

## МИНЕРАЛЫ И ПАРАГЕНЕЗИСЫ МИНЕРАЛОВ

СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ АЛМАЗА  
МЕСТОРОЖДЕНИЯ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА© 2020 г. д. чл. Е. А. Васильев<sup>1, \*</sup>, Г. Ю. Криулина<sup>2</sup>, В. К. Гаранин<sup>3</sup><sup>1</sup>Санкт-Петербургский горный университет, 21-я линия, 2, Санкт-Петербург, 199106 Россия<sup>2</sup>Московский государственный университет, геологический факультет,  
Ленинские горы, 1, Москва, 119234 Россия<sup>3</sup>Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН,  
Ленинский пр., 18, к. 2, Москва, 115162 Россия

\*e-mail: simphy12@mail.ru

Поступила в редакцию 10.02.2020 г.

После доработки 10.02.2020 г.

Принята к публикации 12.02.2020 г.

Методами люминесцентной и инфракрасной спектроскопии исследованы кристаллы алмаза из месторождения им. М.В. Ломоносова. Показано разделение кристаллов на три группы по особенностям морфологии, термической истории и фотолюминесценции. Показано разнообразие структурных особенностей среди желтых кубоидов, характерных для этого месторождения. Полученные результаты указывают на полигенность алмаза в месторождении им. М.В. Ломоносова. Выявлены не наблюдавшиеся ранее системы люминесценции в низкотемпературных кристаллах кубического габитуса.

*Ключевые слова:* алмаз, фотолюминесценция, азот, инфракрасная спектроскопия

**DOI:** 10.31857/S0869605520020082

## ВВЕДЕНИЕ

Кристаллы алмаза месторождения им. М.В. Ломоносова в Архангельской области сильно отличаются от продукции других коренных месторождений России и мира (Кудрявцева и др., 2005; Гаранин и др., 2018). В этом месторождении до 15% кристаллов кубического габитуса и производных от кубоида форм растворения. Среди них большинство имеет желтый цвет, обусловленный *C*-центрами – самой низкотемпературной формой примесного азота (Palazhchenko, 2008; Khachatryan et al., 2008). Появившиеся в последнее десятилетие исследования желтых кристаллов с *C*-центрами (Fritsch et al., 2007; Hainschwang et al., 2012, 2013) в значительной степени стимулированы появлением на рынке алмазов из архангельских месторождений. Известно, что желтая окраска кристаллов может быть обусловлена также высокотемпературными дефектами *N3*, которые в инфракрасном (ИК) поглощении всегда сопровождаются системами *B* и *B'*. При высокой концентрации *C* дефектов желтая окраска переходит в коричневую, аналогичную окраске пластически-деформированных кристаллов. В месторождении имени М.В. Ломоносова встречаются все три типа окраски – и за счет *C* дефектов, и за счет центров *N3*, и окраска в результате пластической деформации. Набор центров люминесценции в кристаллах с *C* дефектами существенно отличается от наблюдаемого в кристаллах с высокотемпературными дефектами *B* и *B'* (Hainschwang et al., 2006).

Авторами было проведено исследование фотолюминесценции (ФЛ) и ИК поглощения кристаллов из кимберлитовых трубок Архангельская и Карпинского-I месторождения им. М.В. Ломоносова. Основной акцент сделан на изучении люминесценции, так именно люминесцентные особенности алмазов этого месторождения изучены недостаточно (Хренов, Палкина, 1995; Гаранин и др., 2018). Набор центров люминесценции – это очень чувствительный индикатор условий роста, примесного состава, постростовых изменений кристаллов. Неразрушающие люминесцентные исследования проводятся как на необработанных кристаллах, так и на бриллиантах, в том числе в изделиях. В связи с тем, что наличие *C* дефектов характерно для искусственных алмазов, исследование люминесценции желтых природных алмазов необходимо в том числе для уточнения критериев их отличия от синтетической продукции (Yelissejev, Kanda, 2007).

### ОБРАЗЦЫ И АППАРАТУРА

Проведено изучение спектроскопических характеристик 153 кристаллов размером 3–5 мм из промышленной добычи кимберлитовых трубок Архангельская и Карпинского-I месторождения им. М.В. Ломоносова. Фотографии некоторых из исследованных кристаллов с желтой и коричневой окраской приведены на рис. 1. Спектры ИК поглощения регистрировались на Фурье спектрометре VERTEX-70 (Bruker) с микроскопом Nuregion1000 при разрешении  $2\text{ см}^{-1}$ . Концентрация азота в форме дефектов *A* ( $N_A$ ) и *B* ( $N_B$ ), общая концентрация ( $N_{\text{tot}}$ ) вычислялась по известным коэффициентам пропорциональности (Zaitsev, 2001). Определялись коэффициент поглощения полосы *B'* ( $\alpha_{B'}$ ) и коэффициент поглощения полосы  $3107\text{ см}^{-1}$  ( $\alpha_{3107}$ ), соответствующей водородсодержащему дефекту  $\text{N}_3/\text{H}$  (Goss et al., 2014). Спектры ФЛ при комнатной температуре регистрировались на спектрометре Horiba FL-3 с возбуждением Хе лампой мощностью 450 Вт, при возбуждении 350, 450 нм, при спектральной ширине щелей монохроматора возбуждения 10 нм и монохроматора регистрации 1 нм. С возбуждением лазерами 488 и 787 нм спектры регистрировались на спектрометре InVia (Renishaw) с фокусным расстоянием 250 мм, который имеет охлаждаемый CCD детектор. Образцы помещались на медный теплопровод, охлаждаемый жидким азотом. При использовании дифракционной решетки 1200 штр/мм возможна регистрация спектров в диапазоне 400–1200 нм со спектральным разрешением 0.15 нм. Спектры регистрировались с объективом  $5\times/0.12$  при температуре 77 К в сканирующем режиме при времени накопления 10 с. Калибровка спектрометра проводилась по линиям He стандартной лампы Renishaw. Коррекция на неравномерность спектральной чувствительности не проводилась. Спектры ФЛ регистрировались в геометрическом центре образцов, что позволяло получить сигнал от максимального объема кристалла.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Кристаллы коллекции по морфологическим особенностям были разделены на три группы: I – октаэдры и октаэдриды, уплощенные тригонтриоктаэдриды (43 кристалла); II – додекаэдриды “уральского” типа (77 кристалла), III – кубоиды и тетрагексаэдриды (33 кристалла).

По общей концентрации азота (рис. 2, *a*) три группы отличаются незначительно, основное отличие заключается в доле дефектов *B*, которая определяется термической историей кристаллов: чем выше в кристалле доля азота в форме дефектов *B*, тем выше модельная температура (Taylor et al., 1990). Две трети кристаллов первой группы располагаются в диапазоне модельной температуры 1350–1400 К, а треть – в диапазоне 1400–1450 К. Половина кристаллов второй группы имеет модельную температура ниже 1350 К. В третьей группе более 90% кристаллов имеют модельную температуру ни-

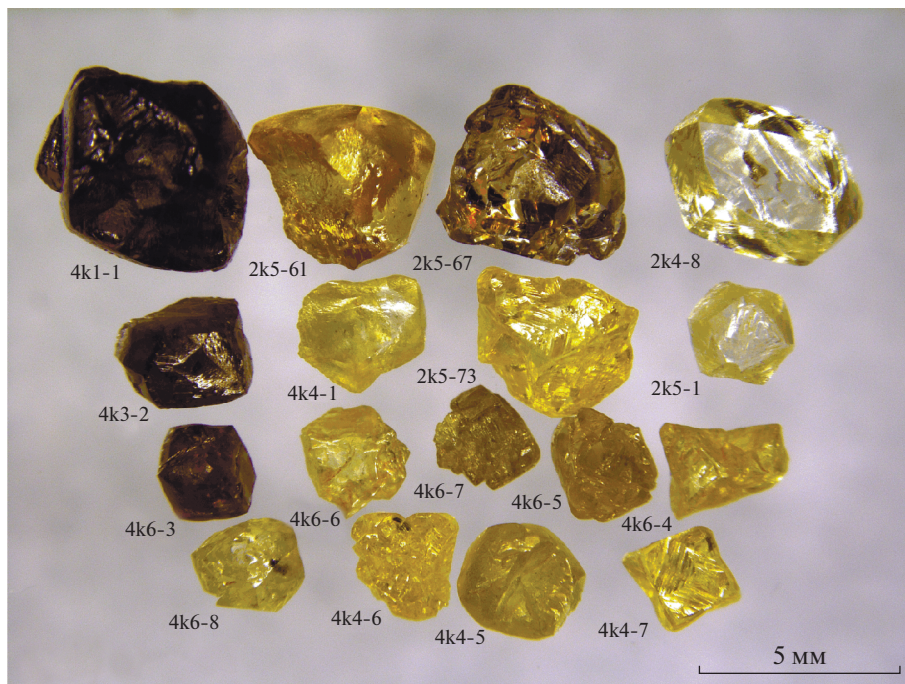
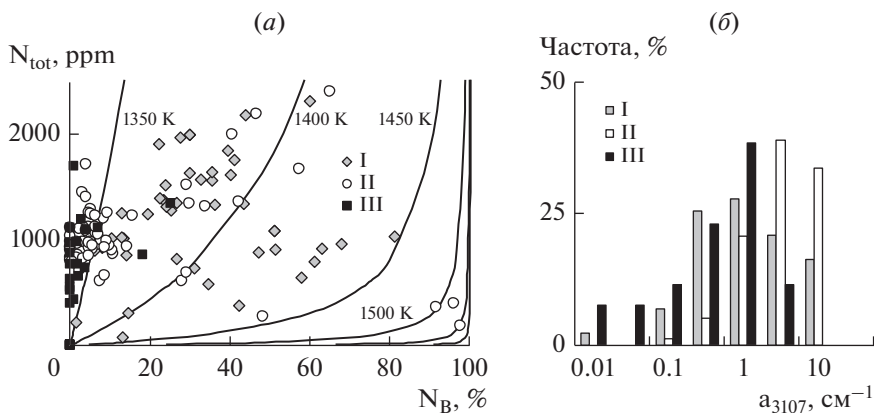


Рис. 1. Фотографии некоторых исследованных кристаллов с желтой и коричневой окраской.

Fig. 1. Photographs of studied diamond crystals of yellow and brown coloring.

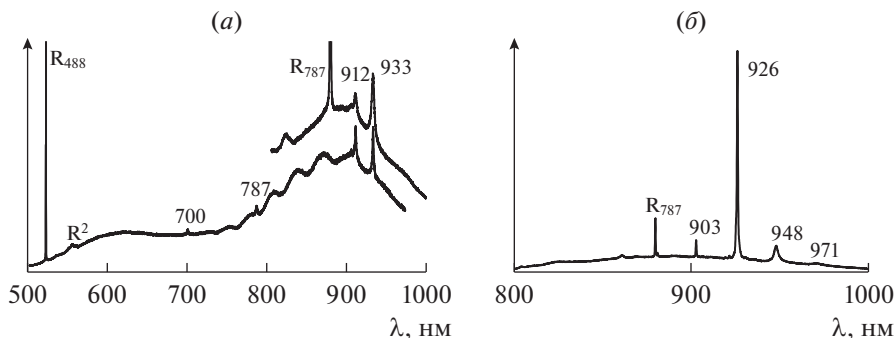
же 1350 К. Распределение кристаллов по коэффициенту поглощения  $a_{3017}$  имеет логнормальный характер (рис. 2, б). В кристаллах второй группы  $a_{3017}$  систематически выше, что обусловлено повышенным содержанием водородсодержащего центра в пирамидах  $\langle 100 \rangle$  (Howell et al., 2013; Васильев и др, 2018). Мультипликативная природа логнормального распределения согласуется со сложной моделью дефекта  $N_3IH$ : его концентрация зависит от содержания водорода, азота, от температуры и длительности естественного отжига.

**I группа** включает кристаллы с  $N_B$  выше 15% (рис. 2, а), в спектрах ИК поглощения регистрируется полоса  $B'$ , это кристаллы типа IaAB по физической классификации (Dishler, 2012). В спектрах ФЛ большинства кристаллов этой группы при УФ возбуждении доминирует наиболее изученная система  $N3$ . В спектрах их ФЛ отмечаются системы  $H3$ ,  $H4$ , системы радиационной природы  $GRI$ , 638, 575 нм. Люминесценция таких кристаллов исследована наиболее полно, потому что они преобладают во всех промышленных месторождениях. Иногда регистрируются системы  $S1$  (503.4, 510, 523, 530, 536, 548, 562, 580 нм),  $S2$  (470, 477, 489 нм),  $S3$  (497 нм) (Dishler, 2012), приуроченные, по-видимому, к пирамидам роста  $\langle 100 \rangle$  в центральной части таких индивидов. В кристаллах этой группы так же регистрируются линии 693, 700, 787 нм, но их интенсивность невысокая. В ФЛ ближнего ИК диапазона у трети кристаллов этой группы регистрируется полоса 933 нм и менее интенсивная линия 912 нм (рис. 3, а). При  $\lambda_b$  488 нм эти линии всегда сопутствуют широкой полосе с максимумом около 900 нм и локальными максимумами через 0.056 эВ. В спектрах трети кристаллов регистрируется полоса 926 нм (рис. 3, б) со спутниками 948 и 971 нм (расстояние между этими линиями 0.031 эВ). При возбуждении 488 нм линия 926 нм расщепляется (рис. 4, б). В



**Рис. 2.** Распределение кристаллов I, II и III групп: (а) по концентрации азота в форме А и В дефектов, изотермы рассчитаны для длительности отжига 3Ga; (б) по коэффициенту поглощения полосы водородсодержащего дефекта в полулогарифмических координатах.

**Fig. 2.** Distribution of crystals between groups I, II and III: (a) by concentration of nitrogen in forms of A and B defects, isotherms calculated for the length of annealing (the mantle residence time) 3Ga; (b) by the absorption coefficient of the hydrogen-bearing defect band within semilogarithmic coordinates.

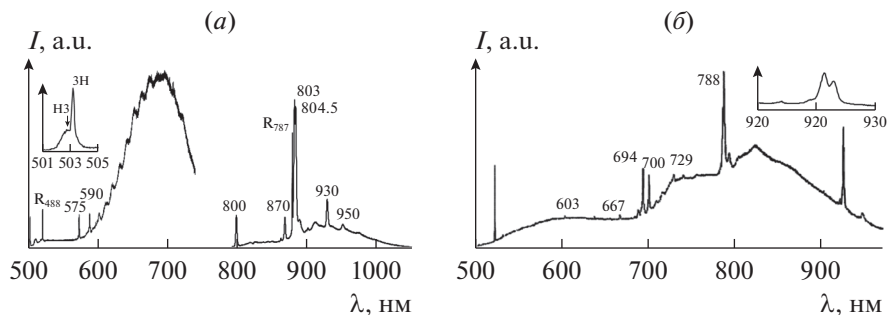


**Рис. 3.** Спектры фотолюминесценции при 77 К: (а) кристалла 2k-4-8 (см. рис. 1) с линиями 912 и 933 нм при возбуждении 488 и 787 нм; (б) кристалла A107-1 с интенсивной линией 926 нм при возбуждении 787 нм. R<sub>488</sub> и R<sub>787</sub> – линии комбинационного рассеяния при возбуждении 488 и 787 нм.

**Fig. 3.** Photoluminescence spectra at 77 K: (a) the crystal 2k-4-8 (see Fig. 1) with lines of 912 and 933 nm, under excitation of 488 and 787 nm; (b) the crystal A107-1 with the intensive line of 926 nm, under excitation of 787 nm. R<sub>488</sub> and R<sub>787</sub> – Raman lines under excitation of 488 and 787 nm.

кристаллах этой группы часто регистрируются линии 693, 700, 787 нм, но их интенсивность невысокая (рис. 4, б).

В одном сером кристалле октаэдрического габитуса при  $\lambda_B$  787 нм обнаружены две полосы ФЛ 883 и 884.5 нм Ni-содержащего дефекта (Yelisseyev, Kanda, 2007), вместе с линиями 800, 870, 930 нм (рис. 4). Интенсивность линий дублета в пять раз выше интенсивности линии комбинационного рассеяния (КР). В спектре ФЛ при  $\lambda_B$  488 нм регистрируются линии H3, 3H, 575, 590, и широкая полоса с максимумом около



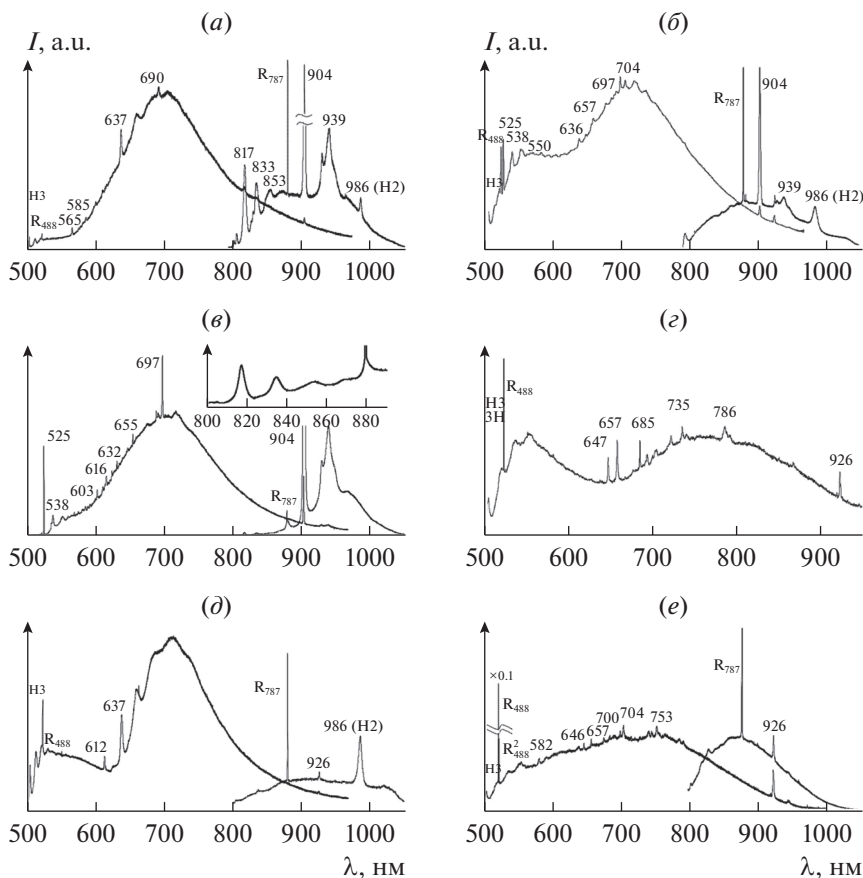
**Рис. 4.** Спектры фотолюминесценции при 77 К: (а) кристалла 4К-14-8 при возбуждении 488 и 787 нм, на вставке показан участок спектра с линиями *H3* и *3H*; (б) кристалла 3А21-1 при возбуждении 488 нм, на вставке показан участок спектра с расщеплением линии 926 нм.

**Fig. 4.** Photoluminescence spectra at 77 K: (a) the crystal 4K-14-8 under excitation of 488 and 787 nm, the inset shows the part of spectrum with lines *H3* and *3H*; (б) the crystal 3A21-1 under excitation of 488 nm; the inset shows the part of spectrum with split 926 nm line.

690 нм и локальными максимумами через 0.031 эВ, отмеченная ранее в спектрах низкотемпературных кристаллов (Titkov et al., 2014).

**Группа II** включает бесцветные или желтые додекаэдриды – тетрагексаэдриды. Большая часть (80%) кристаллов этой группы содержит азот преимущественно в форме *A* дефектов,  $N_B$  менее 15% (рис. 2, а), это тип *IaA* по физической классификации. Меньшая часть (20%) кристаллов имеет долю азота в форме дефектов *B* в диапазоне 20–97%, от кристаллов первой группы их отличает только сильное растворение. В спектрах ИК поглощения алмазов типа *IaA* совместно с известными полосами дефекта  $N_3/ИН$ : 1405, 2786, 3107, 3237, 4496  $см^{-1}$ , иногда регистрируется набор полос с максимумами 3050, 3144, 3154, 3189, 3311  $см^{-1}$ . Эти полосы регистрируются в спектрах как желтых индивидов с низкой концентрацией *C* дефектов, так и в бесцветных типа *IaA*, в спектрах образцов типа *Ib* эти полосы отсутствуют. При УФ возбуждении у 40% кристаллов доминирует в спектре система *N3*, у 60% – широкая полоса с максимумом 520 нм системы *S1*. В ФЛ алмазов этой группы с УФ возбуждением при комнатной температуре регистрируются системы *N3*, *S1*, *H3*, 582 нм со спутниками 605 и 626 нм, линии 656, 787, 793 нм. При 77 К в спектрах регистрируются системы *S1*, *S2*, *S3*, 787, часто линии 582 и 656 нм. При  $\lambda_B$  787 нм в спектрах ФЛ алмазов типа *IaA* регистрируются сателлиты линии 787 нм с максимумами 804 и 826 нм. В спектрах кристаллов этой группы отмечаются линии 814, 903, 926, 948 нм, редко 986 нм (*H2*). При  $\lambda_B$  488 нм часто регистрируются полосы с максимумами 527.5, 603.5, 612, 667, 687.5, 689, 694, 700, 729, 787 нм (рис. 4, б).

**Группа III** включает кубоиды, тетрагексаэдриды, в том числе переходные к додекаэдридам формы, скелетные кубоиды. По физической классификации это кристаллы типа *IaA*, *IaA* + *Ib* и *Ib*. Доля азота в этой форме изменяется соответственно от нуля до 100%. В кристаллах *Ib* концентрация азота в форме *C* дефектов достигает 600 ppm. В спектрах поглощения кристаллов типа *IaA* и *IaA* + *Ib* часто проявляются так же системы поглощения с набором узких полос: 1406, 1430, 1447, 1456, 1465, 1387, 1503, 1550, 1564, 1575  $см^{-1}$ .

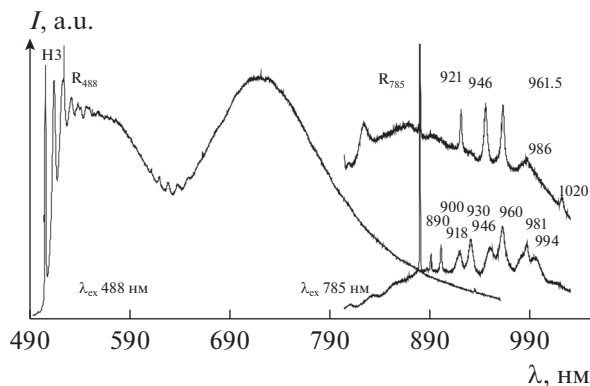


**Рис. 5.** Спектр ФЛ кристаллов III группы (см. рис. 1) при возбуждении 488 и 785 нм (при 77 К): (а) 4К-14-24; (б) 4К-6-7; (в) 4К-1-1, на вставке приведен увеличенный фрагмент с системой при 817 нм; (г) 4К-6-3; (д) 4К-6-7,  $R^2$  – КР второго порядка; (е) 4К-6-8.

**Fig. 5.** The PL spectrum of the III group crystals (see Fig. 1) under excitation of 488 and 785 nm (at 77 K): (a) crystal 4K-14-24; (b) crystal 4K-6-7; (c) crystal 4K-1-1, the insert shows an enlarged fragment with the system at 817 nm; (г) crystal 4K-6-3; (d) crystal 4K-6-7,  $R^2$  – the second order Raman scattering; (e) crystal 4K-6-8.

Спектры ФЛ кристаллов группы III оказались наиболее разнообразны (рис. 5, а–е). При  $\lambda_{\text{в}}$  488 нм регистрируются системы  $H3$ ,  $3H$ , 525, 575, 582 и 587, 612, 624.3, 638 ( $NV^-$ ), 689, 697, 705, 787 нм, 926,  $H2$  и много слабых полос, описанных ранее (Hainschwang et al., 2006, Зудина и др., 2013). При  $\lambda_{\text{в}}$  787 нм в спектрах ФЛ алмазов этого типа отмечается полоса 904 нм, которая может быть на два порядка интенсивнее линии КР (рис. 5, а; 5, б). По-видимому, эта полоса соответствует линии 905 нм, описанной ранее в спектрах поглощения желтых кристаллов (Hainschwang et al., 2006). Некоторые особенности люминесценции не описаны в наиболее полных обзорах. Выявлена (рис. 5, а; 5, в) система с бесфонной линией 817 нм и повторениями при 833 и 853 нм (сдвиг 0.035 эВ).

В спектрах многих кристаллов этой группы регистрируется система 638 ( $NV^-$ ) нм, которая может определять вид спектра, и система  $H2$  (рис. 5, г; 5, д). В спектрах большинства кристаллов помимо широких полос регистрируются узкие линии 647, 657,



**Рис. 6.** Спектры ФЛ при 77 К кристаллов Pr20 и 2K5-74 с деформационной штриховкой при возбуждении 488 (Pr20) и 787 нм. Спектры смещены для наглядности.

**Fig. 6.** Photoluminescence spectra of Pr20 and 2K5-74 crystals with signs of plastic deformation under excitation of 488 (Pr20) and 787 nm (at 77 K). Spectra are shifted for visible clarity.

685, 736 нм (рис. 5, е). Линии 883 и 884.5 нм Ni-содержащего дефекта зарегистрированы в спектре одного кристалла этой группы.

Не описанные ранее системы ФЛ обнаружены в кристаллах с деформационной штриховкой. Для таких кристаллов характерна (Gaillou et al., 2010) очень интенсивная система *H3*, широкая полоса с максимумом около 720 нм и рядом эквидистантных пиков 608, 616, 624, 632 нм (рис. 6).

При возбуждении 785 нм в спектрах этих кристаллов обнаруживаются две системы (рис. 6). Первая включает набор дублетов 890 и 900.3, 918 и 930 нм, 946.5 и 961.5 нм, 981 и 994 нм. Расстояние между линиями в дублетах 0.0162 эВ, расстояние между дублетами – 0.0435 эВ. Вторая система включает линии 921, 946, 961.5, 986, 1020 нм. Относительные интенсивности линий в этих системах варьируют в широких пределах.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Проведенное разделение кристаллов на три группы позволило связать выявляемые характеристики с доминирующим механизмом роста. Кристаллы группы I, включающей октаэдры и октаэдронды, росли по тангенциальному механизму слоями {111}, по крайней мере, в основной части объема кристаллов. Кристаллы группы III являются преимущественно результатом роста пирамид  $\langle 100 \rangle$  по нормальному механизму, или совместного роста пирамид  $\langle 100 \rangle$  и  $\langle 111 \rangle$ . Додекаэдронды “уральского” типа, как предельная форма растворения (Khokhryakov, Palyanov, 2007; Глазов, 2012), могут в генетическом отношении быть производными как от I, так и от III группы. Проведенное разделение в значительной мере условно, так как мы не изучали анатомию кристаллов: не учитывали случаи дискретного роста, смены механизмов роста, зональности и т.п. Несмотря на указанную ограниченность, разделение на три группы позволило установить связь морфологических особенностей кристаллов с природой окраски, набором и концентрацией азотных дефектов и люминесцентными характеристиками.

Около 3% исследованных кристаллов имеют очень слабую люминесценцию: при  $\lambda_{\text{в}}$  488 и 785 нм интенсивность ФЛ ниже комбинационного рассеяния (КР) второго по-

**Таблица 1.** Частота встречаемости некоторых систем люминесценции в выделенных группах  
**Table 1.** Frequency of some luminescence systems among distinguished groups of crystals

Группа	Система люминесценции								
	*N3	*S1	*S2 (489 нм)	*H3	**693 нм	**700/787 нм	**926 нм	**933 нм	**H2
	Регистрируется/доминирует, %								
I	100/97	25/3	30	12	23	58	35	37	2
II	68/40	76/60	23	30	80	93	85	8	3
III	31/3	60/35	20	28	20	20	60	3	12

\* При 300 К, \*\* при 77 К.

рядка. Спектры некоторых кристаллов содержат полосы и системы люминесценции, описание которых не приводится в наиболее полных обзорах (Zaitsev, 2001; Dishler, 2012), и не наблюдались ранее при исследовании аналогичных кристаллов (Hain-schwang et al., 2006; Зудина и др., 2013; Titkov et al., 2015). Параметры распределения по группам наиболее часто регистрируемых в спектрах ФЛ систем приведены в табл. 1.

Три выделенные группы перекрываются по морфологии кристаллов, набору азотных дефектов и особенностям люминесценции. Это перекрытие обусловлено как очевидным отсутствием четких границ в любой – минералогической, морфологической или физической классификации, так и сложной зональностью отдельных кристаллов (Palazhchenko et al., 2008; Khachatryan et al., 2008; Kriulina et al., 2012). Доля кристаллов из разных групп с пересекающимися характеристиками составляет около 20%. Примерами переходных случаев могут быть: бесцветные тетрагексаэдрониды и кубы, октаэдр с долей азота в форме *B* менее 15%, желтые кубониды и тетрагексаэдрониды с системой *N3* в спектрах ФЛ. Кристаллы второй группы имеют как низкую, так и максимальную модельную температуры. Вариации характеристик додекаэдрических кристаллов второй группы указывают на вторичную природу морфологических отличий, вызванных растворением первично разных по термической истории кристаллов алмаза. Кристаллы первой группы отличаются высокой модельной температурой и низкой степенью растворения. У кристаллов второй группы модельная температура ниже, но выше степень растворения. Их распределение по концентрации водорода не соответствует простой комбинации первой и третьей групп. Кроме того, по степени трансформации азотных дефектов, часть кристаллов этой группы идентична кристаллам группы I, но больше половины имеют значение  $N_B$  5–15%. Эти параметры указывают на генетическую обособленность кристаллов второй группы. Если бы растворение происходило после консолидации пород, содержащих с кристаллы с разной термической историей, то мы не смогли бы выявить между такими алмазами значительных морфологических отличий. Таким образом, эти группы соответствуют как разным условиям роста, так и имеют признаки отличной постростовой истории, соответственно: а) происходят из различных по своим параметрам алмазогенерирующих систем; б) отличаются своей постростовой историей. Исследования ксенолитов и граната (Shukina et al., 2016; 2019) трубки им. Гриба показали многостадийные метасоматические изменения, что также предполагает несколько этапов алмазообразования в этом регионе. На основании имеющихся данных невозможно заключить, на какой стадии произошло объединение кристал-



лов с различной ростовой и термической историей. Для решения этого вопроса необходимо провести сравнительное изучение включений в кристаллах выделенных групп.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Кристаллы алмаза месторождения им. М.В. Ломоносова ААП по особенностям морфологии, термической истории и ФЛ, разделяются на три группы. Первая группа состоит из кристаллов с высокой модельной температурой, в основной массе октаэдрического габитуса, с незначительными признаками растворения. Кристаллы второй группы – это додекаэдрониды – кристаллы с низкой модельной температурой и высокой степенью растворения. Третья группа включает низкотемпературные кристаллы с С дефектами, это кубоиды, в том числе скелетные, часто без следов растворения. Эти кубоиды имеют разнообразный набор систем люминесценции и, соответственно, генетические различия. Отличия в термической истории и степени растворения в разных по морфологии кристаллах указывают на полигенность алмаза в кимберлитовых трубках месторождения им. М.В. Ломоносова. Выявлены не наблюдавшиеся ранее люминесцентные особенности низкотемпературных кристаллов кубического габитуса, и кристаллов с признаками пластической деформации.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ, грант 20-17-00128.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Васильев Е.А., Клепиков И.В., Антонов А.В.* Округлые кристаллы алмаза со смешанным механизмом роста из россыпей Красновишерского района (Приуралье) // ЗРМО. **2018**. № 4. С. 114–126.

*Гаранин В.К., Кривулина Г.Ю., Гаранин К.В., Самосоров Г.Г.* Архангельские алмазы. Новые данные. М.: ИП Скорыходов, **2018**. 232 с.

*Глазов А.И.* Особенности геометрии округлых кристаллов // Записки Горного института. **2012**. Т. 199. С. 206–210.

*Зудина Н.Н., Титков С.В., Сергеев А.М., Зудин Н.Г.* Особенности центров фотолуминесценции в кубических алмазах с различной окраской из россыпей северо-востока Сибирской платформы // ЗРМО. **2013**. № 4. С. 57–72.

*Кудрявцева Г.П., Посухова Т.В., Вержак В.В. и др.* Атлас морфогенеза алмаза и минералов-спутников в кимберлитах и родственных породах Архангельской алмазоносной провинции. М.: Полярный круг, **2005**. 607 с.

*Хренов А.Я., Палкина Е.Ю.* Сравнительная характеристика люминесценции алмазов Архангельской и Якутской алмазоносных провинций // Минерал. журн. **1995**. Т. 17. № 4. С. 40–46.

### SPECTROSCOPIC PECULIARITIES OF DIAMONDS FROM THE M.V. LOMONOSOV DEPOSIT

**E. A. Vasilev<sup>a, \*</sup>, G. Yu. Kriulina<sup>b</sup>, and V. K. Garanin<sup>c</sup>**

<sup>a</sup>*Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russia*

<sup>b</sup>*Moscow State University, Geological Faculty, Moscow, Russia*

<sup>c</sup>*Fersman Mineralogical Museum RAS, Moscow, Russia*

*\*e-mail: simphy12@mail.ru*

Diamond crystals from the M.V.Lomonosov deposit (Archangelsk region, Russia) have been studied by methods of luminescence and infrared spectroscopy. There were distinguished three groups of crystals according to their morphology, thermal history and photoluminescence. The first group consists of octahedrons with weak signs of resorption; they have the highest modeled temperature among studied crystals. The second group consists mostly of resorbed dodecahedrons with a middle modeled temperature. The third group crystals are

cuboids with the lowest modeled temperature. Those groups correspond to different growth conditions and have signs of different post-growth history. Thus, obtained results indicate the polygenetic origin of diamonds in the Lomonosov deposit. For instance, the diversity of yellow cuboids is shown by their spectroscopic features. There were detected also new photoluminescence systems among the low-temperature cuboid crystals.

*Keywords:* diamond, photoluminescence, nitrogen, FTIR (infrared spectroscopy)

## REFERENCES

- Dishler B.* Handbook of spectral lines in diamond. Springer, **2012**. 467 p.
- Fritsch E., Hainschwang T., Massi L., Rondeau B.* Hydrogen-related optical centers in natural diamond. *New Diamond Front. Carbon. Technol.* **2007**. Vol. 17. P. 63–89.
- Gaillou E., Post J.E., Bassim N.D., Zaitsev A.M., Rose T., Fries M.D., Stroud R.M., Steele A., Butler J.E.* Spectroscopic and microscopic characterizations of color lamellae in natural pink diamonds. *Diam. Relat. Mater.* **2010**. Vol. 19. P. 1207–1220.
- Garanin V.K., Kriulina G.Yu., Garanin K.V., Samosorov G.G.* Diamonds of Arkhangelsk. New data. Moscow: IP Skorokhodov, **2018**. 232 p. (in Russian).
- Glazov A.I.* Geometric features of rounded crystals. *J. Mining Inst.* **2012**. Vol. 199. P. 206–210 (in Russian).
- Goss J.P., Briddon P.R., Hill V., Jones R., Rayson M.J.* Identification of the structure of the 3107 cm<sup>-1</sup> H-related defect in diamond. *J. Phys.: Condens. Matter.* **2014**. Vol. 26. P. 1–6.
- Hainschwang T., Notari F., Fritsch E., Massi L.* Natural, untreated diamonds showing the A, B and C infrared absorptions (“ABC diamonds”), and the H2 absorption. *Diam. Relat. Mater.* **2006**. Vol. 15. P. 1555–1564.
- Hainschwang T., Fritsch E., Notari F., Rondeau B.* A new defect centre in type Ib diamond inducing one phonon infrared absorption: the Y centre. *Diam. Relat. Mater.* **2012**. Vol. 21. P. 120–126.
- Hainschwang T., Fritsch E., Notari F., Rondeau B., Katrusha A.* The origin of color in natural C center bearing diamonds. *Diam. Relat. Mater.* **2013**. Vol. 39. P. 27–40.
- Howell D., Griffin W.L., Piazzolo S., Say J.M., Stern R.A., Stachel T., Nasdala L., Rabeau J.R., Pearson N.J., O'Reilly S.Y.* A spectroscopic and carbon-isotope study of mixed-habit diamonds: Impurity characteristics and growth environment. *Amer. Miner.* **2013**. Vol. 98. P. 66–77.
- Khachatryan G.K., Palazhchenko O.V., Garanin V.K., Ivannikov P.V., Verichev E.M.* Origin of disequilibrium diamond crystals from Karpinsky-1 kimberlite pipe using data from cathode luminescence and infra red spectroscopy. *Moscow Univ. Geol. Bull.* **2008**. Vol. 63. N 2. P. 86–94 (in Russian).
- Khokhryakov A.F., Pal'yanov Yu.N.* The evolution of diamond morphology in the process of dissolution: Experimental data. *Amer. Miner.* **2007**. Vol. 92. P. 909–917.
- Khrenov A.Y., Palkina E.U.* Comparison of luminescence of diamonds from Arkhangelsk and Yakutian diamondiferous provinces. *Miner. J.* **1995**. Vol. 17. N 4. P. 40–46. (in Russian).
- Kriulina G.Y., Garanin V.K., Vasilyev E.A., Kyazimov V.O., Matveeva O.P., Ivannikov P.V.* New Data on the structure of diamond crystals of cubic habitus from the Lomonosov Deposit. *Moscow Univ. Geol. Bull.* **2012**. Vol. 67. N 5. P. 282–288.
- Kudriavtseva G.P., Posukhova T.V., Verzjak V.V. et al.* Atlas of morphogenesis of diamond and satellite minerals in kimberlites and related rocks of the Arkhangelsk diamondiferous province. Moscow. Polyarny Krug, **2005**. 607 p. (in Russian).
- Palazhchenko O.V.* Integrated investigations of diamonds from deposits of the Arkhangelsk Diamondiferous Province: Generalization and genetic and applied consequences. *Moscow Univ. Geol. Bull.* **2008**. Vol. 63. N 2. P. 119–128 (in Russian).
- Shchukina E.V., Agashev A.M., Pokhilenko N.P.* Metasomatic origin of garnet xenocrysts from the V. Grib kimberlite pipe, Arkhangelsk region, NW Russia. *Geoscience Frontiers.* **2016**. Vol. 8. N 4. P. 641–651.
- Shchukina E.V., Agashev A.M., Soloshenko N.G., Streletskaia M.V., Zedgenizov D.A., Pokhilenko N.P.* Origin of V. Grib pipe eclogites (Arkhangelsk region, NW Russia): geochemistry, Sm-Nd and Rb-Sr isotopes and relation to regional Precambrian tectonics. *Miner. Petrol.* **2019**. Vol. 113. N 5. P. 593–612.
- Taylor W.R., Jaques A.L., Ridd M.* Nitrogen-defect aggregation characteristics of some Australasian diamonds: Time-temperature constraints on the source regions of pipe and alluvial diamonds. *Amer. Miner.* **1990**. Vol. 75. P. 1290–1310.

---

*Titkov S.V., Mineeva R.M., Zudina N.N., Sergeev A.M., Ryabchikov I.D., Shiryayev A.A., Speransky A.V., Zhikhareva V.P.* The luminescent nature of orange coloration in natural diamonds: optical and EPR study. *Phys. Chem. Min.* **2015**. Vol. 42. N 2. P. 131–141.

*Vasilev E.A., Klepikov I.V., Antonov A.V.* Mixed growth rounded diamonds from modern alluvial placers of Krasnovishersky district, the Urals. *Zapiski RMO (Proc. Russian Miner. Soc.)*. **2018**. N 4. P. 114–126 (*in Russian*).

*Yelisseyev A., Kanda H.* Optical centers related to 3d transition metals in diamond. *New Diamond Front. Carbon. Technol.* **2007**. Vol. 17. N 3. P. 127–178.

*Zaitsev A.M.* Optical properties of diamond: A data handbook. Berlin: Springer Verlag, **2001**. 502 p.

*Zudina N.N., Titkov S.V., Sergeev A.M., Zudin N.G.* Peculiarities of photoluminescence centers in cubic placer diamonds of different colors from the northeastern Siberian Platform. *Zapiski RMO (Proc. Russian Miner. Soc.)*. **2013**. N 4. P. 57–72 (*in Russian*).