

ПРИРОДА ОКРАСКИ ЧЕРНЫХ КРИСТАЛЛОВ АЛМАЗА (МАКАУБАС,  
БРАЗИЛИЯ)**Васильев Е.А.**<sup>1</sup>([simphy12@mail.ru](mailto:simphy12@mail.ru)), **Петровский В.А.**<sup>2</sup>, **Козлов А.В.**<sup>1</sup>,  
**Сухарев А.Е.**<sup>2</sup><sup>1</sup> Санкт-Петербургское отделение. СПГИ (ТУ);  
<sup>2</sup> Сыктывкарское отделение. ИГ Коми НЦ УрО РАНNATURE OF THE BLACK DIAMONDS COLORATION (MACAUBAS,  
BRAZIL)**Vasilyev E.A.**<sup>1</sup> ([simphy12@mail.ru](mailto:simphy12@mail.ru)), **Petrovsky V.A.**<sup>2</sup>, **Kozlov A.V.**<sup>1</sup>,  
**Sukharev A.E.**<sup>2</sup><sup>1</sup> Saint Petersburg branch. SPMI(TU); <sup>2</sup> Syktyvkar branch. IG Komi Sc UB RSU

Исследована природа окраски пяти черных кристаллов алмаза из аллювиальных россыпей штата Минас Жерайс, бассейн р. Макаубас, Бразилия. Кристаллы 10/21, 11/24, 11/25 - октаэдрониды, кристаллы 11/22, 11/21 - сильно растворенные додекаэдрониды уплощенной формы. Кристаллы визуальнo непрозрачны, с алмазным блеском. Из октаэдронидов выпилены пластинки толщиной 0.5 мм в сечении (100), из додекаэдронидов пластинки выпилены так, чтобы получить образцы с максимальной площадью. Пластинки изготавливались лазерным резанием, при этом температура в области резки превышала 600 С. Как видно на рисунке, пластинки имеют равномерный очень насыщенный коричневый (11/22, 11/21) или зеленый (10/21, 11/24, 11/25) цвет и не содержат окрашивающих их включений.

До изготовления пластин были зарегистрированы спектры поглощения в видимой и инфракрасной области на спектрометре VERTEX-70 фирмы Bruker с микроскопом Hyperion1000. В видимом диапазоне целые кристаллы не прозрачны, пропускание начинается от 700 нм, при комнатной температуре в спектрах регистрируется плечо на 740 нм, система с бесфонной линией при 1076 нм. В спектрах поглощения инфракрасного диапазона регистрируются системы поглощения А, В1, В2. В спектрах поглощения всех кристаллов до распиловки регистрируется так же полоса с максимумом 1530 см<sup>-1</sup>, с коэффициентом поглощения 0.6-0.7 см<sup>-1</sup>.

В спектрах поглощения пластин полоса 1530<sup>-1</sup> не регистрируется, вместо нее вследствие нагрева при резке появились полосы с максимумами 1570 и 1450 см<sup>-1</sup>. При возбуждении ртутной лампой фотолюминесценция пластин визуальнo не обнаруживается. Диапазоны изменения концентрации дефектов А, В1, коэффициентов поглощения полосы В2 и 3107 см<sup>-1</sup> в исследованных кристаллах

приведены в таблице. В спектрах поглощения всех пластин регистрируются системы GR1 (нейтральная вакансия), в спектрах поглощения бурых кристаллов – система N3 (два азотных атома и вакансия). Коэффициенты поглощения на длине волны 740 нм при комнатной температуре приведены в таблице, коэффициент поглощения системы N3 при комнатной температуре в максимуме (485 нм) с учетом фона составляет  $2.2 \text{ см}^{-1}$  для кристалла 10/21 и  $3 \text{ см}^{-1}$  для кристалла 11/21. В спектрах поглощения всех пластин регистрируется так же система поглощения с головной линией при 1078 нм с одинаковым коэффициентом поглощения  $0.8 \text{ см}^{-1}$ . В спектрах поглощения кристаллов 10/21 и 11/21 присутствует полоса с максимумом 595 нм и одиночная полоса с максимумом около 504 нм, коэффициент поглощения кристалле 11/21 –  $0.9 \text{ см}^{-1}$ , в кристалле 10/21 –  $0.2 \text{ см}^{-1}$ .

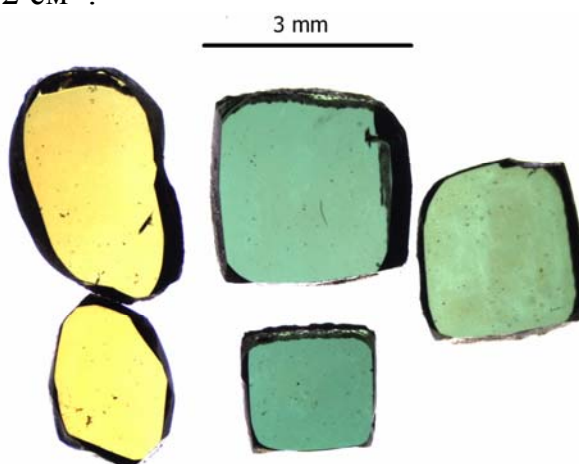


Рис. Фотографии алмазных пластин в проходящем свете.

Табл. Результаты спектроскопических исследований пластин алмаза.

Кристалл (цвет)	A, ppm	B1, ppm	N <sub>tot</sub> , ppm	B1 %	B2, $\text{см}^{-1}$	$\alpha_{3107}$ , $\text{см}^{-1}$	$\alpha_{740}$ , $\text{см}^{-1}$
10/21 (коричн.)	770-1100	200-360	1460-970	19-25	2.2-6.5	0.1-5.3	5.2
11/22 (коричн.)	660-1020	<60	660-1080	<5	0-1.2	1.8-8.2	6
11/24 (зеленый)	350-430	250-415	600-850	42-50	9.5-16.6	0.16-0.23	9.2
11/25 (зеленый)	240-790	200-1350	850-1900	20-75	4-38	0.3-4	8
11/21 (зеленый)	30-150	0-220	40-370	0-70	0-12.2	0-0.5	10.8

Наличие в спектре поглощения полосы  $1530 \text{ см}^{-1}$  свидетельствует о радиационном облучении и отсутствии последующего нагрева до температур выше  $200 \text{ }^\circ\text{C}$ , так как в лабораторных исследованиях отжига облученных алмазов при  $200 \text{ }^\circ\text{C}$  начинается ее уменьшение. Одинаковый у всех кристаллов коэффициент поглощения полосы  $1530 \text{ см}^{-1}$ , полосы  $1078 \text{ см}^{-1}$  позволяет предполагать одинаковую дозу облучения. Из всех природных видов облучения к появлению объемной окраски могло привести только нейтронное, индуцированное  $\alpha$ -распадом. Отсутствие особенностей окраски

приповерхностных зон свидетельствует, что непосредственного контакта кристаллов и радиоактивных минералов не было. Все кристаллы имеют неравномерное распределение концентрации определяемых дефектов кристаллической структуры, но незначительные вариации окраски отмечаются только в кристалле 11/25. Анализ полученных данных показывает, что в зеленый цвет окрашены кристаллы, содержащие менее 430 ppm азота в форме А дефектов, а коричневая (бурая) окраска отмечается в кристаллах с концентрацией азота в форме А дефектов более 660 ppm. Кристалл 11/25, имеющий промежуточный диапазон концентраций азота в форме А дефектов 240-790 ppm окрашен неравномерно, он зеленый с коричневым нацветом. Природа «порогового» эффекта окраски требует дальнейшего исследования. В коричневых кристаллах по сравнению с зелеными меньше концентрация нейтральной вакансии, регистрируемой как система GR1, вероятно, за счет ее захвата азотной парой с образованием центра N3. В лабораторных экспериментах центры N3 образуются при температурах выше 600 °С, когда вакансии становятся подвижными, однако в исследованных кристаллах нагрева после облучения не было. Примечательно, что в искусственно облученных кристаллах при близкой дозе облучения возникает серое поглощение, начиная от 1500 см<sup>-1</sup>, которое может быть снято отжигом, но отсутствует в исследованных пластинах. Вероятно, в естественных условиях роль временного фактора в преобразовании радиационных дефектов алмаза гораздо выше, чем считалось ранее.

Полученные результаты показывают, что черная окраска исследованных кристаллов вызвана природным объемным нейтронным облучением. В кристаллах не обнаруживаются признаков нагрева после облучения. В тонких срезах черные кристаллы оказываются зелеными или бурыми, в зависимости от концентрации азота в форме А дефектов. По результатам исследования можно заключить, что зеленые и бурые пятна пигментации радиационного происхождения, часто встречающиеся в алмазах из древних россыпей, связаны не с различными термическими режимами после облучения, как считалось ранее, а с различием в концентрации азотных пар.

*Работа выполнена при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы.*