

## Сравнительная характеристика парагенетических особенностей состава гранатов из некоторых кимберлитовых тел Мирнинского поля

©2023 Э. А. Чугуевская<sup>1✉</sup>, А. М. Хмельков<sup>1</sup>, А. С. Иванов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Вилюйская геологоразведочная экспедиция АК «АЛРОСА» (ПАО), 678190, Республика Саха (Якутия), п. Айхал, ул. Первооткрывателей, 1, Российская Федерация  
<sup>2</sup>Санкт-Петербургский горный университет, 199106, Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия, д. 2, Российская Федерация

### Аннотация

*Введение:* Проведены исследования составов гранатов по трем кимберлитовым телам Мирнинского поля (трубки Мир, Интернациональная и Дачная). Данное поле расположено в пределах Мало-Ботуобинского алмазоносного района Западной Якутии.

*Методика:* Парагенетическая принадлежность гранатов определена на основе их химического состава с использованием программы «MineralogicalAnalyse». Всего было изучено 3263 зерна гранатов. Изучение составов гранатов было выполнено на электронно-зондовом анализаторе.

*Результаты и обсуждение:* Результаты исследований показывают, что кимберлитовые тела Мирнинского поля, несмотря на схожий набор различных гранатовых парагенезисов, существенно различаются их процентным соотношением. Характерной особенностью гранатов изученных тел является довольно высокое суммарное содержание разностей эклогитового парагенезиса, особенно гранатов из слабоалмазоносных магнезиальных эклогитов.

*Выводы:* С помощью программы «MineralogicalAnalyse» предоставляется возможность не только надежно определять парагенетическую специализацию гранатов, но и проводить идентификацию шлиховых ореолов в процессе поиска новых кимберлитовых тел.

**Ключевые слова:** Мирнинское поле, кимберлитовые тела, химический состав, гранатовые парагенезисы, алмазоносность.

*Для цитирования:* Чугуевская Э. А., Хмельков А. М., Иванов А. С. Сравнительная характеристика парагенетических особенностей состава гранатов из некоторых кимберлитовых тел Мирнинского поля // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. 2023. № 2. С. 19–27. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2023/2/19-27>

### Введение

Химизм гранатов из кимберлитов тесно связан с процессами глубинного (мантийного) образования минералов. В этой связи определение парагенетической принадлежности гранатов на основе их состава имеет важное практическое значение, предоставляя информацию о глубинных источниках дан-

ного минерала в кимберлитовых телах и характере их алмазоносности.

Мирнинское кимберлитовое поле локализовано в пределах Мало-Ботуобинского алмазоносного района Западной Якутии. Открытие данного поля произошло в 1955 году, когда геологами Амакинской экспедиции была обнаружена первая кимбер-



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

✉ Чугуевская Эльвира Александровна, e-mail: [KulaninaEA@alrosa.ru](mailto:KulaninaEA@alrosa.ru)

литовая трубка Мир в данном районе. На сегодня в пределах Мирнинского поля известно девять кимберлитовых тел среднепалеозойского возраста, среди которых семь трубок размером до нескольких сотен метров и два жильных тела небольшой мощности. Отдельные тела выходят на дневную поверхность, как, например, тр. Мир, другие перекрыты чехлом осадочных отложений мощностью до 21 м (тр. Дачная). В структурно-тектоническом плане все кимберлитовые тела в пределах поля вытянуты в виде двух субмеридиональных зон и приурочены преимущественно к двум глубинным разломам. Так, трубка Интернациональная (тр. Интер) тяготеет к зоне Западного разлома, тогда как трубки Мир и Дачная – к Параллельному разлому [1].

Все кимберлитовые тела Мирнинского поля являются алмазоносными. Кимберлитовые трубки Интер ( $> 5$  кар/т) и Мир ( $> 3$  кар/т) по степени алмазности являются уникальными телами и характеризуются весьма высокой алмазностью, трубка Дачная отнесена к высокоалмазоносным телам ( $> 1$  кар/т). Отличительной особенностью алмазов из кимберлитов Мирнинского поля является повышенное содержание среди них октаэдров (до 70–80 %) при минимальном количестве типичных округлых камней (от долей процента до 5–7 %). При этом содержание плоскогранных октаэдров достигает 20 % («мирнинский» тип) [1].

#### Методика исследований

Обработке, пересчету и изучению были подвергнуты химические анализы гранатов по трем кимберлитовым телам Мирнинского поля – трубкам Мир, Интер и Дачная.

Изначально состав гранатов из кимберлитовых тел был исследован в Центральной аналитической лаборатории акционерной компании «АЛРОСА» на электронном пятиканальном волновом микроанализаторе JXA-8800R японской фирмы «Джеол», оснащенный рентгеноспектральной приставкой LINK-ISIS 300 английской фирмы «Оксфорд». Энергетическое разрешение микронзондовой системы составляет 133 Эв. Определение содержания элементов выполнялось с относительной погрешностью не более 5% при чувствительности до 10 п.ррм. Полный количественный анализ осуществлялся с ускоряющим напряжением 20 кВ при токе пучка 10 нА.

Полученные в результате электронно-зондовых исследований химические анализы гранатов были подвергнуты обработке и пересчету с помощью оригинальной компьютерной программы «Mineralogical Analyse» с целью выяснения их парагенетической специализации [2].

Алгоритм обработки и пересчета химических составов с целью определения парагенезиса кимберлитовых минералов изложен в целом ряде опубликованных работ [2–5 и др.]. Здесь лишь отметим, что определение парагенетической принадлежности гранатов программа осуществляет с помощью статисти-

ческих методов, сопоставляя их состав с составами данного минерала из эталонных парагенезисов, внесенных в базу программы «MineralogicalAnalyse». В результате выполненного пересчета каждому конкретному составу гранатов программой автоматически прописывается соответствующий парагенезис в виде аббревиатуры из словосочетания начальных букв его названия.

Всего с использованием программы «Mineralogical Analyse» было пересчитано и проанализировано 3263 химических состава гранатов, в том числе из трубки Мир – 914 анализов, из трубки Интер – 1494 анализа и из трубки Дачная – 854 анализа.

#### Обсуждение результатов

Результаты определения парагенетической специализации гранатов из кимберлитовых тел Мирнинского поля на основе их состава приведены на рисунке 1. Из данного рисунка следует, что для гранатов из изученных кимберлитовых трубок Мирнинского поля характерно значительное разнообразие парагенетических групп. В целом в трех кимберлитовых трубках идентифицировано 34 различных парагенетических группы гранатов. Наибольшим разнообразием парагенезисов среди гранатов отличается трубка Мир, несмотря на то, что по количеству анализов данное тело значительно уступает трубке Интер (рис. 1). Всего в кимберлитах трубки Мир среди гранатов программой «MineralogicalAnalyse» определено 32 парагенезиса. Гранаты из трубки Интер также довольно разнообразны и по составу соответствуют 30 различным парагенетическим группам. В трубке Дачная программой идентифицировано среди гранатов 24 парагенезиса. В представленной ниже таблице 1 показаны отличительные особенности составов гранатов из кимберлитов Мирнинского поля по выделенным программой парагенетическим группам.

Кроме значительного разнообразия гранатовых парагенезисов в кимберлитовых телах Мирнинского поля, из рисунка 1 хорошо видно, что приведенные кимберлитовые трубки, несмотря на, казалось бы, схожий набор парагенетических групп, значительно различаются по их процентному соотношению. Так, в трубке Мир преобладают гранаты (20.0 %), по составу соответствующие разностям из неалмазоносных лерцолитов и вебстеритов (НЛВ-парагенезис). В кимберлитах тр. Интер, в отличие от тр. Мир, наиболее распространены высокохромистые гранаты из потенциально алмазоносных лерцолитов (ПАЛВ-парагенезис) – 18.9 %. В свою очередь в трубке Дачная наибольшее количество гранатов (18.0 %) соответствует разностям из потенциально алмазоносных лерцолитов со среднехромистым гранатом (ПАЛС-парагенезис), что существенно отличает данное тело как от тр. Мир, так и от трубки Интер. Кроме этого, в трубках Мир и Интер присутствуют гранаты из высокоалмазоносных магнезиально-железистых эклогитов, которые не отмечены в трубке Дачная. Обычно гранаты ВАМЖЭ-парагенезиса характерны для кимберлитовых тел,

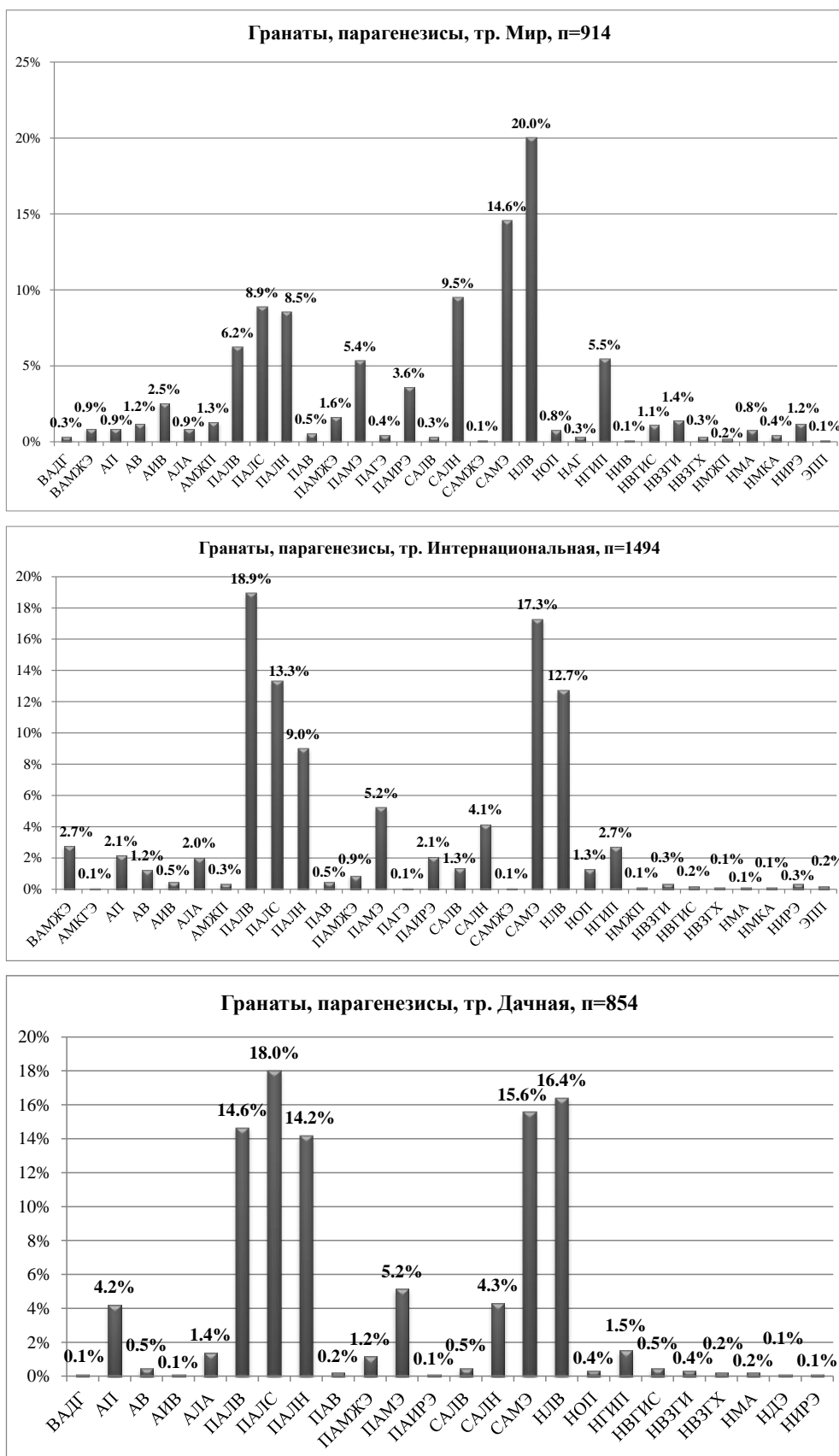


Рис. 1. Результаты парагенетической классификации гранатов Мирнинского поля на основе их состава: ВАДГ – из высокоалмазоносных дунитов и гарцбургитов; ВАМЖЭ – из высокоалмазоносных магнезиально-железистых эклогитов; АП – из алмазоносных перидотитов; АЛА – из алмазоносных лерцолитов с аномальнохромистым гранатом; АИВ – из алмазоносных ильменитовых

верлитов; *AB* – из алмазоносных вебстеритов; *AMЖП* – из алмазоносных магнезиально-железистых пироксенитов; *AMКГЭ* – из алмазоносных магнезиальных кальциево-глиноземистых эклогитов; *ПАЛВ* – из потенциально алмазоносных лерцолитов с высокохромистым гранатом; *ПАЛС* – из потенциально алмазоносных лерцолитов со среднехромистым гранатом; *ПАЛН* – из потенциально алмазоносных лерцолитов с низкохромистым гранатом; *ПАВ* – из потенциально алмазоносных верлитов; *ПАИРЭ* – из потенциально алмазоносных ильменит-рутиловых эклогитов; *ПАМЖЭ* – из потенциально алмазоносных магнезиально-железистых эклогитов; *ПАГЭ* – из потенциально алмазоносных глиноземистых эклогитов; *ПАМЭ* – из потенциально алмазоносных магнезиальных эклогитов; *САЛВ* – из слабоалмазоносных лерцолитов с высокохромистым гранатом; *САЛН* – из слабоалмазоносных лерцолитов с низкохромистым гранатом; *САМЭ* – из слабоалмазоносных магнезиальных эклогитов; *САМЖЭ* – из слабоалмазоносных магнезиально-железистых эклогитов; *НЛВ* – из неалмазоносных лерцолитов и вебстеритов; *НИВ* – из неалмазоносных ильменитовых верлитов; *НМА* – из неалмазоносных магнезиальных алькремитов; *НМКА* – из неалмазоносных магнезиально-кальциевых алькремитов; *НМЖП* – из неалмазоносных магнезиально-железистых пироксенитов; *НДЭ* – из неалмазоносных дистеновых эклогитов; *НИРЭ* – из неалмазоносных ильменит-рутиловых эклогитов; *НГИП* – из неалмазоносных гранат-ильменитовых перидотитов и пироксенитов; *НОП* – из неалмазоносных ортопироксенитов; *НАГ* – из неалмазоносных гарцбургитов (флогопит-гранат-ильменитовых); *НВЗГХ* – зональные гранаты с включениями хромшпинелидов из неалмазоносных ксенолитов, в том числе верлитов; *НВЗГИ* – зональные гранаты с включениями ильменита из неалмазоносных ксенолитов, в том числе верлитов; *НВГИС* – гранат-ильменитовые сростки из неалмазоносных ксенолитов, в том числе верлитов; *ЭПП* – из эклогитоподобных пород.

[Fig. 1. Results of paragenetic classification of garnets of the Mirny field based on their composition: *HDDH* - from highly diamond-bearing dunites and harzburgites; *HDMFE* - from highly diamond-bearing magnesian-ferruginous eclogites; *DP* - from diamondiferous peridotites; *DLA* - from diamondiferous lherzolites with anomalous chromium garnet; *DIW* - from diamond-bearing ilmenite wehrlites; *DW* - from diamondiferous websterites; *DMFP* - from diamond-bearing magnesian-ferruginous pyroxenites; *DMCAE* - from diamond-bearing magnesian calcium-aluminous eclogites; *PALV* - from potentially diamondiferous lherzolites with high-chromium garnet; *PDLM* - from potentially diamondiferous lherzolites with medium chromium garnet; *PDLL* - from potentially diamondiferous lherzolites with low-chromium garnet; *PDW* - from potentially diamond-bearing wehrlites; *PDIRE* - from potentially diamond-bearing ilmenite-rutile eclogites; *PDMFE* - from potentially diamond-bearing magnesian-ferruginous eclogites; *PDAE* - from potentially diamondiferous aluminous eclogites; *PDME* - from potentially diamond-bearing magnesian eclogites; *WDLH* - from weakly diamond-bearing lherzolites with high-chromium garnet; *WDLL* - from weakly diamond-bearing lherzolites with low-chromium garnet; *WDME* - from weakly diamond-bearing magnesian eclogites; *WDMFE* - from weakly diamond-bearing magnesian-ferruginous eclogites; *NLW* - from non-diamond-bearing lherzolites and websterites; *NIW* - from non-diamond-bearing ilmenite wehrlites; *NMA* - from non-diamond-bearing magnesian alcremites; *NMCA* - from non-diamond-bearing magnesian-calcium alcremites; *NMFP* - from non-diamond-bearing magnesian-ferruginous pyroxenites; *NDE* - from non-diamond-bearing disthene eclogites; *NIRE* - from non-diamond-bearing ilmenite-rutile eclogites; *NGIP* - from non-diamond-bearing garnet-ilmenite peridotites and pyroxenites; *NOP* - from non-diamond-bearing orthopyroxenites; *NDH* - from non-diamond-bearing harzburgites (phlogopite-garnet-ilmenite); *NWZGC* - zoned garnets with inclusions of chrome spinel from non-diamond-bearing xenoliths, including wehrlites; *NWZGI* - zoned garnets with ilmenite inclusions from non-diamond-bearing xenoliths, including wehrlites; *NWGI* - garnet-ilmenite intergrowths from non-diamond-bearing xenoliths, including wehrlites; *ELR* - from eclogite-like rocks.]

обладающих повышенной алмазоносностью. Процент гранатов данного парагенезиса довольно значительный как в трубке Мир (0.9 %), так и, особенно, в трубке Интер (2.7 %). При этом в трубке Интер не идентифицированы гранаты из высокоалмазоносных дунитов и гарцбургитов (ВАДГ-парагенезис), которые присутствуют в двух других трубках в количестве 0.1–0.3 %. И это несмотря на наибольшее количество анализов из трубки Интер по сравнению с другими телами. В то же время во всех трубках присутствуют гранаты из алмазоносных перидотитов (АП-парагенезис), в том числе и в трубке Интер (2.1%), которые достаточно близки по составу к гранатам ВАДГ-парагенезиса [2]. Гранаты из алмазоносных перидотитов, в отличие от разностей из высокоалмазоносных дунитов и гарцбургитов, характеризуются лишь несколько более низкими параметрами по хрому и более высоким содержанием глинозема (табл. 1). Содержание гранатов АП-парагенезиса варьирует от 0.9 % в тр. Мир до 4.2 % в тр. Дачная.

Следует также обратить внимание, что в трубке Интер программой «MineralogicalAnalyse» идентифицированы гранаты из алмазоносных магнезиальных кальциево-глиноземистых эклогитов, которые отсутствуют в трубках Мир и Дачная. Гранаты данного АМКГЭ-парагенезиса относятся к высококальциевым низкохромистым алмадин-гроссуляр-пиропам [2] и встречаются довольно редко даже в алмазоносных телах. Их отличительной особенностью является по-

вышенное содержание кальция и глинозема при относительно невысоком для эклогитовых разностей содержании железа (табл. 1). Помимо этого, в трубках Мир и Интер присутствуют гранаты из алмазоносных магнезиально-железистых пироксенитов (АМЖП-парагенезис) в количестве 1.3 % и 0.3 %, соответственно, которые также не характерны для тр. Дачная (рис. 1).

Кроме отмеченных выше алмазоносных парагенезисов, во всех изученных кимберлитовых телах также присутствуют гранаты из алмазоносных вебстеритов (АВ-парагенезис), алмазоносных ильменитовых верлитов (АИВ-парагенезис) и алмазоносных лерцолитов с аномальнохромистым гранатом (АЛА-парагенезис).

Содержание гранатов алмазоносного АВ-парагенезиса варьирует от 0.5 % в тр. Дачная, до 2.5 % в тр. Мир. Для разностей данного парагенезиса характерны низкие содержания хрома и магния (табл.) при достаточно высокой железистости, хотя по компонентному составу они относятся к алмадин-пиропам. Кроме этого, в большинстве случаев гранаты АВ-парагенезиса обладают повышенным содержанием натрия (до 0.2 мас.% Na<sub>2</sub>O). Гранаты с подобным составом были обнаружены в виде включений в алмазах из кимберлитов тр. Нюрбинская [6, 7].

Содержание гранатов, по составу отвечающим разностям из алмазоносных ильменитовых верлитов (АИВ-парагенезис), колеблется от 0.1 % в тр. Дачная до 2.5 % в тр. Мир.

Табл. 1. Составы гранатов по парагенезисам из кимберлитов Мирнинского поля (трубки Мир, Ингер и Дачная)  
 [Table 1. Compositions of garnets by parageneses from kimberlites of the Mirny field (Mir, Inter and Dachnaya pipes)]

| № п.п.<br>[№ in order] | Парагенезис<br>[Paragenesis] | содержание в мас.%. мин.-макс.<br>[content in wt.%. min.-max.] |                  |                                |                                |           |             |             |                   |             |  |  |
|------------------------|------------------------------|--|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------|-------------|-------------|-------------------|-------------|--|--|
|                        |                              | SiO <sub>2</sub>   | TiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MnO       | MgO         | CaO         | Na <sub>2</sub> O | FeTot       |  |  |
| 1                      | 2                            | 3  | 4                | 5                              | 6                              | 7         | 8           | 9           | 10                | 11          |  |  |
| 1                      | ВАДГ                         | 40.37-41.67  | 0.03-0.06        | 15.40-15.82                    | 10.1-10.71                     | 0.4-0.45  | 20.86-22.04 | 1.83-4.04   | 0.02-0.03         | 6.81-6.98   |  |  |
| 2                      | ВАМЖЭ                        | 37.37-40.68  | 0.0-0.42         | 20.06-22.33                    | 0.0-0.10                       | 0.05-0.88 | 6.89-10.55  | 8.72-12.46  | 0.0-0.17          | 16.22-23.31 |  |  |
| 3                      | АП                           | 40.49-43.36  | 0.0-0.57         | 15.68-18.90                    | 6.11-9.99                      | 0.0-0.59  | 20.58-23.39 | 0.97-4.40   | 0.0-0.11          | 6.37-7.87   |  |  |
| 4                      | АЛА                          | 39.23-42.84  | 0.0-0.58         | 13.27-17.34                    | 8.44-11.80                     | 0.0-0.53  | 17.28-20.07 | 4.64-7.56   | 0.0-0.15          | 6.35-8.19   |  |  |
| 5                      | АИВ                          | 39.50-41.60  | 0.0-2.16         | 17.98-21.78                    | 0.05-4.75                      | 0.0-0.67  | 15.42-18.63 | 4.14-6.82   | 0.0-0.22          | 10.82-14.30 |  |  |
| 6                      | АВ                           | 40.17-41.96  | 0.0-0.53         | 20.96-23.22                    | 0.0-0.60                       | 0.0-0.91  | 14.78-17.60 | 3.05-5.02   | 0.0-0.20          | 14.14-17.82 |  |  |
| 7                      | АМЖП                         | 39.10-41.33  | 0.09-0.51        | 21.12-22.55                    | 0.0-0.24                       | 0.32-0.56 | 11.78-13.60 | 2.98-7.03   | 0.02-0.19         | 16.91-21.33 |  |  |
| 8                      | АМКГЭ                        | 41.31  | 0.09             | 22.95                          | 0.22                           | 0.18      | 17.85       | 8.55        | 0.03              | 8.50        |  |  |
| 9                      | ПАЛВ                         | 39.84-42.43  | 0.0-1.15         | 15.37-19.57                    | 5.51-10.58                     | 0.0-0.61  | 17.27-21.27 | 3.66-9.05   | 0.0-0.18          | 6.35-9.19   |  |  |
| 10                     | ПАЛС                         | 39.51-42.68  | 0.0-0.90         | 17.75-21.06                    | 3.60-6.89                      | 0.0-0.61  | 17.19-24.19 | 1.06-8.53   | 0.0-0.14          | 6.16-9.43   |  |  |
| 11                     | ПАЛН                         | 40.20-44.68  | 0.0-1.00         | 16.90-22.49                    | 1.29-6.55                      | 0.0-0.51  | 19.33-24.21 | 0.83-5.08   | 0.0-0.18          | 5.86-8.96   |  |  |
| 12                     | ПАВ                          | 39.71-41.27  | 0.09-0.56        | 15.69-18.59                    | 4.86-9.55                      | 0.29-0.55 | 13.94-16.59 | 9.18-13.38  | 0.0-0.01          | 6.68-9.14   |  |  |
| 13                     | ПАИРЭ                        | 37.66-40.56  | 0.04-0.54        | 20.14-22.66                    | 0.0-0.26                       | 0.26-0.87 | 7.85-12.26  | 5.25-8.65   | 0.01-0.24         | 17.12-25.64 |  |  |
| 14                     | ПАМЖЭ                        | 39.88-42.18  | 0.09-1.04        | 20.47-23.08                    | 0.04-2.25                      | 0.11-0.55 | 14.89-18.95 | 4.02-7.04   | 0.0-0.14          | 12.24-14.46 |  |  |
| 15                     | ПАГЭ                         | 39.77-41.41  | 0.24-0.59        | 21.65-223.9                    | 0.01-0.09                      | 0.14-0.28 | 9.30-13.13  | 12.02-16.29 | 0.05-0.10         | 9.40-14.61  |  |  |
| 16                     | ПАМЭ                         | 40.36-43.98  | 0.0-1.39         | 20.68-24.32                    | 0.04-2.55                      | 0.0-0.54  | 19.45-23.18 | 2.26-6.98   | 0.0-0.14          | 5.80-11.07  |  |  |
| 17                     | САЛВ                         | 39.62-41.48  | 0.03-0.58        | 15.07-16.60                    | 7.74-9.75                      | 0.25-0.54 | 17.09-19.73 | 4.96-7.86   | 0.0-0.19          | 6.43-8.37   |  |  |
| 18                     | САЛН                         | 39.51-42.97  | 0.0-1.11         | 19.71-22.33                    | 0.50-3.23                      | 0.0-0.55  | 18.82-21.63 | 3.26-5.13   | 0.0-0.18          | 7.11-10.90  |  |  |
| 19                     | САМЭ                         | 39.11-43.65  | 0.0-1.84         | 18.12-22.42                    | 1.99-6.27                      | 0.0-0.67  | 17.18-21.02 | 3.67-9.05   | 0.0-0.17          | 6.19-10.08  |  |  |
| 20                     | САМЖЭ                        | 40.79-40.81  | 0.20-0.36        | 20.23-22.61                    | 0.09-2.13                      | 0.34-0.58 | 14.52-14.60 | 5.40-5.92   | 0.02-0.09         | 16.13-17.07 |  |  |
| 21                     | НЛВ                          | 39.62-43.23  | 0.0-0.83         | 19.37-23.76                    | 0.09-4.46                      | 0.0-0.59  | 18.26-21.19 | 3.46-7.28   | 0.0-0.15          | 5.91-10.67  |  |  |
| 22                     | НИВ                          | 41.33  | 0.17             | 22.15                          | 0.40                           | 0.44      | 17.51       | 6.83        | 0.04              | 12.89       |  |  |
| 23                     | НМА                          | 41.31-44.16  | 0.0-0.28         | 21.79-23.95                    | 0.22-3.10                      | 0.07-0.43 | 21.75-26.60 | 0.66-5.45   | 0.0-0.02          | 5.05-7.75   |  |  |

Продолжение Табл. 1  
[Continued Table 1]

| 1  | 2     | 3           | 4         | 5           | 6          | 7         | 8           | 9          | 10        | 11          |
|----|-------|-------------|-----------|-------------|------------|-----------|-------------|------------|-----------|-------------|
| 24 | НМКА  | 40.87–41.50 | 0.0–0.46  | 22.59–23.01 | 0.18–0.85  | 0.09–0.46 | 13.68–17.93 | 8.54–12.48 | 0.0       | 7.68–8.91   |
| 25 | НМЖП  | 39.16–40.70 | 0.06–0.19 | 20.09–21.56 | 0.04–2.10  | 0.46–0.61 | 13.78–14.68 | 2.87–5.04  | 0.0–0.11  | 15.63–20.78 |
| 26 | НГИП  | 40.01–42.40 | 0.0–1.64  | 19.93–23.81 | 0.0–1.95   | 0.0–0.63  | 17.64–19.84 | 3.3–6.11   | 0.0–0.17  | 10.08–14.07 |
| 27 | НОП   | 40.07–42.09 | 0.0–1.03  | 17.89–21.18 | 0.48–5.77  | 0.0–0.63  | 17.11–19.10 | 3.26–7.35  | 0.0–0.14  | 7.96–10.92  |
| 28 | НАГ   | 41.82–42.22 | 0.13–1.89 | 19.47–21.71 | 1.0–2.35   | 0.23–0.36 | 20.90–21.28 | 3.27–3.55  | 0.05–0.13 | 10.17–11.96 |
| 29 | НВЗГХ | 39.66–40.66 | 0.0–0.41  | 15.55–16.86 | 6.76–10.55 | 0.0–0.66  | 12.75–16.40 | 7.06–10.06 | 0.0–0.09  | 8.39–12.81  |
| 30 | НВЗГИ | 39.43–41.00 | 0.0–0.51  | 18.02–19.96 | 3.71–6.11  | 0.31–0.82 | 13.22–17.20 | 6.59–12.52 | 0.0–0.11  | 7.33–15.26  |
| 31 | НВГИС | 39.88–41.65 | 0.0–0.54  | 17.61–21.60 | 2.51–6.16  | 0.0–0.61  | 14.91–17.18 | 5.83–8.38  | 0.0–0.11  | 9.31–15.04  |
| 32 | НДЭ   | 38.90       | 0.27      | 13.15       | 11.16      | 0.47      | 10.13       | 16.70      | 0.02      | 7.28        |
| 33 | НИРЭ  | 39.88–41.05 | 0.0–0.56  | 21.42–23.12 | 0.01–0.22  | 0.0–0.46  | 9.84–13.20  | 8.16–12.34 | 0.0–0.19  | 13.49–17.51 |
| 34 | ЭПП   | 40.86–41.18 | 0.27–0.50 | 22.09–22.53 | 0.01–0.19  | 0.23–0.32 | 15.61–15.97 | 7.28–8.00  | 0.04–0.13 | 11.44–12.0  |

Количество гранатов АЛА-парагенезиса в изученных трубках более стабильное и составляет 0.9 % в тр. Мир, 1.4 % в тр. Дачная и 2.0 % в тр. Интер. Аномальнохромистые гранаты из алмазоносных лерцолитов обладают повышенной хромистостью, в большинстве случаев превышающей 10 мас.% Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, при повышенном содержании кальция (табл. 1). Гранаты АЛА-парагенезиса имеют в своем составе значительную долю уваровитового компонента [2].

Суммарное содержание высокоалмазоносных и алмазоносных парагенезисов среди общей ассоциации гранатов, объединяющей ультраосновные, эклогитовые и пироксенитовые разности, варьирует от 6.3 % в тр. Дачная до 8.0 % в тр. Мир и 9.0 % в тр. Интер (рис. 1). Как видим, наименьшее суммарное содержание гранатов высокоалмазоносных и алмазоносных парагенезисов отмечается в тр. Дачная, которая, по сравнению с двумя другими телами, обладает и значительно более низкими параметрами по алмазоносности.

Общей особенностью гранатов из кимберлитов Мирнинского поля, присущей всем изученным телам, является повышенное содержание среди них разностей эклогитовой ассоциации. Так, общее содержание гранатов эклогитового парагенезиса по данным парагенетической классификации с использованием программы «MineralogicalAnalyse» в тр. Мир составило 27.9 %, в тр. Интер – 28.9 % и в тр. Дачная – 22.2 % (рис. 1). Среди эклогитовых гранатов в изученных трубках наиболее распространены разности из слабоалмазоносных магнезиальных эклогитов (САМЭ-парагенезис). Наибольшее количество гранатов САМЭ-парагенезиса отмечается тр. Интер, где их содержание достигает 17.3 %. В трубках Мир и Дачная содержание гранатов из слабоалмазоносных магнезиальных эклогитов примерно сопоставимо и составляет 14.6 % и 15.6 %, соответственно.

Кроме гранатов САМЭ-парагенезиса, среди разностей эклогитовой ассоциации в трубках Мирнинского поля пользуются широким распространением гранаты из потенциально алмазоносных магнезиальных эклогитов (ПАМЭ-парагенезис). Несколько меньше отмечены гранаты из потенциально алмазоносных магнезиально-железистых эклогитов (ПАМЖЭ-парагенезис). К примеру, в тр. Мир содержание гранатов данных парагенезисов составляет 5.4 % и 1.6 %, соответственно. Также среди эклогитовых гранатов присутствуют разности из потенциально алмазоносных ильменит-рутиловых эклогитов (ПАИРЭ-парагенезис), содержание которых достигает 3.6% в тр. Мир. Значительно менее распространены разности из неалмазоносных ильменит-рутиловых эклогитов (НИРЭ-парагенезис), наибольшее количество которых также характерно для тр. Мир (1.2 %).

Среди гранатов неалмазоносных парагенезисов в изученных трубках Мирнинского кимберлитового поля наибольшим распространением пользуются разности из неалмазоносных лерцолитов и вебстеритов (НЛВ-парагенезис). Содержание гранатов данного парагенезиса варьирует от 12.7 % в тр. Интер, до 16.4

% в тр. Дачная и 20.0 % в тр. Мир (рис. 1). На фоне гранатов остальных неалмазоносных парагенезисов также выделяются разности из неалмазоносных гранат-ильменитовых перидотитов и пироксенитов (НГИП-парагенезис), которые присутствуют во всех изученных телах. Максимальное содержание гранатов данного парагенезиса отмечается в тр. Мир (5.5 %), минимальное – в тр. Дачная (1.5 %). Примечательно то, что в тр. Дачная среди неалмазоносных парагенезисов идентифицированы гранаты из неалмазоносных дистеновых эклогитов (НДЭ-парагенезис – 0.1 %), которые отсутствуют как в тр. Мир, так и в тр. Интер. В свою очередь в тр. Мир присутствуют гранаты из неалмазоносных гарцбургитов (НАГ-парагенезис – 0.3 %), которые не характерны для трубок Интер и Дачная. Для гранатов данного парагенезиса характерны невысокие содержания хрома и кальция при повышенном количестве титана (табл. 1).

Несмотря на высокое содержание суммарного железа в части гранатов, иногда достигающее 23–25 мас. % FeOtot, среди них отсутствуют разности, по составу соответствующие гранатам из метаморфических пород фундамента. Наиболее высокожелезистые гранаты по составу соответствуют разностям из потенциально алмазоносных ильменит-рутиловых эклогитов, в меньшей степени гранатам из высокоалмазоносных магнезиально-железистых эклогитов и из алмазоносных магнезиально-железистых пироксенитов (табл.1). В то же время, среди гранатов из трубок Мир и Интер в незначительном количестве (0.1–0.2 %) присутствуют разности из эклогитоподобных пород (ЭПП-парагенезис). Однако, гранаты данного ЭПП-парагенезиса хотя и являются железистыми, они значительно уступают по данному параметру как разностям ПАИРЭ-парагенезиса (табл. 1), так и типичным метаморфическим гранатам [2]. В отличие от трубок Мир и Интер, в тр. Дачная гранаты ЭПП-парагенезиса не установлены.

### Заключение

Исходя из проведенной парагенетической классификации гранатов из кимберлитовых тел Мирнинского поля на основе их состава с использованием программы «MineralogicalAnalyse» следует, что изученные кимберлитовые трубки, несмотря на схожий набор различных гранатовых парагенезисов, существенно различаются их процентным соотношением. Так, в тр. Мир преобладают гранаты из неалмазоносных лерцолитов и вебстеритов, тогда как в тр. Интер наибольшим распространением пользуются разности из потенциально алмазоносных лерцолитов с высокохромистым гранатом, а в тр. Дачная – из потенциально алмазоносных лерцолитов со среднехромистым гранатом.

Парагенетические особенности состава гранатов, индивидуальные для каждого кимберлитового тела, могут быть использованы в качестве дополнительного критерия при решении задачи идентификации шлиховых ореолов как в пределах Мирнинского кимберли-

тового поля, так и всего Мало-Ботуобинского алмазоносного района. Опыт работ показывает, что если минеральная ассоциация не прошла глубокую химическую сортировку в прибрежно-морских условиях, то при общей ее трансформации в процессе ореолообразования, набор парагенетических групп среди кимберлитовых минералов и их соотношения в ореолах рассеяния слабо меняются. Это позволяет более успешно проводить сравнительный анализ парагенетических особенностей состава минералов из шлиховых ореолов и конкретных кимберлитовых тел, и определять черты сходства или различия между сравниваемыми поисковыми объектами.

В процессе исследований установлено, что во всех изученных кимберлитовых телах Мирнинского поля среди гранатов отсутствуют разности из метаморфических пород фундамента. Это говорит о том, что метаморфические породы фундамента никак не сказались на парагенетической ассоциации гранатов в кимберлитах данного поля. Гранаты с повышенным содержанием суммарного железа, согласно проведенной парагенетической классификации с помощью программы «MineralogicalAnalyse», соответствуют разностям из потенциально алмазоносных ильменит-рутиловых эклогитов, высокоалмазоносных магнезиально-железистых эклогитов и алмазоносных магнезиально-железистых пироксенитов.

Характерной особенностью гранатов из кимберлитов Мирнинского поля является достаточно высокое содержание среди них эклогитовых разностей. Так, в тр. Интер на долю гранатов эклогитовых парагенезисов приходится почти третья часть всех гранатов (28.9 %). Наибольшим распространением среди гранатов эклогитовой ассоциации пользуются разности из слабоалмазоносных магнезиальных эклогитов, доля которых в тр. Интер достигает 17.3 %.

Результаты парагенетической классификации гранатов с использованием программы «MineralogicalAnalyse» позволяют предположить, что основными поставщиками алмазов в исследованных кимберлитовых трубках являлись ксенолиты алмазоносных перидотитов и высокоалмазоносных магнезиально-железистых эклогитов. Определенный вклад в алмазоносность кимберлитов Мирнинского поля могли также внести алмазоносные лерцолиты с аномальнохромистым гранатом (трубки Интер и Дачная) и алмазоносные ильменитовые верлиты (тр. Мир). В меньшей степени на алмазоносность кимберлитовых трубок оказали влияние алмазоносные вебстериты и алмазоносные магнезиально-железистые пироксениты. Высокоалмазоносные дуниты и гарцбургиты хотя и являлись источниками определенной части алмазов (трубки Мир и Дачная), однако существенного влияния на степень алмазоносности кимберлитовых тел данные глубинные породы не оказали.

*Благодарности:* Авторы выражают огромную благодарность Гриценко Андрею Викторовичу за помощь в создании программы «MineralogicalAnalyse» и написание алгоритма пересчета анализов.

**Конфликт интересов:** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Зинчук Н. Н., Коптиль В. И. Об особенностях алмазов из кимберлитов и древних осадочных толщ (на примере Центрально-Сибирской алмазоносной субпровинции) // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 2018. № 4. С. 28–38.
2. Хмельков А. М., Власова Э. А. Парагенезисы гранатов из кимберлитов // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 2018. № 4. С. 9–19.
3. Хмельков А. М., Власова Э. А. Парагенетические особенности состава хромшпинелидов из россыпи Дьюкунах (Якутия) // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 2020. № 4. С. 36–45. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology.2020.4/3125>.
4. Власова Э. А., Хмельков А. М. Парагенезисы пикроильменитов из кимберлитов // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 2019. № 3. С. 35–44.
5. Власова Э. А., Хмельков А. М. Вариации состава оливина из ксенолитов в кимберлитах Якутии // *Записки Российского минералогического общества*. 2020. Т. 149. № 2. С. 55–61. DOI: 10.31857/S0869605520020094.
6. Spetsius Z. V., Taylor L. A., Valley J. W., DeAngelis M.T., Spicuzza M., Ivanov A. S. and Banzeruk V. I. Diamondiferous xenoliths from crustal subduction: garnet oxygen isotopes from the Nyurbinskaya pipe, Yakutia // *Eur. Jour. Mineral.* 2008. No. 20. P. 375–385.
7. Хмельков А. М., Власова Э. А., Иванов А. С. Парагенетическое разнообразие состава гранатов из кимберлитов Накынского поля (Якутия) // *Руды и металлы*. 2021. № 3. С. 131–141. DOI: 10.47765/0869-5997-2021-10024.

---

---

## PETROLOGY, VOLCANOLOGY, GEOCHEMISTRY

---

---

UDC 553.81:550.8.05[549.08:54]

ISSN 1609-0691

DOI: <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2023/2/19-27>

Received: 05.04.2023

Accepted: 24.05.2023

Published online: 30.06.2023

### Comparative characteristics of the paragenetic features of the composition of garnets from some kimberlite bodies of the Mirny field

©2023 E. A. Chuguevskaya<sup>1✉</sup>, A. M. Khmelkov<sup>1</sup>, A. S. Ivanov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*ALROSA (PJSC), Vilyuiskaya geological expedition, 1, Pervootkryvateley ul., Aikhal, 678190, Republic of Sakha (Yakutia), Russian Federation*

<sup>2</sup>*Saint Petersburg Mining University, 2, 21st Line, St Petersburg 199106, Russian Federation*

#### Abstract

**Introduction:** The compositions of garnets were studied for three kimberlite bodies of the Mirny field (Mir, Internatsionalnaya and Dachnaya pipes). This field is located within the Malo-Botuobinsky diamondiferous region of Western Yakutia.

**Materials and Methods:** The paragenetic affiliation of garnets was determined based on their chemical composition using the «MineralogicalAnalyse» program. In total 3263 garnet grains were studied. The study of the compositions of garnets was carried out using an electron probe analyser.

**Results and Discussion:** The research results show that the kimberlite bodies of the Mirny field, despite a similar set of different garnet parageneses, differ significantly by percentage. A characteristic feature of the garnets of the studied bodies was high total content of varieties of eclogitic paragenesis, especially garnets from weakly diamondiferous magnesian eclogites.

**Conclusions:** The use of the «MineralogicalAnalyse» program allows not only reliably determine the par-



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

✉ Elvira A. Chuguevskaya, e-mail: KulaninaEA@alrosa.ru



agenetic specialization of garnets, but also identify concentrate aureoles in the process of searching for new kimberlite bodies.

**Keywords:** Mirny field, kimberlite bodies, chemical composition, garnet paragenesis, diamond content.

*For citation:* Chuguevskaya E. A., Khmelkov A. M., Ivanov A. S. Comparative characteristics of the paragenetic features of the composition of garnets from some kimberlite bodies of the Mirny field // *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2023, no. 2, pp. 19–27. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2023/2/19-27>

*Acknowledgments:* The authors express their deep gratitude to Andrey V. Gritsenko for help in creating the «MineralogicalAnalyse» program and writing analysis recalculation algorithm.

*Conflict of interest:* The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

#### REFERENCES

1. Zinchuk N. N., Koptil' V. I. Ob Osobennosyakh almazov iz kimberlitov i drevnikh osadochnykh tolshch (na primere Tsentral'no-Sibirskoi almazonosnoi subprovintsii) [About specific features of diamonds from kimberlites and ancient sedimentary thick layers (on the example of Central-Siberian sub-province)]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta, Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University, Series: Geology*, 2018, no. 4, pp. 28–38 (In Russ.)
2. Khmelkov A.M., Vlasova E.A. Paragenezisy granatov iz kimberlitov [Garnet paragenesis from kimberlites]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta, Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University, Series: Geology*, 2018, no. 4, pp. 9–19 (In Russ.)
3. Khmelkov A.M., Vlasova E.A. Parageneticheskie osobennosti sostava khromshpinelidov iz rossypi D'yukunakh (Yakutiya) [Paragenetic features of the composition of chromspinelides from Dyukunakh placer (Yakutia)]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta, Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University, Series: Geology*, 2020, no. 4, pp. 36–45. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology.2020.4/3125> (In Russ.)
4. Vlasova E.A., Khmelkov A.M. Paragenezisy pikroil'menitov iz kimberlitov [Picroilmenite paragenesis from kimberlites]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta, Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University, Series: Geology*, 2019, no. 3, pp. 35–44 (In Russ.)
5. Vlasova E.A., Khmelkov A.M. Variatsii sostava olivina iz ksenolitov v kimberlitakh Yakutii [Variations of composition of olivine from xenolites in kimberlites of Yakutia]. *Zapiski Rossiiskogo mineralogicheskogo obshchestva – Proceedings of the Russian Mineralogical Society*, 2020, vol. 149, no. 2, pp. 55–61 DOI: 10.31857/S0869605520020094 (In Russ.)
6. Spetsius Z.V., Taylor L.A., Valley J.W., DeAngelis M.T., Spicuzza M., Ivanov A.S. and Banzeruk V.I. Diamondiferous xenoliths from crustal subduction: garnet oxygen isotopes from the Nyurbinskaya pipe, Yakutia. *Eur. Jour. Mineral*, 2008, no. 20, pp. 375–385.
7. Khmelkov A.M., Vlasova E.A., Ivanov A.S. Parageneticheskoe raznoobrazie sostava granatov iz kimberlitov Nakynskogo polya (Yakutiya) [Paragenetic diversity of the composition garnets from kimberlites Nakyn field (Yakutia)]. *Rudy i metally – Ores and metals*, 2021, no. 3, pp. 131–141. DOI: 10.47765/0869-5997-2021-10024 (In Russ.)

Чугуевская Эльвира Александровна, геолог I категории, АК «АЛРОСА» (ПАО), Вилуйская геологоразведочная экспедиция, Айхал, Республика Саха (Якутия), Российская Федерация; e-mail: [KulaninaEA@alrosa.ru](mailto:KulaninaEA@alrosa.ru); ORCID 0000-0003-1225-0376

Хмельков Александр Михайлович, к.г.-м. н., ведущий геолог, ветеран АК «АЛРОСА» (ПАО), Айхал, Республика Саха (Якутия), Российская Федерация; e-mail: [st\\_56@mail.ru](mailto:st_56@mail.ru); ORCID 0000-0001-9334-3843

Иванов Александр Сергеевич, к.г.-м. н., в. н. с., Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Российская Федерация; e-mail: [asivan@mail.ru](mailto:asivan@mail.ru); ORCID 0000-0002-8258-5967

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Elvira A. Chuguevskaya, geologist I category, ALROSA (PJSC), Vilyuiskaya geological expedition, Aikhal, Republic of Sakha (Yakutia), Russian Federation; e-mail: [KulaninaEA@alrosa.ru](mailto:KulaninaEA@alrosa.ru); ORCID 0000-0003-1225-0376

Aleksandr M. Khmelkov, PhD in Geol-Min., leading geologist, veteran of ALROSA (PJSC), Aikhal, Republic of Sakha (Yakutia), Russian Federation; e-mail: [st\\_56@mail.ru](mailto:st_56@mail.ru); ORCID 0000-0001-9334-3843

Aleksandr S. Ivanov, PhD in Geol-Min., leading researcher, Saint Petersburg Mining University, St Petersburg, Russian Federation; e-mail: [asivan@mail.ru](mailto:asivan@mail.ru); ORCID 0000-0002-8258-5967

Authors have read and approved the final manuscript.