



СТРОЕНИЕ АЛМАЗНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

УДК 552.323.6 (571.56)

## Неизменённый кимберлит трубки Интернациональная (Мирнинское поле)

### Unaltered kimberlite of Internationalnaya pipe (Mirny field)

Помазанский Б. С., Монхоров Р. В.,  
Антонова Т. А., Мальковец В. Г., Кулагин А. Н.,  
Шалкина М. В., Батырь В. Я., Собакин А. Е.

Pomazansky B. S., Monkhorov R. V.,  
Antonova T. A., Malkovets V. G., Kulagin A. N.,  
Shalkina M. V., Batyr V. Ya., Sobakin A. E.

Блок порфирового кимберлита (интрузивного когерентного кимберлита по [31]) на глубоких горизонтах трубки Интернациональная характеризуется отсутствием серпентинизации макрокристов оливина, минимальной степенью постмагматических изменений минералов основной массы. Келифитизация граната, состав внешних зон оливина и флогопита обусловлены взаимодействием глубинных минералов и окружающего кимберлитового расплава в глубинных условиях. Быстрая кристаллизация расплава зафиксировала неоднородное строение магмы шлирами макрокристого (порфирового) и афирового строения.

Ключевые слова: кимберлит, трубка Интернациональная, Якутская алмазоносная провинция.

The porphyry kimberlite block (intrusive coherent kimberlite, after Scott-Smith, 2013) on the deep horizons of the Internationalnaya pipe is characterized by the lack of olivine macrocryst serpentinization, and the minimum degree of postmagmatic alteration in the matrix minerals. Garnet kelyphitization and the composition of olivine and phlogopite outer zones are due to the interaction of deep minerals and the surrounding kimberlite melt at depth. The rapid melt crystallization contributed to the heterogeneous magma structure represented by the macrocryst (porphyry) and aphyric schlieren.

Keywords: kimberlite, Internationalnaya pipe, Yakut diamond province.

Для цитирования: Помазанский Б. С., Монхоров Р. В., Антонова Т. А., Мальковец В. Г., Кулагин А. Н., Шалкина М. В., Батырь В. Я., Собакин А. Е. Неизменённый кимберлит трубки Интернациональная (Мирнинское поле). Руды и металлы. 2021. № 3. 101–113. DOI: 10.47765/0869-5997-2021-10022.

For citation: Pomazansky B. S., Monkhorov R. V., Antonova T. A., Malkovets V. G., Kulagin A. N., Shalkina M. V., Batyr V. Ya., Sobakin A. E. Unaltered kimberlite of Internationalnaya pipe (Mirny field). Ores and metals, 2021, № 3, 101–113. DOI: 10.47765/0869-5997-2021-10022.

*Введение.* Трубка Интернациональная находится на территории Республики Саха (Якутия) в 16 км к юго-западу от г. Мирный и месторождения алмазов «Трубка Мир». Объект расположен в Мирнинском кимберлитовом поле Малоботубинского алмазоносного района в склоновой части Непско-Ботубинской антеклизы. Антеклизой разделяются крупные Тунгусская и Вилуйская синеклизы.

Кимберлитовая трубка локализована в зоне Западного разлома, входящего в Вилуйско-Мархинскую систему глубинных разломов. Рудное тело состоит из диатремы и сопровождается серией маломощных даек. Длинная ось диатремы и простирание большинства жил ориентированы в северо-западном направлении. Трубка прорывает терригенно-карбонатные нижнепалеозойские породы и перекрыта нижнеюрскими отложениями мощностью до 9 м. Контакты трубки с вмещающими породами контрастные [19].

Диатремовая часть выполнена несколькими петрографическими разновидностями кимберлитов. В соответствии с принятыми в геологическом комплексе АК «АЛРОСА» (ПАО) подходами выделяются порфиновый кимберлит (ПК), автолитовая кимберлитовая брекчия (АКБ) и значительно реже кимберлитовая брекчия (КБ). Для порфиновых кимберлитов характерны порфировая структура, массивная текстура, низкое среднее содержание (до 5 %) ксенолитов вмещающих пород, наличие единичных включений глубинных ксенолитов и полное отсутствие автолитовых образований. Автолитовая кимберлитовая брекчия отличается порфировой структурой, более высоким содержанием (~ 10 %) ксенолитов вмещающих пород, присутствием ксенолитов мантийных пород, наличием различных по строению и количеству автолитовых образований, предопределяющих характеристическую автолитовую текстуру этой разновидности кимберлитов. В отдельных случаях при весьма высоком (> 50 %) содержании ксенолитов вмещающих пород и кимберлита в качестве связующего компонента выделяется кимберлитовая брекчия (КБ) или в крайних случаях карбонатные брекчии с инъекциями кимберлитового мате-

риала. Прослеживание объёмного распространения доминирующих ПК и АКБ, наличие контактов позволило исследователям создать модель двухфазного строения диатремовой части месторождения. Сопряжённые с ней кимберлитовые дайки относятся к дорудным [19].

Кимберлиты верхней части тр. Интернациональная существенно изменены наложенными постмагматическими процессами. Широко проявлены серпентинизация, карбонатизация, в меньшей мере хлоритизация силикатных минералов порфириновых вкрапленников, основной массы породы, присутствуют гипергенные сульфаты и хлориды.

В ходе разведочных и эксплуатационных работ на разных горизонтах диатремовой части тр. Интернациональная геологами установлены интервалы кимберлита с полным отсутствием признаков воздействия постмагматических процессов на первичную магматическую породу. Контакт с окружающим кимберлитом резкий, но без признаков взаимных термических и механических воздействий. Порода представлена исключительно порфировым кимберлитом. Пространственное картирование свидетельствует, что неизменённым кимберлитом в приосевой части диатремы выполнено тело в плане округлой или овальной формы, которое в вертикальном разрезе прослеживается раздувами и пережимами вплоть до полного исчезновения с абсолютной отметки -219,0 м на глубину. Наблюдаемые характер контактов, выраженность формы, однородность вещественного состава, отсутствие проникающих извне участков интенсивных постмагматических изменений породы в объёме блоков неизменённого кимберлита дают основания рассматривать его в качестве отдельного геологического тела. Мнения специалистов о геологическом положении неизменённого кимберлита существенно расходятся.

Предшественниками в ходе исследований вещественного состава тр. Интернациональная были изучены основные аспекты минералогии, петрографии, химического состава неизменённого кимберлита. Охарактеризованы минеральный состав породы, а также химический состав вкрапленников и минералов ос-



новой массы. Неизменённый порфировый кимберлит не выделялся из объёма порфировых кимберлитов трубки [9, 16].

В ходе уточнения состава, строения, генезиса неизменённого порфирового кимберлита в тр. Интернациональная получены новые данные по внутреннему строению и химическому составу породы, характеристики порфировых вкрапленников и минералов основной массы. Дополнительно к результатам предшественников установлены неоднородное структурно-текстурное строение, валовый химический и микропримесный состав породы, наличие Na-Ca карбонатов в основной массе и продуктов распада моносulfидного твёрдого раствора во вкрапленниках оливина.

*Образцы и методы исследований.* Для изучения вещественного состава неизменённого кимберлита тр. Интернациональная использован материал монолитного образца массой около 15 кг из блока текущей добычи на горизонте с абсолютной отметкой -825 м. Окраска кимберлита серая, тёмно-серая. Структура породы порфировая, текстура массивная.

В штуфах и пластинах под биноклем Leica MZ12.5 выполнены анализ текстурно-структурных особенностей и подсчёт макрокомпонентного состава породы. Петрографические особенности изучены в шлифах с использованием поляризационного микроскопа Olympus BX51 с цифровой камерой SIAMS-анализатор-SIMAGIS XS-3CU.

Минеральный состав кимберлита определён с помощью рентгенодифрактометрического и термографического анализов (аналитик Ю. Б. Черепяхин). Рентгеновская дифрактометрия проб выполнена на дифрактометре ARL XTRA. Условия съёмки: дифрактометр ARL XTRA, CuK $\alpha$ -излучение,  $V = 40$  кВ,  $I = 40$  мА. Для расшифровки дифрактограм использована база данных PDF-2 (2013). Термографический анализ осуществлён на термоанализаторах DTG-60AH и DTG-60H (Shimadzu), скорость нагрева 20 °/мин,  $T = 1000$  °C.

Валовый химический и сокращённый микропримесный состав породы установлен с помощью атомно-эмиссионной масс-спектрометрии с эмиссией излучения индуктивно связан-

ной плазмой (AES-ICP-MS) по методике БГРЭ-МП5мод III класса точности. Измерения произведены на спектрометре iCAP 6300Duo (производитель Thermo Scientific, США) (аналитик М. В. Бурueva).

В аншлифах и плоскополированных шлифах выполнены детальные локальные исследования морфологии, взаимоотношений, состава минералов основной массы и вкрапленников. Использованы электронный микроскоп Tescan Mira 3 LMU (Чехия) (аналитик Т. А. Антонова) и рентгеновский микроанализатор Jeol JXA-8230 (аналитик Т. В. Степанова). Химический состав минералов основной массы и вкрапленников на Tescan Mira 3 LMU (Чехия) определён с помощью энергодисперсионного спектрометра (ЭДС) на базе детектора X-MAX<sup>N</sup> (Oxford Instruments, Ltd). Конкретные параметры работы варьировались в зависимости от задач. Наиболее часто применяли режимы SE, BSE, ускоряющее напряжение SEM HV 15–20 кВ, фокусное расстояние 15,0 мм, калибровка спектрометра X-MAX<sup>N</sup> проводилась по эталону Co. При работе на микроанализаторе Jeol JXA-8230 использовались следующие условия съёмки для определения состава минералов:  $V = 15$  или 20 кВ,  $I = 100$  нА, время анализа в точке 60 с. Основная часть измерений выполнена с привлечением ЭДС с внутренним стандартом Cu. Для количественного анализа состава оливина применён паспортизированный ИГМ им. В. С. Соболева СО РАН (г. Новосибирск) лабораторный стандарт оливина.

*Результаты исследований.* Неизменённый кимберлит тр. Интернациональная – весьма крепкая монолитная порода серой, тёмно-серой окраски. Порфировая структура обусловлена наличием зелёных, темно-зелёных вкрапленников оливина, единичных крупных зёрен фиолетово-красного граната и коричневаточёрного флогопита на фоне однородной мелкозернистой тёмно-серой основной массы. Текстура породы массивная. Присутствуют единичные (0,12 лин. % на ед. площади штуфа) мелкие ксенолиты глубинных и вмещающих пород.

В породе прослеживается сложное чередование локальных участков без признаков воздействия постмагматических процессов и со

слабой серпентинизацией. В первом случае состав кимберлита, %: оливин – 63–65, карбонаты (кальцит, доломит) – до 3–7, слюда – до 6, апатит – 0–6, рудные минералы (ильменит и др.) – 0–6, единичные зёрна пироксенов (0–3), смектиты – 5–6, гидрослюда – 0–2, галит – 6–7, цеолиты – 0–5, серпентин не зафиксирован. В серпентинизированном кимберлите содержание оливина понижается до 47–51 %, появляется серпентин (11–18 %), повышается содержание цеолитов, отмечен кварц.

Валовый петрохимический состав изученного кимберлита соответствует неконтamинированным ([25], С. I. = 1,03) кимберлитам группы I Южной Африки и близок к высокомагнезиальному низкокалийному типу ([8], при высоком содержании железа ( $\text{FeO}_{\text{общ.}} = 10,9 \text{ мас. \%}$ )). По имеющимся у нас данным все структурно-текстурные разновидности кимберлитов месторождения тр. Интернациональная являются неконтamинированными.

Химический состав неизменённого кимберлита изучаемой трубки характеризуется существенно более высокими, чем в других структурно-текстурных разновидностях, содержаниями  $\text{FeO}_{\text{общ.}}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{MnO}$ , а также микропримесных элементов Cr, Co, Ni, Sc, Cu, Ga, Nb, La, Ce, Sm, Pb, Dy, Er, Li. Незначительно повышено содержание  $\text{Na}_2\text{O}$ . Заметны более низкие содержания Ba и Sr (табл.).

В породе обнаружены шлиры порфировой (тип 1) и афировой (тип 2) структур. Согласованные и без взаимных пересечений контуры шлиров хорошо диагностируются в шлифах (рис. 1).

В шлирах порфировой структуры (тип 1) присутствуют многочисленные макрокристы оливина, единичные зёрна граната, флогопита, хромшпинелидов, фрагменты ксенолитов глубинных пород, отдельные прослои скопленных рудного минерала погружены в однородную мелкозернистую основную массу. Структура таких участков породы порфировая, текстура массивная. По ориентировке длинных осей вкрапленников устанавливаются признаки течения магматического расплава.

В шлирах афирового строения (тип 2) встречаются отдельные мелкие (до 0,2 мм) единич-

ные обломки силикатных минералов (в основном оливина), нет прослоев рудных минералов. Визуально порода афирового («базальтического») облика. Структура мелкозернистая, реже микролитовая. Микролиты выражены лейстами карбонатов и флогопита. Текстура породы массивная, но в отдельных участках ориентировкой микролитов зафиксирована директивная текстура течения расплава. Минеральный состав шлиров афировой структуры идентичен составу основной массы в шлирах с порфировыми вкрапленниками. Идентифицированы микрозернистые оливин (размерность до 0,08 мм), серпентин, карбонаты, флогопит, апатит, рудные и акцессорные минералы (циркон, перовскит). Установлено относительно повышенное содержание флогопита.

*Оливин* – доминирующий минерал среди вкрапленников и в основной массе всех типов шлиров. В количественном отношении в породе резко (77 % из 803 замеров по длинной оси зерна) доминируют индивиды менее 0,5 мм, 14 % занимают зёрна размерности  $-1,0+0,5 \text{ мм}$ . На зёрна оливина крупнее 1,0 мм приходится не более 9 % по количеству, но за счёт крупных вкрапленников в шлирах типа 1 они формируют 33,12–52,75 лин. % площади изученных штучков породы. В шлирах афирового строения преобладают зёрна существенно менее 0,1 мм при максимальном размере единичных обломков оливина до 0,25 мм.

Крупные ( $> 1,0 \text{ мм}$ ) зёрна оливина целые или представлены обломками неправильной, овальной, округлой формы. Индивиды с идиоморфной огранкой не встречены. Среди мелкого оливина преобладают обломки, но много зёрен пяти-, шестиугольного сечения со скруглёнными вершинами. Независимо от размерности оливин существенно трещиноватый.

Зёрна крупного оливина характеризуются однородным или зональным распределением форстеритового (Fo) минала. В центральной части зональных вкрапленников более высокое ( $\text{Fo}_{93-95}$ ), чем во внешней области ( $\text{Fo}_{90-93}$ ), содержание минала. В некоторых случаях также обнаружена весьма узкая внешняя кайма с ультравысоким ( $\text{Fo}_{94-96}$ ) содержанием Fo. Состав однородных зёрен крупного оливина аналогич-

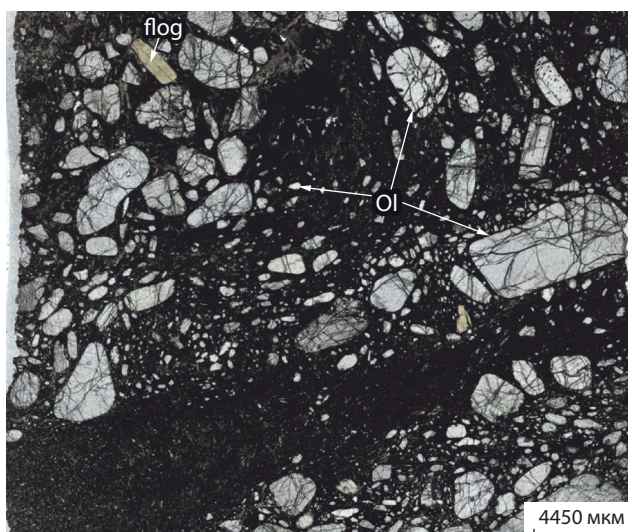


## Средний химический состав (мас. %) и содержание микропримесей (ppm) в основных структурно-текстурных разновидностях кимберлитов тр. Интернациональная

The average chemical composition (wt. %) and trace element content (ppm) in the main kimberlite structural and textural varieties, Internationalnaya pipe.

| Компоненты/микроэлементы       | АКБ (44) | ПК (36) | ПК (неизменённый кимберлит) (4) |
|--------------------------------|----------|---------|---------------------------------|
| SiO <sub>2</sub>               | 28,39    | 28,32   | 30,77                           |
| TiO <sub>2</sub>               | 0,38     | 0,44    | 0,84                            |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 2,44     | 2,22    | 1,82                            |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 5,43     | 4,89    | 10,9                            |
| CaO                            | 7,41     | 7,41    | 8,02                            |
| MgO                            | 29,85    | 30,23   | 31,82                           |
| MnO                            | 0,11     | 0,11    | 0,19                            |
| K <sub>2</sub> O               | 0,87     | 0,82    | 0,94                            |
| Na <sub>2</sub> O              | 1,79     | 1,71    | 2,12                            |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,39     | 0,47    | 1,01                            |
| S                              | 0,90     | 0,54    | 0,34                            |
| ППП                            | 22,83    | 23,12   | 10,64                           |
| Сумма                          | 100,79   | 100,28  | 99,41                           |
| Be                             | 2,67     | 2,28    | 0,95                            |
| V                              | 62,29    | 66,40   | 55,86                           |
| Cr                             | 720,22   | 1069,06 | 2304,3                          |
| Co                             | 50,73    | 45,95   | 78,88                           |
| Ni                             | 968,7    | 1106,3  | 1380                            |
| Sc                             | 9,98     | 12,91   | 22,45                           |
| Cu                             | 13,87    | 22,32   | 39,06                           |
| Zn                             | 66,01    | 31,31   | 76,51                           |
| Ga                             | 5,16     | 5,84    | 12,05                           |
| Rb                             | 25,94    | 29,9    | 20,37                           |
| Sr                             | 3212,54  | 4787,47 | 1137,09                         |
| Y                              | 10,07    | 10,35   | 10,37                           |
| Zr                             | 110,58   | 145,02  | 293,3                           |
| Nb                             | 86,01    | 116,51  | 192,07                          |
| Mo                             | 2,52     | 1,78    | 4,11                            |
| Ba                             | 858,54   | 954,52  | 444,44                          |
| La                             | 101,96   | 107,58  | 117,14                          |
| Ce                             | 156,37   | 174,22  | 206,32                          |
| Nd                             | 55,16    | 63,88   | 88,85                           |
| Sm                             | 7,21     | 9,15    | 18,12                           |
| Eu                             | 2,05     | 2,49    | 3,74                            |
| Dy                             | 1,14     | 1,3     | 4,83                            |
| Li                             | 36,48    | 22,64   | 58,48                           |
| Er                             | 0,79     | 1,1     | 2,39                            |
| Yb                             | 0,98     | 0,92    | 1,00                            |
| Pb                             | 13,82    | 10,55   | 30,27                           |
| Sn                             | 1,65     | 2,00    | 2,76                            |

Примечание. АКБ – автолитовая кимберлитовая брекчия; ПК – порфировый кимберлит (изменённый); ПК (неизменённый кимберлит) – изученный в работе неизменённый кимберлит; в скобках – число анализов; ППП – потери при прокаливании.



**Рис. 1. Шлиры кимберлита афировой структуры в неизменённом порфировом кимберлите из глубоких горизонтов тр. Интернациональная. Шлиф. Николи параллельны**

Ol – оливин, flog – флогопит

Fig. 1. Aphyric kimberlite schlieren in unaltered porphyry kimberlite from deep horizons of International pipe. Polished section. Nicolii II

Ol – olivine, flog – phlogopite

чен составу одной из внутренних зон, но совершенно не встречены отдельные зёрна с ультравысоким содержанием Fo.

Составы микрозёрен оливина из основной массы породы перекрывают весь спектр (Fo<sub>89–95</sub>) составов вкрапленников и одинаковы для всех типов шлиров. Спорадически встречаются редкие локальные участки слабосерпентинизированного оливина основной массы.

Во вкрапленниках найдены включения хромшпинелидов (хромит, Mg-магнетит), пикроильменита и продуктов распада моносulfидного раствора. Крупные целые зёрна и мелкие обломки оливина не серпентинизированы.

**Гранат** – встречается в виде единичных отдельных крупных зёрен округлой формы, а также в глубинных ксенолитах. Минерал не отмечен в шлирах афирового строения. Состав отдельных зёрен соответствует гранату дунит-гарцбургитового парагенезиса [14] (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> –

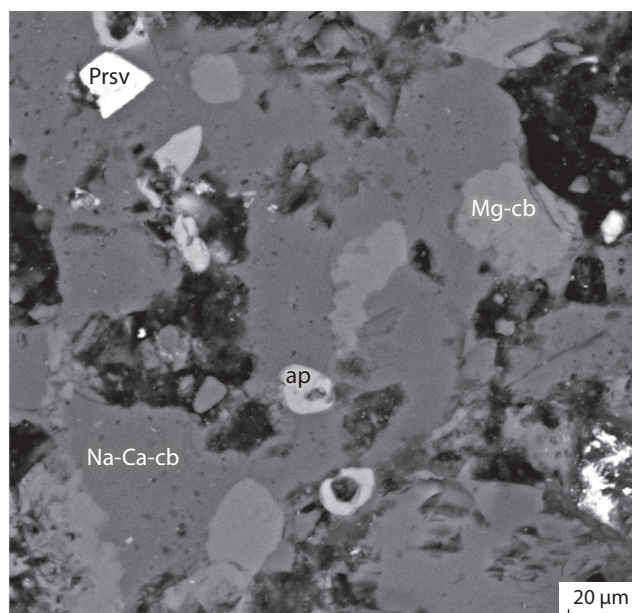
8,07 мас. %, CaO – 4,84 мас. %) и группы 10 [26]. Гранат часто флогопитизирован по периферии (келифитовая кайма), или замещающий реакционный флогопит прожилками проникает во внутренний объём зёрен.

**Флогопит** – развит в виде отдельных вкрапленников (до 1 мм), в келифитовой кайме и в прожилках в гранате, а также в виде микролитов в основной массе породы. Большинство вкрапленников минерала характеризуется зональным строением. В центре зерна относительно периферии повышенное содержание (мас. %) SiO<sub>2</sub> (42,11–42,32), K<sub>2</sub>O (8,69–9,54) и FeO<sub>общ.</sub> (4,03–4,46), пониженное содержание Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (15,11–15,58), TiO<sub>2</sub> (1,43–1,93), полностью отсутствует BaO. Внешняя зона отличается обратными соотношениями – понижается содержание (мас. %) SiO<sub>2</sub> (37,03–38,71), K<sub>2</sub>O (7,07–7,96) и FeO<sub>общ.</sub> (1,34–2,05), повышается Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (19,41–20,03), TiO<sub>2</sub> (1,72–2,43) и BaO (4,33–5,63).

Реакционный флогопит из наружной келифитовой каймы и внутренних прожилков в гранате также зональный. Непосредственно на границе с замещаемым гранатом минерал характеризуется постоянным наличием Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (до 2,11 мас. %) и отсутствием или низким (до 2,86 мас. %) содержанием BaO. На контакте с основной массой кимберлита в таком флогопите нередко фиксируется реакционная кайма Mg-Ti-магнетита или узкая зона с высоким (до 5,86 мас. %) содержанием BaO.

Микролиты флогопита основной массы характеризуются существенными вариациями BaO, но много микрозёрен с заметным (до 4,1 мас. %) содержанием примеси. Отмеченные для вкрапленников тенденции в соотношениях оксидов прослеживаются и в микролитах минерала.

**Карбонаты** – один из главных компонентов мелкозернистой основной массы во всех типах шлиров. Среди них доминирует мелкозернистый аллотриоморфной или лейстовидной формы кальцит с варьирующим содержанием MgO, реже встречается доломит. В основной массе кимберлита спорадически отмечаются локальные участки Na-Ca-карбонатов, которые ассоциируют с Mg-кальцитом, кальцитом. Содержание Na<sub>2</sub>O (13,45 мас. %) и CaO (36,02–36,71



**Рис. 2. Основная масса неизменённого кимберлита глубоких горизонтов тр. Интернациональная. Растровая электронная микроскопия**

Na-Ca-cb – Na-Ca-карбонат, Mg-cb – доломит, ap – апатит, Prsv – перовскит

**Fig. 2. Unaltered kimberlite matrix from Internationalnaya pipe deep horizons. Scanning electron microscopy**

Na-Ca-cb – Na-Ca-carbonate, Mg-cb – dolomite, ap – apatite, Prsv – perovskite

мас. %) сближает Na-карбонат с известным в кимберлитах тр. Удачная шортитом (рис. 2) [5, 6].

*Апатит* – весьма распространён в основной массе породы. Ассоциирует с серпентином, карбонатами. Преобладают микрокристаллы (до 15 мкм) футляровидной, скелетной формы.

*Рудная минерализация* в изученном кимберлите представлена единичными крупными (до 3 мм) вкрапленниками, включениями в оливине, флогопите и заметным количеством (в шлифах и аншлифах до 10 %) микрозёрен рудных минералов в основной массе породы. Установлены шпинелиды, перовскит, циркон, бадделейт, единичные зёрна пикроильменита и сульфидов.

В количественном отношении в породе резко преобладают рассеянные в основной массе микрозёрна Fe-шпинелидов от Mg-Ti-магнетита до алюмо-магнезиоферритов с широкими вариациями в содержании (мас. %)  $\text{TiO}_2$  (3,01–20,13), MgO (6,18–23,76),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (0,59–11,31),  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (0,0–14,95) и количеством  $\text{FeO}_{\text{общ.}}$  (46,78–69,17). Нередко Fe-шпинелиды формируют внешнюю реакционную кайму на флогопите и хромшпинелидах. Микрокристаллы и обломки минералов этого ряда неправильной и идиоморфной октаэдрической формы. На срезе Fe-шпинелидов нередко «атолловое» [29] внутреннее строение зёрен с повышенным содержанием  $\text{TiO}_2$  в центральной части.

Хромшпинелиды образуют идиоморфные микрокристаллы в крупных вкрапленниках оливина, флогопита и существенно реже в основной массе породы. Обнаружены единичные крупные овальной, круглой формы вкрапленники этого минерала. Установлены широкие вариации содержаний (мас. %)  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (36,96–57,13),  $\text{FeO}_{\text{общ.}}$  (24,01–37,54), MgO (8,59–25,96),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (0,00–9,31),  $\text{TiO}_2$  (0,78–5,56). Такие вариации состава соответствуют широкой группе Cr-шпинелидов от ультравысокохромистого пикрохромита до низкохромистого пикроферрихромита [3]. Встречаются зональные зёрна, где ядро хромшпинелида окружено периферийной зоной Mg-Ti-магнетита.

В породе заметно (до 7,3 % от общего количества рудных зёрен) распространён перовскит. Он представлен мелкими (до 20 мкм) идиоморфными зёрнами. Характеризуется устойчивой примесью  $\text{FeO}_{\text{общ.}}$ , La, Ce, Nd и очень высоким (в отдельных случаях до 20 мас. %) содержанием  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ .

В крупном оливине и основной массе породы встречены единичные зёрна пикроильменита. В минерале высокое содержание MgO (до 21,1 мас. %) и MnO (до 1,2 мас. %).

Исключительно в крупных вкрапленниках высокомагнезиального ( $\text{Fo}_{94}$ ) оливина встречены единичные включения агрегата продуктов распада глубинного моносulfидного твёрдого раствора. Включения имеют изометрическую шарообразную форму с веером распространяющихся в оливин радиальных трещин

декомпрессионного происхождения. Такие же морфологические особенности вокруг аналогичных включений наблюдаются в алмазах [17].

В центральной части агрегата (90 % среза) содержание Ni (17,76–26,55 мас. %), Cu (1,59–3,50 мас. %) соответствует Fe-Ni области составов включений моносльфидных твёрдых растворов в высокомагнезиальных оливинах [2] в кимберлитах. В периферийной части включения и в примыкающих радиальных трещинах узкая зона борнита с содержанием Ni (1,02–1,35 мас. %). Выявленные включения – признаки ликвации сульфидно-силикатной системы при охлаждении расплава с захватом капель сульфидного расплава кристаллизующимся в глубинных условиях оливином.

В кимберлите обнаружен обломок глубинного ксенолита с *оливин-клинопироксен-гранатовой минеральной ассоциацией*. В породе высокомагнезиальный ( $\text{Fo}_{93}$ ) оливин, хромдиоксид ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$  1,25 мас. %,  $\text{Na}_2\text{O}$  1,93 мас. %,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  2,6 мас. %,  $\text{FeO}_{\text{общ.}}$  1,46 мас. %) и флогопитизированный хромистый гранат [26] лерцолитового [14] ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$  1,75–2,21 мас. %,  $\text{CaO}$  4,22–4,50 мас. %) парагенезиса. В гранате присутствуют мелкие включения Cr-шпинели идиоморфной формы ( $\text{MgO}$  (17,50–17,62 мас. %),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (50,40–58,76 мас. %),  $\text{FeO}_{\text{общ.}}$  (15,35–17,36 мас. %),  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (6,52–16,44 мас. %)). В целом обломок соответствует метасоматизированному в глубинных условиях катаклазированному лерцолиту.

**Обсуждение.** Кимберлитовые трубки по совокупности признаков стоят несколько в стороне от типичных вулканических образований другого состава. Практически полное отсутствие поверхностных вулканических построек с явными эффузивными разновидностями (лавами), весьма редкая встречаемость вулканического стекла или продуктов его изменения не дают возможности уверенно применить классификации вулканических пород к кимберлитам. Разработаны узкоспециализированные на кимберлиты классификации, или привлекаются таксоны классификаций вулканических пород. При этом терминами «когерентный кимберлит (интрузивный, экструзивный)», «кимберлитовая брекчия с массивной текстурой цемента», «порфировый кимберлит», «афировый

кимберлит», «литокластолава», «кристаллокластолава» обозначены продукты непосредственной кристаллизации расплава (магмы) кимберлитового состава в гипабиссальных, диатремовых или кратерных условиях. Терминами «вулканокластический кимберлит» (с разделением на подтипы), «автолитовая кимберлитовая брекчия», «атакситовая брекчия», «эвтакситовая брекчия», «автобрекчия», «эксплозивная брекчия», «туф», «туффизит», «туфобрекчия», «кимберлитовая брекчия», «ксенотуфобрекчия» – продукты затвердевания дефрагментированного с автолитами, магмокластами, литокластами кимберлитов и гетерогенных пород, кристаллокластами и микрозернистой основной массой расплава в условиях вулканических/эксплозивных процессов в диатреме. Породы корневой зоны диатрем и зона гипабиссальных сопряжённых даек классифицируются в таксонах обеих групп в зависимости от конкретной ситуации и предпочитаемых исследователем точек зрения на генезис образований [1, 7, 10, 13, 24, 28, 30].

В неизменённом кимберлите из диатремовой части тр. Интернациональная отсутствуют автолиты, магмокласты или другие компоненты дефрагментированного расплава. Шлиры отражают строение поднимающейся перемещающейся гомогенной магмы. Мелкозернистая основная масса, идентичный состав основной массы шлиров разного типа, отсутствие гравитационной дифференциации зёрен минералов вкрапленников и основной массы, слабое развитие постмагматических преобразований – свидетельства быстрой кристаллизации несущего кимберлитового расплава. Экспериментальные данные подтверждают преимущественное появление тонкозернистой массы минералов, а не вулканического стекла, в процессе закалки низкокремниевых, в частности кимберлитовых, расплавов [20].

По совокупности структурно-текстурных признаков неизменённый порфировый кимберлит рассматриваемой тр. Интернациональная соответствует интрузивному когерентному кимберлиту в зарубежной классификации [31]. В отечественной систематике принято контрастное разделение эффузивных и вулкано-



кластических пород [18]. При таком делении трудно определиться с названием локализованной в глубокой части диатремы корневой/тыловой части единого потока магмы. Несомненным выходом для классификации породы недефрагментированного закристаллизованного в теле вулкана гомогенного расплава могут стать разработанные Е. Ф. Малеевым [11] принципы выделения фаций, генетических типов, формаций вулканических пород. С этой позиции тело неизменённого кимберлита в диатреме кимберлитовой тр. Интернациональная определяется как диатремовая фация кристаллолавы кимберлитового состава.

Кимберлитовый расплав, сформировавший тело неизменённого порфиорового кимберлита в тр. Интернациональная, судя по составу основной массы породы, рудно-апатит-карбонатно-силикатного состава. Необходимо отметить заметную роль фосфора в составе магмы.

Крупные вкрапленники силикатов (оливин, флогопит, гранат) и рудных минералов имеют ксеногенное происхождение и появились в кимберлите вследствие разрушения глубинных ксенолитов. На минералах наблюдаются признаки дезинтеграции и химических преобразований в кимберлитовом расплаве в глубинных и гипабиссальных условиях.

Порфировые вкрапленники оливина из неизменённого кимберлита трубки имеют признаки деформации и разрушения, растворения, а также перекристаллизации с нарастанием каймы более магнезиального оливина на первичном зерне в процессе регенерации. Размерность вкрапленников, морфология, внутреннее строение, состав зон, ассоциация включений из хромшпинелидов, пикроильменита, продуктов разложения моносulfидного раствора соответствуют выделяемому большинством исследователей кимберлитов оливину I генерации. Для большинства зёрен или внутренней части зёрен такого оливина исследователями установлена гетерогенная относительно кимберлита природа первоисточника [4, 15, 20–23, 27].

Между крупными вкрапленниками шлиров макрокристного строения и в шлирах афирового строения присутствует соразмерный минералам основной массы микрозернистый

(до 0,1 мм) гипидиоморфной формы оливин. Повсеместное распространение в породе такого оливина свидетельствует о его кристаллизации из остаточного расплава в диатреме тр. Интернациональная.

Для граната также наблюдаются признаки механической деформации и химических воздействий. Расплав кимберлита реагировал с вкрапленниками граната с образованием флогопита. В составе реакционного флогопита содержится примесь хрома и кальция. Вкрапленники флогопита и периферийная область образованного по гранату флогопита реагируют с кимберлитом с образованием внешней каймы в виде Ва-содержащей разновидности или присыпки новообразованного рудного минерала. Округлая форма крупных вкрапленников хромита косвенно говорит о его растворении расплавом.

Слабое проявление постмагматических процессов, особенности состава оливина, наличие Na-карбонатов сближают характеризующий кимберлит глубоких горизонтов тр. Интернациональная с давно известными и хорошо изученными проявлениями неизменённого кимберлита из трубок Мир и Удачная. Исследователи подметили существование общих для разных тел стадий эволюции кимберлитовых тел [12, 15, 19, 21].

Представленные особенности строения и состава в неизменённом порфиоровом кимберлите (интрузивном когерентном кимберлите) глубоких горизонтов тр. Интернациональная рассматриваются как характеристика отдельной фазы внедрения кимберлитовой магмы в диатремовой части трубки. Решение вопросов первичного состава, эволюции кимберлитовой магмы и трубок требует продолжения систематических исследований.

*Авторы работы выражают искреннюю признательность геологу рудника «Трубка Интернациональная» А. Т. Курневу, к. г.-м. наук А. А. Гибшер, д. г.-м. наук З. В. Спецусу, к. г.-м. наук А. В. Головину, к. г.-м. наук С. М. Саблукову за содействие в полевом опробовании, проведении лабораторных исследований, конструктивные обсуждения, замечания и помощь при подготовке публикации.*

## Список литературы

1. Владимиров Б. М., Костровицкий С. И., Соловьёва Л. В., Боткунов А. А., Фивейская Л. В., Егоров К. Н. Классификация кимберлитов и внутреннее строение кимберлитовых трубок. – М. : Наука, 1981. – 136 с.
2. Гаранин В. К. Минералогия кимберлитов и родственных им пород алмазоносных провинций России в связи с их генезисом и поисками : специальность 25.00.05 «Минералогия, кристаллография» : автореф. дис. на соискание учёного степеня кандидата геологических наук / Гаранин Виктор Константинович. – М. : МГУ, 2006. – 48 с.
3. Гаранин В. К., Кудрявцева Г. П., Марфуни А. С., Михайличенко О. А. Включения в алмазе и алмазоносные породы. – М. : МГУ, 1991. – 240 с.
4. Грязнов И. А., Карпович З. А., Ишутин И. А., Жимулев Е. И. Растворение макрокристов оливина в кимберлитовом расплаве при высоких  $P$ - $T$ -параметрах // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле». – 2019. – Т. 28. – С. 34–47.
5. Каменецкий И. С., Шарыгин В. В., Каменецкая М. Б., Головин А. В. Хлоридно-карбонатные нодулы в кимберлитах трубки Удачная: альтернативный взгляд на эволюцию кимберлитовых магм // Геохимия. – 2006. – № 9. – С. 1006–1012.
6. Корнилова В. П., Маршинцев В. К., Новоселов Ю. М. Шортит в кимберлитовых породах трубки Удачная-восточная // Бюллетень научно-технической информации. – 1981. – № 7. – С. 19–21.
7. Корнилова В. П., Никишов К. Н., Ковальский В. В., Зольников Г. В. Атлас текстур и структур кимберлитовых пород. – М. : Наука, 1983. – 157 с.
8. Костровицкий С. И., Морикио Т., Серов И. В., Амиржанов А. А. Изотопно-геохимическая систематика кимберлитов Сибирской платформы // Геология и геофизика. – 2007. – Т. 48, № 3. – С. 350–371.
9. Костровицкий С. И., Спеццус З. В., Яковлев Д. А., Фон-дер-Флаасс Г. С., Суворова Л. Ф., Богущ И. Н. Атлас коренных месторождений алмаза Якутской кимберлитовой провинции / отв. ред. Н. П. Похиленко. – Мирный : МГТ, 2015. – 480 с.
10. Лучицкий И. В. Палеовулканология. – М. : Наука, 1985. – 279 с.
11. Малеев Е. Ф. Критерии диагностики фаций и генетических типов вулканитов. – М. : Наука, 1975. – 256 с.
12. Маршинцев В. К., Мигалкин К. Н., Николаев Н. С., Барашков Ю. П. Неизменённый кимберлит тр. «Удачная-Восточная» // Доклады Академии наук СССР. – 1976. – Т. 231, № 4. – С. 961–964.
13. Саблуков С. М., Саблукова Л. И., Стегницкий Ю. Б., Карпенко А. А., Спиваков С. В. Вулканические породы трубки Нюрбинская: отражение верхней мантии региона от рифея до карбона, геодинамические следствия // Труды VIII Международного семинара «Глубинный магматизм, его источники и плюмы». – Владивосток : Институт географии СО РАН, 2008. – С. 137–138.
14. Соболев Н. В. Глубинные включения в кимберлитах и проблема состава верхней мантии. – Новосибирск : Наука, 1974. – 263 с.
15. Соболев Н. В., Соболев А. В., Томиленко А. А., Ковязин С. В., Батанова В. Г., Кузьмин Д. В. Парагенезис и сложная зональность вкрапленников оливина из неизменённого кимберлита трубки Удачная-Восточная (Якутия): связь с условиями образования и эволюцией кимберлита // Геология и геофизика. – 2015. – Т. 56, № 1–2. – С. 337–360.
16. Спеццус З. В., Корнилова В. П., Иванов А. С. Петрология кимберлитов глубоких горизонтов трубки Интернациональная // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России: материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции (18–20 апреля 2018 г.) в 2 т. – Якутск : СВФУ, 2018. – Т. 1. – С. 252–257.
17. Тэйлор Л. А., Ли Я. Включения сульфидов в алмазах не являются моносulfидным твёрдым раствором // Геология и геофизика. – 2009. – Т. 50, № 12. – С. 1547–1559.
18. Уткин Ю. В. Вулканогенные обломочные породы (систематика, строение, генетические типы) : учебное пособие. – Томск : ТГУ, 2017. – 142 с.
19. Харьков А. Д., Зинчук Н. Н., Крючков А. И. Коренные месторождения алмазов мира. – М. : Недра, 1998. – 555 с.
20. Чепуров А. И., Жимулев Е. И., Агафонов Л. В., Сонин В. М., Чепуров А. А., Томиленко А. А. Устойчивость ромбического и моноклинного пироксенов, оливина и граната в кимберлитовой магме // Геология и геофизика. – 2013. – Т. 54, № 4. – С. 533–544.
21. Шарыгин И. С., Литасов К. Д., Шацкий А. Ф., Головин А. В., Отани Е., Похиленко Н. П. Экспериментальное исследование плавления кимберлита трубки Удачная-Восточная при 3–6,5 ГПа и



- 900–1500 °C // Доклады Академии Наук. – 2013. – Т. 448, № 4. – С. 452–457.
22. Arndt N. T., Guitreau M., Boullie A. M., le Roex A., Tommasi A., Cordier P., Sobolev A. Olivine and the origin of kimberlite // *Journal of Petrology*. – 2010. – V. 51. – P. 573–602.
23. Brett R. C., Russelle J. R., Moss S. Origin of olivine in kimberlite: phenocryst or impostor? // *Lithos*. – 2009. – V. 112S. – P. 201–212.
24. Cas R. A. F., Porritt L., Pittari A., Hayman P. A new approach to kimberlite facies terminology using a revised general approach to the nomenclature of all volcanic rocks and deposits: descriptive to genetic // *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. – 2008. – V. 174. – P. 226–240.
25. Clement C. R. A comparative geological study of some major kimberlite pipes in the Northern Cape and Orange Free State : PhD thesis. – Cape Town, 1982.
26. Dawson J. B., Stephens W. E. Statistical classification of garnets from kimberlite and associated xenoliths // *The Journal of Geology*. – 1975. – V. 83. – P. 589–607.
27. Kamenetsky V. S., Kamenetsky M. B., Sobolev A. V., Golovin A. V., Demouchy S., Faure K., Sharygin V. V., Kuzmin D. V. Olivine in the Udachnaya-East kimberlite (Yakutia, Russia): types compositions and origins // *Journal of Petrology*. – 2008. – V. 49, № 4. – P. 823–839.
28. Lorenz V., Kurszlaukis S. Root zone processes in the phreatomagmatic pipe emplacement model and consequences for the evolution of maar-diatreme volcanoes // *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. – 2007. – V. 150. – P. 4–32.
29. Mitchell R. H. Kimberlites: mineralogy, geochemistry and petrology. – New York : Plenum Press, 1986. – 442 p.
30. Smith Scott B. H., Nowicki T. E., Russell J. K., Webb K. J., Mitchell R. H., Hetman C. M., Robby J. V. A Glossary of Kimberlite and Related Term. – North Vancouver, BC, Canada : Scott-Smith Petrology Inc. – 2018. – V. 1, № 3. – 144 p.
31. Smith Scott B. H., Nowicki T. E., Russell J. K., Webb K. J., Mitchell R. H., Hetman C. M. [et al.] Kimberlite terminology and classification // *Proceedings of the 10th International Kimberlite Conference. Journal of the Geological Society of India*. – 2013.

## References

1. Vladimirov B. M., Kostrovitskii S. I., Solov'eva L. V., Botkunov A. A., Fiveiskaya L. V., Egorov K. N. Klassifikatsiya kimberlitov i vnutrennee stroeniya kimberlitovykh trubok [Kimberlite classification and internal structure of kimberlite pipes], Moscow, Nauka Publ., 1981, 136 p.
2. Garanin V. K. Mineralogiya kimberlitov i rodstvennykh im porod almazonosnykh provintsii Rossii v svyazi s ikh genezisom i poiskami [Mineralogy of kimberlites and related rocks of diamond-bearing provinces of Russia in connection with their genesis and prospecting: Extended abstract of Doctor's thesis], Moscow, MGU Publ., 2006, 48 p.
3. Garanin V. K., Kudryavtseva G. P., Marfunin A. S., Mikhailichenko O. A. Vkluyeniya v almaze i almazonosnye породы [Inclusions in diamond and diamondiferous rocks], Moscow, MGU Publ., 1991, 240 p.
4. Gryaznov I. A., Karpovich Z. A., Ishutin I. A., Zhimulev E. I. Rastvorenie makrokristov olivina v kimberlitovom rasplave pri vysokikh *P-T*-parametrakh [Dissolution of olivine macrocrysts in kimberlite melt at high *P-T*-parameters], *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universitet. Seriya "Nauki o Zemle"* [Bulletin of Irkutsk State University. Series "Earth Sciences"], 2019, V. 28, pp. 34–47. (In Russ.).
5. Kamenetskii I. S., Sharygin V. V., Kamenetskaya M. B., Golovin A. V. Khloridno-karbonatnye noduli v kimberlitakh trubki Udachnaya: al'ternativnyi vzglyad na evolyutsiyu kimberlitovykh magm [Chloride-carbonate nodules in the kimberlites of the Udachnaya pipe: an alternative view of the evolution of kimberlite magmas], *Geokhimiya* [Geochemistry International], 2006, No 9, pp. 1006–1012. (In Russ.).
6. Kornilova V. P., Marshintsev V. K., Novoselov Yu. M. Shortit v kimberlitovykh porodakh trubki Udachnaya-vostochnaya [Shortite in kimberlite rocks of the Udachnaya-eastern pipe], *Byulleten' nauchno-tekhnicheskoi informatsii* [Bulletin of scientific and technical information], 1981, No 7, pp. 19–21. (In Russ.).
7. Kornilova V. P., Nikishov K. N., Koval'skii V. V., Zol'nikov G. V. Atlas tekstur i struktur kimberlitovykh porod [Atlas of textures and structures of kimberlite rocks], Moscow, Nauka Publ., 1983, 157 p.
8. Kostrovitskii S. I., Morikio T., Serov I. V., Amirzhanov A. A. Izotopno-geokhimicheskaya sistematika kimberlitov Sibirskoi platformy [Isotope-geochemical systematics of kimberlites of the Siberian plat-

- form], *Geologiya i geofizika* [Russian Geology and Geophysics], 2007, V. 48, No 3, pp. 350–371. (In Russ.).
9. Kostrovitskii S. I., Spetsius Z. V., Yakovlev D. A., Fonder-Flaass G. S., Suvorova L. F., Bogush I. N. Atlas korennykh mestorozhdenii almaza Yakutskoi kimberlitovoi provintsi [Atlas of primary diamond deposits of the Yakutsk kimberlite province], Mirniy, MGT Publ., 2015, 480 p.
10. Luchitskii I. V. Paleovulkanologiya [Paleovolcanology], Moscow, Nauka Publ., 1985, 279 p.
11. Maleev E. F. Kriterii diagnostiki fatsii i geneticheskikh tipov vulkanitov [Diagnostic criteria for facies and genetic types of volcanics], Moscow, Nauka Publ., 1975, 256 p.
12. Marshintsev V. K., Migalkin K. N., Nikolaev N. S., Barashkov Yu. P. Neizmenennyy kimberlit tr. “Udachnaya-Vostochnaya” [Unaltered kimberlite from the Udachnaya-Vostochnaya pipe], *Doklady Akademii nauk SSSR* [Reports of the USSR Academy of Sciences], 1976, V. 231, No 4, pp. 961–964. (In Russ.).
13. Sablukov S. M., Sablukova L. I., Stegnitskii Yu. B., Karpenko A. A., Spivakov S. V. Vulkanicheskie porody trubki Nyurbinskaya: otrazhenie verkhnei mantii regiona ot rifeya do karbona, geodinamicheskie sledstviya [Volcanic rocks of the Nyurbinskaya pipe: reflection of the upper mantle of the region from Riphean to Carboniferous, geodynamic consequences], *Trudy VIII Mezhdunarodnogo seminar “Glubinnyi magmatizm, ego istochniki i plyumy”* [Proceedings of the VIII International seminar “Deep magmatism, its sources and plumes”], Vladivostok, Institut geografii SO RAN Publ., 2008, pp. 137–138.
14. 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], Novosibirsk, Nauka Publ., 1974, 263 p.
15. Sobolev N. V., Sobolev A. V., Tomilenko A. A., Kovyzin S. V., Batanova V. G., Kuz'min D. V. Paragenezis i slozhnaya zonal'nost' vkraplennikov olivina iz neizmenennogo kimberlita trubki Udachnaya-Vostochnaya (Yakutiya): svyaz' s usloviyami obrazovaniya i evolyutsiei kimberlita [Paragenesis and complex zoning of olivine phenocrysts from unaltered kimberlite of the Udachnaya-Vostochnaya pipe (Yakutia): relationship with the conditions of formation and evolution of kimberlite], *Geologiya i geofizika* [Russian Geology and Geophysics], 2015, V. 56, No 1–2, pp. 337–360. (In Russ.).
16. Spetsius Z. V., Kornilova V. P., Ivanov A. S. Petrologiya kimberlitov glubokikh gorizontov trubki International'naya [Petrology of kimberlites of deep horizons of the International pipe], *Geologiya i mineral'no-syr'evye resursy Severo-Vostoka Rossii: materialy VIII Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* (18–20 aprelya 2018 g.) v 2 t [Geology and mineral resources of the North-East of Russia: materials of the VIII All-Russian scientific-practical conference (April 18–20, 2018) in 2 volumes], Yakutsk, SVFU Publ., 2018, V. 1, pp. 252–257.
17. Teilor L. A., Li Ya. Vkluycheniya sul'fidov v almazakh ne yavlyayutsya monosul'fidnym tverdyim rastvorom [Sulfide inclusions in diamonds are not monosulfide solid solutions], *Geologiya i geofizika* [Russian Geology and Geophysics], 2009, V. 50, No 12, pp. 1547–1559. (In Russ.).
18. Utkin Yu. V. Vulkanogennyye oblomochnye porody (sistematika, stroenie, geneticheskie tipy) [Volcanic clastic rocks (taxonomy, structure, genetic types)], Tomsk, TGU Publ., 2017, 142 p.
19. Khar'kiv A. D., Zinchuk N. N., Kryuchkov A. I. Korennyye mestorozhdeniya almazov mira [Primary diamond deposits of the world], Moscow, Nedra Publ., 1998, 555 p.
20. Chepurov A. I., Zhimulev E. I., Agafonov L. V., Sonin V. M., Chepurov A. A., Tomilenko A. A. Ustoichivost' rombicheskogo i monoklinnogo piroksenov, olivina i granata v kimberlitovoi magme [Stability of rhombic and monoclinic pyroxenes, olivine and garnet in kimberlite magma], *Geologiya i geofizika* [Russian Geology and Geophysics], 2013, V. 54, No 4, pp. 533–544. (In Russ.).
21. Sharygin I. S., Litasov K. D., Shatskii A. F., Golovin A. V., Otani E., Pokhilenko N. P. Eksperimental'noe issledovanie plavleniya kimberlita trubki Udachnaya-Vostochnaya pri 3–6,5 GPa i 900–1500 °C [Experimental study of the melting of kimberlite from the Udachnaya-Vostochnaya pipe at 3–6,5 GPa and 900–1500 °C], *Doklady Akademii Nauk* [Reports of the Academy of Sciences], 2013, V. 448, No 4, pp. 452–457. (In Russ.).
22. Arndt N. T., Guitreau M., Boullie A. M., le Roex A., Tommasi A., Cordier P., Sobolev A. Olivine and the origin of kimberlite, *Journal of Petrology*, 2010, V. 51, pp. 573–602.
23. Brett R. C., Russelle J. R., Moss S. Origin of olivine in kimberlite: phenocryst or impostor?, *Lithos*, 2009, V. 112S, pp. 201–212.
24. Cas R. A. F., Porritt L., Pittari A., Hayman P. A new approach to kimberlite facies terminology using a revised general approach to the nomenclature of all



volcanic rocks and deposits: descriptive to genetic, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 2008, V. 174, pp. 226–240.

25. Clement C. R. A comparative geological study of some major kimberlite pipes in the Northern Cape and Orange Free State: PhD thesis, Cape Town, 1982.
26. Dawson J. B., Stephens W. E. Statistical classification of garnets from kimberlite and associated xenoliths, *The Journal of Geology*, 1975, V. 83, pp. 589–607.
27. Kamenetsky V. S., Kamenetsky M. B., Sobolev A. V., Golovin A. V., Demouchy S., Faure K., Sharygin V. V., Kuzmin D. V. Olivine in the Udachnaya-East kimberlite (Yakutia, Russia): types compositions and origins, *Journal of Petrology*, 2008, V. 49, No 4, pp. 823–839.
28. Lorenz V., Kurszlaukis S. Root zone processes in the phreatomagmatic pipe emplacement model and con-

sequences for the evolution of maar-diatreme volcanoes, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 2007, V. 150, pp. 4–32.

29. Mitchell R. H. Kimberlites: mineralogy, geochemistry and petrology, New York, Plenum Press, 1986, 442 p.
30. Smith Scott B. H., Nowicki T. E., Russell J. K., Webb K. J., Mitchell R. H., Hetman C. M., Robby J. V. A Glossary of Kimberlite and Related Term, North Vancouver, BC, Canada, *Scott-Smith Petrology Inc.*, 2018, V. 1, No 3, 144 p.
31. Smith Scott B. H., Nowicki T. E., Russell J. K., Webb K. J., Mitchell R. H., Hetman C. M. [et al.] Kimberlite terminology and classification, *Proceedings of the 10th International Kimberlite Conference. Journal of the Geological Society of India*, 2013.

## Авторы

### Помазанский Богдан Степанович

старший научный сотрудник<sup>1</sup>  
PomazanskiyBS@alrosa.ru

### Монхоров Ричард Владимирович

ведущий инженер-геолог<sup>1</sup>  
MonhorovRV@alrosa.ru

### Антонова Татьяна Анатольевна

старший научный сотрудник<sup>1</sup>  
AntonovaTA@alrosa.ru

### Мальковец Владимир Григорьевич

кандидат геолого-минералогических наук,  
заведующий лабораторией<sup>1</sup>  
MalkovetsVG@alrosa.ru

### Кулагин Алексей Николаевич

главный геолог Мирнинско-Нюрбинского ГОКа<sup>2</sup>  
KulaginAN@alrosa.ru

### Шалкина Марина Владимировна

ведущий инженер-геолог<sup>1</sup>  
ShalkinaMV@alrosa.ru

### Батырь Виктория Ярославовна

инженер-технолог I категории<sup>1</sup>  
BatyrVYa@alrosa.ru

### Собакин Алексей Егорович

геолог I категории Вилуйской ГРЭ<sup>3</sup>  
SobakinAE@polymetal.ru

<sup>1</sup> НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО), г. Мирный

<sup>2</sup> Мирнинско-Нюрбинский горно-обогатительный комбинат (ГОК) АК «АЛРОСА» (ПАО), г. Мирный

<sup>3</sup> Вилуйская геологоразведочная (ГРЭ) АК «АЛРОСА» (ПАО), г. Мирный

## Authors

### Pomazansky Bogdan Stepanovich

senior researcher Research Geological Enterprise<sup>1</sup>  
PomazanskiyBS@alrosa.ru

### Monkhorov Richard Vladimirovich

leading engineer/geologist<sup>1</sup>  
MonhorovRV@alrosa.ru

### Antonova Tat'yana Anatol'evna

senior researcher<sup>1</sup>  
AntonovaTA@alrosa.ru

### Malkovets Vladimir Grigor'evich

Head of laboratory  
PhD<sup>1</sup>  
MalkovetsVG@alrosa.ru

### Kulagin Alexey Nikolaevich

chief geologist JSC ALROSA (PJSC)<sup>2</sup>  
KulaginAN@alrosa.ru

### Shalkina Marina Vladimirovna

leading engineer/geologist<sup>1</sup>  
ShalkinaMV@alrosa.ru

### Batyr'Viktoria Yaroslavovna

engineer<sup>1</sup>  
BatyrVYa@alrosa.ru

### Sobakin Alexey Egorovich

geologist<sup>3</sup>  
SobakinAE@polymetal.ru

<sup>1</sup> Research Geological Enterprise of JSC ALROSA, Mirny, Russia

<sup>2</sup> Mirny-Nyurbinsky mining and processing complex of JSC ALROSA, Mirny, Russia

<sup>3</sup> Mirny-Nyurbinsky mining and processing complex of JSC ALROSA, Mirny, Russia