

УДК 552.11

СОСТАВ ВТОРИЧНЫХ РАСПЛАВНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ В МАГНЕЗИОХРОМИТЕ КСЕНОЛИТА МАНТИЙНОГО ЛЕРЦОЛИТА ИЗ КИМБЕРЛИТА ТРУБКИ им. В. ГРИБА (ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКИЙ КРАТОН) КАК ИНДИКАТОР НИЗКИХ КОНЦЕНТРАЦИЙ H_2O В КИМБЕРЛИТОВОМ РАСПЛАВЕ

© 2024 г. А. А. Тарасов*, А. В. Головин, Е. В. Агашева,
Академик РАН Н. П. Похиленко

Поступило 26.02.2024 г.

После доработки 15.04.2024 г.

Принято к публикации 02.05.2024 г.

Представлены результаты исследований вторичных раскристаллизованных расплавных включений в магнезиохромите ксенолита лерцолита из кимберлитовой трубки им. В. Гриба (Архангельская алмазоносная провинция). Показано, что включения являются микропорциями расплава, связанного с магматизмом, впоследствии сформировавшим эту кимберлитовую трубку. Ассоциация дочерних минералов включений в магнезиохромите включает Na–K–Ca-, Na–Mg-, Ca–Mg-, Mg-, Ca-содержащие карбонаты, Na–Mg-карбонаты с дополнительными анионами PO_4^{3-} , Cl^- , SO_4^{2-} , хлориды, сульфат, фосфат и силикат. Минеральная ассоциация дочерних фаз, содержание карбонатов (77 об. %) и силиката тетраферрифлогопита (15 об. %), а также соотношение Ca:Na:K в валовом составе включений (1.1:1:0.1 в ат. %) указывают на то, что этот расплав представлял собой обогащённую щелочами карбонатную жидкость с низкими содержаниями SiO_2 (≤ 6 мас. %) и H_2O (≤ 0.6 мас. %). Как известно, серпентин в кимберлитах является главным водосодержащим минералом, но проблема источников воды при серпентинизации кимберлитов и истинных концентраций воды в кимберлитовых расплавах остаётся весьма дискуссионной. Отсутствие серпентина и низкие концентрации воды (≤ 0.6 мас. %) в изученных расплавных включениях в сравнении с таковыми в кимберлитах трубки им. В. Гриба (10–14 мас. %) указывают на определяющую роль внешних флюидов при серпентинизации этих кимберлитов.

Ключевые слова: кимберлитовые расплавы, расплавные включения, литосферная мантия, карбонатитовые расплавы, серпентинизация кимберлитов, Архангельская алмазоносная провинция

DOI: 10.31857/S2686739724090082

ВВЕДЕНИЕ

Основной из нерешённых проблем петрогенезиса кимберлитов является вопрос о вариациях составов и трендах эволюции кимберлитовых расплавов в пространстве и времени, важным аспектом этой проблемы является определение роли воды в петрогенезисе кимберлитов [1, 2]. Решение этого вопроса может прояснить различные дискуссионные аспекты петрогенезиса этих пород, начиная от условий генерации примитивных кимберлитовых жидкостей [2], заканчивая

особенностями постмагматических гидротермальных изменений кимберлитов [2–5].

Одним из подходов к реконструкции составов кимберлитовых расплавов является изучение реликтов этих расплавов – расплавных включений в минералах кимберлитов и ксенолитов из этих пород [1]. При этом, включения в минералах мантийных ксенолитов вызывают наибольший интерес, так как являются микропорциями кимберлитовых расплавов на наиболее ранних (мантийных) этапах эволюции магматических систем [1]. Ранее расплавные включения изучались только в пороодообразующих оливинах ксенолитов перидотитов из кимберлитов всего лишь четырёх трубок [6–9]. Изучение вторичных расплавных включений в частично

Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева

СО РАН, Новосибирск, Россия

*E-mail: tarasov.alexey@igm.nsc.ru

Тел.: +7-961-992-5744

серпентинизированных оливинах ксенолитов перидотитов показало присутствие до 17 об. % серпентина в этих включениях [7, 8]. Однако, проблемы генезиса серпентина и источников воды при его формировании в таком типе включений являются весьма дискуссионными [7].

Почти все кимберлиты мира и ксенолиты из этих пород в различной степени серпентинизированы [2, 3, 10]. Серпентин может замещать первично-магматические и ксеногенные минералы кимберлитов при их взаимодействии с водными флюидами или кристаллизоваться непосредственно из таких флюидов [2, 4, 10]. При этом, проблема источников этих флюидов не решена [1–3]. Согласно традиционным моделям [4, 5], флюиды, за счёт которых формируется серпентин, имеют позднемагматическое происхождение, а содержание магматической воды в кимберлитовых расплавах может достигать 9 мас. % [5]. Альтернативные модели [3, 11–13] предполагают низкие концентрации воды (менее 1 мас. %) в кимберлитовых расплавах и формирование серпентина в кимберлитах за счёт внешних (метеорных и/или захоронённых в коровых породах) флюидов. Таким образом, проблема серпентинизации кимберлитов напрямую связана с вопросом о концентрациях H_2O в кимберлитовых расплавах.

В работе представлены первые в мире результаты изучения вторичных расплавных включений в Сг-шпинели ксенолита мантийного лерцолита из кимберлита и показано, что эти включения являются реликтами расплава, связанного с магматизмом, впоследствии сформировавшим трубку им. В. Гриба. Одной из задач исследования являлось определение содержания H_2O в кимберлитовом расплаве для решения проблемы источников флюидов, вызывающих серпентинизацию кимберлитов, на примере трубки им. В. Гриба. В отличие от оливина, который реагирует с низкотемпературными водными растворами [10], Сг-шпинель более устойчива к вторичным гидротермальным изменениям [14], поэтому включения в Сг-шпинели в меньшей степени подвержены постзахватным изменениям и их состав может быть использован для определения концентраций воды в кимберлитовых расплавах.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Все аналитические работы выполнены в ЦКП Многоэлементных и изотопных исследований СО РАН (г. Новосибирск). Изучение минерального состава включений проводилось

следующим образом: вначале дочерние минералы включений были идентифицированы методом КР-спектроскопии на спектрометрах “Horiba Jobin Yvon” LabRAM HR800 и WITec alpha 300R; затем были получены BSE-изображения, элементные карты включений и анализы химического состава дочерних минералов на сканирующем электронном микроскопе Tescan MIRA3 LMU с ЭДС приставкой Aztec Energy X-Max 50+ (SEM-EDS). Валовые химические анализы расплавных включений были также получены методом SEM-EDS растяжением области сканирования электронным пучком по площади вскрытого включения. С помощью программного обеспечения ImageJ измерялись площади дочерних минералов в расплавных включениях. Химические составы магнезиохромита были определены на рентгеноспектральном микроанализаторе “Jeol” JXA-8100 (SEM-WDS). Моделирование диффузии Fe^{2+} между различными составами магнезиохромита производилось на основе законов Фика [15] с использованием программного обеспечения Wolfram Mathematica 13. Подробное описание методов исследования представлено в дополнительных материалах (1S; дополнительные материалы размещены в электронном виде по DOI статьи).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изученный ксенолит (G1-25) является зернистым шпинель-гранатовым лерцолитом (рис. 1 а). РТ-параметры последнего минерального равновесия этого образца составляют 3.3 ГПа (101 км) и 750°C. Детальная характеристика образца представлена в [7].

Состав порообразующей Сг-шпинели ксенолита G1-25, соответствует магнезиохромиту (табл. 1). Порообразующий магнезиохромит (FeO_t 18.86 мас. %; Al_2O_3 15.09 мас. %) ксенолита G1-25 содержит залеченные трещины, маркированные эпигенетическим магнезиохромитом второй генерации (FeO_t 19.70 мас. %; Al_2O_3 14.19 мас. %) (рис. 1 б, табл. 1). В залеченных трещинах были обнаружены вторичные расплавные включения. Всего было изучено 50 включений (см. электронное приложение, табл. 2S). Размер индивидуальных включений не превышает 5 мкм, размер дочерних фаз составляет 0.2–3 мкм (рис. 2 б, 3–4). КР-спектры дочерних минералов включений соответствуют различным карбонатам, сульфату, фосфату и силикату (см. электронное приложение, табл. 3S), EDS-анализы дочерних минералов и карты распределения элементов в расплавных

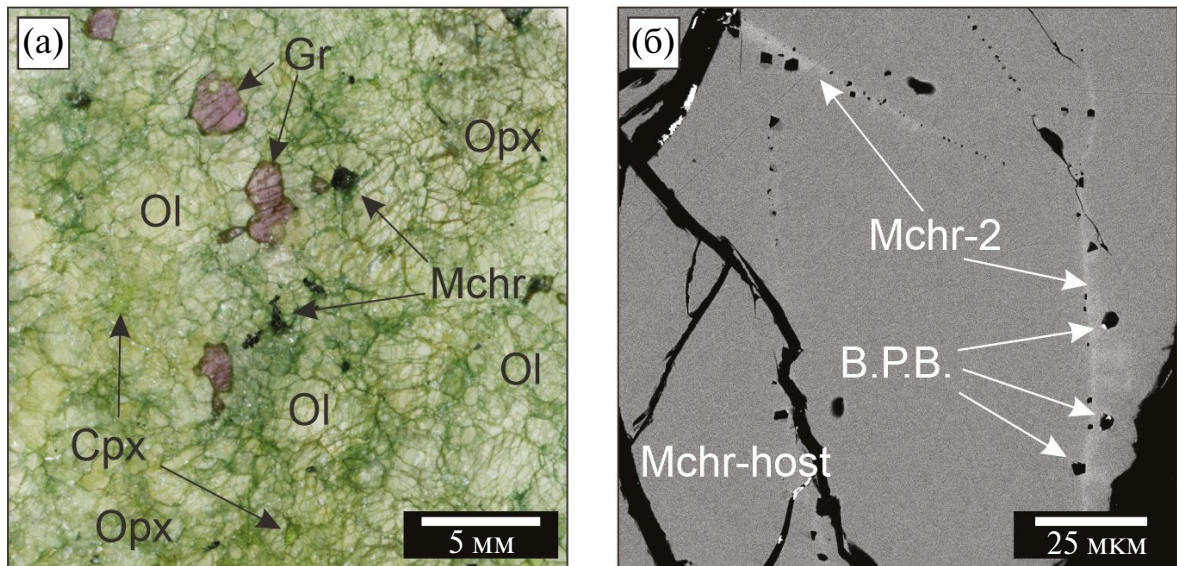


Рис. 1. (а) ксенолит G1-25, фотография шлифа в проходящем свете. (б) BSE-изображение вторичных расплавных включений (В.Р.В.) в залеченных трещинах, маркированных эпигенетическим магнезиохромитом (Mchr-2) в зерне породообразующего магнезиохромита (Mchr-host). Ol – оливин, Gr – гранат, Орх – ортопироксен, Срх – клинопироксен, Mchr – магнезиохромит.

включениях подтверждают результаты КР-спектроскопии, кроме того, методами SEM-EDS среди дочерних фаз дополнительно идентифицированы галит, сильвин и магнетит (табл. 2, рис. 2–4). Анализ КР-карт, BSE-изображений и элементных карт 50 расплавных включений показал, что содержание карбонатов и карбонатов с дополнительными анионами во включениях составляет 77 об. %, силиката (тетраферрифлогопита) – 15 об. %. EDS-анализы относительно крупных кристаллов доломита (преобладающего карбоната во включениях, 50 об.%) показывают, что этот дочерний минерал содержит примесь Na до 0.3 ф.е. Соотношение Са:Na:К в веществе включений составляет 1.1:1:0.1 в ат. % (среднее по 50 включениям), что свидетельствует о высоких концентрациях щелочей в расплаве, реликтами которого являются включения. В КР-спектрах тетраферрифлогопита не выявлено каких-либо линий, соответствующих колебаниям OH^- -группы, кроме линии на 3715 см^{-1} , соответствующей колебаниям OH^- -группы в позиции (OH, Cl, F) в структуре тетраферрифлогопита [16]. Это позволяет предполагать, что OH^- -группы не входят ни в какие дополнительные позиции, и концентрация воды в изученном дочернем тетраферрифлогопите не превышает максимально возможную её концентрацию, рассчитанную из формулы тетраферрифлогопита, т.е. 4.3 мас. %, а концентрация кремнезёма не превышает 43.3 мас. % (см. электронное приложение 1S). Максимальные концентрации SiO_2 и H_2O

в валовом составе вещества включений могут быть оценены как произведения максимального содержания этих компонентов в дочернем тетраферрифлогопите на установленное объёмное содержание тетраферрифлогопита во включениях (15 мас. %) и составляют ~6 мас. % SiO_2 и ~0.6 мас. % H_2O .

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Неоднородности химического состава мантийных минералов по главным компонентам не могут существовать долгое время при

Таблица 1. Химические составы магнезиохромитов

	Породообразующий магнезиохромит	Эпигенетический магнезиохромит в залеченных трещинах
Cr_2O_3	52.59 (0.15)	52.45 (0.46)
TiO_2	0.71 (0.02)	0.83 (0.06)
Al_2O_3	15.09 (0.06)	14.19 (0.41)
FeO	18.86 (0.05)	19.70 (0.10)
MgO	12.29 (0.04)	12.15 (0.04)
MnO	0.18 (0.01)	0.18 (0.01)
V_2O_3	0.30 (0.01)	0.31 (0.01)
ZnO	0.23 (0.02)	0.23 (0.01)
NiO	0.10 (0.01)	0.09 (0.01)
Сумма	100.35	100.13

Примечание. Указано среднее по 5 анализам и в скобках стандартное отклонение (1σ). Данные микрозондового анализа.

PT-параметрах литосферной мантии. Моделирование диффузии Fe^{2+} между различными составами породообразующего и эпигенетического магнезиохромита показывает, что при *PT*-условиях последнего равновесия ксенолита G1-25 (3.3 ГПа, 750°C) не более чем за 5 лет состав эпигенетического магнезиохромита перестанет отличаться от состава породообразующего. Такое короткое время возможного присутствия залеченных трещин с расплавленными включениями в мантии Земли (≤ 5 лет) указывает на то, что расплавленные включения представляют собой микропорции расплава, связанного с магматизмом, впоследствии сформировавшим кимберлитовую трубку им. В. Гриба.

Состав эпигенетического магнезиохромита характеризуется высоким содержанием Cr_2O_3 (52.45 мас. %) и низким содержанием TiO_2 (0.83 мас. %), что характерно для наиболее ранних генераций шпинелидов, кристаллизующихся из кимберлитовых расплавов [17]. Это исключает возможность формирования эпигенетического магнезиохромита и расплавленных включений на поздних этапах эволюции магматической

кимберлитовой системы, для которой характерна кристаллизация ульвошпинели, магнезиоферрита или магнетита [17].

Происхождение вторичных расплавленных включений в магнезиохромите может быть рассмотрено в рамках двух моделей. Первая модель предполагает, что включения формируются *in situ* при инфильтрации порций протокимберлитового (по времени) расплава через породы литосферной мантии [6]. Вторая модель связывает образование вторичных расплавленных включений с декомпрессионным растрескиванием минералов ксенолитов при быстром подъёме ксенолитов к поверхности [18]. Согласно численному моделированию, оливин в мантийных ксенолитах растрескивается через 15–25 км после попадания мантийного нодуля в кимберлитовую магму [18]. Хотя для Cr-шпинелей подобных моделей не опубликовано, сходство объёмных модулей упругости, вязкости и пределов прочности на растяжение позволяет предполагать, что для магнезиохромита эти оценки не будут существенно отличаться.

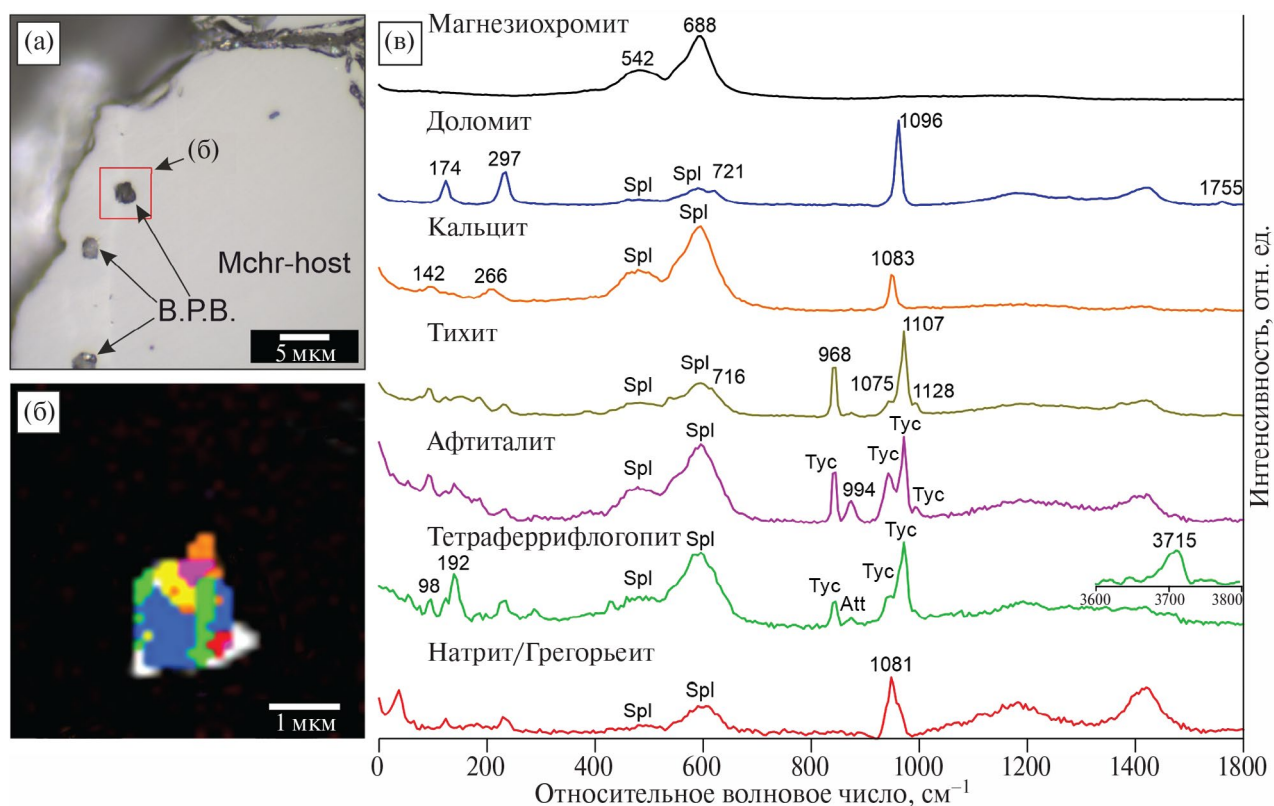


Рис. 2. (а) группа вторичных расплавленных включений (В.Р.В.) в залеченной трещине в зерне породообразующего магнезиохромита (Mchr-host), фотография в отражённом свете. Красный прямоугольник на рисунке (а) ограничивает площадь рисунка (б). (б) КР-карта распределения фаз во вторичном расплавленном включении. (в) КР-спектры минерала-хозяина и дочерних минералов в этом включении. Цвет КР-спектров на рисунке (в) соответствует цвету фаз на карте (б).

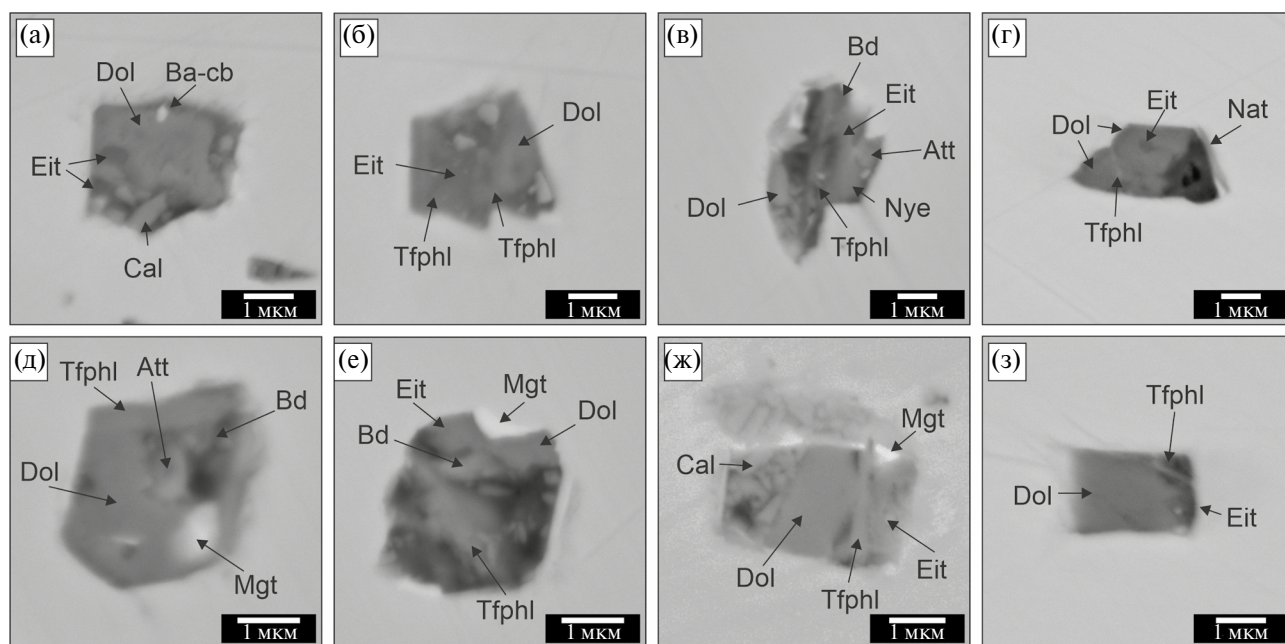


Рис. 3. BSE-изображения индивидуальных вторичных расплавных включений из залеченных трещин в магнезиохромите. Символы дочерних минералов приведены в таблице 2.

Минеральный (табл. 2) состав изученных включений и соотношения Ca:Na:K в валовом составе включений указывают на то, что кимберлитовый расплав, законсервированный в магнезиохромите, представлял собой обогащенную щелочами карбонатную жидкость с преобладанием натрия над калием, содержащую P_2O_5 и такие летучие как Cl и S. Концентрации SiO_2 и H_2O в этом расплаве не превышали ~6 и ~0.6 мас. %, соответственно. Полученные результаты близки к оценкам содержания SiO_2 (6 мас. %) и H_2O (0.5 мас. %) в примитивном расплаве, связанном с формированием несерпентинизированных кимберлитов трубки Удачная-Восточная [1].

Согласно предыдущим исследованиям [19], серпентинизированные кимберлиты трубки им. В. Гриба содержат от ~10 до ~14 мас. % H_2O , что более чем в 16 раз превышает представленную оценку концентрации H_2O (≤ 0.6 мас. %) в расплаве, связанном с магматизмом, сформировавшим эту трубку. Сравнение полученных результатов, по нашему мнению, является прямым свидетельством определяющей роли внешних флюидов при серпентинизации этих кимберлитов.

В породообразующем оливине ксенолита G1-25 ранее были изучены вторичные расплавные включения, которые, аналогично включениям в магнезиохромите, расположены

в залеченных трещинах, маркированных эпигенетическим оливином [7]. Формирование включений в оливине происходило менее чем за 1 год до или сразу после попадания ксенолита G1-25 в кимберлитовую магму [7]. Таким образом, можно предполагать, что включения в оливине и магнезиохромите сформировались в ходе одного и того же процесса и являются реликтами одного и того же кимберлитового расплава. В целом, минеральные ассоциации вторичных расплавных включений в магнезиохромите и оливине (табл. 2) можно назвать подобными, также как и соотношения Ca:Na:K (в оливине это соотношение составляет 1.2:1:0.2 в ат. % [7]), но есть некоторые различия.

Первым отличием является присутствие во включениях в оливине серпентина и брусита и отсутствие этих фаз во включениях в магнезиохромите, что объясняет более высокие содержания H_2O во включениях в оливине (~2.6 мас. % [7]), превышающие таковые во включениях в магнезиохромите (≤ 0.6 мас. %) более, чем в 4 раза. Эти данные показывают, что формирование серпентина во вторичных расплавных включениях в оливинах происходит из-за привноса внешних растворов, вероятно, через микротрещины и другие дефекты в неустойчивом при серпентинизации оливине ксенолитов [7].

Таблица 2. Содержания дочерних минералов (в об. %) во вторичных расплавных включениях в магнезиохромите и оливине мантийного ксенолита G1-25 из трубки им. В. Гриба

Минерал	Формула	Символ	Включения в магнезиохромите		Включения в оливине [7]	
Карбонаты						
Ньеререит	(Na,K) ₂ Ca(CO ₃) ₂	Nye	4*	КР, ЭДС	46*	КР, ЭДС
Шортит	Na ₂ Ca ₂ (CO ₃) ₃	Sot		КР		КР, ЭДС
Грегориит / Натрит	(Na,K,Ca) ₂ CO ₃	Gge/Nat	2	КР	—	КР, ЭДС
Эйтелит	Na ₂ Mg(CO ₃) ₂	Eit	12	КР, ЭДС	1	КР, ЭДС
Брэдлиит	Na ₃ Mg(PO ₄)(CO ₃)	Bd	5	ЭДС	2	КР, ЭДС
Нортупит	Na ₃ Mg(CO ₃) ₂ Cl	Nup	1	КР, ЭДС	<1	КР
Тихит	Na ₆ Mg ₂ (CO ₃) ₄ (SO ₄)	Tyc	<1	КР, ЭДС	—	—
Беркеит	Na ₆ CO ₃ (SO ₄) ₂	Bke	—	—	<1	КР
Доломит	CaMg(CO ₃) ₂	Dol	50	КР, ЭДС	8	КР, ЭДС
Магнезит	MgCO ₃	Mgs	<1	КР, ЭДС	<1	КР, ЭДС
Кальцит	CaCO ₃	Cal	3	КР, ЭДС	4	КР, ЭДС
Сумма карбонатов			77		62	
Сульфаты						
Афтиталит	K ₃ Na(SO ₄) ₂	Att	<1	КР	7	КР, ЭДС
Аркинит	K ₂ SO ₄	Arc	—	—	<1	КР
Фосфаты						
Апатит	Ca ₅ (PO ₄) ₃ (OH)	Ap	3	КР, ЭДС	<1	КР, ЭДС
Галогениды						
Сильвин	KCl	Slv	<1	ЭДС	3	ЭДС
Галит	NaCl	Hlt	1	ЭДС	2	ЭДС
Оксиды						
Магнетит	FeFe ₂ O ₄	Mgt	2	ЭДС	3	КР, ЭДС
Силикаты						
Тетраферрифлогопит	KMg ₃ FeSi ₃ O ₁₀ (OH) ₂	Tfphl	15	КР, ЭДС	2	КР, ЭДС
Вторичные гидротермальные минералы						
Серпентин	Mg ₃ (Si ₂ O ₅)(OH) ₄	Srp	—	—	17	КР, ЭДС
Брусит	Mg(OH) ₂	Brc	—	—	2	КР

Примечание. КР — минерал идентифицирован методом КР-спектроскопии; ЭДС — минерал идентифицирован методом SEM-EDS; «—» — минерал не идентифицирован в данном типе включений. Содержания дочерних минералов во включениях в магнезиохромите были оценены при анализе BSE-изображений (среднее по 50 включениям) (см. электронное приложение, табл. 2S). *Na—Ca-карбонаты часто невозможно отличить на BSE-изображениях и при КР-картировании.

Второе отличие заключается в большем содержании обогащённых магнием карбонатов — доломита, эйтелита и брэделеита во включениях в магнезиохромите, по сравнению с таковыми в оливине (табл. 2). Это различие может быть объяснено большей степенью контаминации карбонатного расплава, проникающего в трещины в магнезиохромите, веществом минерала-хозяина по сравнению со степенью контаминации изначально аналогичного по составу карбонатного расплава, проникающего в трещины в оливине. Предположение о низкой растворимости оливина в карбонатных расплавах при высоких давлениях по сравнению с магнезиохромитом может подтверждаться так же экспериментальными данными [20].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты проведённых исследований можно сформулировать следующим образом: (1) расплавные включения в магнезиохромите мантийного ксенолита G1-25 представляют собой реликты расплава, генетически связанного с магматизмом, сформировавшим кимберлитовую трубку им. В. Гриба; (2) этот расплав был щелочно-карбонатным ($\text{Na} \gg \text{K}$),

с низкими концентрациями SiO_2 (≤ 6 мас. %) и H_2O (≤ 0.6 мас. %); (3) серпентинизация кимберлитов трубки им. В. Гриба происходила главным образом за счёт внешних, а не магматических, водных флюидов; (4) валовый состав вторичных расплавных включений в залеченных трещинах в магнезиохромите и оливине мантийного ксенолита не в полной мере соответствует первоначальному составу родительского расплава; в случае с включениями в магнезиохромите из-за контаминации веществом минерала-хозяина, а в случае с включениями в оливине — из-за взаимодействия с внешними водными флюидами.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, грант № 20-77-10018 (<https://rscf.ru/project/20-77-10018>). Отбор образцов кимберлитов из трубки им. В. Гриба был выполнен в рамках государственного задания ИГМ СО РАН (№ 122041400157-9).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Головин А. В., Каменецкий В. С. Составы кимберлитовых расплавов: обзор исследований расплавных

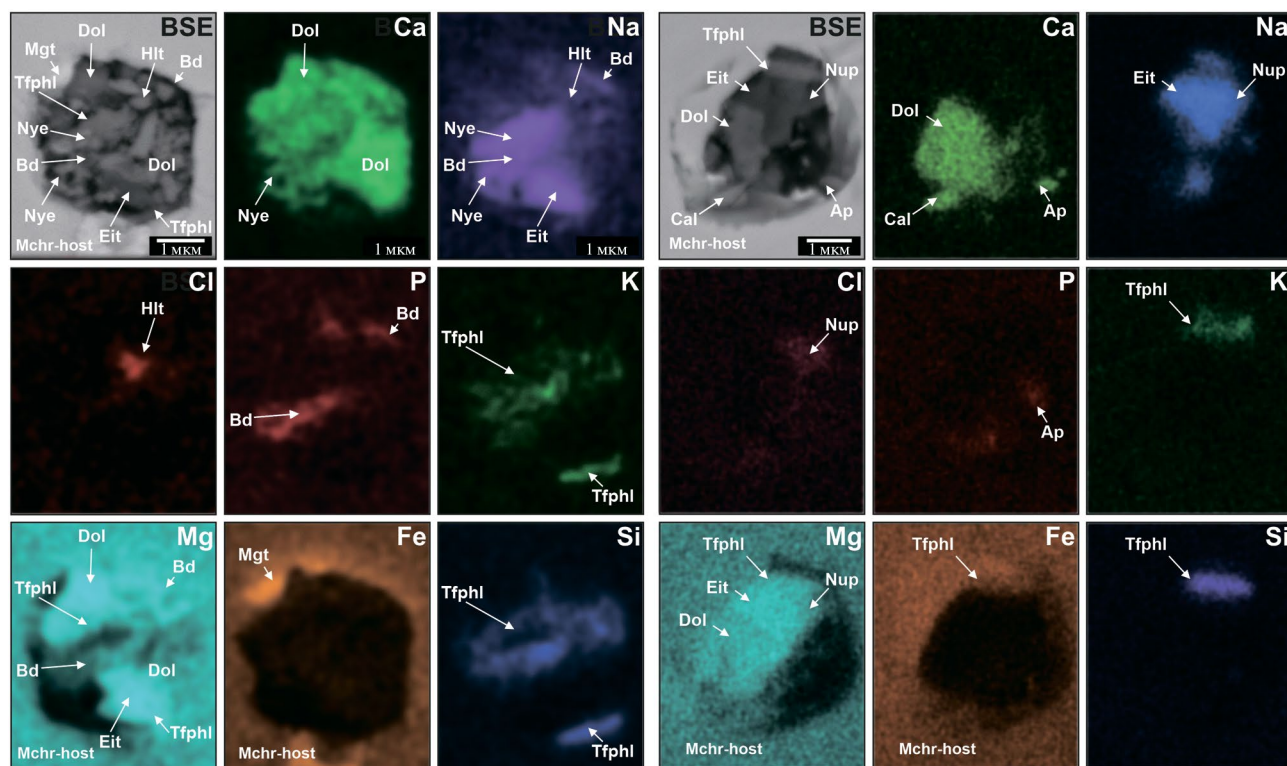


Рис. 4. BSE-изображения и элементные карты индивидуальных вторичных расплавных включений в магнезиохромите. Символы дочерних минералов приведены в таблице 2.

- включений в минералах кимберлитов // Петрология. 2023. Т. 31. № 2. С. 115–152.
2. *Giuliani A., Schmidt M. W., Torsvik T. H., Fedortchouk Y.* Genesis and evolution of kimberlites // *Nature Reviews Earth & Environment*. 2023. № 4. P. 738–753.
 3. *Kamenetsky V. S., Golovin A. V., Maas R., Giuliani A., Kamenetsky M. B., Weiss Y.* Towards a new model for kimberlite petrogenesis: Evidence from unaltered kimberlites and mantle minerals // *Earth-Science Reviews*. 2014. V. 139. P. 145–167.
 4. *Mitchell R. H.* Petrology of hypabyssal kimberlites: Relevance to primary magma compositions // *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 2008. V. 174. № 1. P. 1–8.
 5. *Kopylova M. G., Matveev S., Raudsepp M.* Searching for parental kimberlite melt // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2007. V. 71. № 14. P. 3616–3629.
 6. *Golovin A. V., Sharygin I. S., Kamenetsky V. S., Korsakov A. V., Yaxley G. M.* Alkali-carbonate melts from the base of cratonic lithospheric mantle: Links to kimberlites // *Chemical Geology*. 2018. V. 483. P. 261–274.
 7. *Golovin A. V., Tarasov A. A., Agasheva E. V.* Mineral Assemblage of Olivine-Hosted Melt Inclusions in a Mantle Xenolith from the V. Grib Kimberlite Pipe: Direct Evidence for the Presence of an Alkali-Rich Carbonate Melt in the Mantle Beneath the Baltic Super-Craton // *Minerals*. 2023. V. 13. № 5. P. 645.
 8. *Sharygin I. S., Golovin A. V., Tarasov A. A., Dymshits A. M., Kovaleva E.* Confocal Raman spectroscopic study of melt inclusions in olivine of mantle xenoliths from the Bultfontein kimberlite pipe (Kimberley cluster, South Africa): Evidence for alkali-rich carbonate melt in the mantle beneath Kaapvaal Craton // *Journal of Raman Spectroscopy*. 2022. V. 53. № 3. P. 508–524.
 9. *Sharygin I. S., Golovin A. V., Dymshits A. M., Kalugin A. D., Solovov K. A., Malkovets V. G., Pokhilenko N. P.* Relics of Deep Alkali–Carbonate Melt in the Mantle Xenolith from the Komsomolskaya–Magnitnaya Kimberlite Pipe (Upper Muna Field, Yakutia) // *Doklady Earth Sciences*. 2021. V. 500. № 2. P. 842–847.
 10. *Stripp G. R., Field M., Schumacher J. C., Sparks R. S. J., Cressey G.* Post-emplacement serpentinization and related hydrothermal metamorphism in a kimberlite from Venetia, South Africa // *Journal of Metamorphic Geology*. 2006. V. 24. № 6. P. 515–534.
 11. *Afanasyev A. A., Melnik O., Porritt L., Schumacher J. C., Sparks R. S. J.* Hydrothermal alteration of kimberlite by convective flows of external water // *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 2014. V. 168. № 1. P. 1038.
 12. *Golovin A. V., Sharygin I. S., Korsakov A. V., Kamenetsky V. S., Abersteiner A.* Can primitive kimberlite melts be alkali-carbonate liquids: Composition of the melt snapshots preserved in deepest mantle xenoliths // *Journal of Raman Spectroscopy*. 2020. V. 51. № 9. P. 1849–1867.
 13. *Sparks R. S. J.* Kimberlite Volcanism // *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*. 2013. V. 41. № 1. P. 497–528.
 14. *Barnes S. J., Roeder P. L.* The Range of Spinel Compositions in Terrestrial Mafic and Ultramafic Rocks // *Journal of Petrology*. 2001. V. 42. № 12. P. 2279–2302.
 15. *Ganguly J.* Diffusion kinetics in minerals: Principles and applications to tectono-metamorphic processes // *Energy Modelling in Minerals*. 2002. № 4. P. 271–309.
 16. *Korsakov A., Golovin A., Sharygin I.* Raman Spectroscopic Study of Micas from Ultra-Fresh Udachnaya-East Kimberlites Chemical Geology. 2014. V. 1783. P. 5035.
 17. *Roeder P. L., Schulze D. J.* Crystallization of Groundmass Spinel in Kimberlite // *Journal of Petrology* 2008. V. 49. № 8. P. 1473–1495.
 18. *Brett R. C., Russell J. K., Andrews G. D. M., Jones T. J.* The ascent of kimberlite: Insights from olivine // *Earth and Planetary Science Letters*. 2015. V. 424. № 15. P. 119–131.
 19. *Kononova V. A., Golubeva Y. Y., Bogatkov O. A., Kargin A. V.* Diamond resource potential of kimberlites from the Zimny Bereg field, Arkhangel'sk oblast // *Geology of Ore Deposits*. 2007. V. 49. № 6. P. 421–441.
 20. *Sharygin I. S., Litasov K. D., Shatskiy A. M., Golovin A. V., Ohtani E., Pokhilenko N. P.* Melting phase relations of the Udachnaya-East Group-I kimberlite at 3.0–6.5 GPa: Experimental evidence for alkali-carbonatite composition of primary kimberlite melts and implications for mantle plumes // *Gondwana Research*. 2015. V. 28. № 4. P. 1391–1414.

**COMPOSITION OF SECONDARY MELT INCLUSIONS
WITHIN MAGNESIOCHROMITE OF MANTLE LHERZOLITE
XENOLITH FROM V. GRIB KIMBERLITE (EAST EUROPEAN CRATON)
AS AN INDICATOR OF LOW H₂O CONTENT
IN THE KIMBERLITE MELT**

A. A. Tarasov[#], A. V. Golovin, E. V. Agasheva, Academician of the RAS N. P. Pokhilenko

*Sobolev Institute of Geology and Mineralogy,
Siberian Branch Russian Academy of Science,
Novosibirsk, Russian Federation*

[#]*E-mail: tarasov.alexey@igm.nsc.ru*

This paper describes secondary crystallized melt inclusions entrapped in magnesiochromite of lherzolite xenolith from the V. Grib kimberlite pipe (Arkhangelsk diamondiferous province). The inclusions represent snapshots of the melt, associated with magmatic processes that subsequently formed the V. Grib kimberlite pipe. Various Na-K-Ca-, Na-Mg-, Ca-Mg-, Mg-, Ca-carbonates, Na-Mg-carbonates with additional anions PO_4^{3-} , Cl^- , SO_4^{2-} , chlorides, sulphate, phosphate and silicate were identified among the daughter phases. The mineral assemblage of daughter phases, carbonate (77 vol. %) and silicate (15 vol. %) content and Ca : Na : K ratios within the inclusions show that inclusions' parental melt was an alkali-rich carbonate liquid with low amounts of SiO_2 (≤ 6 wt%) and H_2O (≤ 0.6 wt%). Serpentine is known to be the main water-rich mineral in kimberlites, however the water sources during serpentinization of kimberlites and the H_2O content in kimberlite melts remains controversial issue. The absence of serpentine and low water content in the studied melt inclusions in comparison with those in the kimberlites of the V. Grib pipe (10–14 wt. %) indicate predominance of external fluids in the serpentinization of these kimberlites.

Keywords: kimberlite melts, melt inclusions, lithospheric mantle, carbonatite melts, serpentinization of kimberlites, East European craton