

## МІНЕРАЛЬНІ І ФЛЮЇДНІ ВКЛЮЧЕННЯ В КРИСТАЛАХ АЛМАЗУ І ЦИРКОНУ ІЗ КІМБЕРЛІТІВ ТА ЇХ ГЕНЕТИЧНЕ ЗНАЧЕННЯ

---

*До 80-річчя від дня народження  
професора З.В. Бартошинського*

*Вперше детально описано два сингенетичні включення піроп-гросуляр-уваровітового складу і одне олівіну (?), що виявлені у монокристалах алмазу із розсипищ р. Біллях (Анабарський щит, Російська Федерація). Підкреслено, що сингенетичними до алмазу є лише мінерали-включення з класичними ознаками сумісного росту індивідів (індукційні ребра і грані, псевдорєбра і псевдограні), за Д.П. Григор'євим. Рідкісні знахідки сингенетичних мінералів-включень в алмазі вказують на те, що у природі їх сумісний з алмазом ріст відбувався рідко і був короткотривалим відносно часу кристалізації алмазу. Тому твердження про кристалізацію алмазу із ультрабазитових та еклогітових магм різного складу, яке домінує серед геологів, є помилковим. Такий висновок підтверджено мінеральним і хімічним складом флюїдних включень в алмазі та цирконі кімберлітового типу – парагенетичного до алмазу мінералу. На основі еволюції алмазоутворювального флюїду запропоновано різні способи надходження мантійної речовини у кору й на поверхню Землі.*

---

**Передмова.** Професор З.В. Бартошинський не тільки був неперевершеним знавцем кристаломорфології алмазу, а й провів декілька унікальних досліджень мінеральних і флюїдних включень у природному алмазі. Насамперед треба відзначити гоніометрію ідіоморфних мікрровключень олівіну в якутських алмазах [4]. Згадана публікація й нині є єдиною у світі, в якій за даними інструментальних досліджень показано, що кристали-включення олівіну в алмазах мають власну форму. Хоча автори цієї роботи не акцентували увагу на генетичному типі рідкісних включень олівіну, своїми дослідженнями вони, безумовно, доводять їх протогенетичну природу. Таке трактування природи включень олівіну в алмазах суттєво міняє погляд на їх парагенезис. З.В. Бартошинський також гоніометрично досліджував так звану алмазну форму інших включень в алмазах (того ж олівіну і гранату) [5, 23] і вважав, що подібні включення є негативними кристалами алмазу, тобто їх огранення індуковано алмазом.

Багатогранні наукові інтереси З.В. Бартошинського охопили і таку проблему, як роль летких компонентів у процесах генезису алмазів. З його ініціативи в Інституті геології і геохімії горючих копалин АН України у

м. Львові було проведено дослідження летких речовин флюїдних включень у якутських і біломорських алмазах. З'ясовано, що різні морфологічні типи кристалів алмазу з різних родовищ Якутії і Біломор'я (Росія) розрізняються за газонасиченістю та складом самих газів [1—3]. Щодо особливостей складу вивільнених з алмазів газів сиктивкарські мінералоги навіть запропонували ввести “критерій Бартошинського” [25], за яким розрізняють алмази із різним співвідношенням вмісту діоксиду і оксиду вуглецю у газовій фазі. Бідніший склад газів у біломорських алмазах може свідчити про відмінності складу вихідного флюїду та умов кристалізації алмазів Східноєвропейської і Сибірської платформ.

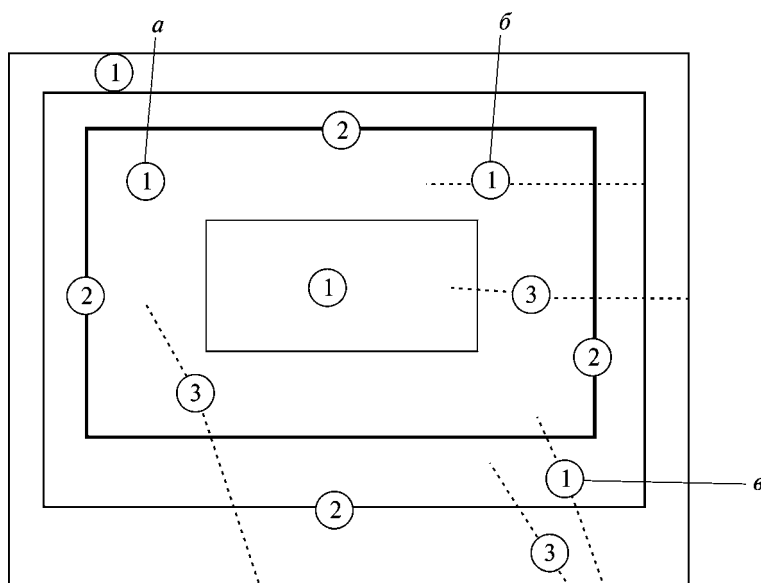
**Вступ.** Алмаз із кімберлітів за поширенням, умовами кристалізації, хімічним складом і властивостями — специфічний мінерал. Інтерес до генезису алмазу з часом не спадає, по-перше, тому що знання про умови утворення його родовищ сприяють цілеспрямованому проведенню їх прогнозу, пошуку, розвідки та оцінки, по-друге, оскільки алмаз є, безумовно, одним із найбільш глибоких утворень Землі, то дослідник, маючи змогу безпосередньо вивчати речовину, що перебувала на великих глибинах, отримує безцінну інформацію про процеси глибокого мінералоутворення. Вивчення алмазу, як твердого тіла, збагатило науку численною інформацією про особливості його структури, хімічного та ізотопного складу, що використовується для реконструкції його генезису.

Важливими для встановлення умов алмазоутворення є мінералогічні барометри, що ґрунтуються на використанні залишкових напружень мінералів-включень (наприклад, коеситу, рутилу та ін.) у кристалах алмазу. Знання стосовно особливостей морфології і хімічного складу мінералів-включень в алмазі розширюють відомості про середовище алмазоутворення.

Для розуміння генезису природного алмазу важливими є також дані щодо його синтезу. Численні експерименти з отримання алмазу проводили із середовищ різного хімічного складу [14], у широкому діапазоні значень температури і тиску: як у зоні *PT*-параметрів його термодинамічної стабільності, так і поза її межами — у метастабільній зоні — за тиском до  $1 \cdot 10^{-5}$  Па і навіть у вакуумі й за температури, близької до кімнатної. Така інформація безпосередньо не дає прямої відповіді на особливості ендегенного алмазоутворення, але корисна для суджень про склад природного алмазоутворювального флюїду і пояснення можливих умов заліковування тріщин в алмазі тощо.

Проте лише за результатами дослідження флюїдних включень можна одержати вагомі факти щодо температури, тиску, в'язкості, густини і хімічного складу мінералоутворювального середовища, в якому зароджувався, ріс, а після перерви (або часткового розчинення) знову зростав алмаз. Дослідник, таким чином, отримує достовірну і найповнішу за обсягом інформацію про алмазоутворювальний флюїд та його зміну в часі. За еволюцією такого флюїду також передбачають, що не менш важливо, можливі шляхи надходження алмазу із глибин мантії на земну поверхню.

На нашу думку, підхід до реконструкції умов утворення кристалів природного алмазу має бути, з певними відмінностями, таким самим, як і для будь-якого іншого мінералу. Проблема його походження, як і способу(-ів) надходження у верхні горизонти кори і на поверхню Землі, ще далека від свого розв'язання, в першу чергу внаслідок недостатнього вивчення самого алмазу, а саме: а) обґрунтованого визначення сингенетичних до нього мінералів; б) детального дослідження його первинних і вторинних флюїдних включень; в) ґрунтового вивчення його онтогенії. Нижче увагу зосереджено на двох перших напрямках досліджень.

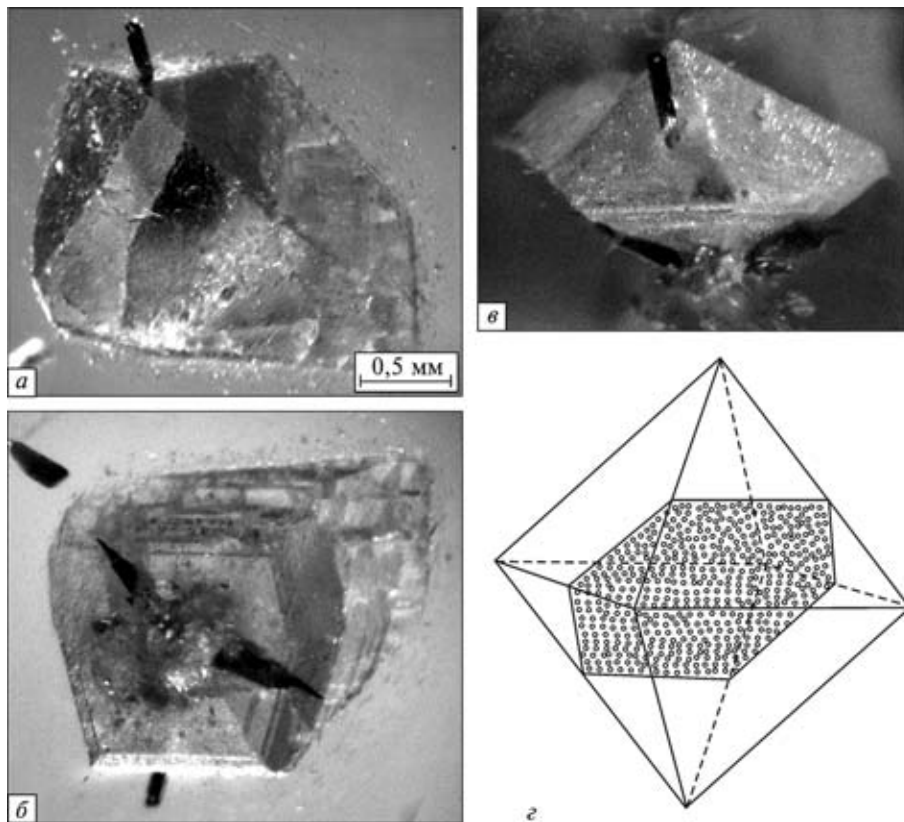


**Рис. 1.** Схема можливого розміщення мінералів-включень прото- (1), син- (2) та епігенетичного (3) типів у кристалі мінералу-господаря. Пунктирною лінією позначено заліковані тріщини, жирною — зони мінералу-господаря, що кристалізувалися одночасно із сингенетичними (2) включеннями; а—в — можливі варіанти захоплення протогенетичних включень

Тут і далі термін “флюїд” вживано у його широкому тлумаченні: він охоплює будь-яке мінералоутворювальне середовище з малою механічною міцністю (газ, рідину, розплав). У разі потреби зазначено, чим конкретно представлений флюїд: сольовим чи силікатним розплавом, рідким розчином азоту,  $\text{CO}_2$ , вуглеводнів тощо. У статті генетичний поділ флюїдних включень відповідає класифікації В.А. Калюжного [12] і Г.Г. Леммлейна. Це має відношення й до інших термінів, що застосовані нами для опису флюїдних включень.

**Генетична класифікація мінеральних включень.** Відомо, що у природних кристалах, і алмаз тут не може бути винятком, існують мінерали-включення трьох генетичних типів (рис. 1): а) протогенетичні (утворилися раніше зони мінералу-господаря, в якій вони перебувають); б) сингенетичні (для них притаманний одночасний ріст мінералу-включення і мінералу-господаря: при цьому певній зоні росту кристала мінералу-господаря відповідає точно визначена зона росту мінералу-включення, які стикаються між собою); в) епігенетичні (кристалізувалися як пізніше за зону росту мінералу-господаря, з якою вони контактують, так і взагалі після його росту). В останньому випадку мінерали-включення потрапляють у кристал мінералу-господаря тільки по залікованих тріщинах, що виходять на його поверхню. Іншими словами, за часом утворення епігенетичні включення молодші (тобто пізніші) як за зону, в якій вони розміщені, так і за будь-яку іншу зону кристала мінералу-господаря.

Наведена генетична класифікація твердих включень відповідає класифікації, яку запропонували В.А. Мокієвський і Ян Фен-Цзюнь [17], з однією лише відмінністю, що ми не вживаємо наведені авторами синоніми до основних таксонів (відповідно, первинні, одночасні, вторинні). Такі терміни застосовують і у генетичній класифікації флюїдних включень, проте мають дещо інші дефініції (з них перші два ідентичні). Тому їх сумісне використання заважатиме порозумінню між дослідниками.



**Рис. 2.** Сингенетичне включення флюориту зеленого кольору у кристалі топазу із занориша пегматитів Волині:

*a* — ідіоморфна форма включення (октаедр), що сформувалася в процесі росту флюориту у вільному просторі (вигляд зверху); *б* — форма включення, що виникла внаслідок сумісного (індукційного) росту флюориту і топазу (вигляд знизу); *в* — те саме включення (вигляд спереду): верхня частина характеризує вільний ріст включення, нижня — сумісний ріст; виділення чорного кольору — ільменіт; *г* — схема, що ілюструє можливість виникнення площини шестигранника з індукційних ребер (площина індукції виділена крапом) у процесі сумісного росту включення у вигляді октаедра з мінералом-господарем у випадку осідання його зародка на грань кристала мінералу-господаря однією з граней октаедра

Підкреслимо також, що форма протогенетичних та епігенетичних включень може бути різною (кристалики або їх уламки, заокругленою), а форма сингенетичних включень особлива. Вона складається з ділянок як індукційного (сумісного), так і вільного росту (рис. 2). Оскільки протогенетичні включення можуть потрапляти у мінерал-господар не лише в результаті їхнього осідання на грані в період росту кристалів мінералу-господаря (рис. 1, *a*), але, як і епігенетичні включення, й по залікованих тріщинах (зокрема, і у флюїдні включення як ксеногенні фази), то необхідні додаткові аргументи для їх ідентифікації (розділення). Ці включення розрізняються між собою лише тим, що тріщини з епігенетичними включеннями заліковувалися вже після росту мінералу-господаря (тобто заліковані тріщини виходять на його поверхню), а протогенетичні мінерали-включення можуть траплятися у тріщинах, що заліковувалися як під час (див. рис. 1, *б*), так і після росту (рис. 1, *в*) мінералу-господаря. Більше того, не можна виключати випадків (імовірно, рідкісних) перебування в одній і тій самій залікованій тріщині прото- й епігене-

тичних включень. Утім необхідною умовою у такому разі є збереження у мінералоутворювальному флюїді після росту мінералу-господаря обох генетичних типів мінералів-включень. Іншими словами, для розділення прото- та епігенетичних включень слід глибоко розуміти процес мінералоутворення.

Отже, вищезгадана генетична класифікація мінеральних включень (вона не стосується розпаду твердих розчинів мінералів) ґрунтується на одному чіткому й об'єктивному критерію — оцінці відносного віку мінералу-включення стосовно мінералу-господаря, точніше, зони кристала мінералу-господаря, в якій ці включення перебувають. Однак втілювати цей очевидний і простий принцип генетичного поділу мінералів-включень у практику мінералогічних досліджень часто далеко непросто, і в першу чергу це стосується, на наш погляд, обґрунтованого виділення включень епігенетичного типу.

Також наголошуємо, що наведена вище генетична класифікація мінералів-включень стосується винятково включень: *включення — це будь-яка ізольована з усіх боків у процесі кристалізації ділянка в тілі кристала, яка з останнім має фазову межу*. Оскільки ця дефініція несе важливе генетичне навантаження, в подальшому будемо її строго дотримуватися.

**Мінеральні включення в алмазі та їх природа.** Узагальнювальні результати дослідження виявлених мінералів-включень у кристалах алмазу із кімберлітів подано у низці робіт [22, 30, 31, 41]. На цій основі будуються уявлення про особливості алмазоутворення в умовах мантії. Серед мінеральних включень виділяють прото-, син- і епігенетичні. Найчастіше до так званих первинних (сингенетичних) мінеральних включень відносять силікати (такі як гранати, олівін, піроксени), оксиди (наприклад хроміти) і сульфіді. За наявністю цих мінералів та їх асоціацій визначають мантіїні парагенезиси (перидотитові чи еклогітові) і встановлюють термобарометричні параметри кристалізації алмазів. Зазвичай у кристалах алмазу трапляються включення мінералів одного парагенезису, проте деякі кристали алмазу містять включення перидотитового й еклогітового парагенезисів. Поява подібної консервації включень в алмазі пояснюється недостатньо аргументовано [9]. За деякими мінеральними включеннями (феропериклаз в асоціації з Mg,Si- і Ca,Si-“перовськітом”, мейджоритовим гранатом) намагаються встановити навіть більш-менш точне місце утворення алмазу в мантії [27, 28, 32–34, 46] і зараховують алмази з такими мінеральними включеннями до надглибоких утворень, які виростили в нижній мантії. Однак через низку причин обґрунтування поділу мінеральних включень в алмазах за їх генетичними типами здебільшого ігнорують.

Складність поділу мінералів-включень у кристалах алмазу за генетичними ознаками є показовою, оскільки інформація про знахідки у ньому типових сингенетичних включень майже відсутня [13, 18, 26, 48]. Ю.Л. Орлов [18] чи не вперше засвідчив, що лише на включеннях алмазу і гранату в алмазі встановлені типові індукційні грані (грані сумісного росту).

Усвідомлюючи генетичну значущість виявлення мінералів, що одночасно кристалізувалися з алмазом, і переважно не маючи прямих доказів цього (тобто знахідок належної кількості типових сингенетичних включень різних мінералів), автори зазвичай вдаються до різноманітних логічних міркувань щодо виділення генетичних типів включень у кристалах алмазу. Для доказу одночасності росту й парагенетичного зв'язку мінералів-включень із самим алмазом використовують набір критеріїв, що найповніше згруповані у праці [22]: 1) морфологічні співвідношення включень з алмазом; 2) закономірне орієнтування (епітаксія) мінералів-включень відносно алмазу; 3) відсутність уламків кристалів серед включень в алмазах; 4) майже повна

відсутність вторинних змін мінералів, що захоплені алмазом, за повсюдного прояву таких змін у мінералах кімберлітів; 5) однаковий склад різних зерен одного і того самого мінералу в одному алмазі за достатньо широкого діапазону складу включень у різних кристалах алмазу; 6) наявність закономірних парагенетичних співвідношень між включеннями різних мінералів в одному алмазі; 7) закономірні відмінності складу мінералів і їх парагенезисів, законсервованих алмазом, від мінеральних парагенезисів фацій менших тисків. Іноді саме перебування мінералу-включення всередині кристала алмазу вважають достатнім аргументом для віднесення його до сингенетичних [18].

Із перелічених вище ознак лише перша є об'єктивною, оскільки вона ґрунтується на ростових відношеннях між мінералом-включенням і мінералом-господарем. Проте і тут для доказу сингенетичності мінералів до алмазу крім типових ознак сингенетичних мінералів-включень, за Д.П. Григор'євим, залучають ще нетрадиційний критерій. Він ґрунтується на формі мінералів-включень (гранату, олівіну, орто- і клінопіроксену, хроміту та ін.), що відповідає огранці алмазу (часто октаедру). Про їх природу немає єдиної думки. Одні дослідники вважають, що таку форму включення отримали ще в процесі їх захоплення кристалом алмазу, інші — вона є наслідком набуття ними форми негативного кристала. Наприклад, М.В. Соболев із співавторами [22, 24] вважають, що така форма виникла внаслідок заповнення різними мінералами характерних “октаедричних ямок росту” на гранях кристалів алмазу. В процесі росту кристала ці мінерали, зберігаючи алмазну огранку, поступово перекриваються його шарами. Таке пояснення утворення “алмазної” форми включень викликає заперечення, хоча б тому, що “ямки росту” на поверхнях {111} кристалів алмазу не є власне октаедричними. За даними гоніометрії, тільки дно обернено паралельних трикутних впадин належить октаедру, тоді як стінки впадин відповідають різним тригонтриоктаедрам. Інакше кажучи, нижня (за наявності dna впадини) і паралельна їй верхня (перекриття) грані включення будуть октаедричними площинами, решта три грані — штрихованими площинами (*hhl*), до того ж бракує ще три грані для утворення октаедра. Якщо б тільки шляхом заповнення “ямок росту” утворювалось огранення включень, вони мали б мати форму псевдотетраєдрів. З.В. Бартошинський і співавтори [5] обґрунтовують цей критерій сингенетичності включень до алмазу дещо інакше: оскільки зовнішня огранка включень гранату в алмазі не відповідає внутрішній симетрії мінералу (дані рентгенометрії), то “морфологія цих включень не властива їм, а індукована, тобто зумовлена алмазом, що їх вміщує, а виявлені форми є індукційними гранями”. Останнє твердження, на наш погляд, є справедливим частково, тому що доказ впливу алмазу на форму включення не викликає сумніву. Питання полягає в іншому: коли і яким способом відбувалася встановлена зміна форми мінералу-включення — після його повної консервації в алмазі чи ще в період росту алмазу з частково захопленням включенням.

За даними [16], зміна форми мінералу-включення після його повної консервації в алмазі можлива внаслідок твердофазового перетворення. Цьому процесу сприяють: а) тривалий час (сотні мільйонів — мільярди років) перебування кристалів алмазу в мантії за високих термобарометричних параметрів; б) наявність плівки флюїду на контактній фазі “мінерал-включення — алмаз”. Сама ж задача зміни форми включень теоретично була розв'язана Я.Є. Гегузінім [10]. На цій основі А.Б. Мальков і А.М. Асхабов [15, 16] запропонували формулу оцінки часу перетворення

форми включень. Зміна форми флюїдних включень у напрямі підпорядкування її структурним особливостям мінералу (тобто набуття ними форми негативних кристалів) є поширеним явищем у природі, загально визнаним. Таким чином, на нашу думку, використовувати критерій віднесення мінеральних включень в алмазі за формою їхньої алмазної огранки до сингенетичних неправомірно.

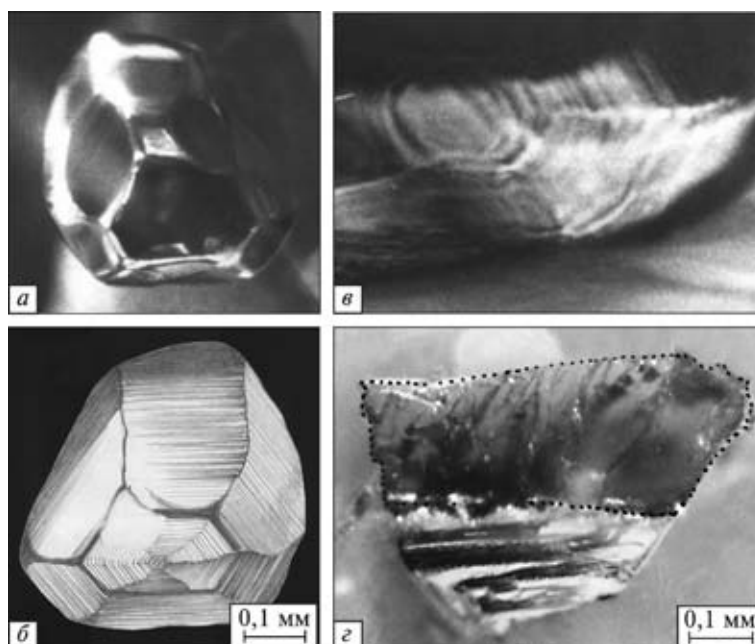
Набуття несингенетичним мінералом-включенням алмазної огранки можливе і в період росту кристалів алмазу, але за умови, що при цьому відбувається не ріст, а лише перевідкладання мінеральної речовини включення (іншими словами, алмазоутворювальне середовище є також аутигенним середовищем і для мінералу-включення). Оскільки грані кристала алмазу вирізняються значно більшим значенням вільної поверхневої енергії відносно граней мінералів-включень, то їхня морфологія (ідіоморфізм) [19] буде підпорядкована кінетиці росту граней кристала алмазу. Проте необхідною умовою для реалізації наслідків такого впливу росту граней алмазу стосовно мінералів-включень має бути, ймовірно, часткова консервація включень кристалом алмазу.

Ця думка підтверджується знахідкою у кристалах алмазу із розсипища р. Біллях, Анабарський щит (Якутія, РФ) двох сингенетичних включень піроп-гросуляр-уваровітового гранату (рис. 3), а також одного включення олівину (?) (рис. 4). За формою вони дещо відрізняються від звичних сингенетичних включень. Їм властива типова для сингенетичних включень форма поверхні сумісного росту мінералів, що містить усі необхідні його елементи (індукційні грані і ребра, псевдограні, псевдорєбра) (рис. 3, б—г, рис. 4, б). Відмінність полягає в тому, що та частина сингенетичного мінералу-включення, яка спочатку, ще в процесі сумісного росту з алмазом, контактувала лише з мінералоутворювальним флюїдом, обмежена не граничними формами, властивими структурі кристала мінералу-включення (гранату, олівину (?)), як зазвичай трапляється із сингенетичними включеннями в інших мінералах (див. рис. 2), а алмазу. Ідіоморфна частина включення, на наш погляд, сформувалась у такий спосіб: після припинення свого росту вона зазнавала лише перевідкладання речовини і під впливом перекристалізації набула алмазної огранки. Гоніометричними замірами на включенні гранату (див. рис. 3, а) встановлені такі найбільш розвинуті прості форми алмазу: {111}, {100}, {223}, {331}, {679}, {378}, {1.3.11} та ін. [13].

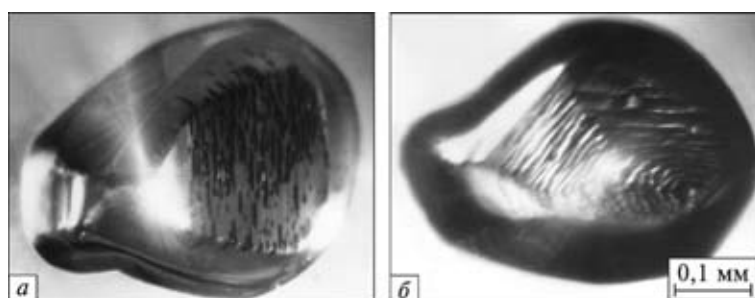
Формування плоских граней мінералів у процесах кристалобластезу, так званого явища ідіоморфізму, не має однозначного термодинамічного обґрунтування [19]. Ідіоморфізм кристалів визначається поверхневою енергією граней. Найімовірніше, що найбільш здатні до ідіоморфізму кристали, грані яких мають найвищу поверхневу енергію на межі із мінералоутворювальним флюїдом і водночас є гранями з найменшими значеннями цієї величини.

Як зазначено у передмові, на основі численних гоніометричних замірів встановлено, що включення кристалів олівину в алмазі мали властиву їм форму [4]. У такому разі олівін є достеменно не сингенетичним до алмазу мінералом, а протогенетичним. Разом з тим нами візуально виявлено сингенетичне включення олівину (?) в алмазі (див. рис. 4). Якщо наша діагностика мінералу правильна, то в одних випадках можливий одночасний ріст олівину з алмазом, а в інших — ні.

Невеликим перебільшенням, на нашу думку, є твердження, що у кристалах алмазу більшість мінералів-включень відповідає протогенетичному типу.



**Рис. 3.** Сингенетичні включення гранату у кристалі алмазу:  
*a* — частина включення 1, що має ідіоморфну алмазну огранку (вигляд зверху); *б* — те саме включення знизу, добре помітні ознаки сумісного росту (рисунок); *в* — деталь *б* (фотографія); *г* — при-шліфована частина включення піроп-гросуляр-уваровітового гранату 2 [13], виділена пунктирною лінією; його нижня частина індукована сумісним ростом гранату і алмазу



**Рис. 4.** Сингенетичне включення олівіну (?) в алмазі:  
*a* — вигляд ідіоморфної частини включення; добре видно численні темні виділення невідомого мінералу (сульфід ?) по спайності олівіну; *б* — форма нижньої частини включення, що індукована сумісним ростом обох мінералів

До такого самого висновку схиляються автори публікації [47]. Нагадаємо, що серед мінералів-включень у кристалах алмазу лише на алмазі, гранаті й олівіні (?) виявлені типові елементи індукційного росту індивідів, тобто за цими класичними ознаками лише гранат і олівін є сингенетичними до алмазу мінералами. Втім це зовсім не означає, що повсюдно кристали алмазу росли сумісно або з гранатом, або з олівіном, або з гранатом і олівіном разом.

**Флюїдні включення в алмазі та цирконі.** Пошуки флюїдних включень у кристалах ендегенного алмазу тривалий час були безуспішними [20]. І тільки порівняно недавно опубліковано численні результати аналізів їхнього



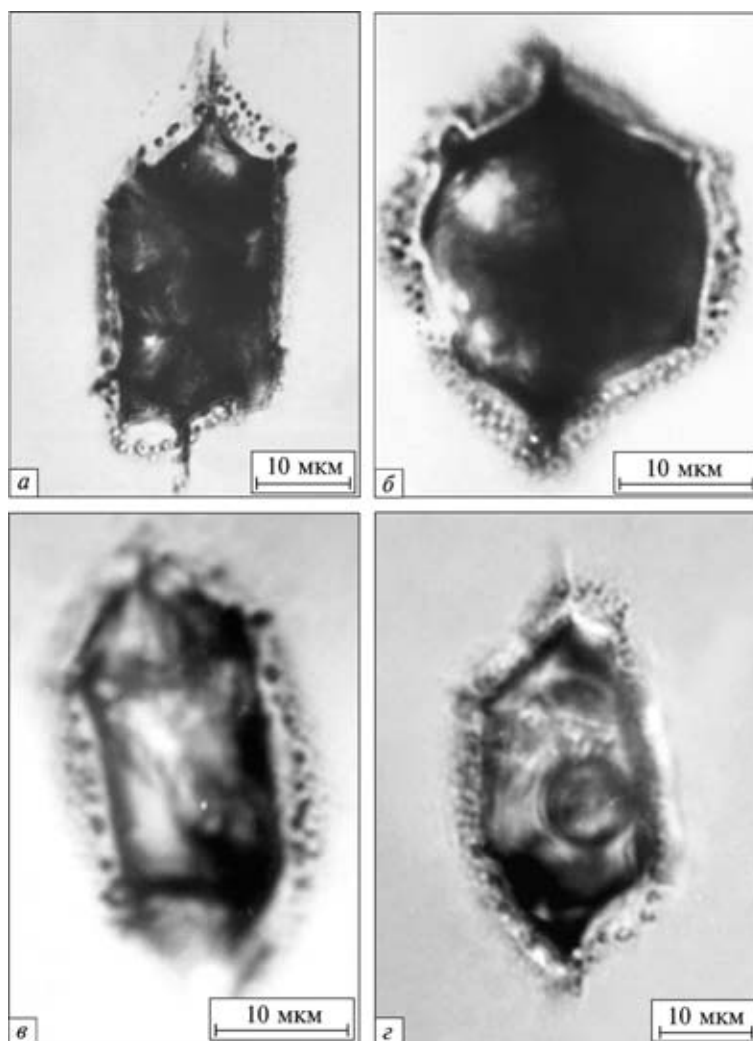
хімічного і мінерального складу. Такі включення встановлені і описані в алмазах з волокнистим механізмом росту (найчастіше в кубах і об'ємних кристалів) і в так званих центральних хмароподібних включеннях октаедричних кристалів алмазу із багатьох кімберлітових провінцій світу (наприклад [29, 35—40, 42—45, 48, 49]). Флюїдні включення є асоціаціями різних наномінералів (0,1—0,5 мкм), які виповнюють нано- і мікропорожнини в кристалах алмазу разом з різними леткими компонентами. Серед них є декілька основних типів включень: а) так званий карбонатитовий, багатий на різні карбонати і Mg, Ca, Fe, K; б) гідросилікатний, багатий на силікати, воду, Si, Al, K; в) гідросольовий, багатий на Cl, K, Na (наприклад [35, 36, 38, 39, 45]). Вважають, що найчастіше спостережувані мультикомпонентні мінеральні асоціації разом з лугами і леткими речовинами були захоплені алмазом у вигляді карбонатно-силікатних, карбонатних чи сольових розплавів, які в подальшому утворили різні мультифази залежно від складу флюїду. Ці фази представлені карбонатами, флогопітом, біотитом, висококремніевою слюдою, кіанітом, ільменітом, магнетитом, рутилом, K,Fe-сульфідами, апатитом, сильвіном тощо.

Зібраної інформації про результати вивчення флюїдних включень в алмазі та сингенетичних до нього мінералів ще недостатньо для розуміння всіх особливостей генезису ендеогенного алмазу. Проте вже є чимало даних, що розкривають деякі таємниці його становлення. Вагомий внесок тут належить результатам дослідження флюїдних включень у парагенетичному до алмазу мінералі — цирконі кімберлітового типу [6].

Оскільки за результатами дослідження циркону кімберлітового типу одержано важливу для реконструкції умов утворення алмазів інформацію, що суттєво доповнює отриману за флюїдними включеннями в алмазі, обґрунтовано, що він є парагенетичним до нього мінералом. По-перше, в алмазі й цирконі виявлені близькі (ідентичні) за складом флюїдні включення [7], що вказує на їх ріст із близького (ідентичного) за складом флюїду. Із середовища, що за хімічним складом близьке до вмісту флюїдних включень, синтезовано кристали алмазу [14]. По-друге, знахідки мікрокристалів алмазу в цирконі і, навпаки, мікровключень циркону в кристалах алмазу підтверджують можливість їх одночасного росту.

Циркон кімберлітового типу характеризується типоморфними ознаками, що зумовлені його ростом із специфічного флюїду — сольового розплаву [8]. У мінералі встановлено флюїдні включення, розміри яких набагато більші за виявлені в алмазах: відповідно 10—20, іноді до 40—50 (циркон) та 0,1—0,5, іноді до 1 мкм (алмаз). За такими розмірами флюїдних включень у цирконі отримано нову генетичну інформацію. Це стосується візуального визначення різних типів включень (рис. 5), співвідношень між фазами у включеннях, температур гомогенізації ( $T_r$ ), оцінки динамічної в'язкості флюїду за температур, близьких до  $T_r$  включень, особливостей зміни агрегатного стану вмісту включень під час їх нагрівання й охолодження. За останньою інформацією без додаткових досліджень встановлюють вміст включення — розкристалізований сольовий чи силікатний розплав [8]. Крім того, циркон відзначається значно меншою, ніж алмаз, міцністю, тому за ідентичних умов зміни *PT*-умов мінералоутворення (викиду матеріалу з глибин мантії у верхні шари кори й на земну поверхню) флюїдні включення у кристалах циркону зазнають експлозивного розтріскування, а в алмазі вони залишаються неушкодженими.

Розтріскування флюїдних включень у кристалах циркону, з одного боку, заважає, а з іншого — допомагає відтворенню умов становлення кімберлітів. Так, процес розтріскування зменшує загальну густину вмісту материнських



**Рис. 5.** Розтріскані флюїдні включення у цирконі кімберлітового типу:  
*a–в* — первинні включення розкристалізованого сольового розплаву, їхня газова фаза розміщується в інтерстиціях між твердими фазами, тому вона не концентрується в одному місці і не виділяється на фотографіях; *г* — первинне (?) включення збагаченого рідиною флюїду, внаслідок чого газова фаза набуває форми бульбашки

флюїдних включень і таким чином зумовлює підвищення температури їх гомогенізації порівняно з  $T_r$  нерозтрісканих включень. Проте він реагує на дуже важливі зміни  $PT$ -параметрів мінералоутворення: оскільки у цирконі розтріскались як включення безводного розкристалізованого сольового розплаву (тип 1), так і збагаченого водою флюїду (тип 2), можна стверджувати, що викид мантійного матеріалу на поверхню Землі відбувся вже після збагачення алмазоутворювального флюїду водою (рис. 5).

На пришліфованій поверхні включень типу 1 за даними електронно-зондового аналізу (мікроаналізатор JСХА-733) встановлено дві групи мінеральних фаз. Перша, що за площею дещо більша за 50 % пришліфованої поверхні включення, містить алюміній, кремній, натрій, калій, кальцій, а також у великій кількості фосфор, хлор, фтор і домішку сірки. Друга група,

ймовірно, представлена кальцитом [8]. Ця фаза бурхливо реагує із соляною кислотою. Включення містять, можливо, і  $\text{CaCl}_2$ , оскільки у включеннях, розгерметизованих у процесі нагрівання, в умовах зберігання на повітрі з'являється водний розчин унаслідок поглинання цієї сполукою вологи із повітря. За складом включення типу 1 подібні до флюїдних карбонатитових включень в алмазі.

Флюїдні включення типу 2 у цирконі з розсипищ району Жуніна (штат Мату-Гросу, Бразилія), а також із трубки Коффіфонтейн (ПАР) містять рідку фазу водного (гідросилікатного ?) розчину (вміст газу становить орієнтовно 10—15 % об'єму включення). За допомогою методів трансмісійної електронної мікроскопії (ТЕМ) встановлено, що материнське включення містить карбонат, Ті-магнетит, флогопіт,  $\text{KCl}$ ,  $\text{NaCl}$ . Фаза Ті-магнетиту зональна: периферійна зона збагачена  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  [7]. У флюїдних включеннях цього типу, можливо, слід розрізняти як мінерали-в'язні (дочірні мінерали), так і ксеногенні мінеральні фази. До перших, напевно, належать карбонат,  $\text{KCl}$ ,  $\text{NaCl}$ , до других — флогопіт, Ті-магнетит. Ця думка підтверджується хімічним складом дочірніх флюїдних включень (до 1—2 мкм), що виникли внаслідок заліковування тріщин розриву навколо материнського включення. Їхній вміст ( $\text{Ca}+\text{C}+\text{O}$ ) відзначається некристалічним станом речовини, оскільки ці включення у процесі підготування препаратів для вивчення методами ТЕМ не були пошкоджені і зберегли водний розчин. Ця характеристика включень вказує, що карбонат у розчині перебував, імовірно, у метастабільному (перенасиченому) стані й тому не утворив кристалічної фази. Включення типу 2 подібні до гідросольових включень у кристалах алмазу.

Температура гомогенізації розтрісканих включень безводного розкристалізованого сольового розплаву (тип 1) у цирконі з трубки Коффіфонтейн (ПАР) становить 890—920 °С, а розтрісканих включень флюїду, збагаченого рідиною (тип 2 — циркон трубки Коффіфонтейн та із розсипищ району Жуніна), перевищує 1050 °С. Неочікувано високі значення  $T_f$  включень флюїду, збагаченого рідиною, засвідчують, що остання представлена не звичайним водним розчином, а, можливо, гідросилікатним. Можна також стверджувати, що температура мінералоутворення із збагаченням флюїду цим розчином зростала.

Хімічний аналіз вторинного включення силікатного скла у цирконі розсипища району Жуніна, що утворилося на місці вилугованого, імовірно, кристалика апатиту, відповідає складу силікатного розплаву, збагаченого калієм ( $\text{SiO}_2$  — 59,70;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  — 17,18;  $\text{K}_2\text{O}$  — 14,96;  $\text{FeO}$  — 5,54 %).

**Обговорення.** За складом мінеральних включень в алмазі та мінералів порід, в яких трапляються кристали алмазу, сформувалася, на перший погляд, достатньо переконлива, але, як ми гадаємо, хибна в своїй основі, думка про кристалізацію алмазу із силікатних розплавів різного складу, яка й нині домінує серед геологів. Вона ґрунтується на довільному твердженні, що більшість мінералів — сингенетичні до алмазу включення. Аналіз складу включень у синтетичних алмазах виявив мінерали, що не мають ніякого відношення до флюїду, в якому росли кристали алмазу, а містяться у речовині контейнера, який використовували під час синтезу (наприклад [21, 25]). Подібна ситуація, можливо, реалізується у природі: тверді мантіїні породи відігравали лише роль своєрідного “контейнера”, в якому за певних умов кристалізувався алмаз.

Визначені за асоціаціями мінералів-включень в алмазі умови їх кристалізації не можуть викликати повної довіри, оскільки, по суті, довільно приймається, що вони (мінерали-включення) переважно росли з ідентичного флюїду одночасно з алмазом. Якщо значення  $PT$ -параметрів, встановлені за мінеральними асоціаціями включень, ще можуть стосуватись умов форму-

вання порід, в яких кристалізувався (а точніше, перебував) алмаз, то твердження про ріст алмазу із силікатного розплаву (за такою логікою — із різного за складом перидотитового складу чи еклогітового) є бездоказовим. Тут не існує ніякої суперечності, тому що кристалізація алмазу відбувалась, як вказують результати дослідження флюїдних включень у кристалах алмазу і парагенетичного до нього циркону кімберлітового типу, не із силікатного розплаву, а з інших за складом флюїдів. Виявлені в алмазі асоціації мінеральних включень потрапили, ймовірно, в алмазоутворювальний флюїд як ксеногенні фази із ультраосновних порід та еклогітів — твердих речовин, в яких перебував цей флюїд. Іншими словами, асоціації мінералів-включень в алмазі відображають певною мірою лише місце його кристалізації, тобто особливості мінерального складу субстрату різних глибинних зон Землі. Оскільки тиск визначають глибиною середовища мінералоутворення, то відтворені за асоціаціями мінералів-включень в алмазі значення тиску відповідають і умовам утворення алмазу. Наявність в окремих кристалах алмазу асоціацій мінералів-включень, що належать і еклогітам, і ультраосновним породам, зумовлена, на наш погляд, винесенням і змішуванням мінеральних фаз, вилучених із порід різних глибинних зон літосфери, в процесі циркуляції по її тріщинах алмазоутворювального флюїду.

Флюїдні включення у цирконі кімберлітового типу [7, 8] за хімічним складом подібні до вивчених у кристалах алмазу. Вони за розмірами значно більші за виявлені в алмазах, що дало змогу одержати нову генетичну інформацію [6], яка зводиться до таких основних здобутків.

1. За температурами фазових переходів у процесі нагрівання первинних включень типу 1 оцінено температуру кристалізації алмазу за участю безводного сольового розплаву. Нижнім значенням її відповідає температура, за якої вміст включення стає рідким (розплавом). На неї вказують перші порції розплаву у включеннях, що фіксуються вже за температури, дещо більшої, ніж 550—600 °С, а також температура близько 700—750 °С, за якої спостерігається різка розкристалізація розплаву під час охолодження включення. Дійсні температури консервації включень, ймовірно, близькі до  $T_r$  (890—920 °С) [8]. Вони, можливо, є навіть дещо меншими за неї, оскільки, з одного боку,  $T_r$  материнських включень більша за  $T_r$  включень до розтріскування. З іншого боку, що також підсилює перший чинник, зовнішній флюїдний тиск зменшує об'єм включення (тобто збільшує загальну густину його вмісту), що супроводжується зниженням  $T_r$ . З подальшим збільшенням температури у включенні тиск флюїду зростатиме різкіше порівняно з його тиском у материнському включенні (ізохори флюїду більшої густини мають більші значення  $dP/dT$ ). Проте для вирішення цього питання потрібні, безумовно, числові обґрунтування.

2. В'язкість вмісту включень типу 1 за температури, близької до  $T_r$ , дуже мала й орієнтовно відповідає в'язкості води за температури 20 °С: помітно, що непрозорі мікроскопічні фази у порожнині включення рухаються настільки швидко, ніби вона заповнена водою. Воно і не дивно, тому що розплави і солей, і металів відзначаються дуже малою в'язкістю.

3. Викид мантійного матеріалу у земну кору відбувався вже після збагачення мінералоутворювального флюїду водою, оскільки у цирконі розтрісканими виявилися як включення, що захопили безводний сольовий розплав, так і включення збагаченого водою флюїду. Зростання вмісту води у мінералоутворювальному середовищі супроводжувалося не лише підвищенням температури, а й плавленням порід, які містили флюїд, і у кінцевому

наслідку спровокувало викид мантийного матеріалу в напрямку земної поверхні з утворенням кімберлітових трубок, дайок, силів.

Передбачається [11], що лише за достатньої кількості (орієнтовно 35 % об'єму) розплав здатен через різницю у густинах (розплаву — 2,7–2,8, порід 3,2–3,15 г/см<sup>3</sup>) зумовлювати мантийний магматизм і сприяти видаленню надлишкового розплаву з мантиї. Проте надходження алмазоутворювального флюїду, що відзначається дуже малою в'язкістю, у верхні горизонти земної кори можливе по ослаблених зонах (зонах тріщинуватості глибинних розломів) і за значно меншої його кількості. На наш погляд, за таким механізмом могли утворитися метаморфічні породи різного мінерального складу з великою кількістю мікрокристаліків алмазу.

Мінімальну швидкість флюїдного потоку, здатного переносити кристалики алмазу з глибин мантиї у верхні горизонти Землі, можна оцінити за формулою Стокса. Мікрокристаліки алмазу розміром 400 мкм можуть переноситися флюїдом густиною 2,8 г/см<sup>3</sup> і в'язкістю, яка відповідає в'язкості води, за умови, що швидкість його потоку перевищуватиме орієнтовно 220 м/год. За аналогічних умов більші за розмірами кристалики алмазу можуть виноситися нагору лише більш швидкісними флюїдними потоками. Крім того, під час руху алмазоутворювального флюїду по системі тріщин відбуватиметься затримка у тріщинах більших за розмірами кристаліків алмазу (тобто своєрідне фільтрування флюїду тріщинами). У такий спосіб накопичувалися мікрокристаліки алмазу в уже згадуваних метаморфічних породах. Проте ймовірність знаходження тут достатньо великих кристаліків алмазу, на нашу думку, дуже мала.

Щодо походження рідкої фази алмазоутворювального флюїду. Карбонатний розплав в астеносферній зоні Землі міг утворитися внаслідок надходження до неї високотемпературних потоків CO<sub>2</sub>-флюїду — звичного компонента ультраосновних магм, на що, зокрема, вказують включення в кристалах олівіну ультрамафітових нодулів у базальтах багатьох районів світу [20]. У такому разі його генерація могла відбуватися за схемою: Ca(Mg, Fe)[Si<sub>2</sub> O<sub>6</sub>] + 2CO<sub>2</sub> = Ca(Mg, Fe) [CO<sub>3</sub>]<sub>2</sub> + 2SiO<sub>2</sub> або (Mg, Fe)<sub>2</sub> (SiO<sub>4</sub>) + 2CO<sub>2</sub> = 2(Mg, Fe)(CO<sub>3</sub>) + SiO<sub>2</sub>. Появу води в алмазоутворювальному флюїді, найімовірніше, слід пов'язувати з реакціями між газовими компонентами за участю водню, що надходять з нижчих оболонок Землі. Джерелом її могла бути і морська вода (субдукція морських осадів і, напевно, змінених морською водою базальтів [36]).

**Висновки.** 1. Сингенетичними до алмазу мінералами-включеннями є лише алмаз, гранат і олівін (?), тому твердження про кристалізацію алмазу із ультрабазитових магм різного складу або еклогітових, що нині домінує серед геологів, є помилковим. Переважна більшість мінералів-включень в алмазі представлена протогенетичним типом. Рідкісні знахідки сингенетичних мінералів-включень в алмазі, найімовірніше, вказують на те, що їх сумісний з алмазом ріст відбувався рідко і був короткотривалим відносно часу кристалізації алмазу.

2. Алмазоутворювальний флюїд, за даними вивчення флюїдних включень у кристалах алмазу, характеризується різноманітним хімічним складом: карбонатитовим, водно-кремнеземистим, водних розсолів, тобто не відповідає складу силікатної ультраосновної чи еклогітової магми. Більш-менш стійкі мінеральні асоціації включень у кристалах алмазу відтворюють мінеральний склад породи, по тріщинах яких циркулював алмазоутворювальний флюїд, що брав участь у рості кристалів.

3. За значно більшими розмірами флюїдних включень у цирконі кімберлітового типу одержано нову генетичну інформацію. Вона стосується: а) еволюції мінералоутворювального флюїду: його зміна відбувалась у напрямку

від безводних сольових розплавів, у складі якого переважав карбонат, до збагаченого водою флюїду; цей процес супроводжувався ще й підвищенням температури; б) часу викиду мантійного матеріалу в кору і на поверхню Землі: він здійснювався вже після збагачення мінералоутворювального середовища водою; в) малих значень в'язкості флюїду, що орієнтовно дорівнює динамічній в'язкості води за температури 20 °С і атмосферному тиску.

4. Із глибин мантії у кору і на поверхню Землі алмаз може надходити на різних етапах еволюції алмазоутворювального флюїду. При цьому, на наш погляд, можливі два крайні випадки: перший — унаслідок мантійного магматизму за умови достатньої кількості розплаву в астеносфері Землі, що утворився внаслідок плавлення порід під дією водовмісного флюїду (за складом близького до вмісту флюїдних включень типу 2 у цирконі) і підвищення температури; другий — у процесі проходження по ослаблених зонах астеносфери й літосфери малов'язкого алмазоутворювального флюїду (найімовірніше, карбонатитового, що за складом близький до включень типу 1 у цирконі, оскільки він спричинює лише метасоматичні зміни порід, а не їх плавлення).

5. Алмазоутворювальний флюїд — сольовий розплав, основу якого складає карбонат, чи водний сольовий розчин — характеризується високою електропровідністю, дуже малою в'язкістю, невисокою температурою. За цими ознаками такі розплави найліпше відповідають, згідно з геофізичними даними, рідкій фазі астеносфери Землі. Отримана за флюїдними включеннями в кристалах алмазу і циркону інформація прямо вказує на склад і властивості рідкої фази астеносфери Землі, що існувала під районами поширення ендегенного алмазу в земній корі.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бартошинский З.В. Летучие в алмазах из северной части Русской платформы // Минерал. сб. Львов. ун-та. — 1990. — **44**, № 4. — С. 14—18.
2. Бартошинский З.В., Бекеша С.Н., Винниченко Т.Г. и др. Газовые примеси в алмазах Якутии // Там же. — 1987. — **41**, № 1. — С. 25—32.
3. Бартошинский З.В., Бекеша С.Н., Винниченко Т.Г. и др. Примеси газов в алмазах и гранатах из кимберлитов Далдыно-Алакитского района Якутии // Там же. — 1989. — **43**, № 2. — С. 83—86.
4. Бартошинский З.В., Ефимова Э.С. Кристаллография включений оливина в алмазах // Там же. — 1974. — **28**, № 2. — С. 67—71.
5. Бартошинский З.В., Ефимова Э.С., Жихарева В.П., Соболев Н.В. Кристалломорфология включений граната в природных алмазах // Геология и геофизика. — 1980. — № 3. — С. 12—22.
6. Возняк Д.К., Квасница В.Н. Флюидные включения в алмазе и цирконе кимберлитов: их вклад в восстановление РТХ-параметров среды кристаллизации алмаза // Минералогические музеи. — СПб: Изд-во СПб. гос. ун-та, 2005. — С. 215—218.
7. Возняк Д.К., Квасница В.Н., Вирт Р. Флюидные включения и эндогенное алмазообразование // Материалы междунар. симп. “Современные методы исследований и перспективы использования включений минералообразующих сред в науке и практике”. Узбекистан, Ташкент, 1–4 ноября, 2006 г. — Ташкент, 2006. — С. 106—111.
8. Возняк Д.К., Квасница В.Н., Харьков А.Д. и др. Первая находка включений раскристаллизованного солевого магматического расплава в кристаллах циркона из кимберлитов // Минерал. журн. — 1988. — **10**, № 4. — С. 15—22.
9. Гаранин В.К., Кудрявцева Г.П., Михайличенко О.А. и др. Дискретность процесса природного алмазообразования // Минерал. журн. — 1989. — **11**, № 3. — С. 3—19.
10. Гегузин Я.Е. Механизм и кинетика преобразования форм включений в кристаллах // Проблемы современной кристаллографии. — М.: Наука, 1975. — С. 110—127.
11. Добрецов Н.Л. Введение в глобальную петрологию // Тр. Ин-та геологии и геофизики СО АН СССР. — 1980. — Вып. 456. — 200 с.

12. *Калюжный В.А.* Основы учения о минералообразующих флюидах. — Киев: Наук. думка, 1982. — 238 с.
13. *Квасниця В.Н., Вишневецкий А.А., Возняк Д.К. и др.* Ассоциация пироп-гроссуляр-уваровитового граната и оливина в алмазе // Минерал. журн. — 1992. — **14**, № 2. — С. 80—88.
14. *Литвин Ю.А.* Составы и свойства алмазообразующих расплавов мантии по данным аналитической и экспериментальной минералогии // Мир минералов, кристаллов и наноструктур / Отв. ред. Н.П. Юшин, В.И. Ракин. — Сыктывкар: Геопринт, 2008. — С. 173—184.
15. *Мальков Б.А., Асхабов А.М.* Диффузионно-преобразованные кристаллические включения в оливинах как показатели их ксеногенности в кимберлитах // Докл. АН СССР. — 1978. — **242**, № 3. — С. 690—692.
16. *Мальков Б.А., Асхабов А.М.* Кристаллические включения с октаэдрической огранкой (отрицательные кристаллы) — свидетели ксеногенности алмазов в кимберлитах // Там же. — 1978. — **238**, № 3. — С. 695—697.
17. *Мокиевский В.А., Ян Фэн-Цзюнь.* Новое о твердых включениях в кристаллах // Зап. Всесоюз. минерал. о-ва. — 1961. — **90**, № 5. — С. 510—520.
18. *Орлов Ю. Л.* Минералогия алмаза. — М.: Наука, 1984. — 264 с.
19. *Остапенко Г.Т.* Термодинамические условия идиоморфизма для соприкасающихся минералов // Докл. АН УССР. Сер. Б. — 1987. — № 9. — С. 25—28.
20. *Реддер Э.* Флюидные включения в минералах. В 2 т. — М.: Мир, 1987. — Т. 1. — 558 с.; Т. 2. — 632 с.
21. *Самойлович М.И., Комов И.Л., Кутырев Ф.Ш. и др.* К образованию алмазов в природных и экспериментальных системах // Самородное элементообразование в эндогенных процессах: Тр. Всесоюз. конф. Ч. 3. — Якутск, 1985. — С. 62—65.
22. *Соболев Н.В.* Глубинные включения в кимберлитах и проблема состава верхней мантии. — Новосибирск: Наука, 1974. — 263 с.
23. *Соболев Н.В., Бартошинский З.В., Ефимова Э.С. и др.* Ассоциация оливин—гранат—хромдиопсид из якутского алмаза // Докл. АН СССР. — 1970. — **192**, № 6. — С. 1349—1352.
24. *Соболев Н.В., Боткунов А.И., Бакуменко И.Т., Соболев В.С.* Кристаллические включения с октаэдрической огранкой в алмазах // Там же. — 1972. — **204**, № 1. — С. 192—195.
25. *Сухарев А.Е., Петровский В.А.* Минералогия карбонадо и экспериментальные модели их образования. — Екатеринбург: Урал. отд-ние РАН, 2007. — 193 с.
26. *Bulanova G.P.* The formation of diamond // J. Geochem. Explor. — 1995. — **53**. — P. 1—23.
27. *Brenker F.E., Stachel T., Harris J.W.* Exhumation of lower mantle inclusions in diamonds — ATEM investigation of retrograde phase transitions, reactions and exsolution // Earth and Planet. Sci. Lett. — 2002. — **198**. — P. 1—9.
28. *Davies R., Griffin W.L., Pearson N.J. et al.* Diamonds from the deep: Pipe DO-27, Slave Craton, Canada // Proceed. of the 7<sup>th</sup> Int. Kimberlite Conf. Vol. 1. — Cape Town, South Africa: Red Roof Design, 1999. — P. 148—155.
29. *Guthrie G. D., Veblen D. R., Navon O., Rossman G.R.* Submicrometer fluid inclusions in turbid-diamond coats // Earth and Planet. Sci. Lett. — 1991. — **105**. — P. 1—12.
30. *Harris J.W.* Inclusions in diamond // The Properties of Natural and Synthetic diamonds Diamond / Ed. J.E. Fild. London: Academic Press, 1979. — P. 555—591.
31. *Harris J.W.* The recognition of diamond inclusions. Pt. 1: Syngenetic inclusions // Indust. Dia. Review. — 1968. — **28**. — P. 402—410.
32. *Harris J., Hutchison M.T., Hursthouse M. et al.* A new tetragonal silicate mineral occurring as inclusions in lower-mantle diamonds // Nature. — 1997. — **387**. — P. 486—488.
33. *Hutchison M.T., Hursthouse M.B., Light M.E.* Mineral inclusions in diamonds associations and chemical distinctions around the 670-km discontinuity // Contrib. Mineral. Petrol. — 2001. — **142**, № 1. — P. 119—126.
34. *Hayman P.C., Kopylova M.G., Kaminsky F.V.* Lower mantle diamonds from Rio Soriso (Juina area, Mato Grosso, Brazil) // Ibid. — 2005. — **149**. — P. 430—445.
35. *Izraeli E. S., Harris J. W., Navon O.* Brine inclusions in diamonds: a new upper mantle fluid // Earth and Planet. Sci. Lett. — 2001. — **187**. — P. 323—332.
36. *Izraeli E. S., Harris J. W., Navon O.* Fluid and mineral inclusions in clouded diamonds from Koffiefontein, South Africa // Geochim. Cosmochim. A. — 2004. — **68**, № 11. — P. 2561—2575.

37. Klein-BenDavid O., Izraeli E., Hauri E., Navon O. Fluid inclusions in diamonds from the Diavik mine, Canada and the evolution of diamond forming fluids // *Ibid.* — 2007. — **71**. — P. 723–744.
38. Klein-BenDavid O., Izraeli E.S., Hauri E., Navon O. Mantle fluid evolution — a tale of one diamond // *Lithos.* — 2004. — **77**. — P. 243–253.
39. Klein-BenDavid O., Wirth R., Navon O. TEM imaging and analysis of nanoinclusions in diamonds: a close look at diamond-growing fluids // *The Amer. Mineralogist.* — 2006. — **91**. — P. 353–365.
40. Logvinova A.M., Wirth R., Fedorova E.N., Sobolev N.V. Nanometre-sized mineral and fluid inclusions in cloudy Siberian diamonds: new insights on diamond formation // *Europ. J. Mineralogy.* — 2008. — **20**. — P. 317–331.
41. Meyer H.O.A. Inclusions in diamond // *Mantle Xenoliths* / Ed. P.H. Nixon. — New York; Wiley; Chichester. — 1987. — P. 501–523.
42. Navon O. High internal-pressures in diamond fluid inclusions determined by infrared-absorption // *Nature.* — 1991. — **353**. — P. 746–748.
43. Navon O., Hutcheon I.D., Rossman G.R., Wasserburg G. J. Mantle-derived fluids in diamond microinclusions // *Ibid.* — 1998. — **335**. — P. 784–789.
44. Navon O., Izraeli E. S., Klein-BenDavid O. Fluid inclusions in diamond — the carbonatitic connection // 8<sup>th</sup> Int. Kimberlite Conf., Victoria, June 22–27, 2003. Program with Abstr. — Victoria: Nat. Resour. Can, 2003. — P. 46.
45. Schrauder M., Navon O. Hydrous and carbonatitic mantle fluids in fibrous diamond from Jwaneng, Botswana // *Geochim. Cosmochim. A.* — 1994. — **58**. — P. 76–771.
46. Stachel T., Harris J.W., Brey G.P., Joswig W. Kankan diamonds (Guinea) II: lower mantle inclusion paragenesis // *Contrib. Mineral. Petrol.* — 2000. — **140**. — P. 16–27.
47. Taylor L.A., Anand M., Promprated P. Diamond and their inclusions: are the criteria for syngenetic valid? // 8<sup>th</sup> Int. Kimberlite Conf. Victoria, June 22–27, 2003. Long Abstr. — Victoria: Nat. Resour. Can., 2003. — P. 1–5.
48. Tomlinson E.L., Jones A.P., Harris J.W. Co-existing fluid and silicate inclusions in mantle diamond // *Earth and Planet. Sci. Lett.* — 2006. — **250**. — P. 581–595.
49. Zedgenizov D.A., Kagi H., Shatsky V.S., Sobolev N.V. Carbonatitic melts in cuboid diamonds from Udachnaya pipe (Yakutia): evidence from vibrational spectroscopy // *Mineralogical Magaz.* — 2004. — **68**. — P. 61–73.

Надійшла 26.05.2009

*D.K. Voznyak, V.M. Kvasnytsya*

#### MINERAL AND FLUID INCLUSIONS IN DIAMOND AND ZIRCON CRYSTALS FROM KIMBERLITES AND THEIR GENETIC VALUE

Two syngenetic inclusions of pyrope-grossular-uvarovite composition and one inclusion of olivine found in diamond single crystals from placers of the Billyakh river (Anabar Shield, Russian Federation) were described in detail for the first time.

It was emphasized that only minerals-inclusions with classic features of joint growth of individuals (induction ribs and faces, pseudoribs, pseudofaces) are syngenetic to the diamond according to D.P. Hryhoriev. Rare findings of syngenetic minerals-inclusions in the diamond indicate to the fact that their joint with diamond growth was rarely observed in nature and it was short-term in respect of the diamond crystallization time. Thus the assertion about diamond crystallization from ultrabasic and eclogite magmas of different composition, dominating now among geologists, is wrong. Such a conclusion is confirmed by the mineral and chemical composition of fluid inclusions in diamond and zircon of kimberlite type — a mineral paragenetic in respect of a diamond. Different ways of the mantle substance getting into the Earth crust and to the Earth surface were proposed on the basis of evolution of diamond-forming fluid.