

<https://doi.org/10.15407/mineraljournal.47.01.033>
УДК 548.4:549.5:553.2 (477+99)

О.П. Вовк¹, канд. геол. наук, доц.

E-mail: geologygeochemistry@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-1509-0905>

І.М. Наумко², д-р геол. наук, чл.-кор. НАН України, проф., зав. від.

E-mail: naumko@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0003-3735-047X>

Г.О. Занкович², канд. геол. наук, мол. наук. співроб.

E-mail: zankovuch@ukr.net; <https://orcid.org/0009-0003-6634-8042>

¹ Волинський національний університет імені Лесі Українки
43025, м. Луцьк, Україна, просп. Волі, 13

² Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України
79060, м. Львів, Україна, вул. Наукова, 3-а

ПСЕВДОСИМЕТРІЯ КРИСТАЛІВ КВАРЦУ ТА ЇЇ МІНЕРАЛОГО-ГЕНЕТИЧНЕ ЗНАЧЕННЯ

Описано псевдосиметрію кристалів кварцу на прикладі "мармароських діамантів" як нового генетичного типу кварцу — скелетних кристалів з включеннями вуглеводнів. Обговорено всі теоретично можливі морфологічні види псевдосиметрії кристалів мінералу: L_33L_2 , L_33L_23PC , L_66L_27PC , L_3 , L_2PC , C , L_33P , L_22P , L_2 , L_66P , $3L_23PC$, L_22P , P . — Найпоширенішими є L_66L_27PC , L_33L_23PC , $3L_23PC$, P . — До характерних елементів симетрії, які проявляються залежно від умов утворення, належать вісь L_3 , осі L_2 , псевдовісь L_6 , псевдоосі L_2 , псевдоплощини. Загалом кристали можуть рости у завислому стані, в умовах однорідної двосторонньої або односторонньої плівки, прикріплені до дна або до стінки породи. Середовище може бути умовно нерухомим, рухатись поступально і/або обертатись. Те саме стосується багатогранників. Можливі різні види симетрії середовища і кристала. Орієнтація цих елементів може збігатись або ні. Для всіх імовірних випадків виявлено всі вказані вище теоретично можливі види псевдосиметрії кварцу. Кожному виду відповідає одна або кілька з описаних вище ситуацій мінералоутворення. Розглянуто всі теоретично можливі ситуації і всі типи псевдосиметрії, які їм відповідають. Наголошено, що велика кількість гексагонально-дипірамідальних і гексагонально-короткопризматичних кристалів "мармароських діамантів" із Кросненської зони Українських Карпат (район нового Бескидського тунелю) свідчить про їхнє утворення шляхом обертання у високосиметричному середовищі на ранніх стадіях мінералоутворення. Особливо цінними є багатогранники із симетрією P , позаяк вони надають можливість не лише відтворити симетрію середовища, а й часто напрямок руху мінералоутворювальних флюїдів, що, зокрема, показано на прикладі кварцу із січних жил у гранодіоритах андського інтрузивного комплексу островів Барчанс (Аргентинські острови, Західна Антарктика). У підсумку, оскільки за зовнішньою формою багатогранника можна відтворити параметри середовища, то, ґрунтуючись на загальнотеоретичних передумовах і міркуваннях, розглянуто зв'язок симетрії реальних багатогранників кварцу із симетрією флюїдного мінералоутворювального середовища і його еволюцією та напрямками руху мінералоутворювальних флюїдів. Водночас конкретні визначальні елементи цього зв'язку показано на основі, головню, авторських даних з морфології "мармароських діамантів", форма багатогранників яких попередньо може слугувати показником перспектив нафтогазоносності території.

Ключові слова: кварц, "мармароські діаманти", кристалогенезис, гоніометрія, включення флюїдного мінералоутворювального середовища, вуглеводні.

Цитування: Вовк О.П., Наумко І.М., Занкович Г.О. Псевдосиметрія кристалів кварцу та її мінералого-генетичне значення. *Мінерал. журн.* 2025. 47, № 1. С. 33—44. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.47.01.033>

© Видавець ВД "Академперіодика" НАН України, 2025. Стаття опублікована на умовах відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

Вступ. Кварц — один із найпоширеніших мінералів у земній корі, наявний у парагенезисах мінералів більшості геологічних утворень, постійний, а нерідко домінуючий продукт відповідних процесів у мінералоутворювальному середовищі. Полігенність кварцу свідчить про його значущість, з одного боку, для отримання цінної генетичної інформації, з іншого — використання з пошуковою метою. В кристаломорфологічному аспекті, знаючи еволюційний ряд габітусів багатогранників кварцу, можна визначити етапність процесу мінералогенезу, і саме габітус кристалів (призматичний, короткопризматичний, дипірамідальний тощо) може бути непрямом ознакою родовищ корисних копалин певного генетичного типу. Незначна кількість простих форм спрощує проведення гоніометричних вимірів. Гоніометрія, крім того, дає можливість зберегти мінерал для подальших досліджень.

Однак, зовнішньо реальні багатогранники кварцу за переваги тієї чи іншої гранної форми та зміни симетрії можуть нагадувати кристали будь-якої сингонії (псевдокубічні, псевдомоноклінні тощо). Уперше залежність морфології реальних багатогранників кварцу від їхнього положення під час росту описав Г.Г. Леммлейн (Lemmlejn, 1941). Зміна співвідношення гранних форм і зовнішня симетрія реальних багатогранників дає змогу відтворити симетрію мінералоутворювального середовища та в окремих випадках визначити напрямки руху мінералоутворювальних флюїдів. Особливо чітко це проявляється в морфологічних особливостях "мармароських діамантів" як нового генетичного типу кварцу — скелетних кристалів з включеннями вуглеводнів (Voznyak et al., 1978), форма багатогранників яких попередньо може слугувати показником перспектив нафтогазоносності територій.

З'ясування мінералого-генетичного значення псевдосиметрії кварцу, головню на матеріалі "мармароських діамантів", визначає актуальність виконаного комплексу досліджень.

Мета дослідження. На базі систематизації власних і літературних даних про мінералогію кварцу і "мармароських діамантів" зокрема, показати можливості кристаломорфоло-

гічних досліджень у генетичній і пошуковій мінералогії.

Об'єкт досліджень. Псевдосиметрія реальних багатогранників кварцу.

Предмет досліджень. Генетична інтерпретація результатів кристаломорфологічних досліджень кварцу.

Для досягнення мети були поставлені такі **завдання**:

- опрацювати авторські і літературні матеріали з кристаломорфології і генезису кварцу, зокрема "мармароських діамантів";
- показати практичне значення генетичних результатів кристаломорфологічних досліджень.

Матеріали і методи досліджень. На загальнотеоретичних передумовах і міркуваннях аналізували форму кристалів кварцу за (Goldschmidt, 1922). Отримані теоретичні варіанти можливої зовнішньої симетрії підтвердили даними досліджень кристалів "мармароських діамантів" із жил у флішових відкладах Кросненської структурно-фаціальної одиниці Українських Карпат, олігоценових відкладах Дуклянської зони біля перевалу Прислоп та відкладах внутрішньокарпатського палеогену в районі Великого Ліпніка (струмок Солтіс) Словацьких Карпат (Vovk et al., 2019, 2022c). Застосовували такі методи: гоніометрія, статистичний аналіз, термобарогеохімія. Для побудови аксонометричних проєкцій використали програму *Shape*. Традиційно всі аксонометричні проєкції багатогранників виконано за розташуванням її полюса $\varphi = 71,5$ і $\rho = 80$. Для статистичної обробки гоніометричних досліджень застосовували безкоштовні програми-аналоги *SPSS Statistics* і *Mc Excel – PSPP* і *LibreOffice Calc*, для побудови рисунків — програми *Inkscape* і *GIMP* в операційній системі *MX Linux 21.3*.

Результати досліджень та їхнє обговорення. Загальновідомим (Shafranovskij, 1957) є підпорядкування симетрії реальних кристалів принципу Кюрі, який означає, що на реальних багатогранниках зберігатимуться лише елементи симетрії, спільні для кристала і середовища, в якому він утворюється.

Види симетрії з осями нескінченного порядку зводяться до таких груп:

1. $\infty L_{\infty} \infty PC$ — куля; 2. ∞L_{∞} — куля, заповнена оптично активною рідиною; 3. $L_{\infty} \infty$

Рис. 1. Типи габітусів "мармароських діамантів" (Voznyak et al., 1974)
 Fig. 1. Types of habit of "Marmarosh diamonds" (Voznyak et al., 1974)

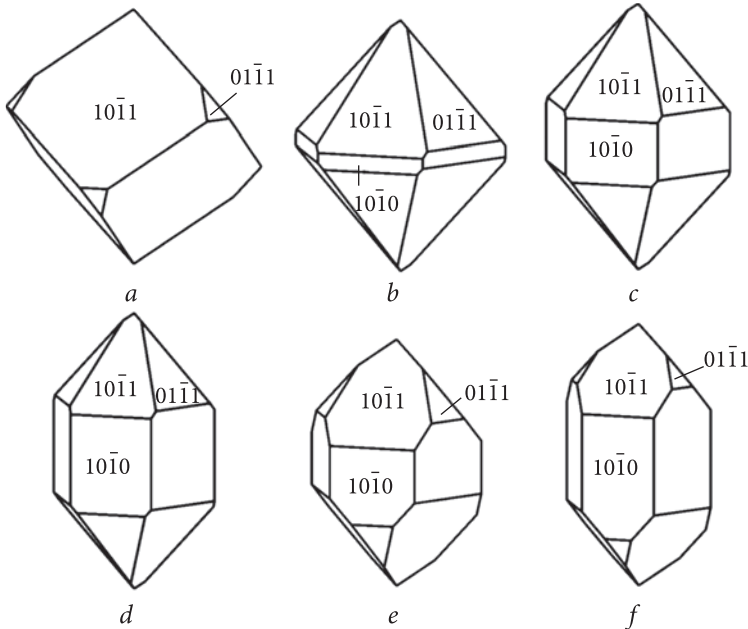
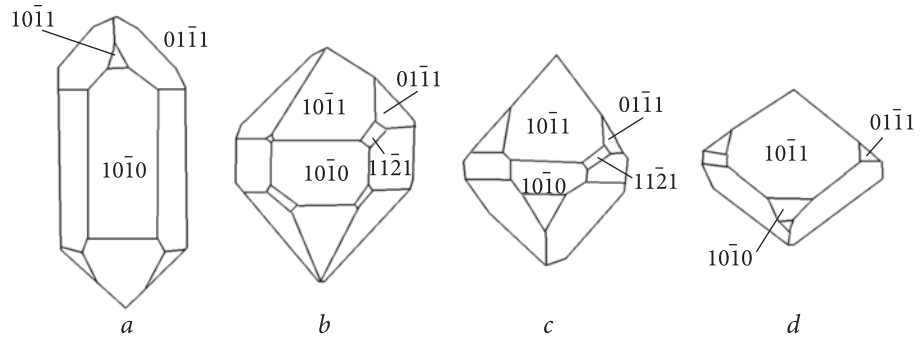


Рис. 2. Типи кристалів "мармароських діамантів" з Кросненської зони Українських Карпат, за (Vovk et al., 2018)
 Fig. 2. Types of crystals of "Marmarosh diamonds" from the Krosno (Silesian) zone of the Ukrainian Carpathians according to (Vovk et al., 2018)

$L_2 \infty PP^1C$ — циліндр; 4. $L_2 \infty PC$ — циліндр, що обертається; 5. $L_2 \infty P$ — конус; 6. $L_2 \infty L_2$ — скручений циліндр; 7. $L_2 \infty$ — конус, що обертається.

Зрозуміло, що мінералоутворювальне середовище в земних умовах, як мінімум, зазнає впливу сили тяжіння, тому симетрія, вища за симетрію конуса, неможлива. З цієї причини високосиметричні багатогранники ростуть у завислому стані в умовах однорідного рідкого або газоподібного середовища за рівномірного обертання. Це підтверджують дослідження з вирощення кристалів за методикою (Porov and Shafranovskij, 1959), які неодноразово проводили студенти геологічного факультету Львівського національного університету імені Івана Франка, зокрема й автори статті під час навчання. Також бага-

тогранники можуть рости в межах однорідної рідкої плівки або з однорідного розчину чи розплаву на дні чи прикріплені до стінки породи (Shafranovskij, 1957). Тому за формою реальних кристалів часто можна відтворити симетрію мінералоутворювального середовища, його еволюцію та напрямки руху флюїдних потоків.

Слід пам'ятати, що симетрія реальних кристалів у більшості випадків нижча за симетрію ідеальних і зводиться до триклінної сингонії, причому можливе й завищення симетрії, пов'язане із відсутністю загальної простої форми. Також на дисиметризацію впливає внутрішня неоднорідність кристалів, взаємодія пірамід росту тощо. Тому після гоніометричних вимірів необхідно досліджувати анатомію кристалів.

Нижче наводимо всі варіанти можливої зовнішньої симетрії для кристалів кварцу, відповідно його виду симетрії, а також кварцу

¹П — площина, перпендикулярна до головної осі, P — площина, в якій лежить головна вісь.

Таблиця 1. Можлива зовнішня симетрія кристалів кварцу, які ростуть у завислому стані
Table 1. Possible external symmetry of quartz crystals that grow in a suspended condition

The position of the crystals	Case	Symmetry of the environment	External symmetry of the crystal		
			Quartz	Quartz *, calcite	Quartz **, beryl
Crystals in suspended condition	I-A	$\infty L_{\infty} \infty PC$	$L_3 3L_2$	$L_3 3L_2 3PC$	$L_6 6L_2 7PC$
	I-B	$L_{\infty} \infty L_2 \infty ППЦ$	$L_3 3L_2$ or X^{***}	$L_3 3L_2 3PC$ or $L_2 PC$ or C	$L_6 6L_2 7PC$ or $3L_2 3PC$ or ${}_2 PC$ or C
	I-C	$L_{\infty} ПЦ$	L_3 or X^{***}	$L_3 C$ or $L_2 PC$ or C	$L_6 PC$ or $L_2 PC$ or C
	I-D	$L_{\infty} \infty P$	L_3 or X^{***}	$L_3 3P$ or $L_2 2P$ or P or X^{***}	$L_6 6P$ or $L_2 2P$ or P or X^{***}
	I-E ₁	L_{∞}	L_3 or X^{***}	L_3 or L_2 or X^{***}	L_6 or L_2 or X^{***}
	I-E ₂	P	X^{***}	P or X^{***}	P or X^{***}
	I-F	X^{***}	X^{***}	X^{***}	X^{***}

Примітка. * — без трапецоєдра і дипіраміди; ** — без трапецоєдра і дипіраміди, з однаково розвиненими ромбоєдрами; *** — елементи симетрії відсутні.

Note. * — without a trapezohedron and dipyramid; ** — without a trapezohedron and dipyramid, with equally developed rhombohedra; *** — symmetry elements are absent.

Таблиця 2. Можлива зовнішня симетрія кристалів кварцу, які ростуть в умовах однорідної плівки
Table 2. Possible external symmetry of quartz crystals that grow in the conditions of a homogeneous pellicle

The position of the crystals	Case	Symmetry of the environment	External symmetry of the crystal		
			Quartz	Quartz *, calcite	Quartz **, beryl
Crystals in conditions of homogeneous pellicle	II-A and B	$L_{\infty} \infty P$	L_3 or X^{***}	$L_3 3P$ or $L_2 2P$ or P or X^{***}	$L_6 6P$ or $L_2 2P$ or P or X^{***}
		$L_{\infty} \infty L_2 \infty ППЦ$	$L_3 3L_2$ or X^{***}	$L_3 3L_2 3PC$ or $L_2 PC$ or C	$L_6 6L_2 7PC$ or $3L_2 3PC$ or $L_2 PC$ or C
	II-C	L_{∞}	L_3 or X^{***}	L_3 or L_2 or X^{***}	L_6 or L_2 or X^{***}
		$L_{\infty} ПЦ$	L_3 or X^{***}	$L_3 C$ or $L_2 PC$ or C	$L_6 PC$ or $L_2 PC$ or C
II-D	P	X^{***}	P or X^{***}	P or X^{***}	
	$L_2 2P$	L_2 or X^{***}	$L_2 2P$ or P or X^{***}	$L_2 2P$ or P or X^{***}	
II-E and F	X^{***}	X^{***}	X^{***}	X^{***}	

Примітка. Див. табл. 1.

Note. See Table 1.

Таблиця 3. Можлива зовнішня симетрія кристалів кварцу, які ростуть на дні або прикріплені до стінки породи

Table 3. Possible external symmetry of quartz crystals that grow on the bottom or are attached to the rock wall

The position of the crystals	Case	Symmetry of the environment	External symmetry of the crystal		
			Quartz	Quartz *, calcite	Quartz **, beryl
On the bottom or attached to the rock wall	III-A	$L_{\infty} \infty P$	L_3 or X^{***}	$L_3 3P$ or $L_2 2P$ or P or X^{***}	$L_6 6P$ or $L_2 2P$ or P or X^{***}
	III-B ₁	$L_{\infty} \infty P$	L_3 or X^{***}	$L_3 3P$ or $L_2 2P$ or P or X^{***}	$L_6 6P$ or $L_2 2P$ or P or X^{***}
	III-B ₂	$L_2 2P$	L_2 or X^{***}	$L_2 2P$ or P or X^{***}	$L_2 2P$ or P or X^{***}
	III-C ₁	L_{∞}	L_3 or L_2 or X^{***}	L_3 or L_2 or X^{***}	L_6 or L_2 or X^{***}
	III-C ₂	P	X^{***}	P or X^{***}	P or X^{***}
	III-D ₁	$L_{\infty} \infty P$	L_3 or X^{***}	$L_3 3P$ or $L_2 2P$ or P or X^{***}	$L_6 6P$ or $L_2 2P$ or P or X^{***}
	III-D ₂	P	X^{***}	P or X^{***}	P or X^{***}
	III-E і F	X^{***}	X^{***}	X^{***}	X^{***}

Примітка. Див. табл. 1.

Note. See Table 1.

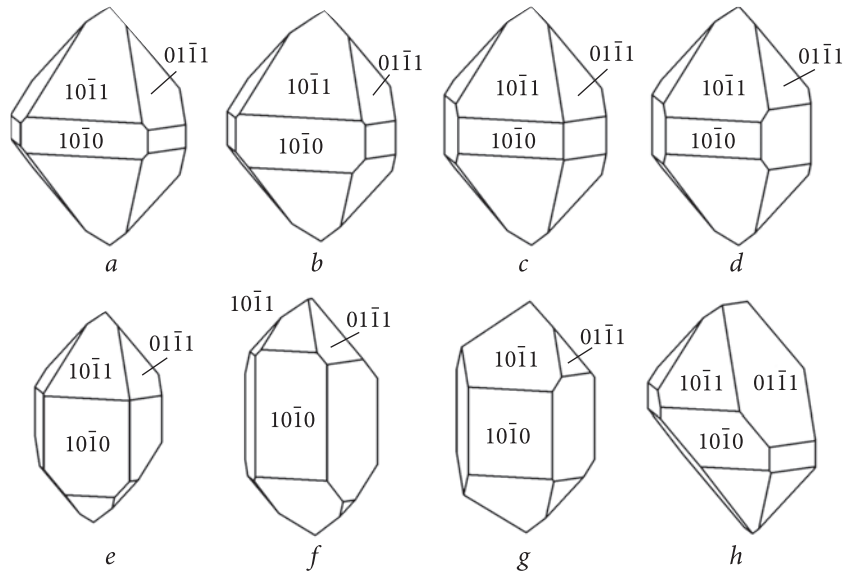


Рис. 3. Типи кристалів "мармароських діамантів" з Кросненської зони Українських Карпат (район нового Бескидського тунелю), за (Vovk et al., 2022c)

Fig. 3. Types of crystals of "Marmarosh diamonds" from the Krosno (Silesian) zone of the Ukrainian Carpathians (the area of the New Beskydy Tunnel), according to (Vovk et al., 2022c)

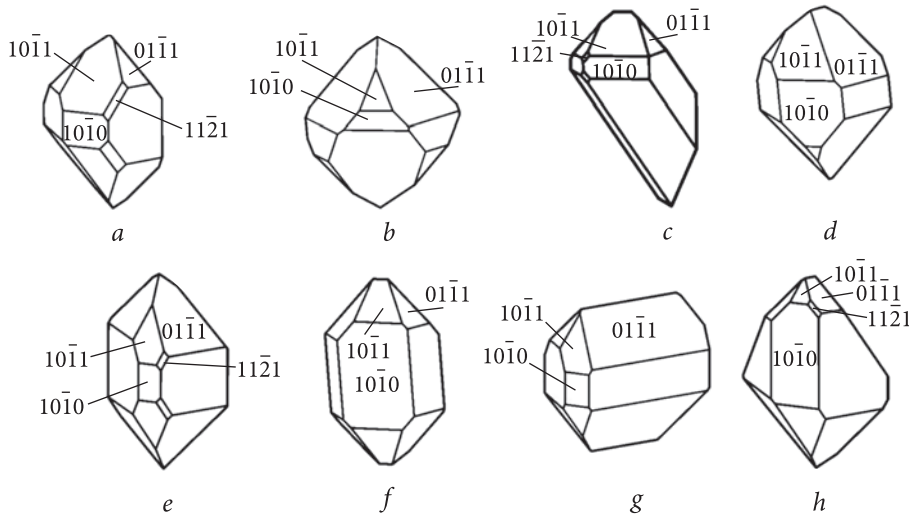


Рис. 4. Габітус кристалів "мармароських діамантів" з Словацьких (Західних) Карпат, за (Vovk and Dudok, 2000; Dudok et al., 2002)

Fig. 4. The habit of the crystals of "Marmarosh diamonds" from the Slovak (Western) Carpathians, according to (Vovk and Dudok, 2000; Dudok et al., 2002)

без трапезоєдра $\{51\bar{6}1\}$ і дипіраміди $\{11\bar{2}1\}$, що відповідає симетрії кальциту (L_33L_23PC), та кварцу з однаково розвиненими ромбоєдрами $\{10\bar{1}1\}$ і $\{01\bar{1}1\}$, що відповідає симетрії берилу (L_66L_27PC):

- а) ріст у завислому стані (табл. 1);
- б) в умовах однорідної плівки (табл. 2);
- в) на дні або прикріплені до стінки породи (табл. 3).

Однак, не всі види зовнішньої симетрії, які наведено в табл. 1—3, можливі для кристалів кварцу. Псевдовісь шостого порядку допустима лише за наявності однаково розвинених ромбоєдрів на кристалах без трапезоєдра і дипіраміди, але в такому випадку ця вісь лежатиме в площині симетрії. Тому кристали кварцу (не двійники) не можуть

мати зовнішню симетрію L_6PC і L_6 . Те саме стосується видів L_3C і L_3 . Симетрія L_66P неможлива на двоголових багатогранниках кварцу. Види симетрії, можливі для кальциту і берилу, в табл. 1—3 виділено курсивом.

Усі випадки, наведені у табл. 1—3, розглянемо та проілюструємо на підставі аналізу морфологічних особливостей "мармароських діамантів" (рис. 1—4) і загальнотеоретичних передумов та міркувань (рис. 5—8).

Зауважимо, що кристали кварцу типу "мармароських діамантів", які названо так за досконалість їхньої морфології (за місцем перших згадок про знахідки у межах Мармароського кристалічного масиву Карпат (Fihtel, 1791; Zipser, 1817; Tokarski, 1905 та ін.)), значно поширені у флішових відкладах

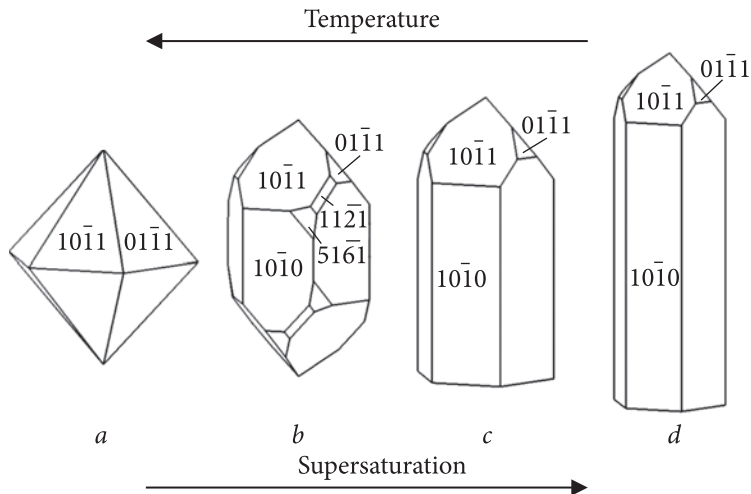


Рис. 5. Еволюція габітусу кристалів кварцу, за (Kostov, 1971)

Fig. 5. Evolution of the habit of quartz crystals, according to (Kostov, 1971)

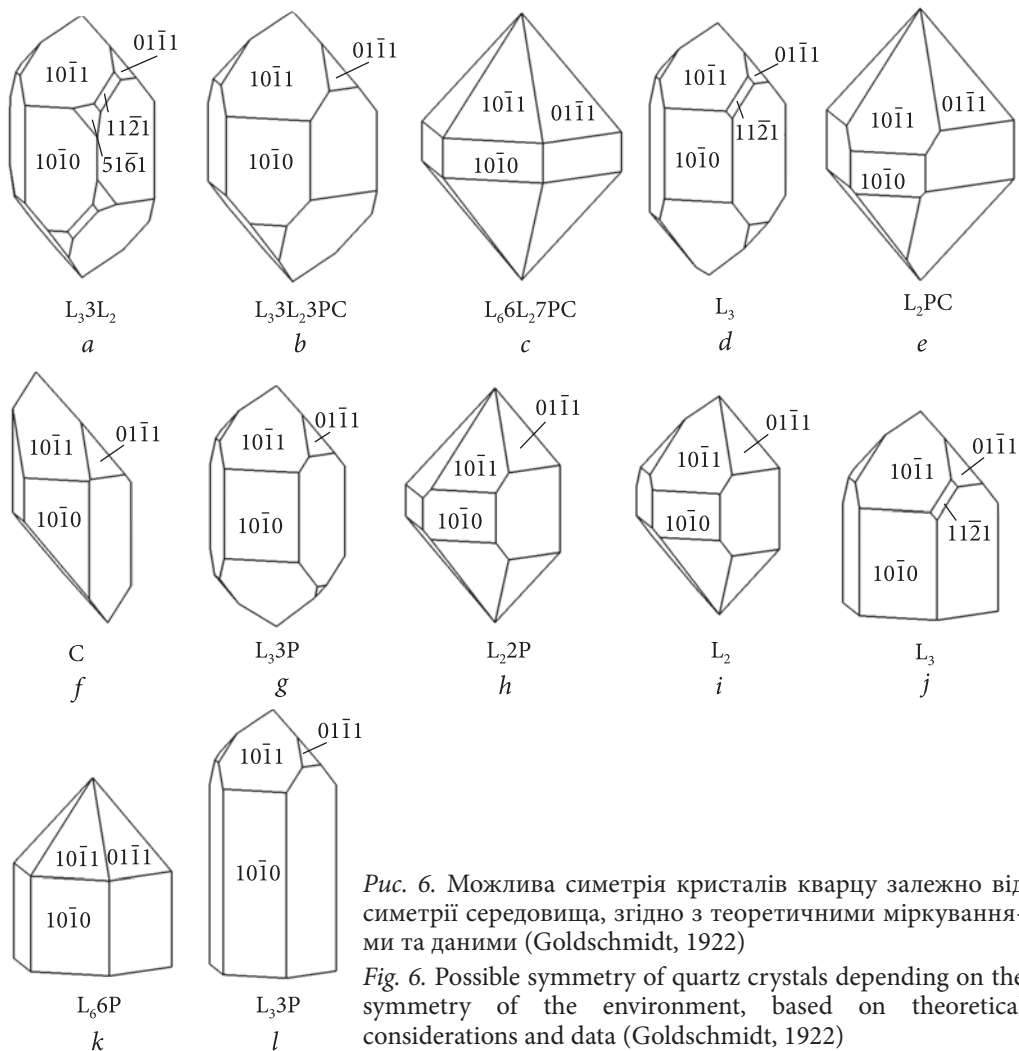


Рис. 6. Можлива симетрія кристалів кварцу залежно від симетрії середовища, згідно з теоретичними міркуваннями та даними (Goldschmidt, 1922)

Fig. 6. Possible symmetry of quartz crystals depending on the symmetry of the environment, based on theoretical considerations and data (Goldschmidt, 1922)

Карпатської покривно-складчастої споруди від крейди до палеогену і неогену (Kolodii (resp. ed.), 2004). Як новий генетичний тип кварцу — скелетні кристали з включеннями

вуглеводнів (Voznyak et al., 1978) — вони набувають фундаментального значення не лише як фіксатор хімічного складу і *PT* параметрів еволюції вуглеводневих сполук у проце-

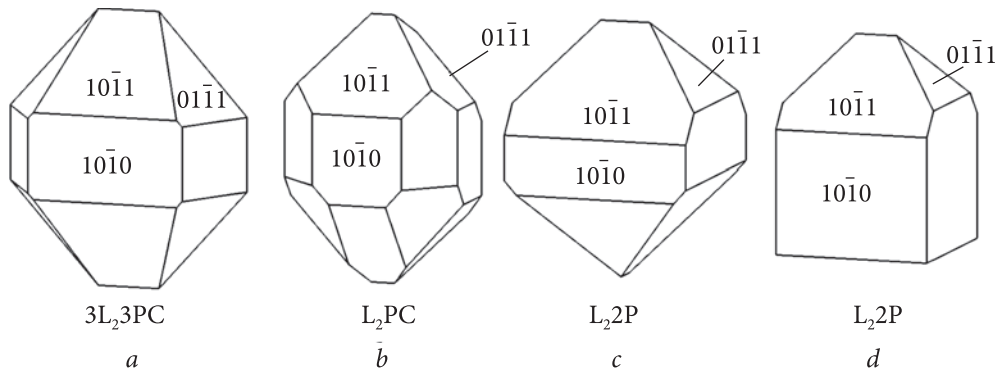


Рис. 7. Кристали кварцу із псевдоелементами симетрії
Fig. 7. Quartz crystals with pseudo-symmetry elements

сах мінералонафтидогенезу та індикатор міграційних процесів у нафтогазоперспективних геологічних розрізах і показник безпосереднього зв'язку поширення з нафтогазонаосними землями (Kolodii (resp. ed.), 2004), а й свідок детальної *PT* історії регіонів, зокрема Складчастих Карпат (Vityk et al., 1996). У контексті поданої статті увагу акцентовано на морфології цього гірського кристалу особливого типу з урахуванням його інших специфічних типоморфних особливостей (Natumko et al., 2016, 2022; Zankovych et al., 2023).

Морфологічні типи "мармароських діамантів" були описані у (Voznyak et al., 1974). Автори виділили такі типи габітусів: призматичний з переважним розвитком граней призми (див. рис. 1, *a*); ромбоєдричний з переважним розвитком граней ромбоєдрів (рис. 1, *b*, *c*); псевдокубічний з різкою перевагою розвитку граней позитивного ромбоєдра та без або зі слабким розвитком граней призми (рис. 1, *d*).

Наступними дослідженнями такого плану було деталізовано дані про габітус кристалів "мармароських діамантів" з Кросненської зони Українських Карпат (див. рис. 2) (Vovk et al., 2018; Zankovych et al., 2023), зокрема районів нового Бескидського тунелю (див. рис. 3) (Vovk et al., 2022c) та Словацьких (Західних) Карпат (рис. 4) (Vovk and Dudok, 2000; Dudok et al., 2002), на основі яких було порівняно морфологію "мармароських діамантів" з флішових відкладів палеогену Кросненської (Сілезької) і Дуклянської зон Українських Карпат та внутрішньокарпатського палеогену Західних Карпат (Vovk et al., 2022c).

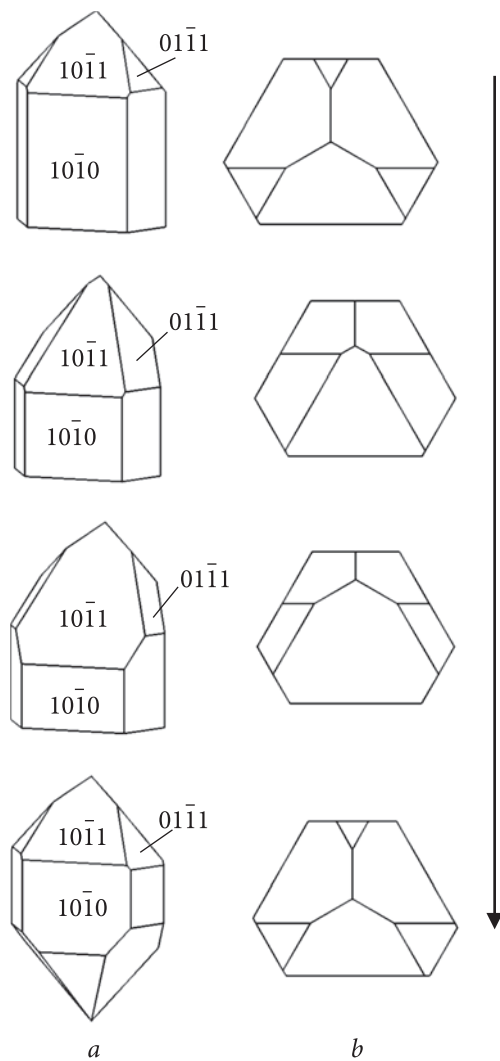


Рис. 8. Багатогранники кварцу з симетрією *P*: *a* — аксонометрична проекція; *b* — ортогональна проекція; стрілка показує напрямок руху мінералоутворювальних флюїдів

Fig. 8. Quartz polyhedra with symmetry *P*: *a* — axonometric projection; *b* — orthogonal projection, the arrow indicates the direction of movement of mineral-forming fluids

Конкретні результати розгляду й обговорення анонсованих матеріалів виявились такими.

Матеріали щодо можливої зовнішньої симетрії кристалів кварцу, які ростуть у завислому стані (див. табл. 1).

Випадок I-A. Багатогранник росте в однорідному середовищі в умовах рівномірного обертання. В такому випадку симетрія середовища є максимальною і відповідає симетрії кулі. Кристали зберігають усі елементи симетрії. Симетрія кварцу L_33L_2 (рис. 5, *b*). Оскільки дипіраміда і трапецедр проявляються нечасто, то кристали можуть мати зовнішню симетрію L_33L_23PC (див. рис. 2, *e*). Дипіраміда $\{11\bar{2}1\}$ наявна приблизно на третині індивідів з Дуклянської зони і на 13 % кристалів із внутрішньокарпатського палеогену (Vovk and Dudok, 2000; Dudok et al., 2002), на кристалах "мармароських діамантів" з Кросненської зони в районі нового Бескидського тунелю ми її не знайшли (Vovk et al., 2022b). Трапецедр $\{51\bar{6}1\}$ на "мармароських діамантах" проявляється ще рідше.

За однаково розвинених ромбоєдрів зовнішня симетрія відповідає L_66L_27PC (див. рис. 2, *b*). Призма $m \{10\bar{2}0\}$ може бути вузькою або відсутньою. Такі кристали утворюються досить часто (18 %) у породах Дуклянської зони та внутрішньокарпатського палеогену (Vovk and Dudok, 2000; Dudok et al., 2002). Також часто вони проявляються в Кросненській зоні (від 10 до 40 %) залежно від точки відбору (Vovk et al., 2022b).

Випадок I-B. Багатогранник росте в завислому стані в однорідному анізотропному середовищі, в якому потоки речовини переносяться по радіусах кругових перетинів циліндра. Відповідно, симетрія середовища $L_\infty L_2 \infty PPS$. Зовнішня симетрія кристала буде залежати від того, чи збігаються елементи симетрії кристала з елементами симетрії середовища (допустимі випадки наведені в табл. 1) та може бути максимальною у випадку, коли головна вісь кристала накладається на головну вісь середовища, і мінімальною, коли жоден елемент не співпадає. У такому випадку на кристалах без трапецедр буде лише центр симетрії (див. рис. 6, *f*), а на кристалах із трапецедром елементів симетрії взагалі не буде.

Випадок I-C. Кристал обертається у середовищі або середовище обертається навколо кристала. Симетрія середовища відповідає циліндру, який обертається — $L_\infty PS$. Зовнішня симетрія буде залежати від того, яка вісь симетрії багатогранника буде збігатися з L_∞ середовища. Можливі випадки наведено в табл. 1. Однак для кварцу, на відміну від кальциту, неможлива зовнішня симетрія L_3C і, на відміну від берилу, — L_6PC .

Випадок I-D. Нерухомий кристал знаходиться в середовищі, яке рухається в одному напрямку, або кристал рухається в одному напрямку в нерухомому середовищі. В такому випадку симетрія середовища відповідає $L_\infty P$. Можливі випадки наведено в табл. 1. Слід зазначити, що зовнішня симетрія L_66P неможлива на двоголовому багатограннику кварцу, а одноголові кристали неможливі у випадку I-B (ріст у завислому стані).

Випадок I-E₁. Кристал обертається в середовищі, яке рухається в одному напрямку, або кристал рухається в одному напрямку в середовищі, яке обертається (наприклад, осідання кристалів у магматичних розплавах, які обертаються). Можливі випадки наведено в табл. 1. Слід зазначити, що зовнішня симетрія L_3 на двоголовому кристалі кварцу можлива лише за наявності граней дипіраміди і/або трапецедр на одній із головок (рис. 6, *d*).

Випадок I-E₂. У цьому випадку напрямок руху середовища не збігається з напрямком осі обертання кристала. Тому може зберегтись тільки псевдоплощина симетрії.

Випадок I-F. Кристал росте в асиметричному середовищі. Жоден елемент симетрії кристала не зберігається.

Матеріали щодо можливої зовнішньої симетрії кристалів кварцу, які ростуть в умовах однорідної плівки (див. табл. 2).

Як і у попередньому випадку, кристали кварцу двоголові.

Випадок II-A. Сторони плівки різні, симетрія середовища $L_\infty P$. Зовнішня симетрія кристалів залежатиме від того, чи збігатимуться осі симетрії кварцу і середовища. Теоретично можливі випадки аналогічні I-D. Як і в цьому випадку, симетрія L_66P неможлива на одноголових кристалах, пінакоїд на кварці не утворюється, а одноголо-

ві багатогранники формуються лише у випадку III.

Випадок II-B. Сторони плівки однакові. Симетрія середовища $L_\infty \sim L_2 \sim P$. Багатогранники такі самі, як у випадку I-B.

Випадок II-C. Кристал росте в умовах плівки, яка обертається в одному напрямку, або кристал обертається в умовах нерухомої плівки. Якщо сторони плівки різні, то зовнішня симетрія багатогранників відповідає випадку I- E_1 , а якщо однакові — I-C.

Випадок II-D. Кристал рухається в одному напрямку в плівці, яка обертається, або обертається в умовах плівки, яка рухається в одному напрямку. Якщо сторони плівки однакові, то симетрія середовища $L_2 2P$, а якщо різні, то — P . Можливі варіанти зовнішньої симетрії кристалів наведені в табл. 2. Особливо цікавими є багатогранники із симетрією P (рис. 8), оскільки вони дають змогу не лише дійти висновків про симетрію середовища, а й визначити напрямки руху флюїдних потоків (або кристала).

Випадки II-E і F. Багатогранник росте в асиметричному середовищі, елементи симетрії на ньому відсутні.

Матеріали щодо можливої зовнішньої симетрії кристалів кварцу, які ростуть на дні або прикріплені до стінки породи (табл. 3).

На відміну від попередніх випадків, багатогранники одноголові, за винятком тих, що не мають осі третього або шостого порядку.

Випадок III-A. Кристал лежить на дні і рівномірно з усіх боків живиться розчином. Симетрія середовища відповідає симетрії конуса. Аналогічна симетрія середовища у випадках I-D, II-A і B. Зовнішня симетрія багатогранників та сама, але вони одноголові. У випадку III- B_1 потоки речовини надходять по радіусах кругів, паралельних до дна. Симетрія середовища та зовнішня симетрія кристалів та сама.

Випадок III- B_2 . Виводиться із I-B. Симетрія середовища відповідає симетрії циліндра, розділеного навпіл площиною, в якій лежить головна вісь, тобто $L_2 2P$.

Випадок III- C_1 . Кристал лежить на дні і живиться за рахунок середовища, для якого характерний круговий рух. Симетрія середовища L_∞ . На кристалах наявна лише та вісь,

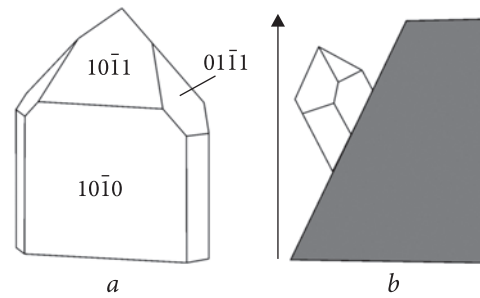


Рис. 9. Багатогранник кварцу з симетрією P : a — аксонометрична проекція (Naumko et al., 2018); b — схема розташування кристала відносно стінки породи; стрілка вказує напрямок руху мінералоутворювальних флюїдів

Fig. 9. A quartz polyhedron with symmetry P : a — axonometric projection (Naumko et al., 2018); b — diagram of the crystal's position relative to the rock wall, the arrow indicates the direction of movement of mineral-forming fluids

яка збігається з віссю нескінченного порядку середовища. В такому випадку можливі багатогранники із симетрією L_3 і L_2 (рис. 6, d , i).

Випадок III- C_2 . Кристал прикріплений до стінки в середовищі, яке обертається. Симетрія середовища відповідає симетрії розрізаного навпіл циліндра, який обертається, тобто P .

Випадок III- D_1 . Кристал лежить на дні, а потоки речовини піднімаються або опускаються перпендикулярно дну. Симетрія середовища аналогічна до випадку III-A, тобто $L_\infty \sim P$. Аналогічна зовнішня симетрія кристалів.

Випадок III- D_2 . Кристал лежить на дні, а потоки рухаються паралельно дну. Симетрія середовища P . Якщо площина симетрії середовища збігається із псевдоплощиною симетрії кварцу, то за формою кристала можна чітко визначити напрямки руху мінералоутворювальних потоків (див. рис. 8).

Випадки III-E і F. В асиметричному середовищі ростуть багатогранники без елементів симетрії.

Підсумовуючи викладене вище, варто акцентувати увагу на такому.

На рис. 6 зображені всі випадки можливої симетрії із табл. 1—3, за винятком відсутності елементів симетрії $3L_2 3PC$, P . Багатогранники без елементів симетрії зображено на рис. 4, c , d , g , h . Кристал із симетрією $3L_2 3PC$ показано на рис. 7, a . У цьому випадку внаслідок сплюснення по протилежних

гранях призми вісь третього порядку стає візуально подібною осі другого порядку, зберігається одна вісь і одна псевдовісь другого порядку. Такі багатогранники трапляються у Словацьких Карпатах (див. рис. 4, *f*). Симетрія L_2PC можлива за умови збереження осі другого порядку (рис. 6, *e*) і псевдоосі другого порядку (рис. 7, *b*). На рис. 7, *c*, *d* зображені дво- та одноголовий багатогранники із симетрією L_22P , на яких вісь третього порядку візуально подібна осі другого порядку. Кристал із симетрією L_22P зі збереженою віссю другого порядку показано на рис. 6, *h*. Багатогранники із симетрією P дають змогу визначити напрямки руху потоків мінералоутворювальних флюїдів, тому окремо зображено їхні аксонометричні та ортогональні проєкції (див. рис. 8, *a*, *b*), причому на рис. 8, *a* показано переміщення мінералоутворювальних флюїдів перпендикулярно до грані призми $(10\bar{1}0)$, а напрямок їхніх потоків — стрілкою на рис. 8, *b*. Аналогічно напрямки флюїдних потоків були визначені за кристалами топазу із симетрією P (Vovk et al., 2022a).

Випадок можливої зовнішньої симетрії прикріплених до стінки породи кристалів у контексті визначення ймовірних напрямків руху мінералоутворювальних флюїдів продемонструємо на кварці із січних жил у гранодіоритах андського інтрузивного комплексу о-вів Барчанс (Аргентинські о-ви, Західна Антарктика) (Naumko et al., 2018). На рис. 9 зображено багатогранник кварцу із симетрією P . Як часто трапляється, на практиці ситуація дещо складніша, ніж у теорії.

Ускладнення полягають у тому, що кристал прикріплений до стінки породи не перпендикулярно до неї і не паралельно до поверхні Землі (див. рис. 9, *b*). Зовнішня симетрія багатогранника P вказує на те, що мінералоутворювальні флюїди не могли рухатись у напрямках, які на рисунку відповідають справа наліво або зліва направо.

Великі грані видимих ромбоєдрів виключають можливості руху потоку згори донизу та від спостерігача. Залишаються два можливі напрямки, коли площина симетрії потоку збігається із псевдоплощиною кристала: знизу вгору і на спостерігача. Оскільки флюїди не можуть рухатись на спостерігача через перешкоджання стінки породи (рис. 9, *b*), то вони рухаються знизу вгору.

Висновки. 1. Зовнішня симетрія багатогранників кварцу може істотно відрізнитися від істинної, як у нижчу, так і у вищу сторону; теоретично можливі такі види зовнішньої симетрії кристалів кварцу: L_33L_2 , L_33L_23PC , L_66L_27PC , L_3 , L_2PC , C , L_33P , L_22P , L_2 , L_66P , $3L_23PC$, L_22P , P , —.

2. Часто за формою багатогранника можна відтворити симетрію флюїдного середовища, визначити чи кристал був нерухомим, обертвся чи опускався (піднімався), а також з'ясувати, чи рухались живильні потоки, та напрямок їхнього руху.

3. Завищена симетрія характерна для кристалів, які рівномірно обертались у високосиметричному середовищі. Такі багатогранники характерні для Кросненської зони Українських Карпат (район нового Бескидського тунелю).

4. Багатогранники без видимих елементів симетрії менш генетично інформативні, оскільки можуть утворюватись у різних ситуаціях — від асиметричного середовища до середовища, елементи симетрії якого не збігаються з елементами симетрії кристала за орієнтацією.

5. Загалом, найціннішими у генетичному плані виявляються багатогранники із зовнішньою симетрією P , позаяк вони дають змогу не лише відтворити симетрію флюїдного середовища, а й визначити напрямок руху мінералоутворювальних флюїдів, як у випадку кварцу із січних жил у гранодіоритах андського інтрузивного комплексу о-вів Барчанс (Аргентинські о-ви, Західна Антарктика).

REFERENCES / ЛІТЕРАТУРА

- Dudok, I., Vovk, O. and Karoli, S. (2002), *Mineral. coll.*, No. 2, Iss. 52, Lviv, pp. 96-101 [in Ukrainian].
 [Дудок, І., Вовк, О., Каролі, С. (2002), *Мінерал. зб.* № 2. Вип. 52, С. 96—101.]
 Goldschmidt, V. (1922), *Atlas der Krystallformen*, Band 7, Heidelberg, Verlag Winters, Taf. 55-108 [in German].
 Lemmlejn, G.G. (1941), *Reps Acad. Sci. USSR*, Vol. 33, No. 6, pp. 415-418 [in Russian].
 [Леммлейн, Г.Г. (1941), *Докл. АН СССР*, 33, № 6. С. 415—418.]

Kolodii, V.V. (resp. ed.) (2004), *Carpathian petroliferous province*, Limited Liability Company "Ukrainian Publ. Center", Lviv-Kyiv, 390 p. [in Ukrainian].

[Колодій, В.В. (відп. ред.) (2004), *Карпатська нафтогазоносна провінція*. Львів-Київ: ТОВ "Український видавн. центр". 390 с.]

Kostov, I. (1971), *Mineralogy*, Publ. House Mir, Moscow, 584 p. [in Russian].

[Костов, И. (1971), *Минералогия*. Москва: Мир. 584 с.]

Naumko, I.M., Artemenko, G.V., Bakhmutov, V.G., Vovk, O.P., Telepko, L.F. and Sakhno, B.E. (2018), *Dopov. Nac. akad. nauk Ukr.*, No. 4, pp. 74-80. <https://doi.org/10.15407/dopovidi2018.04.074>

Naumko, I., Zankovych, H., Kokhan, O., Vovk, O., Kuzemko, Ya., Sakhno, B. and Serkiz, R. (2022), *Geology and Geochem. Fossil Fuels*, No. 1-2 (187-188), Lviv, pp. 103-114 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/ggcm2022.01-02.103>

[Наумко, І., Занкович, Г., Кохан, О., Вовк, О., Куземко, Я., Сахно, Б., Серкіз, Р. (2022), *Геологія і геохімія горючих копалин*. № 1—2 (187—188). С. 103—114.]

Naumko, I., Vovk, O. and Zankovych, H. (2016), *Geotourism: Practice and Experience, Proc. II Int. Sci. and Practic. Conf., Lviv, May 5-7, 2016*, Lviv, pp. 90-92 [in Ukrainian].

[Наумко, І., Вовк, О., Занкович, Г. (2016), *Геотуризм: Практика і досвід: Матеріали II міжнар. наук.-практ. конф., Львів, 5—7 трав. 2016 р.* Львів, С. 90—92.]

Popov, H.M. and Shafranovskij, I.I. (1959), *Crystallography*, Publ. House Lviv Univ., Lviv, 338 p. [in Ukrainian].

[Попов, Г.М., Шафрановський, І.І. (1959), *Кристаллографія*. Львів: Вид-во Львів. ун-ту. 338 с.]

Shafranovskij, I.I. (1957), *Mineral Crystals*, Publ. House Leningrad Univ., Leningrad, 223 p. [in Russian].

[Шафрановский, И.И. (1957), *Кристаллы минералов*. Ленинград: Изд. Ленингр. ун-та. 223 с.]

Vityk, M.O., Bondar, R.J. and Dudok, I.V. (1996), *Tectonophysics*, Vol. 255, pp. 163-174.

Vovk, O. and Dudok, I. (2001), *Geology of Fossil Fuels of Ukraine, Abstracts Int. Sci. Conf., Lviv, Novem. 13-15, 2001*, Lviv, pp. 42-43. [in Ukrainian].

[Вовк, О., Дудок, І. (2001), *Геологія горючих копалин України: Тези доп. Міжнар. наук. конф., Львів, 13—15 листоп. 2001 р.* Львів. С. 42—43.]

Vovk, O.P., Naumko, I.M. and Pavlyshyn, V.I. (2022a), *Mineral. Journ. (Ukraine)*, Vol. 44, No. 3, pp. 40-47 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.44.03.040>

[Вовк, О.П., Наумко, І.М., Павлишин, В.І. (2022а), *Мінерал. журн.* **44**, № 3. С. 40—47.]

Vovk, O.P., Naumko, I.M. and Zankovych, H.O. (2022b), *Geological structure and mineral resources of Ukraine, Proc. All-Ukr. sci. conf., Kyiv, Octob. 12-13, 2022*, M.P. Semenenko IGMOF of NAS of Ukraine, pp. 149-152 [in Ukrainian].

[Вовк, О.П., Наумко, І.М., Занкович, Г.О. (2022b), *Геологічна будова та корисні копалини України: Зб. тез Всеукр. наук. конф., Київ, 12—13 жовт. 2022 р.* Київ: ІГМР ім. М.П. Семененка НАН України. С. 149—152.]

Vovk, O., Naumko, I., Zankovych, H. and Kuzemko, Ya. (2022c), *Mineralia Slovaca*, Vol. 54, No. 2, pp. 163-174. <https://doi.org/10.56623/ms.2022.54.2.3>

Vovk, O.P., Zankovych, H.O. and Naumko, I.M. (2019), *Proc. sci. conf. dedic. 50th anniver. M.P. Semenenko IGMOF NAS Ukraine, Kyiv, May 14-16, 2019*, in 2 vol., IGMOF NAS Ukraine, Vol. 1, Kyiv, pp. 130-131 [in Ukrainian].

[Вовк, О.П., Занкович, Г.О., Наумко, І.М. (2019), *Зб. тез наук. конф., присв. 50-річчю ІГМР ім. М.П. Семененка НАН України, Київ, 14—16 трав. 2019 р.*, у 2-х т. Київ: ІГМР НАН України, Т. 1. С. 130—131.]

Vovk, O., Zankovych, H. and Naumko, I. (2018), *Mineral. coll.*, pp. 72-75.

[Вовк, О., Занкович, Г., Наумко, І. (2018), *Мінерал. зб.*, С. 72—75.]

Voznyak, D.K., Kvasnytsya, V.M. and Galaburda, Yu.A. (1974), in: *Type-morphism of quartz of the Ukraine*, Nauk. dumka, Kyiv, pp. 79-82 [in Russian].

[Возняк, Д.К., Квасниція, В.М., Галабурда, Ю.А. (1974), кн: *Типоморфизм кварца Украины*. Киев: Наук. думка. С. 79—82.]

Voznyak, D.K., Lazarenko, E.K. and Pavlyshyn, V.I. (1978), *Regional and Genetic Mineralogy*, Nauk. dumka, Kyiv, Iss. 2, pp. 15-26. [in Russian].

[Возняк, Д.К., Лазаренко, Е.К., Павлишин, В.И. (1978), *Региональная и генетическая минералогия*. Киев: Наук. думка, Вып. 2. С. 15—26.]

Zankovych, H.O., Naumko, I.M. and Vovk, O.P. (2023), *Problems of Applied Geological Sciences and Ways to Overcome Them, Proc. All-Ukr. Sci. Conf. (to the 160th anniv. birth of V.I. Vernadskyi), Septem. 19-20, 2023*, Kyiv, pp. 190-195. [in Ukrainian].

[Занкович, Г.О., Наумко, І.М., Вовк, О.П. (2023), *Проблеми прикладних геологічних наук і шляхи їх подолання: Зб. матеріалів Всеукр. наук. конф. (до 160-річчя від дня народж. В.І. Вернадського)*, 19—20 верес. 2023 р. Київ. С. 190—195.]

Received 21.10.2024

*O.P. Vovk*¹, PhD (Geology), Associate Professor

E-mail: geologygeochemistry@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-1509-0905>

*I.M. Naumko*², DrSc (Geology), Corresponding Member of the NAS of Ukraine,
Prof., Head of Department

E-mail: naumko@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0003-3735-047X>

*H.O. Zankovych*², PhD (Geology), Junior Researcher

E-mail: zankovuch@ukr.net; <https://orcid.org/0009-0003-6634-8042>

¹ Lesya Ukrainka Volyn National University

13, Voli Ave., Lutsk, Ukraine, 43025

² Institute of Geology and Geochemistry of Combustible

Minerals of the NAS of Ukraine

3-a, Naukova Str., Lviv, Ukraine, 79060

PSEUDOSYMMETRY OF QUARTZ CRYSTALS AND ITS MINERALOGICAL AND GENETICAL SIGNIFICANCE

The pseudosymmetry of quartz crystals is described based on the example of "Marmarosh diamonds" a newly identified genetic type of quartz — skeletal crystals with hydrocarbon inclusions. All theoretically possible morphological types of pseudosymmetry in quartz crystals are discussed: L_33L_2 , L_33L_23PC , L_66L_27PC , L_3 , L_2PC , C , L_33P , L_22P , L_2 , L_66P , $3L_23PC$, L_22P , P , —. The most common types include L_66L_27PC , L_33L_23PC , $3L_23PC$, and P . Distinct symmetry elements, which manifest depending on formation conditions, include the L_3 axis, L_2 axes, pseudo- L_6 axes, pseudo- L_2 axes, and pseudo-planes. Quartz crystals can grow suspended, within homogeneous two-sided or one-sided films, attached to the substrate, or to the rock wall. The environment can be conditionally stationary, translationally moving, and/or rotating. This also applies to polyhedral. Various types of symmetry for the medium and the crystal are possible. The orientation of these elements can coincide or differ. For all theoretically possible scenarios, all pseudosymmetry types mentioned above were identified. Each type corresponds to one or several of the described mineral-forming situations. The study examines all theoretically possible scenarios and their corresponding pseudosymmetry types. It is emphasized that a numerous hexagonal-dipyramidal and hexagonal-short-prismatic crystals of "Marmarosh diamonds" from the Krosno Zone of the Ukrainian Carpathians (near the new Beskyd Tunnel) indicate their formation through rotation in a high-symmetry environment at the early stages of mineral formation. Particularly valuable are the polyhedra with P symmetry, as they provide insights into not only the symmetry of the environment but often the direction of movement of the mineral-forming fluids. This is demonstrated, for instance, in the quartz from cross-cutting veins in granodiorites of the Andean intrusive complex on Berthelot Islands (Argentine Islands, Western Antarctica). Ultimately, since the external shape of a polyhedron can reconstruct environmental parameters, the study, based on general theoretical premises and reasoning, explores the relationship between the symmetry of real quartz polyhedra and the symmetry of the fluid mineral-forming environment, its evolution, and the directions of mineral-forming fluids. Specific defining elements of this relationship are primarily illustrated through the author's data on the morphology of "Marmarosh diamonds", whose polyhedron shapes can preliminarily serve as indicators of the hydrocarbon potential of territories.

Keywords: quartz, "Marmarosh diamonds", crystal genesis, goniometry, inclusions of fluid mineral-forming environment, hydrocarbons.