

## **Морфогенетические особенности гранатов из россыпи Дьюкунах, Якутская алмазоносная провинция**

### **Morphogenetic features of garnets from Dyukunakh placer (Yakutian diamondiferous province)**

**Власова Э. А., Хмельков А. М.**

**Vlasova E. A., Khmelkov A. M.**

Изучены морфологические особенности гранатов из верхнепалеозойской россыпи Дьюкунах и проведена расшифровка условий их морфогенеза. С помощью проведённого морфогенетического анализа было установлено, что гранаты прошли сложный эволюционный путь в экзогенных условиях, включая предельный износ в прибрежно-морских условиях и неоднократное переотложение. Кроме этого, гранаты были подвергнуты существенной гипергенной коррозии в коре выветривания и последующему растворению в условиях метасоматоза. В результате такой экзогенной эволюции на гранатах не осталось и следа от их первичных морфологических признаков, связанных с глубинным этапом морфогенеза. Вследствие этого говорить о степени сохранности первичных поверхностей на гранатах не приходится. По этой причине невозможно количественно определить степень удалённости коренных источников.

Ключевые слова: гранаты, россыпь, минералы-индикаторы кимберлитов, алмаз, морфогенез, метасоматоз, пирамидально-черепитчатый тип растворения.

Morphological features of garnets from the Upper Paleozoic Dyukunakh placer were studied and the conditions of their morphogenesis were interpreted. As a result of the morphogenetic analysis, it was found that garnets have evolved in exogenous conditions, including extreme wear in coastal marine conditions and repeated redeposition. In addition, garnets underwent significant hypergene corrosion in the residual soil and subsequent dissolution under metasomatic conditions. As a result of such exogenous evolution, no trace of their primary morphological characters associated with the deep stage of morphogenesis remained on garnets. For this reason, it is impossible to quantify the degree of primary sources removal.

Keywords: garnets, placer, kimberlite tracer minerals, diamond, morphogenesis, metasomatism, pyramidal-tiled type of resorption.

---

Для цитирования: Власова Э. А., Хмельков А. М. Морфогенетические особенности гранатов из россыпи Дьюкунах, Якутская алмазоносная провинция. Руды и металлы. 2021. № 1. С. 106–112. DOI: 10.47765/0869-5997-2021-10007.

For citation: Vlasova E. A., Khmelkov A. M. Morphogenetic features of garnets from Dyukunakh placer (Yakutian diamondiferous province). Ores and metals, 2021, № 1, pp. 106–112. DOI: 10.47765/0869-5997-2021-10007.



*Введение.* Минералогические исследования являются важной составной частью при поисках алмазных месторождений, без них невозможно провести качественную оценку перспектив как коренной, так и россыпной алмазности какой-либо территории.

Значительную долю при минералогических исследованиях в процессе алмазопроисковых работ занимает изучение типоморфных особенностей минералов-индикаторов кимберлитов (МИК). К сожалению, большинство работ по алмазной минералогии посвящены изучению минералов, извлечённых непосредственно из материнской породы (кимберлита), а значительно слабее изучены МИК из россыпей [3], хотя геологи-поисковики в первую очередь имеют дело с минералами именно из промежуточных коллекторов, современных или древних.

Особое место в изучении типоморфных особенностей МИК занимает исследование их морфологии, так как именно с этого начинается любое исследование минерального вещества [1]. Морфологические исследования минералов являются начальным этапом в сложном и длительном процессе изучения МИК. Знания морфологии минералов и условий их морфогенеза помогают опытному исследователю не только определить фациальную принадлежность вмещающих их осадков и литодинамические типы обстановок, через которые прошли минералы, но и особенности этих обстановок, интенсивность влияния тех или иных факторов, их продолжительность, последовательность этапов морфогенеза, степень удалённости от коренного источника и многое другое. Таким образом, морфогенетические исследования МИК в процессе алмазопроисковых работ способствуют решению трёх основных задач по отношению к шлиховым ореолам: их идентификации, локализации [2] и типизации (по условиям образования, взаимоотношению с вмещающими осадками и дальности переноса).

Морфогенетическому анализу были подвергнуты гранаты из верхнепалеозойской россыпи Дьюкунах, расположенной в пределах Моркокинского алмазонасного района Якут-

ской алмазонасной провинции (ЯАП) на правом берегу р. Алымджа-Туората. В геологическом строении россыпи принимают участие терригенные отложения лапчанской свиты среднего отдела каменноугольной системы, ботубинской свиты среднего и верхнего отделов каменноугольной системы, а также боруллойской свиты верхнего отдела пермской системы и современные отложения. Кроме этого, в данном районе имеют площадное распространение магматические образования траппового комплекса раннетриасового возраста.

Непромышленная погребённая россыпь алмазов Дьюкунах приурочена к отложениям лапчанской свиты среднего карбона, развитым в виде реликтов в пределах днища палеодолины древней гидросети. Несмотря на то, что россыпь Дьюкунах является непромышленной, она представляет поисковый интерес, так как коренные источники алмазов, за счёт которых сформировалась россыпь, до сих пор неизвестны. Кимберлитовые тела на ближайших территориях отсутствуют, поэтому проблема направления переноса алмазонасного материала в пределы россыпи по-прежнему является актуальной.

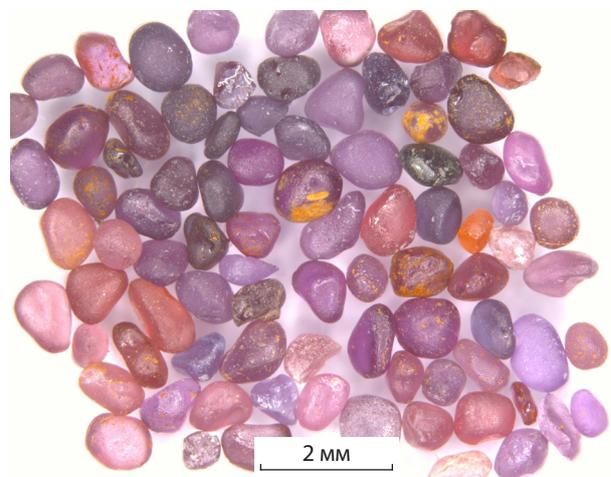
*Фактический материал и методика обработки.* Детальные исследования морфологических особенностей гранатов были выполнены с помощью оптической компьютерной системы на базе бинокля «Лейка» MZ16A (Германия), предназначенной для визуализации и качественной обработки изображений макро- и микроморфологии минералов. Данная система помимо бинокля включает видеокамеру Leica DFC-490 (8 Мгп) и рабочую станцию с программным комплексом, обеспечивающим компьютерный интерфейс. Оптическое оборудование позволяет проводить до 920-кратного увеличение объектов с выводом цветного изображения на монитор и цифровой записью получаемого изображения. Имеющееся программное обеспечение предоставляет возможность делать снимки с высочайшей глубиной резкости, что достигается серией снимков через заданный шаг (в микронах) и последующей автоматической «сшивкой» получаемого изображения.

По результатам изучения морфологии гранатов была выполнена генетическая интерпретация топографии их поверхности и проведена расшифровка условий морфогенеза.

Всего из древней россыпи Дьюкунах были изучены более 800 зёрен гранатов, в том числе около 586 – непосредственно из отложенной лапчанской свиты.

*Результаты исследований и их обсуждение.* Для верхнепалеозойских отложений в пределах россыпи Дьюкунах характерна алмаз-пироповая ассоциация МИК при практически полном отсутствии пикроильменита. Следует отметить, что совместно с гранатом и алмазами в россыпи также присутствует хромшпинелид. Однако результаты ранее выполненных исследований парагенетических особенностей состава хромшпинелидов с использованием специализированной программы «MineralogicalAnalyse» показали, что среди них преобладают разности некимберлитового генезиса [6]. Генетически они не связаны ни с алмазами, ни с гранатами из-за разных термодинамических условий образования и в данной работе не рассматриваются.

Большинство гранатов в отложениях россыпи Дьюкунах представлено зёрнами менее 1 мм при доминировании класса -0,5 мм. Зёрна граната из класса -2+1 мм встречаются крайне редко. По форме преобладают разности округлой формы (до 75–80 %) при полном отсутствии угловатых и остроугольных зёрен (рис. 1). Подавляющая их масса предельно изношена и относится к классу IV по шкале сохранности [4]. Такой сильный износ с преобладанием округлых форм, в узком по гранулометрии диапазоне (< 1 мм), зёрна могли приобрести лишь в прибрежно-морских условиях. Примечательно то, что сохранившаяся в отдельных местах в пределах россыпи кора выветривания по карбонатным породам палеозоя также содержит гранаты, которые по макроморфологии зёрен идентичны разностям из отложений лапчанской свиты. Полное отсутствие пикроильменита в минеральной ассоциации объясняется его более низкой физико-механической устойчивостью по сравнению с гранатом, в результате чего в прибрежно-



**Рис. 1. Внешний вид гранатов с прибрежно-морским износом из отложений лапчанской свиты россыпи Дьюкунах**

Fig. 1. Habitus of garnets impacted by coastal marine wear from Lapchanskaya suite deposits of Dyukunakh placer

но-морских условиях пикроильменит практически весь уничтожился. О том, что изначально он имел место в минеральной ассоциации верхнепалеозойских отложений, свидетельствуют его сохранившиеся единичные идеально окатанные зёрна среди минералов тяжёлой фракции мелких гранулометрических классов (< 0,5 мм), состав которых подтверждён электронно-зондовым анализом.

Среди гранатов россыпи отмечается достаточно высокий процент кубоидов (до 15–20 % и более), являющихся крайней формой растворения в гипергенных условиях (рис. 2). При этом развитие кубоидов осуществлялось уже по идеально окатанным зёрнам гранатов, о чём свидетельствует их изометрическая выпуклая форма, приближающаяся к округлой. На некоторых зёрнах-кубоидах заметен незначительный послекоррозионный износ.

Значительная доля зёрен гранатов из верхнепалеозойских отложений в пределах россыпи Дьюкунах в той или иной степени подвергнута пирамидально-черепитчатому типу растворения с образованием характерных микроформ (преимущественно черепитчатой по-



**Рис. 2. Кубоиды гранатов из отложений лапчанской свиты**

Fig. 2. Garnet cuboids from Lapchanskaya suite deposits

верхности). Причём данный тип растворения характерен как для предельно изношенных зёрен округлой формы без видимых следов гипергенного растворения, так и, что примечательно, для кубоидов. Поверхности пирамидально-черепитчатого типа растворения не несут на себе следов механического износа, что свидетельствует, во-первых, об отсутствии какого-либо заметного переноса гранатов после формирования данного типа растворения, во-вторых, о том, что пирамидально-черепитчатый тип растворения образовался в более поздний этап морфогенеза по отношению ко всем другим этапам, имеющим проявление на гранатах. Другими словами, образование пирамидально-черепитчатого типа растворения на гранатах реализовывалось на месте, непосредственно в осадочном коллекторе, после чего гранаты не испытали существенного перемещения.

Следует признать, что довольно необычно выглядят зёрна гранатов, по форме представляющие собой типичные кубоиды, но с пирамидально-черепитчатым типом растворения по их поверхности (см. рис. 2). Дело в том, что кубоидный и пирамидально-черепитчатый типы растворения реализуются в совершенно разных обстановках, под воздействием различных агентов. Кубоидный тип коррозии реализуется в коре выветривания, где агентами растворения выступают органические кисло-

ты (их водные растворы). При пирамидально-черепитчатом типе коррозии агентами растворения являются минерализованные (гидротермальные) растворы и реализуется он в более широком диапазоне обстановок. Эпигенетические изменения гранатов с образованием данного типа растворения могут происходить как в постмагматическую стадию, так и в условиях метасоматоза, а также при метатенезе (катагенезе) [1] и даже при диагенезе осадков [5]. В нашем случае развитие пирамидально-черепитчатого типа растворения как по изношенным округлым гранатам, так и по зёрнам-кубоидам свидетельствует, что данный тип наложился, с большей или меньшей степенью интенсивности, на все поверхности, сформировавшиеся на предыдущих этапах морфогенеза, полностью уничтожив их. В результате предшествующие пирамидально-черепитчатому типу растворения предельный износ и гипергенная коррозия узнаются лишь по характерной морфологии зёрен, являющейся индикатором соответствующих обстановок. Это относится в том числе и к зёрнам-кубоидам гранатов с пирамидально-черепитчатым типом растворения, на которых предыдущая каплевидная поверхность полностью уничтожена.

Сам факт развития пирамидально-черепитчатого типа растворения на гранатах по кубоидам свидетельствует о его вторичном генезисе. Изучение минеральных ассоциаций на сопредельных с россыпью Дьюкунах территориях в пределах Моркокинского алмазного района ЯАП позволяет с уверенностью утверждать, что пирамидально-черепитчатый тип растворения на данной территории реализовался в условиях метасоматоза, в результате воздействия трапповых интрузий на осадочный коллектор.

Иногда метасоматические изменения на гранатах проявлены достаточно интенсивно, вплоть до микрокоррозионного растрескивания внешней зоны зёрен. Из-за этого поверхность гранатов обесцвечивается, и зёрна приобретают белёсый цвет (рис. 3). Подобные изменения гранатов не следует путать с дислокационным типом растворения в условиях



**Рис. 3. Интенсивно изменённые в условиях метасоматоза зёрна гранатов из отложений лапчанской свиты**

Fig. 3. Metasomatically altered garnet grains from Lapchanskaya suite deposits

гипергенеза, с которым в данном случае они не имеют ничего общего. Даже на таких изменённых зёрнах при внимательном изучении можно заметить наличие черепитчатых микроформ, типичных для пирамидально-черепитчатого типа растворения.

Следует отметить, что морфологические особенности МИК из верхнепалеозойских отложений практически не меняются в пределах древней россыпи Дьюкунах не только по литорали, но и по вертикали. Лишь незначительно варьируют от пробы к пробе в ту или иную сторону процентные содержания идеально изношенных зёрен без видимых следов химического растворения, типичных кубоидов и гранатов с пирамидально-черепитчатым типом растворения.

*Заключение.* Результаты проведённого морфогенетического анализа гранатов из отложений в пределах россыпи Дьюкунах позволяют с большой долей уверенности утверждать, что их экзогенная эволюция происходила по следующей схеме: предельный износ в прибрежно-морских условиях – растворение в коре выветривания – переотложение с незначительным перемещением – растворение в

условиях метасоматоза без последующего переноса. Учитывая то, что обширные морские бассейны с интенсивной прибрежно-морской динамикой, как и мощная эпоха корообразования, имели место в среднем палеозое, можно сделать вывод, что сперва гранаты были идеально окатаны в прибрежно-морских условиях при формировании коллектора именно в среднепалеозойское время ( $D_3-C_1$ ). Затем гранаты были подвергнуты гипергенному растворению в коре выветривания непосредственно в осадках этого же возраста и в это же время. После чего они были переотложены в позднепалеозойский (карбонный) коллектор, который был подвергнут метасоматическому воздействию трапповых интрузий. Но растворение гранатов в условиях метасоматоза произошло в раннетриасовое время, в эпоху интенсивного проявления траппового магматизма. Учитывая то, что износ на гранатах после гипергенной коррозии незначительный и наблюдается лишь на части кубоидов, переотложение их из среднепалеозойского коллектора в верхнепалеозойский осуществлялось без значительного перемещения, в фациях ближнего или умеренного сноса. После растворения в условиях метасоматоза с образованием пирамидально-черепитчатого типа коррозии гранаты не испытали сколько-либо заметного перемещения.

Несмотря на то, что говорить о возрастной привязке различных типоморфных особенностей гранатов можно лишь с определённой долей вероятности, всё же приведённая выше схема их эволюции представляется вполне достоверной. Как бы то ни было, можно с уверенностью сказать, что гранаты прошли сложный эволюционный путь в экзогенных условиях, включая их предельный износ в прибрежно-морских условиях и неоднократное переотложение. При этом уже в отложениях лапчанской свиты, не говоря уже о вышележащих отложениях ботубинской свиты, гранаты являются переотложенными. Наличие гранатов с морским износом в континентальных осадках лапчанской и ботубинской свит нельзя трактовать иначе, как несоответствие гранатов, как и в целом минеральной ассоциации,



по своим морфологическим особенностям литодинамическому типу вмещающих осадков. Кроме этого, гранаты были подвергнуты существенной гипергенной коррозии в коре выветривания и метасоматическому воздействию трапповых интрузий. В результате такой экзогенной эволюции на гранатах не осталось и следа от их первичных морфологических признаков, связанных с глубинным этапом морфогенеза. Вследствие этого говорить о степени сохранности первичных поверхностей на гранатах не приходится. По этой причине не представляется возможным количественно определить степень удалённости коренных источников, являющихся поставщиком кимберлитового материала в пределы россыпи.

Проведённые детальные исследования морфологических особенностей гранатов с помощью оптической системы высокого разрешения позволили без привлечения их химического состава надёжно расшифровать условия морфогенеза и выявить всю последовательную цепочку их эпигенетических изменений. Таким образом, на примере данной работы показано, что даже без дорогостоящих микронзондовых исследований химического состава кимберлитовых минералов, с помощью традиционной оптической микроскопии, можно, опираясь только на морфологию минерала, вполне корректно восстановить все этапы морфогенеза, через которые прошёл данный минерал.

## Список литературы

1. Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н., Похиленко Н. П. Морфология и морфогенез индикаторных минералов кимберлитов. – Новосибирск : СО РАН ; филиал «Гео», 2001. – 276 с.
2. Афанасьев В. П., Горяйнов С. А., Елисеев А. П., Зинчук Н. Н., Коптиль В. И., Надолинный В. А., Сонин В. М., Рылов Г. М. Изучение алмазов в геологоразведочном комплексе : методическое пособие. – Якутск : ЯФ ГУ СО РАН, 2004. – 300 с.
3. Харьков А. Д. Минералогические основы поисков алмазных месторождений. – М. : Недра, 1978. – 136 с.
4. Хмельков А. М. Основные минералы кимберлитов и их эволюция в процессе ореолообразования (на примере Якутской алмазоносной провинции). – Новосибирск : АРТА, 2008. – 252 с.
5. Хмельков А. М. Эпигенетические изменения кимберлитовых минералов в осадочном коллекторе в результате формирования складчатости // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. – 2015. – № 1. – С. 73–82.
6. 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.

## References

1. Afanas'ev V. P., Zinchuk N. N., Pokhilenko N. P. Morfologiya i morfogenez indikatornykh mineralov kimmerlitov [Morphology and morphogenesis of kimberlite indicator minerals], Novosibirsk, SO RAN, filial "Geo" Publ., 2001, 276 p.
2. Afanas'ev V. P., Goryainov S. A., Eliseev A. P., Zinchuk N. N., Koptil' V. I., Nadolinnyi V. A., Sonin V. M., Rylov G. M. Izucheniealmazov v geologorazvedochnom komplekse : metodicheskoe posobie [Studying diamonds in an exploration complex: a methodological manual], Yakutsk, YaF GU SO RAN Publ., 2004, 300 p.
3. Khar'kiv A. D. Mineralogicheskie osnovy poiskovalmaznykh mestorozhdenii [Mineralogical foundations of diamond deposits], Moscow, Nedra Publ., 1978, 136 p.
4. Khmel'kov A. M. Osnovnye mineraly kimmerlitov i ikh evolyutsiya v protsesse oreolobrazovaniya (na primere Yakutskoi almazonosnoi provintsii) [The main minerals of kimberlites and their evolution in the process of the formation of halos (on the example of the Yakut diamondiferous province)], Novosibirsk, ARTA Publ., 2008, 252 p.

5. Khmel'kov A. M. Epigeneticheskie izmeneniya kimberlitovykh mineralov v osadochnom kollektore v rezul'tate formirovaniya skladchatosti [Epigenetic changes in kimberlite minerals in a sedimentary collector as a result of folding formation], *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya* [Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology], 2015, No 1, pp. 73–82. (In Russ.).
6. Khmel'kov 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. (In Russ.).

### Авторы

#### **Власова Эльвира Александровна**

геолог I категории  
KulaninaEA@alrosa.ru

#### **Хмельков Александр Михайлович**

кандидат геолого-минералогических наук  
ветеран АК «АЛРОСА» (ПАО)  
st\_56@mail.ru

Вилуйская геологоразведочная экспедиция  
АК «АЛРОСА» (ПАО), г. Мирный

### Authors

#### **Vlasova Elvira Aleksandrovna**

1 category geologist  
KulaninaEA@alrosa.ru

#### **Khmelkov Aleksandr Mikhailovich**

PhD  
ALROSA (PJSC) veteran  
st\_56@mail.ru

Viluyi prospecting team of JSC ALROSA (PJSC),  
Mirny, Russia