magmas: constrains from experiments. // The 3rd Deep Carbon Cycle International Workshop (DCO-3), Novosibirsk, Denisova Cave, Altai, Russia, August 25 - 30, 2011, p. 44.
2. Sokol A.G., Kupriyanov I.N., Palyanov Yu.N., **Kruk A.N.** Water activity in kimberlite magmas: constrains from melting experiments at 6.3 and 7.5 GPa // Long abstracts of 10th International Kimberlite Conference, Bangalore (India), 2012.
3. Sokol A.G., Kupriyanov I.N., Palyanov Yu.N., **Kruk A.N.** and Sobolev N.V. Melting experiments on the Udachnaya kimberlite at 6.3-7.5 GPa: implications for the role of H₂O in magma generation and formation of hydrous olivine. // 1st European Mineralogical Conference, 2012, V. 1, EMC2012-287.
4. **Крук А.Н.** Экспериментальное изучение фазообразования в водосодержащих кимберлитах I и II группы при P=6,3-7,5 ГПа, и T=1300-1670°C. // Материалы 51-й научной международной студенческой конференции «Студент и научно-технический прогресс»: геология. Новосибирск, 2013, с 81.
5. Sokol A.G., Palyanov Yu.A., **Kruk A.N.**, Chebotarev D.A. Interaction of the carbonate melts and lherzolite: constraints from sandwich experiments at 5.5 GPa and 1200°C // Abstract 30th International Conference on “Ore Potential of Alkaline, Kimberlite and Carbonatite Magmatism” (Eds: N. Ilbely and M.G. Yalcin). P. 183.
6. Сокол А.Г., **Крук А.Н.** и Чеботарев Д.А. Взаимодействие карбонатного расплава с лерцолитом: экспериментальное исследование при 5,5 ГПа и 1200°C // Материалы Годичного собрания Российского минералогического общества, 2014, с. 209.
7. **Крук А.Н.**, Сокол А.Г., Чеботарев Д.А. Условия образования флогопита в системе перидотит-карбонатит при 5,5-7,5 ГПа и 1200-1450°C // Тезисы XVII Всероссийского совещания по экспериментальной минералогии, 2015, с.23.
8. Чеботарев Д.А., Сокол А.Г., **Крук А.Н.**; Состав граната как индикатор условий взаимодействия карбонатит-перидотит при 5.5-6.3 ГПа и 1200-1350°C // Тезисы XVII Всероссийского совещания по экспериментальной минералогии, 2015, с.39.

9. Сокол А.Г., **Крук А.Н.**, Чеботарев Д.А., Пальянов Ю.Н.; Мантийный метасоматоз под воздействием карбонатитовых расплавов: анализ экспериментальных данных // Тезисы XVII Всероссийского совещание по экспериментальной минералогии, 2015, с.35.

Диссертация «Условия образования кимберлитоподобных магм при взаимодействии карбонатных расплавов с литосферными перидотитами: экспериментальное исследование» Крука Алексея Николаевича рекомендуется к защите на соискание учёной степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.05 - «минералогия, кристаллография».

Заключение принято на расширенном заседании лаборатории экспериментальной минералогии и кристаллогенезиса (№ 453) ИГМ СО РАН. Присутствовали на заседании - 23 человека (из них 2 академика РАН, 1 член-корр. РАН, 7 докторов геол.-мин. наук, 6 кандидатов геол.-мин. наук, а также 1 научный сотрудник, 2 аспиранта и 4 инженера). Результаты открытого голосования по вопросу принятия заключения по диссертации А. Н. Крука: «за» - 23 чел., «против» - 0 чел., «воздержалось» - 0 чел., протокол от 31 августа 2016 г.



Заключение оформил:

*Пальянов Юрий Николаевич
Доктор геолого-минералогических наук,
заведующий лабораторией экспериментальной
минералогии и кристаллогенезиса (№453) ИГМ
СО РАН*