

## Хромшпинелиды алмазоносных туффитов Булкурской антиклинали (северо-восток Сибирской платформы)

А.Я. Биллер, С.С. Угапьева, О.Б. Олейников

*Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, г. Якутск, Россия  
e-mail: n-biller@yandex.ru*

**Аннотация.** Проведен сравнительный анализ состава макрокристаллов шпинелидов из концентрата базального горизонта алмазоносных туффитов и микрокристаллидов этого минерала из связующей массы лапиллей с таковыми из кимберлитовых трубок Якутии. Установлено, что основная часть хромшпинелидов относится к высоко- и среднехромистым пикрохромитам. Такая ассоциация позволяет полагать глубинное зарождение расплава. Составы макрокристаллов шпинелидов из туффитов и высокоалмазоносных кимберлитов значительно разнятся: для шпинелидов из трубки Мир наблюдается обратная зависимость между содержаниями  $Al_2O_3$  и  $Cr_2O_3$ , в отличие от шпинелей туффитов, где этот тренд слабо выражен; шпинели туффитов характеризуются значительно более высокими содержаниями  $TiO_2$ , что позволяет отнести их к иному типу источника. Методами микрозондового анализа и рамановской спектроскопии изучены минеральные включения в хромшпинелидах. В раскристаллизованных включениях идентифицированы оливин, пироксен, флогопит, нефелин.

Ключевые слова: хромшпинелиды, включения в хромшпинелидах, туффиты, Булкурская антиклиналь.

Благодарности: исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проект № 16-35-00383\_мол\_а) и по плану НИР (№ 0381-2016-0003).

## Chrome Spinels from Diamondiferous Tuffites of the Bulkur Anticline (the North-Eastern Siberian Platform)

A.Ya. Biller, S.S. Ugapeva, O.B. Oleinikov

*Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, Yakutsk, Russia  
e-mail: n-biller@yandex.ru*

**Abstract.** A comparative analysis of the chemical composition of spinel macrocrystals from the concentrate of diamondiferous tuffites basal horizon and spinel microcrystallites from the binder mass of lapilli with those from kimberlite pipes of Yakutia is made for determining specific features of the medium transporting these rocks to the surface. It is established that most of chrome spinels belong to high and medium-chromium picrochromites. The presence of high and medium-chromium spinels in the interval of one sample indicates a deep origin of the melt. Chemical compositions of spinels from tuffites and highly diamondiferous kimberlites vary considerably, spinels from the Mir pipe are characterized by direct correlation between  $Al_2O_3$  and  $Cr_2O_3$ , for spinels from tuffites this trend is not observed; a significantly higher content of  $TiO_2$  is typical for the tuffite spinels that can be attributed to a particular source type. Melt inclusions in chrome spinels are studied by electron microprobe analysis and Raman spectroscopy. Olivine, pyroxene, phlogopite and nepheline phases are identified in the melt inclusions.

Key words: chrome spinels, inclusions in chrome spinels, tuffites, Bulkur anticline.

Acknowledgments: the study was performed with a financial support of the Russian Foundation for Basic Research (project No. 16-35-00383\_mil\_a) and under the R&D plan (No. 0381-2016-0003).

---

БИЛЛЕР Анастасия Яковлевна – м.н.с.; УГАПЬЕВА Саргылана Семеновна – к.г.-м.н., н.с.; ОЛЕЙНИКОВ Олег Борисович – к.г.-м.н., с.н.с.

### Введение

Алмазоносные вулканогенно-осадочные породы карнийского яруса верхнего триаса Булкурской антиклинали характеризуются ураганными содержаниями несортированных алмазов и описаны ранее в работах С.А. Граханова и А.П. Смелова [1, 2]. Возраст этих пород составляет 226–228 млн. лет [2]. Туффиты слагают базальный горизонт карнийских отложений. Породы сложены интенсивно ожелезненной буровато-коричневой песчано-глинистой массой, содержащей несортированные обломки различных пород. Содержание грубообломочного материала изменяется в пределах 65–85 %. В составе преобладают обломки вулканических пород овальной, шаровидной, эллипсовидной форм, сложенные, в основном, трахибазальтами, трахитами, андезитобазальтами, риолитами и дацитами. Цементирующая масса хлоритовая и железисто-гидро-слоистая слабо литифицирована [1]. Среди минералов спутников в туффитах преобладают гранат (более 50 % массы тяжелой фракции) и хромшпинелиды [1, 3]. В отдельных прослоях туффитов присутствуют многочисленные темно-бурые округлые, линзовидные и веретенообразные лапилли размером 3 – 4 мм. Основная масса лапиллей сложена агрегатом тонкокристаллического железистого хлорита (шамозита) [1]. Среди минералов в лапиллях установлены кварц, полевые шпаты, циркон, хромшпинелид.

### Объекты и методы исследования

Данная работа посвящена изучению макрокристаллов хромшпинелидов из концентрата отложений, слагающих базальный горизонт алмазоносных туффитов, и микрокристаллидов этого минерала из лапиллей с целью установления формационных особенностей среды транспорта данных пород к поверхности. Макрокристаллы хромитов были предоставлены геологами ОАО «Нижне-Ленское» для проведения стандартного изучения минералов спутников алмаза.

Анализы выполнены на сканирующем электронном микроскопе JEOL JSM 6480 LV с энергетической приставкой «OXFORD» INCA-sight в Институте геологии алмаза и благородных металлов СО РАН (г. Якутск, аналитик Н.В. Христофорова) и раман-спектрометре LabRam HR800 «Horiba Jobin Yvon» с 1024-канальным LN/CCD-детектором в Институте геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН (г. Новосибирск, аналитик С.В. Горяинов).

### Результаты

Микрокристаллические шпинелиды размером 20–60 мкм присутствуют в основной массе гипергенно измененных лапиллей, сложенных шамозитом (рис. 1). В большинстве своем это останцы первоначальных кристаллов, где внешняя часть подверглась значительному гипергенному изменению. Форма зерен различная: присутствуют зерна со следами огранки, неправильной формы, с резорбированными краями, встречаются атоллоидные образования, которые также характерны и для хромшпинелидов связующей массы кимберлитов. Состав изученных хромшпинелидов характеризуется широким диапазоном изменения главных компонентов (мас. %):  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  – 17,14–56,53,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 3,57–24,96,  $\text{TiO}_2$  – 0,82–11,32,  $\text{MgO}$  – 1,74–13,31 (табл. 1). При сравнении их с таковыми из кимберлитовых трубок Якутской кимберлитовой провинции (ЯКП) установлено, что основная часть хромшпинелидов относится к высоко- и среднехромистым пикрохромитам, которые также характерны и для алмазоносных кимберлитов региона [4]. На диаграмме по [5] фигуративные точки составов шпинелидов основной массы туффитов образуют самостоятельное поле между трендами кимберлитов и лампроитов. Некоторая часть точек попадает в поле лампроитовых пород (рис. 2). На диаграмме в координатах Cr–Al–Fe+Ti устанавливаются два тренда – пикроильменитовый, связанный с увеличени-

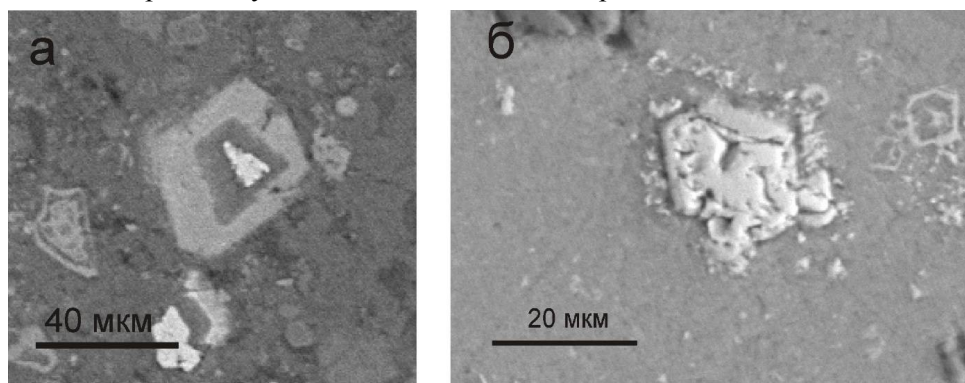


Рис. 1. Микрокристаллы шпинелида в связующей массе лапиллей Булкурской антиклинали: а – с измененным внешним краем; б – огранный кристалл

Составы хромшпинелидов из туффитов карнийского яруса Булкурской антиклинали

| TiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | FeO   | MnO  | MgO   | NiO  | Total  | №  |
|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|-------|------|--------|----|
| 4,26             | 6,01                           | 48,42                          | 24,42 | 0    | 14,89 | 0    | 98     | 1  |
| 4,82             | 5,01                           | 40,99                          | 38,33 | 0,18 | 8,96  | 0    | 98,29  | 2  |
| 6,74             | 5,15                           | 33,96                          | 45,72 | 0    | 7,81  | 0    | 98,78  | 3  |
| 3,83             | 5,94                           | 46,23                          | 32,12 | 0    | 12,14 | 0    | 100,25 | 4  |
| 1,31             | 6,99                           | 58,88                          | 21,36 | 0    | 11,84 | 0    | 100,38 | 5  |
| 8,91             | 5,57                           | 26,66                          | 47,34 | 0    | 10,06 | 0    | 98,54  | 6  |
| 4,16             | 6,76                           | 47,32                          | 26,64 | 0    | 14,1  | 0    | 98,98  | 7  |
| 4,19             | 6,51                           | 47,45                          | 30    | 0    | 11,36 | 0    | 99,51  | 8  |
| 6,11             | 5,45                           | 38,42                          | 36,97 | 0    | 12,54 | 0    | 99,49  | 9  |
| 0,15             | 4,94                           | 60,3                           | 20,92 | 0    | 11,75 | 0,73 | 98,79  | 10 |
| 7,33             | 6,55                           | 41,84                          | 39,66 | 0    | 3,64  | 0    | 99,02  | 11 |
| 6,35             | 9,28                           | 38,29                          | 35,06 | 0    | 10,58 | 0    | 99,56  | 12 |
| 4,04             | 6,28                           | 56,53                          | 29,35 | 0    | 1,74  | 0    | 97,94  | 13 |
| 9,09             | 5,57                           | 17,14                          | 54,86 | 0    | 11,46 | 0    | 98,12  | 14 |
| 3,64             | 11,77                          | 41,12                          | 31,04 | 0    | 10,81 | 0    | 98,38  | 15 |

Примечание. 1–5 – макрокристаллы с включениями; 5–10 – макрокристаллы без включений; 10–15 – микрокристаллы основной массы лапиллей

ем содержания Fe и уменьшением Cr, и алюмохромитовый, который свидетельствует об участии в образовании расплавов высокоглиноземистых глубинных пород (рис. 3) [4]. В выборке отмечены два зерна нетипичного состава, при содержании Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 31,61 и 36,78 мас. % содержание Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> составляет 24,96 и 21,44 мас. % соответственно. Неполные кристаллизационные тренды шпинелидов свидетельствуют о низкой степени дифференцированности магмы и сравнительно быстром ее подъеме к земной поверхности [6].

Макрокристаллы хромшпинелидов по химическому составу также показывают значительные вариации состава (мас. %): Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 24,9 – 60,5, TiO<sub>2</sub> 4,32 – 8,99 (единичные зерна содержат менее 1 мас. %), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1,39 – 36,06, FeO 13,53 – 55,67 (табл. 1). Для сравнения на диаграммы (рис. 4) были нанесены составы хромшпинелидов из высокоалмазоносной трубки Мир и туффитов. Среди шпинелидов из трубки Мир преобладают зерна, для которых характерна обратная зависимость между содержаниями Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> по [7], для шпинелидов из туффитов этот тренд выражен слабо. В то же время среди шпинелей туффитов преобладают зерна с более высокими содержаниями TiO<sub>2</sub>, для которых характерно увеличение доли магнетитового и ульвошпинелевого миналов [7]. Единичные зерна из изученных макрокристаллов можно отнести к тренду алмазоносных кимберлитов, основная же часть образует отдельную группу, которая не является преобладающей в кимберлитовых породах, что указывает на иной источник образования шпинелидов из туффитов Булкурской антиклинали.

В макрокристаллах хромшпинелидов часто присутствуют полиминеральные включения.

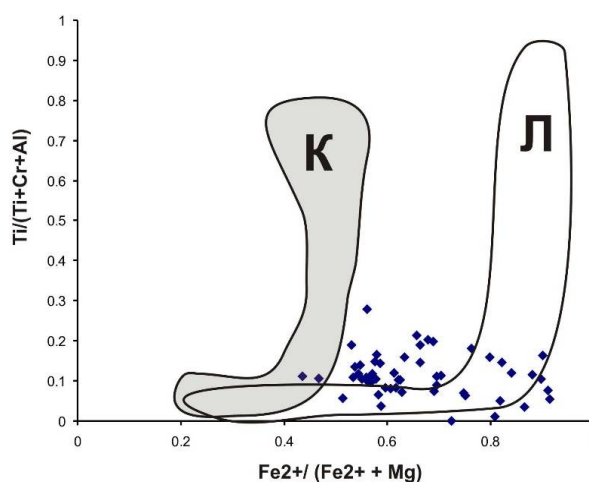


Рис. 2. Шпинелиды основной массы туффитов участка Булкур на диаграмме в координатах (Fe<sup>2+</sup>/Fe<sup>2+</sup>+Mg)–Ti/(Ti+Cr+Al) по [5]: К – кимберлиты; Л – лампроиты

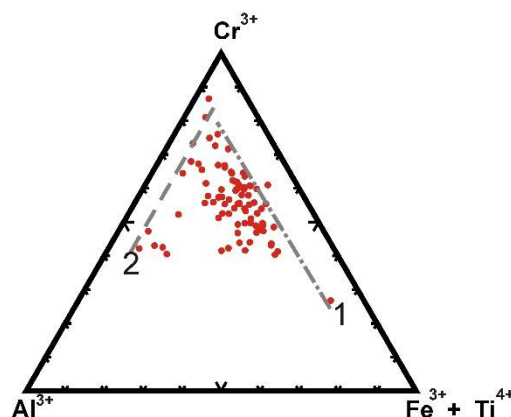
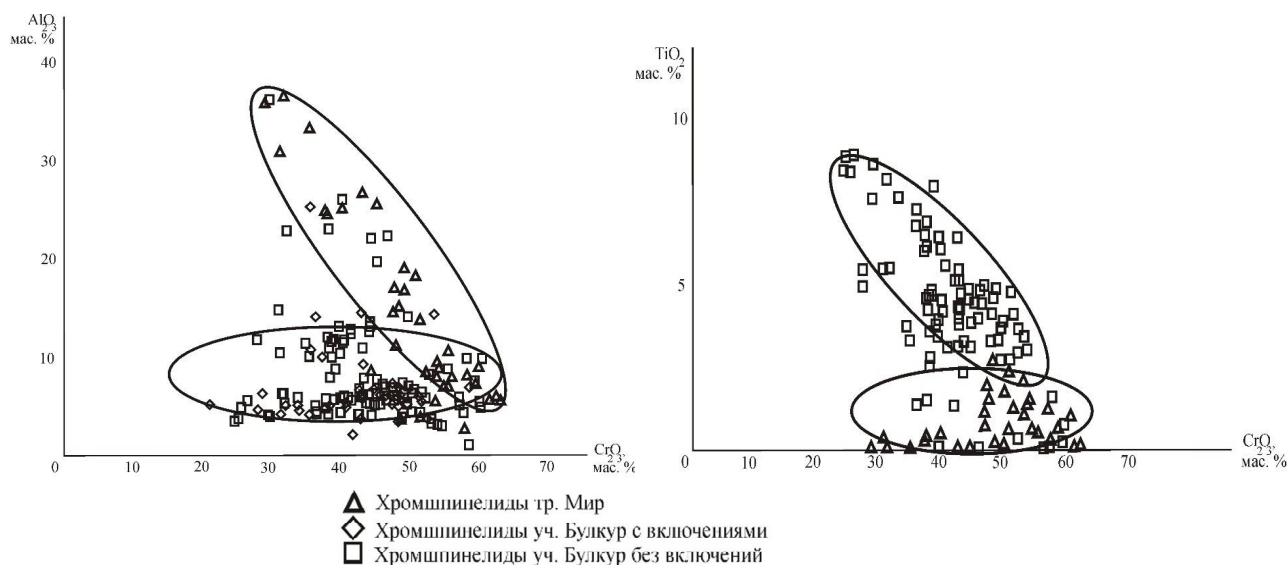


Рис. 3. Составы микрокристаллических шпинелидов из связующей массы лапиллей Булкурской антиклинали на диаграмме Cr – Al – (Fe+Ti). Тренды: 1 – пикроильменитовый; 2 – алюмохромитовый

## ХРОМШПИНЕЛИДЫ АЛМАЗОНОСНЫХ ТУФФИТОВ БУЛКУРСКОЙ АНТИКЛИНАЛИ



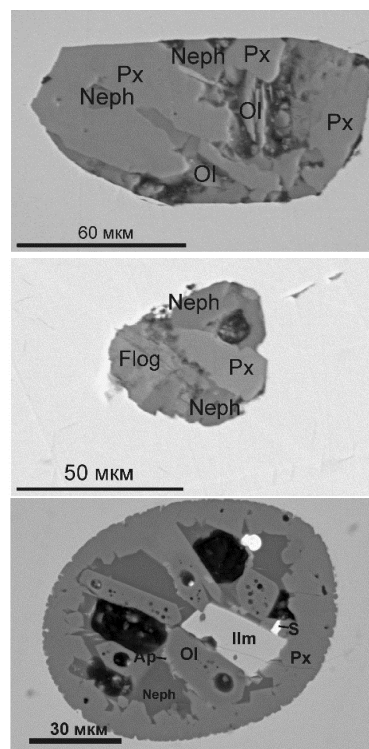
**Рис. 4.** Особенности состава хромшпинелидов на диаграмме в координатах  $\text{Cr}_2\text{O}_3 - \text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{Cr}_2\text{O}_3 - \text{TiO}_2$  по [7]

Обычно они представлены образованиями округлой или овальной формы от 5 до 60 мкм, полифазные (рис. 5), реже отмечаются угловатые формы. Располагаются включения обычно хаотично в центральной части минерала-хозяина и не обнаруживают приуроченности к зонам роста или трещинам. Иногда наблюдаются скопления округлых включений, по морфологии напоминающие «пузыри», сложены они обычно оливином или ассоциацией оливин+пироксен (рис. 6). В единичных случаях такие пузырьчатые включения располагаются внутри краевой зоны. По данным рамановской спектроскопии в зернах хромшпинелида преобладают включения пироксенов и оливинов, также установлены флогопит, ильменит и нефелин (рис. 7, а–в). Существенных различий в составе между макрокристаллическими шпинелидами с включениями и без не наблюдается.

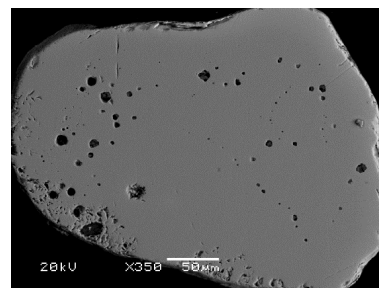
Среди диагностированных на микроанализаторе фаз во включениях отмечаются оливин, пироксен, флогопит, нефелин, апатит, ильменит. По составу оливин магнезиальный (содержание Fo # 82–90), выявлена примесь  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (табл. 2). Пироксен представлен диопсидом (Di 80–86 мол. %) (табл. 3). В ассоциации с пироксеном зачастую устанавливается фельдшпатоид – нефелин (содержание  $\text{K}_2\text{O}$  до 13,2 мас. %,  $\text{Na}_2\text{O}$  до 15,52 мас. %).

### Закключение

Проведенные исследования свидетельствуют о том, что транспортер хромшпинелидов отличается от кимберлитового. По содержанию основных элементов микрокристаллические хромшпинелиды туффитов участка Булкур схожи с таковыми из высоко- и среднеалмазоносных кимберлитовых трубок ЯКП [4, 6]. Однако на



**Рис. 5.** Включения в хромшпинелидах туффитов: Neph – нефелин, Px – пироксен, Ol – оливин, Ilm – ильменит, Ap – апатит, S – сульфид, Phl – флогопит



**Рис. 6.** «Пузырчатые» включения в хромшпинелидах

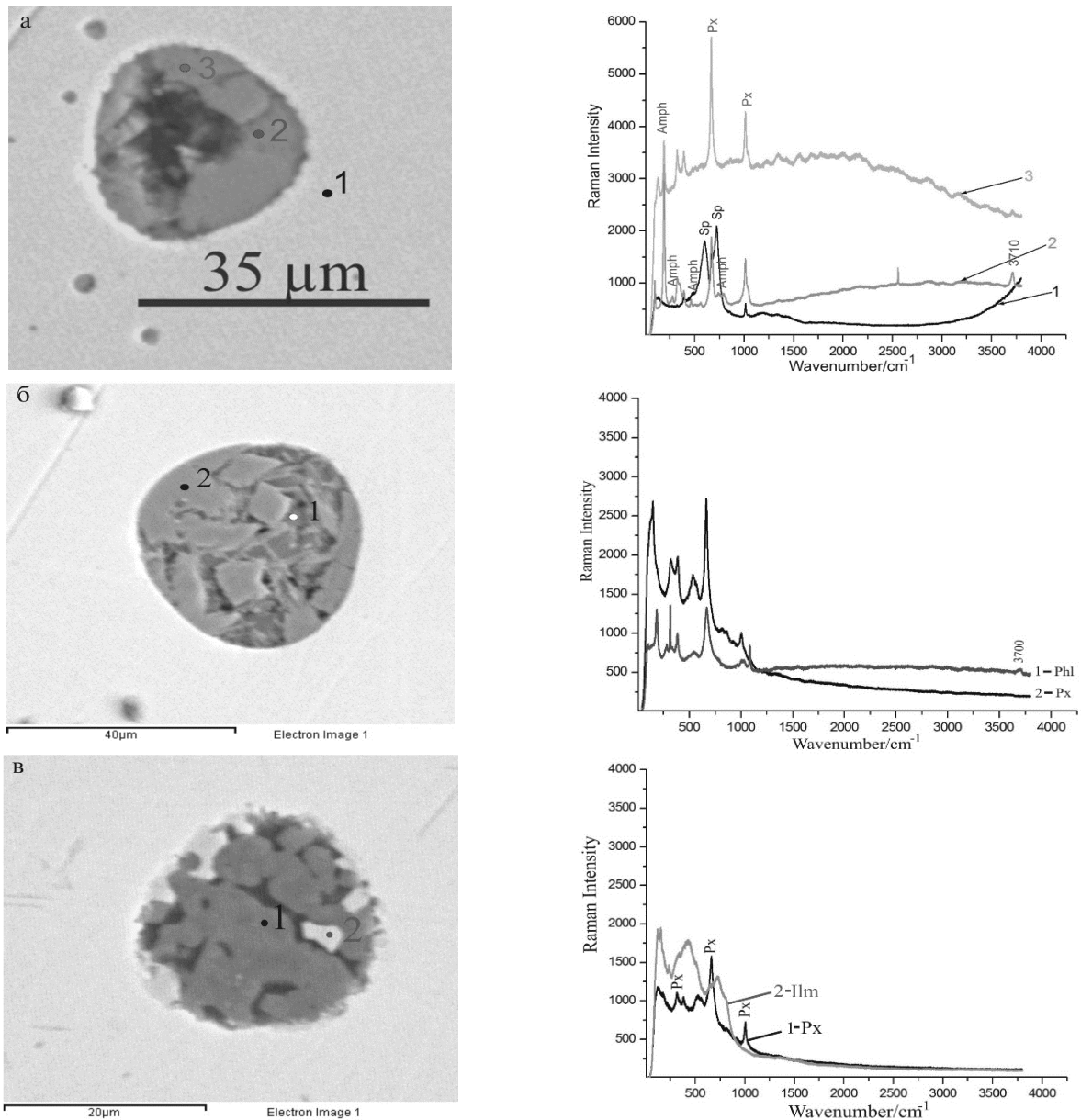


Рис. 7. Включения в хромшпинелидах и соответствующие им КР-спектры: а – амфибола (Amph) и пироксена (Px); б – флогопита (Phl) и пироксена (Px); в – пироксена (Px) и ильменита (Ilm)

Т а б л и ц а 2

Состав оливина из исключений в хромшпинелидах туффигов карнийского яруса Булкурской антиклинали

| MgO   | SiO <sub>2</sub> | CaO  | Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | FeO   | Total  | № обр.    |
|-------|------------------|------|--------------------------------|-------|--------|-----------|
| 47,77 | 40,75            | 0,69 | 1,47                           | 9,46  | 99,90  | 5002 11-1 |
| 44,49 | 40,71            | 1,20 | 0                              | 13,65 | 99,98  | 5002 5-1  |
| 51,26 | 45,26            | 0    | 0                              | 5,39  | 101,92 | 5002 8-1  |
| 41,99 | 38,60            | 0    | 1,42                           | 18,67 | 100,97 | 5002 23 1 |

Т а б л и ц а 3

Состав пироксена из включений в хромшпинелидах туффигов карнийского яруса Булкурской антиклинали

| SiO <sub>2</sub> | TiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MgO   | CaO   | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | FeO tot | SUM    | № обр.    |
|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|-------|-------------------|------------------|---------|--------|-----------|
| 53,23            | 0                | 5,76                           | 0                              | 17,12 | 12,32 | 2,38              | 0                | 7,38    | 98,19  | 2012 6 1  |
| 50,73            | 2,44             | 1,53                           | 1,52                           | 16,11 | 23,41 | 0,98              | 0                | 3,6     | 100,58 | 5002 5 1  |
| 46,33            | 4,02             | 3,38                           | 1,00                           | 14,65 | 21,02 | 0,64              | 0,09             | 7,07    | 98,23  | 5002 33 1 |
| 51,2             | 2,31             | 1,8                            | 0,82                           | 15,25 | 22,75 | 0,8               | 0                | 4,71    | 99,64  | 2012 1 1  |
| 53,3             | 0                | 2,78                           | 0                              | 14,67 | 21,64 | 1,64              | 0                | 4,69    | 98,72  | 5002 51 1 |



диаграмме по [5] занимают промежуточное положение между кимберлитами и лампроитами. Присутствие высоко- и среднехромистых шпинелидов свидетельствует о глубинном зарождении расплава, неполный тренд микрокристаллических шпинелидов – о быстром подъеме вещества [6, 8]. Исходя из химического состава макрокристаллов хромшпинелидов и минералов включений, можно предположить, что материнский состав был высокотитанистый с повышенным содержанием щелочных элементов. Наличие множества округлых «пузырчатых» включений также указывает на быстрый подъем и кристаллизацию.

### Литература

1. Граханов С.А., Смелов А.П., Егоров К.Н., Голубев Ю.К. Осадочно-вулканогенная природа основания карнийского яруса – источника алмазов северо-востока Сибирской платформы // Отечественная геология. 2010. № 5. С. 3–13.
2. Граханов С.А., Смелов А.П. Возраст прогнозируемых коренных источников алмазов на севере Якутии // Отечественная геология. 2011. № 5. С. 56–63.
3. Соболев Н.В., Логвинова А.М., Николенко Е.И., Лобанов С.С. Минералогические критерии

алмазоносных верхнетриасовых россыпей северо-восточной окраины Сибирской платформы // Геология и геофизика. 2013. Т. 54, № 8. С. 1162–1178.

4. Коротков В.В., Кудрявцева Г.П., Богатиков О.А. и др. Новые технологии разведки алмазных месторождений. М.: ГЕОС, 2001. 310 с.

5. Mitchell R. H. and Bergman S. C. Petrology of lamproites. Plenum Press. New York. 1991. 471 p.

6. Бовкун А.В., Гаранин В.К., Кудрявцева Г.П., Посухова Т.В. Химико-генетические классификации оксидов из связующей массы кимберлитов – основа новой технологии оценки алмазности кимберлитовых тел (на примере Якутской и Архангельской алмазоносных провинции) // Материалы Всероссийской конференции «Золото, платина и алмазы Республики Коми и сопредельных регионов». Сыктывкар: Геопринт Сыктывкар, 1998. С. 180–182.

7. Соболев Н.В., Похиленко Н.П., Лаврентьев Ю.Г., Усова Л.В. Особенности состава хромшпинелидов из алмазов и кимберлитов Якутии // Геология и геофизика. 1975. №11. С. 7–24.

8. Бовкун А.В. Минералогия оксидов из связующей массы кимберлитов Якутии: Автореф. дис. ... к.г.-м.н. М., 2000. 21 с.

Поступила в редакцию 22.09.2017