

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



М

«апреля 2024 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 заседания расширенного семинара лаборатории экспериментальной минералогии и геодинамики (№ 449)

Диссертация «Экспериментальное исследование кристаллизации субкальциевого хромистого пиропа, содержащего редкоземельные элементы» выполнена в лаборатории экспериментальной минералогии и геодинамики (№ 449) Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук (ИГМ СО РАН).

Лин Владимир Валерьевич, 29.03.1980 года рождения, гражданство РФ, окончил Новосибирский государственный технический университет в 2005 году по направлению/специальности «социальная работа». Диплом №1717940. В 2018 году зачислен в ИГМ СО РАН в качестве экстерна сроком на 6 месяцев (с 10.04.2018 г. по 10.10.2018 г.) для прохождения промежуточной аттестации – сдачи кандидатских экзаменов без освоения программ подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре по специальности 25.00.05 «Минералогия, кристаллография» и с 10.04.2018 г. прикреплен для подготовки диссертации на соискание ученой степени кандидата наук сроком на 3 года (по 10.04.2021 г. Приказ №25 от 10.04.2018 ИГМ СО РАН).

Справка о сдаче кандидатских экзаменов № 9 от 18.04.2023 году выдана в отделе аспирантуры ИГМ СО РАН.

С 2009 года работал в должности инженера, с 2012 года – ведущего инженера и с 2023 года – младшего научного сотрудника по настоящее время в лаборатории экспериментальной минералогии и геодинамики (№ 449) ИГМ СО РАН.

Научный руководитель/научный консультант:

Чепуров Алексей Анатольевич, доктор геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории экспериментальной минералогии и геодинамики (№ 449) 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 исследование кристаллизации субкальциевого хромистого пиропа, содержащего редкоземельные элементы», представленного на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.4 «Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых» принято следующее заключение:

• **Оценка выполненной соискателем работы**

Соискатель в ходе выполнения диссертационной работы провел экспериментальное исследование кристаллизации субкальциевого хромистого пиропа, содержащего редкоземельные элементы (РЗЭ). Автор принимал непосредственное участие в разработке конструкции реакционных ячеек и методик проведения экспериментов по росту хромистых пиропов с РЗЭ на аппаратах высокого давления БАРС и в получении аналитических данных. Гранат, полученный в экспериментальных образцах по химическому составу близок к природным хромпиропам из включений в природных алмазах гарцбургитового парагенезиса. Продемонстрирована кристаллизация хромпиропа в системах, в различной степени обогащенных РЗЭ. Показано, что при небольших добавках (0.5-1.5 мас.%) карбонатита в систему, гранаты концентрируют все РЗЭ, присутствующие в исходном карбонатите, а полученные концентрации РЗЭ в гранате близки к таковым в природных хромпиропах из мантийных перidotитов. Эксперименты с высокими содержаниями РЗЭ в системе позволили синтезировать гранат, суммарное содержание РЗЭ в котором превышает 7 мас.%. Сделаны выводы, которые позволяют конкретизировать представления о метасоматических условиях образования хромистых пиропов в присутствии флюида, содержащего РЗЭ в природных условиях.

- **Актуальность темы диссертационного исследования**

Актуальность темы определяется тем, что исследование типоморфизма, микроэлементного состава минералов – это путь как к выявлению минералого-геохимических критериев поиска новых кимберлитовых трубок, так и к познанию природы глубинных пород. Хромсодержащий пироп с содержанием более 5 мас.% Cr_2O_3 является одним из главных минералов-индикаторов при поисковых работах шлихо-минералогическим методом новых кимберлитовых трубок. Важной особенностью химического состава хромсодержащих гранатов является присутствие РЗЭ. В настоящее время продолжаются дискуссии по поводу условий формирования кривых распределения РЗЭ в гранате. Существующие данные указывают на существенную роль метасоматических флюидов, генетически связанных с карбонатитами. Для моделирования генезиса хромистых гранатов бесспорное значение имеют эксперименты при высоких давлениях и температурах в системах, моделирующих природные перидотиты.

- **Личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации**

Автором работы проведен детальный анализ существующей научной литературы по тематике диссертации. Он принял непосредственное участие в разработке методик экспериментов и реакционных ячеек для проведения опытов по росту хромистых пиропов с РЗЭ на аппаратах высокого давления БАРС и в получении исходных экспериментальных данных. Лин В.В. провел более 50 экспериментов при давлении 5 ГПа и температуре 1300°С. Соискатель применил комплексный подход к исследованию полученных образцов методами оптической и электронной микроскопии, рентгеноспектрального микроанализа с электронным зондом, методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой. В ходе работы над диссертацией автором опубликовано 7 статей, входящих в список ВАК, получен патент на изобретение РФ, результаты исследований изложены и апробированы на 4 российских конференциях.

- **Степень достоверности результатов проведенных исследований**

Достоверность полученных результатов определяется наличием высококачественного научного оборудования и использования современных методик исследования вещества. Для проведения экспериментов при высоких давлениях и температурах был использован аппарат высокого давления типа разрезная сфера БАРС. Применительно к задачам работы, в значительной степени связанных с синтезом крупных зерен граната, именно многопуансонный аппарат БАРС позволяет создавать высокие Р-Т параметры и поддерживать их в течение продолжительного времени. Исследование продуктов опытов проведены на сертифицированном современном аналитическом оборудовании. Оптическая микроскопия выполнена с применением микроскопов МБС-10, МБИ-15 и МС2-Zoom; микрофотографирование образцов сделано с фото-насадкой МФУ и фотокамерой Canon EOS 1000. Анализ химического состава минеральных фаз был определен рентгеноспектральным микроанализом (РСМА) с электронным зондом,

используя микроанализатор JEOL JXA-8100 и JEOL JXA-8530F. Определение малых концентраций редкоземельных элементов было выполнено методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой на квадрупольном приборе ICP-MS iCAP-Q Thermo, сопряженном с модифицированным лазерным микрозондом NewWave UP213.

- **Научная новизна результатов проведенных исследований**

Применительно к проблематике диссертации, эффективно использованы экспериментальные методики роста крупных зерен высокохромистых пиропов с РЗЭ при высоких давлениях и температурах. Проведены эксперименты по кристаллизации субкальциевого высокохромистого пиропа в модельной ультраосновной системе, по составу близкой к природным дунит-гарцбургитам. Показано, что при добавлении 0.5-1.5 вес.% карбонатита в систему гранаты концентрируют все РЗЭ, присутствующие в исходном карбонатите. Синтезированные гранаты демонстрируют кривую распределения РЗЭ с положительным наклоном в сторону тяжелых РЗЭ. Показано, что при 5 ГПа и 1300°С возможно вхождение редкоземельных элементов в структуру субкальциевого хромистого пиропа в значительных количествах до 7 мас.%. Показано, что схема замещения редкоземельными элементами катионов в структуре хромистого пиропа отвечает вытеснению ими двухвалентных катионов (Mg) с позиции с координацией 8 на позицию с координацией 6 вместо трехвалентных катионов (Cr, Al). Сделаны выводы, которые позволяют конкретизировать представления об эволюции хромистых пиропов, содержащих РЗЭ в природных условиях: мантийные карбонатиты могут играть важную роль при формировании флюидов сложного состава, обогащенных РЗЭ в условиях верхней мантии Земли. В таких условиях в перidotитах способны кристаллизоваться субкальциевые хромистые пиропы, содержащие различные концентрации РЗЭ.

- **Практическая значимость проведенных исследований**

Исследование типоморфизма и микроэлементного состава минералов – это путь к совершенствованию минералого-геохимических критериев поиска новых кимберлитовых трубок. Так, синусоидальная форма кривой РЗЭ с выраженным горбом в области легких РЗЭ характеризует хромсодержащие гранаты из включений в природных алмазах. В диссертации сделан важный шаг в экспериментальном моделировании условий вхождения РЗЭ в хромистые гранаты – минералы-спутники алмаза для совершенствования поисковых признаков.

- **Ценность научных работ соискателя ученой степени**

Несомненную ценность для фундаментальной науки и практического применения имеют следующие работы соискателя:

Продемонстрированы условия кристаллизации высокохромистых гранатов совместно с минералами перidotитов при Р-Т параметрах верхней мантии Земли. Синтезированные гранаты по набору основных признаков являются аналогами природных гранатов гарцбургитовой (низкокальциевой) и верлитовой (высококальциевой) ассоциаций из включений в природных алмазах. (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. <https://doi.org/10.1127/njma/2018/0084>

Синтезированы крупные кристаллы высокохромистых пиропов, содержащих редкоземельные элементы, совместно с высокомагнезиальным оливином, ортопироксеном и хромшпинелем в присутствии водного флюида и карбонатита при Р-Т параметрах верхней мантии Земли. Показано, что мантийные карбонатиты могут играть важную роль при формировании флюидов сложного состава, обогащающих их редкоземельными элементами в условиях мантийных перидотитов, в которых могут кристаллизоваться субкальциевые хромистые пиропы, содержащие широкий набор редкоземельных элементов. (*Chepurov A.A., Faryad S.W., Agashev A.M., Strnad L., Jedlicka R., Turkin A.I., Mihaljevic M., Lin V.V. Experimental crystallization of a subcalcic Cr-rich pyrope in the presence of REE-bearing carbonatite. Chemical Geology, 2019, V. 509, P. 103-114. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2019.01.011>*)

- **Внедрение результатов диссертационного исследования в практику**

Совершенствование минералого-геохимических критериев поиска новых кимберлитовых трубок имеет важное практическое значение, а пироп с содержанием более 5 мас.% Cr₂O₃ является одним из главных минералов-индикаторов при поисковых работах. Синусоидальную форму кривой распределения РЗЭ с выраженным горбом в области легких РЗЭ в хромистых гранатах связывают с алмазоносными кимберлитовыми трубками. Выполненное экспериментальное моделирование вхождения РЗЭ в гранаты дает ключ к их поиску.

- **Научная специальность, которой соответствует диссертация**

1.6.4 «Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых». Направления исследований: 3. Генетическая минералогия, исследование парагенезисов минералов и эволюции минералогенеза в природных и техногенных системах; экспериментальная минералогия.

- **Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем**

По результатам исследования автором опубликовано 7 работ, в том числе 7 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 4 статьи в зарубежных научных изданиях, индексируемых Scopus, WoS), 4 публикации в сборниках материалов всероссийских научных конференций.

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

1. Chepurov A.A., Derepape 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. <https://doi.org/10.1127/njma/2018/0084>
2. Bogdanov D., Plotnikov V., Bogdanov A., Makarov S., Vins V., Yelisseyev A., Lin V., Chepurov A. Consolidation of nanocrystals of detonation diamonds at high-pressure high-temperature sintering. International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, 2018, V. 71, P. 101-105. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2017.10.026>
3. Chepurov A.A., Faryad S.W., Agashev A.M., Strnad L., Jedlicka R., Turkin A.I., Mihaljevic M., Lin V.V. Experimental crystallization of a subcalcic Cr-rich pyrope in the presence of REE-bearing carbonatite. Chemical Geology, 2019, V. 509, P. 103-114. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2019.01.011>
4. Туркин А.И., Чепуров А.А., Жимулев Е.И., Лин В.В., Соболев Н.В. Экспериментальное моделирование образования зональных магнезиальных гранатов в условиях изменяющегося в среде кристаллизации содержания Ca, Al и Cr под воздействием водного флюида. Геохимия, 2021, Т. 66, № 8, С. 731-744. <https://doi.org/10.1134/S0016702921080097>
5. Лин В.В., Чепуров А.А., Жимулев Е.И. Особенности строения и состава гранатов содержащих образцов, синтезированных в системе с самарием при высоком давлении и температуре. Известия АлтГУ, 2021, № 4, С. 43-46.
6. Лин В.В., Чепуров А.А., Жимулев Е.И., Туркин А.И. Синтез пиропового граната с высоким содержанием самария при давлении 5 ГПа и температуре 1300 °С. Известия АлтГУ, 2023, № 1, С.
7. Лин В.В., Туркин А.И., Чепуров А.А. К вопросу о вхождении редкоземельных элементов в структуру хромпироповых гранатов. Известия Иркутского Государственного Университета. Серия: Науки о Земле, 2021, Т. 38, С. 71-87.

Основные положения диссертации были доложены и обсуждены на научных конференциях:

1. Чепуров А.А., Лин В.В., Ишутин И.А. Зональность распределения петрогенных элементов в субкальциевых хромистых гранатах: Экспериментальное изучение. Труды Всероссийского ежегодного семинара по экспериментальной минералогии, петрологии и геохимии. Тезисы докладов. Москва, 2019, С. 51-54.
2. Лин В.В., Чепуров А.А., Ишутин И.А. Кристаллизация субкальциевого высокохромистого пиропа, содержащего редкоземельные элементы. Труды Всероссийского ежегодного семинара по экспериментальной минералогии, петрологии и геохимии. Тезисы докладов. Москва, 2020, С. 43-46.
3. Лин В.В., Чепуров А.А. Синтез субкальциевого хромистого пиропа в присутствии Pr-Sm-содержащего флюида. Труды Всероссийского ежегодного семинара по экспериментальной минералогии, петрологии и геохимии. Тезисы докладов. Москва, 2021, С. 155.
4. Лин В.В. Редкоземельные элементы в структуре синтетического хром-пиропа. Труды Всероссийского ежегодного семинара по экспериментальной минералогии, петрологии и геохимии. Тезисы докладов. Москва, 2023, 081.

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 18.03.2023) и не содержит заимствованного материала без ссылки на авторов.

Первичная документация проверена и соответствует материалам, включенным в диссертацию.

Заключение

Диссертационная работа Лина Владимира Валерьевича «Экспериментальное исследование кристаллизации субкальциевого хромистого пиропа, содержащего редкоземельные элементы» рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.4 «Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых». Заключение принято на расширенном заседании лаборатории экспериментальной минералогии и геодинамики (№ 449) ИГМ СО РАН.

Присутствовало на заседании 15 человек. Из них, академик РАН - 1, докторов геол.- мин. наук - 10, кандидатов геол.- мин. наук - 3, младший научный сотрудник - 1, аспирант - 1. Результаты голосования: «за» – 15 чел., «против» – 0 чел., «воздержалось» – 0 чел.

Председательствующий на заседании
Академик РАН, д.г.-м.н.
научный руководитель ИГМ СО РАН
Похilenко Н.П.

