

## Уникальный алмаз из трубки Нюрбинская (Накынское кимберлитовое поле, Западная Якутия, Россия)

Д.В. Коногорова<sup>1,2,\*</sup>, О.Е. Ковальчук<sup>1</sup>, Л.Д. Бардухинов<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

\*KonogorovaDV@alrosa.ru

**Аннотация.** Впервые в мире обнаружен уникальный алмаз, в полости которого, свободно перемещается алмаз меньшего размера. Кристаллы детально изучены методом рентгеновской микротомографии, что позволило построить их трехмерные модели, детально установить морфологические особенности как алмаза-хозяина, так и алмаза-узника, а также определить вес каждого из них. На диаметрально противоположных поверхностях алмаза-хозяина имеются два сквозных канала, которые ведут в полость, внутри которой находится алмаз-узник. В каналах содержится барит, причем один из каналов герметично закупорен этим минералом. На входе в полость оба канала сужаются и имеют диаметр около 0,1 мм. Морфология внутренних стенок полости приблизительно соответствует морфологии поверхности внутреннего алмаза. Согласно результатам инфракрасной спектроскопии, алмаз имеет высокое содержание структурной примеси азота 1 250 ат. ррт. С помощью рамановской конфокальной спектроскопии проведено объемное картирование, в результате которого идентифицированы минеральные включения и примазки. При исследовании люминесценции с помощью лазера с длиной волны возбуждения 337 нм установлено, что оба алмаза люминесцируют однородным розово-сиреневым свечением.

**Ключевые слова:** Алмаз, Накынское поле, трубка Нюрбинская, инфракрасная спектроскопия, кимберлит, матрешка, зеленый алмаз, включение алмаза, рентгеновская микротомография.

**Благодарности.** Авторы благодарят за обсуждение полученных материалов и помощь в написании статьи сотрудников НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО) – Мальковца Владимира Григорьевича, Богущи Ирину Николаевну, Кедрову Татьяну Владимировну, Баранова Леонида Николаевича, Шишмарева Романа Алексеевича, Зайцевского Федора Константиновича, а также сотрудников МГУ им. М.В. Ломоносова – Гаранина Виктора Константиновича и Криулину Галину Юрьевну.

### Введение

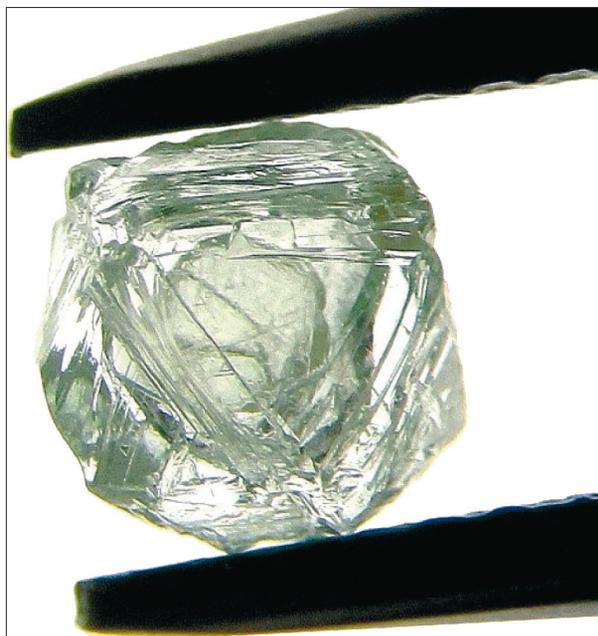
Уникальный полый алмаз, в котором свободно перемещается алмаз меньшего размера (рис. 1), был найден в Якутии в середине августа 2019 г. Данная находка является первым зафиксированным случаем в мировой истории алмазодобычи. Из-за сходства особенностей внутреннего строения с детской игрушкой алмаз получил название «матрешка». Внешний алмаз – алмаз-хозяин с зеленым нацветом имеет вес 0,6 кар. Внутренний алмаз – алмаз-узник бледно-желтого цвета и, по расчетам, имеет вес 0,02 кар. Оба алмаза имеют октаэдрический габитус.

Исследованием «алмаза-матрешки» занимались сотрудники НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО) и сотрудники Геммологического института Америки (GIA). Гипотезы о его происхождении выд-

вигали выдающиеся ученые, такие как Майк Форстер (научный сотрудник экспериментальной петрологии, Университет Маккуори, Австралия), Уи Ван (вице-президент по исследованиям и развитию GIA, США), Томас Стэйчел (минералог Университета Альберты, Канада) и другие. О нем писали в средствах массовой информации.

Похожий случай был описан в работе В.К. Гаранина [1]. В трубке Мир был найден алмаз с полостью, в которой внутренний и внешний алмаз частично отделены друг от друга полостью, выполненной хромитом (рис. 2). В этом случае алмаз не перемещается свободно в полости, а зафиксирован в ней хромитом.

«Алмаз-матрешка» был добыт компанией «АЛРОСА» на обогатительной фабрике № 16



**Рис. 1.** Фотография «алмаза-матрешки».

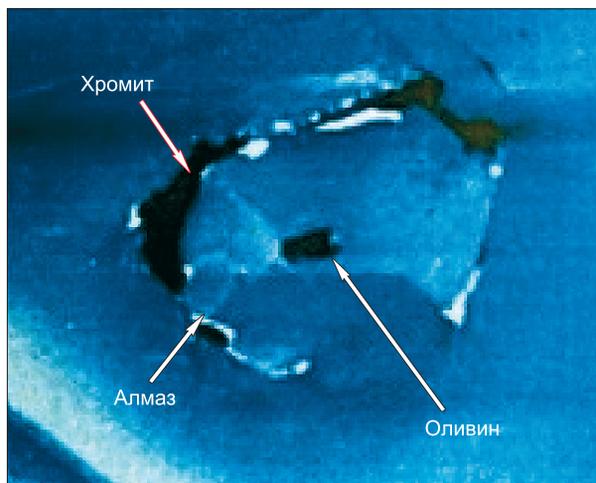
**Fig. 1.** General view of the diamond-matryoshka.

при обогащении руды трубки Нюрбинская, которая расположена в Накынском кимберлитовом поле. Разработкой этого месторождения занимается Нюрбинский горно-обогатительный комбинат «АЛРОСА». Фабрика № 16 является одной из самых современных в мировой алмазодобывающей промышленности по уровню примененных технологий и автоматизации процессов.

В кимберлитовой трубке Нюрбинская преобладают алмазы I разновидности по классификации Ю.Л. Орлова [2]. Преобладают алмазы переходной формы октаэдр–ромбододекаэдр (34 %), реже встречаются октаэдры (28 %) и ромбододекаэдры (19 %) [3].

Среди кристаллов I разновидности [2] доля окрашенных алмазов составляет примерно 27 %, наиболее распространена лилово-коричневая (10 %) и дымчато-коричневая (2,2 %) окраска, реже кристаллы имеют однородную соломенно-желтую, зеленую, серую и черную окраску. Среди других разновидностей алмазов наиболее распространена желтая и желто-зеленая до грязно-зеленой окраска.

Характерной особенностью алмазов из трубок Накынского поля является высокое содержание алмазов IV разновидности, которые являются алмазами в оболочке (до 9 % в трубке Нюрбинская) и высокое содержание кристаллов с признаками природного травления.



**Рис. 2.** Алмаз с полостью, заполненной черным хромитом и кристаллом алмаза с включением оливина [1].

**Fig. 2.** Diamond with a cavity filled with black chromite and a diamond crystal with olivine [1].

Среди сингенетических включений в алмазах трубки Нюрбинская преобладают минералы эклогитового парагенезиса. Около половины кристаллов (46 %) имеют включения графита или графита в ассоциации с сульфидами. Отметим, что включение «алмаз в алмазе» не является типичным для кристаллов данной трубки [3].

### Методы исследования

Исследование проводилось в Научно-исследовательском геологическом предприятии АК «АЛРОСА» (ПАО). Минералогическое описание алмаза выполнено под биноклярами Leica Wild M420.

Фотографирование алмаза проводилось с помощью биноклярного микроскопа Leica M205 с высокочувствительной цифровой видеокамерой Leica DFC 495 под управлением фирменного ПО LAS (Version 4.1.0 (Build 1264)).

Для возбуждения фотолюминесценции при характеристике цвета свечения использован лазер АИЛ-3 с длиной волны 337 нм.

Регистрация спектров ИК-поглощения в волновом диапазоне 600–4 500 см<sup>-1</sup> проводилась методом двумерного картирования по всей площади алмаза (сетка до 2500 точек) с шагом 50 мкм и с разрешением 2–4 см<sup>-1</sup> на фурье-спектрометре Tensor-27 фирмы Bruker с микроскопом Hyperion 3000. В качестве внутреннего стандарта было принято собственное решеточное поглощение алмаза [5]. Концентрации де-

фектов пересчитывались в соответствии с работами [6–8].

Изучение включений в алмазах проводилось на конфокальном рамановском микроскопе InVia фирмы RENISHAW, оснащенном программным пакетом Wire 3. Возбуждение колебаний решетки осуществлялось с помощью лазерного излучения с длиной волны 532 нм, с дифракционной решеткой 1200 л/мм и CCD-детектор.

Идентификация минеральных включений в алмазах осуществлялась с использованием библиотеки рамановских спектров RENISHAW и программного обеспечения под названием CrystalSleuth.

Съемка спектров фотолюминесценции кристаллов алмазов выполнена с использованием возможностей КР-микроскопа InVia. Все спектры были сняты при температуре жидкого азота (77 К). Источник возбуждения – лазер КР-микроскопа,  $\lambda$  325 нм, мощность 20 мВт. Проведена съемка на рентгеновском микротомографе SkyScan 1272. Реконструкция полученных изображений выполнялась программой Nrecon. Для

обработки и анализа 3D-изображений использовалась программа CTAnalyser.

### Образец и результаты исследования

*Минералогическое описание.* Алмаз представляет собой сложный двойник по шпинелевому закону переходной формы октаэдр–додекаэдроид со ступенчато-пластинчатым характером развития граней и расщеплением вершин (рис. 3). Максимальные размеры внешнего алмаза – алмаза-хозяина составляют 4,8×4,9×2,8 мм. На поверхности алмаза-хозяина преобладает сноповидная штриховка. На ребре, в зоне контакта двух крупных сдвойникованных индивидов, присутствует небольшой клиновидный двойниковый вrostок в виде пластины.

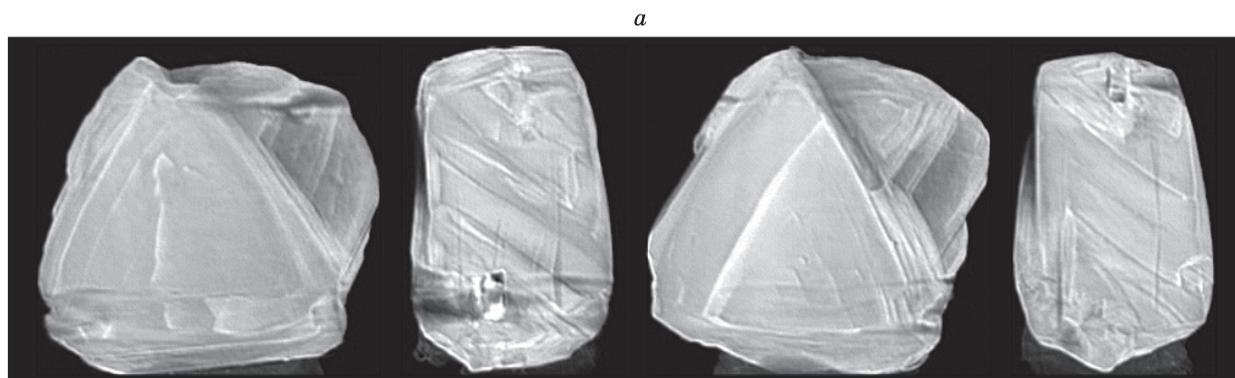
На поверхности алмаза-хозяина наблюдаются скульптуры травления в виде треугольных впадин, а также узкие и глубокие каналы травления, два из которых проникают в полость алмаза (рис. 4).

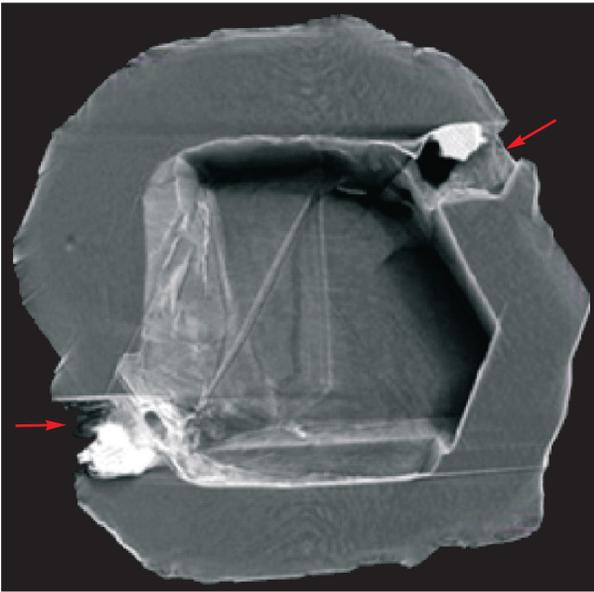
По результатам рентгеновской микротомографии установлено, что объем внутренней полости составляет 6 мм<sup>3</sup>. Полость представляет собой уплощенную камеру высотой и шириной около 3 мм, глубиной около 0,7–1,2 мм (рис. 4). Каналы травления расположены субперпенди-



**Рис. 3.** Алмаз-хозяин: *a* – внешний вид кристалла с четырех сторон. Реконструкция в виде 3D-изображения, полученная на рентгеновском микротомографе SkyScan 1272; *б* – фотография алмаза-матрешки, демонстрирующая цвет и внешний вид алмаза-хозяина. Фотография получена с помощью бинокулярного микроскопа Leica M 205.

**Fig. 3.** The diamond-owner: *a* – Reconstruction in the form of a 3D image of a diamond-matryoshka, illustrating the appearance of the crystal from four sides. The image was obtained on an X-ray microtomograph SkyScan 1272; *б* – Photo of a diamond-matryoshka illustrating the color and appearance of the diamond-owner. Photo taken with a Leica M 205 binocular microscope.





**Рис. 4.** Внутренняя полость алмаза-хозяина, красными стрелками указаны два сквозных канала. Реконструкция в виде 3D-изображения, полученная на рентгеновском микротомографе SkyScan 1272.

**Fig. 4.** Reconstruction in the form of a 3D image of a diamond-matryoshka, illustrating the internal cavity of the diamond-owner. The red arrows indicate two through channels of etching. The image was obtained using the SkyScan 1272 X-ray microtomograph.

кулярно к граням. Оба канала имеют максимальный диаметр 0,4 мм.

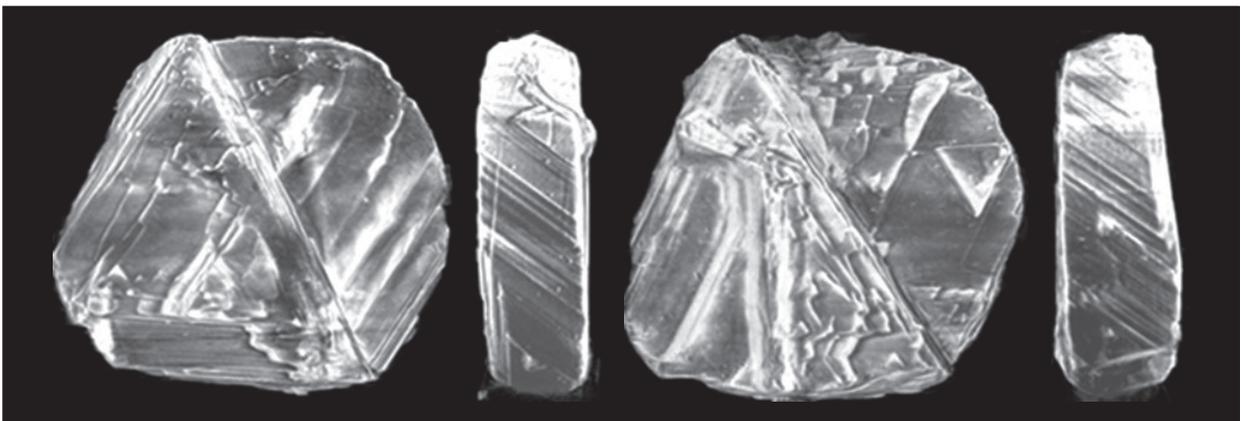
Один из сквозных каналов травления кристалла практически полностью заполнен баритом, который является вторичным минералом по

отношению к алмазу. Во втором канале барит находится в виде примазки на стенке канала. Диаметр канала, выходящего на поверхность, с малым объемом примеси минерального вещества равен 0,2 мм, а диаметр канала, заполненного минеральным веществом, – 0,3 мм. На выходе в полость оба канала имеют диаметр около 0,1 мм.

Алмаз-узник по морфологии схож с алмазом-хозяином, он является сильно уплощенным шпинелевым двойником, неравномерно развитые октаэдри со смещением по оси двойникования, элементами полицентрического строения широких граней и параллельной штриховкой. Его размер 1,9×2,1 мм, толщина 0,5–0,6 мм. На поверхности алмаза развиты признаки травления в виде отрицательных треугольных фигур (рис. 5).

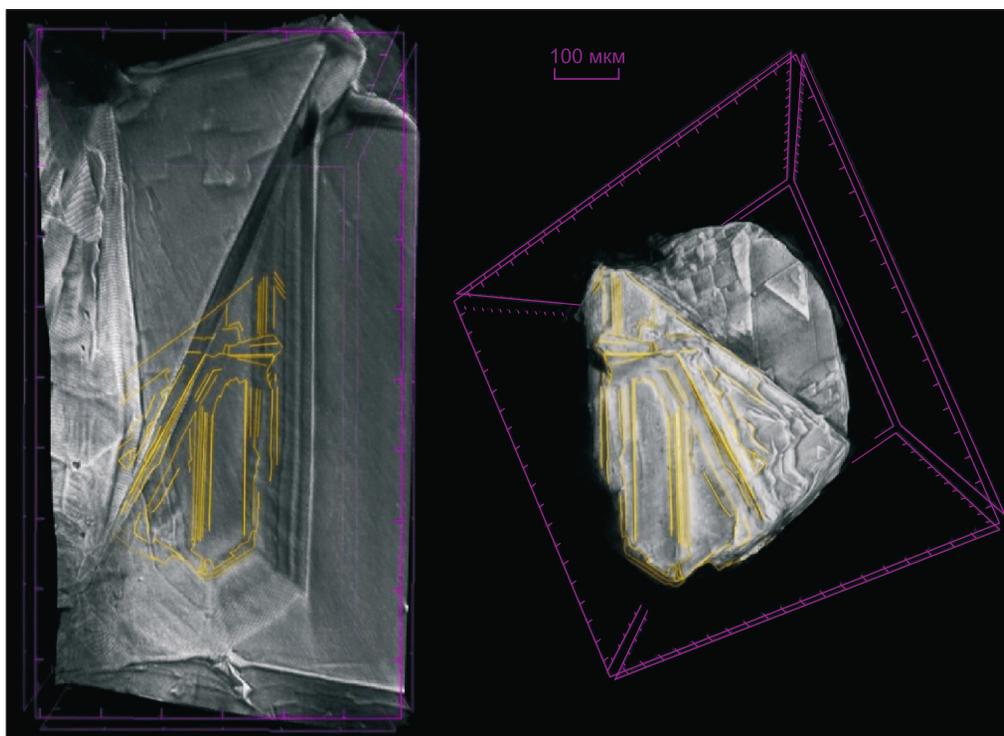
На поверхности более крупного субиндивида алмаза-узника наблюдается отпечаток, частично совпадающий с отпечатком на поверхности полости алмаза-хозяина. Поверхность отпечатка не является обычной ростовой поверхностью, и подобные плоскости не являются характерными для классических поверхностей растворения (рис. 6). По своему строению данная поверхность имеет наибольшее сходство с индукционной штриховкой, характерной для совместного роста кристаллов.

В алмазе-хозяине и алмазе-узнике присутствуют черные включения графита в ассоциации с сульфидом. Также зафиксировано две цепочки включений сульфида, которые расположены в зоне двойникового шва, в периферийной части самого крупного октаэдра. Включения имеют от-



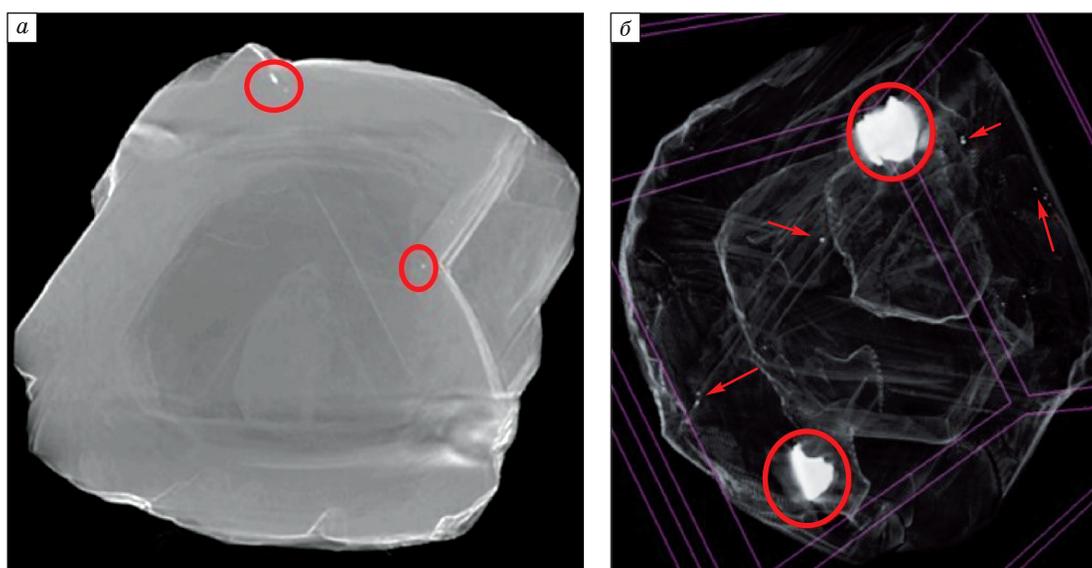
**Рис. 5.** Изображение поверхности алмаза-узника. Реконструкция в виде 3D-изображения, полученная на рентгеновском микротомографе SkyScan 1272.

**Fig. 5.** Reconstruction in the form of a 3D image of a diamond-matryoshka, illustrating the morphology of the surface of the prisoner diamond-inmate. The image was obtained using the SkyScan 1272 X-ray microtomograph.



**Рис. 6.** Отпечаток, расположенный на поверхности полости алмаза-хозяина, частично совпадающий с морфологией поверхности алмаза-узника. Реконструкция в виде 3D-изображения, полученная на рентгеновском микротомографе SkyScan 1272.

**Fig. 6.** Reconstruction in the form of a 3D image of a diamond-matryoshka, illustrating an imprint located on the surface of the diamond-owner cavity that coincides with the morphology of the prisoner diamond surface. The image was obtained using the SkyScan 1272 X-ray microtomograph.



**Рис. 7.** Включения в алмазе: *a* – на изображении красными кругами обведены включения сульфида; *б* – изображение с увеличенной прозрачностью, красные стрелки указывают на сульфидные включения, кругами обведены включения барита. Реконструкция в виде 3D-изображения, полученная на рентгеновском микротомографе SkyScan 1272.

**Fig. 7.** Inclusions in diamond: *a* – on the image of the red circle with the addition of sulfide; *b* – the image of the diamond-matryoshka with reduced transparency, red arrows on the sulfide inclusions, circles circled by the inclusion of barite. Reconstruction in the form of a 3D image obtained on a SkyScan 1272 X-ray microtomograph.



**Рис. 8.** Фотография алмаза-матрешки, демонстрирующая зеленый цвет алмаза-хозяина. Фотография получена с помощью бинокулярного микроскопа Leica M205.

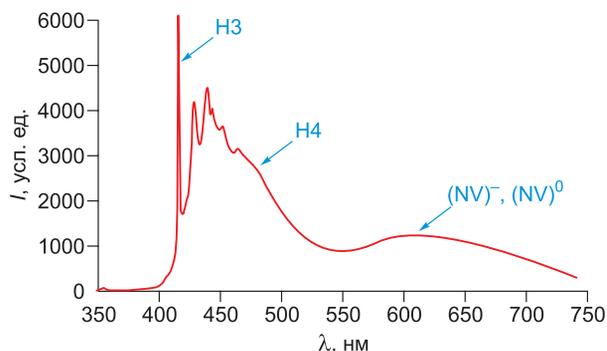
**Fig. 8.** Photo of a diamond-matryoshka illustrating the green color of the diamond-owner. The photo was taken using the Leica M205 binocular microscope.

носителем повышенную рентгеновскую плотность. Размер включений составляет сотые доли миллиметра, длина цепочки 0,1–0,4 мм. Одна из цепочек находится в видимой трещине, выходящей на поверхность (рис. 7). Алмаз-узник также имеет включения с повышенной рентгеновской плотностью, которые находятся в его центральной части.

Зеленая окраска алмаза может быть связана с природным облучением, в результате которого на поверхности кристаллов формируется тонкий прозрачный слой зеленого цвета. Многие авторы [5, 9, 10] объясняют зеленую окраску алмазов наличием в структуре кристалла GR1-дефекта, который является одиночной вакансией.

Алмаз-узник имеет слабый желтый оттенок. Желтая окраска алмаза связана с наличием примеси азота в структуре кристалла в виде N3-дефекта [5].

**Фотолюминесценция.** На спектре фотолюминесценции алмаза отчетливо фиксируется N3-дефект (415 нм) (рис. 9). Этот дефект, представляющий собой три атома азота и вакансию, характерен для большинства природных алмазов. Бесформенное плечо справа от N3-дефекта предположительно является N3(N4)-дефектом, которые представляют собой азотно-вакансионные дефекты и образуются в результате посткристал-



**Рис. 9.** Спектр фотолюминесценции алмаза-матрешки.

**Fig. 9.** The photoluminescence spectrum of the diamond-matryoshka.

лического отжига [5]. Бесформенная полоса с размытым максимумом около 610 нм, предположительно является (NV)<sup>0</sup>- и (NV)<sup>-</sup>-дефектами [5].

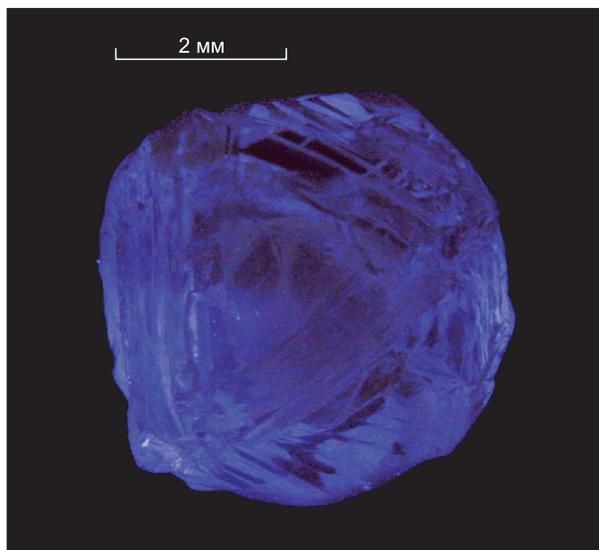
При исследовании люминесценции алмаза с помощью лазера, с длиной волны 337 нм, у алмаза установлено однородное розово-сиреневое свечение слабой интенсивности (рис. 10). Данное свечение связывают с наличием (NV)<sup>0</sup>- и (NV)<sup>-</sup>-дефектов в структуре кристалла [5].

**Инфракрасная спектроскопия.** Методом инфракрасной спектроскопии (ИКС) было проведено интегральное картирование. В результате установлено, что «алмаз-матрешка» имеет высокое содержание структурной примеси азота 1 250 at. ppm, при локально измеренных максимальных значениях – 1 820 at. ppm и минимальных – 589 at. ppm (см. таблицу).

Алмаз имеет зональное строение, суммарное содержание структурной примеси азота увеличивается от периферии к центру, что характерно для большинства природных алмазов [11]. Наибольшие концентрации азота сосредоточены в области нахождения алмаза-узника. Это говорит о том, что алмаз-узник имеет более высокое содержание структурной примеси азота, чем алмаз-хозяин.

Модальное значение содержания В1-дефекта составляет – 40 %, при максимальном значении 64 % и минимальном 28 %. Повышенное содержание В1-дефекта говорит о длительном нахождении в высокотемпературных условиях [11, 12].

Модальное значение коэффициента поглощения полосы В1 – 1367 см<sup>-1</sup>, по данным [13–15], невысокие значения этого коэффициента говорят об относительно пониженных температурах формирования кристаллов алмаза.



**Рис. 10.** Фотография розово-фиолетовой люминесценции алмаза, при воздействии лазером с длиной волны 337 нм.

**Fig. 10.** Photo of the pink-purple luminescence of a diamond, at a wavelength of 337 nm.

Содержание структурной примеси водорода низкое, его модальное значение  $1 \text{ см}^{-1}$ , при максимальном значении  $4 \text{ см}^{-1}$  и минимальном  $0 \text{ см}^{-1}$ . Содержание примеси водорода в кристаллах взаимосвязано с механизмом роста. Незначительные количества водородных центров объясняются послойным механизмом роста, проявляющегося в послойно-замкнутом октаэдрическом строении, что наиболее характерно для алмазов из месторождений Якутии [14, 16, 17].

### Обсуждение полученных результатов

В результате минералогического описания было установлено:

1. Алмаз-хозяин и алмаз-узник проявляют сходство морфологии.

Алмаз-хозяин и алмаз-узник являются шпинелевыми двойниками октаэдра, но так как алмаз был подвержен процессам окислительного растворения, то октаэдрическая форма алмаза-

хозяина в результате была изменена до переходной формы октаэдр–додекаэдроид.

2. На некоторых стенках полости алмаза-хозяина установлена индукционная штриховка совместного роста. Наличие данной штриховки говорит о ранее существовавшем контакте кристаллов алмаза-хозяина и заключенного в нем алмаза-узника. На стенках полости алмаза-хозяина нигде не отмечено отпечатков другого минерала, отличного от алмаза.

Если бы алмаз-узник был сначала заключен в другой минерал, а потом снова был заключен в алмаз-хозяин, то стенки алмаза-хозяина имели бы форму или отпечатки того минерала, в который был заключен алмаз-узник. Подобный случай был отмечен в трубке Мир: алмаз с включением алмаза, отделенного от алмаза-хозяина хромитом. На фото видно неровные границы полости, не характерные для форм кристалла алмаза [1] (см. рис. 2).

3. Алмаз-хозяин и алмаз-узник имеют признаки природного травления. Алмаз-хозяин имеет два канала травления, которые расположены в зоне двойникового шва.

В процессе роста кристалла алмаза в структуре формируются различные ростовые дефекты: дислокационные диполи, дислокации и т. д. [5, 18]. Формированию данных дефектов способствует наличие включений в алмазе, которые деформируют структуру кристалла. В этом случае дислокации распространяются радиально-лучисто в направлении к поверхности кристалла алмаза. Данные дефекты, неоднородности строения, двойниковые плоскости – обуславливают характер растворения и внешний вид кристалла алмаза после процессов аксессуарного травления.

Аксессуарное травление описано Ю.Л. Орловым [2] и подтверждено экспериментальными исследованиями [19, 21], проявляется локально и формирует различные фигуры травления в местах выхода дислокаций и других дефектов. В процессе травления может происходить вы-

### Дефектно-примесный состав «алмаза-матрешки» по результатам ИКС

#### Defect-impurity composition of the «diamond-matryoshka» according to the results of the ICS

	A, at. ppm	B, at. ppm	Ntot, at. ppm	B1, %	B2, $\text{см}^{-1}$	RzB2, $\text{см}^{-1}$	CH, $\text{см}^{-1}$	Положение CH, $\text{см}^{-1}$
Максимум	1 180	750	1 820	64	26	1 376	4	3 107
Минимум	215	291	589	28	6	1 363	0	3 107
Модальное значение	792	520	1 250	40	18	1 367	2	3 107

травливание тонких иглообразных каналов, которые проникают внутрь кристалла. Часто образование таких каналов происходит по плоскости двойникования.

В процессе роста кристалла алмаза выделяют несколько этапов [1, 5] алмазообразования, суть которых заключается в том, что при росте алмаз может попадать в различные условия: могут меняться температурные условия, давление, пересыщение, окислительно-восстановительный потенциал и т. д., вследствие этого в мантийных условиях алмаз может расти, растворяться и снова расти. Это подтверждается наличием у кристаллов алмаза ростовой зональности, которая хорошо видна после распиловки кристалла.

Наличие зон с высокими концентрациями азота в структуре алмаза говорит о значительном его содержании в алмазообразующей среде. Экспериментально установлено [22], что по сравнению с кубическими секторами роста октаэдрические образуются при более высоких температурах и постоянном давлении, при повышении температуры происходит выклинивание кубических секторов роста.

### Выводы

Алмаз-хозяин и алмаз-узник образовались приблизительно в одно время, при одинаковых давлениях и температуре из общего мантийного субстрата, об этом свидетельствуют подобная форма и одинаковый дефектно-примесный состав, близкое содержание и распределение примесей азота и водорода, с небольшим увеличением азота в V1-форме в центральной области минерала-узника (это характерно для всех монокристаллов алмаза), однородная люминесценция и наличие N3-, N3-дефектов в обоих кристаллах также подтверждают единую природу этого уникального алмаза.

Повышенное содержание азота в минерале-узнике свидетельствует, что сначала сформировался внутренний алмаз, и только потом начался рост алмаза-хозяина. А наличие индукционной штриховки говорит о том, что был контакт кристаллов алмаза-хозяина и заключенного в нем алмаза-узника. В промежуточной стадии роста рост алмаза-узника был заблокирован другим минералом или расплавом, а в области индукционной штриховки начинался рост алмаза-хозяина. После того как образовался алмаз-хозяин, «алмаз-матрешка» попал в среду, в которой в результате агрессивных мантийных процессов была рас-

творена прослойка и сформировалась пустая полость, в ней свободно перемещается алмаз-узник. Однако не осталось никаких следов, позволяющих судить о присутствии в полости и затем растворенного минерала или флюида, заполнявшего пространство между кристаллами.

На последнем этапе в кимберлитовой трубке присутствовал источник природной радиации, в результате в кристалле образовались азотно-вакансионные дефекты и скорее всего вакансионный дефект GR1, который характерен для алмазов с зеленой окраской. Стоит заметить, что наличие радиационных дефектов может значительно ускорить процесс природного травления алмазов [25].

На наш взгляд «алмаз-матрешка» является самой прекрасной иллюстрацией полигенности и многостадийности образования природного алмаза. А также наглядным объяснением страсти ученых геологов и минералогов к научным исследованиям минералов, ведь в таких уникальных кристаллах скрыто много загадок, разгадывая которые мы приближаемся к пониманию сложных перипетий процессов, сопутствующих образованию природного алмаза. Надеемся, что в ближайшем будущем нас ждет еще много таких приятных сюрпризов.

Авторы планируют продолжить исследование замечательного алмаза и более детально рассказать о генезисе алмаза в следующей статье.

*Авторы выражают благодарность рецензенту за ценные замечания и конструктивные предложения, способствовавшие улучшению статьи!*

### Литература

1. Гаранин В.К. Минералогия кимберлитов и родственных им пород алмазоносных провинций России в связи с их генезисом и поисками. Дисс. ... докт. геол.-мин. наук. М.: МГУ, 2006.
2. Орлов Ю.Л. Минералогия алмаза. М.: Наука, 1984. 264 с.
3. Костровицкий С.И., Спецрус З.В., Яковлев Д.А., Фон-дер-Флаас Г.С., Суворова Л.Ф., Богуш И.Н. Атлас коренных месторождений алмазов Якутской кимберлитовой провинции. Мирный: АЛРОСА, 2015. 480 с.
4. Шаталов В.И., Граханов С.А., Егоров А.Н., Сафьянников Ю.В. Геологическое строение и алмазоносность древних россыпей алмазов Накынского кимберлитового поля якутской алмазоносной провинции // Вестник Воронежского университета. Геология. 2002. № 1.
5. Zaitsev A.M. Optical properties of diamond: A data handbook. Berlin; Heidelberg: Springer, 2001. 502 p.

6. *Харькив А.Д., Зинчук Н.Н., Крючков А.И.* Коренные месторождения алмазов мира. М.: Недра, 1998. 554 с.
7. *Boyd S.R., Kiflawi I., Woods G.S.* The relationship between infrared absorption and the A defect concentration in diamond // *Phil. Mag.*, В. 1994. Vol. 69. P. 1149–1153.
8. *Boyd S.R., Kiflawi I., Woods G.S.* Infrared absorption by the B nitrogen aggregate in diamond // *Phil. Mag.*, В. 1995. Vol. 72. P. 351–361.
9. *Field J.E.* The Properties Natural and Synthetic Diamond. London: Academic Press, 1992.
10. *Welbourn C.M., Saito S., Fujimory N., Fukunaga O., Kato M., Kobashi K., Yoshikawa M.* In *Advances in New Diamond Science and Technology*. Tokyo, 1994. 327 p.
11. *Васильев Е.А.* Планарные оптически-активные центры алмазов как индикаторы условий алмазообразования. Автореф. дисс... канд. геол.-мин. наук. СПб., 2007. 21 с.
12. *Криулина Г.Ю.* Конституционные характеристики алмаза из месторождений Архангельской и Якутской алмазоносных провинций: Автореф. дисс. ... канд. геол.-мин. наук. М., 2012. 24 с.
13. *Криулина Г.Ю., Васильев Е.А., Гаранин В.К.* Структурные дефекты в алмазах Архангельской и Якутской алмазоносных провинций // Сборник публикаций по результатам III и IV ежегодных научных чтений им. Г.П. Кудрявцевой. М.: Институт прикладной минералогии, 2010. С. 93–103.
14. *Блинова Г.К.* Структурные примеси как индикаторы механизма роста природных кристаллов алмаза // Докл. АН СССР, 1987. Т. 294, № 4. С. 868–871.
15. *Винс В.Г.* Оптически активные дефекты в алмазе – закономерности образования и взаимной трансформации. Автореф. дис. ... докт. физ.-мат. наук. Барнаул, 2011. 40 с.
16. *Винс В.Г., Елисеев А.П.* Влияние условий выращивания на спектральные характеристики синтетических алмазов типа Ib // Перспективные материалы. 2009. № 6. С. 36–42.
17. *Винс В.Г., Елисеев А.П.* Влияние отжига при высоких давлениях и температурах на дефекто-примесную структуру природных алмазов // Перспективные материалы. 2010. № 1. С. 49–58.
18. *Бескрованов В.В.* Онтогения алмаза. Новосибирск: Наука, 2000. 264 с.
19. *Кухаренко А.А.* Алмазы Урала. М.: Госгеолтехиздат, 1955. 514 с.
20. *Хохряков А.Ф.* Экспериментальное изучение образования округлых кристаллов алмаза // Вестник ОГГТГН РАН, 2000. Т. 1. Вып. 15, № 5. С. 80–88.
21. *Чепуров А.И., Федоров И.И., Сонин В.М.* Экспериментальное моделирование процессов алмазообразования. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1997. 197 с.
22. *Кулакова И.И., Пушкин А.Н., Руденко А.П., Штурман В.Л.* Исследование каталитического окисления алмазов в связи с вопросами их роста – растворения в природных условиях // Комплексные исследования алмазов. Труды ЦНИГРИ. Вып. 153. 1980. С. 57–63.
23. *Литвин Ю.А., Безруков Г.Н.* О росте кристаллов искусственного алмаза // Докл. АН СССР. 1968. Т. 181, № 5. С. 1123–1125.
24. *Краснова Н.И., Петров Т.Г.* Генезис минеральных индивидов и агрегатов. СПб.: Невский курьер, 1997. 228 с.
25. *Пунин Ю.О.* Расщепление кристаллов // ЗВМО, 1981. Ч. 110, Вып. 6. С. 666–686.

Поступила в редакцию 14.04.2020  
Принята к публикации 08.05.2020

#### Об авторах

КОНОГОРОВА Диана Викторовна, младший научный сотрудник, Научно-исследовательское геологическое предприятие АК «АЛРОСА» (ПАО), Мирный, Россия, 678170, Чернышевское шоссе, 16, <https://orcid.org/0000-0002-7156-2196>, [KonogorovaDV@alrosa.ru](mailto:KonogorovaDV@alrosa.ru);

КОВАЛЬЧУК Олег Евгеньевич, заместитель директора по инновационной работе, Научно-исследовательское геологическое предприятие АК «АЛРОСА» (ПАО), Мирный, Россия, 678170, Чернышевское шоссе, 16, <https://orcid.org/0000-0001-5127-3752>, [KovalchukOE@alrosa.ru](mailto:KovalchukOE@alrosa.ru);

БАРДУХИНОВ Леонид Данилович, заведующий лабораторией, Научно-исследовательское геологическое предприятие АК «АЛРОСА» (ПАО), Мирный, Россия, 678170, Чернышевское шоссе, 16, <https://orcid.org/0000-0001-6526-2747>, [BardukhinovLD@alrosa.ru](mailto:BardukhinovLD@alrosa.ru);

#### Информация для цитирования

Коногорова Д.В., Ковальчук О.Е., Бардухинов Л.Д. Уникальный алмаз из трубки Нюрбинская (Накынское кимберлитовое поле, Западная Якутия, Россия) // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2020. Т. 25, № 2. С. 45–55. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-2-3>

## Unique diamond from the Nyurbinskaya pipe (Nakyn kimberlite field, West Yakutia, Russia)

D.V. Konogorova<sup>1,2,\*</sup>, O.E. Kovalchuk<sup>1</sup>, L.D. Bardukhinov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>NIGP PJSC «ALROSA», Mirny, Russia

<sup>2</sup>Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

\*KonogorovaDV@alrosa.ru

**Abstract.** For the first time in the world, a unique diamond has been discovered, with a smaller diamond freely moving in its cavity. The crystals were studied in detail by X-ray microtomography, which allowed us to build three-dimensional models of them, to establish in detail the morphological features of both the host and the prisoner minerals, and to determine the weight of each of them. On diametrically opposite surfaces of the host diamond, there are two through channels that lead to the cavity in which the internal diamond-prisoner is located. The channels contain barite, and one of the channels is hermetically sealed with this mineral. At the entrance to the cavity, both channels are narrow and have a diameter of about 0.1 mm. The morphology of the internal walls of the cavity approximates the morphology of the surface of the internal diamond. According to the results of infrared spectroscopy, the diamond has a high content of structural nitrogen impurity 1,250 at. ppm. Integral volume mapping was performed using Raman confocal spectroscopy, which resulted in a layer-by-layer reconstruction of the internal structure of the diamond. Luminescence studies using a laser with a long excitation wave of 337 nm revealed a uniform pink-lilac glow in both diamonds.

**Key words:** Almaz, Nakyn field, Nyurbinskaya tube, infrared spectroscopy, kimberlite, matryoshka, green diamond, diamond inclusion, X-ray microtomography.

**Acknowledgements.** The authors thank for the discussion of the obtained materials and assistance writing staff Geo-Scientific Research Enterprise Public Joint Stock Company «ALROSA» – Malkovec Vladimir Grigorevic, Bogush Irina Nikolayevna, Baranov Leonid Nikolayevich, Shishmarev Roman Alekseevich, Zaitsevsky Fyodor Konstantinovich, and employees of the Lomonosov Moscow state University – Garanin Victor Konstantinovich and Kriulina Galina Yurievna.

### References

1. Garanin V.K. Mineralogy of kimberlites and related rocks of the diamond-bearing provinces of Russia in connection with their Genesis and search. Diss. ... doct. geol.-min. sciences. M.: Moscow state University, 2006.
2. Orlov Yu.L. Mineralogy of diamond. Moscow: Nauka, 1984. 264 p.
3. Kostrovitsky S.I., Spezius Z.V., Yakovlev D.A., von der Flaass G.S., Suvorova L.F., Bogush I.N. Atlas of indigenous diamond deposits of the Yakut kimberlite province. Mirny: ALROSA, 2015. 480 p.
4. Shatalov V.I., Grahanov S.A., Egorov A.N., Safyanikov Yu.V. Geological structure and diamond content of ancient placers of diamonds of the Nakyn kimberlite field of the Yakut diamondiferous province // Bulletin of the Voronezh University. Geology. 2002. No. 1.
5. Zaitsev A.M. Optical properties of diamond: A data handbook. Berlin; Heidelberg: Springer, 2001. 502 p.
6. Harkiv A.D., Zinchuk N.N., Kryuchkov A.I. Indigenous diamond deposits of the world. Moscow: Nedra, 1998. 554 p.
7. Boyd S.R., Kiflawi I., Woods G.S. The relationship between infrared absorption and the A defect concentration in diamond // Phil. Mag., B. 1994. Vol. 69. P. 1149–1153.
8. Boyd S.R., Kiflawi I., Woods G.S. Infrared absorption by the B nitrogen aggregate in diamond // Phil. Mag., B. 1995. Vol. 72. P. 351–361.
9. Field J.E. The Properties Natural and Synthetic Diamond. London: Academic Press, 1992.
10. Welbourn C.M., Saito S., Fujimory N., Fukunaga O., Kamo M., Kobashi K., Yoshikawa M. In Advances in New Diamond Science and Technology. Tokyo, 1994. 327 p.
11. Vasiliev E.A. Planar optically active centers of diamonds as indicators of diamond formation conditions. Abstract. diss ... cand. geol.-min. sciences. SPb, 2007. 21 p.
12. Kriulina G.Yu. Constitutional characteristics of diamond from the deposits of the Arkhangelsk and Yakut diamond-bearing provinces. Author of the diss. ... cand. geol.-min. Moscow, 2012. 24 p.

13. *Kriulina G.Yu., Vasiliev E.A., Garanin V.K.* Structural defects in diamonds of the Arkhangelsk and Yakut diamond-bearing provinces // Collection of publications on the results of the III and IV annual scientific readings named after G. P. Kudryavtsev / Institute of applied Mineralogy, 2010. P. 93–103.
14. *Blinova G.K.* Structural additives as indicators of the mechanism of growth of natural diamond crystals // Dokl. AN SSSR. 1987. Vol. 294, No. 4. P. 868–871
15. *Vince V.G.* Optically active defects in diamond-regularities of formation and mutual transformation. Autoref. dis. ... doctor of physical and mathematical Sciences. Barnaul, 2011. 40 P.
16. *Vince V.G., Eliseev A.P.* Influence of growing conditions on the spectral characteristics of synthetic diamonds of type Ib // Perspective materials. 2009. No. 6. P. 36–42.
17. *Vince V.G., Eliseev A.P.* Influence of annealing at high pressures and temperatures on the defect-impurity structure of natural diamonds // Perspective materials. 2010. No. 1. P. 49–58.
18. *Beskrovanov V.V.* Ontogeny of diamond. Novosibirsk: Nauka, 2000. 264 p.
19. *Kukharev A.A.* Almazy Ural. M.: Gosgeoltekhizdat, 1955. 514 p.
20. *Khokhryakov A.F.* Experimental study of the formation of rounded diamond crystals // Bulletin of the Russian Academy of Sciences. 2000. Vol. 1, Iss. 15, No. 5. P. 80–88.
21. *Chepurov A.I., Fedorov I.I., Sonin V.M.* Experimental modeling of diamond formation processes. Novosibirsk: Publishing house of SB RAS, 1997. 197 P.
22. *Kulakova I.I., Pushkin A.N., Rudenko A.P., Shturman V.L.* Investigation of the catalytic oxidation of diamonds in connection with the issues of their growth-dissolution in natural conditions // Trudy CNIGRI. M.: 1980. Issue 153. P. 57–63.
23. *Litvin Yu.A., Bezrukov G.N.* On the growth of artificial diamond crystals // Dokl. AN SSSR. 1968. Vol. 181, No. 5. P. 1123–1125.
24. *Krasnova N.I., Petrov T.G.* Genesis of mineral individuals and aggregates. Nevsky courier, 1997. 228 p.
25. *Punin Yu.O.* Splitting of crystals // ZVMO. 1981. CH. 110, Vol. 6. P. 666–686.

*About the authors*

KONOGOROVA Diana Viktorovna, senior researcher, Geo-Scientific Research Enterprise Public Joint Stock Company «ALROSA», 16 Chernyshevskoe shosse, Mirny, 678170, Republic of Sakha (Yakutia), Russia,

<https://orcid.org/0000-0002-7156-2196>, [KonogorovaDV@alrosa.ru](mailto:KonogorovaDV@alrosa.ru);

KOVALCHUK Oleg Evgenievich, deputy director, Geo-Scientific Research Enterprise Public Joint Stock Company «ALROSA», 16 Chernyshevskoe shosse, Mirny, 678170, Republic of Sakha (Yakutia), Russia, <https://orcid.org/0000-0001-5127-3752>, [KovalchukOE@alrosa.ru](mailto:KovalchukOE@alrosa.ru);

BARDUKHINOV Leonid Daniilovich, head of the laboratory, Geo-Scientific Research Enterprise Public Joint Stock Company «ALROSA», 16 Chernyshevskoe shosse, Mirny, 678170, Republic of Sakha (Yakutia), Russia,

<https://orcid.org/0000-0001-6526-2747>, [BardukhinovLD@alrosa.ru](mailto:BardukhinovLD@alrosa.ru);

*Citation*

*Konogorova D.V., Kovalchuk O.E., Bardukhinov L.D.* Unique diamond from Nyurbinskaya pipe (Nakyn kimberlite field, Western Yakutia, Russia) // Arctic and Subarctic Natural Resources. 2020. Vol. 25, No. 2. P. 45–55. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-2-3>