

ПСЕВДОКУБІЧНІ Й «ДИПІРАМІДАЛЬНІ» КРИСТАЛИ КВАРЦУ КРИВОРІЗЬКОГО ЗАЛІЗОРУДНОГО БАСЕЙНУ

На шахті ім. В.І. Леніна, що розташована у Криворізькому залізорудному басейні, виявлені ізометричні двоголові кристали кварцу псевдокубічного й «дипірамідального» габітусу розміром до 6–7 мм. У першому випадку вони ограничені лише позитивним (основним, великим) $r\{10\bar{1}1\}$ ромбоедром, який домінує, і негативним (малим) $z\{01\bar{1}1\}$, у другому – розвиток граней r і z майже однаковий. На «дипірамідальних» кристалах іноді трапляються грані призми m у вигляді кількох вузьких смужок. Для ідентифікації граней використано фігури травлення. На гранях r псевдокубічних кристалів виявлено полісинтетичні бразильські двійники.

У кварці спостерігаються мінеральні (доломіт, гематит, гетит), первинні й вторинні флюїдні включення. Ромбоедричні кристали доломіту зберігаються лише у вигляді включень у кристалах кварцу. Іноді на місці порожнин від вилугованих кристалів доломіту формуються водні включення, температури гомогенізації яких дорівнюють 66 °С. Псевдокубічні й «дипірамідальні» кристали кварцу формувалися з водного гелеподібного середовища, температура якого становила близько 66–70 °С. Вона відповідає температурам гомогенізації первинних флюїдних включень.

Ключові слова: кварц, кристали псевдокубічного й «дипірамідального» габітусу, флюїдні включення, Криворізький залізорудний басейн.

Вступ. На кристалах кварцу, крім граней гексагональної призми $m\{10\bar{1}0\}$, позитивного (основного, великого) $r\{10\bar{1}1\}$ і негативного (малого) $z\{01\bar{1}1\}$ ромбоедрів, виявлено близько 535 простих форм, які включають достовірні, не цілком достовірні та сумнівні визначення [3]. Грані r переважно мають більші розміри й поширені відносно z , тому їх відповідно називають також великим і малим ромбоедрами. Зазвичай кристали мінералу ограничені ромбоедрами r і z , гексагональною призмою $m\{10\bar{1}0\}$, відносний розвиток яких визначає габітус кристалів кварцу. Іноді трапляються кристали лише з сильно розвиненим позитивним ромбоедром r за відсутності або майже повної відсутності граней призми m і ромбоедра z . Оскільки двогранний кут між гранями r/r дорівнює $85^\circ 46'$, то такі кристали кварцу набувають псевдокубічну форму. Їх іноді називають «кубоїдами» кварцу. Відомі також псевдокубічні кристали, утворені гранями малого ромбоедра z , що не завжди можна помітити [3].

Кристали кварцу псевдокубічної форми виявлені в Карелії — у пегматитових жилах і в пустотах діоритів Шунги, та інших регіонах світу [3, 6]. Вони трапляються

також серед типоморфної відміни мінералу — дрібних двоголових кристалів кварцу типу мармароських «діамантів» [7].

Оскільки форму кристалів мінералів визначають за *PT*-параметрами й хімічним складом мінералоутворювального середовища, реконструкція умов формування псевдокубічних і «дипірамідальних» кристалів кварцу на різних геологічних об'єктах сприятиме розкриттю причин їх утворення.

Мета роботи. Описати нову знахідку псевдокубічних і «дипірамідальних» кристалів кварцу, що пов'язана із формуванням залізних руд Кривого Рогу, окреслити *PT*-умови їх формування.

Методи дослідження. Кристали кварцу вивчали з використанням стереомікроскопа типу SZM-45T2 і поляризаційного мікроскопа Polmi (Karl Zeiss Jena). Фотографування об'єктів здійснювали за допомогою цифрового апарату Power Shot A630 (Canon), який закріплювали на окулярі мікроскопів. Хімічний склад мінеральних включень отримували на сканувальному мікроскопі JSM-6700F з енергодисперсійною системою для мікроаналізу JED 2300 (Jeol) (ІГМР НАН України). Температури гомогенізації включень визначали за допомогою термокамери конструкції В.А. Калюжного ($\pm 1^\circ\text{C}$) [5]. Грані кристалів кварцу протравлювали протягом 15 год у парах концентрованої HF за температури 8–10 $^\circ\text{C}$.

Геологічні умови місця знаходження зразків. У порожнинах залізних руд горизонту $K_2^{6ж}$ шахти ім. В.І. Леніна трапляються численні друзи дрібних кристалів прозорого кварцу різного забарвлення, переважно ледь забарвленого аметисту, розміром до 10 мм. Великі кристали кварцу в друзах сягають 4,5 см [8]. Виявлені також друзи й окремі кристали псевдокубічного і «дипірамідального» кварцу, які стали об'єктом подальшого вивчення.

Морфологія кристалів. Характерна особливість знахідки — наявність двоголових кристалів кварцу (рис. 1). Їх габітусними формами є лише грані ромбоєдрів *r*, *z* і призми *m*, грані якої трапляються рідко. За рівномірного розвитку граней ромбоєдрів або одного з них утворюються кристали ізометричного обрису (рис. 2). Якщо домінує один з ромбоєдрів (такі випадки переважають), то кристали набувають псевдокубічної форми. На таких індивідах грані призми *m* відсутні (рис. 3). Однаковий або майже однаковий розвиток граней *r* і *z* надає кристалам форму «дипіраміди» (рис. 3), при цьому грані призми *m* іноді спостерігається у вигляді кількох дуже вузьких смужок. Трапляються і проміжні типи кристалів.

Унаслідок проростання індивідів за сумісного індукційного росту й двійникування формуються міцно зчеплені між собою двоголові кристали кварцу. На друзових утвореннях кристалів є ділянки, представлені переважно кристалами псевдокубічної форми. Поряд з ними формуються «дипірамідальні» кристали (рис. 4).

Поверхня граней кристалів кварцу зазвичай покрита тонким прошарком оксидів і гідроксидів заліза, який або легко знімається під час протирання зразків, або міцно зчеплений з кварцом. В останньому випадку мінерали присипки лише частково вдаєть-

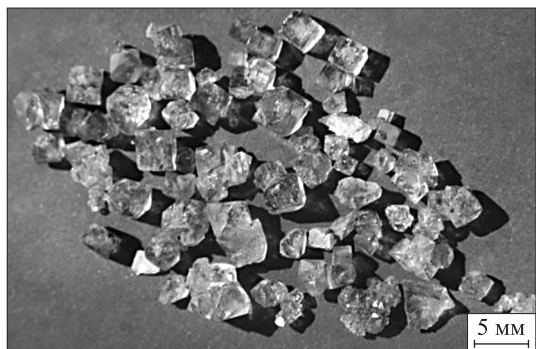


Рис. 1. Двоголові ізометричні кристали кварцу
Fig. 1. Double headed isometric crystals of quartz

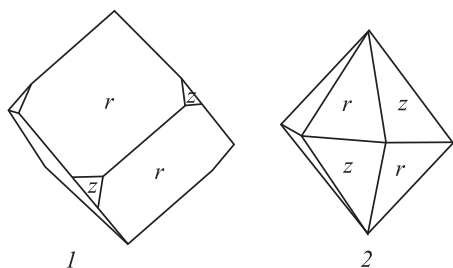


Рис. 2. Ізометричні кристали кварцу псевдокубічного (1) і «дипірамідального» (2) габітусу із залізних руд Кривого Рогу

Fig. 2. Isometric crystals of quartz of pseudocubic (1) and «dipyramidal» (2) habitus from Kryvyi Rih iron ore

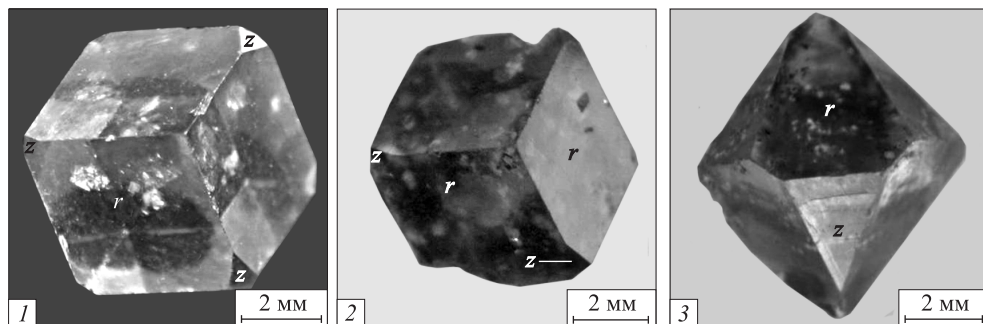


Рис. 3. Кристали кварцу псевдокубічного (1, 2) і «дипірамідального» (3) габітусів. У першому випадку оптична вісь розташована перпендикулярно до площини рисунка, у другому — паралельно видовженню кристала

Fig. 3. The crystals quartz of of pseudocubic (1, 2) and «dipyramidal» (3) habitus. In the first case the optical axis is perpendicular to the plane of the figure, in the second – parallel to lengthening of crystal

ся видалити у щавелевій кислоті. Іноді на гранях таких кристалів наявні присипки дрібних кристаликів кварцу, а також ромбоподібної форми сліди від порожнин вилугуваних кристаликів доломіту ромбоєдричного габітусу.

Віцинали росту. На гранях ромбоєдрів r і z віцинали різні. Перші відзначаються переважно дрібними зрізаними трикутними пірамідами, які часто з'єднуються між собою і чітко орієнтовані на гранях (рис. 5). Іноді одна віциналь росту займає всю площу грані кристалів кварцу (рис. 5, 1; 6, 2). Такі фігури відзначаються грубими скульптурами росту, шари яких паралельні грані r . Вони приурочені до граней, на яких переважно є присипки дрібних кристаликів кварцу. Присипки сприяли прискореному росту мінералу і формуванню однієї віцинали на грані кристала.

Фігури росту на гранях негативного ромбоєдра z незалежно від габітусу кристалів специфічні: в їх основі лежить трикутник, кути якого згладжені, тому віцинали нагадують низькі конусоподібні утворення, на яких зафіксовано кілька паралельних шарів наростання. Така їх будова добре помітна лише на поодиноких, більших за розмірами індивідах (рис. 6, 3, що є фрагментом рис. 6, 1). Основна ж частина поверхні грані ромбоєдра суцільно покрита численними дрібними утвореннями такої самої будови. На гранях z іноді проглядаються раніші (відносно конусоподібних утворень) трикутні піраміди росту, що зрізані паралельно основі. Вони аналогічні до виявлених на гранях r віциналей росту (рис. 6, 1).

Фігури травлення. Травленню піддавали лише псевдокубічні кристали кварцу. У парі плавикової кислоти грані малого ромбоєдра z розчиняються

Рис. 4. Сумісне знаходження кристалів кварцу псевдокубичного і «дипірамідального» габітусів. «Дипірамідальний» кристалик розташований у зразку справа. Кристали покриті напівпрозорою плівкою оксидів і гідроксидів заліза

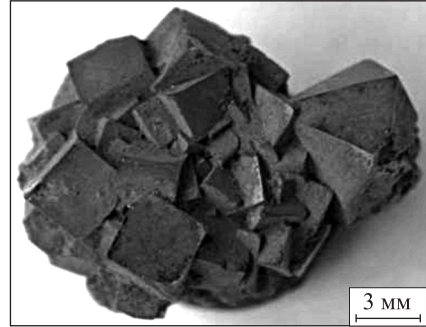


Fig. 4. Joint occurrence of quartz crystals of pseudocubic and «dipyramidal» habitus. The «dipyramidal» crystal is located in the right part of the sample. Crystals are covered by translucent film of iron oxides and hydroxides

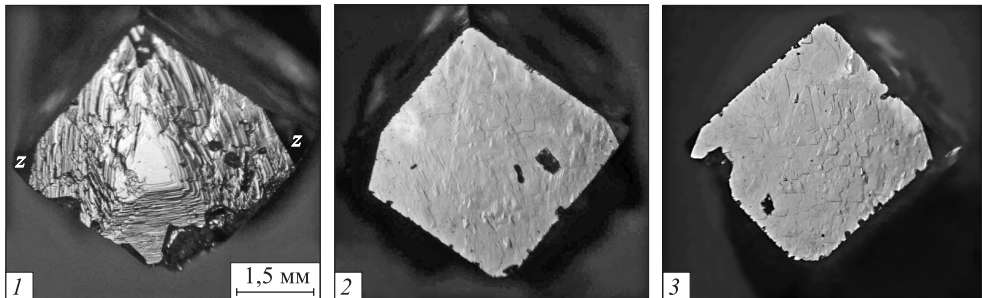


Рис. 5. Віцінали росту на верхніх гранях великого ромбоедра r псевдокубичного кристала кварцу. Пояснення у тексті

Fig. 5. The growth figures on the top facets of big rhombohedron r of pseudocubic quartz crystal. Explanation in the text

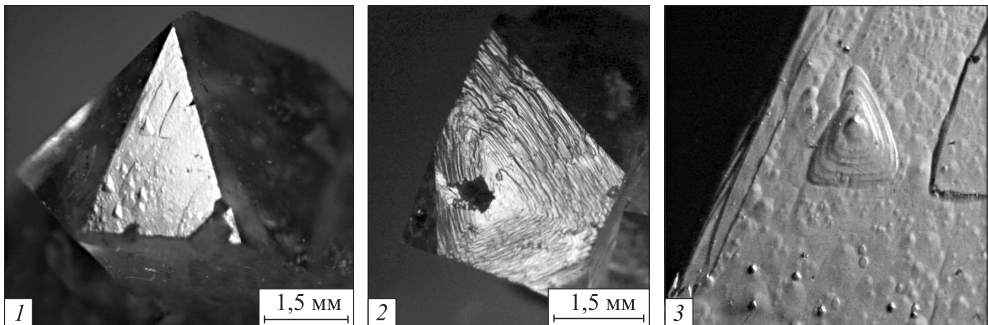


Рис. 6. Віцінали росту на гранях малого z (1, 3) й великого r (2) ромбоедрів кристалів кварцу. Пояснення у тексті

Fig. 6. The growth figures on the facets of small z (1, 3) and big r (2) rhombohedrons of quartz crystals. Explanation in the text

значно менше, ніж грані великого ромбоедра r . Протравлені грані ромбоедра z блискучі й відзначаються характерними для нього дрібними елементами поверхні, що розташовані близько один від одного [3]. Протравлені грані ромбоедра r відбивають відносно великі елементи поверхні, що сформовані полісинтетичними бразильськими двійниками (рис. 7).

Мінеральні вclusions. Вclusions переповають кристали кварцу і представлені переважно доломітом, рідко гетитом і гематитом.

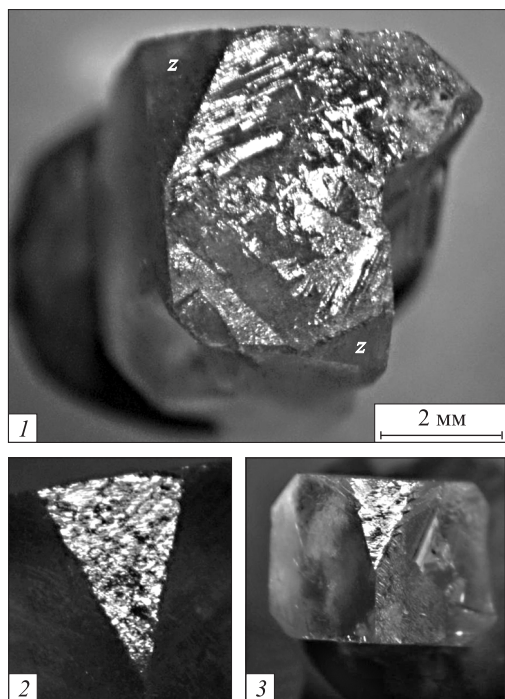


Рис. 7. Фігури травлення на гранях великого (1) й малого (2, 3) ромбоєдрів псевдокубічних кристалів кварцу. Пояснення у тексті

Fig. 7. The etching figures on the big (1) and small (2, 3) rhombohedrons of pseudocubic quartz crystals. Explanation in the text

Включення кристалів доломіту ограничені лише ромбоєдром $r \{1011\}$, іноді трапляються дрібні грані пінакоїда $c \{0001\}$. Ідентифікацію граней ромбоєдра на кристалах, захоплених у кварці як включення, здійснено за кутом між його гранями, що дорівнює $74^{\circ}57'$ (для кальциту) і $73^{\circ}16'$ (для доломіту) [1]. Включення зазвичай представлені зональними, іноді до трьох зон, кристалами. Їх центральні частини забарвлені оксидами і гідроксидами заліза у жовтуватий і коричнюватий колір.

Достовірних ознак індукційного росту кварцу й включень доломіту не виявлено. У мінералі крім Ca виявлені домішки Mg, Mn, Fe. Розрахований на формульні одиниці хімічний склад мінералу (див. таблицю) вказує, що він належить до доломіту або магнеїстого кальциту. Закономірної зміни хімічного складу речовини мінералу в напрямку від центра кристаликів до периферії не зафіксовано.

Гематит утворює ізометричні індивіди розміром 2—3 мкм, що формують скупчення неправильної форми величиною до 200—400 мкм. Більші індивіди гематиту іноді по периферії заміщені гетитом. Серед виділень гематиту трапляються водні включення гомогенного наповнення. Іноді дрібні кульки гематиту ніби настромлені на голчасті кристали гетиту.

Хімічний склад включень карбонату в кварці залізних руд Кривого Рогу (ф.о.)

Chemical composition of carbonate inclusions in quartz from Kryvyi Rih iron ores (a.p.f.u.)

Номер аналізу	Fe	Mn	Mg	Ca	Номер аналізу	Fe	Mn	Mg	Ca
1	0,012	0,134	0,363	0,491	9	0,054	0,035	0,410	0,501
2	0,016	0,132	0,369	0,482	10	0,027	0,039	0,441	0,492
3	0,015	0,125	0,362	0,498	11	0,018	0,050	0,429	0,503
4	0,011	0,131	0,372	0,485	12	0,031	0,047	0,417	0,505
5	0,013	0,114	0,392	0,481	13	0,044	0,041	0,422	0,494
6	0,016	0,107	0,379	0,498	14	0,046	0,031	0,410	0,513
7	0,031	0,067	0,401	0,501	15	0,041	0,044	0,416	0,499
8	0,049	0,031	0,418	0,502					

Рис. 8. Первинні флюїдні включення неправильної форми (1, 2), що зумовлена прилипанням гелеподібного мінералоутворювального середовища до дрібних голчастих виділень гетиту (?). Іноді включення мають псевдокубічну форму кристала доломіту (3, 4)

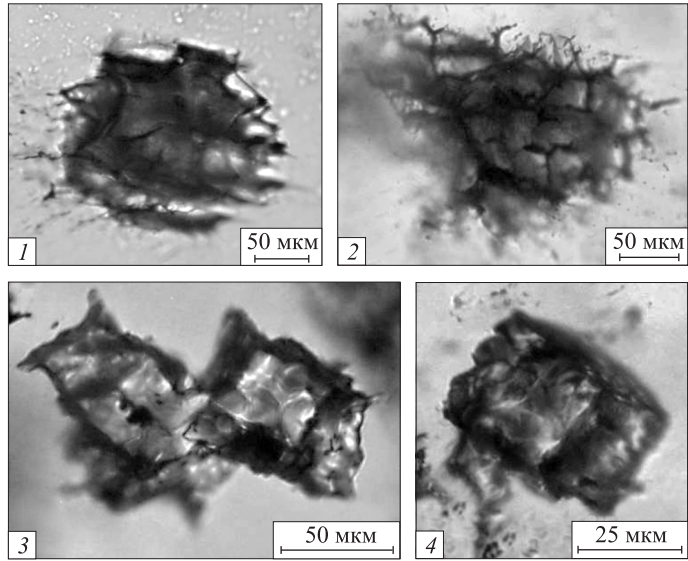


Fig. 8. Irregular shape primary fluid inclusions (1, 2), which is caused by adhesion of jelly-like mineral forming environment to small acicular goethite (?). Sometimes inclusions have pseudo-cubic form of dolomite crystal (3, 4)

Флюїдні включення. Відносно часто у кварці трапляються первинні включення, що мають зазвичай гомогенне наповнення, проте іноді об'єм газової фази становить ~2—5 %. У деяких включень газова фаза займає близько 30—40 %. Це, безумовно, включення гетерогенного захоплення [4]. Форма первинних включень — ізометрична, неправильна, вторинних — іноді псевдокубічна (рис. 8). Їхня поверхня має численні виступи у вигляді гострих конусів. Вміст первинних включень переважно ледь просвічує, а у відбитому світлі має слабкий молочно-білий колір і, ймовірно, відповідає гелю. Речовина таких включень — оптично ізотропна, місцями — анізотропна. Анізотропні частинки вмісту включень, можливо, відповідають гетиту. Заморожування включень супроводжується їх розтріскуванням. Під час їх нагрівання у тріщинах з'являється водний розчин.

Вторинні включення заліковують тріщини і мають зазвичай неправильну форму, іноді негативну форму кристалів доломіту, якщо на їх місці внаслідок вилуговування утворюються газиво-рідкі (рідини ~95—98 %) водні включення (рис. 8, 3, 4). У тонких залікованих тріщинах часто спостерігаються неправильної форми вторинні включення, наповнення яких змінюється від суттєво газових до суттєво водних. Їх наповнення відповідає пізнім холодним водним розчинам.

Температурні умови кристалізації. Точно відтворити *PT*-параметри росту кристалів псевдокубічного й «дипірамідального» кварцу Криворізького залізорудного басейну непросто, хоча, поза всяким сумнівом, вони сформувалися за низьких температур.

Температури гомогенізації (T_g) первинних включень з бульбашкою газу (~2—5 %) становлять від 66—70 (4 заміри) до 135 °C (2 заміри). Якщо система була гетерогенною [4], то серед множини включень, що були захоплені одночасно, T_g будь-якого із них дорівнює або дещо більша за дійсну температуру захоплення. Тому отримані мінімальні значення T_g включень, тобто 66—70 °C, відповідають температурі мінералоутворювального середовища, в якому росли досліджувані кристали кварцу. У разі захоплення включень із гомогенної системи температура мінералоутворення буде дещо більшою за от-

римані значення T_r включень. Оскільки виявлено первинні флюїдні включення, що містять до 30—40 % газової фази, система мінералоутворення була гетерогенною.

Величина T_r вторинних включень, що утворилися на місці вилугуваних кристалів доломіту, дорівнює 66 °С (2 заміри). Вона відповідає (близька) температурі водних розчинів, що вилугувували доломіт у кристалах кварцу.

Найімовірніше, температура мінералоутворювального середовища, у якому формувалися досліджувані кристали, була близькою до 66—70 °С.

Обговорення і висновки. Псевдокубічні й «дипірамідальні» кристали кварцу Кривого Рогу різняться від подібних знахідок з інших регіонів тим, що вони огранені лише добре розвиненим позитивним ромбоедром r відносно граней негативного ромбоедра z і без участі граней призми m . На «дипірамідальних» кристалах мінералу грані ромбоедрів розвинуті однаково, а вузькі смужки граней гексагональної призми m трапляються рідко.

У рості псевдокубічних і «дипірамідальних» кристалів кварцу Кривого Рогу брали участь колоїдні розчини, що сформували гель. Останній захоплюється первинними флюїдними включеннями у кристалах мінералу. Оскільки псевдокубічні й «дипірамідальні» кристали кварцу часто розміщуються поруч, найімовірніше існують певні локальні відмінності у рості кристалів кварцу, що супроводжуються, з одного боку, домінуючим ростом лише одного з ромбоедрів, з іншого — однаковим розвитком обох ромбоедрів.

Найімовірніше, кристали псевдокубічного й «дипірамідального» кварцу Криворізького залізорудного басейну росли з гетерогенної мінералоутворювальної системи, температура якої дорівнювала 66—70 °С.

Низькі температури формування псевдокубічних кристалів кварцу характерні й для інших районів планети. Невисокі температури (80—140 °С) гомогенізації включень псевдокубічної форми отримав Ю.О. Долгов [2] у кварці з борнітом сульфідних руд Сан-Донато (Урал). Псевдокубічна форма флюїдних включень і кристалів кварцу властива й «мармароським діамантам», які формувалися із специфічної мінералоутворювальної системи — водного розчину й вуглеводневого флюїду [5].

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Берри Л., Мейсон Б., Дитрих Р. Минералогия. — М.: Мир, 1987. — 592 с.
2. Долгов Ю.А. О «высокотемпературном» ромбоэдрическом облике кристаллов кварца // Минерал. сб. Льв. геол. об-ва. — № 11. — 1957. — С. 338—339.
3. Дэна Дж., Дэна Э.С., Фрондель К. Система минералогии. Т. 3. Минералы кремнезема. — М.: Мир, 1966. — 431 с.
4. Калюжний В.А. Методи вивчення багатофазових включень у мінералах. — К.: Вид-во АН УРСР, 1960. — 168 с.
5. Карпатська нафтогазоносна провінція / В.В. Колодій, Г.Ю. Бойко, Л.Е. Бойчевська та ін. — Львів;Київ: ТОВ «Укр. Видавн. центр», 2004. — 388 с.
6. Кварц. Минералы. Справочник. Т. 2, вып. 2. — М.: Наука, 1965. — С. 143—209.
7. Матковський О., Павличин В., Сливко Є. Основи мінералогії. — Львів: Видавн. центр Льв. нац. ун-ту ім. Івана Франка, 2009. — 856 с.
8. Минералогия Криворожского бассейна / Е.К. Лазаренко, Ю.Г. Гершойг, Н.И. Бучинская и др. — К.: Наук. думка, 1977. — 544 с.

Надійшла 24.04.2013

А.С. Щирица, Д.К. Возняк, А.А. Вишневский

ПСЕВДОКУБИЧЕСКИЕ И «ДИПИРАМИДАЛЬНЫЕ» КРИСТАЛЛЫ
КВАРЦА КРИВОРОЖСКОГО ЖЕЛЕЗОРУДНОГО БАССЕЙНА

На шахте им. В.И. Ленина, которая расположена в Криворожском железорудном бассейне, установлены изометрические двуглавые кристаллы кварца псевдокубического и «дипирамидального» габитуса размером до 6—7 мм. В первом случае они огранены лишь положительным (основным, большим) $r \{10\bar{1}1\}$ ромбоэдром, который доминирует, и отрицательным (малым) $z \{01\bar{1}1\}$, во втором — развитие граней r и z почти одинаково. На «дипирамидальных» кристаллах иногда встречаются грани призмы m в виде нескольких узких полосок. Для идентификации граней использованы фигуры травления. На гранях r установлены полисинтетические двойники.

В кварце находятся минеральные (доломит, гематит, гетит) первичные и вторичные флюидные включения. Ромбоэдрические кристаллы доломита сохраняются лишь в виде включений в кристаллах кварца. Иногда на месте выщелоченных полостей от кристаллов доломита образуются водные включения, температуры гомогенизации которых равны 66 °С. Псевдокубические и «дипирамидальные» кристаллы кварца формировались из водной гелевидной среды, температура которой составляла около 66—70 °С. Она соответствует температурам гомогенизации первичных флюидных включений.

Ключевые слова: кварц, кристаллы псевдокубического и «дипирамидального» габитуса, флюидные включения, Криворожский железорудный бассейн.

O.S. Shchyrytsya, D.K. Voznyak, O.A. Vyshnevskiy

PSEUDOCUBIC AND «DIPYRAMIDAL»
QUARTZ CRYSTALS OF THE KRYVYI RIH ORE BASIN

Isomeric two-headed quartz crystals were revealed in the V.I. Lenin mine located in the Kryvyi Rih iron ore basin. They have a pseudocubic and “dipyramidal” habitus up to 6-7 mm. In the first case they are faceted only by positive (mostly large) $r \{10\bar{1}1\}$ rhombohedron that dominates and negative (small) $z \{01\bar{1}1\}$; in the second — the development of r and z faces is almost identical. In “dipyramidal” crystals the m prism faces occur sometimes in a form of narrow strips. The etch figures were used for identification of faces. Polysynthetic Brazilian twins were found on the r faces. The mineral (dolomite, hematite, goethite), primary and secondary fluid inclusions occur in quartz. Rhombohedral crystals of dolomite are kept only as inclusions in quartz crystals. Water inclusions are sometimes formed on the spot of dolomite leaching cavities. Their homogenization temperature is equal to 66 °C. Pseudocubic and “dipyramidal” quartz crystals were formed from aqueous gel medium which temperature was about 66-70 °C. It corresponds to homogenization temperatures of primary fluid inclusions.

Key words: quartz, crystals of pseudocubic and “dipyramidal” habitus, fluid inclusions, Kryvyi Rih iron ore basin.