

<https://doi.org/10.15407/mineraljournal.42.01.012>
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>

КРИСТАЛОМОРФОЛОГІЯ ТА ПОХОДЖЕННЯ МІКРОДІАМАНТІВ ІЗ НЕОГЕНОВОГО РОЗСИПУ САМОТКАНЬ (СЕРЕДНЄ ПРИДНІПРОВ'Я)

За допомогою методів растрової електронної мікроскопії та гоніометрії вивчена кристаломорфологія мікродіамантів із неогенового розсипу Самоткань у Середньопридніпровському мегаблоці Українського щита. Діаметр кристалів не перевищує 0,3 мм. Досліджено понад сотню кристалів, відібраних із більш ніж тисячної колекції. Виявлено кристаломорфологічні особливості мікродіамантів. Серед багатогранників самотканського мікродіаманту порівняно часто трапляються кристали з плоскими і гладкими гранями різних простих форм, властивих гексоктаедричному класу симетрії кристалів діаманту (куб, ромбододекаедр, тригон- і тетрагонтриоктаедри, тетрагексаедри і гексоктаедри). Такі форми майже завжди є неповногранними і розвинуті переважно на кристалах октаедричного габітусу. Розміття і домінування кубічних форм є характерною особливістю самотканських мікродіамантів. Як правило, кубічні кристали ускладнені гранями октаедра і ромбододекаедра (додокаедроїда). Розрізняються два контрастних типи кубічних кристалів за механізмом їхнього утворення — тангенціального у разі виродження площин (111) і нормального (волокнистого) росту. Різні двійники і агрегатні утворення з кубів чи октаедрів — ще одна особливість самотканських мікродіамантів. Поширені двійники зростання октаедрів і проростання кубів за шпінелевим законом, трапляються п'ятірники октаедрів за шпінелевим законом, а також паралельні зростки кристалів. Досить часто на багатогранниках проявлені скелетні і вершинні форми. Виявлено октаедричні кристали з ознаками природного розчинення. Мікротопографія граней різних простих форм багатогранників є звичайною. Загалом кристаломорфологічні особливості самотканських мікродіамантів свідчать про їхню кристалізацію у пересиченому вуглецем середовищі та швидкий ріст кристалів. Розглянуто питання про походження самотканських мікродіамантів, їхнє можливе середовище кристалізації та корінні породи. Прогнозується мантійне еклігітове середовище кристалізації діамантів і ранньопротерозойський вік їхніх корінних джерел.

Ключові слова: мікродіаманти, кристаломорфологія, мікротопографія, анатомія, походження, неогеновий розсип Самоткань, Український щит.

Вступ. У 1963 році кримські геологи з Інституту мінеральних ресурсів Міністерства геології України (ІМР, м. Сімферополь) І.Ф. Кашкаров і Ю.О. Полканов у продуктах збагачення неогенових пісків Самотканського титано-цирконієвого родовища в Середньому Придніпров'ї виявили мікрокристали алмазу (діаманту) розміром менше 0,3 мм. З цього відкриття почалася серія знахідок мікрокристалів діаманту в неогенових прибережно-морських титано-цирконієвих розсипах Українського щита, Дніпрово-Донецької западини, в інших нео-

генових і четвертинних теригенних відкладах різного походження в багатьох місцях України (1963—1970 роки). Знахідки таких дрібних і специфічних за багатьма іншими властивостями кристалів діаманту вимагали розробки спеціальної методики збагачення проб різних порід, способів вилучення діамантів і вдосконалення методів їх діагностики, що й було успішно зроблено співробітниками ІМР. Завдяки застосуванню цих нових методів відкрито дрібні діаманти у різновікових пісках багатьох районів Радянського Союзу та роз-

Цитування: Квасниця В.М. Кристаломорфологія та походження мікродіамантів із неогенового розсипу Самоткань (Середнє Придніпров'я). *Мінерал. журн.* 2020. 42, № 1. С. 12—23. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.42.01.012>

почато вивчення мікродіамантів із кімберлітів. Так українські геологи поставили проблему мікрористалів діаманту. Намагання з'ясувати походження цих незвичайних діамантів із неогенових пісків сприяло відкриттю нових генетичних типів цього мінералу та його родовищ: так званого ультраметаморфічного та імпактного. Проте питання походження мікрористалів діаманту саме з неогенових і четвертинних теригенних відкладів України так остаточно не з'ясовано ще й нині.

Серед мікрористалів діаманту з теригенних відкладів України найкраще вивченими є самотканські діаманти. Їх морфологія висвітлена в ряді статей і підсумована у двох книгах [10, 13]. Однак технічні можливості 1960—1970 років перешкоджали дослідникам самотканського діаманту розкрити ряд його морфологічних особливостей. Наші дослідження виконані з використанням сучасного обладнання, тому отримані дані доповнюють відомі знання про морфологію кристалів самотканського діаманту. Особливо це стосується простих форм кристалів, їхньої мікротопографії й анатомії та відкриття нових унікальних морфологічних типів.

Мета цієї публікації — висвітлити основні кристаломорфологічні особливості самотканських мікродіамантів і порівняти їх із морфологією діаманту з контрастних корінних джерел. Це зумовлено декількома причинами. По-перше, для з'ясування генетичних питань мінералогії самотканського діаманту, оскільки морфологія діаманту найбільш виразно відображає умови росту його кристалів та подальшу їх історію. По-друге, кристаломорфологічний аналіз діаманту дає змогу визначати специфіку його кристалів із різних порід, тобто передбачати природу як його материнського середовища, так і корінних джерел. Тому у нашому випадку кристаломорфологія діаманту є важливим показником ідентифікації особливостей самотканського розсипного діаманту для з'ясування його походження та прогнозування корінних джерел.

Зразки і методи дослідження. Морфологія, мікротопографія поверхні й анатомія кристалів мікродіаманту з розсипу Самоткань вивчена з застосуванням методів растрової електронної мікроскопії. Досліджено понад сотню кристалів, спеціально відібраних із більш ніж тисячної колекції. Діаметр кристалів — 0,1—0,3 мм. Дослідження морфології цих кристалів виконано в Інституті геохімії, мінералогії та

рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України (Київ) на електронному мікроскопі *JSM 6700F* фірми *Jeol* (Японія) з енергодисперсійним аналізатором. РЕМ-зображення діамантів отримано за прискорювальної напруги 15 кВ, струму зонда $6 \cdot 10^{-10}$ А та діаметра зонда 1—2 мкм. Декілька кристалів діаманту виміряно на двоколовому гоніометрі ГД-1 також у названому вище Інституті.

Результати досліджень кристаломорфології діаманту. Прості форми кристалів. Серед багатогранників самотканського мікродіаманту порівняно часто трапляються кристали з плоскими і гладкими гранями різних простих форм (рис. 1), властивих гексоктаедричному класу симетрії кристалів діаманту (куб, ромбододекаедр, тригон- і тетрагонтриоктаедри, тетрагексаедри і гексоктаедри). Як правило, такі форми є неповногранними і розвинуті переважно на кристалах октаедричного габітусу. Плоскі і гладкі грані куба трапляються найчастіше, що підтверджено гоніометричними вимірюваннями. Ця форма часто є повногранною (рис. 1, *a*), але жодного разу не було зафіксовано її габітусний розвиток. Плоскі грані куба можуть самостійно ускладнювати огранення октаедрів діаманту, рідше — в комбінації з іншими гранями різних простих форм (рис. 1, *a, b*). Другою простою формою за частотою прояву на кристалах самотканського мікродіаманту після граней куба є гексоктаедр (рис. 1, *b—d*). Трапляються поодинокі кристали, на яких плоскі і гладкі грані гексоктаедра є майже габітусними (рис. 1, *d*). Ще раз наголошуємо, що плоскі і гладкі грані куба, а також ромбододекаедра, тригон- і тетрагонтриоктаедрів, тетрагексаедрів і гексоктаедрів не формують габітусні типи кристалів діаманту. Окрім куба серед плоскогранних форм виміряно ромбододекаедр, гексоктаедри {251}, {592}, {594}, {694}, тетрагонтриоктаедри {211}, {511}, тригонтриоктаедри {991}, {881}, тетрагексаедри {120} і {140}.

В ограненні ж основної частини кристалів самотканського мікродіаманту, разом із октаедром з реальними пірамідами росту, беруть участь однойменні прості форми — {100}, {110} і {*hk0*}, але грані їх мають іншу природу. Це куб як форма пасивного росту внаслідок виродження граней октаедра і як форма нормального (волокнистого) росту, при цьому поширеність обох типів кубів майже однакова. Округлі грані куба складають кубоїди. Також

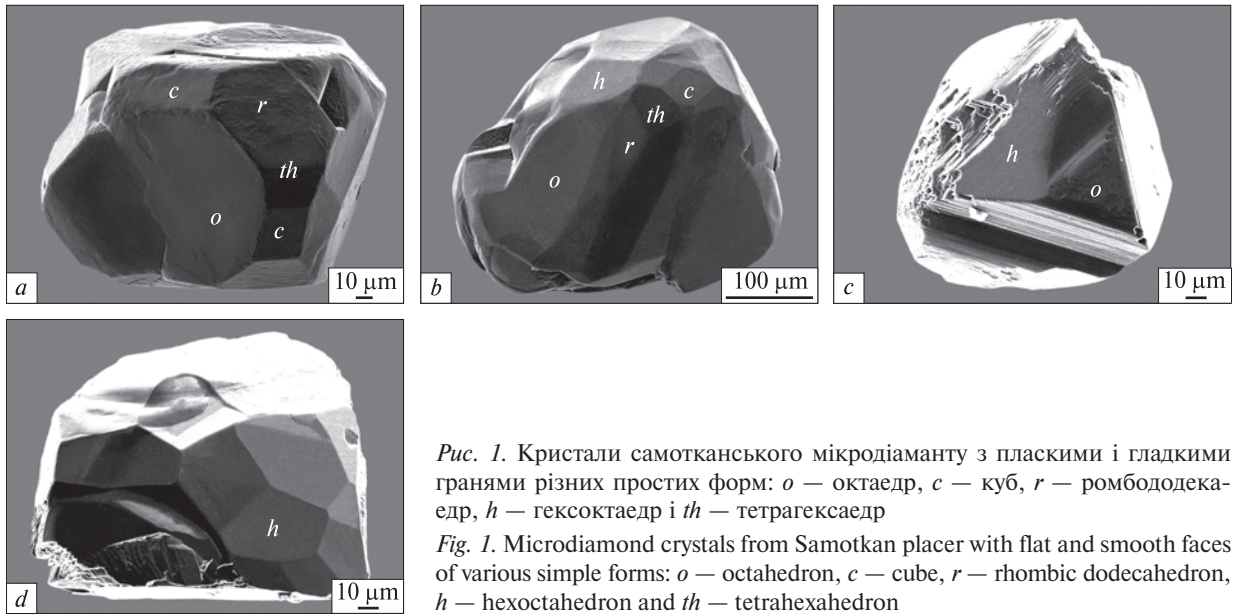


Рис. 1. Кристали самотканського мікродіаманту з плоскими і гладкими гранями різних простих форм: *o* — октаедр, *c* — куб, *r* — ромбододекаедр, *h* — гексоктаедр і *th* — тетрагексаедр

Fig. 1. Microdiamond crystals from Samotkan placer with flat and smooth faces of various simple forms: *o* — octahedron, *c* — cube, *r* — rhombic dodecahedron, *h* — hexoctahedron and *th* — tetrahexahedron

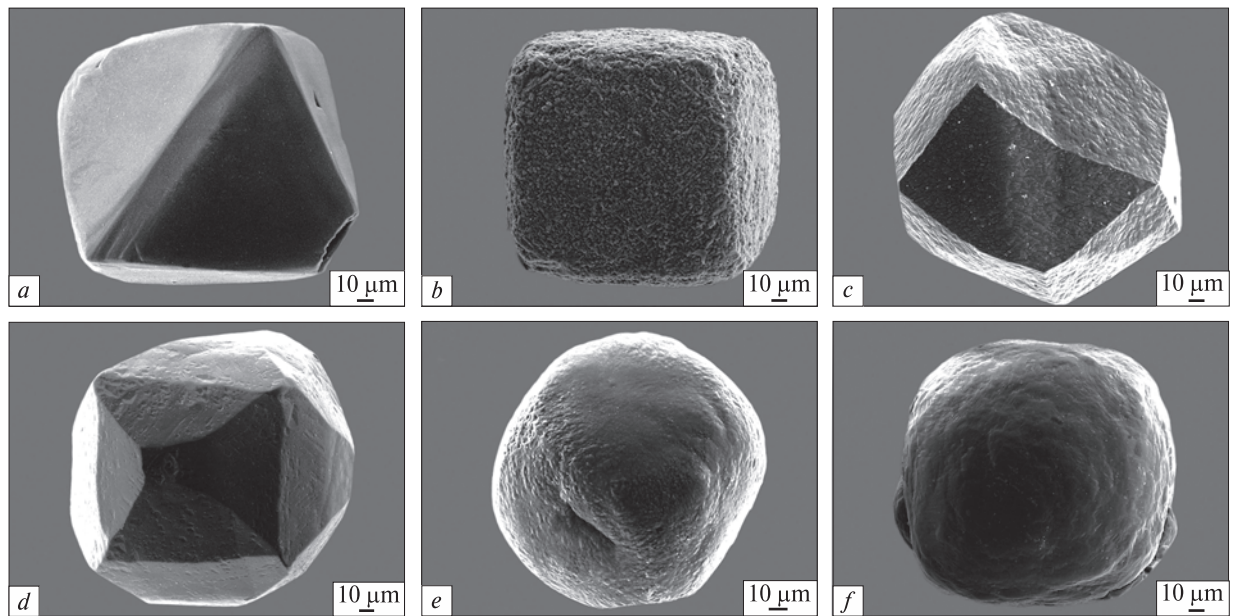


Рис. 2. "Чисті" морфологічні типи кристалів самотканського мікродіаманту: *a* — октаедр, *b* — куб, *c* — додекаедроїд, *d* — тетрагексаедроїд, *e* — звичайний кубоїд, *f* — "агрегатний" кубоїд

Fig. 2. "Pure" morphological types of microdiamond crystals from Samotkan placer: *a* — octahedron, *b* — cube, *c* — dodecahedroid, *d* — tetrahexahedroid, *e* — ordinary cuboid, *f* — "aggregate" cuboid

це ромбододекаедр як форма пасивного росту внаслідок виродження граней октаедра і як форма розчинення (додекаедроїд). Ще одна форма — тетрагексаедр бере участь в ограненні кристалів, утворюючи переважно кривогранні кристали — тетрагексаедроїди. Проте відмінність між додекаедроїдами і тетрагексаедроїдами часто невизначна і може бути виявлена за допомогою гоніометричних замірів. На рис. 2 показані представники цих габітус-

них типів самотканського мікродіаманту, кристали яких огранені майже повністю однією простою формою. Це такі габітусні типи — октаедричний, кубічний, кубоїдальний, додекаедроїдальний і тетрагексаедроїдальний. Хоча й вони ускладнені мініатюрними гранями інших форм, наприклад, октаедр (рис. 2, *a*) — однією вузькою гранню тригонтриоктаедра, а тетрагексаедроїд (рис. 2, *d*) — гранями куба. Механізм виникнення цих габітусів різних:

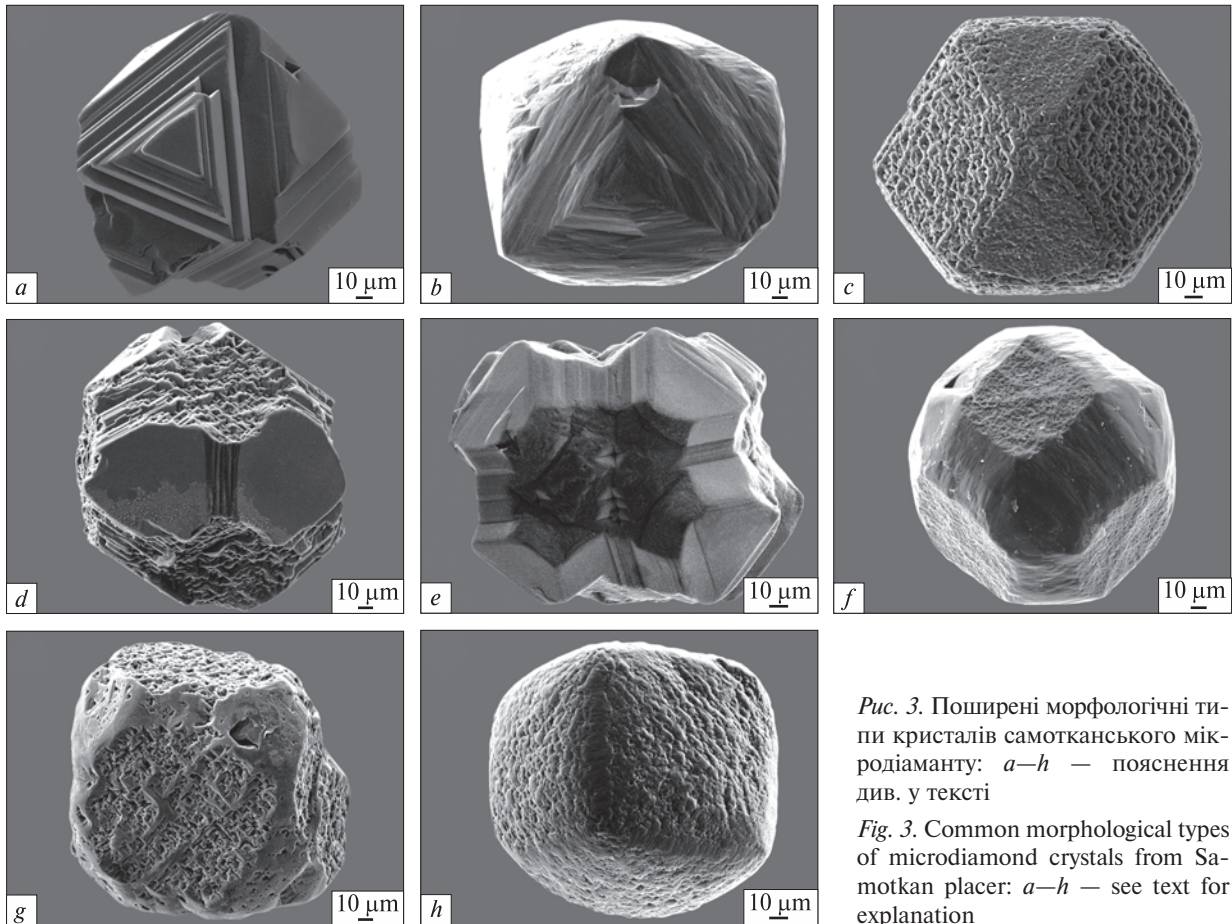


Рис. 3. Поширені морфологічні типи кристалів самотканського мікродіаманту: *a–h* — пояснення див. у тексті

Fig. 3. Common morphological types of microdiamond crystals from Samotkan placer: *a–h* — see text for explanation

октаедр і куб є утвореннями росту, а кубоїди, додекаедроїди і тетрагексаедроїди переважно утвореннями розчинення.

За результатами гоніометричного дослідження давно визначено, що додекаедроїди і тетрагексаедроїди діаманту характеризуються певними параметрами кривогранності — параметрами парних світлових трикутників (трикутними відблисками на гоніометрі від кожної половини округлої грані додекаедроїда чи округлої грані тетрагексаедроїда). Ці параметри мінливі, хоча в літературі наведені їх ніби вже прийняті стандартні характеристики. Однак існує багато кривогранних кристалів із проміжними характеристиками округлості, оскільки вони утворились шляхом розчинення різних комбінаційних кристалів і зазнали різного ступеня розчинення. Тому на око не легко відрізнити додекаедроїд від тетрагексаедроїда. Головне — додекаедроїд за формою подібний до ромбододекаедра, а тетрагексаедроїд — відповідно до тетрагексаедра. Тут важливим є значення кута перегину округлої грані по гранному шву додекаедроїда чи певному

ребру тетрагексаедроїда, для додекаедроїда він наближається до 0° , а для тетрагексаедроїда — більше ніж 90° . За цим показником серед самотканських мікродіамантів значно більше тетрагексаедроїдів, ніж додекаедроїдів. Різну округлість мають і кубоїди. Також серед самотканських мікродіамантів іноді трапляються рідкісні октаедроїди.

Поширені морфологічні типи кристалів. Більшість самотканських мікродіамантів представлена кристалами комбінаційної форми з участю трьох простих форм $\{111\}$, $\{110\}$ і $\{100\}$ (рис. 3). Серед них так звані перехідні форми $\{111\} + \{110\}$ трапляються порівняно рідко (рис. 3, *a, b*), а домінують комбінаційні кристали з участю граней куба різного розвитку — від другорядно-проміжного до габітусного. Варіації розвитку граней октаедра і ромбододекаедра (додекаедроїда) на комбінаційних кристалах також різні. Це кубооктаедри (рис. 3, *c, d*), ускладнені ромбододекаедром, це кристали з майже однаковим розвитком граней $\{111\}$, $\{110\}$ і $\{100\}$ (рис. 3, *e, f*), а також куби (рис. 3, *g, h*), ускладнені гранями $\{111\}$ і $\{110\}$.

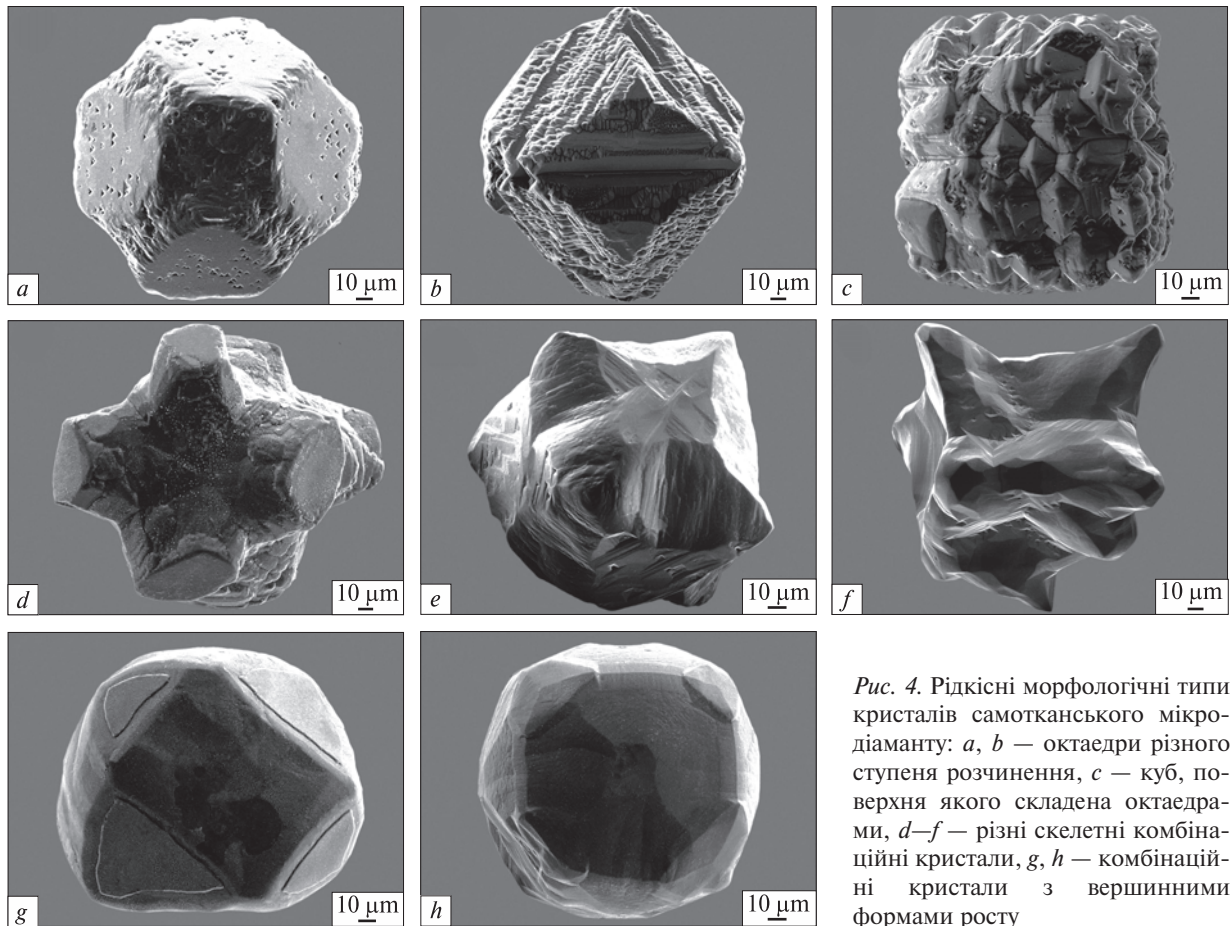


Рис. 4. Рідкісні морфологічні типи кристалів самотканського мікродіаманту: *a, b* — октаедри різного ступеня розчинення, *c* — куб, поверхня якого складена октаедрами, *d–f* — різні скелетні комбінаційні кристали, *g, h* — комбінаційні кристали з вершинними формами росту

Fig. 4. Rare morphological types of microdiamond crystals from Samotkan placer: *a, b* — octahedrons of varying degrees of dissolution, *c* — cube whose surface is composed of octahedrons, *d–f* — different skeletal combination crystals, *g, h* — combination crystals with vertex forms of growth

Загалом серед цих багатогранників діаманту переважають кристали кубічного габітусу.

Рідкісні морфологічні типи кристалів. Специфікою самотканських мікродіамантів є наявність серед них морфологічно унікальних кристалів. Показані на рис. 4 кристали діаманту є рідкісними серед природного діаманту взагалі, а деякі з них описано вперше. До них належать октаедричні кристали з явними ознаками природного розчинення (рис. 4, *a, b*). Незвичним є куб, поверхня граней якого складена мікронними октаедрами (рис. 4, *c*). Різні скелетні комбінаційні кристали демонструють виразний ріст площинами (111), вони є від'ємно кривогранними і тільки вершини кристалів можуть бути притупленими невеликими плоскими гранями октаедра (рис. 4, *d–f*). Вершинні форми на діамантних кристалах є надзвичайно рідкісними і майже не описані. Це форми, які свідчать про суттєву зміну умов росту кристала чи про стадійність

росту. На гранях октаедра, що ускладнюють кубоїд (рис. 4, *g*), наросли їм паралельні пластинки, а на вершинах тетрагексаедроїда (рис. 4, *h*) — округлі грані тетрагонтриоктаедра.

Зростки кристалів. Серед них трапляються випадкові чи незакономірні та закономірні зростки. Кристали незакономірних зростків представлені різними морфологічними типами: октаедр, куб, кубоїд, а також є неограничними (рис. 5). Найчастіше трапляються зростки кубічних кристалів. Серед закономірних зростків кристалів самотканських мікродіамантів розрізняються паралельні зростки октаедрів і кубів, двійники і п'ятірники зростання октаедрів чи кристалів перехідної форми за шпінелевим законом і двійники проростання кубів за шпінелевим законом (рис. 6). Із них найчастішими є двійники октаедрів і кубів. Індивіди здвійникованих октаедрів чи кубів частіше є різновеликими, рідше гармонійно розвинутими.

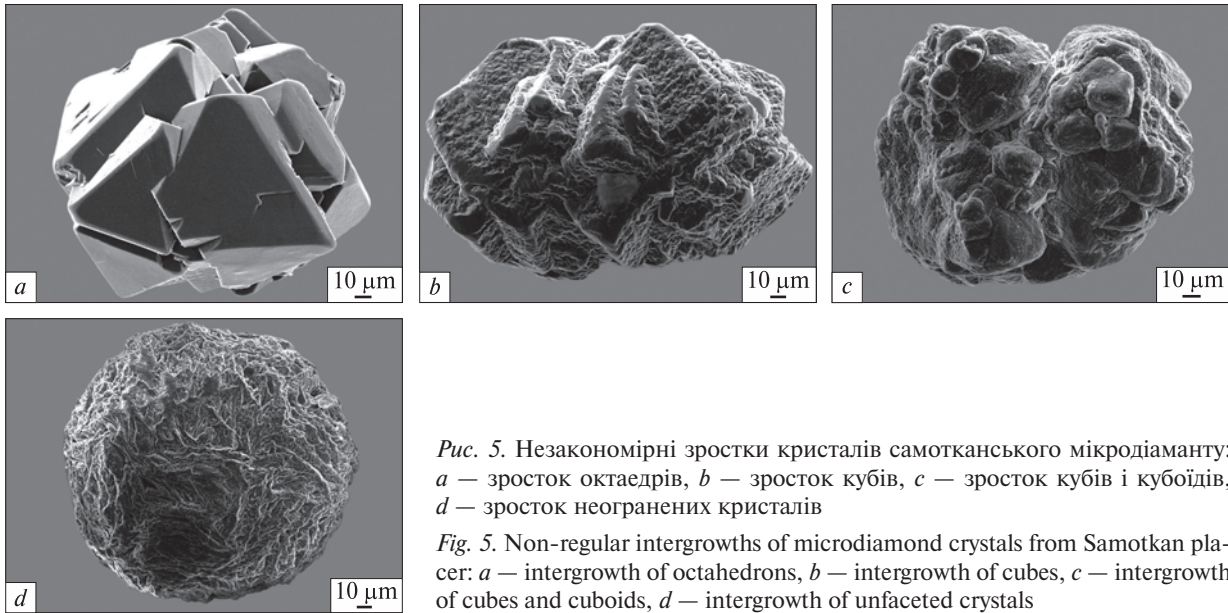


Рис. 5. Незаконімірні зростки кристалів самотканського мікродіаманту: *a* – зросток октаедрів, *b* – зросток кубів, *c* – зросток кубів і кубоїдів, *d* – зросток неограничених кристалів

Fig. 5. Non-regular intergrowths of microdiamond crystals from Samotkan placer: *a* – intergrowth of octahedrons, *b* – intergrowth of cubes and cuboids, *d* – intergrowth of unfaceted crystals

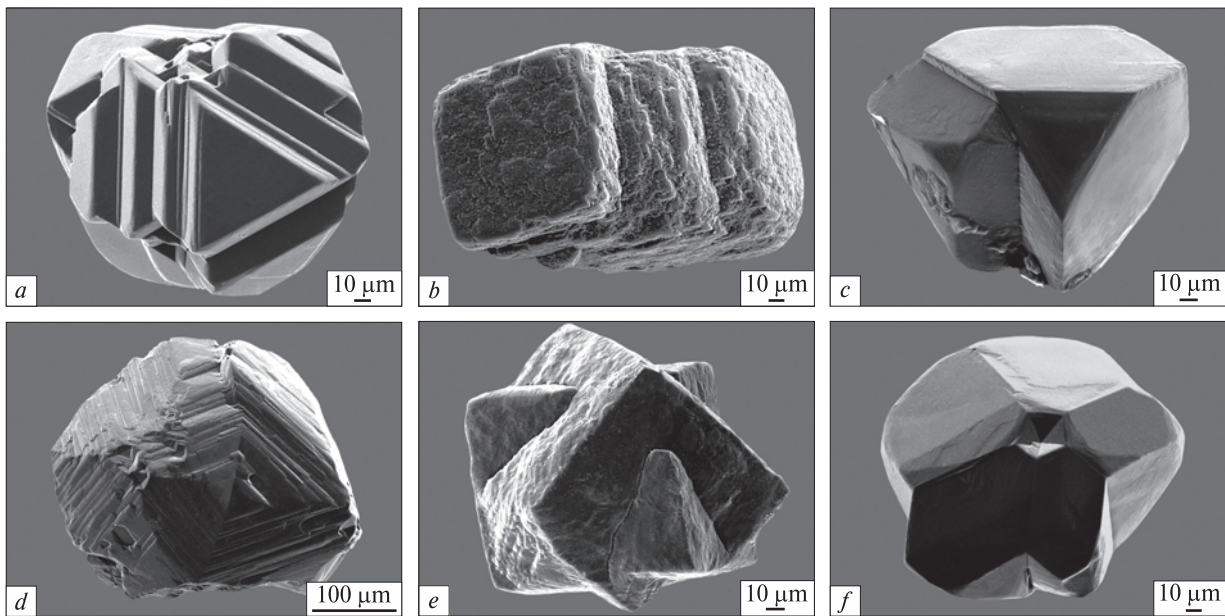


Рис. 6. Законімірні зростки кристалів самотканського мікродіаманту: *a* – паралельний зросток октаедрів, *b* – паралельний зросток кубів, *c* – двійник зростання октаедрів, *d* – двійник зростання кристалів перехідної форми $\{111\} + \{110\}$, *e* – двійник проростання кубів, *f* – п’ятірник октаедрів

Fig. 6. Regular intergrowths of microdiamond crystals from Samotkan placer: *a* – parallel intergrowth of octahedrons, *b* – parallel intergrowth of cubes, *c* – contact twin of octahedrons, *d* – contact twin of transition form $\{111\} + \{110\}$, *e* – penetration twin of cubes, *f* – fivefold contact twin of octahedrons

Анатомія кристалів. Вивчення внутрішньої будови самотканських мікродіамантів найдоступніше для кубів і кубоїдів, які зазнали механічного впливу і часто секторіально розколюлися (рис. 7, *a*). Показана внутрішня будова куба (рис. 7, *a, b*), кубоїда (рис. 7, *c, d*) і куба в облямівці (рис. 7, *e*) свідчить про секторіальний ріст площинами (111) для куба, нормаль-

ний ріст волокнами для кубоїда і скелетно шаруватий для куба в облямівці. Інша в’язано-волокнувата внутрішня будова характерна для сферичного агрегату мікродіаманту (рис. 7, *f*).

Мікроморфологія граней. Поверхня граней октаедра, куба, кубоїда, ромбододекаедра, додекадроїда і тетрагексадроїда орнаментована певними скульптурами росту і розчинення,

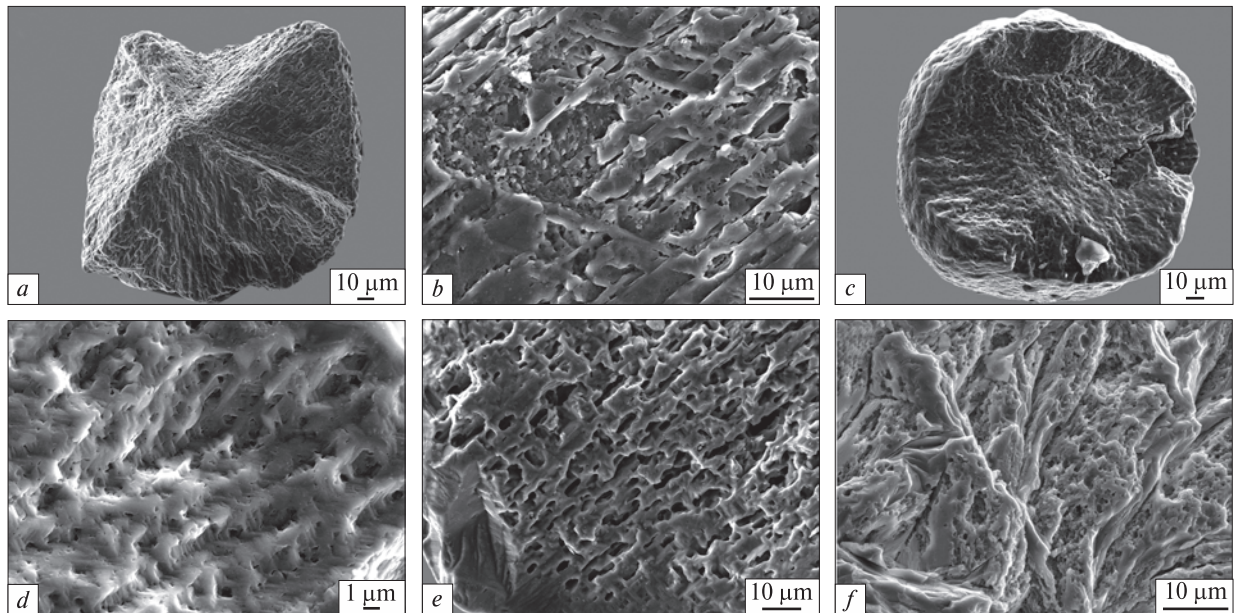


Рис. 7. Анатомічні картини кристалів самотканського мікродіаманту: *a, b* — внутрішня будова куба; *c, d* — внутрішня будова кубоїда, *e* — внутрішня будова кристала в облямівці, *f* — внутрішня будова полікристалічного діаманту

Fig. 7. Microstructure images of microdiamond crystals from Samotkan placer: *a, b* — internal structure of cube; *c, d* — internal structure of cuboid, *e* — internal structure of coated crystal, *f* — internal structure of polycrystalline diamond

які у більшості випадків відповідають площинній симетрії граней. Поверхня граней октаедра часто є порівняно гладкою, без помітних скульптур навіть за великого збільшення. Трапляються октаедричні кристали, поверхня граней яких покрита чисельними прямопаралельними трикутними виступами (рис. 8, *a*). Це є проявом поліцентричного росту граней октаедра за пересичення ростової системи вуглецем. Найхарактернішими для граней октаедра є оберненопаралельні трикутні западини. Вони є одиночними чи утворюють візерунки западин, повністю покриваючи поверхню граней (рис. 8, *b*). Ці западини можуть бути пірамідальними чи з плоским дном, їхні стінки східчасті з тонким нашаруванням. Походження таких оберненопаралельних трикутних западин може бути різним: у результаті росту або розчинення граней октаедра.

Рідкісними скульптурами розчинення на поверхні граней октаедра є прямопаралельні трикутні западини (рис. 8, *c*), вони також можуть бути пірамідальними чи з плоским дном. Ще однією формою розчинення граней октаедра є зубчасті щербини його ребер, які мають чітку перпендикулярну до них орієнтацію (рис. 8, *d*). Як прямопаралельні трикутні западини, так і щербини відтворені для кристалів діаманту експериментально. За природного і

штучного розчинення октаедрів діаманту вони майже завжди розвиваються разом.

Поверхня граней куба завжди є шорсткою, за винятком поодиноких випадків (рис. 1). Шорсткість може бути спричинена розвитком горбистого рельєфу чи чотирикутних западин. Горбистий рельєф — сукупність чисельних округлих підвищень різної кривизни і висоти (рис. 8, *e*), що суцільно покривають грані куба. Часто вони є ознакою нормального росту кристала, рідше — розчинення кристала, який виник за таким механізмом росту. Чотирикутні западини (рис. 8, *f*) також можуть покривати всю поверхню граней куба чи бути великими поодинокими. Западини є прямокутними чи квадратними, різного розміру і глибини. Вони завжди орієнтовані під кутом 45° до ребер куба, що є свідченням росту кубічного кристала нашаруваннями по (111). Западини часто пірамідальні і східчасті, у випадку розчинення кристала супроводжуються щербинами сторін. Зрідка грані куба вкриті прямопаралельними до його ребер пластинками (див. рис. 6, *b*).

Поверхня граней ромбододекаедра на кристалах різного габітусу завжди орнаментована паралельною штрихуватістю як наслідком росту кристала шарами (111). Округлі поверхні додекаедроїдів, тетрагексаедроїдів і кубоїдів бувають майже гладкими чи для додекаедрої-

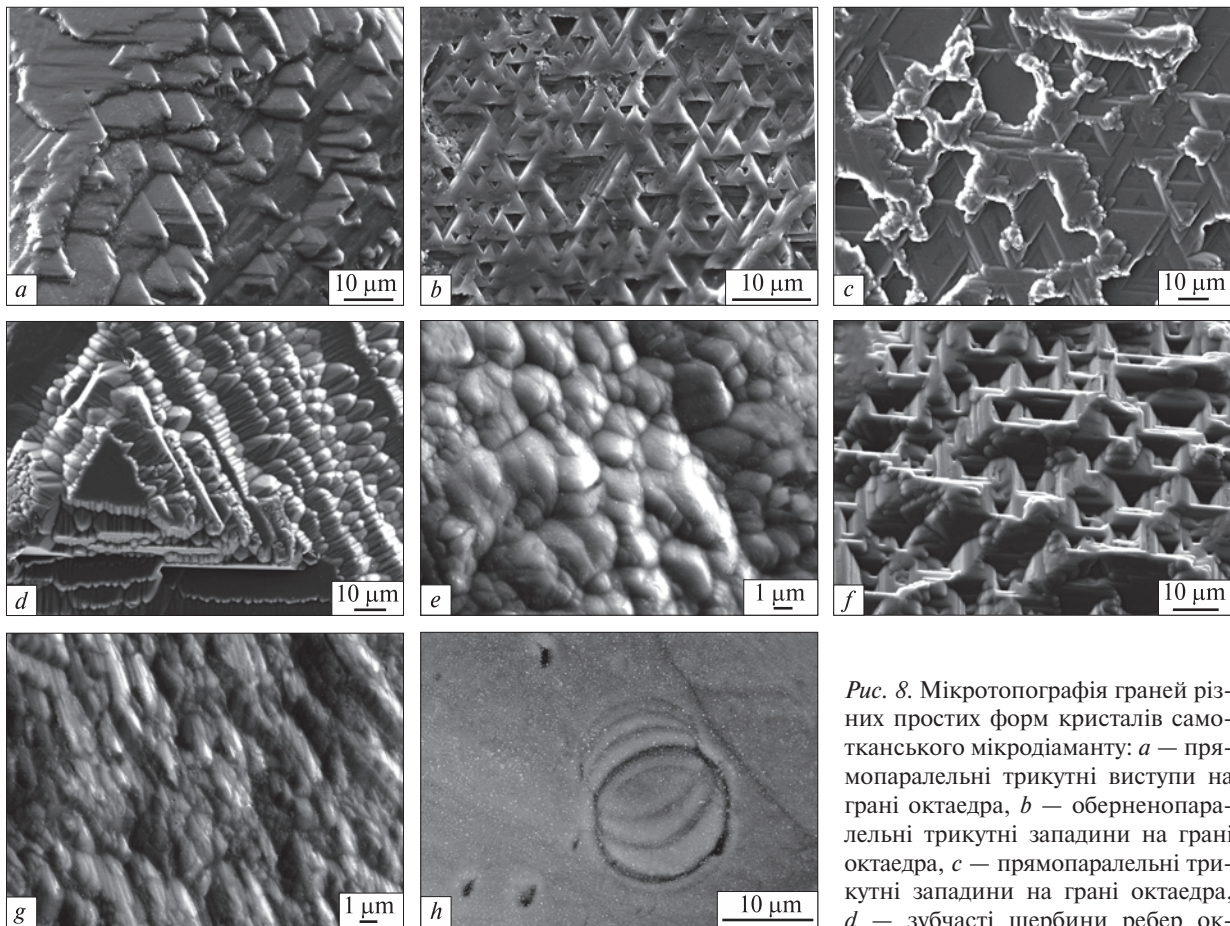


Рис. 8. Мікротопографія граней різних простих форм кристалів самотканського мікродіаманту: *a* — прямопаралельні трикутні виступи на грані октаедра, *b* — оберненопаралельні трикутні западини на грані октаедра, *c* — прямопаралельні трикутні западини на грані октаедра, *d* — зубчасті щербини ребер октаедра, *e* — горбистий рельєф на грані куба, *f* — чотирикутні западини на грані куба, *g* — краплиноподібні горбики на грані додекаедроїда, *h* — дискова скульптура на грані додекаедроїда

таедра, *e* — горбистий рельєф на грані куба, *f* — чотирикутні западини на грані куба, *g* — краплиноподібні горбики на грані додекаедроїда, *h* — дискова скульптура на грані додекаедроїда

Fig. 8. Microtopography of faces of various simple forms of microdiamond crystals from Samotkan placer: *a* — straight parallel triangular protrusions on octahedron face, *b* — inverted parallel triangular pits on octahedron face, *c* — straight parallel triangular pits on octahedron face, *d* — serrated edges of octahedron, *e* — hilly relief on cube face, *f* — quadrilateral pits on cube face, *g* — droplet-like humps on dodecahedroid face, *h* — disc sculpture on dodecahedroid face

дів вкриті численними краплиноподібними горбиками різної кривизни і висоти (рис. 8, *g*), зрідка на гладкій поверхні додекаедроїдів розвинуті дискові скульптури нез'ясованої природи (рис. 8, *h*). Краплиноподібні горбики є скульптурами розчинення. Так звані гранні шви є обов'язковим елементом огранення додекаедроїдів (див. рис. 2, *c*). Паралельна і снопоподібна штрихуватість поверхонь $\{110\}$ на кристалах діаманту різного габітусу є звичайними скульптурами росту чи розчинення відповідно (див. рис. 3, *a, b*).

Обговорення і висновки. Як і більшість кристалів мантійного діаманту з кімберлітів, лампроїтів і лампрофірів, самотканські мікродіаманти характеризуються високим ступенем ідіоморфізму — домінуванням багатогранників. Окрім агрегатних утворень серед них не

виявлено індивідуальних ксеноморфних кристалів, як, наприклад, наявних серед мікродіамантів із метаморфічних порід Казахстану [6, 15]. Однак на відміну від кристалів діаманту із кімберлітів, лампроїтів і лампрофірів із переважанням октаедричних і перехідних $\{111\} + \{110\}$ форм чи додекаедроїдів, серед самотканських мікродіамантів домінують кубічні форми. Їх різновиди майже аналогічні кубам діаманту із кімберлітів [2, 3], проте інакше поширені. За даними [9], вміст кубів у деяких пробах із самотканських пісків досягає майже 60 %. Тоді як наприклад вміст кубів серед діамантів із кімберлітів Якутської діамантоноснової провінції в дрібному класі ($-1,0...+0,5$ мм) зрідка перевищує 5 %, дещо вищий вміст кубів зафіксовано в розсипах на півночі цієї провінції (іноді до майже 12 %) [4]. Загалом

спостерігається морфологічна відповідність серед мікро- і макрокристалів діаманту із більшості кімберлітових тіл і розсипів Якутської провінції. Якщо ж перенести таку відповідність на невідомі корінні джерела самотканських мікродіамантів, то серед великих кристалів діаманту в них мала би бути більшість кубів. Щоправда, не з'ясовано питання, чи не може бути різке переважання кубічних форм серед самотканських мікродіамантів результатом селекції кристалів у процесі перенесення від корінного джерела і акумуляції, перемиву та сортування в пісках. Як відомо, у материнських мантийних породах кубічні кристали діаманту знайдені тільки в ксенолітах еклогітів із кімберлітів, у ксенолітах перидотитів такі кристали не зафіксовано. У корінному знаходженні багато кубів виявлено серед мікродіамантів із метаморфічних порід Казахстану [6].

Огранення кристалів самотканських мікродіамантів другорядними за розвитком пласкими і гладкими гранями різних простих форм зближує їх з мікрокристаломі діаманту із різних корінних джерел [15]. Можна припустити, що багатство простих форм є характерним для мікрокристалів мінералу. Проте тільки для двох простих форм — октаедра і куба — простежуються реальні піраміди росту за різкого домінування октаедра. Тобто поліедрія діаманту є характерною ознакою його мікрокристалів і найвірогідніше виникає переважно як результат пасивного росту граней різних форм у разі нестабільної кристалізації. Підкреслимо: це явище є досить частим для самотканських мікродіамантів.

Різні двійники і агрегатні утворення із кубів — ще одна особливість самотканських мікродіамантів. Специфічною їх ознакою є також порівняно часта кристалізація у вигляді скелетних і вершинних форм, дуже рідкісних серед кристалів природного діаманту взагалі [1–3, 6–8, 12, 14]. Отже, до кристаломорфологічних особливостей самотканських мікродіамантів можна віднести: відносно часту поліедрію кристалів, домінування кубічних форм та їх поширене двійникування, розвиток скелетних і вершинних форм, утворення агрегатів. Мікротопографія граней різних простих форм на самотканських мікродіамантах є такою, як і на кристалах діаманту із кімберлітів, лампроїтів і лампрофірів.

Окрім кристаломорфологічних особливостей самотканським мікродіамантам властивий

ще ряд ознак. Більшість самотканських мікрокристалів діаманту безбарвна, проте порівняно із діамантами з багатьох родовищ світу значна їх частина (близько 10 %) має зелений, рожевий, фіолетовий, бузковий, жовтий і коричневий кольори [10, 13]. Інтенсивність цих кольорів у багатьох кристалів на порядок вища, ніж у забарвлених діамантів із відомих кімберлітових родовищ світу. Особливо багато фіолетових, рожевих і бузкових кристалів (до 7–13 %). Переважають вони серед кубічних кристалів. При цьому забарвлення фіолетових кристалів може мати різну природу і бути спричинено пластичною деформацією, деякими азотними центрами, для частини фіолетових кристалів — радіаційним впливом, а природа забарвлення деяких інтенсивно забарвлених у фіолетовий колір діамантів ще є загадкою.

Фотолюмінесценція більшості самотканських мікродіамантів також незвичайна — оранжева [10, 13], що є рідкістю серед діамантів із відомих кімберлітових родовищ. Така люмінесценція переважає серед кубічних кристалів. Лінія випромінювання в ультрафіолетовому промінні 575 нм, яка обумовлює оранжеве світіння, є характерною ознакою цих діамантів. Окрім того, в спектрах фотолюмінесценції самотканських фіолетових мікродіамантів фіксується ще ряд ліній випромінювання (409, 389 нм) [11], які раніше були невідомі для кристалів природного діаманту.

Азот є основною домішкою в природних діамантах (до 0,2 %). Переважна більшість діамантів із відомих кімберлітових родовищ — це азотні кристали. Велика частина самотканських мікродіамантів є тут винятком — вони безазотні чи малоазотні. Для вивченої колекції співвідношення кристалів діаманту за фізичною класифікацією таке (типи, %) [5]: IaA — 22, IaAB — 11, Iab — 27, Ib — 13 і IIa — 27. Тобто у майже третини кристалів не виявлені домішки азоту або їх менше 20 ppm в кристалі. Виходячи із визначеного вмісту типів IaA (22 %), Iab (27 %) і Ib (13 %), що відображає відносно низький агрегаційний стан домішок азоту в кристалах, можна вважати, що значна частина кристалів діаманту не зазнала тривалого перебування в мантиї. Хоча серед самотканських мікродіамантів трапляються кристали з великим вмістом азоту (до 2000 ppm) та зі зрілою еволюцією азотних центрів, що свідчить про тривале перебування таких діамантів у мантийних глибинах.

Однак наведені вище морфологічні, спектроскопічні і хімічні особливості самотканських мікродіамантів не дають змогу однозначно вияснити їхнє походження: якими є материнські породи, точні умови росту і вік діамантів, якою була їх післяростова історія, яка магма винесла їх на поверхню, скільки було корінних джерел, де вони розташовані тощо. Вони є ознакою специфіки самотканських мікродіамантів, яка вказує на їхню відмінність від діамантів із відомих діамантоносних корінних і теригенних порід. Обґрунтованіше відповідає на деякі питання щодо походження самотканських мікродіамантів вивчення їхніх мінеральних включень і ізотопного складу вуглецю. Вивчення включень важливо ще й з іншої причини — в розсіпу Самоткань не виявлені мінерали-супутники діаманту (наприклад із кімберлітів: піроп, піроп-альмандин, хромшпінеліди, пікроільменіти, хромдіюксиди), тобто індикаторні мінерали діамантоносної породи. Результати досліджень свідчать, що в самотканських мікродіамантах фіксуються як включення мінералів перидотитової (лерцолітової), так і еклогітової глибинних асоціацій [17]. Також вони містять різні флюїдні включення, які є типовими для мантійних діамантів і відтворюють їх карбонатну та карбонатно-силікатну систему кристалізації, багату на луги і леткі компоненти.

За розрахунками [18], температура і тиск рівноваги включень у деяких самотканських мікродіамантах становлять відповідно 1160—1220 °C та 4,9—5,5 ГПа, що відповідає аналогічним *PT*-показникам рівноваги включень для переважної більшості мантійних діамантів із різних діамантоносних провінцій світу. Якщо врахувати величину поверхневого теплового потоку для більшої частини Середньопридніпровського мегаблоку і суміжних йому мегаблоків Українського щита, величину модельного теплового потоку в різновікових діамантоносних провінціях світу і положення отриманих *PT*-показників рівноваги включень на кривих кондуктивних геотерм, розрахованих для поверхневого теплового потоку 39—41 мВт/м², можна передбачати місцеві корінні джерела для самотканських мікродіамантів та їх можливий протерозойський вік [18].

За результатами вивчення ізотопів вуглецю для індивідуальних самотканських мікродіамантів разом з ізотопно легкими діамантами

виявлено ізотопно важкі діаманти [16]. Отримані значення $\delta^{13}\text{C}$ для самотканських мікродіамантів коливаються в широких межах від $-32,5$ до $-2,5$ ‰. Тепер, поєднуючи широкий діапазон ізотопного складу вуглецю з таким важливим показником як переважання кубічної форми самотканських мікродіамантів, можна передбачати домінування еклогітового середовища кристалізації діаманту. Однак наявність включень олівину і енстатиту у самотканських мікродіамантах є свідченням їх росту також у перидотитовому середовищі. Разом вони вказують на їхню мантійну природу. Загалом можна припускати їх кристалізацію у пересиченому вуглецем середовищі та швидкий ріст кристалів. Можна також говорити про відносно короткий час і багато місць росту кристалів. Переважання кубів може свідчити про утворення самотканських мікродіамантів за найнижчої порогової температури кристалізації. Таким мало би бути материнське середовище і умови росту самотканських мікродіамантів, а їхнім транспортером у земну кору можуть бути не тільки відомі діамантоносні вулканіти, а й ще невідомі вулканіти, відмінні від кімберлітів, лампроїтів і лампрофірів. Імовірний вік цих вулканітів — ранньопротерозойський.

Утім, питання про конкретну кристалічну породу самотканських мікродіамантів залишається відкритим, місця локалізації їх корінних тіл не виявлені. До речі, передбачається, що джерелом самотканського імпактного діаманту може бути метеоритний кратер Терни поблизу м. Кривий Ріг. Також варто згадати, що в 12 км на північ від Кривого Рогу у верхньосарматських теригенних відкладах (с. Мар'янівка) було знайдено два мікродіаманти кубічного габітусу, один із них розміром $0,73 \times 0,38$ мм — найбільший діамантний куб, знайдений в Україні.

Вважаємо, що необхідна ревізія відповідного геологічного матеріалу Середньопридніпровського мегаблоку та суміжних районів на предмет діамантоносності, особливо ретельно треба проаналізувати дані про прояви тут пізньоархейсько-ранньопротерозойського вулканізму і звернути увагу на лампрофіри, метаконатіти, туфи ультраосновних порід та породи талькового горизонту.

Автор вдячний І.В. Гурненку за допомогу в електронно-мікроскопічних дослідженнях кристалів діаманту.

ЛІТЕРАТУРА

1. Афанасьев В.П., Ефимова Э.С., Зинчук Н.Н., Коптиль В.И. Атлас морфологии алмазов России. Новосибирск: Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГГМ, 2000. 294 с.
2. Бартошинський З., Бекеша С., Винниченко Т., Побережська І. Морфологія та оптичні властивості алмазних кубів та тетракедаєдрів із кимберлітів. *Мінерал. зб.* 2003. № 53, вип. 1–2. С. 15–34.
3. Бартошинский З.В., Квасница В.Н. Кристалломорфология алмаза из кимберлитов. Киев: Наук. думка, 1991. 172 с.
4. Зинчук Н.Н., Коптиль В.И., Квасница В.Н. Особенности мелких алмазов из кимберлитов и россыпей Сибирской платформы (Якутия). *Мінерал. журн.* 2003. **25**, № 4. С. 32–47.
5. Лыченко К.О., Квасница В.М., Таран М.М. Мікроалмази із кимберлітів і розсіпні алмази України: їх особливості за даними інфрачервоної спектроскопії. *Зан. Укр. мінерал. т-ва.* 2007. **4**. С. 13–37.
6. Лаврова Л.Д., Печников В.А., Плешаков А.М., Надеждина Е.Д., Шуколюков Ю.А. Новый генетический тип алмазных месторождений. М.: Науч. мир, 1999. 228 с.
7. Орлов Ю.Л. Морфология алмаза. М.: Госгеолтехиздат, 1963. 235 с.
8. Орлов Ю.Л. Минералогия алмаза. М.: Наука, 1973. 223 с.
9. Полканов Ю.А. Об алмазах кубического габитуса из третичных россыпей Приднепровья. *Докл. АН СССР.* 1967. **173**, № 4. С. 901–902.
10. Полканов Ю.А. Мелкие алмазы песчаных отложений: распространение, свойства, происхождение, значение. Симферополь: СПД Барановский А.Э., 2009. 228 с.
11. Таращан А.Н., Лупашко Т.Н. Новые данные о спектрах фотолюминесценции природных алмазов. *Мінерал. журн.* 1999. **21**, № 2/3. С. 39–44.
12. Ферсман А.Е. Кристаллография алмаза. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 566 с.
13. Юрк Ю.Ю., Кашкаров И.Ф., Полканов Ю.А., Еременко Г.К., Яловенко И.П. Алмазы песчаных отложений Украины. Киев: Наук. думка, 1973. 167 с.
14. Goldschmidt V. Atlas der Krystallformen. Heidelberg: C. Winters Universitätsbuchhandlung, 1916. Band 3, tafel 17–48, text 37–51.
15. Kvasnitsa V.N., Zinchuk N.N., Koptil V.I. Tipomorphizm of diamond microcrystals. Moscow: Nedra, 1999. 224 p.
16. Kvasnitsa V.N., Silaev V.I., Smoleva I.V. Carbon isotopic composition of diamonds in Ukraine and their probable polygenetic nature. *Geochem. Intern.* 2016. **54**, № 11. P. 948–963. <https://doi.org/10.1134/S0016702916090020>
17. Kvasnytsya V.M., Wirth R. Nanoinclusions in microdiamonds from Neogenic sands of the Ukraine (Samotkan' placer): a TEM study. *Lithos.* 2009. **113**. P. 454–464. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2009.05.019>
18. Vyshnevskiy O.A., Kvasnytsya V.M. On the provenance of diamonds from Samotkan placer (Middle Dnipro area, Ukraine). *Тези наук. конф. "Здобутки і перспективи розвитку геологічної науки в Україні"*, присвяченої 50-річчю Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М.П. Семененка. Київ: ІГМР НАН України, 2019. **1**. С. 138–139.

Надійшла 16.12.2019

REFERENCES

1. Afanasyev, V.P., Efimova, E.S., Zinchuk, N.N. and Koptil, V.I. (2000), *Atlas of the morphology of diamonds in Russia*, Publ. House of the SB RAS, SIC OIGGM, Novosibirsk, RU, 294 p. [in Russian].
2. Bartoshinsky, Z., Bekesha, S., Vinnichenko, T. and Poberezhska, I. (2003), *Mineral. Review*, Vol. 53, No. 1-2, Lviv, UA, pp. 15-34 [in Ukrainian].
3. Bartoshinsky, Z.V. and Kvasnitsa, V.N. (1991), *Crystallomorphology of diamond from kimberlites*, Nauk. dumka, Kyiv, UA, 172 p. [in Russian].
4. Zinchuk, N.N., Koptil, V.I. and Kvasnitsa, V.N. (2003), *Mineral. Journ. (Ukraine)*, Vol. 25, No. 4, UA, pp. 32-47 [in Russian].
5. Ilchenko, K.O., Kvasnytsya, V.M. and Taran, M.M. (2007), *Proc. Ukr. Mineral. Soc.*, Vol. 4, UA, pp. 13-37 [in Ukrainian].
6. Lavrova, L.D., Pechnikov, V.A., Pleshakov, A.M., Nadezhdina, E.D. and Shukolyukov, Yu.A. (1999), *A new genetic type of diamond deposits*, Scientific world press, Moscow, RU, 228 p. [in Russian].
7. Orlov, Yu.L. (1963), *Morphology of diamond*, Gosgeoltekhizdat, Moscow, RU, 235 p. [in Russian].
8. Orlov, Yu.L. (1973), *Mineralogy of diamond*, Nauka, Moscow, RU, 223 p. [in Russian].
9. Polkanov, Yu.A. (1967), *Rep. USSR Acad. Sci.*, Vol. 173, No. 4, RU, pp. 901-902 [in Russian].
10. Polkanov, Yu.A. (2009), *Fine diamonds of sand deposits: distribution, properties, origin, value*, SPD Baranovsky A.E. press, Simferopol, UA, 228 p. [in Russian].
11. Tarashchan, A.N. and Lupashko, T.N. (1999), *Mineral. Journ. (Ukraine)*, Vol. 21, No. 2/3, UA, pp. 39-44 [in Russian].
12. Fersman, A.E. (1955), *Crystallography of Diamond*, AS USSR, Moscow, RU, 566 p. [in Russian].
13. Yurk, Yu.Yu., Kashkarov, I.F., Polkanov, Yu.A., Eremenko, G.K. and Yalovenko, I.P. (1973), *Diamonds from sands of Ukraine*, Nauk. dumka, Kyiv, UA, 167 p. [in Russian].

14. Goldschmidt, V. (1916), *Atlas der Krystallformen*, C. Winters Universitätsbuchhandlung, Heidelberg: Band 3, tafel 17-48, text 37-51.
15. Kvasnitsa, V.N., Zinchuk, N.N. and Koptil, V.I. (1999), *Tipomorphizm of diamond microcrystals*, Nedra, Moscow, RU, 224 p. [in English and Russian].
16. Kvasnitsa, V.N., Silaev, V.I. and Smoleva, I.V. (2016), *Geochem. Intern.*, Vol. 54, No. 11, RU, pp. 948-963. <https://doi.org/10.1134/S0016702916090020>
17. Kvasnytsya, V.M. and Wirth, R. (2009), *Lithos*, Vol. 113, pp. 454-464. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2009.05.019>
18. Vyshnevskiy, O.A. and Kvasnytsya, V.M. (2019), *Abstracts of scientific conference "Achievements and prospects of development of geological science in Ukraine"*, devoted to the 50th anniversary of the Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of NAS of Ukraine, Vol. 1, Kyiv, UA, pp. 138-139.

Received 16.12.2019

V.M. Kvasnytsya, 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>

CRYSTAL MORPHOLOGY AND ORIGIN OF MICRODIAMONDS FROM NEOGENE SAMOTKAN PLACER (MIDDLE-DNIPRO AREA)

Using the methods of scanning electron microscopy and goniometry, the crystal morphology of microdiamonds from the Neogene Samotkan placer on the Middle Dnipro megablock of the Ukrainian Shield was studied. Crystal sizes do not exceed 0.3 mm in diameter. More than a hundred crystals are studied, selected from more than a thousandth collection. Crystal morphological features of microdiamonds are established. Among polyhedra of Samotkan microdiamonds, crystals with flat and smooth faces of various simple forms characteristic in the hexoctahedral symmetry class of diamond crystals (cube, rhombic dodecahedron, trigon- and tetragontrioctahedra, tetrahexahedra and hexoctahedra) are relatively common. Such forms are almost always incomplete and developed mainly on crystals of an octahedral habit. The diversity and dominance of cubic forms is a characteristic feature of Samotkan microdiamonds. As a rule, cubic crystals are complicated by the faces of the octahedron and rhombic dodecahedron (rounded dodecahedron). Two contrasting types of cubic crystals are distinguished by the mechanism of their formation — tangential in case of the degeneration of the (111) planes and normal (columnar) growth. Various twins and aggregates from cubes or octahedrons are another features of Samotkan microdiamonds. The twins of octahedrons and cubes after spinel law are widespread, as well as fivefold twins of octahedrons after spinel law and parallel crystal intergrowths occur. Crystallization of skeletal and vertex forms is also relatively often manifested on polyhedra. Octahedral crystals with signs of natural dissolution were found. Microtopography of the faces of various simple forms of polyhedra is common. In general, the crystallographical features of Samotkan microdiamonds indicate their crystallization in a carbon-saturated medium and also the rapid growth of crystals. The questions of the origin of Samotkan microdiamonds, their possible crystallization parental medium and their bedrock are considered. The mantle eclogite medium of diamond crystallization and the Early Proterozoic age of their primary sources are predicted.

Keywords: microdiamonds, crystal morphology, microtopography, microstructure, origin, Neogene Samotkan placer, the Ukrainian Shield.