

ГЕОЛОГИЯ

УДК 549.211 (571.56)

<https://doi.org/10.25587/2587-8751-2026-1-5-16>

Оригинальная научная статья

МИНЕРАЛЬНЫЕ ФАЗЫ НА ПОВЕРХНОСТИ КРИСТАЛЛОВ АЛМАЗА VII РАЗНОВИДНОСТИ ИЗ КАРНИЙСКИХ (ВЕРХНЕТРИАСОВЫХ) ОТЛОЖЕНИЙ БУЛКУРСКОЙ АНТИКЛИНАЛИ

М.Г. Ощепкова^{1*}, С.С. Угапьева¹, А.Д. Павлушин¹, О.Б. Олейников¹, С.В. Горяйнов², С.А. Громилов³¹Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН,
г. Якутск, Российская Федерация²Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН,
г. Новосибирск, Российская Федерация³Институт неорганической химии им. А. В. Николаева СО РАН,
г. Новосибирск, Российская Федерация

*oshchepkovamg28@mail.ru

Аннотация. Карнийские отложения в пределах Булкурской антиклинали характеризуются высокой и «ураганной» алмазоносностью. Среди кристаллов типичных для кимберлитовых трубок присутствуют алмазы V-VII разновидности невыясненного генезиса. Согласно литературным данным отличительной особенностью данной разновидности алмазов является легкий изотопный состав углерода $\delta^{13}\text{C}$ от -17 до -25 ‰ и высокое содержание примеси азота 1200-2000 ppm. Коренной источник этих алмазов до сих пор не обнаружен. В целях установления генетической связи минеральных фаз на поверхности алмазов и вмещающих отложений в настоящей работе представлены результаты комплексного минералогического исследования алмазов VII разновидности (по классификации Ю.Л. Орлова) из карнийских (верхнетриасовых) отложений Булкурской антиклинали. Методами сканирующей электронной микроскопии, ЭДС анализа химического состава и Рамановской спектроскопии идентифицированы хлорит (предположительно шамозит), иллит, нонтронит, выполняющие трещины и образующие корочки на поверхности поликристаллических агрегатов алмаза. Установлено, что шамозит образует вроски и чешуйчатые агрегаты в трещинах, в то время как иллит и нонтронит формируют тонкие (менее 20 мкм) мелкочешуйчатые корочки. Данная ассоциация минералов характерна для процессов низкотемпературного гидротермального изменения и диагенеза вулканогенно-осадочных толщ в морской среде. По данным КР спектров на одном фрагменте расколотого поликристалла алмаза идентифицирован апатит. Формирование апатита связано с гипергенными изменениями первичных вмещающих пород перед их преобразованием гидротермальными процессами в условиях морского мелководья.

Полученные результаты дополняют представления о посткристаллизационных преобразованиях алмазов из россыпных месторождений севера Сибирской платформы и могут быть использованы для реконструкции условий формирования карнийских алмазоносных отложений.

Ключевые слова: алмаз VII разновидности, Сибирская платформа, Булкурская антиклиналь, верхний триас, карнийские отложения, Рамановская спектроскопия, апатит, иллит, нонтронит, шамозит.

Финансирование. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 25-27-20056).

Для цитирования: Ощепкова М.Г., Угапьева С.С., Павлушин А.Д., Олейников О.Б., Горяйнов С.В., Громилов С.А. Минеральные фазы на поверхности кристаллов алмаза VII разновидности из карнийских (верхнетриасовых) отложений Булкурской антиклинали. *Вестник СВФУ*. 2026;(2): 5-16. DOI: 10.25587/2587-8751-2026-1-5-16

MINERAL PHASES ON THE SURFACE OF VARIETY VII DIAMOND CRYSTALS FROM CARNIAN (UPPER TRIASSIC) DEPOSITS OF THE BULKUR ANTICLINE

Maria G. Oshchepkova^{1}, Sargylana S. Ugapeva¹, Anton D. Pavlushin¹, Oleg B. Oleinikov¹,
Sergey V. Goryainov², Sergey A. Gromilov³*

¹Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS,
Yakutsk, Russian Federation

²V. S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS,
Novosibirsk, Russian Federation

³A. V. Nikolaev Institute of Inorganic Chemistry SB RAS,
Novosibirsk, Russian Federation

*oshchepkovamg28@mail.ru

Abstract. Carnian deposits within the Bulkur anticline are characterized as “hurricane-like” diamondiferous. Among crystals typical for kimberlite pipes there are diamonds of V–VII varieties of unknown genesis. According to earlier researches a distinctive feature of this diamond variety is a light carbon isotope composition ($\delta^{13}\text{C}$) ranging from –17 to –25‰ and a high nitrogen content of 1200–2000 ppm. The primary source of these diamonds has not yet been identified. In order to establish genetic relationship between mineral phases on diamond surface and host deposits, this paper presents the results of a comprehensive mineralogical study of variety VII diamonds (according to Yu.L. Orlov’s classification) from Carnian (Upper Triassic) deposits of the Bulkur anticline. A set of analytical methods were used to identify chlorite (presumably chamosite), illite, and nontronite that fill cracks and form crusts on the surface of polycrystalline diamond aggregates. It was established that chamosite presented as ingrowths and foliate-flaky aggregates in cracks, while illite and nontronite form thin fine-flaky crust (less than 20 μ). This mineral assemblage is characteristic of low-temperature hydrothermal alteration and diagenesis of volcano-sedimentary strata in a marine environment. Raman spectra revealed apatite in a fragment of a crushed diamond polycrystal. Apatite formation is associated with hypergene alteration of primary host rocks prior to their transformation by hydrothermal processes in shallow marine environments. The results obtained complement the understanding of diamonds postgenetic changes from placer deposits in the north of the Siberian Platform and can be used to reconstruct conditions of formation of Carnian diamond-bearing deposits.

Keywords: VII variety diamond crystals, Siberian platform, Bulkur anticline, Upper Triassic, Carnian deposits, Raman spectroscopy, apatite, illite, nontronite, chamosite

Funding. The study was funded by Russian Science Foundation grant (project No. 25-27-20056).

For citation: Oshchepkova M.G., Ugapeva S.S., Pavlushin A.D., Oleinikov O.B., Goryainov S.V., Gromilov S.A. Mineral phases on the surface of Variety VII diamond crystals from Carnian (Upper Triassic) deposits of the Bulkur anticline. *Vestnik of North-Eastern Federal University. Earth Sciences*. 2026;(2): 5-16. DOI: 10.25587/2587-8751-2026-1-5-16

Введение

Первый алмаз в карнийских отложениях верхнего триаса на северо-востоке Сибирской платформы был обнаружен в 1979 г. на о. Таас-Ары. Последующие поисковые и тематические работы привели к открытию в пределах Булкурской антиклинали карнийских отложений с высокой и «ураганной» алмазонасностью. Комплексные минералогические, стратиграфические и палеогеографические исследования показали, что коренные источники алмазов расположены в непосредственной близости [1].

Алмазы из туфогенных пород Булкурской антиклинали были объектом изучения многих исследователей [2-7]. В районе Булкурской антиклинали, как и в россыпях Прианабарья (Эбелях, Маят и др.), присутствуют алмазы, совершенно нехарактерные для известных кимберлитовых тел Якутской провинции, к которым относятся кристаллы V-VII разновидности по минерало-

гической классификации Ю.Л. Орлова. Отличительной особенностью данной разновидности алмазов является легкий изотопный состав углерода $\delta^{13}\text{C}$ от -17 до -25% и высокое содержание примеси азота 1200–2000 ppm [2, 7–11].

В настоящее время в качестве возможных источников алмазов карнийского яруса Булкурской антиклинали рассматриваются несколько гипотез. Согласно [10], выдвинуто предположение о транспортировке алмазоносных пород позднетриасовыми вулканитами основного и ультраосновного состава со щелочным уклоном. В работе [9] рассматривается существование обширного эруптивного вулканизма с участием магм лампроитового генезиса, которые стали источниками экзотических для Якутской алмазоносной провинции алмазов V–VII разновидностей. В свете новых данных, полученных в результате изучения включений циркона в алмазе V разновидности из россыпи р. Моргогор – определения возраста $262,5 \pm 2,7$ и $232,6 \pm 3,0$ млн лет, содержания Th и U менее 90 ppm, предполагается, что алмазы были транспортированы из мантии в ходе триасового кимберлитового магматизма. При этом в процессе образования алмазов V–VII разновидностей принимал участие материал океанической коры, включающий: изотопно-легкую по углероду и обогащенную азотом биогенную составляющую; низкотемпературно измененные океанические базальты, обогащенные тяжелым изотопом кислорода [11]. Однако ни здесь, ни в других районах Сибирской платформы до сих пор не обнаружены вулканические постройки, которые могли бы служить источником этих туфов. Таким образом, вопрос о происхождении алмазов карнийских (верхнетриасовых) отложений Булкурской антиклинали остаётся открытым. В целях установления генетической связи минеральных фаз на поверхности алмазов и вмещающих отложений в настоящей работе представлены результаты их комплексного изучения.

Методы исследования

Особенности морфологии кристаллов алмаза изучены на стереоскопическом микроскопе Olympus SZX-12 (Olympus Corp., Tokyo, Japan). Микроморфология кристаллов алмаза и минеральные образования на их поверхности, в трещинах исследованы с помощью электронного сканирующего микроскопа JEOL JSM-6480LV (Jeol Ltd., Токио, Япония).

Химический состав минеральных фаз определен с применением приставки к сканирующему электронному микроскопу энергетического дисперсионного спектрометра Energy 350 Oxford, при напряжении 20 кВ, ток 1 нА, диаметр пучка 1 мкм. КР спектры регистрировались на дисперсионном микроскопе комбинационного рассеяния (КР) SENTERRA фирмы Bruker, оснащённом лазером с длиной волны 532 нм (ИПНГ СО РАН, г. Якутск), а также на спектрометре LabRam HR800 «Horiba Jobin Yvon» с 1024-канальным LN/CCD-детектором (ИГМ СО РАН, г. Новосибирск).

Рентгенографическое исследование проведено в схеме Дебая-Шеррера на дифрактометре Bruker D8 Venture (микрофокусная трубка Incoatec $\text{I}\mu\text{S}$ 3,0, $\text{CuK}\alpha$ -излучение, монохроматизация и фокусировка с помощью многослойных зеркал Монтеля, трехкружный гониометр, программное обеспечение APEX3 [12]) (ИНХ СО РАН, г. Новосибирск). Детектор PHOTON III (разрешение 768×1024 , размер пикселя 135×135 мкм²) был установлен на расстоянии 96,5 мм под углом $2\theta_p = 35^\circ$, калибровка этого положения проведена по эталонному образцу CeO_2 – SRM674b [13]. При переходе от дебаеграммы к стандартному виду дифрактограммы $I/(2\theta)$ использована программа DIOPTAS [14].

Результаты

Образцы представляют собой значительно растворенные агрегаты беспорядочно ориентированных октаэдров желтовато-серого и серого цвета, относимые к VII разновидности по минералогической классификации Ю.Л. Орлова [15]. Размеры агрегатов не превышают 5 мм. В углублениях поверхности имеются минеральные фазы черного и темно-серого цвета (рис. 1).

Согласно данным [4, 7], кристаллы алмаза VII разновидности карнийских отложений Булкурской антиклинали являются классическими представителями «изотопно легких»

алмазов. Специфический «легкий» диапазон значения $\delta^{13}\text{C}$ (от $-17,2\%$ до $-24,7\%$) служит важным диагностическим признаком, отличающим их от кристаллов из палеозойских кимберлитов (с тяжелым изотопным составом около $-2,1\dots-5,74\%$).

В алмазах VII разновидности примесь азота наблюдается главным образом в агрегированных формах А, В1, В2 дефектов, что характерно для алмазов типа 1аА/В по физической классификации [16]. Общее содержание азота (суммарно рассчитанные концентрации в форме дефектов А и В1) составляет не менее 1000 ppm [4, 7, 11, 17].



Рис. 1. Сrostки октаэдрических кристаллов алмаза VII разновидности (а-в)
 Fig. 1. Octahedral diamond crystals intergrowths of VII variety (а-в)

С помощью сканирующего электронного микроскопа установлены силикатные минералы в виде пластинчато-чешуйчатых масс, выполняющих трещины и углубления в рельефе, образующих корочку, а также врастающих в интерстиции кристаллов в агрегатах алмаза. Цвет силикатов белый с желтовато-ржавым оттенком, либо темно-зеленые почти черные разновидности. Темные силикаты по химическому составу соответствуют шамозиту (табл. 1). В поликристалле 8001 вrostок шамозита выступает из алмаза (рис. 2, а). Структура вrostка скрытокристаллическая, прямоугольной формы ($1\times0,5\times0,5$ мм), поверхность гладкая, с мелкими кавернами. Шамозит, заполняющий трещины в агрегатах алмаза, представлен в виде чешуйчатых выделений и повторяет форму и изломы трещин (рис. 2, б), местами нарастая корочкой за их пределами.

Таблица 1

Представительные анализы химического состава минералов на поверхности кристаллов алмаза из россыпных месторождений севера Сибирской платформы

Table 1

Representative analyses of the chemical composition of minerals on the surface of diamond crystals from placer deposits in the northern part of the Siberian Platform

Минерал	№ алмаза	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO _{tot}	MgO	CaO	K ₂ O	Total
Шамозит	8001	29,64	20,50	36,01	4,55	0,39	0,53	91,62
	8001	29,18	22,12	33,22	4,66	-	-	89,18
	8002	28,51	24,49	38,44	3,57	-	0,55	95,56
	8011	28,81	26,95	37,08	5,00	-	-	97,84
	8011	36,53	24,03	30,80	4,45	-	-	95,81
Иллит	8002	53,27	33,47	2,09	1,17	1,05	6,57	97,62
	8002	52,54	31,03	3,53	0,95	-	9,42	97,47
	8002	50,13	30,64	4,80	-	-	8,12	93,68
	8011	46,76	28,87	6,14	1,23	-	8,41	91,42
	8011	51,61	29,38	2,67	1,07	-	6,89	91,62
Нонтронит	8002	36,18	25,39	24,42	3,30	0,62	3,48	93,40
	8002	38,49	26,09	23,38	2,38	0,63	3,51	94,49

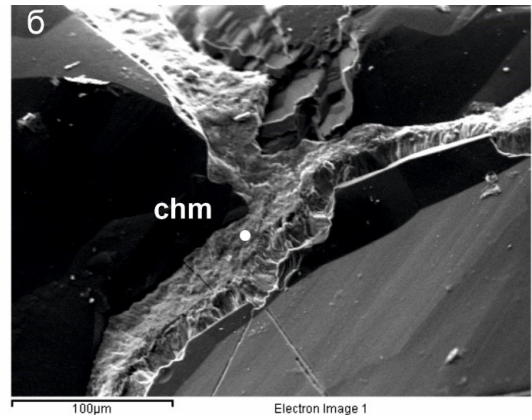
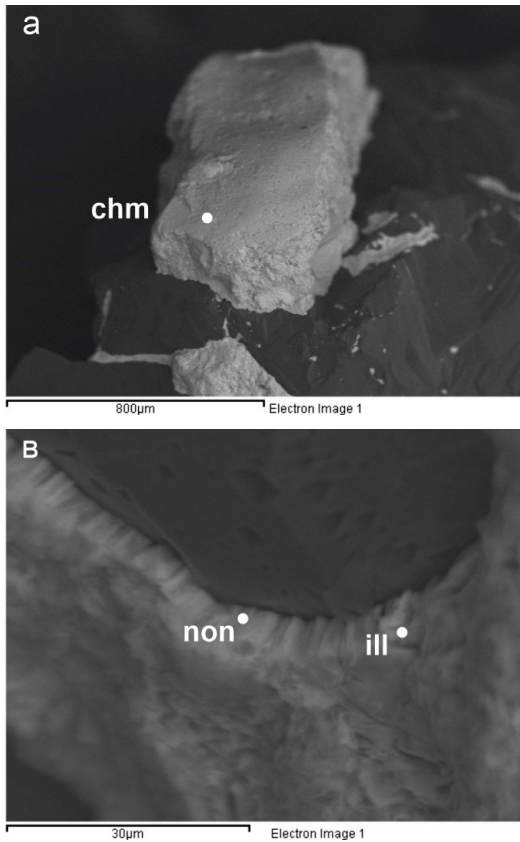
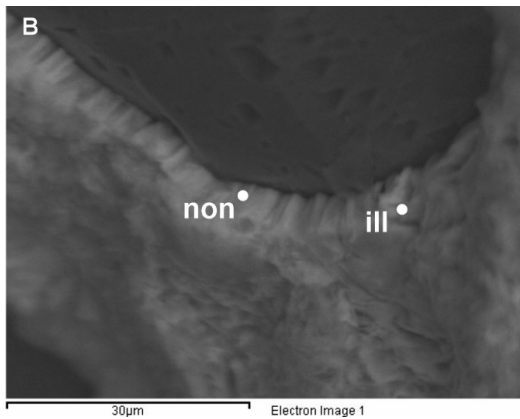


Рис. 2. Вросток (а), листовато-чешуйчатые выделения (б) шамозита в трещине и корочка из мелкочешуйчатого нонтронита и иллита (в) на поверхности агрегатов алмаза

Fig. 2. Chamosite ingrowth (a) and foliate-flaky (b) mass in a crack and nontronite and illite fine-flaky crust (c) on the surface of diamond aggregates

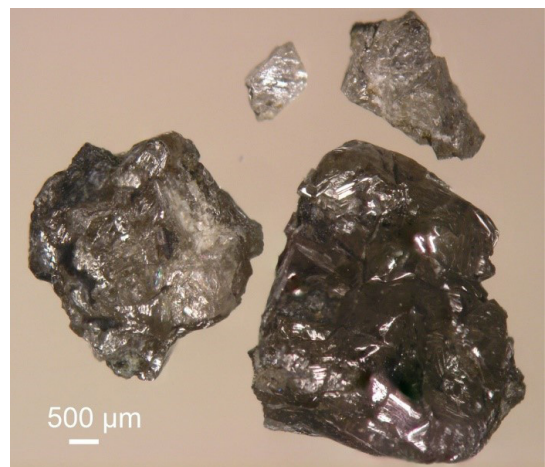


Силикатные минералы светлого цвета, на поверхности остальных алмазных агрегатов, представлены мелкочешуйчатыми, спутанными массами иллита и нонтронита (табл. 1), формирующими тонкие корочки, толщиной менее 20 µm (рис. 2). Так же, как и шамозит, минералы приурочены к отрицательным формам рельефа и выполняют трещины. Поверхность корочки неровная, местами сглаженная, видно чешуйчатое строение.

После изучения образцов неразрушающими методами, кристалл 8001 был расколот с целью дальнейшего детального исследования минеральных образований методами рентгенографического анализа и КР спектроскопии (рис. 3).

Рис. 3. Расколотый поликристаллический агрегат алмаза 8001

Fig. 3. Crushed polycrystal diamond aggregate 8001



Методом Рамановской спектроскопии изучена поверхность темных минеральных фаз в трещинах и углублениях кристаллов алмаза VII разновидности. Полученные данные показывают сложный полиминеральный состав. Доминирующую фазу составляют минералы группы слоистых силикатов (шамозит? нонтронит?). В незначительном количестве присутствуют примеси фосфатов. На рис. 4 показан КР спектр, характерный для апатита с дополнительными полосами неупорядоченного графита и гидрата с частотой валентных О-Н колебаний при 3277 см^{-1} .

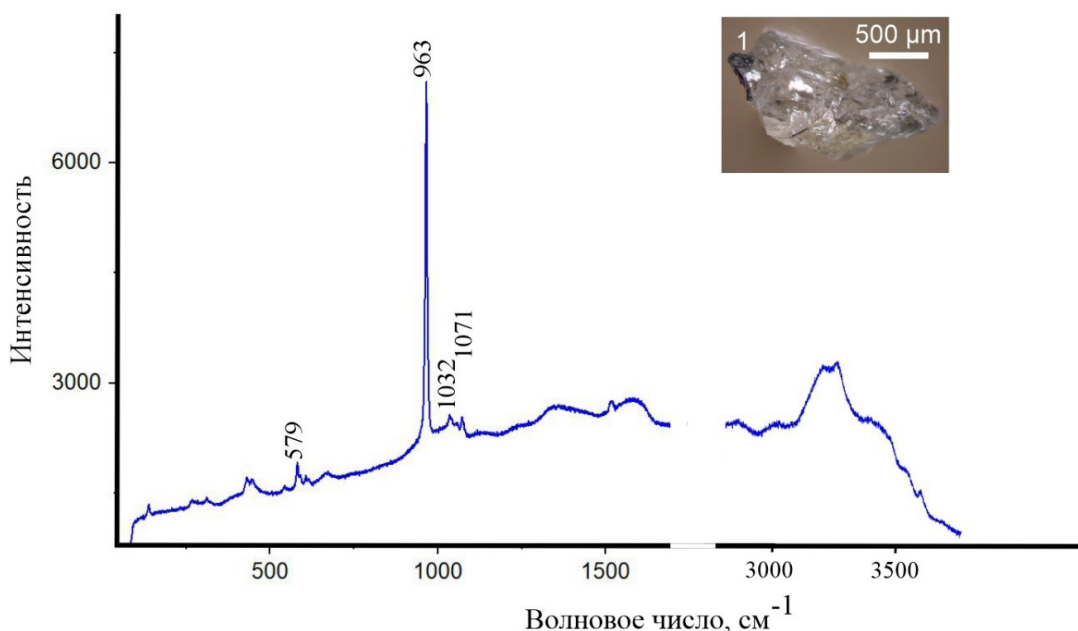


Рис. 4. КР спектр, полученный от поверхности черной минеральной фазы

Fig. 4. Raman spectrum of the black mineral phase

Характеристические полосы КР-спектра ($199, 276, 387, 545, 664, 3565, 3624\text{ см}^{-1}$) вроска, диагностированного по химическому составу как шамозит, позволяют отнести основную фазу к шамозиту (рис. 5). Присутствие дополнительных полос свидетельствует о полифазном составе образца: примеси силиката (1026 см^{-1}) и неупорядоченного графита (1601 см^{-1}). Полосами неупорядоченного графита можно пренебречь, так как алмазы были покрыты углеродной пленкой.

Для проведения рентгенофазового исследования из вроска шамозита был приготовлен образец с линейными размерами не более 80 мкм . Дифрактограмма образца соответствует минералу из группы хлорита (шамозит?) (рис. 6). Достоверно определить минерал затруднительно, т.к. отсутствует малоугловая область $4\text{--}10^\circ 2\theta$ ($d\ 17\text{--}8\text{ \AA}$).

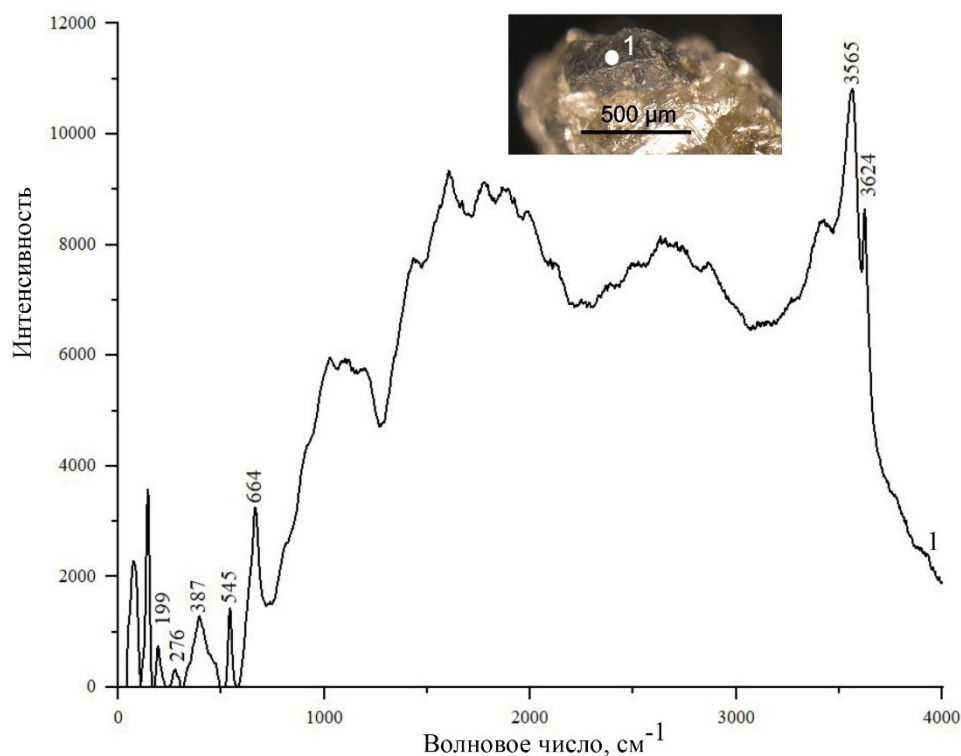


Рис. 5. КР спектр вроска шамозита

Fig. 5. Chamosite ingrowth Raman spectrum

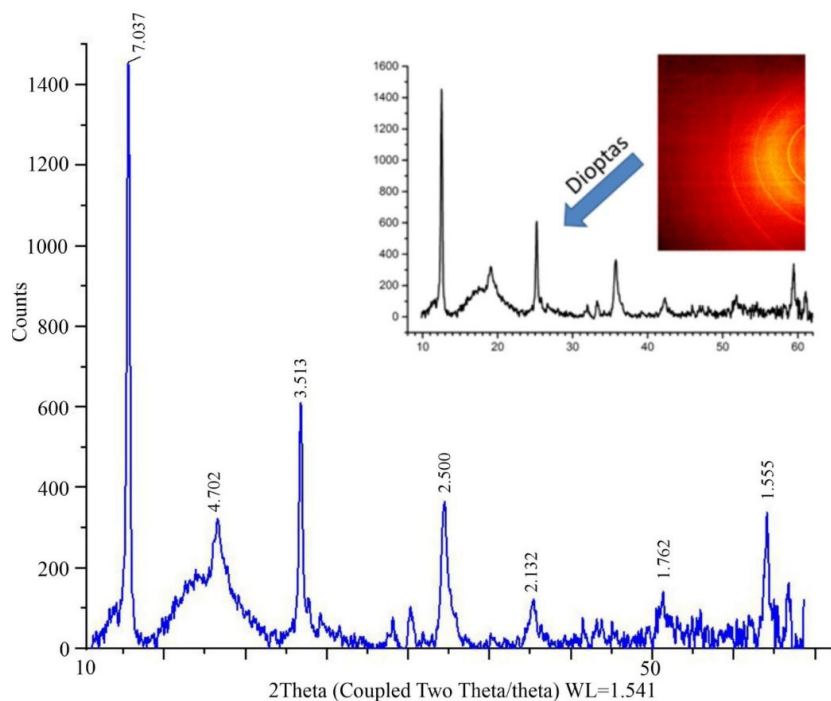


Рис. 6. Дифрактограмма изученного образца. На вставке показан переход от исходной рентгенограммы к стандартному виду $I/(2\theta)$ с помощью программы Dioptas

Fig. 6. Diffractogram of the studied sample. The insert shows the transition from the original X-ray diffraction pattern to the standard form $I/(2\theta)$ using the Dioptas program

Обсуждение результатов и выводы

На основе исследования методами электронной микроскопии на поверхности исследованных поликристаллических агрегатов алмаза из карнийских отложений Булкурской антиклинали установлены следующие минеральные фазы: хлорит (предположительно шамозит), иллит и нонтронит. При дальнейшем изучении вроска в алмазе 8001 методами рентгенографического анализа и Рамановской спектроскопии получены подтверждающие результаты: основные полосы КР спектра вроска относятся к шамозиту, дифрактограммы соответствуют минералу из семейства хлоритов. Поверхностные фазы семейства хлоритов и гидрослюд привязаны к отрицательным формам рельефа, проникают в трещины и образуют тонкую корочку. Эти минералы характерны для алмазов участка Булкур. Так, выделения шамозита были обнаружены в углублениях с кварцем и пиритом, в трещинах и в виде тонкой корочки на поверхности кубоида алмаза III разновидности [18]. Также на кристаллах алмаза I, III, V и VII разновидностей из карнийских отложений были обнаружены аналогичные силикаты, а также гранат и жадеит (с кварцем) и дополнительные минеральные фазы как сульфиды, галогениды, оксиды, кислородные соли и самородные соединения [3]. К сравнению, на кристалле алмаза V разновидности из россыпного месторождения Холмолоох идентифицированы только полевые шпаты, самородные соединения и оксиды – рутил, ильменит, титаномагнетит и циркон [19]. На алмазах россыпи Эбелях силикатные пленки обладают менее железистым составом, чем на кристаллах участка Булкур [20]. Согласно [10, 21] минералы семейства хлоритов и гидрослюд широко распространены в карнийских отложениях Булкурской антиклинали. Различные туфы, туффиты, метатуфы, туфопесчаники и т.д., состоят из измененного вулканокластического материала, вулканического стекла, лапиллей (тоже сложенные смесью септешамозитов и септехлоритов), сцементированных криптокристаллическим агрегатом из смеси септехлоритов, септешамозитов и различных гидрослюдов, что и отражается на поверхности кристаллов алмаза. Формирование вторичных силикатов связано с гидротермальными процессами в морской воде. Иллит также образуется в зонах гидротермальных изменений, может быть продуктом низкотемпературных гидротермальных процессов при гидратации слюдов. Наличие данного комплекса минералов на алмазах свидетельствует о том, что кристаллы находились в зоне активного низкотемпературного флюидного режима, в ходе которого происходила гидратация первичных минералов с возможным переходом железистых хлоритов в глинистые фазы по мере остывания системы [3].

Кроме силикатных минералов методом КР спектроскопии на поверхности алмаза VII разновидности идентифицирован апатит (рис. 4). Микровключения апатита описаны в волокнистых кубоидах алмаза (тр. Удачная, россыпи Бразилии) и алмазах в оболочке. Наличие апатита в этих алмазах связывают с их кристаллизацией из карбонатитовых расплавов [22, 23]. В нашем случае, основываясь только на данных КР спектроскопии, нельзя утверждать о происхождении кристалла. Наиболее вероятно, что образование апатита в межзерновом пространстве агрегата алмаза произошло в стадии гипергенеза первичных пород до гидротермальных изменений в условиях морского мелководья [24].

Исследованная ассоциация минеральных фаз на поверхности поликристаллов алмаза соответствует ранее изученным алмазам I, III, V и VII разновидности из карнийских отложений северо-востока Сибирской платформы [3, 18]. Они представляют комплекс минеральных парагенетических ассоциаций, отражающих этапы низкотемпературного гидротермального диагенеза вулканогенно-осадочных пород в условиях морского режима. Хорошая сохранность силикатной корочки на поверхности алмазов, наличие в отложениях мелких и крупных кристаллов, индикаторных минералов кимберлитов, келифитовых кайм на поверхности пиропов указывает на минимальный перенос материала [10].

Литература

1. Граханов С.А., Проскурнин В.Ф., Петров О.В., Соболев Н.В. Алмазоносные туфогенно-осадочные породы триаса Арктической зоны Сибири. *Геология и геофизика*. 2022;63(4):550-578.
2. Зинчук Н.Н., Коптиль В.И. Типоморфизм алмазов Сибирской платформы. М.: ООО Недра-Бизнесцентр; 2003. 603 с.
3. Павлушин А.Д., Граханов С.А., Смелов А.П. Парагенетические ассоциации минералов на поверхности кристаллов алмаза из отложений карнийского яруса северо-востока Сибирской платформы. *Отечественная геология*. 2010;(5):45-51.
4. Молотков А.Е., Павлушин А.Д., Смелов А.П., Граханов С.А., Олейников О.Б. Дефектно-примесный состав кристаллов алмаза из отложений карнийского яруса северо-востока Сибирской платформы. *Отечественная геология*. 2014;(5):74-79.
5. Граханов С.А., Молотков А.Е., Олейников О.Б., Павлушин А.Д. Типоморфизм и изотопия алмазов триасовых туффигов Булкурской антиклинали. *Отечественная геология*. 2015;(5):16-21.
6. Afanasiev V.P., Pokhilenko N.P. Approaches to the diamond potential of the Siberian craton: A new paradigm. *Ore Geology Reviews*. 2022;147:104980. <https://doi.org/...>
7. Логвинова А.М., Угапова С.С., Николенко Е.И., Серебрянников А.О., Афанасьев В.П. Полигенность алмазов из отложений карнийского яруса Булкурской антиклинали северо-востока Сибирской платформы. *Записки Горного института*. 2025;276(2):3-17.
8. Афанасьев В.П., Лобанов С.С., Похиленко Н.П., Коптиль В.И., Митюхин С.И., Герасимчук А.В., Помазанский Б.С., Горев Н.И. Полигенез алмазов Сибирской платформы. *Геология и геофизика*. 2011;52(3):335-353.
9. Летникова Е.Ф., Лобанов С.С., Похиленко Н.П., Изох А.Э., Николенко Е.И. Источники поступления обломочного материала в карнийский алмазоносный горизонт северо-востока Сибирской платформы. *Доклады академии наук*. 2013;451(2):193-196.
10. Граханов С.А., Смелов А.П., Егоров К.Н., Голубев Ю.К. Осадочно-вулканогенная природа основания карнийского яруса – источника алмазов северо-востока Сибирской платформы. *Отечественная геология*. 2010;(5):3-12.
11. Реутский В.Н., Зедгенизов Д.А., Рагозин А.Л., Калинина В.В., Земнухов А.Л. Возраст округлых алмазов из россыпей северо-востока Сибирской платформы. *Геология и геофизика*. 2026. <https://doi.org/10.15372/GiG2025202>
12. Bruker AXS Inc. APEX3 V.2019.1-0, SAINT V.8.40A and SADABS-V.2016/2. Madison, Wisconsin, USA: Bruker Advanced X-ray Solutions; 2019.
13. Small J.A., Choquetti S.J. Standard Reference Material 674b. Certificate. Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology; 2017. 7 p.
14. Prescher C., Prakapenka V.B. DIOPTAS: a program for reduction of two-dimensional X-ray diffraction data and data exploration. *High Pressure Research*. 2015;35(3):223-230.
15. Орлов Ю.Л. Минералогия алмаза. М.: Наука; 1973. 224 с.
16. Бокій Г.Б., Безруков Г.Н., Ключев Ю.А., и др. Природные и синтетические алмазы. М.: Наука; 1986. 220 с.
17. Рагозин А.Л., Шацкий В.С., Зедгенизов Д.А. Новые данные о составе среды кристаллизации алмазов V разновидности из россыпей северо-востока Сибирской платформы. *Доклады Академии наук*. 2009;425(4):527-531.
18. Pavlushin A.D., Ugapeva S.S., Biller A.Y., Oleinikov O.B. Genetic features of variety III cuboid diamonds from placers of the northeastern Siberian Platform. *Minerals*. 2025;15(12):1321. <https://doi.org/...>
19. Олейников О.Б., Павлушин А.Д., Попов А.В. Постгенетические минералы и микростекла кристалла алмаза V разновидности из россыпного месторождения Холомолах и их генезис. *Отечественная геология*. 2007;(5):77-83.
20. Олейников О.Б., Барашков Ю.П. Особенности химического состава силикатных пленок на кристаллах алмаза из россыпного месторождения Эбелях и их генезис. *Отечественная геология*. 2005;(5):42-47.
21. Проскурнин В.Ф., Виноградова Н.П., Гавриш А.В., Наумов М.В. Признаки эксплозивно-обломочного генезиса алмазоносного карнийского горизонта Усть-Оленекского района. *Геология и геофизика*. 2012;53(6):698-711.

22. Zedgenizov D.A., Kagi H., Shatsky V.S., Sobolev N.V. Carbonatitic melts in cuboid diamonds from Udachnaya kimberlite pipe (Yakutia): evidence from vibrational spectroscopy. *Mineralogical Magazine*. 2004;68(1):61-73.

23. Ширяев А.А., Израэли Е.С., Хайри Э.Г., Захарченко О.Д., Навон О. Химические, оптические и изотопные особенности волокнистых алмазов из Бразилии. *Геология и геофизика*. 2005;46(12):1207-1222.

24. Шамшина Э.А. Минералы кимберлитовых пород в разновозрастных отложениях севера Сибирской платформы. Якутск: ЯФ СО АН СССР; 1986. 112 с.

References

1. Grakhanov S.A., Proskurnin V.F., Petrov O.V., Sobolev N.V. Diamond-bearing tuffaceous-sedimentary rocks of the Triassic of the Arctic zone of Siberia. *Geology and Geophysics*. 2022;63(4):550–578 (in Russian).

2. Zinchuk N.N., Koptil V.I. *Typomorphism of diamonds of the Siberian Platform*. Moscow: Nedra-Business Center LLC; 2003. 603 p. (in Russian).

3. Pavlushin A.D., Grakhanov S.A., Smelov A.P. Paragenetic associations of minerals on the surface of diamond crystals from the Carnian stage deposits of the northeastern Siberian Platform. *Russian Geology*. 2010;(5):45–51 (in Russian).

4. Molotkov A.E., Pavlushin A.D., Smelov A.P., et al. Defect-impurity composition of diamond crystals from Carnian deposits of the northeastern Siberian Platform. *Russian Geology*. 2014;(5):74–79 (in Russian).

5. Grakhanov S.A., Molotkov A.E., Oleinikov O.B., Pavlushin A.D. Typomorphism and isotopy of diamonds from Triassic tuffites of the Bulkur Anticline. *Russian Geology*. 2015;(5):16–21 (in Russian).

6. Afanasiev V.P., Pokhilenko N.P. Approaches to the diamond potential of the Siberian craton: A new paradigm. *Ore Geology Reviews*. 2022;147:104980. <https://doi.org/...>

7. Logvinova A.M., Ugayeva S.S., Nikolenko E.I., et al. Polygeneity of diamonds from the Carnian stage deposits of the Bulkur Anticline of the northeastern Siberian Platform. *Journal of Mining Institute*. 2025;276(2):3–17 (in Russian).

8. Afanasiev V.P., Lobanov S.S., Pokhilenko N.P., et al. Polygenesis of diamonds in the Siberian Platform. *Geology and Geophysics*. 2011;52(3):335–353 (in Russian).

9. Letnikova E.F., Lobanov S.S., Pokhilenko N.P., et al. Sources of detrital material in the Carnian diamond-bearing horizon of the northeastern Siberian Platform. *Doklady of the Russian Academy of Sciences*. 2013;451(2):193–196 (in Russian).

10. Grakhanov S.A., Smelov A.P., Egorov K.N., Golubev Yu.K. Sedimentary-volcanic nature of the base of the Carnian stage – the source of diamonds in the north-east of the Siberian Platform. *Russian Geology*. 2010;(5):3–12. (in Russian).

11. Reutsky V.N., Zedgenizov D.A., Ragozin A.L., et al. Age of rounded diamonds from placers in the northeast of the Siberian Platform. *Geology and Geophysics*. 2026. <https://doi.org/10.15372/GiG2025202> (in Russian).

12. Bruker AXS Inc. *APEX3 V.2019.1-0, SAINT V.8.40A and SADABS-V.2016/2*. Madison, Wisconsin, USA: Bruker Advanced X-ray Solutions; 2019.

13. Small J.A., Choquetti S.J. *Standard Reference Material 674b. Certificate*. Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology; 2017:7.

14. Prescher C., Prakapenka V.B. DIOPTAS: a program for reduction of two-dimensional X-ray diffraction data and data exploration. *High Pressure Research*. 2015;35(3):223–230.

15. Orlov Yu.L. *Diamond mineralogy*. Moscow: Nauka; 1973:224 (in Russian).

16. Boki G.B., Bezrukov G.N., Klyuev Yu.A., et al. *Natural and synthetic diamonds*. Moscow: Nauka; 1986:220 (in Russian).

17. Ragozin A.L., Shatsky V.S., Zedgenizov D.A. New data on the composition of the crystallization environment of diamonds of variety V from placers of the north-east of the Siberian Platform. *Doklady of the Russian Academy of Sciences*. 2009;425(4):527–531 (in Russian).

18. Pavlushin A.D., Ugayeva S.S., Biller A.Y., Oleinikov O.B. Genetic features of variety III cuboid diamonds from placers of the northeastern Siberian Platform. *Minerals*. 2025;15(12):1321. <https://doi.org/...>

19. Oleynikov O.B., Pavlushin A.D., Popov A.V. Postgenetic minerals and microglasses of diamond crystal of variety V from the Kholomolokh placer deposit and their genesis. *Russian Geology*. 2007;(5):77–83 (in Russian).

20. Oleynikov O.B., Barashkov Yu.P. Features of the chemical composition of silicate films on diamond crystals from the Ebelyakh placer deposit and their genesis. *Russian Geology*. 2005;(5):42–47 (in Russian).

21. Proskurnin V.F., Vinogradova N.P., Gavrish A.V., Naumov M.V. Signs of explosive-clastic genesis of the diamond-bearing Carnian horizon of the Ust-Olenek region. *Geology and Geophysics*. 2012;53(6):698–711 (in Russian).

22. Zedgenizov D.A., Kagi H., Shatsky V.S., Sobolev N.V. Carbonatitic melts in cuboid diamonds from Udachnaya kimberlite pipe (Yakutia): evidence from vibrational spectroscopy. *Mineralogical Magazine*. 2004;68(1):61–73.

23. Shiryayev A.A., Izraeli E.S., Khairi E.G., et al. Chemical, optical and isotopic features of fibrous diamonds from Brazil. *Geology and Geophysics*. 2005;46(12):1207–1222 (in Russian).

24. Shamshina E.A. *Minerals of kimberlite rocks in sediments of different ages in the northern Siberian Platform*. Yakutsk: Yakutsk Branch of the USSR Academy of Sciences; 1986:112 (in Russian).

Сведения об авторах

ОЩЕПКОВА Мария Геннадиевна – младший научный сотрудник, Институт геологии алмазов и благородных металлов СО РАН, Scopus ID: 58627916500, ORCID 0000-0002-2777-0449, SPIN-код: 2649-5300

УГАПЬЕВА Саргылана Семеновна – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, Институт геологии алмазов и благородных металлов СО РАН, Scopus ID: 57190070067, ORCID 0000-0002-3999-0270, SPIN-код: 7211-0290

ПАВЛУШИН Антон Дмитриевич – кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, Институт геологии алмазов и благородных металлов СО РАН, Scopus ID: 8950107200, ORCID 0000-0001-7991-1947, SPIN-код: 7520-4908

ГОРЯЙНОВ Сергей Владимирович – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Scopus ID: 55927004900

ГРОМИЛОВ Сергей Александрович – доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией, Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Scopus ID: 7005166133

ОЛЕЙНИКОВ Олег Борисович – кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, Институт геологии алмазов и благородных металлов СО РАН, Scopus ID: 8953279700, ORCID 0000-0003-1010-7592, SPIN-код: 1692-8581

About the authors

Mariya G. OSHCHEPKOVA – Junior researcher, Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, Scopus ID: 58627916500, ORCID 0000-0002-2777-0449, SPIN-code: 2649-5300

Sargylana S. UGAPEVA – Cand. Sci. (Geology and Mineralogy), Senior researcher, Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, Scopus ID: 57190070067, ORCID 0000-0002-3999-0270, SPIN-code: 7211-0290

Anton D. PAVLUSHIN – Cand. Sci. (Geology and Mineralogy), Lead researcher, Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, Scopus ID: 8950107200, ORCID 0000-0001-7991-1947, SPIN-code: 7520-4908

Sergey V. GORYAINOV – Cand. Sci. (Mathematics and Physics), Senior researcher, V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Scopus ID: 55927004900

Sergey A. GROMILOV – Dr. Sci. (Mathematics and Physics), Head of the Lab, Nikolaev Institute of Inorganic Chemistry SB RAS, Scopus ID: 7005166133

Oleg B. OLEINIKOV – Cand. Sci. (Geology and Mineralogy), Lead researcher, Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, Scopus ID: 8953279700, ORCID 0000-0003-1010-7592, SPIN-code: 1692-8581

Вклад авторов

Ощепкова М.Г. – концепция исследования, проведение исследований, обработка материала, литературный обзор, выводы

Угапьева С.С. – концепция исследования, проведение исследований, обработка материала, графическое оформление, литературный обзор, выводы

Павлушин А.Д. – проведение исследований, обработка материала

Олейников О.Б. – сбор данных, обработка материала

Горяйнов С.В. – проведение исследований, обработка материала

Громилов С.А. – проведение исследований, обработка материала

Authors contribution

Mariya G. Oshchepkova – research concept, research implementation, data processing, literature review, conclusions

Sargylana S. Ugapeva – research concept, research implementation, data processing, graphic design, literature review, conclusions

Anton D. Pavlushin – research implementation, data processing

Oleg B. Oleinikov – data collection, data processing

Sergey V. Goryainov – research implementation, data processing

Sergey A. Gromilov – research implementation, data processing

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Корреспондент имеет право и полномочия выступать от имени всех авторов по этому исследованию.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interest. The corresponding author has the right and authority to speak on behalf of all authors in this study

Поступила в редакцию / Submitted 28.04.2026

Поступила после рецензирования / Revised 19.05.2026

Принята к публикации / Accepted 22.06.2026