

<https://doi.org/10.15407/mineraljournal.44.01.032>
УДК 549.211

В.М. Квасниця, д-р геол.-мін. наук, проф., зав. від.
Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України
03142, м. Київ, Україна, пр-т Акад. Палладіна, 34
E-mail: vmkvas@hotmail.com; <http://orcid.org/0000-0002-3692-7153>

РОЗМІР І ФОРМА КРИСТАЛІВ ДІАМАНТУ РІЗНОГО ПОХОДЖЕННЯ

Проаналізовано розмір і форму кристалів діаманту різного походження. Діаманти розміром $\leq 0,5$ мм віднесено до мікрокристалів. Діамант в метеоритах представлений різними за розмірами не обмеженими кристалами, тільки в залізному метеориті Canyon Diablo виявлено його кубічні мікрокристали не зовсім з'ясованого кристалогенезису. Метеоритні нано-мікро- і макрокристали діаманту є агрегатними утвореннями. Виділення діаманту в метеоритах не можуть бути обмеженими через занадто малий розмір його кристалів у хондритах і через його твердофазове утворення з дуже тонкозернистого діаманту і графіту в уреїлітах та октаедритах. Розмір і форма кристалів діаманту в імпактітах метеоритних кратерів обумовлена параметрами вихідного вуглецевого матеріалу. Твердофазова трансформація кристалів графіту чи іншої вуглецевої речовини (вугілля, рештки рослин) у діамант у метеоритних структурах також не дає змогу його виділенням набутти обмеження. Водночас у разі імпактічних явищ на поверхнях (0001) апографітових діамантів наростають багатогранники нано-мікродіамантів з газової фази. Ці кристали є часто автоепітаксійними утвореннями, оскільки закономірно орієнтовані на лонсдейліт-діамантній матриці. Діаманти з метаморфічних порід, офіолітів і сучасних вулканітів представлені обмеженими мікрокристалами. Широкий діапазон розмірів (від 0,1 мм до 10 см) властивий обмеженим кристалам діаманту з кімберлітів, лампроїтів і лампрофірів. Кристали діаманту з різних мантійних порід набувають багатогранної форми, коли їхні зародки досягають певних розмірів. У цих породах найімовірніша поява багатогранників діаманту розміром понад 40—50 нм. Октаедрична форма росту є наскрізною і панівною на кристалах природного діаманту різного розміру та походження.

Ключові слова: діамант, геолого-генетичні типи діаманту, нано-мікро- і макрокристали, розмір кристалів, форма кристалів.

Вступ. У світі мінералів для кристалів кожного мінерального виду існують свої розмірні величини: серед них поширені як нано-мікрокристали, так і макрокристали. Для одного мінералу відмінність між найменшими і найбільшими кристалами сягає метра, а інколи декількох метрів (наприклад, для кварцу з камерних пегматитів чи для гіпс-селеніту з деяких печер), для іншого мінералу вона мало помітна — у межах мікронів, міліметрів і сантиметрів. Для природного діаманту ці розмірні параметри також не вра-

жаючі і помірно контрастні: від нано-мікронних кристалів до моно- і полікристалічних утворень діаметром в 5—10 см. Постає питання: а що таке макрокристали чи кристали-гіганти для кожного мінерального виду і зокрема для діаманту? Чи є межа росту природного кристала і що впливає на розмір кристала, щоб із мікрокристала виріс кристал-гігант? У цьому питанні ще не все з'ясовано. За однією версією припускається теоретична можливість розмірно необмеженого росту кристала, за іншою версією під

Цитування: Квасниця В.М. Розмір і форма кристалів діаманту різного походження. *Мінерал. журн.* 2022. 44, № 1. С. 32—40. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.44.01.032>

час досягнення певного розміру подальше нагромадження дефектів у кристалі припиняє його ріст.

Згідно з [6], на загал для мінералів гідротермального генезису досить великими можна вважати ті мінеральні індивіди, розмір яких у 5—10 разів більші середніх величин кристалів певного мінералу в породах і рудах одного типу. Коли перевищення середніх величин кристалів досягає 100 і понад разів, то такі індивіди попадають в категорію гігантів. А головні причини росту великих кристалів гідротермальних мінералів криються в їхній кристалізації у вузькій метастабільній області існування мінералоутворювальної системи — у термостатованій або плавно змінній обстановці за малого ступеня пересичення розчинів.

Нано-мікро- чи макрокристал кожного мінералу набуває певної форми (багатогранник, закономірний чи незакономірний зросток, ксеноморфне утворення тощо). Звідси також постає питання про форму кристалів різного розміру того чи іншого мінералу. Якій формі віддають перевагу нано-мікро- і макрокристали мінералу та чим вона зумовлена? Відповідь на це питання ще не розкрито для багатьох мінералів.

Метою цієї публікації є критичний розгляд розміру і багатогранної форми кристалів природного діаманту, щоб з'ясувати, чи існує зв'язок між розміром і формою кристала діаманту, в яких породах поширені ті чи інші за розміром і формою його кристали, коли власне наступає його огранення та яка панівна ростова і габітусна форма нано-мікро- і макрокристалів діаманту.

Діамант в природі. Діамант — мінерал полігенний. Це мінерал різних мантійних, регіонально і ударно-метаморфічних порід [18, 19], метеоритів і Космосу [2, 12]. Рідкісні нанокристали діаманту зафіксовано в зовсім незвичайних як для такого мінералу земних місцях. Наприклад, згідно з [24], на підставі геологічних, мінералогічних, геохімічних і експериментальних даних доцільно розрізняти чотири основні групи природних діамантів, які мають свої специфічні характеристики. Перша група включає міжзоряний нанодіамант, формування якого пов'язане з так званими діамантоїдами в космічних

об'єктах. До другої групи належать земні нано- і мікродіаманти, утворення яких корелюється з вугіллям, осадовими і метаморфічними породами. Окрім добре вивчених діамантів із метаморфічних порід нині немає вичерпних досліджень діамантів з інших проявів цієї групи та ґрунтовних підтверджень достовірності їх знахідок. Третю групу складають нано- і мікродіаманти, споріднені з вторинними (гідротермальними) змінами і реакціями заміщення в основних і ультраосновних породах. Діаманти цієї групи є також недостатньо вивченими, мінералогічні дані про ці рідкісні діаманти скупи і викликають певні сумніви щодо їхньої істинності. До четвертої групи віднесено добре відомі мікро- і макродіаманти, які винесені з мантійних глибин в земну кору розплавами різних порід (насамперед, кімберлітами, лампроїтами і лампрофірами).

У табл. 1 наведено характеристику розміру і форми найвивченіших діамантів із різних генетичних типів діамантовмісних порід. Серед усіх відомих представників цього мінералу головне місце займає мантійний діамант, особливо з кімберлітів, лампроїтів і лампрофірів. Цей діамант трапляється переважно у багатогранній формі та росте в карбонатно-силікатних флюїдах-розплавах на мантійних глибинах. Саме великі кристали цього діаманту ювелірної якості становлять найбільший економічний інтерес.

Розмір кристалів діаманту. Нині немає обґрунтовано розробленої класифікації кристалів діаманту за розмірами. Відповідно до однієї з класифікацій [11], діамантоїдні молекули ($C_{10}H_{16}$, $C_{14}H_{20}$, $C_{18}H_{24}$ тощо) не перевищують розміру в 1 нм, більші діамантоїди — від 1 нм, штучні CVD діаманти — від 2 нм до 1 мкм, а далі — макродіаманти. Дослідники мантійних діамантів часто розрізняють їхні мікро- і макрокристали. Проте нині також немає загальноприйнятого визначення розмірної межі між мікро- і макродіамантами, наприклад з кімберлітів, лампроїтів і лампрофірів. У роботі [23] пограничний розмір між мікро- і макродіамантом з цих порід визначено в 1 мм, частина авторів [10, 13, 16] прийняли цю умовну границю як 0,5 мм. Підстави для таких граничних меж як слід не вивчені. Проте вважають, що кристали гра-

Таблиця 1. Розмір і форма кристалів діаманту різного походження

Table 1. The size and shape of diamond crystals of different origin

Джерело діаманту	Розмір кристалів (кристалітів)	Габітусна форма кристалів	Спосіб росту кристалів
Хондрити	Кристаліти — від 0,4 до 6,8 нм, середній розмір 2,6 нм	Ксеноформи	Кристалізація з газу
Уреїліти	Агрегати до 1 мм; розмір фрагментів агрегатів становлять мікрометри; кристаліти діаманту — до 50 нм; кристаліти лонсдейліту — 10—30 нм	Ксеноформи	Перекристалізація, твердофазова трансформация
Октаедрити	Агрегати до 1 мм, рідко до 5 мм; розмір одних фрагментів агрегатів до 20 нм, інших ~0,5 мкм; кристаліти діаманту — 9—10 нм; кристаліти лонсдейліту — 5 нм і 10 нм	Ксеноформи; також куби розміром до міліметра у метеориті <i>Canyon Diablo</i> як псевдоморфози по кліфтоніту?	Перекристалізація, твердофазова трансформация
Імпактити	0,1—0,5 мм, рідко до 2 см; кристаліти: діаманту — 10 нм — 1 мкм і лонсдейліту — 10—100 нм	Пінакоїдальні кристали, параморфози	Перекристалізація, твердофазова трансформация
Імпактити — нарости на діамантних апографітових параморфозах	Від 40—50 нм до 1 мкм; глобули — до 30—40 нм	Октаедри, кубо-октаедри, куби	Кристалізація з газу і дифузійна кристалізація з флюїду-розплаву
Глинистий прошарок на межі крейда-палеоген (К-Т-прошарок)	6 нм — 1 мкм; зростки до 30 мкм	Ксеноформи	Кристалізація з газу
Метаморфічні породи	До 0,5 мм, часто менше 50 мкм	Октаедри, куби, ромбододекаедри та їхні комбінаційні форми	Дифузійна кристалізація з флюїду-розплаву
Сучасні вулканіти ¹	До 0,5 мм	Октаедри, кубо-октаедри	Дифузійна кристалізація з флюїду-розплаву?
Офіоліти (хромітити, перидотити) ²	До 0,5 мм	Октаедри, кубо-октаедри	Дифузійна кристалізація з флюїду-розплаву?
Кімберліти, лампроїти, лампрофіри	Від 0,075 мм до 10 см	Октаедри, куби, ромбододекаедри та їхні комбінаційні форми	Дифузійна кристалізація з флюїду-розплаву
HPHT (<i>High Pressure, High Temperature</i>) синтез	Від 0,1 мм до декількох сантиметрів	Октаедри, куби, ромбододекаедри, тетрагон-триоктаедри та їхні комбінаційні форми	Дифузійна кристалізація з розплаву
CVD (<i>Chemical Vapour Deposition</i>) синтез	Від 1 мкм до 200—300 мкм; багатогранники-нарости понад 50—300 нм	Октаедри, кубо-октаедри	Кристалізація з газу

П р и м і т к а. Нанометрові кристали — до 1 мкм, мікронні кристали — до 1 мм. В табл. 1 враховано дані публікацій [1—4, 9, 12, 13, 15, 17, 20—22, 25]. ¹ Чимало дослідників природного діаманту дотримуються іншої думки стосовно походження кристалів цього мінералу з офіолітів і продуктів виверження сучасних вулканів. Наприклад, автори статті [7] вважають, що знайдені діаманти в цих породах є продуктом засмічення відібраних проб кристалами штучного HPHT діаманту. Дійсно, за низкою визначальних ознак (переважно кубо-октаедричний габітус кристалів, частий розвиток на них граней тетрагон-триоктаедра {311} і ромбододекаедра, тільки плоска і гладка поверхня граней всіх вказаних форм, анатомія кристалів із секторами пошарового росту граней октаедра і куба, вміст домішок перехідних металів Mn, Fe, Ni й Co, відносно малий вміст домішок азоту та його низький агрегатний стан, належність кристалів до типу Ib фізичної класифікації тощо) ці діаманти майже ідентичні штучним HPHT кристалам. ² Те саме.

N o t e. Nanometer crystals — up to 1 μm, micron crystals — up to 1 mm. The Table 1 shows the data of publications [1—4, 9, 12, 13, 15, 17, 20—22 and 25]. ¹ Many researchers have a different opinion about the origin of diamond crystals from ophiolites and products of eruptions from modern volcanoes. For example, the authors of [7] believe that diamonds found in these rocks are the product of anthropogenic contamination by synthetic HPHT diamond crystals. So these diamonds cannot be accepted as correct in situ findings. Indeed, according to a number of defining features (mainly cubo-octahedral habit of crystals, frequent development of trapezohedron {311} and rhombic dodecahedron faces on them, only flat and smooth surface of faces of all these crystalline forms, anatomy of crystals with layered growth sectors of octahedron and cube, impurities of Mn, Fe, Ni and Co transition metals, relatively low content of nitrogen, high concentrations of single-atom unaggregated nitrogen in the form of C-centers and low nitrogen aggregation ratio, belonging of crystals to type Ib in terms of their physical classification, etc.) these diamonds are almost identical to synthetic HPHT crystals. ² The same.

нулометричного класу ≤ 1 мм чи $\leq 0,5$ мм з корінних порід переважно є октаедрами без ознак розчинення, мають певний ізотопний та домішковий склад (відносно низький вміст і невисокий агрегатний стан домішок азоту), належать до останньої стадії кристалізації мінералу в мантійному середовищі і ростуть безпосередньо перед попаданням в кімберлітову магму чи, навіть, в цій магмі під час її еволюції. Наприклад, до таких віднесено так звані кристали другої генерації — октаедричні мікрокристали розміром $\leq 0,5$ мм з арханельських кімберлітів у Росії і лампроїтової трубки Маджгаван (*Majhgawan*) в Індії [19]. Тобто місце кристалізації таких дрібних діамантів прогнозують інше, ніж їхніх більших кристалів, і тоді виникають деякі сумніви щодо індикаторної і пошукової ролі мікродіамантів. Однак відома і протилежна думка про те, що мікро- і макродіаманти у більшості випадків належать до єдиної популяції в межах кожного конкретного кімберлітового тіла [4, 20], тому значення мікродіамантів у геологічній практиці не може бути знецінено. Є також комерційна межа між мікро- і макродіамантами в 0,8 мм. Мінералоги часто використовують свою розмірну градацію найпоширеніших кристалів діаманту з кімберлітів, лампроїтів і лампрофірів, в мм: $-16 + 12$, $-12 + 8$, $-8 + 4$, $-4 + 2$, $-2 + 1$, $-1 + 0,5$ і $-0,5 + 0,2$. Кількісно два гранулометричні класи $-2 + 1$ і $-1 + 0,5$ мм становлять в середньому майже 95 % кристалів діаманту в більшості корінних родовищ. Діамант в них найчастіше має масу 8—10 мг. Це кристал розміром ~ 2 мм у діаметрі. Якщо сказати детальніше щодо кристалів діаманту розмірами менше 1 мм, то, наприклад, у вивчених кімберлітових тілах Якутії їхній вміст становить 70—90 % від загальної кількості видобутих кристалів (за масою — від 10 до 40 %), а вміст діамантів цього гранулометричного класу в окремих розсипах Якутії — від 5 до 50 % за кількістю і від часток відсотка до 20 % за масою від загальної маси всіх видобутих кристалів [4]. Також, виходячи насамперед з оцінки поширення, запропонована така класифікація кристалів діаманту за масою: до 0,05 карата (10 мг) — дрібні, 0,05 — 1 кар — середні, 1—5 кар — помірно великі, 5—50 кар — великі, 50—100 кар — дуже великі і понад

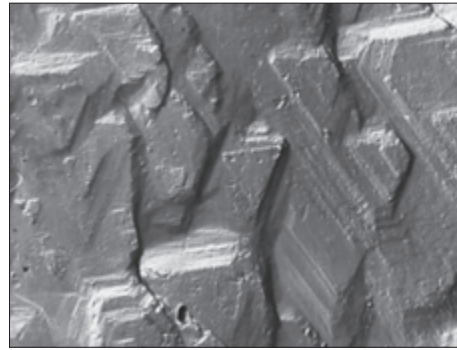


Рис. 1. Нарости нано-мікрометрових неповногранних октаедрів з гладкими гранями на діамантній матриці площини (0001) апографітового імпаکتного діаманту з метеоритного кратера Білилівка (Український щит). Прояв автоепітаксії кристалів. ТЕМ знімок, метод реплік, збільшення — 12 000

Fig. 1. Outgrowths of nano-micrometer smooth and incomplete octahedra on the diamond matrix of the (0001) plane of the apographitic impact diamond from the Bilylivka meteorite crater (the Ukrainian Shield). Manifestation of autoepitaxy of crystals. TEM image, replica method, magnification — 12 000

100 кар — кристали-гіанти. Іменують кристали діамантів вже з їхньої маси в декілька карат, особливо ювелірні кристали. Відомий комерційний поділ ювелірних кристалів діаманту за масою: дрібні — 0,29 кар, 0,3—0,99 — середні і понад 1 карат — великі. Якщо великі і дуже великі кристали діаманту в певних кімберлітових родовищах трапляються відносно часто, то кристали-гіанти є надзвичайно рідкісними. Тобто, якщо прийняти наведену вище оцінку величини кристалів згідно [6], і вважаючи, що середній розмір кристала діаманту в кімберліті становить 2 мм, то його кристали розмірами 10—20 мм вже можна вважати досить великими. Однак останні належать до відносно мало поширених кристалів у кімберлітах.

Розмір кристалів діаманту з метаморфічних порід, офіолітів і сучасних вулканітів не перевищує 0,5 мм, лише зрідка трапляються дещо більші кристали. Майже всі ці діаманти можна віднести до мікронних утворень. Для кристалів діаманту ударного походження з метеоритних кратерів їхній розмір обумовлений вихідним вуглецевим матеріалом (найчастіше кристалами графіту, зрідка розмірами шматочків вугілля чи решток рослин) — до 0,5 мм, іноді утворені параморфози сягають розміру в 2 см. Такі діаманти є полікрис-

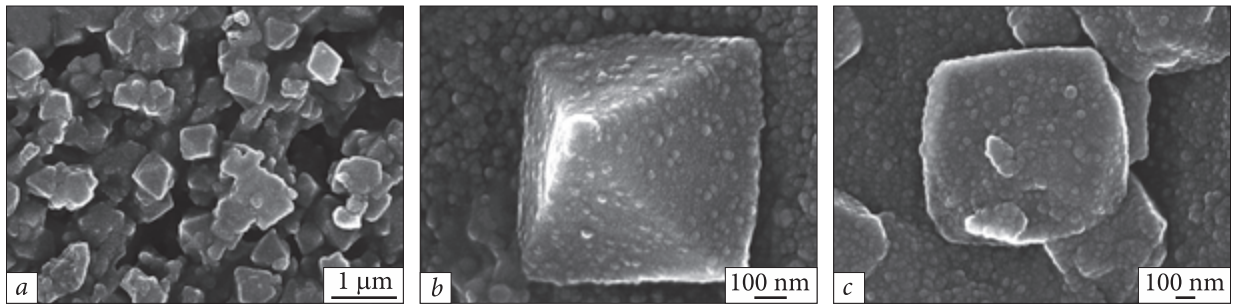


Рис. 2. Нарости nano-мікрометрових октаедрів і куба з глобулярною поверхнею граней на площині (0001) апографітового імпаکتного діаманту з метеоритного кратера Білилівка: *a* — загальний вигляд, *b* — октаедр, *c* — куб (в центрі). ПЕМ знімки (JSM 6700 F; SEI; 20,0 kV; WD 5,9 mm)

Fig. 2. Outgrowths of nano-micrometer octahedra and cube with a globular surface of faces on the (0001) plane of apographitic impact diamond from the Bilylivka meteorite crater: *a* — general view, *b* — octahedron, *c* — cube (in center). SEM images (JSM 6700 F; SEI; 20.0 kV; WD 5.9 mm)

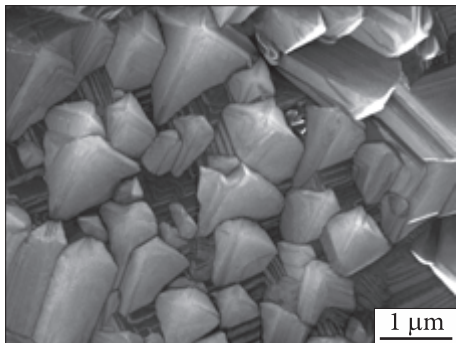


Рис. 3. Нарости nano-мікрометрових гладкогранних октаедрів на діамантній матриці площини (0001) апографітового імпаکتного діаманту з метеоритного кратера Попігай (Сибір, РФ). Прояв автоепітаксії кристалів. ПЕМ знімок (JSM 6700 F; SEI; 15,0 kV; WD 7,8 mm)

Fig. 3. Outgrowths of nano-micrometer smooth octahedra on the diamond matrix of the (0001) plane of the apographitic impact diamond from the Popigai meteorite crater (Siberia, Russia). Manifestation of autoepitaxy of crystals. SEM image (JSM 6700 F; SEI; 15.0 kV; WD 7.8 mm)

талами і часто двофазовими (діамант + лонсдейліт) чи трифазовими (діамант + лонсдейліт + графіт), розмір кристалітів діаманту не перевищує 1 мкм, лонсдейліту — 100 нм. Метеоритні діаманти з октаедритів і уреїлітів також є двофазовими (діамант + лонсдейліт) параморфозами. Розмір їхніх агрегатів до 1—5 мм, а кристалітів до 30—50 нм. Метеоритні діаманти хондритів є нанометровими ксеноморфними утвореннями, у деяких із них також виявлено лонсдейліт. У пограничному глинистому прошарку крейда-палеоген (К-Т-границя — *Cretaceous-Tertiary boundary*) знайдено нанометрові зерна діаманту.

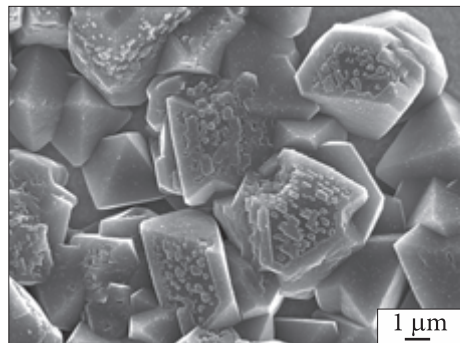


Рис. 4. Нарости нанометрових гладкогранних октаедрів і кубо-октаедрів діаманту на мікрометрових октаедрах CVD діаманту. Прояв автоепітаксії нанокристалів. ПЕМ знімок (JSM 6700F; SEI; 15,0 kV; WD 7,0 mm)

Fig. 4. Outgrowths of nanometer smooth octahedra and cube-octahedra of diamond on micrometer octahedra of CVD diamond. Manifestation of autoepitaxy of nanocrystals. SEM image (JSM 6700 F; SEI; 15.0 kV; WD 7.0 mm)

Форма кристалів діаманту. Яка ж переважна ростова і габітусна форма найменших і найбільших кристалів природного і штучного діаманту? Згідно з нашими спостереженнями, найменші багатогранники представлено nano-мікронаростами на апографітових імпактних діамантах і на октаедрах CVD діаманту (рис. 1—4). Вони мають октаедричну, кубо-октаедричну і зрідка кубічну форму кристалів, яку можна простежити починаючи з розміру в 40—50 нм. Звичайними є мікронні октаедри (1—300 мкм) серед діамантів різного походження. Часто вони є результатом кристалізації з газової фази. Ці багатогранники бувають із гладкими і глобулярними гранями октаедра і куба. Мікронні октаедри, кубо-октаедри є поширеною фор-

мою виділення в метаморфічних породах, офіолітах і сучасних вулканітах, в перших також поширені різні кубічні та комбінаційні кристали. Майже міліметрові полікристалічні куби виявлено в залізному метеориті Каньйон Дьябло (*Canyon Diablo*), Аризона, США. Щодо найбільших кристалів діаманту, то інформація про їхню кристалографічну форму порівняно обмежена, надійні статистичні дані відсутні, особливо це стосується історичних іменних діамантів, з яких виготовлено брильянти. Найбільший діамант "Кулліан" розмірами $50 \times 65 \times 100$ мм і масою 3106,75 кар був уламком октаедра?, таку ж октаедричну форму мали багато кристалів відомих іменних ювелірних діамантів. Серед них також є перехідні форми $\{111\} + \{110\}$ і додекаедроїди. Майже всі іменні діаманти з родовищ Якутії, починаючи з маси кристала орієнтовно в 15 кар, є октаедрами [5]. У підсумку можна стверджувати, що для дуже великих кристалів діаманту характерна октаедрична габітусна форма, або перехідна між октаедром і ромбододекаедром, або додекаедрична форма як результат розчинення двох попередніх. Тобто основною ростовою формою найменших і найбільших кристалів природного діаманту є октаедр. Цьому є пояснення

в прямій залежності форми росту кристала діаманту від його структури. Грані октаедра діаманту належать до одних із структурно найважливіших площин (друге місце за відносною ретикулярною щільністю сіток після площин (110)), а згідно з відомою теорією П. Хартмана про ланцюжки міцного зв'язку між атомами, грані октаедра віднесені до так званих *flat faces* (з трьома векторами міцного зв'язку в структурі), тому переважно тільки вони нашаровуються у вигляді плоских і гладких поверхонь за спіральним чи двомірним механізмом росту. Анатомічні картини кристалів діаманту з кімберлітів здебільшого демонструють октаедричні сектори росту чи комбіновані кубо-октаедричні, значно рідше — панівні кубічні і зовсім зрідка — невідрозрізні ромбододекаедричні. Зазначимо, що кубічні сектори ростуть волокнами. Центральні частини кристалів (ядра) є зональними по (111), рідше мають кубічну форму, або є зародками без чітких кристалографічних обрисів. Також вважається, що за термодинамічними розрахунками діамант має зберігати рівноважну октаедричну форму за всіх РТ параметрах в мантії Землі [8].

За даними [14], експериментально визначено критичне число атомів вуглецю у крис-

Таблиця 2. Розрахунок кількості атомів вуглецю, відстані між паралельними гранями (111) та площі грані (111) в октаедрі діаманту

Table 2. Calculation of the number of carbon atoms, the distance between the (111) parallel faces and the area of (111) face in diamond octahedron

Довжина ребра октаедра, нм	Об'єм октаедра, нм ³	Приблизна кількість атомів вуглецю в октаедрі діаманту	Відстань між паралельними гранями октаедра, нм	Площа грані (111), нм ²
0,5	0,059	10	0,408	0,108
0,7	0,162	28	0,572	0,212
1	0,471	83	0,817	0,433
2	3,771	663	1,633	1,732
3	12,728	2 238	2,450	3,897
4	30,170	5 306	3,266	6,928
5	58,925	10 361	4,083	10,826
10	471,4	82 883	8,165	43,303
20	3 771,2	663 068	16,330	173,210
50	58 925	10 360 439	40,825	1 082,563
100	471 400	82 883 512	81,650	4 330,250
150	1 590 975	279 731 864	122,475	9 743,063

П р и м і т к а. Довжина ребра елементарної комірки кристала діаманту $a = 0,357$ нм, об'єм елементарної комірки кристала діаманту $= 0,0455$ нм³, кількість атомів вуглецю в елементарній комірці 8.

N o t e. Diamond unit cell edge $a = 0.357$ nm, volume of diamond unit cell $= 0.0455$ nm³, number of carbon atoms in unit cell 8.

талічному зародку, яке необхідне для росту кристала діаманту в разі його утворення з газової фази. Виявилось, що для цього досить невеликого молекулярного кластера, що складається лише з 26 атомів цього елементу. Саме стільки атомів вуглецю потрібно для досягнення певного розміру зародку, щоб подальший його ріст як діаманту став можливим і поступово почав формуватися об'ємний кристал. У такому зародку-кластері немає жодного атома вуглецю, який можна було б віднести до об'ємної фази — всі вони розташовані досить близько до поверхні. Нами геометрично розраховано чому такий зародок ще не може мати октаедричну (псевдокубічну, створену октаедричними нашаруваннями) форму (табл. 2). Наприклад, кристал, що містить 26 атомів вуглецю міг би бути гіпотетичним октаедром з довжиною ребра приблизно в 0,7 нм. Але тоді відстань між паралельними гранями такого октаедра дорівнюватиме всього 0,572 нм, що менше суми трьох міжплощинних відстаней (0,206 нм) для сіток (111). Тому неможливо уявити такий октаедр з набором всього лише неповних трьох сіток (111), тобто товщиною в менш ніж декілька елементарних шарів кубічної ґратки. З розрахунків у табл. 2 видно, що ймовірність появи об'ємного кристала діаманту — октаедра (псевдокуба) зростає коли довжина його ребра вже 3—5 нм, а кількість атомів вуглецю — не менше 2238. Зауважимо, що приблизна кількість атомів вуглецю в гіпотетичних плоскогранних кубах діаманту певного розміру ребра, порівняно з октаедрами з такими ж розмірами ребра, буде більшою ніж у 2,1 рази, проте куби природного діаманту не ростуть шарами (100). Мабуть кристалізація волокнистого нано-куба, вірогідніша для вказаної вище довжини його ребра, оскільки для утворення такого своєрідного полікристалічного куба, складеного з волокон, блоків або глобул, не потрібно строгого впорядкування атомів вуглецю як у випадку спірального (двовірного) росту октаедра чи псевдокуба, побудованого з ок-

таедричних нашарувань. Проте дані про такі мініатюрні октаедри і куби діаманту розмірами до 40—50 нм автору не відомі.

Висновки. Виділення діаманту в метеоритах не можуть бути обмеженими через занадто малі розміри його кристалів у хондритах і через його твердофазове утворення з дуже тонкозернистого діаманту хондритів і графіту в уреїлітах та октаедритах. Твердофазова трансформація графіту чи іншої вуглецевої речовини (вугілля, рештки рослин) в діамант у метеоритних структурах також не дає змоги його виділенням набути огранення. Водночас під час імпактних явищ на поверхнях (0001) апографітових діамантів ростуть багатогранники нано-мікродіамантів з газової фази чи з розплаву. Ці кристали є часто автоепітаксійними утвореннями, оскільки закономірно орієнтовані на лонсдейліт-діамантній матриці. Діаманти з метаморфічних та різних мантійних порід набувають багатогранної форми після досягнення певних розмірів зародків — найімовірніша поява багатогранників розміром понад 40—50 нм. Цьому сприяють стабільні умови кристалізації, які за часом росту кристалів можуть бути різними — від короткотривалого періоду у ході перенасичення мінералоутворювальної системи вуглецем (наприклад, діаманти з метаморфічних порід) до довготривалого періоду в мантійних умовах з низьким ступенем пересичення вуглецем флюїдів-розплавів (діаманти з кімберлітів, лампроїтів і лампрофірів). Октаедрична форма росту здебільшого є наскрізною і панівною для кристалів природного діаманту різного розміру. Інші форми росту кристалів природного діаманту є другорядними, зокрема кубічна форма у вигляді відносно поширених кубів волокнистого росту. Всі вони свідчать про нестабільні умови кристалізації діаманту.

Автор вдячний Г.О. Кульчицькій і В.І. Павлишину за корисні зауваження і поради, які посприяли покращенню викладу матеріалу і змісту статті.

ЛІТЕРАТУРА

1. Вальтер А.А., Еременко Г.К., Квасниця В.Н., Полканов Ю.А. Ударно-метаморфогенные минералы углерода. Киев: Наук. думка, 1992. 172 с.
2. Вдовыкин Г.П. Алмазы в метеоритах. Москва: Наука, 1970. 127 с.

3. Галимов Э.М., Каминский Ф.В. Алмазы в океанической литосфере: вулканические алмазы и алмазы в офиолитах. *Геохимия*. 2021. **66**, № 1. С. 3—14. <https://doi.org/10.31857/S0016752521010040>
4. Зинчук Н.Н., Коптиль В.И., Квасница В.Н. Особенности мелких алмазов из кимберлитов и россыпей Сибирской платформы (Якутия). *Минерал. журн.* 2003. **25**, № 4. С. 32—47.
5. Квасница В.Н., Харьков А.Д., Зинчук Н.Н. Природа алмаза. Киев: Наук. думка, 1994. 208 с.
6. Петровская Н.В. Весьма крупные кристаллы минералов и условия их образования (на примере кристаллов самородного золота). *Минерал. журн.* 1985. **7**, № 2. С. 3—11.
7. Похиленко Н.П., Шумилова Т.Г., Афанасьев В.П., Литасов К.Д. Находки алмазов на Камчатке (вулканы Толбачик и Авачинский): природный феномен или контаминация синтетическим материалом? *Геология и геофизика*. 2019. **60**, № 5. С. 606—618. <https://doi.org/10.15372/GiG2019024>
8. Ракин В.И. Равновесная форма минералов при высоких термодинамических параметрах. *Вестник Ин-та геологии Коми НЦ УрО РАН*. 2013. № 3. С. 23—26.
9. Carlisle D.B. Diamonds at the K/T boundary. *Nature*. 1992. **357**. P. 119—120.
10. Chapman J.G., Boxer G.L. Size distribution analyses for estimating diamond grade and value. *Lithos*. 2004. **76**(1—4). P. 369—375. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2004.03.021>
11. Dahl J.E., Liu S.G., Carlson R.M.K. Isolation and structure of higher diamondoids, nanometer-sized diamond molecules. *Science*. 2003. **299**(5603). P. 96—99. <https://doi.org/10.1126/science.1078239>
12. Daulton T.L. Nanodiamonds in the Cosmos. Microstructural and trapped element isotopic data. In "Synthesis, Properties and Applications of Ultrananocrystalline Diamond", Gruen D.M. et al. (eds), Springer. Printed in the Netherlands, 2005. P. 49—62.
13. Ferreira J.J. Sampling and estimation of diamond content in kimberlite based on microdiamonds. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, 2013. 207 p.
14. Gebbie M.A., Ishiwata H., McQuade P.J., Petrak V., Taylor A., Freiwald Ch., Dahl J.E., Carlson R.M.K., Fokin A.A., Schreiner P.R., Shen Zhi-Xun, Nesladek M., Melosh N.A. Experimental measurement of the diamond nucleation landscape reveals classical and nonclassical features. *PNAS*. 2018. **115**(33). P. 8284—8289. <https://doi.org/10.1073/pnas.1803654115>
15. Gilmour I., Russell S.S., Arden J.W., Lee M.R., Franchi I.A., Pillinger C.T. Terrestrial carbon and nitrogen isotopic ratios from Cretaceous-Tertiary boundary nanodiamonds. *Science*. 1992. **258**(5088). P. 1624—1626. <https://doi.org/10.1126/science.258.5088.1624>
16. Haggerty S.E. Micro-diamonds: Proposed origins, crystal growth laws, and the underlying principle governing resource predictions. *Geochim. Cosmochim. Acta*. 2019. **266**. P. 184—196. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2019.03.036>
17. Hough R.M., Gilmour I., Pillinger C.T., Langenhorst F., Montanari A. Diamonds from the iridium-rich K-T boundary layer at Arroyo el Mimbral, Tamaulipas, Mexico. *Geology*. 1997. **25**(11). P. 1019—1022. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1997\)0252.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1997)0252.3.CO;2)
18. Kaminsky F.V. Non-kimberlitic diamondiferous igneous rocks: 25 years on. *J. Geol. Soc. India*. 2007. **69**, № 3. P. 557—575.
19. Kaminsky F.V., Voropaev S.A. Modern Concepts on Diamond Genesis. *Geochem. Int.* 2021. **59**, № 11. P. 1038—1051. <https://doi.org/10.1134/S0016702921110033>
20. Krebs M.Y., Pearson D.G., Stachel T., Stern R.A., Nowicki T., Cairns S. Using Microdiamonds in Kimberlite Diamond Grade Prediction: A Case Study of the Variability in Diamond Population Characteristics Across the Size Range 0.2 to 3.4 mm in Misery Kimberlite, Ekati Mine, NWT, Canada. *Econom. Geol.* 2016. **111**, № 2. P. 503—525. <https://doi.org/10.2113/econgeo.111.2.503>
21. Kvasnitsa V.N., Zinchouk N.N., Koptil V.I. Tipomorphism of diamond microcrystals. Moscow: Publ. House Nedra, 1999. 224 p.
22. Kvasnytsya V., Wirth R. Micromorphology and internal structure of apographitic impact diamonds: SEM and TEM study. *Diamond and Related Materials*. 2013. **32**. P. 7—16. <https://doi.org/10.1016/j.diamond.2012.11.010>
23. Pattison D.R.M., Levinson A.A. Are euhedral microdiamonds formed during ascent and decompression of kimberlite magma? Implications for use of microdiamonds in diamond grade estimation. *Applied Geochem.* 1995. **10**. P. 725—738.
24. Simakov S.K. Nano- and micron-sized diamond genesis in nature: An overview. *Geoscience Frontiers*. 2018. **9**. P. 1849—1858. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2017.10.006>
25. Yang J.S., Robinson P.T., Dilek Y. Diamonds in ophiolites. *Elements*. 2014. **10**, № 2. P. 127—130. <https://doi.org/10.2113/gselements.10.2.127>

Надійшла 23.12.2021

REFERENCES

1. Walter, A.A., Eremenko, G.K., Kvasnitsa, V.N. and Polkanov, Yu.A. (1992), *Impact-metamorphogenic minerals of carbon*, Nauk. dumka, Kyiv, UA, 172 p. [in Russian].
2. Vdovykin, G.P. (1970), *Diamonds in meteorites*, Nauka, Moscow, RU, 127 p. [in Russian].
3. Galimov, E.M. and Kaminsky, F.V. (2021), *Geochemistry*, Vol. 66, No. 1, RU, pp. 3-14 [in Russian]. <https://doi.org/10.31857/S0016752521010040>

4. Zinchuk, N.N., Koptil, V.I. and Kvasnitsya, V.N. (2003), *Mineral. Journ. (Ukraine)*, Vol. 25, No. 4, UA, pp. 32-47 [in Russian].
5. Kvasnitsya, V.N., Kharkiv, A.D. and Zinchuk, N.N. (1994), *The nature of diamond*, Nauk. dumka, Kyiv, UA, 208 p. [in Russian].
6. Petrovskaya, N.V. (1985), *Mineral. Journ. (Ukraine)*, Vol. 7, No. 2, UA, pp. 3-11 [in Russian].
7. Pokhilenko, N.P., Shumilova, T.G., Afanasiev, V.P. and Litasov, K.D. (2019), *Geol. and geophysics*, Vol. 60, No. 5, RU, pp. 606-618 [in Russian]. <https://doi.org/10.15372/GiG2019024>
8. Rakin, V.I. (2013), *Vestnik Institute Geol. Komi SC UrB RAS*, No. 3, pp. 23-26 [in Russian].
9. Carlisle, D.B. (1992), *Nature*, Vol. 357, pp. 119-120.
10. Chapman, J.G. and Boxer, G.L. (2004), *Lithos*, Vol. 76, No. 1-4, pp. 369-375. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2004.03.021>
11. Dahl, J.E., Liu, S.G. and Carlson, R.M.K. (2003), *Science*, Vol. 299, No. 5603, pp. 96-99. <https://doi.org/10.1126/science.1078239>
12. Daulton, T.L. (2005), In *"Synthesis, Properties and Applications of Ultrananocrystalline Diamond"*, Gruen, D.M. et al. (eds), Springer, Printed in the Netherlands, pp. 49-62.
13. Ferreira, J.J. (2013), Sampling and estimation of diamond content in kimberlite based on microdiamonds, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, 207 p.
14. Gebbie, M.A., Ishiwata, H., McQuade, P.J., Petrak, V., Taylor, A., Freiwald, Ch., Dahl, J.E., Carlson, R.M.K., Fokin, A.A., Schreiner, P.R., Shen Zhi-Xun, Nesladek, M. and Melosh, N.A. (2018), *PNAS*, Vol. 115, No. 33, pp. 8284-8289. <https://doi.org/10.1073/pnas.1803654115>
15. Gilmour, I., Russell, S.S., Arden, J.W., Lee, M.R., Franchi, I.A. and Pillinger, C.T. (1992), *Science*, Vol. 258, No. 5088, pp. 1624-1626. <https://doi.org/10.1126/science.258.5088.1624>
16. Haggerty, S.E. (2019), *Geochim. Cosmochim. Acta*, Vol. 266, pp. 184-196. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2019.03.036>
17. Hough, R.M., Gilmour, I., Pillinger, C.T., Langenhorst, F. and Montanari, A. (1997), *Geology*, Vol. 25, No. 11, pp. 1019-1022. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1997\)0252.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1997)0252.3.CO;2)
18. Kaminsky, F.V. (2007), *J. Geol. Soc. India*, Vol. 69, No. 3, pp. 557-575.
19. Kaminsky, F.V. and Voropaev, S.A. (2021), *Geochem. Int.*, Vol. 59, No. 11, pp. 1038-1051. <https://doi.org/10.1134/S0016702921110033>
20. Krebs, M.Y., Pearson, D.G., Stachel, T., Stern, R.A., Nowicki, T. and Cairns, S. (2016), *Econom. Geol.*, Vol. 111, No. 2, pp. 503-525. <https://doi.org/10.2113/econgeo.111.2.503>
21. Kvasnitsya, V.N., Zinchuk, N.N. and Koptil, V.I. (1999), *Tipomorphizm of diamond microcrystals*, Publ. House Nedra, Moscow, RU, 224 p.
22. Kvasnitsya, V. and Wirth, R. (2013), *Diamond and Related Materials*, Vol. 32, pp. 7-16. <https://doi.org/10.1016/j.diamond.2012.11.010>
23. Pattison, D.R.M. and Levinson, A.A. (1995), *Applied Geochem.* Vol. 10, pp. 725-738.
24. Simakov, S.K. (2018), *Geoscience Frontiers*, Vol. 9, pp. 1849-1858. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2017.10.006>
25. Yang, J.S., Robinson, P.T. and Dilek, Y. (2014), *Elements*, Vol. 10, No. 2, pp. 127-130. <https://doi.org/10.2113/gselements.10.2.12714>

Received 23.12.2021

V.M. Kvasnitsya, DrSc (Mineralogy and Crystallography), Prof., Head of Department
M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine
34, Acad. Palladin Ave., Kyiv, Ukraine, 03142
E-mail: vmkvas@hotmail.com; <http://orcid.org/0000-0002-3692-7153>

THE SIZE AND SHAPE OF DIAMOND CRYSTALS OF DIFFERENT ORIGIN

The size and shape of diamond crystals of different origin are analyzed. Diamonds with a size of less than about 0.5 mm are classified as microcrystals. Diamonds found in meteorites typically show non-faceted anhedral crystals of various sizes. Only the Canyon Diablo iron meteorite has cubic microcrystals of unclear crystallogeneses. Nano, micro- and macro-sized crystals of diamond in meteorites are usually aggregate in nature. The release of diamond polyhedra in meteorites is limited by the too small size of its crystals in chondrites and by its solid-phase transformation from very fine-grained diamond and graphite in ureilites and octahedrites. The size and shape of diamond crystals found in meteorite impact craters are determined by the nature of the source carbon material. The process of solid-phase transformation of graphite or other carbon-bearing materials (e.g., coal, plant remains) to diamond in meteorite craters does not allow euhedral crystal to be formed. At the same time, in the case of diamonds formed from impacts, on the (0001) faces of impact apographitic diamonds, polyhedra of nano-microdiamonds crystallize from the gas phase. These crystals are often form autoepitaxially, because they crystallize in an oriented manner on the lonsdaleite-diamond matrix. Diamonds found in metamorphic rocks, ophiolites and modern volcanites show faceted microcrystals. A wide range of sizes, from 0.1 mm to 10 cm, is characteristic of faceted diamond crystals from kimberlites, lamproites and lamprophyres. Diamond crystals from different mantle rocks acquire a multifaceted shape after reaching certain embryo sizes — the most likely appearance of diamond polyhedra larger than 40-50 nm. Octahedra forms are dominant for natural diamond crystals of different sizes and origin.

Keywords: diamond, geological-genetic types of diamond, nano-micro- and macrocrystals, crystal size, crystal shape.