

<https://doi.org/10.15407/mineraljournal.39.03.017>

УДК 549.514.63 : 549.211

В.М. Квасниця, О.А. Вишневський

Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення
ім. М.П. Семененка НАН України

03142, м. Київ-142, Україна, пр-т Акад. Палладіна, 34

E-mail: vmkvas@hotmail.com, vyshnevskyy@i.ua

ЗРОСТКИ РУТИЛУ З АЛМАЗОМ ІЗ КІМБЕРЛІТІВ ТРУБКИ "УДАЧНАЯ" (ЯКУТІЯ)

Серед дрібних алмазів із кімберлітової трубки "Удачная" (Якутія) нами виявлені рідкісні унікальні рутил-алмазні утворення у формі зростків і проростань. Їхня морфологія вказує на сингенетичний ріст кристалів алмазу і рутилу. Кристали алмазу є слабо забарвленими, морфологія різна (октаедр, перехідна форма {111}—{110}, додекаедріод) і недосконала. Рутил діагностовано за допомогою рентгеноспектрального мікроаналізу. Червоні і коричнево-червоні кристали рутилу мають ксеноморфну форму, розмір не перевищує 0,3 мм. Середній хімічний склад рутилу, %: TiO_2 — 98,0, Al_2O_3 — 0,9, Fe_2O_3 — 0,3, Cr_2O_3 — сліди. За великого збільшення за допомогою електронного мікроскопа в частині кристалів рутилу зафіксовано голчасті і лінзоподібні структури розпаду твердого розчину — ламелі, які, можливо, належать гематиту. Розмір голчастих ламелей варіює в межах 1—20 мк, товстіших лінзоподібних ламелей — 1—10 мк за видовженням. Поверхня кристалів рутилу покрита також різними скульптурами розчинення. Чотирикутні пірамідальні і геометрично неправильні впадини розчинення орнаментують поверхню більшості зразків рутилу. Ще два типи скульптур розчинення поверхні кристалів рутилу виглядають як такир і скупчення витягнутих пластинчастих фігур. На підставі літературного огляду виконано порівняльний аналіз вивченого рутилу із рутилом різних алмазних і неалмазних асоціацій із кімберлітів і лампроїтів. Результати такого зіставлення свідчать, що вивчені зростки алмазу і рутилу із кімберлітів трубки "Удачная" належать до еклогітового парагенезису, тобто вони є показником "еклогітового" середовища росту кристалів алмазу.

Ключові слова: рутил-алмазні зростки, структури розпаду, еклогітова асоціація, кімберліти, трубка "Удачная", Якутія.

Вступ. Рутил, окрім економічного значення, нині посідає особливе місце в різних геохімічних, мінералогічних і петрологічних дослідженнях: геохімія Ti, Nb, Ta і Zr, ізотопний аналіз O, ізотопний аналіз Lu-Hf, U-Pb геохронологія, (U-Th)/He термохронологія, термометрія Zr-в-рутилі, барометрія, тощо [8, 28, 32, 36]. Він важливий для вивчення процесів глибинного метасоматозу, в тому числі для з'ясування умов росту кристалів алмазу в мантії. Рутил починає займати помітне місце в пошуковій мінералогії. Добре відомі так звані традиційні (піропи, хромшпінеліди, хромдіопсиди) і нетрадиційні (циркон) мінерали, супутні мантійному алмазу в корінних і теригенних породах. Серед останніх супутників все більшого значення набуває рутил [27], стійкий

в умовах посткристалізаційних процесів і досить поширений у корінних та теригенних породах.

Рутил властивий різним породам: характерний акцесорний, а часом і породоутворювальний мінерал багатьох магматичних і метаморфічних гірських порід. Зокрема, він значно поширений у різних за складом та умовами утворення базитах та ультрабазитах. Окрему групу серед них складають породи, що містять алмаз й інші високобаричні мінерали та їхні парагенезиси. Такими є кімберліти, лампроїти, еклогіти та перидотити ультраметаморфічних комплексів. В усіх цих породах форми прояву рутилу доволі різноманітні, що вказує на його поліхронність і полігенність. Разом з тим рутил кожного петротипу порід має певні особливості і може слугувати індикатором названих вище алмазоносних порід. Особливого значення на-

буває типоморфізм рутилу, який тісно асоціює з мантійними алмазами та іншими високобаричними мінералами із кімберлітів, лампроїтів та ксенолітів мантійних порід у них.

Зразки і методи досліджень. У нашому розпорядженні була велика колекція мікроалмазів із кімберлітових трубок і розсіпів Якутії, серед яких виявлені алмази з різними мінеральними включеннями та їхні зростки. Колекція була надана нам якутськими геологами ще в 1970—1980 рр. для виконання договірних робіт. Великий інтерес викликали рутил-алмазні зростки і проростання рутилу в мікроалмазах. Так, серед значної кількості дрібних кристалів алмазу із якутської кімберлітової трубки "Удачная" знайдено п'ять рутил-алмазних утворень: у чотирьох рутил є вrostком, а в одному — одночасно є включенням і проростанням алмазу, складеним із декількох кристалів рутилу, при цьому вони займають майже 10 % об'єму такого рутил-алмазного утворення. Кристали алмазу є слабо забарвленими, мають різну недосконалу морфологію: октаедр, перехідна форма {111}—{110}, додекаедроїд. Всі ці алмазні форми кристалів спотворені через різний розвиток граней і відповідно неізометричні вздовж головних кристалографічних напрямів. Збереженість мікроалмазів різна, тільки два кристали є цілими, решта — уламки. Розміри кристалів алмазу не перевищують 0,5—0,9 мм. Виділення рутилу червоні і червоно-коричневі.

Вивчено морфологію рутил-алмазних утворень та хімічний склад рутилу. Використано методи растрової електронної мікроскопії та електронно-зондового мікроаналізу. Усі дослідження виконано в Інституті геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України. Растрові електронно-мікроскопічні (РЕМ) і мікрозондові дослідження зростків виконано на растровому електронному мікроскопі *JSM-6700F (JEOL, Японія)*, обладнаному енергодисперсійною системою для мікроаналізу *JED-2300 (JEOL, Японія)*. Визначення хімічного складу та отримання РЕМ-зображень рутилу здійснено за прискорювальної напруги 20 кВ, струму зонда $6 \cdot 10^{-10}$ А та його діаметра 1—2 мкм. Як стандарти під час аналізу використані чисті метали або їхні оксиди. Внесення поправок у результати вимірювань та розрахунок концентрацій елементів здійснено за методом *ZAF*-корекції.

Мета досліджень. Вивчити рутил в якутських мікроалмазах, зіставити результати досліджень

із літературним матеріалом про рутил алмазозносних та інших мантійних асоціацій і окреслити типоморфні ознаки рутилу алмазних асоціацій.

Результати досліджень. На рис. 1 зображені всі п'ять вивчених рутил-алмазних утворень. Розмір кристалів рутилу становить 0,01—0,3 мм. Вони є переважно ксеноморфними. Ограниччєння значної частини кожного кристала рутилу, найвірогідніше, зумовлене індукційним впливом алмазів, в яких рутил ніби виповнює впадини в рельєфі. Це можна трактувати як ознаку їх сумісного росту, а не як пізніше наростання рутилу на алмаз. Тільки вільна від алмазу частина деяких кристалів рутилу має слабо проявлені елементи власного кристалографічного ограниччєння (рис. 1, *c, d, i, j*), які все ж не дають змоги точно визначити структурні співвідношення між мінералами. Проте в окремих випадках приблизно можна оцінити орієнтаційні взаємини структур алмазу і рутилу за голчастими структурами розпаду твердого розчину і скульптурами розчинення на поверхні кристалів останнього. Так, для зр. Уд-23 потрібна вісь кристала алмазу субпаралельна четвертій осі кристала рутилу.

На поверхні кристалів рутилу трьох зразків (Уд-9, Уд-16 і Уд-23) проявлені строго орієнтовані голчасті і лінзоподібні структури розпаду твердого розчину — ламелі (рис. 2, 4, 5). Розмір ламелей досягає 20 мк за видовженням, голчасті ламелі — 1—20 мк (зр. Уд-9 і Уд-23), лінзоподібні товстіші — 10 мк (зр. Уд-16). Всі ці ламелі представлені на поверхні лінійними порожнинами, утвореними внаслідок їх розчинення. Визначити їх склад не вдалося. Проте, орієнтуючись на хімічний склад рутилу, логічно припустити, що вони представлені фазою Fe_2O_3 , оскільки вона більш легко розчинна, ніж також можливі в структурах розпаду корунд, ільменіт чи магнетит. Чотирикутні пірамідальні і геометрично неправильні впадини розчинення орнаментують поверхню майже всіх зразків (рис. 2—5). Ще один тип скульптур розчинення у вигляді такиру розвинений на поверхні кристалів рутилу зр. Уд-23, а на поверхні кристала рутилу зр. Уд-16 рельєф дещо інший з проявом витягнутих пластинчастих фігур (рис. 4, 5).

Хімічний склад вивчених кристалів рутилу наведено в табл. 1. Достовірно в мінералі виявлено лише домішки алюмінію і заліза та сліди хрому (рис. 6).

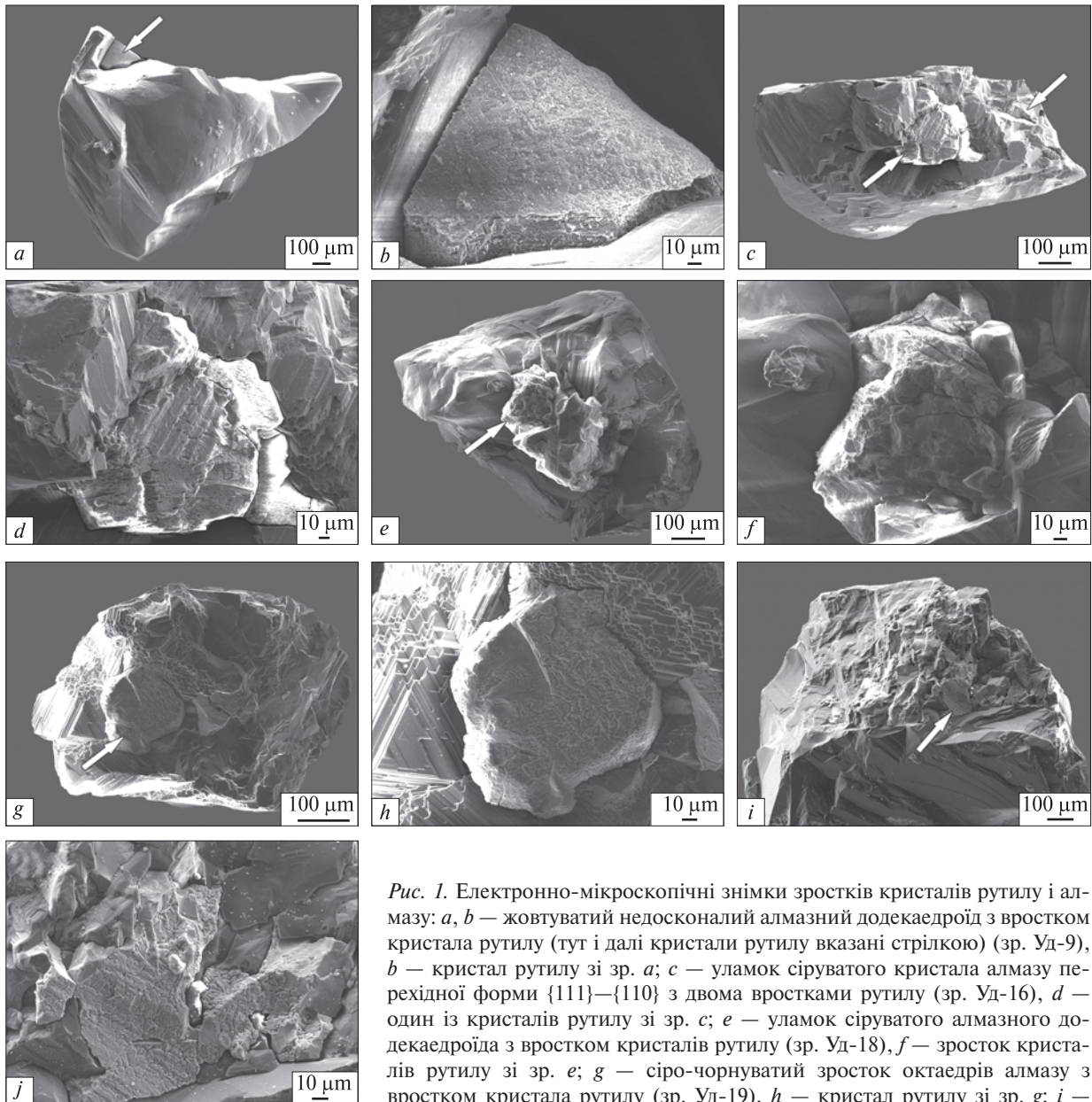


Рис. 1. Електронно-мікроскопічні знімки зростків кристалів рутилу і алмазу: *a, b* — жовтуватий недосконалий алмазний додекаедроїд з вrostком кристала рутилу (тут і далі кристали рутилу вказані стрілкою) (зр. Уд-9), *b* — кристал рутилу зі зр. *a*; *c* — уламок сірого кристала алмазу перехідної форми {111}—{110} з двома вrostками рутилу (зр. Уд-16), *d* — один із кристалів рутилу зі зр. *c*; *e* — уламок сірого алмазного додекаедроїда з вrostком кристалів рутилу (зр. Уд-18), *f* — зросток кристалів рутилу зі зр. *e*; *g* — сіро-чорнуватий зросток октаедрів алмазу з вrostком кристала рутилу (зр. Уд-19), *h* — кристал рутилу зі зр. *g*; *i* — уламок сірого кристала алмазу перехідної форми {111}—{110} з проростанням декількома кристалами рутилу (зр. Уд-23), *j* — один із кристалів рутилу зі зр. *i*

Fig. 1. SEM-images of rutile-diamond intergrowths: a, b — yellowish imperfect diamond dodecahedron with intergrowing rutile crystal (here and hereinafter rutile crystals shown by the arrow) (sample Уд-9), *b* — rutile crystal; *c, d* — fragment of grayish diamond crystal of transitional form {111}—{110} with two intergrowing rutiles (sample Уд-16), *d* — one of rutile crystals; *e, f* — fragment of grayish diamond dodecahedron with intergrowing rutile crystals (sample Уд-18), *f* — intergrowing rutile crystals; *g, h* — grey-blackish intergrowth of diamond octahedrons with rutile crystal (sample Уд-19), *h* — rutile crystal; *i, j* — fragment of grayish diamond crystal of transitional form {111}—{110} intergrowing by a few rutile crystals (sample Уд-23), *j* — one of rutile crystals

Обговорення. Щоб детально оцінити вивчений нами рутил і визначити його парагенетичну приналежність, необхідно розглянути особливості рутилу із різних алмазоносних порід і асоціацій, насамперед у кімберлітах і лампроїтах.

Рутил із кімберлітів. Прояви рутилу в кімберлітах дуже різноманітні. Він утворює вклю-

чення і зростки з алмазом та іншими високобаричними мінералами, трапляється в мантийних ксенолітах, поширений в "основній масі" ("кімберлітовому матриксі", *kimberlite groundmass*, "связующей массе") переважної більшості кімберлітових тіл. Отже, за місцем знаходження можна виділити такі його типи: рутил

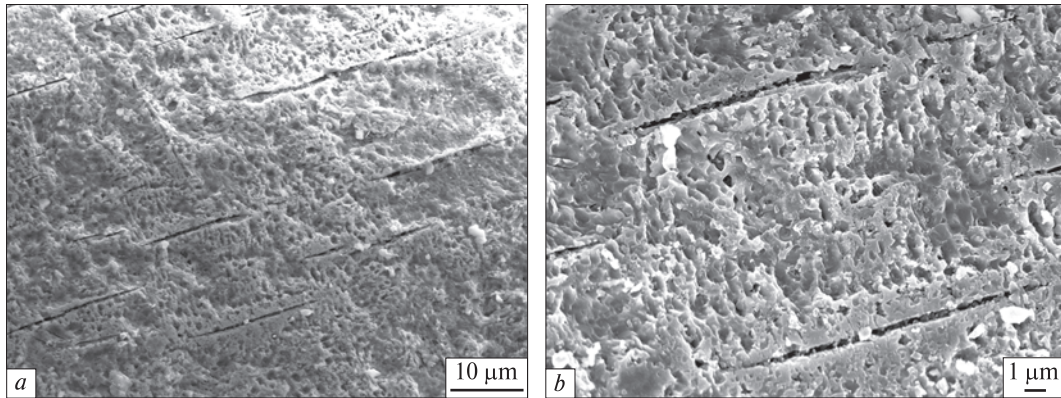


Рис. 2. Поверхня кристала рутилу зр. Уд-9: *a, b* — ямки розчинення і сліди від голчастих структур розпаду твердого розчину, *b* — деталізація рис. *a*

Fig. 2. Surface of rutile crystal (sample Уд-9): *a, b* — dissolution cavities and tracks of needle-shaped exsolution lamellae, *b* — detailisation of Fig. *a*

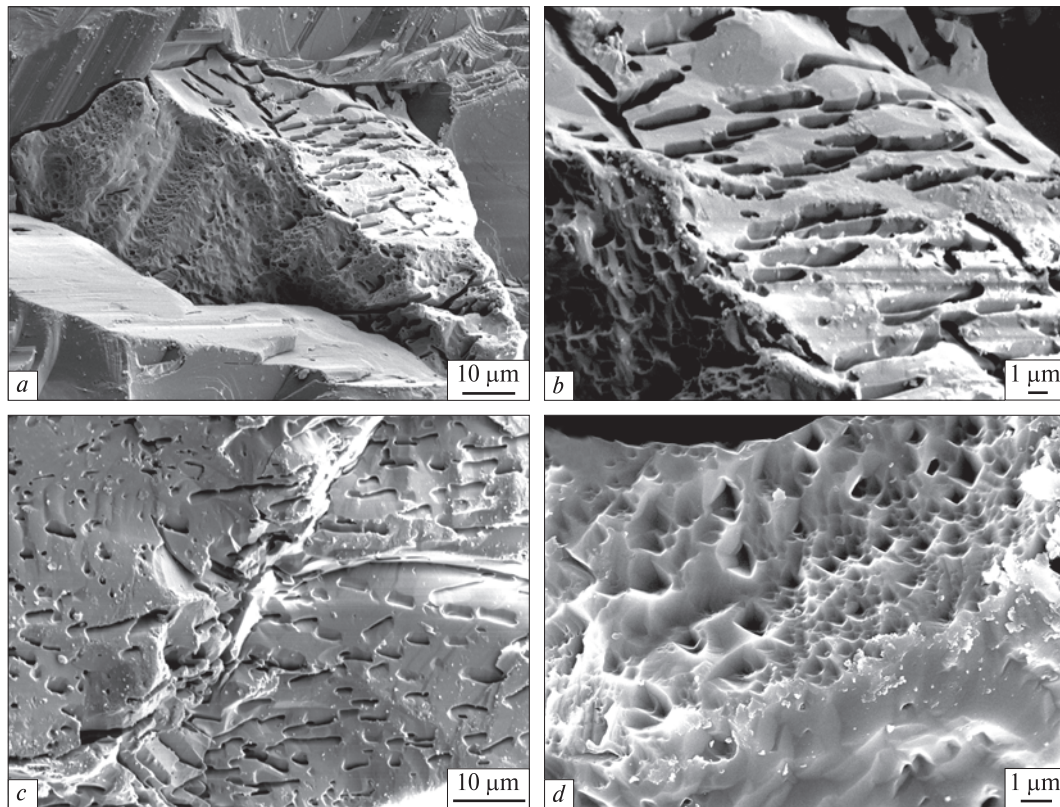


Рис. 3. Сліди від лінзоподібних структур розпаду твердого розчину і ямки розчинення на поверхні двох кристалів рутилу зр. Уд-16: *a, b* — на меншому вrostку (включенні ?); *c, d* — на більшому вrostку

Fig. 3. Tracks from "lens-like" exsolution lamellae and dissolution cavities on the surface pits of two rutile crystals sp. Уд-16: *a, b* — on smaller ingrowths (inclusion ?); *c, d* — on a larger ingrowths

із включень в алмазах та інших високобаричних мінералах; рутил зі зростків з алмазами та іншими високобаричними мінералами; рутил із ксенолітів мантієних порід; рутил із "основної маси" кімберліту.

Рутил із включень в алмазах. Він був одним із перших інструментально діагностованих в природному алмазі мінеральних включень. На даний час його виявлено в алмазах із більшості кімберлітових провінцій світу. При цьому ру-

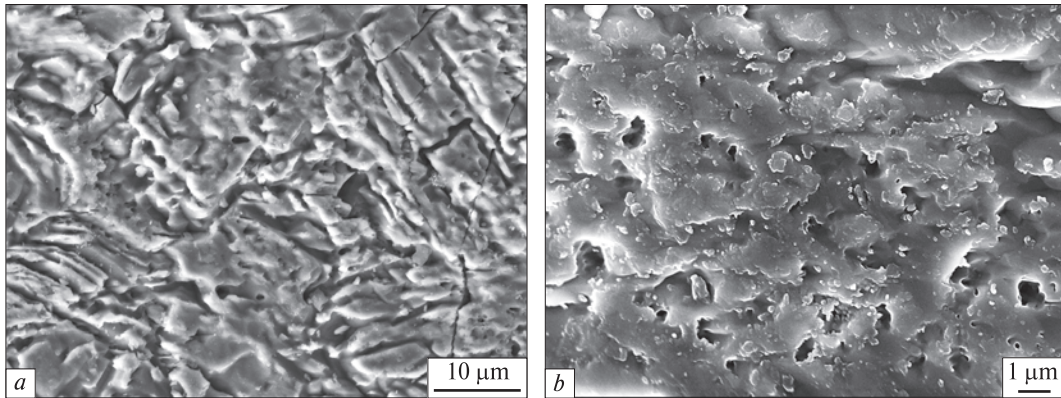


Рис. 4. Розчинена поверхня кристала рутилу зр. Уд-19: *a* — пластинчасті утворення, *b* — ямки розчинення

Fig. 4. Dissolved surface of rutile crystal of sample Уд-19: *a* — "plate-like" figures, *b* — dissolution cavities

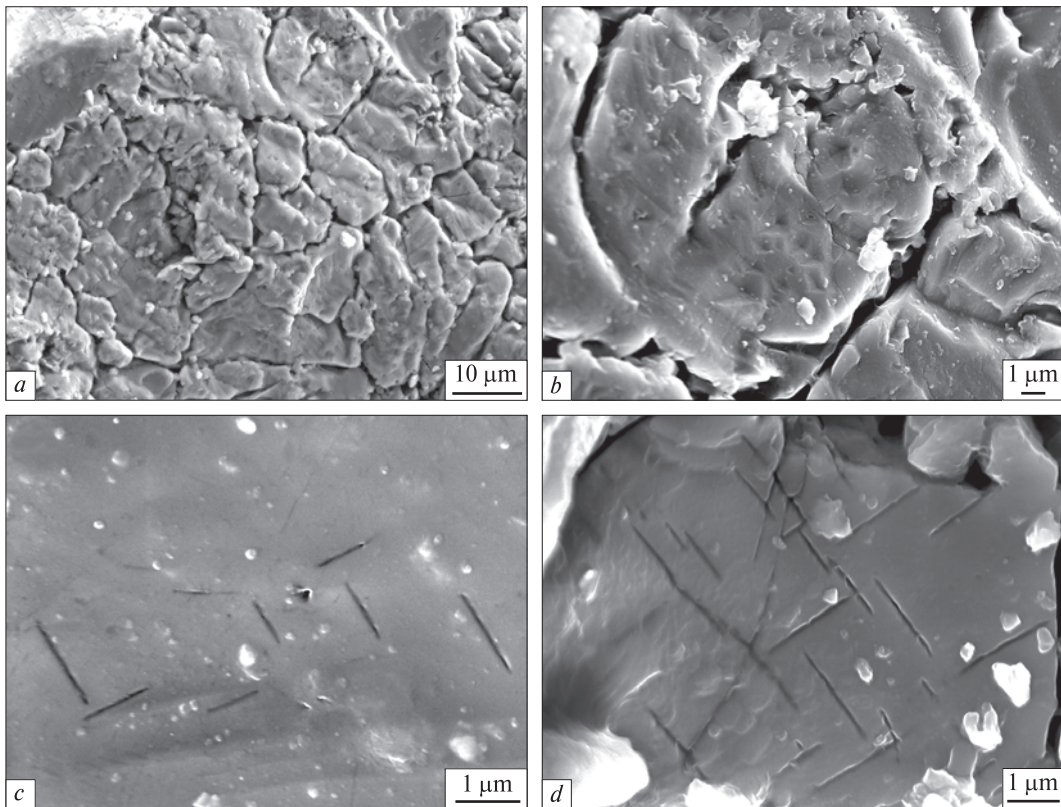


Рис. 5. Поверхня кристала рутилу зр. Уд-23: *a* — рельєф типу такир, *b* — чотирикутні пірамідальні ямки розчинення; *c, d* — голчасті структури розпаду твердого розчину

Fig. 5. Surface of rutile crystal (sample Уд-23): *a* — "takyr" (soil) relief, *b* — quadrangular pyramidal dissolution cavities; *c, d* — needle-shaped exsolution lamellae

тил наявний не тільки в традиційних верхньомантієвих алмазах, останнім часом він ідентифікований у так званих "надглибинних алмазах" [24], які, як вважається, походять із перехідної зони та нижньої мантії.

Проте в алмазах рутил трапляється зрідка: за різними підрахунками він складає лише близь-

ко 1 % від загальної кількості твердофазових включень у них. В деяких кімберлітових трубках цей показник дещо вищий. Зокрема в південноафриканських діатремах Орапа та Робертс Віктор, де зафіксовано підвищений вміст алмазів еклогітового парагенезису та ксенолітів еклогітів. Морфологія включень рутилу в

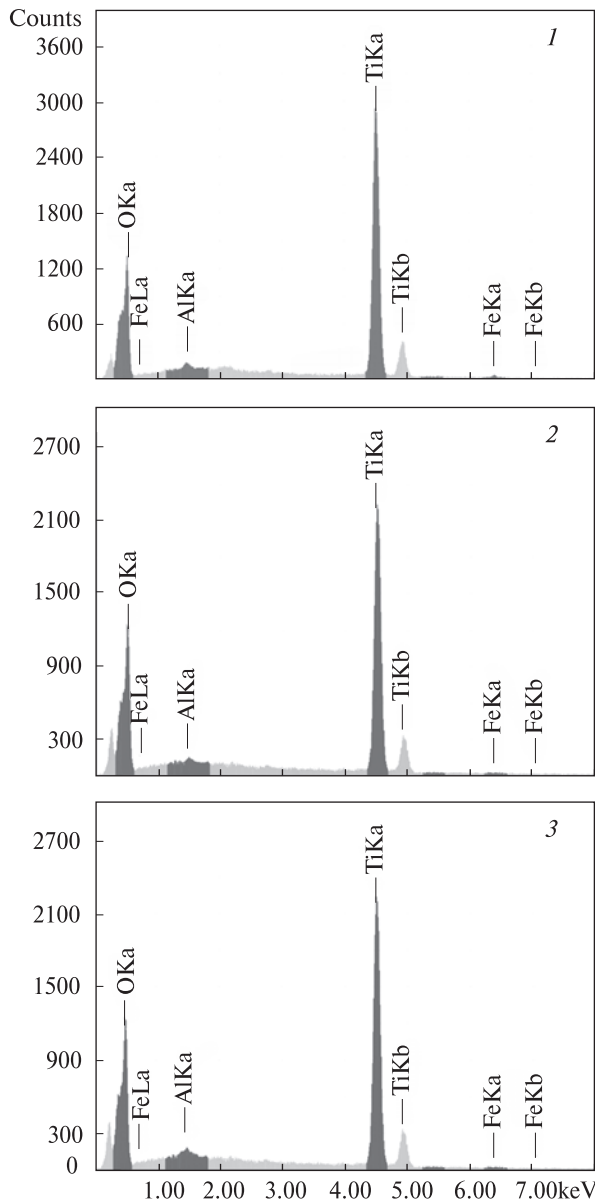


Рис. 6. Енергодисперсійні спектри рутил-алмазних зростків (1 — зр. Уд-18, 2 — зр. Уд-19, 3 — зр. Уд-23)

Fig. 6. EDS-spectra of studied rutile-diamond intergrowths (1 — sp. Уд-18, 2 — sp. Уд-19, 3 — sp. Уд-23)

алмазах вивчена недостатньо. Судячи з нечисленних літературних даних, їхній розмір складає від декількох до перших десятків мікрон, а огранення, вважається, як і у більшості інших мінеральних включень, індуковано вмісним алмазом [2, 36]. Здебільшого рутил утворює в алмазах ізольовані мономінеральні виділення, інколи входить до складу поліфазних включень. Так, зокрема, він зафіксований у зростках з омфацитом, залізістим гранатом, ільменітом, в одному випадку з енстатитом та олівіном [35, 36].

Рутил із включень у верхньомантіїних алмазах практично стовідсотково походить з еклогітового парагенезису. Лише декілька з вивчених на даний час зразків належать до перидотитової асоціації. Перші та другі доволі чітко розрізняються між собою за хімічним складом. Основна відміна полягає у різному вмісті в них хрому та алюмінію, в меншій мірі заліза. Так, рутил еклогітового парагенезису має низький вміст Cr_2O_3 (< 0,2 % для більшості зразків, в окремих випадках до 0,6 %) та підвищений Al_2O_3 (0,1—1,0 %). У рутилі з ультраосновної асоціації спостерігаємо протилежне: Cr_2O_3 (2,3—4,1 %) та Al_2O_3 (0,02—0,1 %). Окрім того, в останніх дещо нижча, порівняно з еклогітовими, концентрація заліза (0,3—1,5 проти 0,2—3,4 % Fe_2O_3). Індикатором (показником) парагенетичної приналежності мантіїних рутилів є також співвідношення в них $\text{Cr}/(\text{Cr} + \text{Al})$. Для "еклогітових" рутилів воно складає 0,05—0,55, а для "перидотитових" — 0,9—1,0. З інших характеристик хімічного складу необхідно вказати на наявність домішок Nb_2O_5 (до 2,5 %) та ZrO_2 (до 1,2 %) в рутилах еклогітового парагенезису. Інформація про ці елементи в рутилах перидотитового парагенезису на даний час нам не відома.

Виявлено [36], що більшість включень рутилу в алмазах є хімічно гетерогенними. В межах окремих зерен істотно варіює вміст Al, Fe та Mg. Окрім того, в цих же кристалах спостерігаються субмікронні, закономірно орієнтовані голчасті вrostки — ламелі корунду, ільменіту і, можливо, магнетиту [36]. Зважаючи на це, можна припустити, що хімічна негомogeneous включень рутилу в алмазах, швидше за все, є результатом самоочищення пересиченої домішками первинної рутилової матриці, коли надлишок Al, Fe та Mg "скидається" в новостворювані фази — корунд, ільменіт та магнетит.

Вивчені рутили з "надглибинних" алмазів належать до еклогітового парагенезису. За даними [24], вони дещо відрізняються від рутилів із звичайних, верхньомантіїних алмазів. Основна відміна полягає, як правило, у нижчому, порівняно з останніми, вмісті в них заліза (0,23—0,48 проти 0,17—3,38 % Fe_2O_3).

Рутил зі зростків з алмазами вивчений обмежено. Дані про його поширеність та морфологічні особливості в літературних джерелах дуже скупи [36]. В цілому рутил зі зростків з алмазами подібний до рутилу із включень у них. Переважно він належить до еклогітового пара-

генезису та має відповідний специфічний хімічний склад. Для мінералу характерні підвищений вміст домішок Al_2O_3 (0,25–0,80 %) та Fe_2O_3 (0,6–2,0 %) і низький Cr_2O_3 (0,02–0,20 %). У деяких зразках, аналогічно рутилу із включень, зафіксовані закономірно орієнтовані субмікронні виділення ільменіту. Вони, швидше за все, як і в попередньому випадку, є продуктами субсолідусного розпаду матриці, що їх вміщує.

Рутил із ксенолітів алмазозосних еклогітів. У алмазозосних мантіїних ксенолітах із кімберлітів рутил виявлений лише в еклогітах і жодного разу не зафіксований у породах перидотитової серії. Необхідно підкреслити, що мінерал трапляється в еклогітах різних типів — бімінеральних, кіанітових та корундових. Даних стосовно морфологічних особливостей мінералу в літературі немає. За хімічним складом рутил із алмазозосних еклогітів нічим практично не відрізняється від рутилу еклогітового парагенезису із включень та зростків з алмазами. Те саме стосується і анатомії мінералу. А саме в ньому доволі часто присутні субмікронні ламелі корунду та ільменіту.

Таким чином, фактична ідентичність хімічного складу (рис. 7) та анатомії рутилів із включень в алмазах, зростків із ними та алмазозосних еклогітів свідчить, на нашу думку, що всі вони кристалізувались за однакових фізико-хімічних умов та мали подібну посткристалізаційну історію.

Рутил із мантіїних неалмазозосних ксенолітів. Акцесорний (у рідкісних випадках поро-

доутворювальний) рутил трапляється в різних за складом мантіїних ксенолітах із кімберлітів — еклогітах, вебстеритах, перидотитах. При цьому, якщо в перших двох він присутній доволі часто, то в останніх — рідко. Найпоширеніший рутил у ксенолітах порід основного ряду. Натепер мінерал виявлений в еклогітоподібних породах, бімінеральних, дистенових та корундових еклогітах, гроспідитах [9, 13].

Як правило, в породах еклогітової серії рутил присутній у незначній кількості — від одиничних знаків до 1–2 %. Втім, в окремих випадках його вміст значно вищий. Так, зокрема, в рутилових еклогітах він складає 3–10 % [9]. Зазвичай рутил утворює в породі окремі виділення овальної, або довільної форми розміром від 0,1 до 5,0 мм. Також мінерал трапляється у вигляді включень у гранатах та клінопіроксенах.

За хімічним складом рутили із різних типів еклогітів, так само, як і з алмазозосних та неалмазозосних їх різновидів, практично не розрізняються між собою. Для них усіх (рис. 8, 9) характерними є низький вміст Cr_2O_3 (< 0,2 % для більшості зразків, в окремих випадках до 0,5–0,6 %) та підвищений Al_2O_3 (0,1–2,5 %) і Fe_2O_3 (0,2–4,0 %). Винятки складають рутили із незвичайних, віднесених до еклогітової серії, ксенолітів високохромових дистенових клінопіроксенітів із кімберлітів Конго [31], та ксенолітів цирконових еклогітів із кімберлітів Канади [21]. У перших зафіксовано до 4,7 % Cr_2O_3 , в других — до 15,5 % Fe_2O_3 . З решти особливостей хімічного складу еклогітових рути-

Таблиця 1. Хімічний склад рутилу в асоціації з алмазом із кімберлітів трубки "Удачная", мас. %

Table 1. Chemical composition of rutile with diamond association from kimberlites of Udachnaya pipe, wt. %

Зразок	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	ZrO ₂	MgO	Nb ₂ O ₅	Сума
Уд-18	99,2	Сл.	—	0,4	—	—	—	99,6
	98,1	—	1,1	0,8	—	—	—	100,0
	99,2	Сл.	—	0,4	—	—	—	99,6
Уд-19	99,1	"	Сл.	0,6	—	—	—	99,7
	99,2	—	"	0,6	—	—	—	99,8
Уд-23	97,8	—	"	1,3	—	—	—	99,1
	97,8	—	"	1,6	—	—	—	99,4
Уд-2023В ¹	97,6	0,02	0,83	0,69	0,17	0,02	0,04	99,33
Уд-12/86 ¹	97,2	0,10	0,83	0,16	0,11	0,01	0,90	99,24
Уд-1/90 ¹	98,1	0,20	0,45	0,17	0,29	0	0,04	99,24
Уд-238К/1 ¹	98,9	0,01	0,17	0,24	0,22	0,01	0,25	99,80

Примітка. ¹ За даними [36]; Сл. — сліди.

Note. ¹ According to [36]; Сл. — tracks.

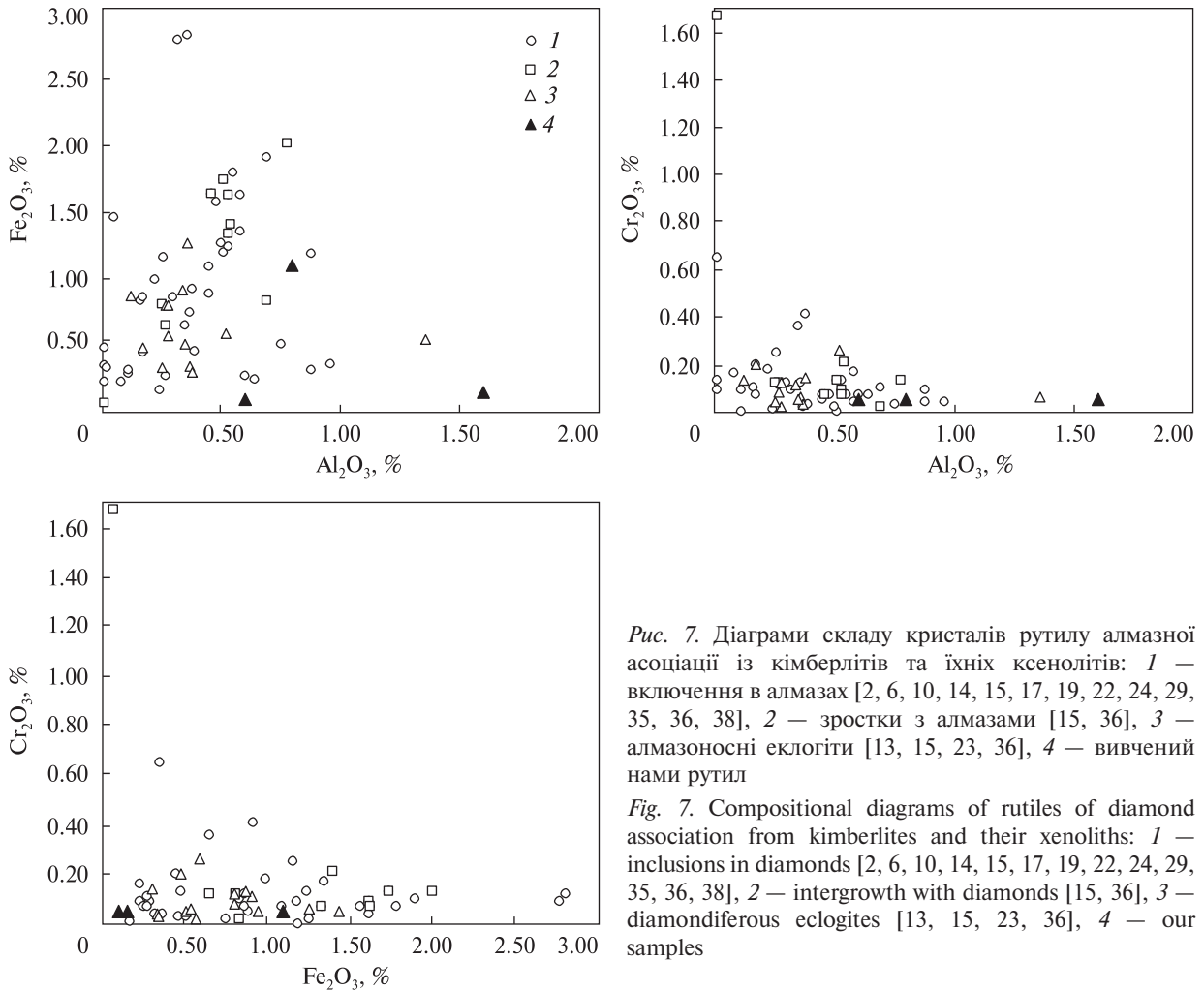


Рис. 7. Діаграми складу кристалів рутилу алмазної асоціації із кімберлітів та їхніх ксенолітів: 1 — включення в алмазах [2, 6, 10, 14, 15, 17, 19, 22, 24, 29, 35, 36, 38], 2 — зростки з алмазами [15, 36], 3 — алмазоносні еклогіти [13, 15, 23, 36], 4 — вивчений нами рутил

Fig. 7. Compositional diagrams of rutiles of diamond association from kimberlites and their xenoliths: 1 — inclusions in diamonds [2, 6, 10, 14, 15, 17, 19, 22, 24, 29, 35, 36, 38], 2 — intergrowth with diamonds [15, 36], 3 — diamondiferous eclogites [13, 15, 23, 36], 4 — our samples

лів привертає увагу домішка в них ніобію. У багатьох зразках вона є досить істотною і складає 1–2 %, а інколи може становити до 5–8 % Nb_2O_5 [37]. Примітно, що високий вміст ніобію зареєстровано в зразках із підвищеним вмістом заліза. Ще більший вміст ніобію виявлено у рутилі високомагнезійних еклогітів високоалмазоносної кімберлітової трубки Катока (Ангола): Nb_2O_5 — 7–11 мас. % в матриці і до 25 мас. % в окремих зонах кристалів, одночасно з високим вмістом танталу — Ta_2O_5 (до 1 мас. % в матриці і до 4 мас. % в окремих зонах кристалів) [7]. Це значно вище від вмісту Nb_2O_5 і Ta_2O_5 у рутилах з алмазоносних еклогітів і включеннях рутилу в алмазах [22, 32, 36, 37]. Детальні дослідження таких унікальних рутилів можуть надати пошуковий критерій кімберлітових трубок, а також сприяти з'ясуванню причин їхньої алмазоносності.

Характерною рисою значної частини еклогітових рутилів також є хімічна негомогенність.

На таку особливість ми вже звертали увагу в ході розгляду рутилів із включень в алмазах. Як відзначається в [13], зональним є розподіл в зернах Al, Fe, Cr. При цьому в алмазоносних еклогітах виявлені рутили як з прямою (вміст Al зменшується від центру до периферії), так і з оберненою зональністю.

Рідше, ніж в еклогітах, проте все ж таки доволі часто рутил трапляється в ксенолітах магнезійних та магнезійно-залізистих вебстеритів (піроксенітів). Натомість вивчений він значно слабкіше, ніж еклогітовий рутил. Відомо [9], що вміст рутилу в цих породах варіює від одиничних знаків до декількох відсотків. Розмір виділень мінералу, часто ідіоморфних, від 0,1 до 3 мм. Він утворює зростки з кліно- та ортопіроксеном, а також присутній як включення в них. За хімічним складом рутили із вебстеритів займають проміжне положення між такими із еклогітів та перидотитів (рис. 8, 9). Вміст "індикаторних" домішок в них скла-

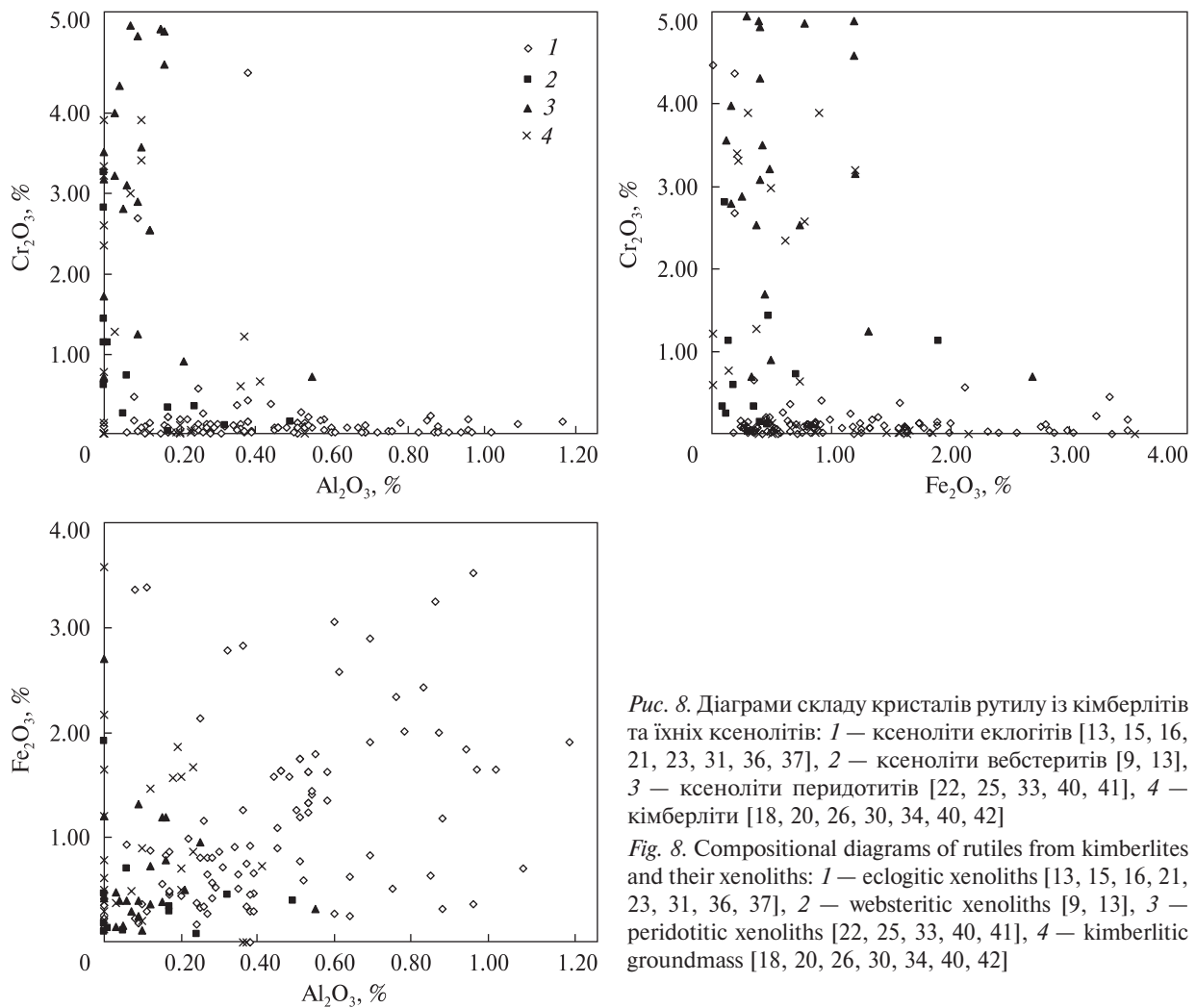


Рис. 8. Діаграми складу кристалів рутилу із кімберлітів та їхніх ксенолітів: 1 — ксеноліти еклогітів [13, 15, 16, 21, 23, 31, 36, 37], 2 — ксеноліти вебстеритів [9, 13], 3 — ксеноліти перидотитів [22, 25, 33, 40, 41], 4 — кімберліти [18, 20, 26, 30, 34, 40, 42]

Fig. 8. Compositional diagrams of rutiles from kimberlites and their xenoliths: 1 — eclogitic xenoliths [13, 15, 16, 21, 23, 31, 36, 37], 2 — websteritic xenoliths [9, 13], 3 — peridotitic xenoliths [22, 25, 33, 40, 41], 4 — kimberlitic groundmass [18, 20, 26, 30, 34, 40, 42]

дає, %: Al_2O_3 — 0,01—0,5, Cr_2O_3 — 0,1—3,3, Fe_2O_3 — 0,1—5,2.

У ксенолітах ультраосновних порід рутил трапляється рідко. На даний час у літературних джерелах немає інформації про його знахідки в "звичайних" перидотитах (маються на увазі типові для кімберлітів ксеноліти дуніт-гарцбургітів, лерцолітів, верлітів). Мінерал виявлений лише в "екзотичних" мантійних породах — поліміктових перидотитах [40, 41], маридах [5, 22, 25], рутил-олівінових та енстатит-рутилільменітових нодулях [33]. Його вміст в цих утвореннях істотно варіює і може складати від 1—3 %, в поліміктових перидотитах та маридах, до більше ніж 50 % у рутил-силікатних нодулях.

Рутили в названих типах перидотитів мають, загалом, подібний хімічний склад (табл. 2). Проте, як бачимо з табл. 2, певні відмінності все ж таки простежуються. Наприклад, рутили із поліміктових перидотитів та рутил-силікат-

них нодулів подібні за вмістом алюмінію, хрому та заліза, однак істотно розрізняються за ніобієм. Рутили із маридаів відрізняються від двох вищезазначених дещо нижчим, в середньому, вмістом хрому та, навпаки, вищим заліза. Вважають [39], що багаті на хром та ніобій рутили із поліміктових перидотитів та маридаів мають метасоматичне походження. Натомість, на думку [33], деякі рутили із рутил-силікатних нодулів мають ознаки магматичного утворення.

Підсумовуючи викладене, підкреслимо, що рутили еклогітового та перидотитового парагенезисів чітко розрізняються між собою за хімічним складом. Надійним показником парагенетичної приналежності є співвідношення в рутилах $Cr/(Cr + Al)$. В еклогітових воно, за поодинокими винятками, не перевищує 0,6, тоді як у перидотитових близьке до 1,0.

Мікрокристалічний рутил із кімберлітового "цементу". Рутил даного типу утворює гомо-

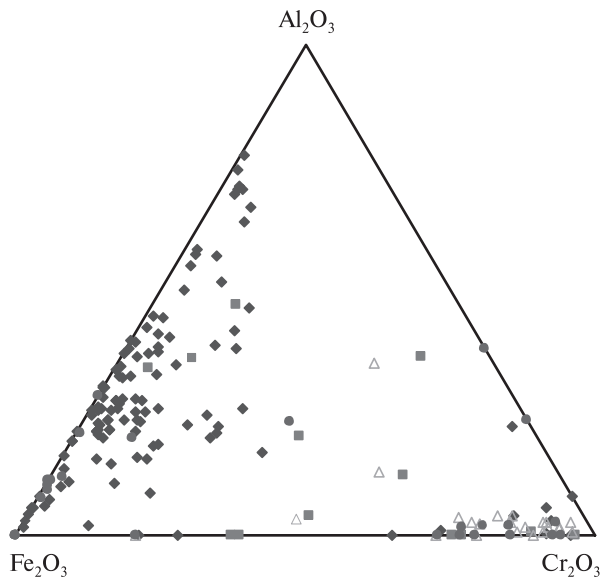


Рис. 9. Розподіл основних домішок у кристалах рутилу із кімберлітів та їхніх ксенолітів на трикутній діаграмі: 1 — ксеноліти еклогітів [13, 15, 16, 21, 23, 31, 36, 37], 2 — ксеноліти вебстеритів [9, 13], 3 — ксеноліти перидотитів [22, 25, 33, 40, 41], 4 — кімберліти [18, 20, 26, 30, 34, 40, 42]. Умовні позначення 1—4 (див. рис. 8)

Fig. 9. Ternary diagram of rutiles from kimberlites and their xenoliths: 1 — eclogitic xenoliths [13, 15, 16, 21, 23, 31, 36, 37], 2 — websteritic xenoliths [9, 13], 3 — peridotitic xenoliths [22, 25, 33, 40, 41], 4 — kimberlitic groundmass [18, 20, 26, 30, 34, 40, 42]. Legend 1—4 (see Fig. 8)

генні та зональні виділення розміром від перших десятків до декількох сотень мікрон, зростки з ільменітом та титаномagnetитом. Хімічний склад мінералу вивчений поки що недостатньо. Втім, із наявних на цей час даних можна зробити висновок, що він є доволі специфічним та характеризується підвищеним вмістом домішок. У ньому виявлені [3], %: Fe_2O_3 — 0,97—13,05, Al_2O_3 — 0,01—2,04, Cr_2O_3 — 0,01—4,14, Nb_2O_5 — до 1,23, а також MgO , MnO , CaO , BaO .

Таблиця 2. Хімічний склад рутилу із поліміктових перидотитів, порід типу *MARID* і рутил-силікатних нодулів, мас. % [5, 22, 25, 33, 40, 41]

Table 2. Chemical composition of rutile from polymict peridotites, *MARID* rocks and rutile-silica nodule, wt. % [5, 22, 25, 33, 40, 41]

Тип породи	Al_2O_3	Cr_2O_3	Fe_2O_3	Nb_2O_5	Ta_2O_5
Поліміктові перидотити	0,01—0,20	0,7—5,0	0,1—0,7	До 3,2	Н. в.
Породи типу <i>MARID</i>	0,01—0,10	0,7—3,5	0,4—2,7	До 2,8	"
Рутил-силікатні нодулі	0,01—0,25	4,0—5,2	0,4—1,2	1,0—1,2	до 0,7

Примітка. Н. в. — не визначено.

Note. Н. в. — not determined.

Рутил із лампроїтів. У цих породах рутил поширений порівняно обмежено — в основній масі майже всіх типів порід трубки Аргайл трапляється самостійно у вигляді темно-коричневих та чорних округлих зерен, рідше — призматичних кристалів, а також і в зростках із марганцевим ільменітом, прайдеритом та цирконом [4]. Містить мінливу кількість ніобію (до 2 % Nb_2O_5) та невелику — заліза й хрому (~0,2 % Cr_2O_3). Окрім того, рутил виявлений також як включення в алмазах із лампроїтів поля Елендейл. Він містить домішки Cr_2O_3 (0,65 %) та FeO (0,35 %).

Порівняльний аналіз. Викладений вище матеріал про рутил різних асоціацій дає підстави стверджувати, що за хімічним складом вивчений нами рутил найбільш близький до рутилу еклогітового парагенезису, а саме до рутил-алмазної асоціації та, зокрема, до рутил-алмазних зростків із трубки "Удачная", описаних в роботі [36] (табл. 1). Близький хімічний склад має також рутил із бімінерального (омфацит-гранат) еклогіту цієї трубки [12], %: TiO_2 — 99,3, ZrO_2 — 0,18, MgO — 0,01, FeO — 0,33, Ta_2O_5 — 0,01, Nb_2O_5 — 0,01, Al_2O_3 — 0,15, Cr_2O_3 — 0,04, V_2O_5 — 0,14, сума — 100,2.

Хоча не вдалося дослідити домішки азоту в алмазах зростків, вивчені нами інші дрібні алмази із кімберлітів трубки "Удачная" за загальним вмістом домішок азоту також належать до алмазів еклогітової асоціації. На це вказує середній вміст у них азоту, який становить майже 500 ppm, що значно більше за середній вміст азоту в алмазах перидотитової асоціації.

Структури розпаду твердого розчину в рутилах алмазної асоціації — ламелі нових фаз, є порівняно рідкісними і визначені як корунд, ільменіт та магнетит [36]. У тому числі в рутилі із рутил-алмазного зростка Уд-2023 із кімберлітів трубки "Удачная" зафіксовані ламелі іль-

меніту [36]. Аналогічні за формою структури розпаду твердого розчину добре відомі для залізвмісного гідротермального рутилу [11]. Тільки в ньому вони представлені залізвмісною фазою — гематитом і отримані шляхом нагрівання електронним промінням, при цьому залежно від часу нагрівання відзначено появу великих когерентних пластинок залізвмісної фази за рахунок її тонких пластинок. У нашому випадку такі пластинки недиагностованої фази виникли в процесі охолодження рутил-алмазних зразків у ході розпаду збагаченої залізом і алюмінієм рутилової матриці. Їхній розмір і форма, найвірогідніше, залежать від швидкості і тривалості охолодження мінералоутворювальної системи. Виразна різниця у формі цих структур для зр. Уд-9 і Уд-23 (тонкі ламелі) та Уд-16 (товсті ламелі) вказує на різні температурні умови їх утворення, мабуть, більш низькотемпературні і триваліші в часі для останніх. Якщо оцінити за вмістом домішок азоту у дрібних алмазах трубки "Удачная" температуру їх утворення як 1100—1250 °С, то можлива температура дифузійних перетворень у вивченому рутилі була значно нижчою. Структури розпаду в рутилі збереглися завдяки їх консервації, мабуть, за ще нижчої температури. Навіть приблизну температуру "замороження" цих структур розпаду в рутилі важко оцінити. Проте, наприклад, за даними [1], розвинені структури розпаду у піроксенах і гранатах із ксенолітів еклогітів у кімберлітах Якутії зберігаються на пізніших стадіях їх формування за температури 810—1080 °С і тиску 3,2—4,9 ГПа, тоді як вихідні гомогенні гранати і піроксени цього парагенезису до утворення продуктів розпаду перебували в мантії за температури 1250—1400 °С і тиску понад 6—8 ГПа.

Висновки. Вивчені зростки і проростання алмазу і рутилу із кімберлітів трубки "Удачная" свідчать про їх еклогітовий парагенезис, тобто про "еклогітове" середовище росту кристалів алмазу.

Загалом рутил є характерним мінералом різних за складом ксенолітів алмазоносних мантійних еклогітів, інколи лерцолітів, зрідка його

фіксують як включення і вростки в алмазі. Водночас, рутил належить до поширених мінералів кімберлітів і серед оксидів титану утворюється в кімберлітах найпізніше, тобто може наростати на кристали алмазу. На відміну від нього, рутил, сингенетичний алмазу, напевне, є більш високотемпературним різновидом, часто багатим на Fe_2O_3 , Cr_2O_3 і Al_2O_3 . Хімічний склад включень і вростків рутилу в мантійному алмазі хоча і змінюється в широких межах, є характерним для певних мінеральних асоціацій. Такий рутил може бути мінералом-індикатором алмазоносних порід.

Тому актуальним є всебічне вивчення рутилу на сучасному рівні з метою використання цього мінералу для прогнозу і пошуку корінних джерел алмазу в Україні. Рутил — поширений мінерал кристалічних і теригенних порід Українського щита, особливо він характерний для неогенових титано-цирконієвих розсипів, де він парастерично асоціює з мікроалмазами. Як відомо, корінні джерела цих мікроалмазів поки що не виявлені, також потребує детальнішого вивчення генотип цих алмазів. Отже, роль рутилу як можливого мінералу-супутника мікроалмазів із неогенових титано-цирконієвих розсипів потребує з'ясування. Оскільки в цих розсипах відсутній такий важливий супутник алмазу як піроп, значення досліджень рутилу зростає ще більше. Особливо важливо, що завдяки вивченню рутилу можна буде визначати вік утворення мінералу, вік породи (кімберліту чи лампроїту), а у випадку його сингенетичного росту з алмазом — і вік останнього. Тобто буде можливим визначення часу прояву процесів кімберлітового чи лампроїтового магматизму.

Автори вдячні С.Г. Кривдіку і анонівному рецензенту за корисні зауваження, які сприяли покращенню змісту статті. Тим більше важливим для авторів статті є повідомлення С.Г. Кривдіка про виявлення ним в Приазов'ї, у фенітизованих кварцитах кристалів рутилу з підвищеним або високим вмістом Cr і Nb, і припущення, що цей рутил походить із ультраосновних або лужно-ультраосновних порід — з кімберлітів чи перидотитів (Мінерал. журн. — 2013. — 35, № 4. — С. 99—113).

ЛІТЕРАТУРА

1. Алифирова Т.А. Продукты распада твердых растворов в гранатах и пироксенах (на материале мантийных ксенолитов из кимберлитов) : Автореф. ... канд. геол.-минерал. наук. — Новосибирск, 2015. — 21 с.
2. Афанасьев В.П., Агашев А.М., Орихаши Ю., Похиленко Н.П., Соболев Н.В. Палеозойский U-Pb-возраст включения рутила в алмазе V-VII разновидности из россыпей северо-востока Сибирской платформы // Докл. РАН. — 2009. — 428, № 2. — С. 228—232.

3. Богатиков О.А., Гаранин В.К., Кононова В.А., Кудрявцева Г.П., Васильева Е.Р., Вержак В.В., Веричев Е.М., Парсаданян К.С., Посухова Т.В. Архангельская алмазоносная провинция (геология, петрография, геохимия и минералогия). — М.: Изд-во Моск. гос. ун-та, 1999. — 524 с.
4. Джейкс А., Луис Дж., Смит К. Кимберлиты и лампроиты Западной Австралии / Пер. с англ. Е.Н. Горной; Под ред. Н.В. Соболева. — М.: Мир, 1989. — 430 с.
5. Доусон Дж. Кимберлиты и ксенолиты в них / Пер. с англ. Ф.В. Каминского; Под ред. В.С. Соболева. — М.: Мир, 1983. — 300 с.
6. Ковальский В.В., Буланова Г.П., Никишов К.Н., Боткунов А.И., Махотко В.Ф., Шестакова О.Е., Готовцев В.В. Состав гранатов, хромитов и рутилов, ассоциирующих с алмазами из кимберлитовых трубок Якутии // Докл. АН СССР. — 1979. — **247**, № 4. — С. 946—951.
7. Королев Н.М., Марин Ю.Б., Никитина Л.П., Зинченко В.Н., Шиссуна У.М. Высокониобиевый рутил из верхнемантийных эклогитовых ксенолитов алмазоносной кимберлитовой трубки Катока, Ангола // Докл. Акад. наук. — 2014. — **454**, № 2. — С. 207—210.
8. Мальков Б.А. "Рутил в алмазе" — минералогический барометр для алмазоносных эклогитов // Мир минералов, кристаллов и наноструктур (к 60-ию А.М. Асхабова). — Сыктывкар: Геопринт, 2008. — С. 79—85.
9. Мацюк С.С., Зинчук Н.Н. Оптическая спектроскопия минералов верхней мантии. — М.: Недра-Бизнесцентр, 2001. — 428 с.
10. Митюхин С.И., Специус З.В. Включения в алмазах из кимберлитовой трубки Ботуобинская // Геология и геофизика. — 2005. — **46**, № 12. — С. 1246—1258.
11. Патнис А., Мак-Коннелл Дж. Основные черты поведения минералов / Пер. с англ. М.А. Богомолова. — М.: Мир, 1983. — 304 с.
12. Рагозин А.Л., Зедгенизов Д.А., Шацкий В.С., Орихаши Ю., Агашев А.М., Каги Х. U-Pb-возраст рутила из ксенолита эклогита кимберлитовой трубки Удачная // Докл. Акад. наук. — 2014. — **457**, № 2. — С. 213—216.
13. Специус З.В., Серенко В.П. Состав континентальной верхней мантии и низов коры под Сибирской платформой. — М.: Наука, 1990. — 272 с.
14. Соболев Н.В. Глубинные включения в кимберлитах и проблема состава верхней мантии. — Новосибирск: Наука, 1974. — 264 с.
15. Соболев Н.В., Лаврентьев Ю.Г., Усова Л.В. Об элементах-примесях рутилов из эклогитов // Геология и геофизика. — 1972. — № 11. — С. 108—112.
16. Appleyard C.M., Bell D.R., le Roex A.P. Petrology and geochemistry of eclogite xenoliths from the Rietfontein kimberlite, Northern Cape, South Africa // Contribs Mineral. Petrol. — 2007. — **154**. — P. 309—333.
17. Banas A., Stachel T., Muehlenbachs K., McCandless T.E. Diamonds from the Buffalo Head Hills, Alberta: formation in a non-conventional setting // Lithos. — 2007. — **93**. — P. 199—213.
18. Voctor N.Z., Boyd F.R. Oxide minerals in a layered kimberlite-carbonate sill from Benfontein, South Africa // Contribs Mineral. Petrol. — 1981. — **76**. — P. 253—259.
19. Deines P., Harris J.W. New insights into the occurrence of ¹³C-depleted carbon in the mantle from two closely associated kimberlites: Letlhakane and Orapa, Botswana // Lithos. — 2004. — **77**. — P. 125—142.
20. Elton D., Ridley W.I. The oxide and silicate mineral chemistry of a kimberlite from the Premier mine: implications for the evolution of kimberlitic magmas // Kimberlites, diatremes, and diamonds: their geology, petrology, and geochemistry. — Washington: AGU, 1979. — P. 206—216.
21. Heaman L.M., Creaser R.A., Cookenboo H.O., Chacko T. Multi-stage modification of the northern Slave mantle lithosphere: evidence from zircon- and diamond-bearing eclogite xenoliths entrained in Jericho kimberlite, Canada // J. Petrol. — 2006. — **47**, № 4. — P. 821—858.
22. Haggerty S.E. Oxide mineralogy of the upper mantle // Reviews in Mineralogy. — 1991. — **25**. — P. 355—416.
23. Hills D.V., Haggerty S.E. Petrochemistry of eclogites from the Koidu Kimberlite Complex, Sierra Leone // Contribs Mineral. Petrol. — 1989. — **103**. — P. 397—422.
24. Kaminsky F.V., Khachatryan G.K., Andreatza P., Araujo D., Griffin W.L. Super-deep diamonds from kimberlites in the Juina area, Mato Grosso State, Brazil // 9th Intern. Kimberlite Conf. Extended Abstract. — 2008. — N 9IKC-A-00005. — DOI: <https://10.1016/j.lithos.2009.03.036>
25. Konzett J., Armstrong R.A., Gunter D. Modal metasomatism in the Kapvaal craton lithosphere: constraints on timing and genesis from U-Pb zircon dating of metasomatized peridotites and MARID-type xenoliths // Contribs Mineral. Petrol. — 2000. — **139**. — P. 704—719.
26. Kopylova M.G., Mogg T., Scott Smith B. Mineralogy of the Snap Lake kimberlite, Northwest Territories, Canada, and compositions of phlogopite as records of its crystallization // Canad. Miner. — 2010. — **48**. — P. 549—570.
27. Malkovets V.G., Rezvukhin D.I., Belousova E.A., Griffin W.L., Sharygin I.S., Tretyakova I.G., Gibsher A.A., O'Reilly S.Y., Kuzmin D.V., Litasov K.D., Logvinova A.M., Pokhilenko N.P., Soboлев N.V. Cr-rich rutile: A powerful tool for diamond exploration // Lithos. — 2016. — **265**. — P. 304—311.
28. Meinhold G. Rutile and its applications in Earth sciences // Earth-Science Reviews. — 2010. — **102**. — P. 1—28.
29. Meyer H.A.O., Svisero D.P. Mineral inclusions in Brazilian diamonds // Phys. Chem. Earth. — 1975. — **9**. — P. 785—795.
30. Mitchell R.H. Mineralogy of the Tunraq kimberlite, Somerset island, N.W.T., Canada // Kimberlites, diatremes, and diamonds: their geology, petrology, and geochemistry. — Washington: AGU, 1979. — P. 161—171.

31. Pivin M., Berger J., Demaijff D. Nature and origin of an exceptional Cr-rich kyanite-bearing clinopyroxenite xenolith from Mbuji-Mayi kimberlite (DRC) // *Eur. J. Mineral.* — 2011. — **23**. — P. 257–268.
32. Rudnick R.L., Barth M., Horn I., McDonough W.F. Rutile-bearing refractory eclogites: missing link between continents and depleted mantle // *Science*. — 2000. — **287**. — P. 278–281.
33. Schulze D.J. Silicate-bearing rutile-dominated nodules from South African kimberlites: Metasomatized cumulates // *Amer. Miner.* — 1990. — **75**. — P. 97–104.
34. Shee S.R. The oxide minerals of the Wesselton mine kimberlite, Kimberley, South Africa // *Kimberlites I: Kimberlites and related rocks*. — Amsterdam : Elsevier, 1984. — P. 59–73.
35. Sobolev N.V., Kaminsky F.V., Griffin W.L., Efimova E.S., Win T.T., Ryan C.G., Botkunov A.I. Mineral inclusions in diamonds from the Sputnik kimberlite pipe, Yakutia // *Lithos*. — 1997. — **39**. — P. 135–157.
36. Sobolev N.V., Efimova E.S. Composition and petrogenesis of Ti-oxides associated with diamonds // *Intern. Geol. Rev.* — 2000 — **42**, № 8. — P. 758–767.
37. Sobolev N.V., Logvinova A.M., Lavrent'ev Yu.G., Karmanov N.S., Usova L.V., Koz'menko O.A., Ragozin A.L. Nb-Rutile from Eclogite Microxenolith of the Zagadochnaya Kimberlite Pipe // *Doklady Earth Sciences*. — 2011. — **439**, Iss. 1. — P. 970–973. — DOI: <https://10.1134/S1028334X11070099>
38. Stachel T., Brey G.P., Harris J.W. Kankan diamonds (Guinea) I: from the lithosphere down to the transition zone // *Contribs Mineral. Petrol.* — 2000. — **140**. — P. 1–15.
39. Tollo R.P., Haggerty S.E. Nb-Cr-rutile in the Orapa kimberlite, Botswana // *Canad. Miner.* — 1987. — **25**. — P. 251–264.
40. Wyatt B.A., Lawless P.J. Ilmenite in polymict xenoliths from the Bultfontein and De Beers mines, South Africa // *Kimberlites II: The mantle and crust-mantle relationships*. — Amsterdam : Elsevier, 1984. — P. 43–56.
41. Zhang H., Menzies M.A., Matthey D.P., Hilton R.W., Gurney J.J. Petrology, mineralogy and geochemistry of oxide minerals in polymict xenoliths from the Bultfontein kimberlites, South Africa: implication for low bulk-rock oxygen ratios // *Contribs Mineral. Petrol.* — 2001. — **141**. — P. 367–379.
42. Zurevinski S.E., Mitchell R.H. Highly evolved hypabissal kimberlite sills from Wemindji, Quebec, Canada: insights into the process of flow differentiation in kimberlite magma // *Contribs Mineral. Petrol.* — 2011. — **161**. — P. 765–776.

Надійшла 10.05.2017

REFERENCES

1. Alifirova, T.A. (2015), *Produkty raspada tverdykh rastvorov v granatakh i piroksenakh (na materiale mantiynykh ksenolitov iz kimberlitov)*, Avtoref. dis. kand. geol.-mineral. nauk, Novosibirsk, RU, 21 p.
2. Afanas'yev, V.P., Agashev, A.M., Orikhashi, Y.U., Pokhilenko, N.P. and Sobolev, N.V. (2009), *Dokl. Akad. nauk*, Vol. 428, No. 2, RU, pp. 228-232.
3. Bogatkov, O.A., Garanin, V.K., Kononova, V.A., Kudryavtseva, G.P., Vasil'yeva, Ye.R., Verzhak, V.V., Verichev, Ye.M., Parsadanyan, K.S. and Posukhova, T.V. (1999), *Arkhangel'skaya amazonosnaya provintsiya (geologiya, petrografiya, geokhimiya i mineralogiya)*, Izd-vo Moscow Gos. Univ., Moscow, RU, 524 p.
4. Jaques, A.L., Lewis, J.D. and Smith, C.B. (1989), *The Kimberlites and Lamproites of Western Australia*, in Sobolev, N.V. (ed.), Mir, Moscow, RU, 430 p.
5. Dawson, J.B. (1983), *Kimberlites and Their Xenoliths*, in Sobolev, N.V. (ed.), Mir, Moscow, RU, 300 p.
6. Koval'skiy, V.V., Bulanova, G.P., Nikishov, K.N., Botkunov, A.I., Makhotko, V.F., Shestakova, O.Ye. and Gotovtsev, V.V. (1979), *Dokl. AN SSSR*, Vol. 247, No. 4, RU, pp. 946-951.
7. Korolev, N.M., Marin, Yu.B., Nikitina, L.P., Zinchenko, V.N. and Shissupa, U.M. (2014), *Dokl. Akad. nauk*, Vol. 454, No. 2, RU, pp. 207-210.
8. Mal'kov, B.A. (2008), *Mir mineralov, kristallov i nanostruktur (k 60-yu A.M. Ashabova)*, Geoprint, Syktyvkar, RU, pp. 79-85.
9. Matsyuk, S.S. and Zinchuk, N.N. (2001), *Opticheskaya spektroskopiya mineralov verkhney mantii*, Nedra-Biznestsentr press, Moscow, RU, 428 p.
10. Mityukhin, S.I. and Spetsius, Z.V. (2005), *Geologiya i geofizika*, Vol. 46, No. 12, RU, pp. 1246-1258.
11. Putnis, A. and McConnell, J.D.C. (1983), *Principles of Mineral Behaviour*, Mir, Moscow, RU, 304 p.
12. Ragozin, A. L., Zedgenizov, D. A., Shatskiy, V. S., Orikhashi, Yu., Agashev, A.M. and Kagi, K. (2014), *Dokl. Akad. nauk*, Vol. 457, No. 2, RU, pp. 213-216.
13. Spetsius, Z.V. and Serenko, V.P. (1990), *Sostav kontinental'noy verkhney mantii i nizov kory pod Sibirskoy platformoy*, Nauka, Moscow, RU, 272 p.
14. Sobolev, N.V. (1974), *Glubinnye vkhlyucheniya v kimberlitakh i problema sostava verkhney mantii*, Nauka, Novosibirsk, RU, 264 p.
15. Sobolev, N.V., Lavrent'yev, Yu.G. and Usova, L.V. (1972), *Geologiya i geofizika*, No. 11, RU, pp. 108-112.
16. Appelyard, C.M., Bell, D.R. and le Roex, A.P. (2007), *Contribs Mineral. Petrol.*, Vol. 154, pp. 309-333.
17. Banas, A., Stachel, T., Muehlenbachs, K. and McCandless, T.E. (2007), *Lithos*, Vol. 93, pp. 199-213.
18. Boctor, N.Z. and Boyd, F.R. (1981), *Contribs Mineral. Petrol.*, Vol. 76, pp. 253-259.
19. Deines, P. and Harris, J.W. (2004), *Lithos*, Vol. 77, pp. 125-142.
20. Elton, D. and Ridley, W.I. (1979), *Kimberlites, diatremes, and diamonds: their geology, petrology, and geochemistry*, AGU, Washington, pp. 206-216.

21. Heaman, L.M., Creaser, R.A., Cookenboo, H.O. and Chacko, T. (2006), *J. Petrol.*, Vol. 47, No. 4, pp. 821-858.
22. Haggerty, S.E. (1991), *Reviews in Mineral.*, Vol. 25, pp. 355-416.
23. Hills, D.V. and Haggerty, S.E. (1989), *Contribs Mineral. Petrol.*, Vol. 103, pp. 397-422.
24. Kaminsky, F.V., Khachatryan, G.K., Andreatza, P., Araujo, D. and Griffin, W.L. (2008), *9th Intern. Kimberlite Conf. Extended Abstract*, No. 9IKC-A-00005, DOI: <https://10.1016/j.lithos.2009.03.036>
25. Konzett, J., Armstrong, R.A. and Gunter, D. (2000), *Contribs Mineral. Petrol.*, Vol. 139, pp. 704-719.
26. Kopylova, M.G., Mogg, T. and Scott Smith, B. (2010), *Canad. Miner.*, Vol. 48, pp. 549-570.
27. Malkovets, V.G., Rezvukhin, D.I., Belousova, E.A., Griffin, W.L., Sharygin, I.S., Tretiakova, I.G., Gibsher, A.A., O'Reilly, S.Y., Kuzmin, D.V., Litasov, K.D., Logvinova, A.M., Pokhilenko, N.P. and Sobolev, N.V. (2016), *Lithos*, Vol. 265, pp. 304-311.
28. Meinhold, G. (2010), *Earth-Science Reviews*, Vol. 102, pp. 1-28.
29. Meyer, H.A.O. and Svisero, D.P. (1975), *Phys. Chem. Earth.*, Vol. 9, pp. 785-795.
30. Mitchell, R.H. (1979), *Kimberlites, diatremes, and diamonds: their geology, petrology, and geochemistry*, AGU, Washington, pp. 161-171.
31. Pivin, M., Berger, J. and Demaiffe, D. (2011), *Eur. J. Mineral.*, Vol. 23, pp. 257-268.
32. Rudnick, R.L., Barth, M., Horn, I. and McDonough, W.F. (2000), *Science*, Vol. 287, pp. 278-281.
33. Schulze, D.J. (1990), *Amer. Miner.*, Vol. 75, pp. 97-104.
34. Shee, S.R. (1984), *Kimberlites I: Kimberlites and related rocks*, Elsevier, Amsterdam, NL, pp. 59-73.
35. Sobolev, N.V., Kaminsky, F.V., Griffin, W.L., Efimova, E.S., Win, T.T., Ryan, C.G. and Botkunov, A.I. (1997), *Lithos*, Vol. 39, pp. 135-157.
36. Sobolev, N.V. and Efimova, E.S. (2000), *Intern. Geol. Rev.*, Vol. 42, No. 8, pp. 758-767.
37. Sobolev, N.V., Logvinova, A.M., Lavrent'ev, Yu.G., Karmanov, N.S., Usova, L.V., Koz'menko, O.A. and Ragozin, A.L. (2011), *Doklady Earth Sciences*, Vol. 439, No. 1, pp. 970-973, DOI: <https://10.1134/S1028334X11070099>
38. Stachel, T., Brey, G.P. and Harris, J.W. (2000), *Contribs Mineral. Petrol.*, Vol. 140, pp. 1-15.
39. Tollo, R.P. and Haggerty, S.E. (1987), *Canad. Miner.*, Vol. 25, pp. 251-264.
40. Wyatt, B.A. and Lawless, P.J. (1984), *Kimberlites II: The mantle and crust-mantle relationships*, Elsevier, Amsterdam, NL, pp. 43-56.
41. Zhang, H., Menzies, M.A., Matthey, D.P., Hilton, R.W. and Gurney, J.J. (2001), *Contribs Mineral. Petrol.*, Vol. 141, pp. 367-379.
42. Zurevinski, S.E. and Mitchell, R.H. (2011), *Contribs Mineral. Petrol.*, Vol. 161, pp. 765-776.

Received 10.05.2017

В.Н. Квасниця, А.А. Вишневский

Институт геохимии, минералогии и рудообразования
им. Н.П. Семеновко НАН Украины
03142, г. Киев, Украина, пр-т Акад. Палладина, 34
E-mail: vmkvas@hotmail.com, vyshnevskyy@i.ua

СРОСТКИ РУТИЛА С АЛМАЗОМ ИЗ КИМБЕРЛИТОВ ТРУБКИ "УДАЧНАЯ" (ЯКУТИЯ)

Среди мелких алмазов из кимберлитовой трубки "Удачная" (Якутия) нами выявлены редкие уникальные рутил-алмазные образования в форме сростков и прорастаний. Их морфология указывает на сингенетический рост кристаллов алмаза и рутила. Кристаллы алмаза слабо окрашены, их морфология разная (октаэдр, переходная форма {111}—{110}, додекаэдронид) и несовершенная. Рутил диагностирован с помощью рентгеноспектрального микроанализа. Красные и коричнево-красные кристаллы рутила ксеноморфны, их размер не превышает 0,3 мм. Средний химический состав рутила, %: TiO_2 — 98,0, Al_2O_3 — 0,9, Fe_2O_3 — 0,3, Cr_2O_3 — следы. При большом увеличении с помощью электронного микроскопа в части кристаллов рутила зафиксированы игольчатые и линзовидные структуры распада твердого раствора — ламели, которые, возможно, принадлежат гематиту. Размер игольчатых ламелей варьирует в пределах 1—20 мк, толстых линзовидных ламелей — 1—10 мк по удлинению. Поверхность кристаллов рутила покрыта также различными скульптурами растворения. Четырехугольные пирамидальные и геометрически неправильные впадины растворения орнаментируют поверхность большинства кристаллов рутила. Еще два типа скульптур растворения поверхности кристаллов рутила выглядят как такыр и скопления вытянутых пластинчатых фигур. На основании литературного обзора выполнен сравнительный анализ изученного рутила с рутилом различных алмазных и неалмазных ассоциаций из кимберлитов и лампроитов. Результаты такого сопоставления показывают, что изученные сростки алмаза и рутила из кимберлитов трубки "Удачная" принадлежат к эклогитовому парагенезису, то есть служат показателем "эклогитовой" среды роста кристаллов алмаза.

Ключевые слова: рутил-алмазные сростки, структуры распада, эклогитовая ассоциация, кимберлиты, трубка "Удачная", Якутия.

V.M. Kvasnytsya, O.A. Vyshnevskyi

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, vyshnevskyy@i.ua

RUTILE-DIAMOND INTERGROWTHS FROM UDACHNAYA KIMBERLITE PIPE (YAKUTIA)

Among small diamonds from Udachnaya kimberlitic pipe (Yakutia) we found rare unique rutile-diamond intergrowths. Their morphology indicates syngenetic growth of diamond and rutile crystals. Diamond crystals are slightly colored, have different imperfect morphology: octahedron, transitional form $\{111\}$ — $\{110\}$, dodecahedron. Rutile was identified by means of microprobe analysis. Red and brown-red crystals of rutile have a xenomorphic form, their size does not exceed 0.3 mm. Average chemical composition of rutile: TiO_2 — 98.0 %, Al_2O_3 — 0.9 %, Fe_2O_3 — 0.3 %, Cr_2O_3 — traces. At high magnifications on SEM in part of rutile crystals the needle-shaped and "lens-like" exsolution lamellae, which possibly belong to Fe_2O_3 , are fixed. A size of needle-shaped lamellae varies within 1—20 microns, thicker "lens-like" — 1—10 microns on lengthening. Also the surface of rutile crystals is covered by the different sculptures of dissolution. The quadrangular pyramidal and geometrically irregular dissolution cavities ornamented the surface of the majority of rutile crystals. Two more types of dissolution sculptures of rutile crystals surface have the appearance of "takyр" (soil), or clusters of elongated "plate-like" figures. On the basis of literary review the studied rutile is compares with rutile of different diamondiferous and diamond free associations from kimberlites and lamproites. The results of such comparison testify that the studied rutile-diamond intergrowths from Udachnaya kimberlitic pipe belong to eclogitic parageneses, id est, they serve to specify "eclogitic" environment of diamond crystals growth.

Keywords: rutile-diamond intergrowths, exsolution lamellae, eclogitic association, kimberlites, Udachnaya pipe, Yakutia.