

УДК 552.323.6

## ЭВОЛЮЦИЯ ЩЕЛОЧНО-УЛЬТРАМАФИЧЕСКОГО РАСПЛАВА ТРУБКИ ВИКТОРИЯ (АНАБАРСКИЙ РАЙОН, ЯКУТИЯ): ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗУЧЕНИЯ РАСПЛАВНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ В ОЛИВИНЕ И МИНЕРАЛАХ ОСНОВНОЙ МАССЫ

© 2023 г. А. В. Каргин<sup>1,2,\*</sup>, И. Р. Прокопьев<sup>1</sup>, А. Е. Старикова<sup>1</sup>,  
В. С. Каменецкий<sup>3</sup>, Ю. Ю. Голубева<sup>4</sup>

Представлено академиком РАН В.В. Ярмолюком 21.06.2023 г.

Поступило 21.06.2023 г.

После доработки 25.06.2023 г.

Принято к публикации 28.06.2023 г.

Представлены результаты изучения первичных и вторичных расплавных включений в макрокристаллах оливина и минералах основной массы пирокластов монтичеллит-нефелиновых дамтьернитов трубки Виктория, Анабарский алмазоносный район. Полученные результаты были использованы для реконструкции эволюции щелочно-ультрамафического расплава при формировании трубки взрыва. Показано, что исходные расплавы дамтьернитов имели калинатовый карбонатно-силикатный состав, при этом в первичных включениях в оливине К и Na входят в состав исключительно силикатных дочерних фаз, что отличает их по составу от аналогичных включений в оливинах из айликистов и кимберлитов и подчеркивает более щелочной характер материнских расплавов дамтьернитов. На последующих стадиях эволюции расплава, при формировании трубки, щелочи (Na и K) в изученных включениях входят не только в силикатные дочерние фазы, но также могут образовывать щелочные фосфаты, карбонаты, сульфаты и галогениды, что приводит к образованию щелочно-карбонатных и солевых сульфатно-фосфатно-хлоридно-карбонатных расплавов, что сближает эволюцию расплавов дамтьернитов с расплавами айликистов и карбонатитов, и может служить единым механизмом эволюции щелочно-ультрамафических расплавов. Дальнейшее реакционное взаимодействие флюидной фазы с оливином приводит к образованию монтичеллита и процессам дегазации.

**Ключевые слова:** ультраосновные лампрофиры, дамтьернит, оливин, расплавные включения, монтичеллит, эволюция щелочно-ультрамафических расплавов

DOI: 10.31857/S2686739723601369, EDN: YICWSCJ

### ВВЕДЕНИЕ

Расплавные включения в минералах щелочно-ультрамафических пород могут быть использованы для получения информации о составе материнских мантийных расплавов и их эволюции.

Например, изучение расплавных включений в оливине, в минералах группы шпинели, перовските, монтичеллите, ильмените, флогопите и др. минералах из кимберлитов, позволило дать оценку состава первичного кимберлитового расплава и проследить его эволюцию (обзор в [1]), указываящую на то, что кимберлитовые расплавы генерировались и далее эволюционировали преимущественно в пределах  $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{MgO}-\text{CO}_2-\text{Cl}$ -системы, т.е. представляли собой обогащенные щелочами карбонатитовые/карбонат-хлоридные жидкости. В последнее время данный подход к расшифровке состава и эволюции расплавов применяется для изучения происхождения родственных кимберлитам щелочно-ультрамафических пород — айликистов и ассоциирующих карбонатитов.

Айликисты — ультрамафические щелочные лампрофиры, состоящие из макрокристов оливи-

<sup>1</sup>Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева  
Сибирского отделения Российской академии наук,  
Новосибирск, Россия

<sup>2</sup>Институт геологии рудных месторождений,  
петрографии, минералогии и геохимии Российской  
академии наук, Москва, Россия

<sup>3</sup>Институт экспериментальной минералогии  
Российской академии наук, Черноголовка, Россия

<sup>4</sup>Центральный научно-исследовательский  
геологоразведочный институт цветных и благородных  
металлов, Москва, Россия

\*E-mail: kargin-igem@mail.ru

на, флогопита, а также основной массы, содержащей первичный карбонат, флогопит, шпинель, ильменит, рутил, перовскит, обогащенный титаном гранат, клинопироксен и апатит [2]. В отличие от кимберлитов, айлики могут широко варьировать по содержанию флогопита и карбонатов, образуя переходные разновидности до карбонатитов [3]. Помимо этого, в ультрамафических щелочных лампрофирах может происходить накопление калинатовой компоненты, что приводит к кристаллизации фельдшпатоидов и/или полевых шпатов в основной массе и формированию дамтьернитов [2]. В этом случае расплавы дамтьернитов можно рассматривать как переходные от ультрамафических щелочных лампрофиров к щелочным лампрофирам и к расплавам, формирующих нефелин-содержащие ультраосновные породы крупных щелочных комплексов.

Первые результаты исследования состава расплавных включений в минералах айликов из щелочно-карбонатитовых комплексов [4–8] показали, что состав дочерних фаз силикатно-карбонатных расплавных включений в оливине тождествен минеральному составу основной массы. При этом составы дочерних фаз включений нередко лежат в начале трендов эволюции пороодообразующих минералов, указывая на ювенильность состава захваченного расплава. Последующая эволюция щелочных расплавов в виде захваченных включений в минералах основной массы лампрофиров показывает наличие отделившейся фракции преимущественно щелочно-карбонатного состава, что впоследствии приводит к формированию солевых флюидов/расплавов сульфатно-фосфатно-хлоридно-карбонатного состава.

Изучению расплавных включений в минералах трубок взрыва дамтьернитов ранее практически не уделялось внимание. Однако их исследование может иметь значительный фундаментальный вклад в вопросы петрологии щелочно-ультрамафических пород, в частности в вопросы, связанные с накоплением калинатовой щелочной компоненты в расплавах, приводящее к началу кристаллизации нефелина. Последний вопрос важен с точки зрения перехода щелочно-ультрамафических пород к породам щелочных лампрофиров и нефелин-содержащим ультраосновным породам.

С целью расшифровки эволюции щелочно-ультрамафического расплава дамтьернитов и их взаимосвязи с кимберлитовыми и айликовыми расплавами были изучены полифазные расплавные включения в макрокристаллах оливина, магнетитовой Сг-шпинели и монтичеллите из образца монтичеллит-нефелинового дамтьернита трубки Виктория, Анабарский алмазоносный район.

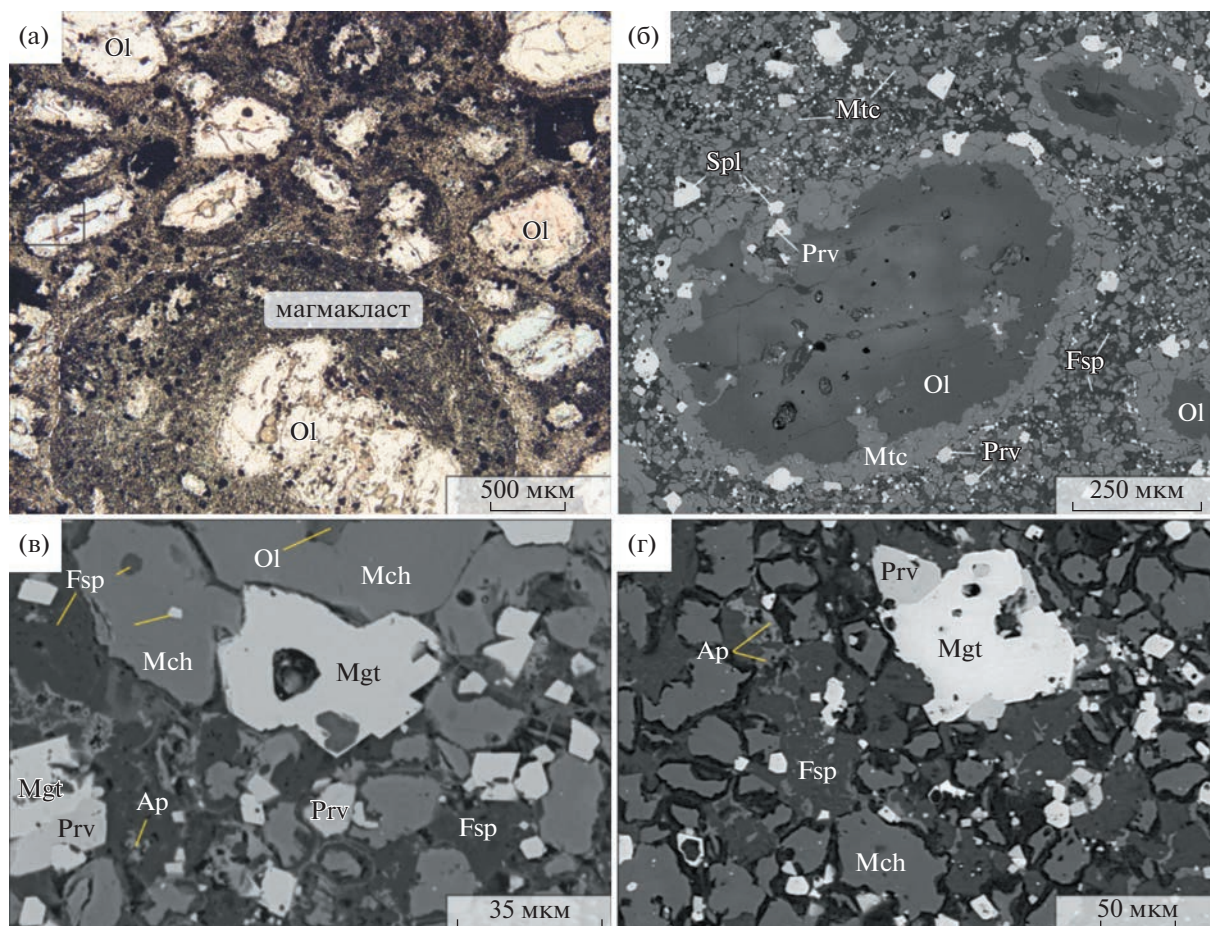
## ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Анабарский алмазоносный район расположен в северной части Якутской алмазоносной провинции в пределах архей-протерозойского Хапчанского террейна на восточном склоне Анабарской антеклизы [9, 10]. В этом районе выделяется несколько полей трубок взрыва и дайковых тел щелочно-ультрамафических пород, в большинстве триасового (231–215 млн лет) и юрского (171–156 млн лет) возрастов [11, 12].

Трубка Виктория расположена в Старореченском поле Анабарского алмазоносного района, в котором преобладают трубки взрыва и дайковые тела щелочно-ультрамафических пород триасового возраста [12]. Породы Старореченского поля показывают широкую вариацию состава по содержанию силикатных (оливин, флогопит, монтичеллит, клинопироксен, нефелин и др.) и карбонатных фаз. Изучение состава оливина, флогопита, а также присутствие нефелина позволило диагностировать породы поля как щелочно-ультрамафические лампрофиры ряда айликов-дамтьернитов [13].

Породы трубки Виктория представлены двумя пирокластическими разновидностями с высоким содержанием макрокристаллов оливина [13]: (1) умеренно карбонатизированный айликит и (2) слабо серпентинизированный монтичеллит-нефелиновый дамтьернит (образец ВК-2147). В последнем случае порода характеризуется высокой степенью сохранности макрокристаллов оливина и минералов основной массы магмакластов и связующего матрикса, что позволило классифицировать породы как дамтьерниты и провести исследование расплавных включений в пороодообразующих минералах.

В образце ВК-2147 макрокристаллы оливина, размером до 2 мм, представлены гипидиоморфными, реже неправильной формы, зернами, и как правило, формируют ядра магмакластов (рис. 1 а). Оливин по краям замещается монтичеллитом (рис. 1 б). Магмакласты, как правило, имеют изометричную форму и микропорфировую структуру: небольшие фенокристаллы оливина (до 0.02 мм) погружены в основную массу размером менее 0.01 мм и состоящую из небольших зерен монтичеллита (около 35 об. %), перовскита, рудных минералов (<5 об. %), апатита, единичных чешуек флогопита (<5 об. %), ксеноморфных зерен нефелина, скрытокристаллических сростков апатита и фельдшпатоидов (рис. 1 в–г). В матриксе дамтьернита, по сравнению с основной массой магмакластов, происходит уменьшение доли рудных минералов и увеличение содержания фельдшпатоидов и апатита.



**Рис. 1.** Пирокластический монтichelлит-нефелиновый дамтьернит, образец ВК-2147: (а) — микрофотография в проходящем свете, николи параллельны: макрокристы оливина (Ol) в центре магмакласта; (б–г) — изображения в обратно рассеянных электронах (BSE): (б) макрокристы оливина (Ol), обрастающие каймой монтichelлита (Mtc), погруженные в основную массу, состоящую из зерен монтichelлита (Mtc), перовскита (Prv), шпинели (Spl) (магнезиальная хром-шпинель), скрытокристаллического агрегата фельдшпатоидов (Fsp) (в основном нефелин) и апатита; (в–г) — увеличенные фрагменты основной массы магмакластов (в) и связывающего матрикса (г), демонстрирующие взаимоотношение минералов между собой.

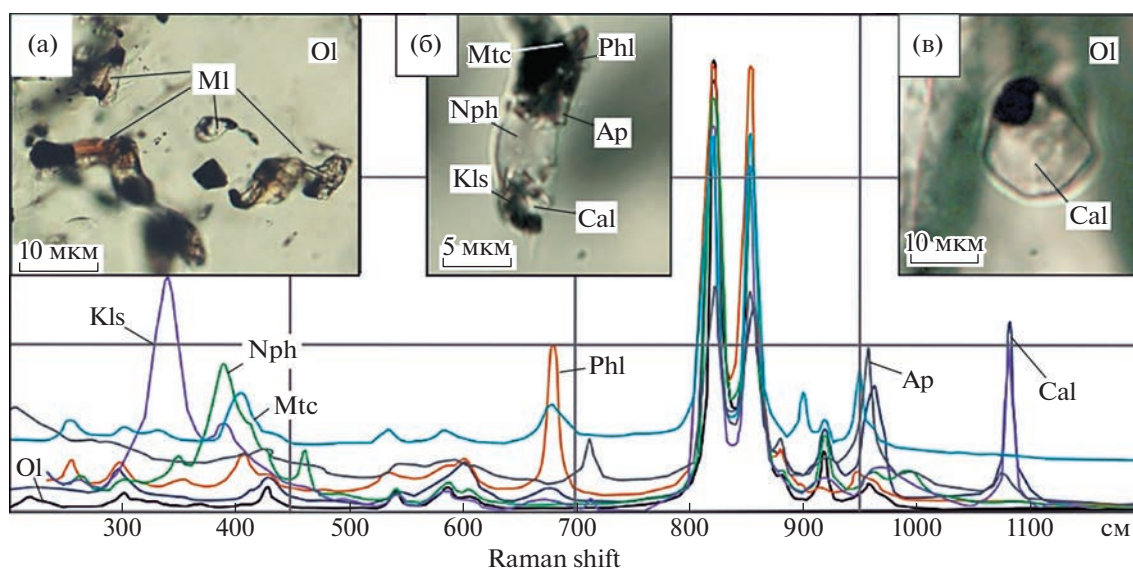
## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучение полифазных расплавных включений в минералах дамтьернитов трубки Виктория выполнено на базе ЦКП многоэлементных и изотопных исследований СО РАН (Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева (ИГМ) СО РАН, г. Новосибирск) и Университета Тасмании (Австралия). КР-спектры для кристаллических фаз нескрытых включений были получены с использованием спектрометра LabRam HR800 Horiba “Jobin Yvon” (ИГМ, Новосибирск), оснащенного оптическим микроскопом Olympus BX 41. Для возбуждения спектров использовали линию  $\text{Ar}^+$ -лазера 514.5 нм. Для идентификации спектров минералов использовалась база данных RRUFF (<http://rruff.info>). Состав вскрытых включений был определен на сканирующем электронном микроскопе TESCAN MIRA 3 LMU “JSM”-6510LV с приставкой для микрозондового анализа Energy-

Prex X-Max производства “Oxford Instruments” (ИГМ, Новосибирск). Условия съемки: энергия электронного пучка 20 кэВ, ток электронного зонда 1.5 нА. Для количественной оптимизации применялся металлический Co. А также — сканирующий электронный микроскоп “Hitachi” SU-70 с использованием Oxford INCA EnergyXMax 80 анализатора в Central Science Laboratory (Австралия).

## РЕЗУЛЬТАТЫ

В макрокристаллах оливина ( $\text{Fo}_{81-89}$ ) обнаружены расплавные включения размером 10–15 мкм (рис. 2). В большинстве случаев это единичные включения или группы включений, расположенные в пределах зерна оливина без видимой закономерности, т.е. являющиеся первичными (рис. 2 а–б). Методом КР-спектроскопии в расплавных вклю-



**Рис. 2.** Результаты диагностики дочерних кристаллических фаз расплавных включений (МИ) в макрокристаллах оливина трубки Виктория. Фотографии силикатно-карбонатных (а, б) и существенно карбонатных (в) включений в проходящем свете; КР-спектры кристаллических фаз (г): кальсилита (Kls), монтичеллита (Mtc), нефелина (Nph), фторапатита (Ap), флогопита (Phl) и кальцита (Cal).

чениях этого типа установлены нефелин, флогопит, кальсилит, монтичеллит, фторапатит и кальцит, являющиеся дочерними фазами (рис. 2 а–б, 2 г). Также в оливине отмечаются цепочки вторичных включений, имеющих преимущественно карбонатный состав. Они содержат магнетит и кальцит (рис. 2 в).

Методами сканирующей электронной микроскопии во вскрытых расплавных включениях в оливине диагностированы монтичеллит, нефелин, флогопит (с вариациями BaO — первые мас. %), фторапатит, а также перовскит, шпинелиды, пирротин и Zr–Ti-фаза, вероятно, кальцитрит (рис. 3 а–в). Во многих вскрытых включениях в оливине наблюдается замещение первичных фаз вторичными. Так, на рис. 3 б во включении присутствует апатит 2 генераций, а на рис. 3 в — поздний апатит. Ко вторичным минералам можно отнести и серпентин, нередко образующий с апатитом второй генерации мелкозернистые агрегаты. Гидротермальное изменение, вероятно, происходило при разгерметизации включений.

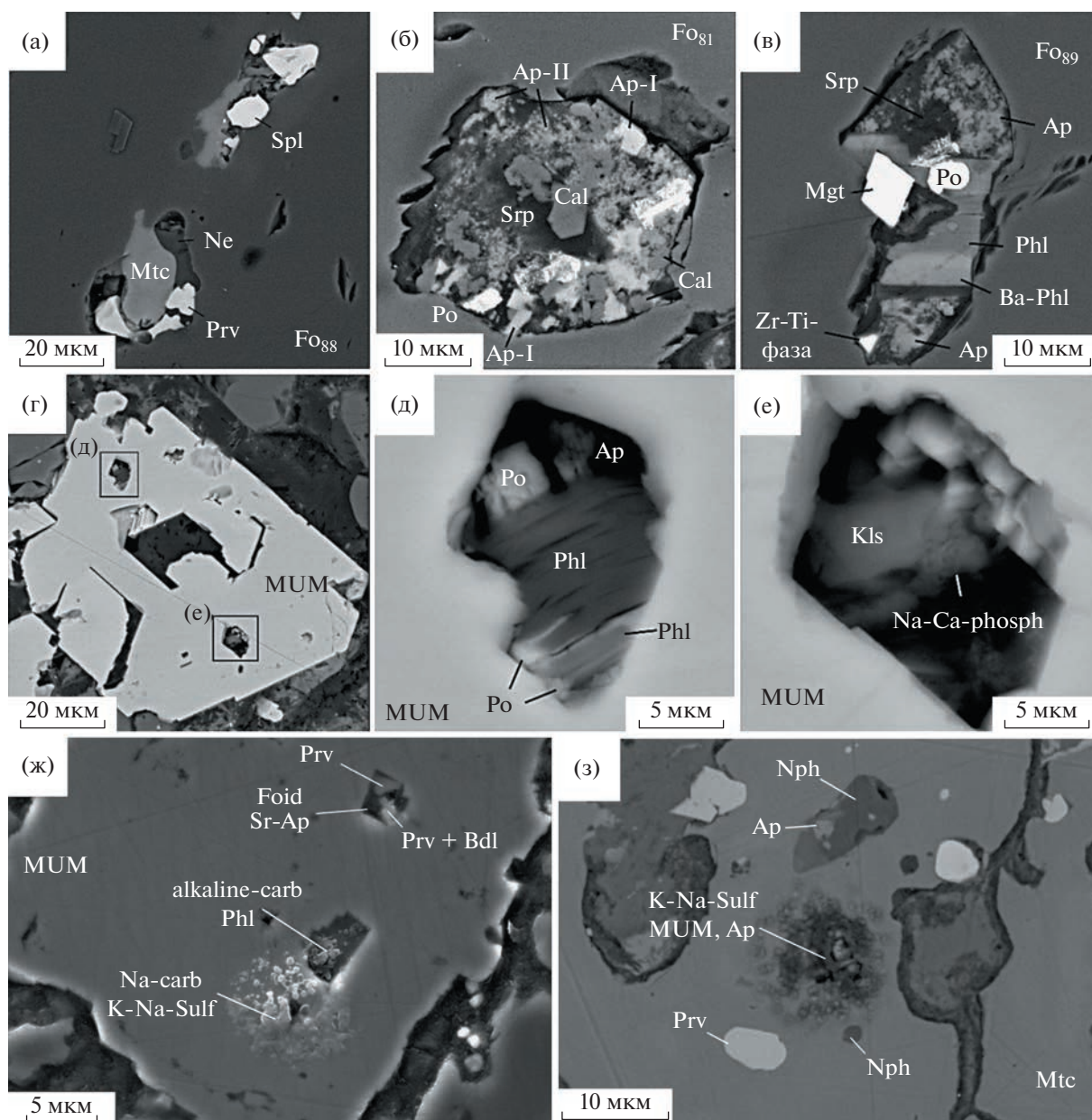
Полифазные расплавные и поликристаллические включения в шпинелидах и монтичеллите основной массы пирокластов варьируют по форме от округлых, вытянутых, амёбообразных до угловатых и имеющих отрицательную форму кристалла, размер их, как правило, не превышает 10 мкм (рис. 3 ж–к). Вскрытые включения имеют сильные вариации по составу составляющих их кристаллических фаз. Были диагностированы фельдшпадоиты, кальсилит, флогопит, апатит (включая F- и Sr-разновидности), перовскит, пирро-

тин, в единичном количестве бадделейт и труднодиагностируемые Na–Ca-фосфаты, щелочные карбонаты (K–Na–Ca), K–Na-соли — сульфаты и хлориды, реже сульфаты Ba и Sr (рис. 3 г–к).

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Изучение расплавных включений в макрокристаллах оливина и минералах основной массы пирокластов позволило проследить эволюцию состава щелочно-ультрамафического расплава, сформировавшего дамтьерниты трубки Виктория, а также обсудить процессы формирования монтичеллита, который является нетипичным породообразующим минералом дамтьернитов [2].

*Особенности эволюции дамтьернитового расплава.* Первичные расплавные включения в макрокристаллах оливина из дамтьернитов трубки Виктория, которые могут отражать ранние этапы эволюции исходного расплава, показывают, что расплавы дамтьернитов имели калинатовый карбонатно-силикатный состав. При этом важно отметить, что K и Na входят в состав исключительно силикатных дочерних фаз, таких как флогопит, кальсилит и нефелин. Присутствие фельдшпадоидов во включениях хорошо согласуется с минеральным составом основной массы дамтьернитов и является отличительной особенностью состава включений в оливинах дамтьернитов от расплавных включений в оливинах из айликов (табл. 1). Также в этих включениях присутствуют Zr-фазы, которые были впервые отмечены для



**Рис. 3.** Результаты диагностики кристаллических фаз во вскрытых расплавных, минеральных и поликристаллических включений в оливине (Fo), фото BSE (а–в), шпинели (MUM) (г–ж) и монтичеллите (Mtc) (з) – изображения в обратно-рассеянных электронах. Обозначения минералов: Ap – фторапатит (Sr-Ap – Sr-апатит); Bdl – бадделейт; Foid – фельдшпатоиды; sulf – сульфаты; carb – карбонаты; phosph – фосфаты; MUM – магнетиальная ульвошпинель-магнетит; Nph – нефелин; Phl – флогопит; Prv – перовскит.

дамтьернитов и установлены для редкометалльных щелочно-карбонатных комплексов (например, рудоносные карбонатиты и фоскориты комплекса Арбастах [5]).

Во включениях в шпинелидах и монтичеллите из основной массы пирокластов щелочи (Na и K) входят не только в силикатные дочерние фазы, но также, образуют щелочные фосфаты, карбонаты, сульфаты и галогениды. По своему составу изученные включения сопоставимы с составом оцелле из

айликов и дамтьернитов комплекса Чадобец (юг Сибирского кратона), состоящих из Na-алюмосиликатов, обогащенных Cl, F, S, H<sub>2</sub>O (натролит, содалит, скаполит), карбонатных минералов и полевых шпатов [14]. Данные включения также могут отражать ход эволюции исходного щелочно-ультрамафического расплава дамтьернитов в сторону образования специфичного по составу ортомагматического флюидного рассол-расплава щелочно-сульфатно-фосфатно-хлоридно-карбо-

**Таблица 1.** Состав расплавных включений в щелочно-ультраосновных и карбонатитовых комплексах Сибирского кратона

| Порода                                                        | Минерал-хозяин включения | Тип и состав кристаллических фаз включений, источник данных                                                       |
|---------------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Трубка Виктория, Анабарский алмазоносный район                |                          |                                                                                                                   |
| дамтьернит                                                    | оливин                   | Расплавные: Mtc, Phl, Nph, Ap, Cal, Kls, Mag, Po, Zr–Ti-фазы                                                      |
|                                                               | шпинель                  | Расплавные и поликристаллические: Phl, Ap, Po, K–Na-сульфаты, щелочные карбонаты, Ca–Na-фосфаты, Prv, KCl/Na/Cl   |
|                                                               | монтчеллит               | Расплавные и поликристаллические: смесь фельдшпатоидов, K–Na-сульфаты, Ap, Nph, Spl, Prv                          |
| Чадобецкий щелочно-ультраосновной комплекс                    |                          |                                                                                                                   |
| айлики и мела-айлики                                          | оливин                   | Расплавные: Cal, Ca–Na–K-карбонаты, Phl, Cpx, Ca–Na–Amp, Fe–Ti-оксиды (Ilm, Ti–Mag), F–Ap, Anh (?) [4]            |
| дамтьерниты                                                   | оливин                   | Минеральные: Орх, Cr-spl, Ti-Mag<br>Вторичные расплавные: Cal, Na–Ca-карбонаты [4]                                |
|                                                               | шпинель                  | Расплавные: Cal, Phl, Cpx, Ab, F–Ap [8]                                                                           |
|                                                               | апатит                   | Кристалло-флюидные: Cal, Dol, Cpx, Ba–Sr-сульфаты [4]                                                             |
| Ильбокичский щелочно-ультраосновной комплекс                  |                          |                                                                                                                   |
| айлики                                                        | оливин                   | Расплавные: Cal, Dol, Ap, Brk, Cpx, Prv, Phl, Lz<br>Вторичные: Gr, Eit, Mgs [7]                                   |
| Арбарастахский щелочно-ультраосновной карбонатитовый комплекс |                          |                                                                                                                   |
| фоскориты                                                     | оливин                   | Расплавные: Cal, Phl<br>Вторичные расплавные: Na–Ca-карбонаты, Cal, Dol, Ap [21]                                  |
|                                                               | апатит                   | Кристалло-флюидные: Cal, Mag [21]                                                                                 |
| айлики                                                        | оливин                   | Расплавные: Na–Ca-карбонаты, Cal, Ilm, Chr, Phl, Cpx [5]                                                          |
| карбонатиты, силика-карбонатиты                               | флогопит                 | Расплавные: Cal, Di [21]                                                                                          |
|                                                               | клинопироксен            | Расплавные: Phl, Cal<br>Кристалло-флюидные (рассол-расплавные): Cal, Rct, Ap, Ti-Mag, Ca–Ti–Zr–O рудные фазы [21] |

Сокращения названия минералов: Ab – альбит, Anh – ангидрид, Ap – апатит, Ba–Sr-сульфаты, Brk – брукит, Cal – кальцит, Ca–Na–Amp – Ca–Na-амфибол, Chr – хлорит, Cpx – клинопироксен, Di – диопсид, Dol – доломит, Eit – эйтелит, F–Ap – фтор-апатит, Fe–Ti-оксиды, Gr – графит, Ilm – ильменит, Kls – кальсилит, K–Na-сульфаты, Lz – лизардит, Mag – магнетит, Mgs – магнезит, Mtc – монтчеллит, Na–Ca-карбонаты, Nph – нефелин, Орх – ортопироксен, Phl – флогопит, Po – пирротин, Prv – перовскит, Rct – рихтерит, Shr – шеелит, Spl – минералы группы шпинели, Ti-Mag – Ti-магнетит.

натного состава. На поздних стадиях происходило увеличение доли карбонатной составляющей части в расплаве, о чем могут свидетельствовать вторичные включения карбонатного состава в виде поликристаллических включений с кальцитом в макрокристаллах оливина.

*Сопоставление с данными по расплавным включениям в минералах айликитов и кимберлитов.* Исходный каликатровый карбонатно-силикатный состав первичных расплавных включений в макрокристаллах оливина сближает их с расплавными включениями в оливинах из айликитов неоптерозойского щелочно-ультраосновного комплекса с карбонатитами Арбарастах [5], девонского комплекса Ильбокич [7] и щелочно-карбонатитового комплекса Чадобец пермо-триасового возраста [4, 15] и различных проявлений кимберлитов [1].

Однако основной их отличительной особенностью является присутствие фельдшпатоидов в виде дочерних фаз, которые концентрируют основной объем K и Na. Присутствие фельдшпатоидов подчеркивает более щелочной характер расплавов, по сравнению с айликитами и кимберлитами и предполагает в случае формирования пород трубки Виктория существование обособленного дамтьернитового расплава на стадии формирования макрокристаллов оливина, исключая их генерацию за счет фракционирования айликитовых расплавов. Также вхождение K и Na во включениях в макрокристаллах оливина исключительно в состав силикатных фаз, отличает изученные включения от включений в оливинах из кимберлитов, где каликатровая составляющая входит в

состав как силикатных, так и в состав щелочно-карбонатных фаз [1].

Состав расплавных включений в шпинелидах и монтichelлите дамтьернитов трубки Виктория, отражающий эволюцию расплава в сторону солевого ортомагматического щелочно-сульфатно-фосфатно-хлоридно-карбонатного расплава, имеет сходство с включениями щелочно-хлоридно-сульфатно-карбонатного состава, изученных в оливине и минералах связывающего матрикса айликов Сибирского кратона (табл. 1) — комплекса Чадобец [4, 6, 8] и комплекса Арбарастах [5], а также кимберлитов различных проявлений, например, трубка Удачная-Восточная [1].

Подобное сходство состава включений предполагает единый механизм эволюции щелочно-ультрамафических расплавов, включая ультрамафические лампрофиры и кимберлиты, в сторону щелочных карбонатных и солевых сульфатно-фосфатно-хлоридно-карбонатных расплавов.

*Потеря флюидной компоненты и формирование монтichelлита.* Основной петрографической особенностью изученных образцов дамтьернитов трубки Виктория является повышенное содержание монтichelлита, который развивается как в основной массе магмакlastов и матриксе брекчии, так и замещает макрокpисты оливина по краям (рис. 1 б). Помимо широкого распространения монтichelлита в кимберлитах, для лампрофиров монтichelлит характерен в основном для мелилит-содержащих разновидностей [16, 17], а в щелочно-ультрамафических лампрофирах, таких как айлики, встречается не так часто [2], но в некоторых проявлениях может достигать до 20 об. %, например, айлики Tikiusaaq Западной Гренландии [3]. В этих образцах монтichelлит также замещает макрокpисты оливина и интенсивно развивается в основной массе совместно с карбонатными минералами и флогопитом. Однако в дамтьернитах монтichelлит не описывается в качестве основного минерала [2], поэтому такое широкое распространение монтichelлита в изученных образцах трубки Виктория является их уникальной особенностью и расширяет возможный минеральный состав дамтьернитов.

Как правило, формирование монтichelлита связано с замещением оливина: монтichelлит может образоваться в ходе реакции оливина с преимущественно силикатным щелочным расплавом, в результате чего образуется ассоциация монтichelлита и флогопита [18], а также в ходе реакции оливина с преимущественно карбонатным щелочным расплавом, что приводит к процессам декарбонизации и отделению  $\text{CO}_2$  [19]. Первый механизм характерен для мелилит-содержащих ультраосновных лампрофиров в первую очередь альнеитов [16, 20], а второй — для кимберлитов [19].

Изучение расплавных включений показывает, что в ходе эволюции дамтьернитового расплава образовывались дериваты щелочно-карбонатных и солевых сульфатно-фосфатно-хлоридно-карбонатных расплавов, взаимодействие оливина с которыми могло послужить причиной реакции с образованием монтichelлита и процессами дегазации. Подобный сценарий согласуется с практически полным отсутствием карбонатных минералов в дамтьернитах трубки Виктория [13].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение первичных и вторичных расплавных включений в макрокpистах оливина и минералах основной массы пирокластов дамтьернитов трубки Виктория, Анабарский алмазоносный район, позволило сделать следующие выводы об эволюции щелочно-ультрамафического расплава:

1. Исходные расплавы дамтьернитов имели каликатровый карбонатно-силикатный состав, при этом в первичных включениях в оливине K и Na входят в состав исключительно силикатных дочерних фаз, таких как флогопит, кальсилит и нефелин, что отличает их по составу от аналогичных включений в оливинах из айликов и кимберлитов и подчеркивает более щелочной характер материнских расплавов дамтьернитов.

2. На последующих стадиях эволюции расплава, на стадии формирования трубки и образования магмакlastов, K и Na в изученных включениях входят не только в силикатные дочерние фазы, но также и в щелочные фосфаты, карбонаты, сульфаты и галогениды, что приводит к образованию щелочно-карбонатных и солевых сульфатно-фосфатно-хлоридно-карбонатных расплавов, что сближает эволюцию расплавов дамтьернитов с расплавами айликов и карбонатитов, и может служить единым механизмом эволюции щелочно-ультрамафических расплавов.

3. В ходе последующей эволюции дериваты щелочно-карбонатных и солевых сульфатно-фосфатно-хлоридно-карбонатных расплавов взаимодействовали с оливином, что послужило причиной реакции с образованием монтichelлита и процессами дегазации, что, в свою очередь, привело к формированию монтichelлита в качестве порообразующего минерала дамтьернитов. Пример дамтьернитов трубки Виктория позволяет рассматривать монтichelлит не только как характерный минерал для кимберлитов и альнеитов, но и для ультрамафических лампрофиров.

Полученные результаты исследований расплавных включений в дамтьернитах трубки Виктория согласуются с данными по включениям в айликах и кимберлитах, при этом определяют специфику и уникальность состава родоначального расплава и его эволюции для полевошпато-

вых щелочно-ультраосновных лампрофиров Сибирского кратона и аналогичных щелочных комплексов мира.

### ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследования вещественного состава пород и состава расплавных включений выполнены по проекту РНФ 19-77-10004-П. Геология района изучена в рамках госзадания ИГМ СО РАН (122041400241-5).

### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов. Все авторы прочитали рукопись и согласны с опубликованной версией.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Головин А.В., Каменецкий В.С. Составы кимберлитовых расплавов: обзор исследований расплавных включений в минералах кимберлитов // Петрология. 2023. Т. 31. P. 115–152. <https://doi.org/10.31857/S0869590323020036>
2. Tappe S., Foley S.F., Jenner G.A., Kjarsgaard B.A. Integrating Ultramafic Lamprophyres into the IUGS Classification of Igneous Rocks: Rationale and Implications // J. Petrol. 2005. V. 46. P. 1893–1900. <https://doi.org/10.1093/petrology/egi039>
3. Tappe S., Steenfelt A., Heaman L.M., Simonetti A. The newly discovered Jurassic Tikiusaaq carbonatite-aillikite occurrence, West Greenland, and some remarks on carbonatite – kimberlite relationships // Lithos. 2009. V. 112. P. 385–399. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2009.03.002>
4. Prokopyev I., Starikova A., Doroshkevich A., Nugumanova Y., Potapov V. Petrogenesis of Ultramafic Lamprophyres from the Terina Complex (Chadobets Upland, Russia): Mineralogy and Melt Inclusion Composition // Minerals. 2020. V. 10. P. 419. <https://doi.org/10.3390/min10050419>
5. Doroshkevich A., Prokopyev I., Kruk M., Sharygin V., Izbrodin I., Starikova A., Ponomarchuk A., Izokh A., Nugumanova Y. Age and Petrogenesis of Ultramafic Lamprophyres of the Arbarastakh Alkaline-Carbonatite Complex, Aldan-Stanovoy Shield, South of Siberian Craton (Russia): Evidence for Ultramafic Lamprophyre-Carbonatite Link // J. Petrol. 2022. V. 63. <https://doi.org/10.1093/petrology/egac073>
6. Starikova A., Prokopyev I., Doroshkevich A., Ragozin A., Chervyakovsky V. Polygenic Nature of Olivines from the Ultramafic Lamprophyres of the Terina Complex (Chadobets Upland, Siberian Platform) Based on Trace Element Composition, Crystalline, and Melt Inclusion Data // Minerals. 2021. V. 11. P. 408. <https://doi.org/10.3390/min11040408>
7. Starikova A.E., Prokopyev I.R., Doroshkevich A.G., Kargin A.V., Nosova A.A., Kovalev S.A. Melt inclusions in olivine as a source of information on the composition and evolution of deep melts of aillikites (ultramafic lamprophyres) of the Ilbokichi uplift, the SW Siberian platform // Geodyn. Tectonophys. 2022. V. 13. <https://doi.org/10.5800/GT-2022-13-4-0655>
8. Nugumanova Y., Doroshkevich A., Prokopyev I., Starikova A. Compositional variations of spinels from ultramafic lamprophyres of the Chadobets complex (Siberian craton, Russia) // Minerals. 2021. V. 11. <https://doi.org/10.3390/min11050456>
9. Smelov A.P., Timofeev V.F. The age of the North Asian Cratonic basement: An overview // Gondwana Res. 2007. V. 12. P. 279–288. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2006.10.017>
10. Kostrovitsky S.I., Skuzovatov S.Y., Yakovlev D.A., Sun J., Nasdala L., Wu F.-Y. Age of the Siberian craton crust beneath the northern kimberlite fields: Insights to the craton evolution // Gondwana Res. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2016.01.008>
11. Зайцев А.И., Смелов А.П. Изотопная геохронология пород кимберлитовой формации Якутской провинции; Шкодзинский В.С., ред.: ИГАБМ СО РАН: Якутск, 2010.
12. Sun J., Liu C.Z., Tappe S., Kostrovitsky S.I., Wu F.Y., Yakovlev D., Yang Y.H., Yang J.H. Repeated kimberlite magmatism beneath Yakutia and its relationship to Siberian flood volcanism: Insights from in situ U–Pb and Sr–Nd perovskite isotope analysis // Earth Planet. Sci. Lett. 2014. V. 404. P. 283–295. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2014.07.039>
13. Каргин А.В., Голубева Ю.Ю., Демонтерова Е.И., Ковальчук Е.В. Петрографо-геохимическая типизация триасовых щелочно-ультрамафических пород севера Анабарского алмазоносного района, Якутия // Петрология. 2017. Т. 25. P. 547–580. <https://doi.org/10.7868/S0869590317060036>
14. Nosova A.A., Sazonova L.V., Kargin A.V., Dubinina E.O., Minervina E.A. Mineralogy and Geochemistry of Ocelli in the Damtjernite Dykes and Sills, Chadobets Uplift, Siberian Craton: Evidence of the Fluid–Lamprophyric Magma Interaction // Minerals. 2021. V. 11. P. 724. <https://doi.org/10.3390/min11070724>
15. Starikova A., Prokopyev I., Doroshkevich A., Ragozin A., Chervyakovsky V. Polygenic Nature of Olivines from the Ultramafic Lamprophyres of the Terina Complex (Chadobets Upland, Siberian Platform) Based on Trace Element Composition, Crystalline, and Melt Inclusion Data // Minerals. 2021. V. 11. P. 408. <https://doi.org/10.3390/min11040408>
16. Rock N.M.S. Lamprophyres; Blackie: Glasgow, 1991; ISBN 9781475709315.
17. Woolley A.R., Bergman S.C., Edgar A.D., Le Bas M.J., Mitchell R.H., Rock N.M.S., Scott Smith B.H. Classification of lamprophyres, lamproites, kimberlites, and the kalsilitic, melilitic, and leucitic rocks // Can. Mineral. 1996. V. 34. P. 175–186.
18. Brey G. Origin of olivine melilitites – chemical and experimental constraints // J. Volcanol. Geotherm. Res. 1978. V. 3. P. 61–88. [https://doi.org/10.1016/0377-0273\(78\)90004-5](https://doi.org/10.1016/0377-0273(78)90004-5)

19. *Abersteiner A., Kamenetsky V.S., Graham Pearson D., Kamenetsky M., Goemann K., Ehrig K., Rodemann T.* Monticellite in group-I kimberlites: Implications for evolution of parental melts and post-emplacement CO<sub>2</sub> degassing // *Chem. Geol.* 2018. V. 478. P. 76–88. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2017.06.037>
20. *Foley S.F., Andronikov A.V., Melzer S.* Petrology of ultramafic lamprophyres from the Beaver Lake area of Eastern Antarctica and their relation to the breakup of Gondwanaland // *Mineral. Petrol.* 2002. V. 74. P. 361–384. <https://doi.org/10.1007/s007100200011>
21. *Prokopyev I.R., Doroshkevich A.G., Zhumadilova D.V., Starikova A.E., Nugumanova Y.N., Vladykin N.V.* Petrogenesis of Zr–Nb (REE) carbonatites from the Arbarastakh complex (Aldan Shield, Russia): Mineralogy and inclusion data // *Ore Geol. Rev.* 2021. V. 131. P. 104042. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2021.104042>

## EVOLUTION OF THE VICTORIA PIPE ULTRAMAFIC ALKALINE MELT (ANABAR REGION, SIBERIAN CRATON): MELT INCLUSION WITHIN OLIVINE AND GROUNDMASS MINERALS

**A. V. Kargin<sup>a,b,#</sup>, I. R. Prokopyev<sup>a</sup>, A. E. Starikova<sup>a</sup>, V. S. Kamenetsky<sup>c</sup>, and Yu. Yu. Golubeva<sup>d</sup>**

<sup>a</sup>*V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation*

<sup>b</sup>*Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy, and Geochemistry, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

<sup>c</sup>*Korzhinsky Institute of Experimental Mineralogy, Russian Academy of Science, Chernogolovka, Russian Federation*

<sup>d</sup>*Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals, Moscow, Russian Federation*

<sup>#</sup>*E-mail: kargin-igem@mail.ru*

Presented by Academician of the RAS V.V. Yarmoluk June 21, 2023

To provide new insights into evolution of the primary ultramafic alkaline melts, we present an investigation of the primary and secondary melt inclusions within olivine macrocrysts and groundmass minerals from the Victoria monticellite-nepheline damtjernite, Anabar diamondiferous province, Siberia craton. The primary melt inclusions within olivine macrocrysts shown that initial damtjernite melts were K–Na bearing carbonate-silicate melts by composition whereas the K and Na associated within only silicate phases like that phlogopite, nepheline, kalsilite. That distinguishes these inclusions from similar inclusions in olivines from aillikites and kimberlites and emphasizes a more alkaline character of the damtjernitic parental melts. Based on the composition of melt inclusions within spinel and monticellite from magmatic groundmass, under the further evolution of the damtjernitic melts, K and Na are not only included in silicate daughter phases, but they can also form alkaline phosphates, carbonates, sulfates, and halides. That led to form the alkaline carbonate and saline sulfate-phosphate-chloride-carbonate liquids. This composition of the evolved ultramafic alkaline melt is common for melt inclusions within different minerals from aillikite, kimberlite and some carbonatites highlighted uniform mechanism of evolution of alkaline-ultramafic melts. Further accumulation of the fluid phase led to its reaction interaction with olivine with the formation of monticellite and degassing processes.

**Keywords:** ultramafic lamprophyre, damtjernite, melt inclusion, monticellite, ultramafic alkaline melt evolution