

УДК 553.08

doi: 10.55959/MSU0579-9406-4-2025-64-3-81-88

АЛМАЗЫ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ АНАБАРСКОГО АЛМАЗОНОСНОГО РАЙОНА — РОССЫПИ РЕКИ ХАРА-МАС (ЯКУТИЯ)

Сергей Васильевич Вяткин¹✉, Галина Юрьевна Криулина²,
Виктор Константинович Гаранин³, Леонид Данилович Бардухинов⁴

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

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

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

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

Аннотация. В результате исследования представительной коллекции алмазов россыпи реки Хара-Мас (Анабар, Якутия), предоставленной АК «АЛРОСА» ПАО, методами морфологического и спектроскопического анализа установлены распределения кристаллов по основным типоморфным признакам, таким как габитус, окраска, наличие двойников и сростков, морфологии реликтов ростовой поверхности кристаллов, процессов ее растворения, а также пластической деформации, степени механического износа и т.д. Главные отличия алмазов р. Хара-Мас от других россыпей Анабарского района — максимально широкое распространение шпинелевых двойников, а также ассоциации парамагнитных центров $P1 - P2 - W21$. В рамках предложенной ранее модели генетических групп, объединяющих предполагаемые разнородные первичные источники сноса алмазов россыпями Анабара, показано закономерное снижение доли кристаллов высокой прозрачности, без включений, двойников и сростков.

Ключевые слова: алмаз, Анабар, Хара-Мас, Моргогор, россыпи, типоморфизм алмаза, ИК, ЭПР

Для цитирования: Вяткин С.В., Криулина Г.Ю., Гаранин В.К., Бардухинов Л.Д. Алмазы северо-западной части Анабарского алмазоносного района — россыпи реки Хара-Мас (Якутия) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2025. № 3. С. 81–88.

DIAMONDS OF THE NORTH-WESTERN PART OF THE ANABAR DIAMONDIFEROUS REGION — PLACERS OF THE KHARA-MAS RIVER (YAKUTIA)

Sergey V. Vyatkin¹✉, Galina Yu. Kriulina², Viktor K. Garanin³, Leonid D. Bardukhinov⁴

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

² Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; galinadiamond@gmail.com

³ Fersman Mineralogical Museum, Moscow, Russia; vgaranin@mail.ru

⁴ Vilyuiskaya GRE of PJSC ALROSA, Mirny, Russia; BardukhinovLD@alrosa.ru

Abstract. As a result of the study of a representative collection of diamonds from the Khara-Mas river placer (Anabar, Yakutia), provided by ALROSA PJSC, using morphological analysis, IR and EPR spectroscopy, crystal distributions by basic typomorphic features such as habitus, coloration, the presence of twins and accretions, morphology of relics of the crystal growth surface, and its processes were established. dissolution, as well as plastic deformation, degree of mechanical wear, etc. The main differences between the diamonds of the Khara-Mas placer and other placers of the Anabar region are the widest possible distribution of spinel twins, as well as the association of paramagnetic centers $P1 - P2 - W21$. Within the framework of the previously proposed model of genetic groups combining the assumed heterogeneous primary sources of diamond demolition in the Anabara placers, a natural decrease in the proportion of crystals of high transparency, without inclusions, twins and accretions, is shown.

Keywords: diamond, Anabar, Khara-Mas, Morgogor, placers, diamond typomorphism, IR, EPR

For citation: Vyatkin S.V., Kriulina G.Yu., Garanin V.K., Bardukhinov L.D. Diamonds of the Northwestern part of the Anabar diamondiferous region — Placers of the Khara-Mas River (Yakutia). *Moscow University Geol. Bull.* 2025; 3: 81–88. (In Russ.).

Введение. Наиболее известные россыпные месторождения алмаза Анабарского района Эбелях, Биллях и Маят приурочены к правым притокам реки Анабар. В отличие от них, россыпь Хара-Мас находится северо-западнее, одноименная река является левым притоком Анабара, и впадает в него на 40 км ниже устья р. Эбелях. Протяженность р. Хара-Мас — 26 км,

ее притоки — ручьи Сайылык, Урунг-Юрях, Отордур и Оттуктах — также являются алмазоносными.

Первые сведения об алмазах из аллювиальных отложений р. Хара-Мас получены в 1964–1965 гг. геологами Амакинской экспедиции. Дальнейшее изучение связано с проведением АМГРЭ в нижнем течении р. Хара-Мас геологической съемки масшта-

ба 1 : 50 000 в 1989 г. Позднее проводились детальные поиски алмазов и подсчет ресурсов в 1991 г., а также поисково-ревизионные работы ОАО «Нижне-Ленское» в 2002 г. [Граханов и др., 2007]. С 2018 г. начата промышленная разработка россыпи.

Согласно [Граханов и др., 2007], долина реки Хара-Мас выработана в породах анабарской свиты среднего кембрия, представленных однородными толстоплитчатыми и массивными светло- или желтовато-серыми доломитами. Для пород свиты характерна существенная кавернозность, они интенсивно закарстованы и по ним широко развиты коры выветривания. Наиболее мощные их разности установлены в долине руч. Оттуктах. Они представлены желтовато-серой доломитовой мукой, содержащей обломки выветрелых доломитов. Верхнечетвертичные погребенные отложения выстилают днище долины. Они залегают на коренных породах кембрия или на развитых по ним корах выветривания. Эти отложения перекрываются илистой пачкой, либо в них вложен современный аллювий. В бассейне р. Хара-Мас повышенной алмазонасностью выделяются современные аллювиальные осадки и верхнечетвертичный погребенный аллювий. Как и по притокам рек Эбелях, Биллях, Маят, основные запасы сконцентрированы в верхнечетвертичных отложениях. Максимальные содержания алмазов составляют 11,93 кар/м³ по разведочным пробам и 3,98 кар/м³ — по выработкам [Граханов и др., 2007]. Среднее содержание по россыпи составляет 1,0 кар/м³, запасы и прогнозные ресурсы алмазов превышают несколько миллионов каратов. Средняя масса алмазов в бассейне р. Хара-Мас — 30,4 мг.

Однозначной и обоснованной модели формирования россыпей Анабарского алмазонасного района, в том числе и россыпи р. Хара-Мас, пока нет. Достоверно установленными считаются две особенности — наличие коренных источников сноса нескольких типов и многостадийность самого процесса формирования россыпей [Граханов, 2000; Афанасьев и др., 2002; Граханов, Коптиль 2003; Зинчук, Коптиль, 2003; Афанасьев и др., 2011]. Также не менее важна характерная черта россыпных алмазов северо-востока Сибирской платформы — исключительное разнообразие по морфологии и спектроскопическим характеристикам, резко отличающее их от алмазов кимберлитовых трубок Якутии. Главнейшим из этих признаков является присутствие значительной доли кристаллов, выделяемых некоторыми авторами в отдельную группу — алмазы эбеляхского (северного) типа, которые представлены графитизированными ромбододэкаэдроидными V разновидности по [Орлов, 1984] и сростками додэкаэдроидов VII разновидности с легким ($\delta^{13}\text{C} = -23\text{‰}$) изотопным составом углерода и равномерно окрашенными кубоидами II разновидности с промежуточным составом углерода ($\delta^{13}\text{C} = -13,6\text{‰}$) [Граханов и др., 2007; Афанасьев и др., 2011; Зинчук, Коптиль, 2003; Шацкий и др., 2011; Zedgenizov, et al., 2016, 2017].

Сведений о морфологии и спектроскопических свойствах алмазов собственно россыпи Хара-Мас немного. Есть краткая их характеристика в уже упоминаемой выше работе [Граханов и др., 2007], согласно которой доля алмазов «эбеляхского» типа достигает 37,9%, руч. Оттуктах — 25,3%, руч. Урунг-Юрях — 36,5%. Отмечен сильный износ кристаллов всех типов россыпей бассейна р. Хара-Мас, повышенное содержание двойников и сростков (41,9%), среди них преобладают двойники по шпинелевому закону и незакономерные сростки, а также высокое содержание камней с признаками природного травления (70,9%). Отмечено, что окрашенных камней относительно немного (38,9%), среди них преобладают серые и лилово-коричневые индивиды. Большинство алмазов прозрачные. Алмазы с зелеными пятнами пигментации составляют 1%. Большинство (68,9%) кристаллов ожелезнены. По характеру свечения в ультрафиолетовых лучах преобладают (32,9%) алмазы с сине-голубой фотолюминесценцией при высоком содержании камней с розово-сиреневым свечением (25,7%) и несветящихся индивидов (23,5%). По степени сохранности преобладают (60%) целые или незначительно поврежденные индивиды. Повышено содержание алмазов с механическим износом (33,7%), причем преобладают камни с износом истирания прибрежно-морского генезиса (26,7%). Авторы констатируют сходство алмазов россыпи Хара-Мас и россыпей бассейна р. Эбелях, особенно левых ее притоков.

Нами сделано предположение о возможности разделения россыпных алмазов Анабара на связанные с первоисточниками генетические группы, что подробно описано в работах [Вяткин и др., 2022, 2023а]. Это разделение основано на статистическом распределении кристаллов по концентрации А-центров — парных замещений атомов углерода на азот, фиксируемых методом инфракрасной (ИК) спектроскопии. В отличие от коренных месторождений Якутии и Архангельской области [Вяткин и др., 2023а], такое распределение для россыпей Анабара характеризуется тремя максимумами, обозначенными далее как «А», «Б» и «В». Эти максимумы соотнесены нами с различными коренными первоисточниками алмазов, в результате размыва которых образовались россыпные месторождения Анабарского района. Правомерность такого разделения подтверждается тем, что кристаллы полученных генетических групп отличаются друг от друга не только содержанием А-центров, но и целым комплексом морфологических и спектроскопических признаков, причем эти признаки практически постоянны для разных россыпей алмазонасного района. К группе «А» относятся алмазы с концентрацией А-центров от 0 до ≈ 300 ppm (рис. 1). Они характеризуются наиболее высоким (до 90% и даже выше) содержанием кристаллов с визуальной регистрируемой люминесценцией в ультрафиолетовых (УФ) лучах, в том числе в тонах, отличных от голу-

бого, а также возбуждаемой излучением с длиной волны 254 нм. Для генетической группы «А» также характерны алмазы коричневой окраски, с выраженными внешними проявлениями процессов пластической деформации кристаллов, с частой встречаемостью парамагнитных центров $W7$ и $N2$. Главными отличительными особенностями группы «Б» являются максимальная среди трех групп доля высокопрозрачных и бесцветных алмазов, октаэдров и кристаллов переходных форм октаэдр-додекаэдр с минимумом включений. Доля люминесцирующих, причем в основном в голубых тонах, алмазов меньше ($\approx 70\%$). Группа включает в себя алмазы с содержанием А-центров от ≈ 300 до ≈ 550 ppm и обычно является самой малочисленной. Алмазы генетической группы «В» (концентрация А-центров от ≈ 550 до $\approx 1500+$ ppm) характеризуются широким распространением двойников и сростков, включений графита, серой и черной окрасок; среди них значительна доля V и VII разновидностей по классификации Ю.Л. Орлова [Орлов, 1984]. Люминесценция проявлена наиболее слабо по сравнению с группами «А» и «Б». Более полный анализ типоморфных характеристик генетических групп можно найти в [Вяткин и др., 2022, 2023а].

Особенности морфологических и спектроскопических свойств алмазов некоторых россыпей Эбеляхской площади, расположенных на правом берегу р. Анабар описаны ранее [Вяткин и др., 2022, 2023б, 2024]. В рамках этих исследований свойств алмазов отдельных россыпей установлены различия между ними, которые объяснены изменением соотношения в россыпи долей алмазов разных генетических групп. Как будет показано ниже, для алмазов россыпи Хара-Мас характерно преобладание алмазов, отнесенных нами в рамках разделения по концентрации А-центров к генетической группе «В».

В качестве объекта сравнения в данной работе выбраны алмазы россыпи Моргогор, расположенной на противоположном фланге Анабарского алмазного района (правый приток р. Эбелях), детально описанной в работе [Вяткин и др., 2023б] и характеризующейся более выраженными максимумами генетических групп «А» и «Б». Для всех приводимых далее в тексте сравнительных характеристик кристаллов алмаза россыпи Хара-Мас имеется в виду сравнение с аналогичными параметрами алмазов россыпи Моргогор.

Материалы и методы исследований. Проведенные в данной работе исследования базируются на представительной коллекции из 444 алмазов компании АК «АЛРОСА». Выборка кристаллов алмаза состояла из двух размерно-весовых групп: $-12+11$ (246 шт.), масса одного кристалла в пределах 0,30–0,45 кар., и $-9+7$ (198 шт.), масса одного кристалла 0,10–0,15 кар. Выборка была получена методом квартования из соответствующих размерно-весовых групп в партии, добытой промышленным способом на россыпи Хара-Мас в 2018 г. На основе

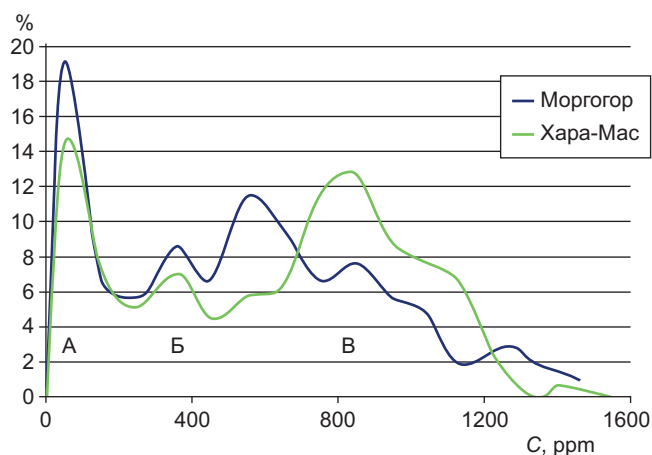


Рис. 1. Распределение алмазов россыпей Хара-Мас и Моргогор по концентрации А-центров. Отмечены локальные максимумы «А», «Б» и «В», соотносимые с различными коренными первоисточниками алмазов

полной выборки были выявлены распределения алмазов по окраске, габитусу, визуальной оценке люминесценции, а также по разновидностям согласно классификации Ю.Л. Орлова [Орлов, 1984]. Спектроскопические исследования методами инфракрасной спектроскопии (ИК) проведены для 157 кристаллов, электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) — для 58 образцов; систематика центров дана согласно [Dischler, 2013; Zaitsev, 2001; Минеева и др., 1996]. Покристалльное минералогическое описание, включающее в себя оценку форм роста и растворения кристалла, наличия включений, износа и т. д. было произведено на основе статистически идентичной выборки из 123 кристаллов (88 шт. группы $-12+11$ и 35 шт. группы $-9+7$). Минералогическое описание алмазов проводилось с использованием бинокуляра «Motic» SMZ-143 и УФ осветителя-бокса (длины волн 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».

Результаты исследований. Распределения алмазов россыпей Хара-Мас и Моргогор по концентрации А-центров, полученные по данным ИК-спектроскопии, отражены на рис. 1, где указаны также максимумы, соответствующие выделенным генетическим группам. Отметим для россыпи Хара-Мас уменьшение долей кристаллов групп «А» и «Б» при увеличении содержания алмазов генетической группы «В».

Полная сводка данных, полученных для алмазов россыпи Хара-Мас методом ИК-спектроскопии, приведена в табл. 1.

Распределение алмазов россыпи р. Хара-Мас по габитусным формам и разновидностям по классификации Ю.Л. Орлова дано в табл. 2. Содержание плоскогранно-кривогранных форм снижено, а кривогранных додекаэдровидов напротив, повышено по сравнению с россыпью Моргогор. Доля кристаллов

Таблица 1

ИК-характеристики алмазов россыпи Хара-Мас
(в числителе приведены крайние значения показателя, в знаменателе — медиана)

	<i>A</i> , ppm	<i>BI</i> , ppm	% <i>BI</i>	<i>B2</i> , см ⁻¹	<i>RzB2</i> , см ⁻¹	<i>CH</i> , см ⁻¹
Все	<u>2,4 – 1410,7</u> 688,1	<u>0,0 – 1891,3</u> 339,5	<u>0,0 – 90,6</u> 32,3	<u>0,0 – 55,0</u> 6,57	<u>1343,8 – 1377,4</u> 1371,2	<u>0,02 – 28,0</u> 0,6
«А»	<u>2,4 – 267,4</u> 88,9	<u>0,0 – 1164,2</u> 164,1	<u>0,0 – 90,6</u> 49,5	<u>0,0 – 31,6</u> 2,4	<u>1343,8 – 1368,7</u> 1362,6	<u>0,02 – 28,0</u> 0,44
«Б»	<u>302,3 – 561,8</u> 421,9	<u>0,0 – 870,9</u> 277,4	<u>0,0 – 74,2</u> 36,8	<u>0,0 – 36,0</u> 8,8	<u>1353,4 – 1377,0</u> 1366,9	<u>0,04 – 17,9</u> 0,61
«В»	<u>580,0 – 1410,7</u> 865,6	<u>32,7 – 1891,3</u> 387,3	<u>5,3 – 73,9</u> 29,3	<u>0,1 – 55,0</u> 6,7	<u>1363,1 – 1377,4</u> 1373,0	<u>0,02 – 25,2</u> 0,68

Таблица 2

Частота встречаемости кристаллов алмаза россыпей Хара-Мас и Моргогор по габитусным типам и разновидностям по классификации Ю.Л. Орлова

		Габитус кристаллов	Хара-Мас, %	Моргогор, %
Разновидности по классификации Ю.Л. Орлова	I	октаэдр	3,2	5,0
		октаэдр–додекаэдр	5,0	5,8
		октаэдр–ромбододекаэдр	1,8	1,2
		плоскогранно-кривогранные, всего:	9,9	12
		додекаэдр уральского типа	24,5	15,7
		ламинарный додекаэдр	22,5	27,8
		псевдоромбододекаэдр	2,5	0,4
		д-псевдокуб, тетрагексаэдр	1,6	1,7
		кривогранные додекаэдры, всего:	51,1	45,6
		псевдогемиморфные формы	1,1	0,4
	неопределенные формы	1,4	2,7	
	II	куб, куб–додекаэдр, тетрагексаэдр	1,1	4,4
	IV	алмаз в оболочке	0,5	1,1
	V	октаэдр–додекаэдр	18,7	17,1
VI	балласоподобные формы		0,2	
VII	поликристаллические сростки октаэдр–додекаэдр	16,2	15,0	
XI	якутиты		0,8	
	V и VII разновидности в сумме:	34,9	32,1	

V и VII разновидностей по Ю.Л. Орлову велика, и приближается к значению для россыпи «Гусиный ручей» [Вяткин и др., 2024]. Суммарное содержание алмазов II, V и VII разновидностей в 36 % выборки хорошо согласуется с данными [Граханов, и др., 2007] о наличии в россыпи 37,9 % алмазов «эбеляхского» типа.

Морфологические характеристики поверхности алмаза при покрystalльном описании разделены на четыре типа: формы, возникающие при росте кристалла, формы, появляющиеся при его последующем частичном растворении, формы аксессуарного (локального) травления поверхности, а также поверхностные проявления процессов пластической деформации кристалла. По сравнению с россыпью

Моргогор, для алмазов россыпи Хара-Мас формы роста присутствуют на поверхности кристаллов чаще, а формы растворения и аксессуарного травления, наоборот, обнаруживаются реже и представлены беднее (табл. 3). Количество кристаллов с проявлениями процессов пластической деформации также меньше. Три кристалла алмаза россыпи Хара-Мас с типичными сочетаниями морфологических характеристик представлены на рис. 2.

Данные в табл. 4 отражают более широкое распространение двойников и сростков среди алмазов россыпи Хара-Мас. В рассмотрение включены только кристаллы I разновидности по классификации Ю.Л. Орлова, поскольку доли в выборках V и VII разновидностей, представленных в значительной степени именно сростками, во-первых, отражены в табл. 1, а во-вторых, расчет соответствующих процентов на всю выборку сделал бы величины выявленных различий менее значимыми и отчетливыми. На фоне общего повышения распространенности двойников и сростков среди алмазов россыпи Хара-Мас обращают на себя внимание две особенности — сравнительное снижение числа кристаллов с двойниковыми швами и значительное увеличение доли шпинелевых двойников.

По степени механического износа, согласно градации А.А. Кухаренко [Кухаренко, 1955] алмазы сравниваемых россыпей практически идентичны (табл. 5). Однако в дополнение к этим данным отметим, что для алмазов россыпи Хара-Мас износ проявлен в мягких, овализирующих формах, более свойственных для процессов прибрежно-морской обстановки. Для алмазов россыпи Моргогор износ кристаллов часто носит более грубый характер выкрашивания, характерный для аллювиальной переработки.

В исследованной выборке кристаллов россыпи Хара-Мас резко увеличено содержание алмазов серой окраски, появилось также заметное количество черных (табл. 6). Это произошло за счет уменьшения процентных долей кристаллов всех остальных окрасок, в особенности характерных для россыпи Моргогор желто-зеленых, а также бесцветных. Полученные данные не подтверждают оценки, приведенной в работе [Граханов и др., 2007], согласно которой «окрашенных камней относительно немного



Рис. 2. Примеры исследованных алмазов россыпи Хара-Мас: *а* — обр. ХарАК-10-1: коричневый кристалл переходной формы октаэдр — додекаэдр, с расщеплением вершин, параллельной и сноповидной штриховками, каналом травления, расщеплением вершин и линиями скольжения, группа «А»; *б* — обр. ХарАК-1-1: октаэдрический шпинелевый двойник слабого желтого оттенка, со сноповидной штриховкой, ямками травления и единичным включением графита, группа «Б»; *в* — обр. ХарАК-2-11: серый комбинационного строения октаэдр — додекаэдр V разновидности по классификации Ю.Л. Орлова, с глубокими каналами, кавернами и треугольными фигурами травления, блочным строением и многочисленными включениями графита, группа «В». Фотографии алмазов в приведены в одном масштабе, поля зрения $7 \times 5,2$ мм

(38,9%)». Доля кристаллов с проявлениями зеленых пятен пигментации радиационного происхождения, напротив, выше для алмазов россыпи Хара-Мас (4,7% и 2,5% соответственно).

Данные о прозрачности кристаллов алмаза для сравниваемых россыпей, отраженные в табл. 7, позволяют констатировать резкое снижение доли «весьма прозрачных» алмазов и исчезновение кристаллов категории «чистой воды» за счет увеличения процентного содержания алмазов средней, наиболее многочисленной в обеих россыпях категории «прозрачные».

В табл. 8 отражены результаты визуальной диагностики включений в кристаллах алмаза двух россыпей. Визуальное определение (с использованием микроскопа) имеет некоторые ограничения. В частности, обозначение «графит-сульфид» введено для включений, которые нельзя однозначно разделить между этими категориями. Тем не менее, даже с учетом возможной погрешности определения полученные величины однозначно указывают на значительно большее распространение включений в алмазах россыпи Хара-Мас. Это касается и разнообразия минеральных видов, и общего количества включений графита, и распространенности проявлений ожелезнения. С.А. Граханов [Граханов и др., 2007] оценивает долю ожелезненных кристаллов в россыпи значительно выше — в 68,9%. Это, возможно, объясняется разницей в обработке алмазов, полученных в ходе разведочных работ, и кристаллов из промышленной разработки россыпи — с тщательной промывкой в кислотах. Отметим, что среди кристаллов с наличием графита в россыпи Моргогор больше доля алмазов с единичными его включениями, в то время как для россыпи Хара-Мас тенденция обратная, графит чаще встречается в виде групповых и многочисленных включений.

Среди кристаллов алмаза россыпи Хара-Мас повышена доля кристаллов, не реагирующих (при визуальной оценке) на ультрафиолетовое излучение 365 нм (табл. 9). Вдвое меньше процентное содержа-

ние алмазов с интенсивной голубой люминесценцией, втрое — с зональной люминесценцией в разных цветах и со свечением при возбуждении 254 нм.

Распространенность в кристаллах алмаза сравниваемых россыпей структурных примесей и нарушений, выявляемых методом ЭПР, отражена в табл. 10. Данные представлены в виде процентных долей кристаллов в выборках, содержащих те или иные устойчивые ассоциации парамагнитных центров. В графе «прочие» учтены кристаллы, обладающие лишь одним видом парамагнитных центров.

Следует отметить максимально широкое среди всех исследованных нами алмазов из россыпей Анабара распространение кристаллов с ассоциацией $P1 - P2 - W21$, а также резкое сокращение долей ассоциации $W7 - N2$, характерной для пластически деформированных кристаллов, и алмазов с парамагнитными центрами $P1 - OK1$.

Обсуждение результатов. Изменение долей кристаллов выделенных генетических групп закономерно приводит к различиям в процентном содержании кристаллов с соответствующими свойствами. Установленные в данной работе для россыпей Хара-Мас и Моргогор сравнительные изменения подтверждают подавляющее большинство выделенных ранее типоморфных особенностей кристаллов алмаза генетических групп «А», «Б» и «В». С другой стороны, новая исследованная выборка позволяет уточнять совокупность признаков, являющуюся типоморфной для каждой группы. В работе [Вяткин и др., 2022] выделены основные морфологические признаки, характерные для генетических групп.

Доля алмазов группы «А» в россыпи Хара-Мас ниже, чем в россыпи Моргогор (рис. 1). Это снижение обуславливает относительное уменьшение в выборке количества кристаллов со следующими характеристиками: плоскогранно-криволинейных форм в целом, а также кубоидов II разновидности по классификации Ю.Л. Орлова, изменение соотношения между долями ламинарных додекаэдров и додекаэдровидов уральского типа в пользу

Таблица 3

Частота проявления (% от количества кристаллов)* форм роста, растворения, акцессорного травления и пластической деформации на поверхности кристаллов алмаза россыпью Хара-Мас и Моргогор

	Хара-Мас	Моргогор
Формы роста		
антискелетный рост	2,4	3,3
полицентризм роста граней	10,6	2,1
блоковое строение	9,8	12,9
ростовая ступенчатость	14,6	6,3
Формы растворения		
мозаично-блоковая скульптура	7,3	14,2
черепитчатая скульптура	8,1	17,5
вальцеобразная скульптура	5,7	0,4
каплевидно-блоковая скульптура	0,8	7,5
концентрическая штриховка	8,9	12,9
сноповидная, сноповидно-зано-зистая штриховка	13,0	7,9
зано-зистая штриховка	24,4	20,4
шестовато-зано-зистая штриховка	4,1	8,8
параллельная штриховка	4,9	16,7
округлоступенчатый		0,8
каплевидные холмики	10,6	13,3
желобчатые ребра		0,4
овализация ребер	14,6	0,4
расщепление вершин	2,4	3,3
ячеистый рельеф	4,1	3,8
дисковидная скульптура		4,2
Формы акцессорного травления		
треугольные фигуры	8,1	29,6
треугольные пирамиды	11,4	17,9
тетрагональные фигуры		3,3
тетрагональные пирамиды	6,5	17,9
ямки	11,4	11,7
каналы травления	52,8	36,3
каверны	17,9	50,4
Внешние проявления процессов пластической деформации		
полосы пластической деформации	13,0	20,8
линии скольжения	18,7	28,8
шагреновая поверхность	30,9	24,2
отсутствуют	57,7	53,8

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

Таблица 4

Наличие двойников и сростков (% от количества кристаллов I разновидности по классификации Ю.Л. Орлова) алмаза россыпью Хара-Мас и Моргогор

Характер образования	Хара-Мас	Моргогор
Закономерное срастание нескольких индивидов	5,7	4,6
Шпинелевый двойник	13,0	6,7
Двойниковые швы	10,6	15,0
Сросток	8,1	6,7
Вросток	5,7	5,4
Монокристалл	55,3	61,7

Таблица 5

Степень механического износа алмаза (% от количества кристаллов) россыпью Хара-Мас и Моргогор

Сте- пень	Истирание:	Хара- Мас	Мор- гогор
0	Отсутствие механического износа	69,1	69,2
1	незначительное истирание вершин	4,1	6,3
2	незначительное истирание вершин и ребер	13,8	11,7
3	истирание вершин и ребер, незначи- тельная матировка граней	5,7	5,8
4	Значительное истирание ребер и граней	4,1	4,6
5	Сильное истирание, округление ребер, полная матировка граней	2,4	2,1
6	Сильное истирание, утрата ребер и вершин	0,8	0,4
	леденцовая скульптура	1,6	1,7

Таблица 6

Окраска (% от количества кристаллов) алмаза россыпью Хара-Мас и Моргогор

Окраска	Хара-Мас	Моргогор
Бесцветные	5,9	9,8
Желтая	40,8	42,2
Желто-зеленая	6,1	15,7
Коричневая	21,8	24,5
Серая	20,5	8,0
Черная	4,9	

Таблица 7

Прозрачность кристаллов алмаза россыпью Хара-Мас и Моргогор

Степень прозрачности	Хара-Мас	Моргогор
«Чистой воды»		3,5
Весьма прозрачные	2,5	18,0
Прозрачные	65,0	45,0
Полупрозрачные	29,9	31,4
Непрозрачные	2,5	2,1

Таблица 8
Включения* в кристаллах алмаза
россыпей Хара-Мас и Моргогор

Включения	Хара-Мас	Моргогор
Графит единичные	11,4	16,6
Графит несколько	14,6	12,2
Графит многочисленны	35,0	11,8
Графит, всего	61,0	40,6
Графит-сульфид	21,1	8,6
Сульфид	4,1	
Гранат	2,4	1,0
Оливин	1,6	
Хромит	3,3	
Без включений	23,6	55,2
Проявления ожелезнения	20,3	11,1

Примечание. * Суммы содержания включений отличаются от 100 %, так как в одном кристалле могут встречаться несколько их типов.

Таблица 9
Визуальная люминесценция кристаллов алмаза
россыпей Хара-Мас и Моргогор

Люминесценция	Хара-Мас	Моргогор
Визуально отсутствует	53,6	46,2
Голубая слабая	16,0	16,8
Голубая средняя	15,5	11,9
Голубая интенсивная	7,6	15,4
Зеленая	0,9	2,1
Желто-зеленая	0,7	
Желтая	1,4	1,4
Зональная голубая	3,4	3,5
Зональная разных цветов	0,9	2,8
В том числе при возбуждении 254 нм	5,4	16,8

Таблица 10
Ассоциации парамагнитных центров в алмазах россыпей
Хара-Мас и Моргогор
(проценты содержащих их кристаллов в выборках)

Ассоциация	Хара-Мас	Моргогор
P1 — OK1	5,2	13,1
P1 — P2	15,5	14,8
P1 — P2 — W21	67,2	42,6
P2 — N2	5,2	6,6
W7 — N2	3,4	14,8
Прочие	3,4	8,2

последних (табл. 2); уменьшение количества кристаллов, подвергавшихся процессам пластической деформации (табл. 3) и алмазов коричневых оттенков (табл. 6). Полученные для алмазов россыпей Хара-Мас данные подтверждают преимущественное развитие на поверхности кристаллов генетической группы «А» каплевидно-блоковой скульптуры, параллельной штриховки, проявлений антискелетного роста и расщепления вершин (табл. 3). Сокращением

доли этой группы (а также доли группы «Б») в россыпи Хара-Мас объясняется и менее «богатая» и по разнообразию, и по интенсивности люминесценция кристаллов исследованной выборки (табл. 9). Кроме того, сократилось и содержание кристаллов с характерными именно для группы «А» ассоциациями парамагнитных центров: P1 — OK1 и W7 — N2 (табл. 10).

Доля алмазов группы «Б» в россыпи Хара-Мас также понижена относительно россыпи Моргогор (рис. 1). Это заметно по уменьшению процентного содержания кристаллов, обладающих наиболее высокими ювелирными качествами: бесцветные и слабоокрашенные (табл. 6), октаэдрического и переходного к додекаэдрическому габитуса (табл. 2), высокопрозрачные (табл. 7), с минимумом включений (табл. 8). Не противоречит уменьшению доли группы «Б» и выявленное для кристаллов россыпи Хара-Мас процентное снижение проявлений таких морфологических характеристик, как преимущественное развитие концентрической штриховки и желобчатых ребер (табл. 3). Ростовая ступенчатость, согласно данным, полученным для кристаллов россыпи Хара-Мас, не может рассматриваться как признак, характерный для группы «Б», поскольку доля кристаллов, на поверхности которых она выражена, увеличивается при сокращении содержания в выборке кристаллов группы (табл. 3). Люминесценция характерна для около 70 % кристаллов группы, причем преимущественно не интенсивная, в голубых тонах и без зональности, что также согласуется с установленными данными (табл. 9).

Доля алмазов генетической группы «В» в россыпи Хара-Мас, соответственно, увеличена. Это увеличение отвечает за рост содержания алмазов V и VII разновидностей по классификации Ю.Л. Орлова, увеличение содержания алмазов додекаэдрического габитуса уральского типа (табл. 2), серой окраски и появление заметного количества черных кристаллов (табл. 6); рост доли алмазов с включениями графита (табл. 8) и нелюминесцирующих кристаллов (табл. 9). Ассоциация парамагнитных центров P1 — P2 — W21 обнаруживается в основном в кристаллах группы «В», реже в алмазах группы «Б» и крайне редко среди кристаллов генетической группы «А». Ее максимально широкое распространение среди алмазов россыпи Хара-Мас также хорошо согласуется с увеличением доли алмазов группы «В».

По результатам работы получены и новые типоморфные признаки генетических групп. Отметим, что кристаллы группы «А» имеют максимальный диапазон значений по ряду характеристик, регистрируемых методом ИК (табл. 1), в том числе: соотношение концентраций A и B1 центров (% B1), содержание CH, а также диапазон смещения пика центра B2 по спектру (RzB2), характеризующий средний размер дефектов плейтлетс [Speich et al., 2017]. Кроме того, несмотря на наличие усредненного тренда, отражающего прямую пропорциональ-

ную зависимость между концентрациями центров *A* и *B1*, диапазон значений концентрации центров *B1* для генетической группы «А» шире, чем для группы «Б». Сходные зависимости отмечены также для исследованных ранее выборок алмазов россыпей р. Моргогор и р. Эбелях.

Причина появления необычно большого количества шпинелевых двойников среди алмазов россыпи Хара-Мас (табл. 4) пока не нашла объяснения. Ранее нами была отмечена более высокая частота их встречаемости в группе «А» и особенно «Б» (по сравнению с генетической группой «В» [Вяткин и др., 2022]). Для исследованной выборки алмазов россыпи Хара-Мас мы также можем констатировать резкий дисбаланс их распределения по генетическим группам: в группах «А» и «Б» их доля примерно в четыре раза больше, чем в группе «В» (с учетом общей численности групп). Однако внутри групп «А» и «Б» процентное содержание шпинелевых двойников резко повышено по сравнению с исследованными нами ранее выборками алмазов россыпей Анабара. Высокое содержание в россыпи Хара-Мас двойников и сростков (41,9%), среди которых преобладают двойники по шпинелевому закону, отмечено также в работе [Граханов и др., 2007].

Выводы. Основные типоморфные характеристики алмазов россыпи Хара-Мас — максимальное содержание кристаллов с ассоциацией парамагнитных центров P1-P2-W21, широкое распространение спи-

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.

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. Сер. 4. Геология. 2022. № 4. С. 84–92.

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. 2023а. Т. 57, № 3. С. 74–80.

Вяткин С.В., Гаранин В.К., Криулина Г.Ю., Бардухинов Л.Д. Алмазы россыпного месторождения реки Моргогор (Анабар, Якутия) // Литосфера. 2023б. Т. 23, № 4. С. 672–682.

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

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: Академическое изд-во «Гео», 2007. 457 с.

нелевых двойников, значительная доля кристаллов V и VII разновидностей по классификации Ю.Л. Орлова, распространенность серой и черной окрасок. К отмеченному в работе [Граханов и др., 2007] сходству алмазов россыпи с кристаллами левых притоков р. Эбелях можно добавить существенное их различие (в сторону ухудшения характеристик) при сравнении с алмазами правых притоков Эбеляха (р. Моргогор) и Анабара — причем по таким важным критериям, как содержание монокристаллов высокой прозрачности, бесцветных и без включений.

В рамках модели выделения генетических групп, предполагающих различные первоисточники сноса алмазов россыпей Анабара, установлены новые типоморфные характеристики на базе данных ИК спектроскопии — максимальный диапазон изменения значений величин % *B1*, содержания *CH*, а также смещения пика центра *B2* для генетической группы «А», и значимо меньшие диапазоны изменения этих величин для групп «Б» и «В».

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

Финансирование. Исследование выполнено в рамках государственного задания МГУ имени М.В. Ломоносова по госбюджетной теме «Минералогическое изучение месторождений Арктической зоны России с целью их комплексного освоения» (№ госрегистрации 121061600049-4).

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.

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. 221 с.

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. 440(1). С. 116–119.

Dischler B. Handbook of spectral lines in diamond. Berlin: Springer Verlag, 2013. 467 p.

Speich L., Kohn S., Wirth R., et al. The relationship between platelet size and the B' infrared peak of natural diamonds revisited // Lithos. 2017. Vol. 278–281. P. 419–426.

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.

Zedgenizov D., Reutsky V., Wiedenbeck M. The carbon and nitrogen isotope characteristics of type Ib-IaA cuboid diamonds from alluvial placers in the Northeastern Siberian platform // Minerals. 2017. 7(10). 178–187.

Статья поступила в редакцию 14.05.2024, одобрена после рецензирования 12.05.2025, принята к публикации 28.06.2025