



МЕТОДЫ И МЕТОДИКИ ПРОГНОЗА, ПОИСКОВ,  
ОЦЕНКИ И РАЗВЕДКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

УДК 552.323.6 : 549.621.9 : 549.621.98 (571.56)

## Минералогия гранатов из кимберлитовой трубки Юбилейная и тела Отторженец

Милаушкин М. В.<sup>1,2</sup>, Мальковец В. Г.<sup>1,2</sup>, Гибшер А. А.<sup>1,2</sup>, Яковлев И. В.<sup>2</sup>, Тычков Н. С.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск, Россия

<sup>2</sup> АК «АЛРОСА» (ПАО), г. Новосибирск, Россия

**Аннотация.** В работе представлены результаты исследования химического состава ксенокристаллов гранатов из концентрата тяжёлой фракции кимберлитов трубки Юбилейная и кимберлитового тела Отторженец. Из трубки Юбилейная для анализа были отобраны образцы из порфировых кимберлитов и автолитовых кимберлитовых брекчий. В изученных выборках перидотитовых гранатов из кимберлитовой трубки Юбилейная и тела Отторженец наблюдаются значительные различия. По сравнению с трубкой Юбилейная в теле Отторженец отмечается пониженное количество гранатов гарцбургит-дунитового парагенезиса в области составов с  $\text{Cr}_2\text{O}_3 > 8,5$  мас. % и  $\text{CaO} < 3$  мас. %. На этом основании мы предполагаем, что тело Отторженец не является перемещённым фрагментом трубки Юбилейная, а принадлежит новому неизвестному кимберлитовому телу, а также что алмазоносность коренного тела Отторженец понижена по сравнению с трубкой Юбилейная, что согласуется с информацией об алмазоносности, по данным АК «АЛРОСА» (ПАО).

**Ключевые слова:** кимберлитовая трубка, минералы спутники алмаза, гранат.

Для цитирования: Милаушкин М. В., Мальковец В. Г., Гибшер А. А., Яковлев И. В., Тычков Н. С. Минералогия гранатов из кимберлитовой трубки Юбилейная и тела Отторженец. Руды и металлы. 2024. № 2. С. 46–54. DOI: 10.47765/0869-5997-2024-10008.

---

## Mineralogy of garnets from the Jubileinaya kimberlite pipe and Ottorzhenets kimberlite body

Milaushkin M. V.<sup>1,2</sup>, Mal'kovets V. G.<sup>1,2</sup>, Gibsher A. A.<sup>1,2</sup>, Yakovlev I. V.<sup>2</sup>, Tychkov N. S.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> V. S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, SB RAS, Novosibirsk, Russia

<sup>2</sup> AK ALROSA (PJSC), Novosibirsk, Russia

**Annotation.** The article presents results of a study of the chemical composition of garnet xenocrystals from a concentrate of the heavy fraction of kimberlites from the Yubileinaya pipe and Ottorzhenets kimberlite body. Samples from porphyry kimberlites and autolithic kimberlite breccias were taken for analysis from the Yubileinaya pipe. Significant differences are noted in the studied samples of peridotite garnets from the Yubileinaya kimberlite pipe and the Ottorzhenets body. Compared to the Yubileinaya pipe, the Ottorzhenets body exhibits a decreased amount of garnets of the harzburgite-dunite paragenesis in the composition range of  $\text{Cr}_2\text{O}_3 > 8.5$  wt. % and  $\text{CaO} < 3$  wt. %. On this basis, we assume that the Ottorzhenets body is not a displaced fragment of the Yubileinaya pipe, but belongs to a new unknown kimberlite body. We also assume that the diamond-bearing potential of the primary Ottorzhenets body is reduced compared to the Yubileinaya pipe, which is consistent with the information on the diamond content, according to the data of AK ALROSA (PJSC).

**Keywords:** kimberlite pipe, diamond-associated indicator minerals, garnet.

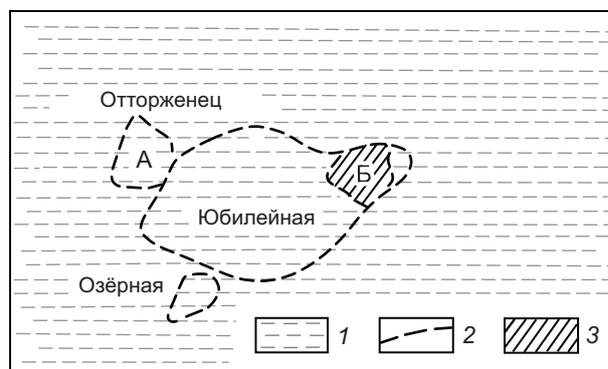
For citation: Milaushkin M. V., Mal'kovets V. G., Gibsher A. A., Yakovlev I. V., Tychkov N. S. Mineralogy of garnets from the Jubileinaya kimberlite pipe and Ottorzhenets kimberlite body. Ores and metals. 2024. No. 2. pp. 46–54. DOI: 10.47765/0869-5997-2024-10008.



**Введение.** Месторождение алмазов – кимберлитовая трубка Юбилейная – находится в Далдыно-Алакитском алмазоносном районе (Алакит-Мархинское кимберлитовое поле) на левом склоне долины р. Марха в 15 км к северо-западу от пос. Айхал в центральной части Сибирской платформы. Во время поисковых работ в Алакит-Мархинском поле, при заверке перспективного шлихо-минералогического ореола, первоначально была вскрыта слабоалмазоносная трубка Озёрная. Однако на основании изучения химизма минералов спутников алмаза (МСА) из трубки Озёрная было установлено, что МСА ореола значительно отличаются от МСА трубки Озёрная и относятся к неизвестному кимберлитовому телу с повышенной алмазоносностью (личное сообщение Н. П. Похиленко, 2024). Спустя незначительное время, в 1975 г., при поисковом бурении была открыта трубка Юбилейная. Это месторождение было вовлечено в отработку с 1984 г. и разрабатывается по настоящее время. Во время разработки трубки Юбилейная в стенке карьера было обнаружено кимберлитовое тело Отторженец, которое представляет собой самостоятельный блок кимберлитовых пород с отсутствием контакта с кимберлитами трубки Юбилейная. В результате проведенных исследований кимберлитов, МСА и алмазов геологами Амакинской экспедиции было высказано мнение, что кимберлиты тела Отторженец являются перемещённым фрагментом трубки Юбилейная [8].

В данной работе мы представляем результаты сравнительного изучения химического состава новых выборок гранатов из тела Отторженец и кимберлитов трубки Юбилейная, отобранных из одного горизонта, чтобы выяснить является ли Отторженец отдельным кимберлитовым телом или перемещённым фрагментом трубки Юбилейная, как считалось ранее.

**Краткая геологическая характеристика.** Трубка Юбилейная прорывает толщу нижнепалеозойских субгоризонтально залегающих пород осадочного чехла (кембрия, нижнего и среднего ордовика и нижнего силура (ландоверский ярус)). Она полностью перекрыта эффузивно-терригенными образованиями верх-



**Рис. 1. Расположение кимберлитовых трубок Юбилейная, Озёрная и тела Отторженец (по [8]):**

1 – вмещающие осадочные породы пермско-каменноугольного возраста; 2 – контуры кимберлитовых тел под перекрывающими отложениями; 3 и Б – предполагаемый контур части трубки, срезанной интрузией траппов; А – контур кимберлитового тела Отторженец

**Fig. 1. Location of the Yubileynaya and Ozernaya kimberlite pipes and the Ottorzhenets kimberlite body (after [8]):**

1 – Permian-Carboniferous host sedimentary rocks; 2 – outlines of the kimberlite bodies under the overlying deposits; 3 and Б – supposed outlines of a part of the pipe, cut by a trap intrusion; А – outline of the Ottorzhenets kimberlite body

него палеозоя – нижнего мезозоя, интродированными межпластовыми телами долеритов. Мощность перекрывающих трубку отложений составляет в среднем 66 м, в том числе мощность трапповых интрузий от 0,5 до 33,9 м. В плане трубка имеет удлинённую, близкую к грушевидной, форму и северо-восточное простирание по азимуту 72°. Площадь трубки 59 га. Погребённая поверхность трубки неровная, относительное превышение северной её части над южной составляет 44–48 м. Вблизи юго-западного контакта трубки Юбилейная располагается трубка Озёрная; к северо-западу от трубки Юбилейная находится кимберлитовое тело Отторженец (рис. 1) [8].

По морфологическим особенностям и вещественному составу слагающих пород трубка представляет собой яркий пример типичной воронки взрыва (центральная часть) и дайкообразных тел (на флангах), формирующих в её

структуре три обособленных рудных столба. В разрезе центральный рудный столб имеет характерную трубчатую форму с чашеобразным расширением в пределах верхней кратерной части и близкую к округлой форму горизонтальных сечений. Западный и восточный рудные столбы представляют собой дайкообразные тела с извилистыми очертаниями как в плане, так и в вертикальных сечениях [8].

В структуре трубки выделяются породы двух главных фаз внедрения: фланги сложены массивными порфиоровыми кимберлитами первой фазы, а центральный канал, начиная от основания чашеобразного расширения (с глубины 300 м и ниже), выполнен автолитовыми брекчиями второй фазы [8].

Кимберлитовые породы первой фазы внедрения, слагающие западный и восточный рудные столбы, занимают незначительную часть площади погребённой поверхности трубки, но с глубиной их доля существенно возрастает, особенно на восточном фланге. По текстурно-структурным особенностям, вещественному составу и алмазности они близки между собой. Это плотные, окрашенные в серо-зелёный до тёмно-зелёного цвета породы с отчётливо выраженной порфиоровой структурой основной массы. Сложены они большим количеством псевдоморфоз по оливину, относительно редкими зёрнами пиропы, пикроильменита, сцементированными карбонат-серпентиновым агрегатом. На юго-западном фланге в кимберлитах данной фазы содержится свежий оливин, количество которого достигает 49,7 кг/т [8]. Автолитовые брекчии центрального столба представляют собой плотную породу с типичной брекчиевой текстурой и порфиоровой структурой основной массы. Содержание в них ксеногенного материала вмещающих пород составляет в среднем 18,8 % объёма, автолитов – 9 %, включений глубинных пород – 1,58 %, метаморфических – 1,68 %. Базис карбонатно-серпентиновый, с повышенным (в 3–3,5 раза по отношению к порфиоровым кимберлитам) содержанием пиропы (0,24 %), пикроильменита (0,16 %) и хромшпинелида (0,011 %). Переходы между кимберлитовыми

породами первой и второй фаз внедрения постепенные, через зону смешения материала мощностью от 5 до 30 м [8].

Кимберлитовый Отторженец изолирован от обеих трубок, не имеет самостоятельного подводящего канала и заключён в породах верхнепалеозойского возраста и траппах. Западная часть его выведена эрозией на дневную поверхность [1–3, 8]. В работе [8] было высказано утверждение, что блок кимберлитовых пород, образующих это бескорневое тело, представляет собой срезанную трапповым силлом приповерхностную часть юго-восточного фланга трубки Юбилейная, перемещённую на несколько сотен метров от её первоначального положения. При этом отторгнутый блок оказался приподнят над уровнем поверхности самой трубки более чем на 35 м. Кимберлиты Отторженца подверглись сильному динамическому воздействию со стороны трапповой интрузии, что привело к расщеплению слагающей его породы, сильному её смятию и раздавливанию. Породы пронизаны прожилками гидротермальных минералов (кальцита, кварца), связанных с траппами, а также претерпели гипергенные изменения [2, 3, 8]. Среди кимберлитов рассматриваемого Отторженца выделяются три типа пород – порфиоровые кимберлиты (ПК), автолитовые кимберлитовые брекчии (АКБ) и туфобрекчии, которые сопоставимы с одноимёнными разностями пород трубки Юбилейная [8].

**Характеристика МСА.** В работе [8] было проведено сравнительное изучение химического состава МСА (гранат, пикроильменит и хромшпинелид) из трубки Юбилейная, трубки Озёрная и тела Отторженец. Выборка МСА из трубки Озёрная надёжно отличается по химическому составу от кимберлитов трубки Юбилейная и тела Отторженец. При исследовании МСА из трубки Юбилейная данные были представлены без разбиения на материнские породы: ПК и АКБ. Из трубки Юбилейная было исследовано 244 зерна граната, 152 пикроильменита и 156 хромшпинелида, а из тела Отторженец – 261 зерно граната, 159 пикроильменита и 86 хромшпинелида. В резуль-



тате статистической обработки составов МСА были получены следующие средние значения для трубки Юбилейная и тела Отторженец (мас. %): гранаты ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$  – 4,29 и 4,14,  $\text{CaO}$  – 4,75 и 5,01,  $\text{FeO}$  – 8,83 и 8,73, соответственно); пикроильмениты ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$  – 2,32 и 2,02,  $\text{TiO}_2$  – 48,6 и 48,1,  $\text{MgO}$  – 10,2 и 9,00, соответственно); хромшпинелиды ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$  – 48,5 и 48,5,  $\text{TiO}_2$  – 1,91 и 1,77,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 10,8 и 11,00, соответственно). Однако необходимо отметить, что сами химические составы выборок, изученных в работе [8], восстановить не удалось. Графики химических составов МСА, за исключением гistogramм по вышеуказанным элементам, и классификация по минеральным парагенезисам в работе [8] не приведены. Средние значения по  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  и  $\text{CaO}$  для гранатов, по  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  и  $\text{MgO}$  для пикроильменитов значимо различаются. Но при отсутствии аналитических данных, не зная характера их распределений на дискриминационных диаграммах и по минеральным парагенезисам, делать надёжные выводы на основании только средних значений нам представляется крайне сложным.

Для проверки вывода о том, что тело Отторженец является перемещённым фрагментом кимберлитовой трубки Юбилейная, мы провели исследование химического состава гранатов из имеющихся архивных коллекций АК «АЛРОСА» (ПАО). С этой целью были изучены представительные выборки гранатов из тела Отторженец ( $n=399$ ) и автолитовой кимберлитовой брекчии ( $n=357$ ) и порфировых кимберлитов ( $n=452$ ) трубки Юбилейная, отобранные из одного горизонта. Химический состав минералов определялся методом РСМА на электронно-зондовом микроанализаторе JEOL JXA-8100 в «Центре коллективного пользования многоэлементных и изотопных исследований СО РАН» (Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск). Химические составы гранатов определялись по стандартной методике с ускоряющим напряжением 20 кВ и током зонда 50 нА.

Результаты определений химического состава гранатов приведены на диаграммах

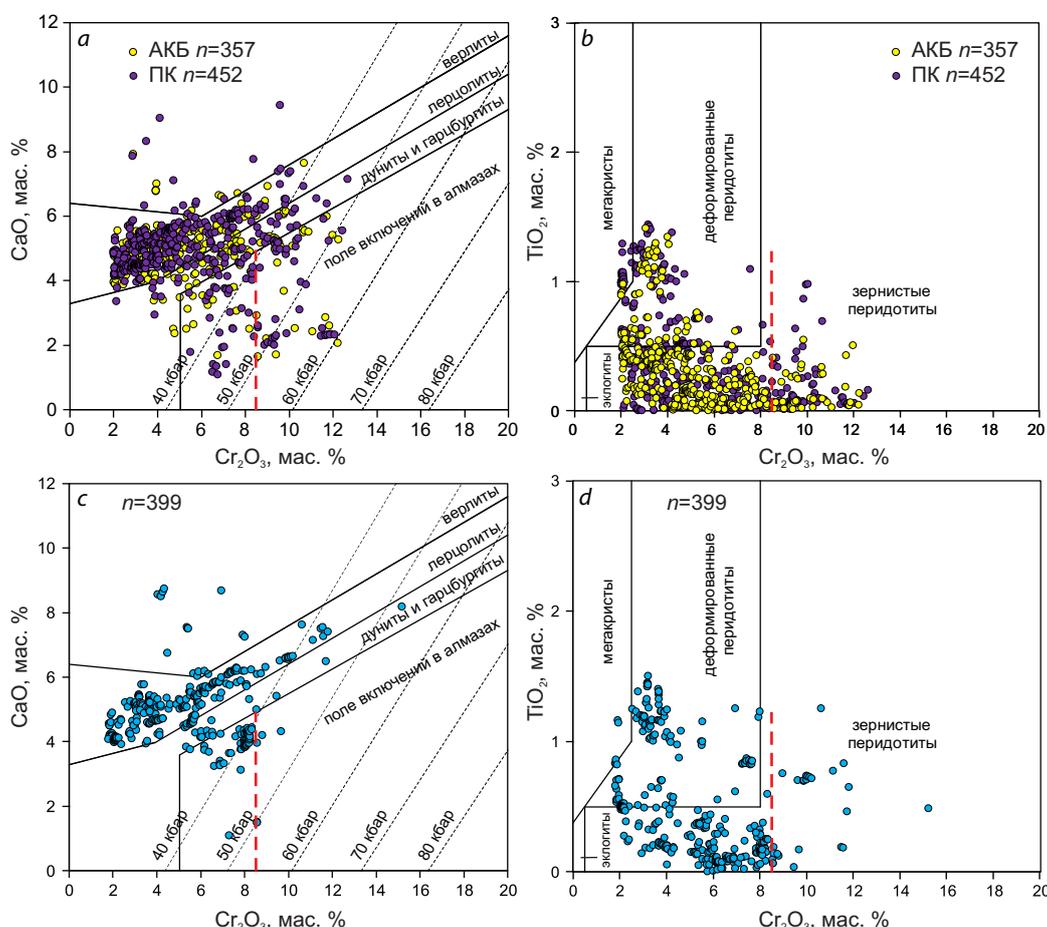
$\text{Cr}_2\text{O}_3$ – $\text{CaO}$  [6, 7] и  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ – $\text{TiO}_2$  [14] (рис. 2). Распределение гранатов в АКБ и ПК трубки Юбилейная и тела Отторженец в значительной степени перекрываются.

Среди изученных гранатов из двух фаз кимберлитов трубки Юбилейная преобладают гранаты перидотитовых парагенезисов, на долю которых приходится 302 граната (75,1 %) из АКБ и 345 гранатов (76,3 %) из ПК. В перидотитовой ассоциации наиболее распространены лерцолитовые гранаты – 196 зёрен (54,9 %) из АКБ и 200 зёрен (44,2 %) из ПК. Напротив, верлитовые гранаты относительно редки, обнаружено 1 зерно (0,3 %) из АКБ и 4 зерна (0,9 %) из ПК. Остальные гранаты, в количестве 105 зёрен (29,4 %) из АКБ и 141 (31,2 %) из ПК, относятся к гарцбургит-дунитовой ассоциации. Среди гарцбургит-дунитовых гранатов 40 зёрен (11,2 %) из АКБ и 70 зёрен (15,5 %) из ПК попадает в поле включений в алмазах, по [6]. Часть гранатов, в количестве 55 зёрен (15,4 %) из АКБ и 107 зёрен (23,7%) из ПК, относится к мегакристовой ассоциации.

Согласно классификации [14], 287 зёрен (80,4 %) гранатов из АКБ и 307 (67,9 %) из ПК относятся к зернистым перидотитам, 65 зёрен (18,2 %) из АКБ и 109 (24,1 %) из ПК – к деформированным (катаклазированным) перидотитам. Оставшиеся 5 зёрен из АКБ и 36 из ПК классифицируются как мегакристы.

Среди изученных гранатов из Отторженца большая часть зёрен (294 гранатов – 73,7 %) представлена гранатами перидотитового парагенезиса. Среди гранатов перидотитовой ассоциации лерцолитовые гранаты присутствуют в количестве 177 зёрен (44,4 %). Верлитовые гранаты представлены в незначительном количестве (9 гранатов – 2,3 %). Остальные 108 зёрен (27,1 %) относятся к гарцбургит-дунитовой ассоциации. Среди гарцбургит-дунитовых гранатов в поле включений в алмазах, по [6], попадает 70 зёрен граната (17,5 %). Треть гранатов (105 зёрен – 26,3 %) относится к мегакристовой ассоциации.

Согласно классификации [14], 262 граната (65,7 %) относятся к зернистым перидотитам,



**Рис. 2. Особенности химического состава гранатов из трубки Юбилейная (a, b) и кимберлитового тела Отторженец (c, d):**

a, c – классификация перидотитовых гранатов, по [15], на диаграмме CaO–Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, по [6], изобары Cr в гранате рассчитаны для геотермального градиента 38 мW/m<sup>2</sup>, по [11]; b, d – классификация гранатов на диаграмме TiO<sub>2</sub>–Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, по [14]. Красная пунктирная линия – граница 8,5 мас. % Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

**Fig. 2. Chemical composition of garnets from the Yubileinaya pipe (a, b) and the Ottorzhenets kimberlite body (c, d):**

a, c – classification of peridotite garnets (after [15]) on the CaO–Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> diagram (after [6]); Cr isobars in garnet are calculated for a geothermal gradient of 38 mW/m<sup>2</sup> (after [11]); b, d – classification of garnets on the TiO<sub>2</sub>–Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> diagram (after [14]); the red dotted line is the boundary of 8,5 мас. % Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

133 зерна (33,3 %) – к деформированным (катаклазированным) перидотитам. Оставшиеся 4 зерна классифицируются как мегакристы.

В настоящее время большинством исследователей принимается, что малохромистые гранаты с содержанием Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> < 2 мас. % не относятся к перидотитовым парагенезисам [11, 15]. Такие гранаты обнаруживаются в разнообразных мантийных пироксенитах, мега-

кристаллах и эклогитах. Алмазоносность же кимберлитов связана главным образом с дезинтеграцией разного рода перидотитов литосферной мантии. По данным [6], процент алмазов с эклогитовыми включениями в кимберлитах Сибирской платформы не превышает 3. Вследствие этого, для того, чтобы надёжно охарактеризовать и сравнить выборки гранатов и их минеральные парагенезисы, из вы-



борок были удалены гранаты с содержанием  $\text{Cr}_2\text{O}_3 < 2$  мас. %, не связанные с алмазонасностью кимберлитов.

Для сравнения выборок гранатов нами были рассчитаны средние содержания  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{FeO}$  и  $\text{CaO}$  (мас. %). Средние содержания для гранатов из ПК и АКБ трубки Юбилейная и тела Отторженец составляют (мас. %):  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  – 6,03, 5,49 и 6,04,  $\text{TiO}_2$  – 0,26, 0,25 и 0,34,  $\text{FeO}$  – 7,6, 7,67 и 8,02,  $\text{CaO}$  – 4,87, 4,83 и 4,97, соответственно. Процент гранатов алмазной ассоциации, по [6], для гранатов из ПК и АКБ трубки Юбилейная и тела Отторженец составляют 15,5, 11,2 и 17,5, соответственно. Процент гранатов алмазной ассоциации, по [10], для гранатов из ПК и АКБ трубки Юбилейная и тела Отторженец составляет 13,9, 10,8 и 35,9, соответственно.

Более высокая пропорция гранатов алмазной ассоциации в теле Отторженец, однако, не согласуется с более низкой алмазонасностью по сравнению с кимберлитами трубки Юбилейная. Причины такого несоответствия будут рассмотрены в следующем разделе.

**Дискуссия.** При сравнении средних значений по отдельным элементам наблюдается как схожесть выборок гранатов по  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , так и различия по  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{FeO}$  и  $\text{CaO}$  для ПК и АКБ трубки Юбилейная и тела Отторженец. Повышенные средние значения  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{FeO}$  и  $\text{CaO}$  в гранатах из тела Отторженец по сравнению с гранатами из кимберлитов трубки Юбилейная (1,28 кар/т) согласуются с более низкой алмазонасностью тела Отторженец (0,65 кар/т). Высокие содержания всех этих элементов, и в первую очередь  $\text{TiO}_2$  и  $\text{FeO}$ , являются признаками мантийных метасоматических процессов под воздействием силикатных (базитовых) расплавов [5, 9, 12, 13]. В работе [13] и была предложена двухстадийная модель образования перидотитовых гранатов в литосферной мантии древних кратонов:

1. Образование алмазов по реакции  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (в хромите) +  $\text{CH}_4 \rightarrow \text{C} + \text{H}_2\text{O} + \text{FeO}$  (в хромите) происходит параллельно со следующей реакцией: хромит ± оливин ± ортопироксен + Si, Ca (во флюиде) → низкокальциевый высокохромистый гранат;

2. Низкокальциевый высокохромистый гранат + метасоматический агент (силикатный, силикатно-карбонатный или другой расплав/флюид) → лерцолитовый или верлитовый гранат.

В работе [6] такая эволюция химического состава перидотитового граната была впервые показана на примере зонального граната из трубки Мир. Впоследствии такие гранаты были обнаружены как в сибирских, так и в южноафриканских кимберлитах.

В работе [5] при сравнительном изучении гранатов из включений в алмазах и ксенолитов алмазонасных перидотитов было показано, что высокая алмазонасность кимберлитов Сибирского кратона по сравнению с кимберлитами кратона Каапвааль связана с более высокой степенью метасоматических процессов под воздействием плюмовых базитовых расплавов. При внимательном рассмотрении особенностей распределения фигуративных точек составов гранатов в поле гарцбургит-дунитовых гранатов отмечаются значительные отличия в характере их распределения, а именно – в количестве гранатов с содержаниями  $\text{Cr}_2\text{O}_3 > 8,5$  мас. %. Процент гранатов с содержаниями  $\text{Cr}_2\text{O}_3 > 8,5$  мас. % из ПК и АКБ трубки Юбилейная и тела Отторженец составляют 17,7, 12,2 и 7,5, соответственно. Совокупный процент гранатов с содержаниями  $\text{Cr}_2\text{O}_3 > 8,5$  мас. % в ПК и АКБ трубки Юбилейная составляет 15,2. Кроме того, существует значительное отличие в содержании высокохромистых ( $\text{Cr}_2\text{O}_3 > 5$  мас. %) и низкокальциевых ( $\text{CaO} < 3$  мас. %) гранатов в поле гарцбургит-дунитовых гранатов. Совокупный процент таких гранатов в трубке Юбилейная составляет 5,56 ( $n=45$ ), а в теле Отторженец 0,75 ( $n=3$ ). Именно наличие подобных гранатов характерно для высокоалмазонасных кимберлитовых тел как Сибирского кратона, так и других кратонов мира.

Близость средних содержаний  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  для гранатов из ПК и АКБ трубки Юбилейная и тела Отторженец (6,03, 5,49 и 6,04, соответственно) и более высокий процент алмазных парагенезисов как по [6], так и по [10], в теле Отторженец находятся в несоответствии с бо-

лее низкой реальной алмазоносностью кимберлитов тела Отторженец (0,65 кар/т) по сравнению с кимберлитами трубки Юбилейная (1,28 кар/т). При детальном рассмотрении фигуративных точек составов гранатов тела Отторженец на вариационных диаграммах  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ –CaO и  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ –TiO<sub>2</sub> можно выделить кластер точек с одинаковыми составами в области ~ 8 мас. %  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  и ~ 4 мас. % CaO. При анализе химических составов гранатов из этого кластера было установлено, что вероятнее всего, все составы, попадающие в этот кластер, относятся либо к одному раздробленному гарцбургит-дунитового ксенолиту, либо к одному раздробленному зерну гарцбургит-дунитового парагенезиса. Такая кластеризация точек составов на вариационных диаграммах встречается довольно часто в том случае, если отбор МСА происходит из небольшого количества раздробленного кимберлита – штуфного образца или куска керна, а не из шлиховых проб или материала с обогащенных фабрик, где происходит интенсивное перемешивание МСА.

В работе [8] на основании исследования выборок МСА был сделан вывод о том, что тело Отторженец является перемещённым фрагментом трубки Юбилейная. Однако в этой же работе были приведены результаты сравнительного изучения выборок алмазов из кимберлитовых трубок Юбилейная, Озёрная и тела Отторженец. В работе [8] представлены результаты сравнительного изучения 4632 кристаллов алмаза, в том числе из туфобрекчий и порфировых кимберлитов восточного фланга трубки Юбилейная (предполагаемого места отторжения) – 3700 кристаллов, из трубки Озёрная – 502, а из Отторженца – 430. При этом из обеих трубок отбирались алмазы, характеризующие верхние горизонты тел. Из сравнительной характеристики алмазов по основным морфологическим разновидностям, согласно классификации [4], следует, что материнской для Отторженца была порода трубки Юбилейная. Тем не менее, А. Д. Харьков с соавторами [8] отмечает существенное увеличение в Отторженце количества кристаллов со следами коррозии и матировки

(22,3 %) по сравнению с трубкой Юбилейная (8 %), что, по их мнению, обусловлено воздействием на алмазы этого тела гидротерм трапповой магмы. Действительно, ранее такое воздействие было доказано для алмазов трубки Краснопресненская, которая пересекается силлом долеритов [8]. С нашей точки зрения, повышенное содержание в Отторженце кристаллов алмазов со следами коррозии и матировки хорошо коррелирует с более высокой степенью наложенных метасоматических преобразований на перидотитовые гранаты тела Отторженец. На этом основании мы предполагаем, что тело Отторженец не является перемещённым фрагментом трубки Юбилейная, а принадлежит новому неизвестному кимберлитовому телу.

Тем не менее, для более обоснованных выводов необходимо провести более детальное сравнительное изучение геохимических характеристик гранатов по методикам, описанным в работах [9, 13].

**Выводы.** В изученных выборках гранатов из кимберлитовой трубки Юбилейная и тела Отторженец наблюдаются значимые различия в содержаниях гранатов гарцбургит-дунитового парагенезиса в области составов с  $\text{Cr}_2\text{O}_3 > 8,5$  мас. %. По сравнению с трубкой Юбилейная в теле Отторженец отмечается пониженное содержание гранатов в поле гарцбургит-дунитового парагенезиса с  $\text{Cr}_2\text{O}_3 > 8,5$  мас. %. Кроме того, содержание высокохромистых ( $\text{Cr}_2\text{O}_3 > 5$  мас. %) и низкокальциевых (CaO < 3 мас. %) гарцбургит-дунитовых гранатов в трубке Юбилейная – 5,56 % ( $n=45$ ) значительно превышает содержание таких гранатов в теле Отторженец – 0,75 % ( $n=3$ ). На этом основании мы предполагаем, что тело Отторженец не является перемещённым фрагментом трубки Юбилейная, а принадлежит новому неизвестному кимберлитовому телу. Вследствие этого мы считаем, что алмазоносность коренного тела Отторженец понижена по сравнению с трубкой Юбилейная, что согласуется с информацией об алмазоносности АК «АЛРОСА» (ПАО). Большие размеры тела Отторженец делают маловероятным его значительное горизонтальное перемеще-



ние от коренного тела. Подобно трубке Озёрная коренное тело тела Отторженец также, вероятно, располагается вблизи трубки Юбилейная под породами трапповой формации.

Авторы работы признательны АК «АЛРОСА» (ПАО) за возможность использования в дан-

ной работе архивных минералогических коллекций гранатов из кимберлитовой трубки Юбилейная и тела Отторженец.

Работа выполнена по государственному заданию ИГМ СО РАН, г. Новосибирск (Проект №122041400157-9).

## Список литературы

1. Зинчук Н. Н. Особенности типизации и алмазности кимберлитов // Вестник Пермского университета. Геология. – 2018. – Т. 17. – № 2. – С. 145–163.
2. Зинчук Н. Н., Савко А. Д., Крайнов А. В. Кимберлиты в истории Земли. Методическое пособие // Труды НИИГ ВГУ. – 2013. – Т. 68. – С. 1–99.
3. Крючков А. И., Харьков А. Д., Похиленко Н. П. Идентификация кимберлитовых тел, подвергнутых динамическому воздействию траппов (на примере системы тел в районе трубки Юбилейная, Якутия) // Геология и геофизика. – 1994. – Т. 3. – С. 12–15.
4. Орлов Ю. Л. Минералогия алмаза. – М.: Наука, 1973. – 223 с.
5. Похиленко Л. Н., Мальковец В. Г., Кузьмин Д. В., Похиленко Н. П. Новые данные по минералогии мегакристаллических пироповых перидотитов из кимберлитовой трубки Удачная, Сибирский кратон, Якутская алмазоносная провинция // Доклады академии наук. – 2014. – Т. 454, № 5. – С. 583–583.
6. Соболев Н. В. Глубинные включения в кимберлитах и проблема состава верхней мантии // Труды ИГиГ. – 1974. – Вып. 183. – 264 с.
7. Соболев Н. В., Лаврентьев Ю. Г., Поспелова Л. Н., Соболев Е. В. Хромовые пиропы из алмазов Якутии // Доклады академии наук. – 1969. – Т. 35, № 1. – С. 162–166.
8. Харьков А. Д., Зинчук Н. Н., Крючков А. И. Коренные месторождения алмазов мира. – М.: Недра, 1998. – 554 с.
9. Griffin W. L., Ryan C. G., Kaminsky F. V., O'Reilly S. Y., Natapov L. M., Win T. T., Kinny P. D., Ilupin I. P. The Siberian lithosphere traverse: mantle terranes and the assembly of the Siberian Craton // Tectonophysics. – 1999. – № 310 (1–4). – P. 1–35.
10. Grütter H. S., Gurney J. J., Menzies A. H., Winter F. An updated classification scheme for mantle-derived garnet, for use by diamond explorers // Lithos. – 2004. – № 77 (1–4). – P. 841–857.
11. Grütter H., Latti D., Menzies A. Cr-saturation arrays in concentrate garnet compositions from kimberlite and their use in mantle barometry // Journal of Petrology. – 2006. – Vol. 47, № 4. – P. 801–820.
12. Howarth G. H., Barry P. H., Pernet-Fisher J. F., Baziotis I. P., Pokhilenko N. P., Pokhilenko L. N., Bodnar R. J., Taylor L. A., Agashev A. M. Superplume metasomatism: Evidence from Siberian mantle xenoliths // Lithos. – 2014. – Vol. 184. – С. 209–224.
13. Malkovets V., Griffin W., O'Reilly S., Wood B. Diamond, subcalcic garnet, and mantle metasomatism: Kimberlite sampling patterns define the link // Geology. – 2007. – № 35 (4). – P. 339–342.
14. Ramsay R. R., Tompkins L. A. The geology, heavy mineral concentrate mineralogy, and diamond prospectivity of the Boa Esperanca and Cana Verde pipes, Corrego D'anta, Minas Gerais, Brasil // Fifth international Kimberlite Conference, Minas Gerais, Brazil. – 1994. – P. 329–345.
15. Schulze D. J. A classification scheme for mantle-derived garnets in kimberlite: a tool for investigating the mantle and exploring for diamonds // Lithos. – 2003. – № 71 (2–4). – P. 195–213.

## References

1. Zinchuk N. N. Osobennosti tipizatsii i almaznosnosti kimberlitov [Features of typification and diamond potential of kimberlites], *Vestnik Permskogo universiteta. Geologiya* [Bulletin of Perm University. Geology], 2018, Vol. 17, No 2, pp. 145–163. (In Russ).
2. Zinchuk N. N., Savko A. D., Krainov A. V. Kimberlity v istorii Zemli. Metodicheskoe posobie [Kimberlites in the history of the Earth. Methodical manual], *Trudy NIIG VGU* [Proceedings of NIIG VSU], 2013, Vol. 68, pp. 1–99. (In Russ).
3. Kryuchkov A. I., Khar'kiv A. D., Pokhilenko N. P. Identifikatsiya kimberlitovykh tel, podvergnutykh dinamicheskomu vozdeistviyu trappov (na primere sistemy tel v raione trubki Yubileynaya, Yakutiya) [Identification of kimberlite bodies subjec-

- ted to the dynamic impact of traps (using the example of a system of bodies in the area of the Yubileynaya pipe, Yakutia), *Geologiya i geofizika [Geology and Geophysics]*, 1994, Vol. 3, pp. 12–15. (In Russ).
- Orlov Yu. L. Mineralogiya almaza [Diamond Mineralogy], Moscow : Nauka Publ., 1973, 223 p.
  - Pokhilenko L. N., Mal'kovets V. G., Kuz'min D. V., Pokhilenko N. P. Novye dannye po mineralogii megakristallicheskih piropovykh peridotitov iz kimberlitovoi trubki Udachnaya, Sibirskii kraton, Yakutskaya amazonosnaya provintsiya [New data on the mineralogy of megacrystalline pyrope peridotites from the Udachnaya kimberlite pipe, Siberian craton, Yakut diamond-bearing province], *Doklady akademii nauk [Reports of the Academy of Sciences]*, 2014, Vol. 454, No 5, pp. 583–583. (In Russ).
  - Sobolev N. V. Glubinnye vklyucheniya v kimberlitakh i problema sostava verkhnei mantii [Deep inclusions in kimberlites and the problem of the composition of the upper mantle], *Trudy IGG [Proceedings of IGG]*, 1974, Iss. 183, 264 p. (In Russ).
  - Sobolev N. V., Lavrent'ev Yu. G., Pospelova L. N., Sobolev E. V. Khromovye piropy iz almazov Yakutii [Chromium pyropes from diamonds of Yakutia], *Doklady akademii nauk [Reports of the Academy of Sciences]*, 1969, Vol. 35, No 1, pp. 162–166. (In Russ).
  - Khar'kiv A. D., Zinchuk N. N., Kryuchkov A. I. Korennye mestorozhdeniya almazov mira [Primary diamond deposits of the world], Moscow : Nedra Publ., 1998, 554 p.
  - Griffin W. L., Ryan C. G., Kaminsky F. V., O'Reilly S. Y., Natapov L. M., Win T. T., Kinny P. D., Ilupin I. P. The Siberian lithosphere traverse: mantle terranes and the assembly of the Siberian Craton, *Tectonophysics*, 1999, No 310 (1–4), pp. 1–35.
  - Grütter H. S., Gurney J. J., Menzies A. H., Winter F. An updated classification scheme for mantle-derived garnet, for use by diamond explorers, *Lithos*, 2004, No 77 (1–4), pp. 841–857.
  - Grütter H., Latti D., Menzies A. Cr-saturation arrays in concentrate garnet compositions from kimberlite and their use in mantle barometry, *Journal of Petrology*, 2006, Vol. 47, No 4, pp. 801–820.
  - Howarth G. H., Barry P. H., Pernet-Fisher J. F., Baziotis I. P., Pokhilenko N. P., Pokhilenko L. N., Bodnar R. J., Taylor L. A., Agashev A. M. Superplume metasomatism: Evidence from Siberian mantle xenoliths, *Lithos*, 2014, Vol. 184, pp. 209–224.
  - Malkovets V., Griffin W., O'Reilly S., Wood B. Diamond, subcalcic garnet, and mantle metasomatism: Kimberlite sampling patterns define the link, *Geology*, 2007, No 35 (4), pp. 339–342.
  - Ramsay R. R., Tompkins L. A. The geology, heavy mineral concentrate mineralogy, and diamond prospectivity of the Boa Esperanca and Cana Verde pipes, Corrego D'anta, Minas Gerais, Brasil, Fifth international Kimberlite Conference, Minas Gerais, Brazil, 1994, pp. 329–345.
  - Schulze D. J. A classification scheme for mantle-derived garnets in kimberlite: a tool for investigating the mantle and exploring for diamonds, *Lithos*, 2003, No 71 (2–4), pp. 195–213.

**Милашкин Максим Вячеславович** (milaushkinmv@igm.nsc.ru)

инженер<sup>1,2</sup>

**Мальковец Владимир Григорьевич**

кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник<sup>1,2</sup>

**Гибшер Анастасия Анатольевна**

кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник<sup>1,2</sup>

**Яковлев Игорь Викторович**

младший научный сотрудник<sup>2</sup>

**Тычков Николай Сергеевич**

кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск, Россия

<sup>2</sup> АК «АЛРОСА» (ПАО), г. Новосибирск, Россия