

УДК 553.08

doi: 10.55959/MSU0579-9406-4-2024-63-6-132-139

## МОРФОЛОГИЯ, ОКРАСКА И СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АЛМАЗОВ РОССЫПИ ГУСИНЫЙ РУЧЕЙ (АНАБАР, ЯКУТИЯ)

Сергей Васильевич Вяткин<sup>1</sup>✉, Галина Юрьевна Криулина<sup>2</sup>,  
Виктор Константинович Гаранин<sup>3</sup>, Леонид Даниилович Бардухинов<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; vyt\_box@mail.ru✉, <https://orcid.org/0000-0002-5054-575X>

<sup>2</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; galinadiamond@gmail.com

<sup>3</sup> Минералогический музей им. А.Е.Ферсмана, Москва, Россия; vgaranin@mail.ru

<sup>4</sup> ВГРЭ АК «АЛРОСА» ПАО, Мирный, Россия; BardukhinovLD@alrosa.ru

**Аннотация.** Представительная коллекция алмазов россыпи Гусиный ручей (Анабар, Якутия) исследована методами морфологического анализа, инфракрасной спектроскопии и электронного парамагнитного резонанса. Типоморфным признаком алмазов ручья Гусиный является высокое, в сравнении с другими россыпями Анабара, содержание кристаллов V и VII разновидностей по классификации Ю.Л. Орлова при уменьшении доли кривогранных додекаэдров. Последнее коррелирует со снижением распространенности скульптур и штриховок на поверхности кристаллов. Также к характерным признакам можно отнести увеличенное содержание алмазов с присутствием в окраске серых тонов и с включениями графита. Доля бесцветных кристаллов составляет лишь 5,9%. Более 11% кристаллов способны люминесцировать при возбуждении ультрафиолетовым излучением на длине волны 254 нм. Алмазы россыпи Гусиный ручей частично обогащают участок «Нижний» россыпи Эбелях, это повышает его алмазоносность, но не качество алмазного сырья.

**Ключевые слова:** алмаз, Анабар, Гусиный ручей, Эбелях, россыпи, типоморфизм алмаза, ИК, ЭПР

**Для цитирования:** Вяткин С.В., Криулина Г.Ю., Гаранин В.К., Бардухинов Л.Д. Морфология, окраска и спектроскопические характеристики алмазов россыпи Гусиный ручей (Анабар, Якутия) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2024. № 6. С. 132–139.

## MORPHOLOGY, COLORATION AND SPECTROSCOPIC CHARACTERISTICS OF THE GUSINYI RUCHEY PLACER DIAMONDS (ANABAR, YAKUTIA)

Sergey V. Vyatkin<sup>1</sup>✉, Galina Yu. Kriulina<sup>2</sup>, Viktor K. Garanin<sup>3</sup>,  
Leonid D. Bardukhinov<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; vyt\_box@mail.ru✉, <https://orcid.org/0000-0002-5054-575X>

<sup>2</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; galinadiamond@gmail.com

<sup>3</sup> Fersman Mineralogical Museum, Moscow, Russia; vgaranin@mail.ru

<sup>4</sup> Vilyuiskaya GRE of PJSC ALROSA, Mirny, Russia; BardukhinovLD@alrosa.ru

**Abstract.** A representative collection of diamonds from the Gusinyi Ruchey (Anabar, Yakutia) placer has been studied by morphological analysis, infrared spectroscopy and electron paramagnetic resonance methods. Typomorphic features of Gusinyi Ruchey diamonds are the relatively high content of crystals of V and VII varieties according to the classification of Y.L. Orlov, even for Anabar placers, with a decrease in the proportion of curved dodecahedroids. The latter correlates with a decrease in the prevalence of sculptures and hatching on the surface of crystals. Also, the characteristic features include an increased content of diamonds with the presence of gray tones in the color and with graphite inclusions. The proportion of colorless crystals is only 5.9%. More than 11% of crystals are able to luminesce when excited by ultraviolet radiation at a wavelength of 254 nm. The diamonds of the Gusinyi Ruchey placer partially enrich the “Nizhniy” section of the Ebelakh placer, this increases its diamond content, but not the quality of the rough diamonds.

**Keywords:** diamond, Anabar, Gusinyi Ruchey, Ebelakh, placers, diamond typomorphism, IR, EPR

**For citation:** Vyatkin S.V., Kriulina G.Yu., Garanin V.K., Bardukhinov L.D. Morphology, coloration and spectroscopic characteristics of the Gusinyi Ruchey placer diamonds (Anabar, Yakutia). *Moscow University Geol. Bull.* 2024; 6: 132–139. (In Russ.).

**Введение.** Одно из крупнейших в мире россыпных месторождений алмазов реки Эбелях было открыто во время геолого-съёмочных работ Амакинской экспедиции в 1964–1965 гг., и уже в 1967–1969 гг. Эбеляхская партия экспедиции провела поисковые работы на всех крупных притоках р. Эбелях, в том числе на ручье Гусиный [Граханов и др., 2007]. Ручей Гусиный является левым притоком р. Эбелях, впадающим в нее в нижнем течении, в 44 км от истока. В 1980–1985 гг. была произведена детальная разведка, подтвердившая промышленную алмазность россыпи Гусиный ручей, а ее отработка ведется с 2014 г.

Долина ручья выработана в карбонатных породах среднего кембрия. Алмазоносными в промышленных масштабах являются неогеновые отложения, верхнечетвертичные осадки, переотложенные коры выветривания и современные аллювиальные отложения. Основной продуктивный пласт сложен неоген — нижнечетвертичными отложениями, мощность которых в изменяется в пределах от 2,0 до 5,0 м. Неогеновые отложения также заполняют депрессии карстового и эрозионно-карстового типов в днище и на склоне долины ручья Гусиный, размеры которых варьируют от 10 × 17 до 380 × 80 м при средней мощности 8 м. Содержание алмазов в россыпи колеблется от 0,38 до 2,40 кар/м<sup>3</sup>, максимальное достигает 19,04 кар/м<sup>3</sup> [Граханов и др., 2007].

Основной проблемой при изучении геологической истории россыпей северо-востока Сибирской платформы является отсутствие определенности в вопросе количества и расположения их коренных источников. Различные модели многостадийного переотложения алмазоносных пород из нескольких источников рассматриваются в значительном числе исследований [Горина, 1971; Метелкина и др., 1976; Граханов, 2000; Афанасьев и др., 2002; Граханов, Коптиль, 2003; Зинчук, Коптиль, 2003; Владыкин, Торбеева, 2005; Афанасьев и др., 2011; Шацкий и др., 2011; Zedgenizov, et al., 2016, 2017]. Общепризнанная точка зрения о наличии источников нескольких типов базируется в основном на значительном разнообразии морфологических и спектроскопических характеристик алмазов россыпей Анабара, не соотносимом ни с одним из известных в настоящее время типов коренных месторождений. Россыпные алмазы северо-востока Сибирской платформы и алмазы, добываемые в коренном залегании в ее центральной части, различны. Эти различия становятся особенно заметны при сравнении не единичных кристаллов, а статистически значимых представительных выборок. Кроме очевидного механического износа они состоят в значительном изменении соотношения разновидностей алмазов по классификации Ю.Л. Орлова [Орлов, 1984]. Увеличиваются доли кристаллов II и VII и особенно V разновидностей. Встречаемость в кристаллах алмазов некоторых характеристик, например, люминесценции при возбуждении ультрафиолетовым излучением (УФ)



Рис. 1. Схема расположения россыпей бассейна реки Эбелях по [Граханов и др., 2007]

на длине волны 254 нм, увеличивается настолько, что становится типоморфным признаком [Вяткин и др., 2022].

Неоднократный переувал алмазных россыпей Анабара в их геологической истории происходил в условиях изменяющихся режимов и направлений сноса. Как следствие, различия в процентном содержании алмазов — носителей типоморфных признаков разных групп могут проявляться даже для выборок из расположенных недалеко друг от друга россыпей, что может дать информацию об их позиционировании относительно источников сноса. В данной работе отражены результаты исследований морфологических и спектроскопических, в т.ч. типоморфных, характеристик кристаллов алмаза россыпи Гусиный ручей. Следует отметить, что именно поступлением алмазов в реку Эбелях из ее левых притоков (ручьи Гусиный, руч. 53, Ыраас-Юрях, Холомолоох) объясняется высокая продуктивность участка «Нижний» россыпи реки Эбелях, максимальная в ряду из пяти участков, на которые разделена россыпь («Исток», «Верховье», «Верхний», «Нижний» и «Устьевой» — [Граханов и др., 2007]), (рис. 1). Для оценки влияния этого привноса характеристики алмазов россыпи Гусиный ручей даны в сравнении с аналогичными характеристиками алмазов, добытых на участке «Нижний» россыпи р. Эбелях, между устьями ручья Гусиный и ручья 53, описанные в [Вяткин и др., 2022].

**Материалы и методы исследований.** Проведенные в работе исследования базируются на представительной коллекции из 446 алмазов, предоставленной компанией АК АЛПРОСА. Алмазы добыты в 2018 г. на россыпи Гусиный ручей. Исследованная выборка кристаллов алмаза состояла из двух размерно-весовых групп: –12+11 (248 шт.), масса одного кристалла в пределах 0,30–0,45 кар., и –9+7 (194 шт.), масса одного кристалла 0,10–0,15 кар. Выборка алмазов получена из соответствующих размерно-весовых групп партии промышленной добычи методом квартования. На основе полной выборки (446 шт.) были выявлены распределения алмазов по габитусу, окраске, а также визуальной люминесцен-

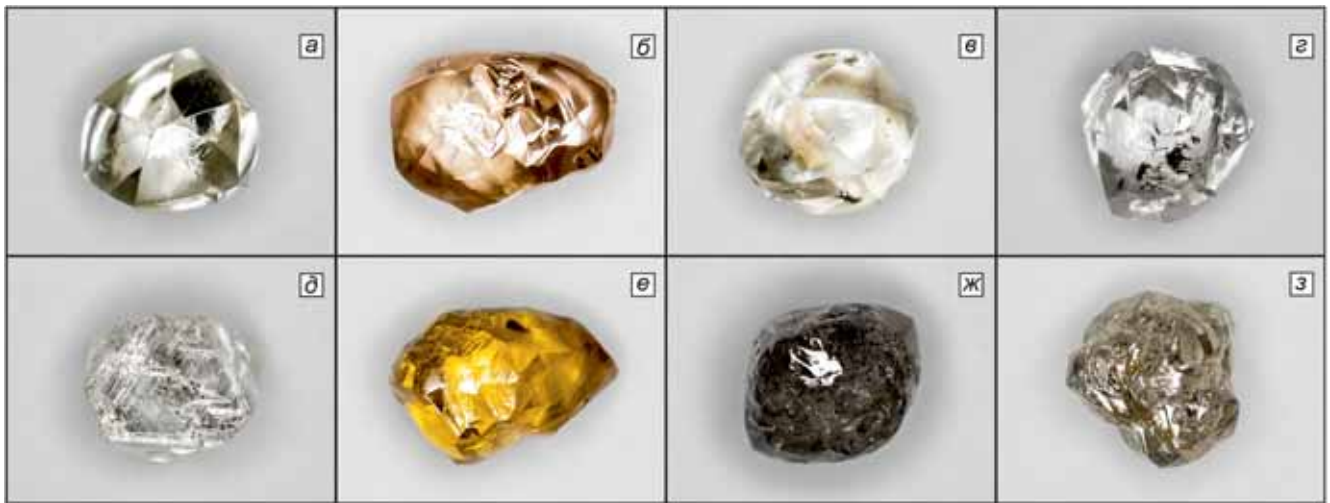


Рис. 2. Алмазы россыпи Гусиный ручей. *a* — обр. 3-1: кривогранный додекаэдроид уральского типа 0,36 кар., видимого желтого оттенка; *б* — обр. 7-1: коричневый кривогранный додекаэдроид 0,43 кар., с кавернами и отрицательными треугольными пирамидами травления, полосами пластической деформации и участками шагреновой поверхности, присутствуют включения графита; *в* — обр. 12-1: кривогранный додекаэдроид (тетрагексаэдроид) слабого коричневого оттенка 0,39 кар, с занозистой штриховкой, каплевидно-блоковой скульптурой, треугольными фигурами и тетрагональной пирамидой травления, присутствуют включения графит-сульфида и ожелезнение; *г* — обр. 16-2: бесцветный кривогранный додекаэдроид 0,35 кар, с мозаично-блоковой скульптурой и кавернами, присутствуют включения графита и графит-сульфида; *д* — обр. 10-1: бесцветный плоскогранный октаэдр 0,31 кар, с полицентризмом роста граней, ступенчатостью и ростовой параллельной штриховкой, с расщеплением вершин, с треугольными фигурами травления, с включениями графита; *е* — обр. 27-1: интенсивно-желтый кривогранный додекаэдроид 0,38 кар, с мозаично-блоковой скульптурой, занозистой штриховкой и включением сульфида; *ж* — обр. 29-2: темно-серый плоскогранно-кривогранный кристалл переходной формы октаэдр-додекаэдроид 0,41 кар, с занозистой штриховкой, треугольными фигурами травления и ожелезнением, с многочисленными включениями графита и графит-сульфида; *з* — обр. 29-5: серый поликристаллический агрегат 0,38 кар., отдельные индивиды которого представлены кривогранными додекаэдроидами и переходными формами, с кавернами, треугольными фигурами травления и ожелезнением, с включениями графита, графит-сульфида и ожелезнением. Фотографии алмазов приведены в одном масштабе, поля зрения  $7 \times 5,2$  мм

ции. Покристалльное минералогическое описание, включающее в себя оценку габитуса, разновидности по классификации Ю.Л. Орлова [Орлов, 1984], форм роста и растворения кристалла, наличия включений, износа и т.д. было произведено на основе статистически идентичной выборки из 150 кристаллов (87 шт. группы  $-12+11$  и 63 шт. группы  $-9+7$ ). Кроме того, выполнены спектроскопические исследования методами инфракрасной спектроскопии (ИК, 24 шт.) и электронного парамагнитного резонанса (ЭПР, 27 шт.), систематика центров дана согласно [Dischler, 2013; Zaitsev, 2001; Минеева и др., 1996].

Минералогическое описание алмазов проводилось с использованием бинокля «Motic SMZ-143 и УФ осветителя-бокса (365 и 254 нм). ИК-спектроскопические исследования алмазов проводились на ИК-Фурье спектрометре Bruker VERTEX 70 в комплексе с ИК-микроскопом Hyperion 2000. Спектры ЭПР регистрировали на спектрометре «Varian E-115».

Для сравнения использованы материалы исследования коллекции из 704 алмазов россыпи реки Эбелях [Вяткин и др., 2022], также добытых в 2018 г. и предоставленных компанией АК АЛРОСА.

**Результаты исследований.** Фотографии некоторых из исследованных алмазов россыпи Гусиный ручей представлены на рис. 2. Распределение кристаллов алмаза россыпи Гусиный ручей по габитусу и разновидностям по классификации Ю.Л. Орлова

в сравнении с алмазами россыпи р. Эбелях представлено в табл. 1. Морфология поверхности кристаллов алмаза россыпи Гусиный ручей (а также соответствующие значения признаков для р. Эбелях) — формы роста, растворения и локального акцессорного травления, а также морфологические проявления процессов пластической деформации кристаллов отражены в табл. 2. Степень монокристалличности кристаллов алмаза россыпи Гусиный ручей — от наличия видимых по морфологии двойниковых швов до поликристаллических агрегатов отражена в табл. 3. В строке «без двойников» учтены монокристаллы и их осколки. Распределение кристаллов по степени механического износа проиллюстрировано в табл. 4. Признаки, по которым оценивался износ алмазов, аналогичны использованным в работе [Кухаренко, 1955]. Данные табл. 5. посвящены сравнительной характеристике окраски алмазов россыпью Гусиный ручей и Эбелях. Важно еще раз отметить, что все значения характеристик алмазов россыпи Эбелях, используемые для сравнения в данной работе, получены для кристаллов участка р. Эбелях, расположенного ниже впадения в нее ручья Гусиный [Вяткин и др., 2022]. Составу включений в алмазах россыпи Гусиный ручей посвящена табл. 6. Обозначение графит/сульфид введено для включений, которые нельзя однозначно разделить между этими категориями. К группе оливин-сульфид отнесены ассоциирующие включения: сульфидный минерал

Таблица 1

**Частота встречаемости кристаллов алмаза россыпей Гусиный ручей и Эбелях по габитусным типам и разновидностям по классификации Ю.Л. Орлова**

		Габитус кристаллов	руч. Гуси- ный, %	р. Эбелях, %
I	Разновидности по классификации Ю.Л. Орлова	Октаэдр	1,4	1,8
		Октаэдр — додекаэдр	6,5	6,0
		Октаэдр — ромбододекаэдр	2,2	4,8
		Плоскогранно — кривогранные, всего	10,1	12,6
		Додекаэдр уральского типа	21,3	28,1
		Ламинарный додекаэдр	21,5	23,9
		Псевдоромбододекаэдр	2,0	6,4
		Кривогранные додекаэдры, всего	44,8	58,4
		Неопределенные формы	1,7	0,7
		II	Куб, куб — додекаэдр, тетрагексаэдр	0,9
III	Куб	1,1	0,1	
IV	Алмаз в оболочке	0,4	0,3	
V	Октаэдр — додекаэдр	23,5	17,1	
VII	Сростки октаэдр — додекаэдр	17,5	9,9	
		V и VII разновидности в сумме	41,0	27,0

Таблица 3

**Наличие двойников и сростков кристаллов алмаза россыпей Гусиный ручей и Эбелях**

Характер образования	руч. Гусиный, %	р. Эбелях, %
полидвойник и поли-кристаллический агрегат	17,3	8,2
шпинелевый двойник	4,0	8,7
двойниковые швы	14,7	15,6
сросток	5,3	13,8
вросток	4,0	4,8
без двойников	54,7	48,9

Таблица 4

**Степень механического износа кристаллов алмаза россыпей Гусиный ручей и Эбелях**

Степень	Истирание	руч. Гуси- ный, %	р. Эбелях, %
0	Отсутствие механического износа	64,7	62,1
1	незначительное истирание вершин	6,7	8,8
2	незначительное истирание вершин и ребер	16,7	11,9
3	истирание вершин и ребер, незначительная матировка граней	4,0	9,7
4	Значительное истирание ребер и граней	3,3	5,0
5	Сильное истирание, округление ребер, полная матировка граней	1,3	1,7
6	Сильное истирание, утрата ребер и вершин	3,3	0,9
леденцовая скульптура		4,0	5,6

Таблица 2

**Частота проявления форм роста, растворения, аксессуарного травления и пластической деформации на поверхности кристаллов алмаза россыпей Гусиный ручей и Эбелях**

Показатель	руч. Гуси- ный, %	р. Эбелях, %
Формы роста		
антискелетный рост	2,0	2,4
полицентризм роста граней	2,7	3,3
блоковое строение	16,0	22,6
ростовая параллельная штриховка	5,3	3,3
ростовая ступенчатость	2,0	1,5
формы роста не сохранены	77,3	69,7
Формы растворения		
мозаично-блоковая скульптура	11,3	22,8
черепитчатая скульптура	11,3	11,4
вальцеобразная скульптура	2,7	3,2
каплевидно-блоковая скульптура	5,3	3,2
дисковидная скульптура	3,3	0
концентрическая штриховка	4,0	6,5
сноповидная штриховка	5,3	9,9
сноповидно-заноцистая штриховка	7,3	7,6
заноцистая штриховка	21,3	20,2
шестовато-заноцистая штриховка	8,7	8,2
округлоступенчатый	2,7	5,0
каплевидные холмики	15,3	13,8
овализация ребер	4,0	4,1
ячеистый рельеф	2,7	0,9
Формы аксессуарного травления		
треугольные фигуры	32,0	25,7
треугольные пирамиды	19,3	33,7
тетрагональные пирамиды	6,0	6,4
ямки	10,0	12,9
каналы травления	32,7	42,9
каверны	28,7	27,1
отсутствуют	4,0	5,5
Внешние проявления процессов пластической деформации		
полосы пластической деформации	12,0	8,7
линии скольжения	7,3	7,9
шагреновая поверхность	18,7	14,3
отсутствуют	72,0	69,1

*Примечание.* Суммы различных форм могут отличаться от 100%, так как на одном кристалле могут встречаться несколько их типов.

Таблица 5

## Окраска кристаллов алмаза россыпи Гусиный ручей

Окраска и ее интенсивность, % числа кристаллов	Слабый оттенок	Видимый оттенок	Цвет	Всего по цвету
бесцветные	5,9			5,9
желтые	11,1	10,4	2,3	23,8
желто-зеленые	0,7	1,1	0	1,8
коричневые	3,2	4,3	1,4	8,8
серо-коричневые	1,8	2,0	0	3,8
серый тон на желтом	5,4	12,9	10,4	28,7
серые	7,5	6,3	7,7	21,5
черные			5,7	5,7
Всего по интенсивности	35,5	37,1	27,4	100,0

Таблица 7

## Визуальная люминесценция кристаллов алмаза россыпей Гусиный ручей и Эбелях

Цвет и интенсивность ФЛ при возбуждении 365 нм	руч. Гусиный, %	р. Эбелях, %
визуально отсутствует	60,0	56,3
голубая слабая	14,7	18,5
голубая средняя	8,0	7,8
голубая интенсивная	13,3	10,9
голубая с зеленым	0	1,6
зеленая	1,3	0,7
желтая	2,0	0,6
зональная	1,0	3,7
в т.ч. ФЛ при возбуждении 254 нм	11,3	5,0

по дисковидной трещине вокруг оливина. Визуальная оценка люминесценции кристаллов отражена в табл. 7, характеристики структурных центров в алмазах россыпи Гусиный ручей, полученные методом инфракрасной (ИК) спектроскопии, представлены в табл. 8. Сравнительная характеристика наличия в кристаллах структурных примесных центров, регистрируемых методом электронного парамагнитного резонанса (ЭПР), проведена с разделением последних на устойчивые ассоциации; результаты такого сравнения приведены в табл. 9.

**Обсуждение результатов.** Разнообразие алмазов россыпей северо-востока Сибирской платформы отражено в их различных морфологических и спектроскопических характеристиках. Это разнообразие проявляется не только при сравнении с алмазами из других россыпных и коренных месторождений — выборки алмазов из различных локаций россыпей северо-востока Сибирской платформы также оказываются неоднородными по составу и свойствам кристаллов. Попытки выделить некоторые группы внутри «алмазов Анабара» предпринимались неоднократно [Зинчук, Коптиль, 2003; Граханов и др.,

Таблица 6

## Состав включений в кристаллах алмаза россыпи Гусиный ручей

Включение	Встречаемость, %	Включение	Встречаемость, %
алмаз	2,7	гранат	1,3
графит	36,7	хромит	0,7
графит/сульфид	40,0	ожелезнение	34,7
сульфид	8,7	нет включений	10,0
оливин-сульфид	4,7	не просматриваются	4,7
оливин	10,0		

Таблица 8

## Характеристики структурных центров в алмазах россыпи Гусиный ручей, полученные методом ИК-спектроскопии

Параметр	Min	Медиана	Max
$N_{\text{гор}}$ , ppm	255,0	1103,8	1717,5
A, ppm	53,3	635,3	1528,2
B1, ppm	123,2	310,3	1087,1
%B	11,0	39,1	79,1
B2, $\text{cm}^{-1}$	1,59	7,44	21,76
RZB2, $\text{cm}^{-1}$	1363,56	1370,68	1382,27
CH, $\text{cm}^{-1}$	0,03	0,93	8,38

Таблица 9

## Ассоциации парамагнитных центров в алмазах россыпей Гусиный ручей и Эбелях

Ассоциация	руч. Гусиный, %	р. Эбелях, %
P1 — OK1	4,0	19,6
P1 — P2	8,0	13,7
P2 — P1 — W21	72,0	51,0
Доминирующий W7	12,0	11,8
Доминирующий N2	4,0	3,9

2007; Афанасьев, 2011; Вяткин и др., 2023], и анализ состава популяций алмаза отдельных россыпей на основе любого способа группировки сразу вскрывает вариативность распространения выделенных групп в масштабах всего северо-востока Сибирской платформы. С одной стороны, это очевидное следствие признания множественности — как по типу, так и по географической локализации — коренных источников россыпей. С другой стороны, такое положение вещей приводит к различной стоимости алмазного сырья на отдельных россыпях и, более того, ее изменениям на участках перемыва и взаимного обогащения соседних россыпей. Некоторые изменения практически во всех морфологических и спектроскопических характеристиках отмечаются для алмазов россыпи Гусиный ручей в отличие от алмазов россыпи Эбелях («Нижний» участок), которую, частично, эти алмазы обогащают.

Наиболее заметный дисбаланс в соотношениях алмазов россыпи Гусиный ручей и участка «Нижний»

россыпи Эбелях по габитусу и разновидностям по классификации Ю.Л. Орлова (табл. 1) — значительное повышение содержания в популяции алмазов Гусиного ручья кристаллов V и VII разновидностей. Увеличение содержания таких алмазов в россыпи Эбелях вниз по течению после впадения в реку продуктивных левых притоков (ручьи Гусиный, руч. 53, Браас-Юрях, Холомолоох) отмечено в работе [Граханов и др., 2007]. Увеличение процентного содержания алмазов V и VII разновидностей, очевидно, происходит за счет уменьшения доли кристаллов I разновидности — доли других незначительны по суммарному содержанию. Однако следует отметить, что наибольшее сокращение приходится на долю кривогранных додекаэдров, процентные содержания плоскогранно-кривогранных форм среди исследованных выборок алмазов россыпью Гусиный ручей и Эбелях практически сопоставимы (табл. 1).

Формы роста и растворения на поверхности кристаллов алмаза россыпи Гусиный ручей в целом выражены слабее, чем у кристаллов россыпи Эбелях (табл. 2). Некоторые позиции, на первый взгляд выбивающиеся из этой закономерности, на деле лишь подтверждают ее. Так, дисковидная скульптура, наличествующая у алмазов россыпи Гусиный ручей и не проявленная у кристаллов россыпи Эбелях, образуется как реликт первичных, недорастворенных поверхностей граней, либо унаследованная неровность на их месте в том случае, когда процесс растворения все еще недостаточен, чтобы ее сгладить. Ячеистый рельеф, вдвое чаще встречаемый у кристаллов россыпи Гусиный ручей, аналогичным образом является продуктом слабого, начальной степени, растворения неровных, построенных вершинками октаэдров поверхностей {100} преимущественно у кристаллов кубического облика.

Также следует отметить, что в сравнении с кристаллами россыпи Эбелях процессы пластической деформации у кристаллов россыпи Гусиный ручей развиты интенсивнее, но проявляется это не в увеличении доли с пластической деформацией (их доли сопоставимы), а в увеличении числа признаков таких процессов на кристаллах, подверженных пластической деформации — у многих кристаллов развиты сразу несколько ее проявлений (табл. 2).

Как уже отмечалось, в россыпи ручей Гусиный по сравнению с россыпью Эбелях происходит увеличение количества алмазов VII разновидности (яснозернистые поликристаллические агрегаты). Однако, процентное содержание монокристаллов в россыпи Гусиный ручей не ниже, а выше, чем для кристаллов россыпи Эбелях (табл. 3). Причина состоит в заметном уменьшении долей шпинелевых двойников и сростков.

Содержания не подверженных механическому износу исследованных кристаллов для двух россыпей близки (табл. 4), кроме того, максимальное количество изношенных кристаллов приходится на вторую его степень. Однако этот максимум для вы-

борки россыпи Гусиный ручей более резко выражен, в то время как падение долей в сторону максимальных степеней износа напротив, более плавное. Таким образом, можно констатировать в среднем несколько более высокую изношенность алмазов россыпи Гусиный ручей по сравнению с алмазами россыпи Эбелях. Содержания кристаллов с выраженной леденцовой скульптурой сопоставимы (табл. 4).

Расхождения в долях кристаллов рассматриваемых россыпей по окраске вполне ожидаемы. Высокое содержание в россыпи Гусиный ручей алмазов V и VII разновидностей обуславливает большую, в сравнении с россыпью Эбелях, долю кристаллов серых, в т.ч. серо-желтых окрасок — суммарно 50,2 против 17%. Главным, с точки зрения средней стоимости алмазного сырья, следствием этого является более низкая доля бесцветных алмазов в россыпи Гусиный ручей по сравнению с россыпью Эбелях, (участок «Нижний») — 5,9 и 12,6% соответственно. Кристаллов коричневых тонов (с учетом серо-коричневых) среди алмазов россыпи Гусиный ручей также меньше (12,6 против 22,6% соответственно). Это еще раз подтверждает, что для алмаза оптические свойства значительно чувствительнее морфологических к процессам пластических нарушений кристаллической структуры, которые проявлены для алмазов россыпи Эбелях сильнее.

Аналогичным образом, доля V и VII разновидностей в числе алмазов в россыпи Гусиный ручей предопределяет и большее распространение примесей графита — его включения присутствуют в 76,7% кристаллов (суммарно графит и графит/сульфид). Для сравнения аналогичное значение для россыпи Эбелях (по данным [Граханов и др., 2007]) составляет 58%. Также следует отметить необычно высокую встречаемость оливина и широкое развитие ожелезнения по трещинам (табл. 6).

Характер визуальной люминесценции схож для обеих выборок кристаллов (табл. 7). Единственное различие — еще более частая встречаемость для кристаллов россыпи Гусиный ручей типоморфного для алмазов Анабара признака — люминесценции при возбуждении УФ излучением на длине волны 254 нм (11,3% кристаллов).

По данным ИК-спектроскопии, разброс имеющихся значений величины A (также, как и B1) весьма велик, что вполне обычно для выборок алмазов Анабара (табл. 8). Можно отметить, что полученная медиана содержания центров A (635,3 ppm) несколько сдвинута в сторону высоких значений; содержания A центров выше 600 ppm имеют 13 кристаллов из 24 проанализированных. Это, в свете предложенного в работе [Вяткин и др., 2022] разделения алмазов по группам, коррелирует с высокой долей V и VII разновидностей и распространенностью включений графита среди алмазов россыпи Гусиный ручей. Содержание дефектов B2 (плейтелетс) высокое: максимальный показатель поглощения  $21,76 \text{ см}^{-1}$ , медиана  $7,44 \text{ см}^{-1}$ . Характеристический пик дефекта

В2 сдвинут в длинноволновую область — среднее значение  $1370,68 \text{ см}^{-1}$ . Медиана по показателю поглощения характеристического пика СН центра ( $3106 \text{ см}^{-1}$ ) составляет  $0,93 \text{ см}^{-1}$ .

С точки зрения ЭПР спектроскопии, характерные ассоциации парамагнитных центров в изучаемых выборках весьма схожи (табл. 9). Отличительным признаком алмазов россыпи Гусиный ручей является крайне малое присутствие кристаллов с доминирующим парамагнитным центром P1 (одиночные изоморфные замещения углерода на азот) и возможным присутствием центра ОК1 (азот — кислородный структурный центр). Уменьшение числа кристаллов с ассоциациями парамагнитных дефектов P1 — ОК1 и P1 — P2 (треугольник из атомов азота и вакансия) компенсируется более частой встречаемостью алмазов с устойчивой ассоциацией центров P2 — P1 — W21 (последний представляет из себя цепочку из трех атомов азота).

Количество ИК-спектроскопических анализов недостаточно для построения информативного распределения по центрам А (два соседствующих атома азота на позициях углерода), применяемого для разделения по предположительным первоисточникам по методике, описанной в работах [Вяткин и др., 2022, 2023]. Тем не менее, комплексы признаков выделенных в этих работах групп алмазов прослеживаются по полученным для алмазов россыпи Гусиный ручей данным. Согласно им, алмазы группы «В», отличающиеся частой встречаемостью кристаллов V и VII разновидностей по классификации Ю.Л. Орлова, характеризуются еще и широким распространением кристаллов с включениями графита, связанных с этим серых тонов в окраске, с повышенным износом, с отсутствием пластических деформаций и наличием парамагнитных центров ассоциации P2-P1-W21 с доминирующим центром P2. В целом выявленное увеличение в россыпи ручей Гусиный (по сравнению с россыпью Эбелях) долей кристаллов V и VII разновидностей отвечает увеличению указанных признаков.

Суммарная доля групп «А» и «Б», соответственно, уменьшена; однако, аналогичным образом, комплексы присущих им признаков позволяют заключить, что это уменьшение происходит в основном за счет группы «Б», предположительно связываемой с первоисточником кимберлитового типа. В пользу такого вывода говорит резкое уменьшение распространенности алмазов с присущим группе «Б» комплексом признаков, таких, как наибольшая доля бесцветных кристаллов с широким распространением плоскогранно-кривогранных форм, шпинелевых двойников, преобладанием додекаэдровидов уральского типа над ламинарными, слабой степенью износа и наиболее высоким из трех групп содержанием высококачественных алмазов. Напротив, доля алмазов группы «А», ассоциируемая с источником лампроитового типа, не демонстрирует сокращения по сравнению с содержанием аналогичных кристал-

лов в россыпи Эбелях. Для алмазов этой группы, согласно [Вяткин и др., 2022, 2023], характерно преобладание ламинарных додекаэдровидов над додекаэдроидами уральского типа, широкое распространение пластических деформаций, коричневых окрасок, люминесценции при возбуждении УФ излучением с длиной волны 254 нм, распространенность парамагнитных центров N2 и W7. Таким образом, согласно принципу разделения, предложенному в работах [Вяткин и др., 2022, 2023], в алмазах россыпи Гусиный ручей по сравнению с алмазами россыпи Эбелях (участок «Нижний») доля кристаллов группы «В» неизвестного типа первоисточника увеличена, причем в основном за счет сокращения доли алмазов группы «Б» источника кимберлитового типа.

**Выводы.** В целом для популяции алмазов россыпи Гусиный ручей характерны высокое (суммарно — 41%) содержание кристаллов V и VII разновидностей по классификации Ю.Л. Орлова, при относительном сокращении (до менее 45%) доли кривогранных додекаэдровидов. Уменьшение доли додекаэдровидов, как морфологических форм сильного растворения, коррелирует со снижением распространенности большей части скульптур и штриховок на поверхности кристаллов. Содержание монокристаллов алмаза не снижено по сравнению с выборкой алмазов участка «Нижний» россыпи Эбелях — увеличение долей кристаллов V и VII разновидностей в россыпи Гусиный ручей компенсируется снижением содержания шпинелевых двойников и сростков. Механический износ в среднем повышен. Одним из типоморфных признаков популяции алмазов россыпи Гусиный ручей можно назвать увеличенное содержание алмазов с присутствием серых тонов различной интенсивности в окраске (до половины кристаллов), а также с включениями графита. Доля бесцветных кристаллов составляет лишь 5,9%. Также весьма характерна частая (11,3% кристаллов) встречаемость люминесценции при возбуждении УФ излучением на длине волны 254 нм. Следует также отметить весьма низкую распространенность в россыпи алмазов с доминирующим парамагнитным центром P1 и связанных с ним ассоциаций (P1+ОК1, P1+P2), что нехарактерно для алмазов Анабара.

Доля алмазов, обладающих таким комплексом признаков, частично поступает на участок «Нижний» россыпи Эбелях. Однако можно отметить, что такое природное обогащение увеличивает алмазность этого участка, но не повышает среднее качество и стоимость алмазного сырья.

**Финансирование.** Работа выполнена по государственной теме «Минералогическое изучение месторождений Арктической зоны России с целью их комплексного освоения (№ госрегистрации 121061600049-4)».

**Благодарности.** Коллектив авторов благодарит АК ПАО «АЛРОСА» за предоставленную возможность исследований и публикации данного материала.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н., Тычков С.А.* Проблема докембрийской алмазоносности Сибирской платформы // Вестн. Воронеж. ун-та. Геология. 2002. Вып. I. С. 19–36.
- Афанасьев В.П., Лобанов С.С., Похиленко Н.П.* и др. Полигенез алмазов Сибирской платформы // Геология и геофизика. 2011. Т. 52, № 3. С. 335–353.
- Владыкин Н.В., Торбеева Т.С.* Лампроиты Томторского массива (Восточное Прианбарье) // Геология и геофизика. 2005. Т. 46, № 10. С. 1038–1050.
- Вяткин С.В., Гаранин В.К., Криулина Г.Ю., Бардухинов Л.Д.* Распределение алмазов по содержанию А-центров как критерий полигенности месторождения // Новые данные о минералах. 2023. Т. 57, № 3. С. 74–80.
- Вяткин С.В., Криулина Г.Ю., Гаранин В.К.* Алмазы из россыпи Эбелях (Анабар, Якутия): новые данные о их разделении по первоисточникам // Вестн. Моск. ун-та. 2022. Сер. 4. Геология. № 4. С. 84–92.
- Горина И.Ф.* О возможном нахождении алмазонасных кимберлитовых трубок в районе Анабарского залива (Море Лаптевых) // Кимберлитовый вулканизм и перспективы коренной алмазоносности северо-востока Сибирской платформы. Л.: НИИГА, 1971. С. 134–136.
- Граханов С.А.* К вопросу о распространении неоген-нижнечетвертичных россыпей алмазов северо-востока Сибирской платформы // Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. Геология. 2000. № 5. С. 212–215.
- Граханов С.А., Коптиль В.И.* Триасовые палеороссыпи алмазов северо-востока Сибирской платформы // Геология и геофизика. 2003. Т. 44, № 11. С. 1191–1201.
- Граханов С.А., Шаталов В.И., Штыров В.А.* и др. Россыпи алмазов России. Новосибирск: Гео, 2007. 457 с.
- Зинчук Н.Н., Коптиль В.И.* Типоморфизм алмазов Сибирской платформы. М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2003. 603 с.
- Кухаренко А.А.* Алмазы Урала. М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по геологии и охране недр, 1955. 512 с.
- Метелкина М.П., Прокопчук Б.И., Суходольская О.В., Францессон Е.В.* Докембрийские алмазоносные формации мира. М.: Недра, 1976. 134 с.
- Минеева Р.М., Титков С.В., Сперанский А.В., Бершов Л.В.* ЭПР-классификация природных алмазов // Докл. РАН. 1996. Т. 346, № 5. С. 660–663.
- Орлов Ю.Л.* Минералогия алмаза. М.: Наука, 1984. 221с.
- Шацкий В.С., Зедгенизов Д.А., Рагозин А.Л.* и др. Локальные вариации изотопов углерода и содержания азота в алмазах из россыпей северо-востока Сибирской платформы // Доклады РАН. 2011. Т. 440(1). С. 116–119.
- Dischler B.* Handbook of spectral lines in diamond. Berlin: Springer Verlag, 2013. 467 p.
- Zaitsev A.M.* Optical properties of diamond: a data handbook. Berlin: Springer, 2001. 519 p.
- Zedgenizov D.A., Kalinina V.V., Reutsky V.N., et al.* Regular cuboid diamonds from placers on the northeastern Siberian platform // Lithos. 2016. 265. P. 125–137.

Статья поступила в редакцию 27.05.2024,  
одобрена после рецензирования 03.06.2024,  
принята к публикации 25.01.2025