MINERALOGICAL COLLECTION | МІНЕРАЛОГІЧНИЙ ЗБІРНИК
2026. № 76. P. 8–21 | 2026. № 76. С. 8–21
ISSN 2078-6220 (print) | ISSN 2786-6556 (online)

УДК 548.4:549.5/.6/.7:553.6/.8 (477)

ОСОБЛИВОСТІ КРИСТАЛОГЕНЕТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ МІНЕРАЛІВ ТРИГОНАЛЬНОЇ І ГЕКСАГОНАЛЬНОЇ СИНГОНІЙ (НА ПРИКЛАДІ КВАРЦУ, КАЛЬЦИТУ І БЕРИЛУ)

*[1] **Олександр Вовк,** канд. геол. наук,*
доцент, доцент кафедри фізичної географії
geologygeochemistry@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-1509-0905

*[2] **Ігор Наумко,** д-р геол. наук,*
член-кор. НАН України, професор, зав. відділу геохімії глибинних флюїдів
naumko@ukr.net
https://orcid.org/0000-0003-3735-047X

[1] Волинський національний університет імені Лесі Українки,
вул. Банкова, 9, Луцьк, Україна, 43025
[2] Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України,
вул. Наукова, 3а, Львів, Україна, 79060

Проаналізовано особливості кристалогенетичних досліджень тригональних і гексагональних кристалів (кварцу, кальциту, берилу) з використанням установки Браве на підставі літературних, власних і архівних матеріалів. Обґрунтовано доцільність удосконалення запису символів простих форм у тригональних і гексагональних сингоніях шляхом спрощення позначень власне в установці Браве. Доведено, що поєднання гоніометрії, аналізу кристалічної структури і термобарогеохімічних методів (мінералотермометричний аналіз) дає змогу отримувати комплексну інформацію про умови мінералоутворення без порушення цілісності кристалів. Наголошено, що теоретично морфологічно важливі прості форми, зумовлені кристалічною структурою, не несуть генетичної інформації, тоді як їхні реальні співвідношення та ступінь розвитку відображають параметри мінералоутворювального середовища. Виявлено відмінності у морфології та габітусі кристалів кварцу, кальциту й берилу, зумовлені як регіональними особливостями, так і умовами формування, включно з температурою, тиском і динамікою флюїдних потоків. Показано, що еволюція габітусу в процесі кристалізації має закономірний характер і її можна використовувати для реконструкції фізико-хімічних умов утворення та ступеня еродованості родовищ. У підсумку продемонстровано важливість системного підходу й послідовності застосування методів для підвищення інформативності кристаломорфологічних досліджень у генетичному та прикладному аспектах.

Ключові слова: кристалогенезис, кварц, кальцит, берил, тригональна сингонія, гексагональна сингонія, установка Браве, гоніометрія, морфологія кристалів, термобарогеохімія.

DOI https://doi.org/10.30970/min.76.01

Постановка проблеми. З розвитком рентгеноструктурного аналізу застосування кристаломорфології, головно, для діагностики мінералів певною мірою втратило пріоритетність. Водночас кристаломорфологічні дослідження дають змогу отримувати інформацію про умови мінералоутворення без порушення цілісності кристалів, через що зберігається і навіть посилюється їхнє значення в генетичному аспекті. Це стосується, передусім,

© Олександр Вовк, Ігор Наумко, 2026

гоніометрії, яка, порівняно з іншими методами вивчення мінеральної речовини, має принципову перевагу – неруйнівність і можливість точного визначення простих форм та співвідношень їхніх розмірів. Цим і визначена першочерговість виконання гоніометричних досліджень у загальній системі вивчення мінералів.

Аналіз кристалічної структури дає змогу визначити перелік теоретично морфологічно важливих простих форм, зумовлених внутрішньою симетрією мінералу. Такі форми можуть реалізовуватися за будь-яких фізико-хімічних умов і самі по собі не несуть генетичної інформації [5]. Натомість варіації у співвідношенні граней, ступінь їхнього розвитку, поява додаткових форм та особливості скульптури граней відображають конкретні параметри середовища кристалізації, і їх можна трактувати як типоморфні ознаки.

Зовнішня форма кристала здатна виконувати роль попереднього індикатора температури його утворення. Водночас для кількісної оцінки температури, тиску й кислотності флюїдного середовища необхідно залучати методи дослідження включень мінералоутворювального середовища, тобто органічно поєднувати кристаломорфологію з термобарогеохімією.

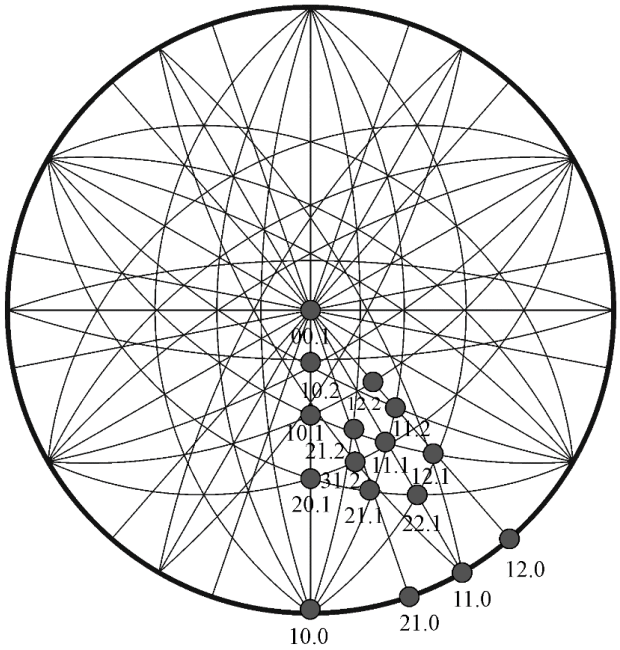
Реальні багатогранники, на відміну від ідеалізованих моделей, можуть відображати симетрію мінералоутворювального середовища і напрями руху флюїдних потоків. Зниження симетрії зовнішньої форми нерідко зумовлене анатомією кристалів. Однак дослідження анатомії пов'язане з руйнуванням багатогранників, тому його слід проводити по завершенню повного комплексу гоніометричних і морфологічних вимірювань.

З огляду на це постає необхідність чіткої систематизації та визначення послідовності застосування методів у межах кристаломорфологічного підходу. Раціональний порядок досліджень має охоплювати відбір матеріалу з фіксацією орієнтування кристалів, гоніометрію, опис скульптури граней, визначення теоретично і практично морфологічно важливих простих форм, статистичний аналіз їхньої поширеності, дослідження морфології реальних багатогранників, аналіз анатомії, вивчення включень флюїдів у кристалах з подальшою кореляцією морфологічних, фізико-хімічних і хімічних даних. Це забезпечує максимальне збереження первинної інформації та підвищує інформативність кристаломорфологічних досліджень у генетичному аспекті. Таку систематизацію на прикладі топазу вже виконано [3]. Однак дослідження тригональних і гексагональних багатогранників, для яких використовують установку Браве, мають певні особливості, виявлення яких і становить актуальність нашого дослідження.

Аналіз досліджень. Тригональні і гексагональні багатогранники мають важливе теоретичне і прикладне значення. До них належать, зокрема, кварц і кальцит – мінерали, виявлені практично в усіх геологічних процесах. Також до гексагональної сингонії належить берил – один із небагатьох мінералів, який може забезпечити вітчизняною сировиною ювелірну промисловість України. Характерні типоморфні ознаки цих мінералів можна застосовувати для пошуків різноманітних корисних копалин.

Для кристалогенетичних досліджень зазначених мінералів застосовують установку Браве. Ця установка відрізняється від установки Міллера тим, що в ній фіксують чотири кристалографічні осі, три з яких збігаються з осями другого порядку, а четверта – з віссю третього, або шостого, порядку, і символи простих форм мають вигляд не $\{hkl\}$ а $\{hkil\}$, причому $i=-(h+k)$. Отже, у цій установці один або кілька символів простої форми матимуть від'ємне значення. Оскільки прийнято ставити знак мінус над символом, то виникають певні незручності: набрані на одному комп'ютері символи на іншому комп'ютері можуть відображатися інакше. Щоб уникнути цих незручностей для авторів і редакторів, пропонується, за аналогією з [12], третій символ замінити на крапку. На рис. 1,*а* показано основні пояси і прості форми тригональної й гексагональної сингоній, а на рис. 1,*б* – традиційні

і спрощені символи. Спрощені символи мають вигляд {*hk.l*}, де крапка заміняє символ *i*. Наприклад скаленоедр на кальциті буде мати вигляд {21.1}. Оскільки, як уже зазначено, $i = -(h+k)$, то значення третього символу становить –3. Аналогічно можна легко обчислити значення символу *i* на інших простих формах.



а

hk.l	hkil
00.1	0001
10.0	$10\bar{1}0$
11.0	$11\bar{2}0$
12.0	$12\bar{3}0$
22.1	$22\bar{4}1$
20.1	$20\bar{2}1$
11.1	$11\bar{2}1$
11.2	$11\bar{2}2$
21.2	$21\bar{3}2$
10.1	$10\bar{1}1$
12.2	$12\bar{3}2$
10.2	$10\bar{1}2$
12.1	$12\bar{3}1$
21.1	$21\bar{3}1$
31.2	$31\bar{4}2$

б

Рис. 1. Головні пояси і прості форми тригональної і гексагональної сингоній:
а – стереографічна проекція з головними поясами і простими формами тригональної та гексагональної сингоній; *б* – скорочені та повні символи головних простих форм тригональної та гексагональної сингоній

Зазначимо, що для побудови аксонометричної (як і ортогональної) проєкції кристала в програмі Shape нема потреби переводити символи простих форм з установки Браве в установку Міллера, просто ігнорують третій символ, а використовують лише *hkl*. Також кристалогенетичні дослідження кварцу, кальциту і берилу на різних етапах мають свої особливості, які буде розглянуто в пропонованій праці.

Мета роботи – схарактеризувати особливості кристалогенетичних досліджень на всіх етапах для кристалів тригональної й гексагональної сингоній, у яких використовують установку Браве.

Для досягнення мети потрібно було вирішити такі завдання: 1) опрацювати опубліковані, особисті та архівні матеріали з кристаломорфології кварцу, кальциту й берилу; 2) розглянути особливості установки Браве; 3) продемонструвати етапи кристалогенетичних досліджень на прикладі кварцу, кальциту і берилу.

Виклад основного матеріалу. На етапі відбирання матеріалу для досліджень важливо фіксувати орієнтацію кристала, оскільки за співвідношенням розмірів граней тієї самої

простої форми можна визначити напрям руху мінералоутворювальних флюїдів [3, 5, 6]. У нашому випадку установка кристала значення не має. Гоніометричні дослідження найлегше проводити для кварцу. Для цього мінералу в більшості випадків характерні три прості форми: призма {10.0} і ромбоедри {10.1} і {01.1} (рис. 2), дипіраміда {11.1} виявлена рідше, трапецоедр {51.1} – ще рідше [20].

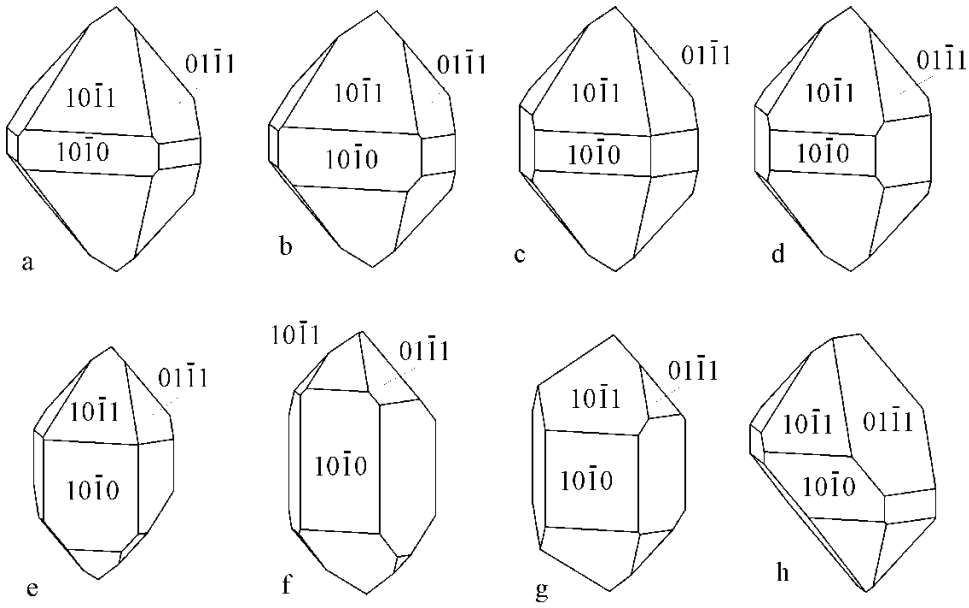


Рис. 2. Кристаломорфологія кварцу з порід Кросненської зони Українських Карпат [20]

У разі відсутності дипіраміди і трапецоедра нема потреби використовувати двоколовий гоніометр ГД-1, призму і ромбоедри індексують за зовнішнім виглядом. Незважаючи на малу кількість простих форм, габітус кристалів кварцу вирізняється надзвичайною розмаїтістю. Багатогранники кварцу можуть зовнішньо нагадувати будь-яку сингонію. Їхня видима симетрія може бути як вища, так і нижча за реальну. Види габітусу кристалів кварцу залежно від симетрії мінералоутворювального середовища детально розглянуто в [6].

Кристаломорфологія кальциту значно різноманітніша (рис. 3). На багатогранниках виявлена велика кількість простих форм: {10.0}, {01.2}, {21.1}, {00.1}, {10.1}, {02.1}, {40.1}, {16.0.1}, {11.0}. Кальцит з різних родовищ має різний габітус кристалів [4, 9, 10].

Основними проблемами дослідження кристалогенезису берилу є складність відбору придатних для гоніометрії зразків. Більшість кристалів вкрита фігурами росту й розчинення, що часто унеможливлює індексацію [2]. Незважаючи на це, можна виявити відмінності не тільки між багатогранниками берилу з різних родовищ, а й із різних зон того самого родовища (рис. 4)

На етапі аналізу кристалічної структури та порівняння морфологічної важливості теоретично розрахованих простих форм із реальною морфологічною важливістю простих форм на конкретних родовищах проводять аналіз ретикулярної густини [13] з урахуванням поправок Доннея–Харкера [14], визначення F-, S-, K-граней – за допомогою періодичних

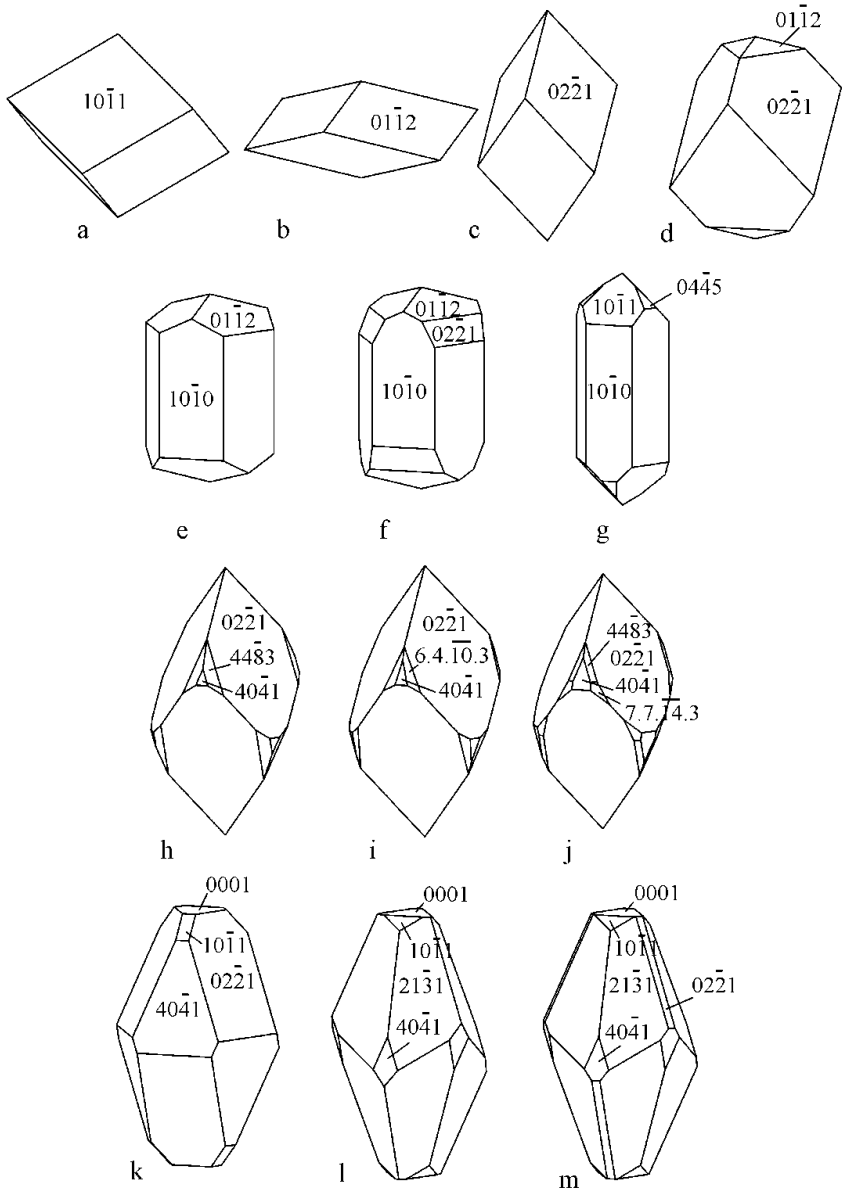


Рис. 3. Кристаломорфологія кальциту з різних родовищ України, за [4]:
a–d – Донбас; *e–g* – Крим; *h–m* – сірчані родовища Передкарпаття

ланцюгів зв'язку (PBC-векторів) за [15], визначення симетрії грані – за І. Шафрановським за аналогією з [1].

Розрахунок ретикулярної густини проводять за такою формулою [18]:

$$1/d\{hkl\}^2 = h^2/a^2 + k^2/b^2 + l^2/c^2 + 2hk\cos\gamma/ab + 2hl\cos\beta/ac + 2kl\cos\alpha/bc,$$

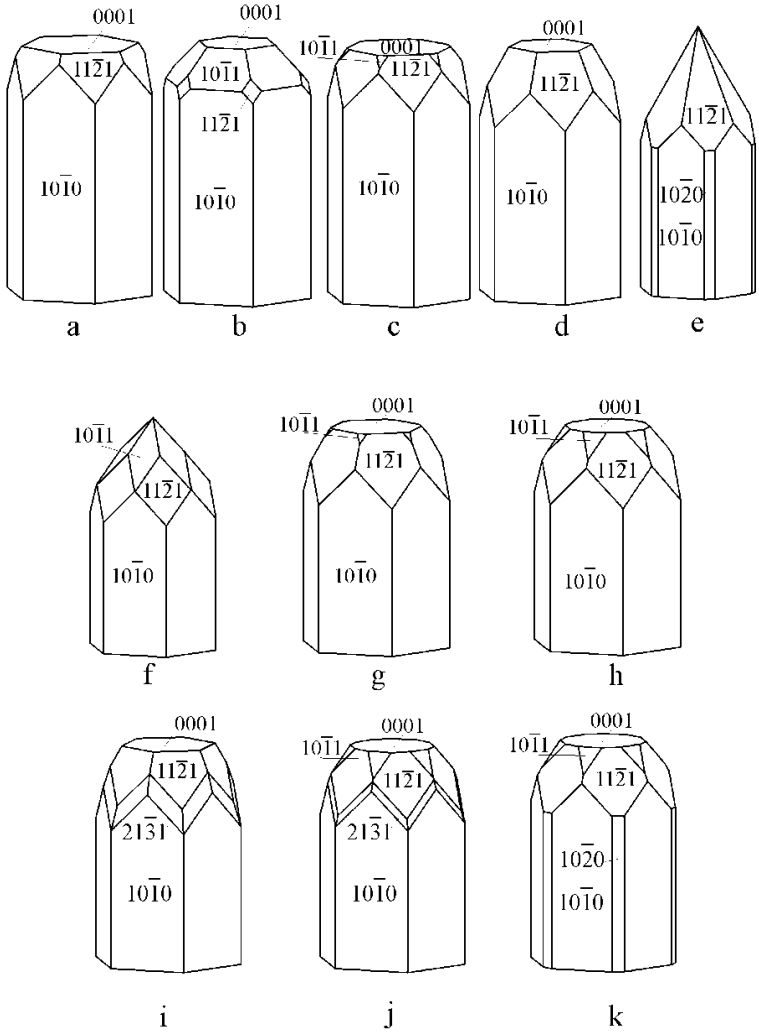


Рис. 4. Кристаломорфологія берилу із камерних пегматитів Коростенського плутону, за [2]: *a–e* – із занірків; *f–k* – із зони вилуговування

де *a*, *b*, *c* – параметри елементарної комірки; γ, β, α – кути елементарної комірки.

Для тригональної і гексагональної сингоній ця формула матиме вигляд

$$1/d^2 = 4(h^2 + hk + k^2)/(3a^2) + l^2/c^2.$$

В установці Браве для розрахунку використовують символи *hkl*, символ *i* ігнорують. З урахуванням поправок Доннея–Харкера, відповідно, множаться й *hkl*. Так у кварці для розрахунків беруть не {00.1}, а {00.3}, позаяк пінакоїд перпендикулярний до гвинтової осі третього порядку. Отже, найбільша ретикулярна густина з урахуванням поправок Доннея–Харкера у кварцу характерна для {10.0}, {10.1}, {01.1} [14]. Для кальциту найбільша ретикулярна густина у {10.0}, {00.1}, {10.1}, {01.2} [12], для берилу – у {10.0}, {10.1}, {00.1} [2].

РВС-вектори для тригональної і гексагональної сингоній відіграють таку саму роль, як і для всіх інших сингоній. Єдине, про що слід пам'ятати, то це про ігнорування символу *i* у разі розрахунку символу напрямку. Для кварцу F-гранями є {10.0}, {10.1}, {01.1} [15], для кальциту – {11.0}, {21.1} [11, 16], для берилу – {10.0}, {00.1} [2].

Найвищу симетрію на кристалах кварцу мають грані призми {10.0}, кальциту – {10.0}, {10.1}, {02.1}, {01.2}, берилу – {10.0}, {11.0}, {00.1} [2]. Саме високосиметричні грані повинні бути морфологічно важливішими за низькосиметричні. Відповідно до аналізу кристалічної структури, морфологічно важливі форми кристалів кальциту (рис. 5) і берилу (рис. 6) відрізняються від реальності. На реальних багатогранниках кварцу, у зв'язку з малої кількістю простих форм, виявлені саме ті прості форми, які зумовлені особливостями кристалічної структури. Відомо, що реальна послідовність морфологічно важливих простих форм відрізняється не тільки для різних родовищ, а і для різних зон та генерацій того самого родовища. Тому наголосимо, що морфологічно важливі (згідно з аналізом кристалічної структури) прості форми повинні виявлятися за будь-яких умов і не несуть генетичної інформації [5].

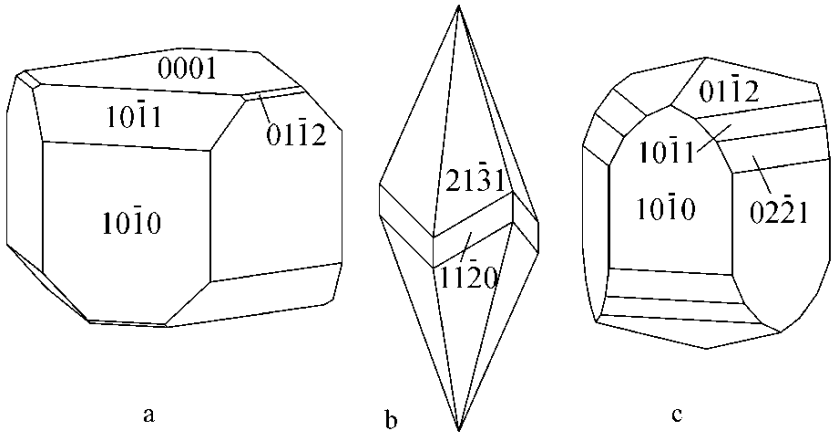


Рис. 5. Багатогранники кальциту, сформовані морфологічно важливими гранями, відповідно до кристалічної структури:
a – рівноважна форма кристалу кальциту, відповідно до ретикулярної густини;
b – багатогранник кальциту, утворений F-гранями; *c* – кристал кальциту, утворений високосиметричними простими формами

Зовнішня симетрія реальних кристалів дає змогу не тільки відтворити симетрію мінералоутворювального середовища, а й визначити напрями флюїдних потоків. Тому, незважаючи на невелику кількість простих форм, багатогранники кварцу можуть містити цінну генетичну інформацію (рис. 7). Аналогічні дослідження проведено для топазу [7].

Важливим питанням є еволюція габітусу кристалів з часом. Знаючи, як змінюється форма багатогранника, можна з'ясувати попередню температуру утворення, а також ступінь відслоненості-еродованості родовища.

На рис. 8 показано еволюційну модель для кварцу, на рис. 9 – для кальциту.

Умови утворення кварцу й кальциту в Кросненській зоні Українських Карпат схарактеризовано у праці Г. Занкович [8]. Інформацію про вплив домішок, зокрема, іонів Li^+ на кристаломорфологію кальциту навели Л. Пастеро зі співавторами [19].

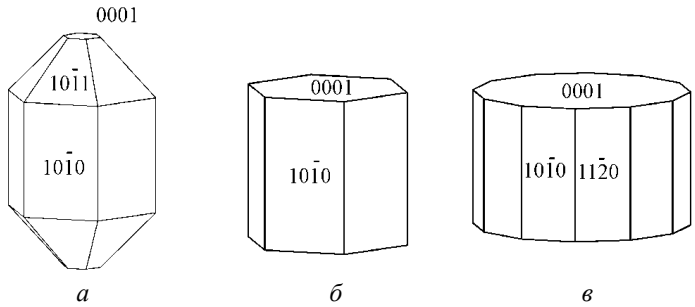


Рис. 6. Морфологія кристалів берилу згідно з різними структурними підходами: *а* – зрівноважена форма за методом Доннея–Харкера; *б* – істинні F-грані; *в* – форма кристала, що відповідає максимальній симетрії грані

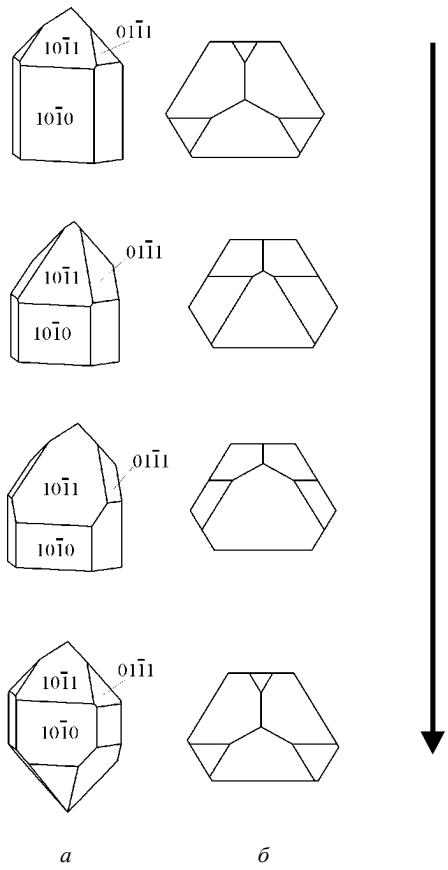


Рис. 7. Багатогранники кварцу з симетрією P [6]: *а* – аксонометрична проєкція; *б* – ортогональна проєкція; стрілка вказує напрям руху мінералоутворювальних флюїдів

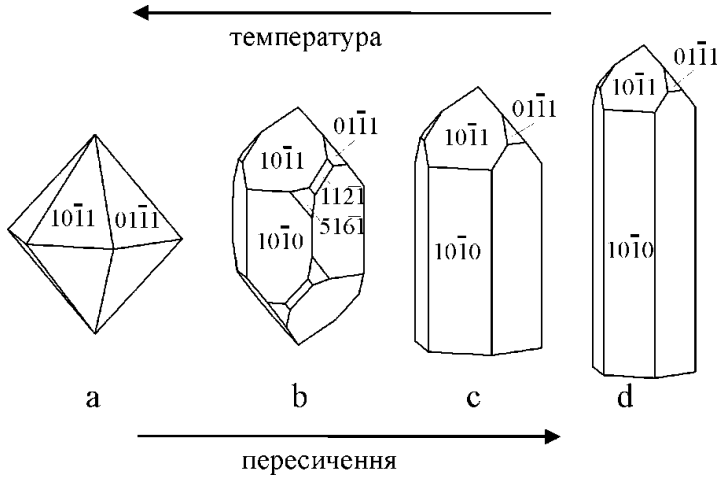


Рис. 8. Еволюція габітусу кристалів кварцу, за [17]

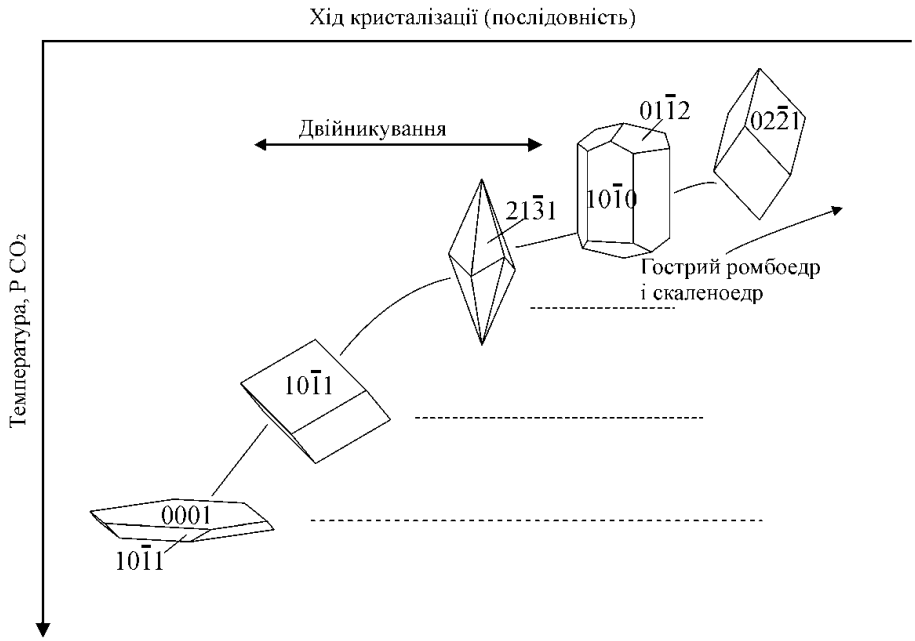


Рис. 9. Еволюція габітусу кристалів кальциту на підставі [17]

Для дослідження анатомії кристалів тригональної й гексагональної сингоній слід пам’ятати про загальну внутрішню симетрію, інших особливостей нема.

Термобарогеохімічні методи (наприклад, метод гомогенізації включень) дають змогу визначити температуру утворення мінералів. Знаючи цю температуру, можна дослідити

залежність габітусу багатогранників від температури. На рис. 10 показано залежність габітусу кристалів берилу й топазу із камерних пегматитів Коростенського плутону від температури.

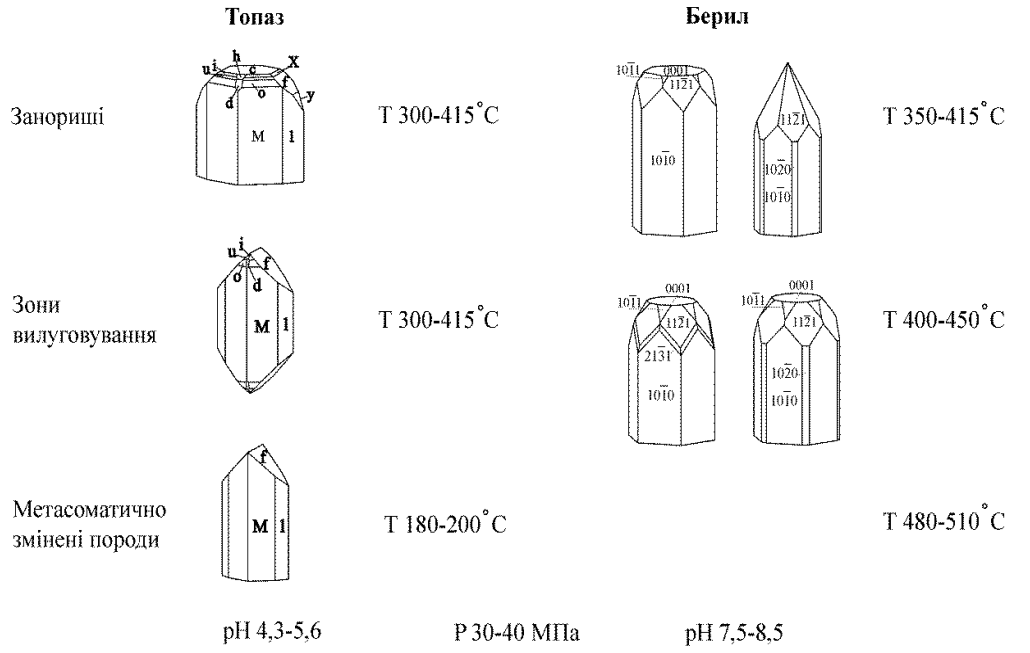


Рис. 10. Залежність габітусу кристалів топазу й берилу із камерних пегматитів Коростенського плутону від умов утворення, за [5]

Висновки та перспективи подальшого дослідження. Отже, під час написання символів простих форм тригональної і гексагональної сингоній доцільно в тексті третій символ *i* замінити на крапку. Для розрахунку ретикулярної густини та для побудови кристала в програмі Shape третій символ ігнорується.

Кварцу притаманна мала кількість простих форм. На особливу увагу заслуговує довжина габітусу реальних багатогранників. У процесі кристалізації з падінням температури габітус кристалів кварцу часто змінюється від гексагонально-дипірамідального до тригонально-призматичного.

Для кальциту характерна велика кількість простих форм, тому його гоніометричні дослідження досить складні. Габітус багатогранників кальциту з різних родовищ суттєво відрізняється. Еволюція габітусу в процесі кристалізації простежується досить чітко.

Індексувати прості форми берилу досить складно, тому що грані часто вкриті фігурами росту й розчинення. У процесі еволюції з падінням температури кількість простих форм на багатогранниках берилу зменшується.

У майбутньому під час кристаломорфологічних досліджень важливо застосовувати системний підхід і послідовність застосування методів для підвищення інформативності в генетичному і прикладному аспектах, що продемонстровано на прикладі кристалів тригональної й гексагональної сингоній.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Вовк О., Наумко І. Зв'язок кристалічної структури з особливостями морфології топазу з камерних пегматитів Волині. *Мінерал. зб. ЛНУ*. 2013. № 63. Вип. 1. С. 52–59.
2. Вовк О., Наумко І. Кристаломорфологія берилу з камерних пегматитів Волині. *Мінерал. зб.* 2013. № 63. Вип. 2. С. 83–90.
3. Вовк О., Наумко І. Генетичне значення кристаломорфологічних досліджень на прикладі топазу. *Мінерал. зб.* 2024. № 74. С. 22–30. https://doi.org/10.30970/min.74.02
4. Вовк О., Наумко І., Занкович Г. Регіональні особливості кристаломорфології кальциту деяких родовищ України. *Мінерал. зб.* 2025. № 75. С. 29–42. https://doi.org/10.30970/min.75.02
5. Вовк О. П. Кристаломорфологія топазу і берилу камерних пегматитів Коростенського плутону (північно-західна частина Українського щита): Автореф. дис. … канд. геол. наук (прирівн. до PhD): 04.00.20 / ІГМР ім. М. П. Семененка НАН України. Київ, 2016. 25 с.
6. Вовк О. П., Наумко І. М., Занкович Г. О. Псевдосиметрія кристалів кварцу та її мінералого-генетичне значення. *Мінерал. журн.* 2025. Т. 47. № 1. С. 33–44. https://doi.org/10.15407/mineraljournal.47.01.033
7. Вовк О. П., Наумко І. М., Павлишин В. І. Генетичне значення зміни співвідношення між гранними формами кристалів топазу з камерних пегматитів Коростенського плутону (Український щит). *Мінерал. журн.* 2022. Т. 44. № 3. С. 40–47. https://doi.org/10.15407/mineraljournal.44.03.040 2
8. Занкович Г. О. Геохімія флюїдів прожилково-вкрапленої мінералізації перспективно нафтогазоносних комплексів північно-західної частини Кросненської зони Українських Карпат. Автореф. дис. … канд. геол. наук (прирівн. до PhD): геохімія / ІГГГК НАН України. Львів, 2016. 25 с.
9. Заціха Б. В., Вовк П. К. Про кальцити зони зчленування Донбасу з Приазов'ям. *Доп. АН УРСР. Сер. Б.* 1969. № 7. С. 586–589.
10. Мінерали Українських Карпат. Борати, арсенати, фосфати, молібдати, сульфати, карбонати, органічні мінерали і мінералоїди / Гол. ред. О. І. Матковський. Львів: Видавничий центр ЛНУ ім. Івана Франка, 2003. 344 с.
11. Andrew J., Skinner A. J., LaFemina J. P., Jansen H. J. F. Structure and bonding of calcite: A theoretical study. *Amer. Mineralogist*. 1994. Vol. 79. P. 205–214.
12. Aquilano D., Benages-Vilau R., Bruno M., M. Rubboa M., & Massaroa F. R. Positive {hk.l} and negative {hk.$\bar{l}$} forms of calcite ($CaCO_3$) crystal. New open questions from the evaluation of their surface energies. *CrystEngComm.* 2013. Vol. 15. No. 22. P. 4465. https://doi.org/10.1039/c3ce40203g
13. Bravais A. Etudes cristallographiques. *Journ. De l'Ecole polytechnique*. 1851. Vol. 34. P. 166–170.
14. Donnay J. D. H., Harker D. A new law of crystal morphology extending the law of Bravais. *Amer. Mineralogist.* 1937. Vol. 23. P. 446–467.
15. Hartman P., Perdok W. On relation between crystal structure and crystal morphology. *Acta Cryst*. 1955. Vol. 8. P. 49–52.
16. Heijnen, W. M. M. *Crystal growth and morphology of calcium oxalates and carbonates.* Utrecht : Instituut voor Aardwetenschappen RUU, 1986. 186 p. URL: https://research-portal.uu.nl/en/publications/crystal-growth-and-morphology-of-calcium-oxalates-and-carbonates/
17. Kostov I. Mineralogy. Edinburgh : Oliver & Boyd, 1968. 587 p.
18. Laue M. Zur Theorie der Interferenzen der Röntgenstrahlen. *Annalen der Physik*. 1913. Bd. 346. H. 10. S. 989–1002.

19. Pastero L., Costa E., Bruno M., Rubbo M, Sgualdino G., & Aquilano D. Morphology of calcite ($CaCO_3$) crystals growing from aqueous solutions in the presence of Li^+ ions. Surface behavior of the {0001} form. *Crystal Growth & Design.* Vol. 4. Is. 3. P. 485–490. DOI:10.1021/cg034217r
20. Vovk O., Naumko I., Zankovych H., Kuzemko Ya. Comparison of morphology of quartz crystals – «Marmarosh diamonds» – from Paleogene Flysch sequences of Krosno (Silesian) Zone, Dukla Zone in Ukrainian Carpathians, and Intra-Carpathian sequences of Western Carpathians. *Mineralia Slovaca* 2022. Vol. 54. Is. 2. P. 163–174. https://doi.org/10.56623/ms.2022.54.2.3 54, 2 (2022), 163 – 174

REFERENCES

1. Vovk, O., & Naumko, I. (2013a). Zviazok krystalichnoi struktury z osoblyvostiamy morfolohii topazu z kamernykh pehmatytiv Volyni [The connection between crystal structure and morphology of topaz from Volyn chamber pegmatites]. *Mineralogical Collection, 63 (1),* 52–59.
2. Vovk, O., & Naumko, I. (2013b). Krystalomorfolohiia berylu z kamernykh pehmatytiv Volyni [Crystal morphology of beryl from Volyn chamber pegmatites]. *Mineralogical Review, 63 (2),* 83–90.
3. Vovk, O., & Naumko, I. (2024). Henetychne znachennia krystalomorfolohichnykh doslidzhen na prykladi topazu [Genetic significance of crystalmorphological studies on the example of topaz]. *Mineralogical Collection, 74,* 22–30. https://doi.org/10.30970/min.74.02
4. Vovk, O., Naumko, I., & Zankovych, H. (2025). Rehionalni osoblyvosti krystalomorfolohii kaltsytu deiakykh rodovyshch Ukrainy [Regional features of calcite crystal morphology in some deposits of Ukraine]. *Mineralogical Collection, 75,* 29–42. https://doi.org/10.30970/min.75.02
5. Vovk, O. P. (2016). *Krystalomorfolohiia topazu i berylu kamernykh pehmatytiv Korostenskoho plutonu (pivnichno-zakhidna chastyna Ukrainskoho shchyta)* [Crystal morphology of topaz and beryl of chamber pegmatites of the Korosten Pluton (north-western part of the Ukrainian Shield)]. Abstract of the dissertation for the degree of Candidate of Geological Sciences (equivalent to PhD): M. P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine. Kyiv.
6. Vovk, O. P., Naumko, I. M., & Zankovych, H. O. (2025). Psevdosymetriia krystaliv kvartsu ta yii mineraloho-henetychne znachennia [Pseudosymmetry of quartz crystals and its mineralogical-genetic significance]. *Mineralogical Journal, 47 (1),* 33–44. https://doi.org/10.15407/mineraljournal.47.01.033
7. Vovk, O. P., Naumko, I. M., & Pavlyshyn, V. I. (2022). Henetychne znachennia zminy spivvidnoshennia mizh hrannymy formamy krystaliv topazu z kamernykh pehmatytiv Korostenskoho plutonu (Ukrainskyi shchyt) [Genetic significance of variations in the ratio between crystal forms of topaz from chamber pegmatites of the Korosten Pluton (Ukrainian Shield)]. *Mineralogical Journal, 44 (3),* 40–47. https://doi.org/10.15407/mineraljournal.44.03.040
8. Zankovych, H. O. (2016). *Heokhimiia fliuidiv prozhylkovo-vkraplenoi mineralizatsii perspektyvno naftohazonosnykh kompleksiv pivnichno-zakhidnoi chastyny Krosnenskoi zony Ukrainskykh Karpat* [Geochemistry of fluids in veinlet-impregnated mineralization of the prospective hydrocarbon-bearing complexes in the northwestern part of the Krosno Zone of the Ukrainian Carpathians]. Abstract of the dissertation for the degree of Candidate of Geological Sciences (equivalent to PhD): Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals of the NAS of Ukraine. Lviv.

9. Zatsikha, B. V., & Vovk, P. K. (1969). Pro kaltsyty zony zchlenuvannia Donbasu z Pryazoviam [Calcites of the junction zone between the Donbas and the Azov Region]. *Reports of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR. Ser. B, 7,* 586–589.
10. Matkovskyi, O. I. (Ed.) (2003). *Mineraly Ukrainskykh Karpat. Boraty, arsenaty, fosfaty, molibdaty, sulfaty, karbonaty, orhanichni mineraly i mineraloidy* [Minerals of the Ukrainian Carpathians: borates, arsenates, phosphates, molybdates, sulphates, carbonates, organic minerals and mineraloids]. Lviv: Publishing Centre of Ivan Franko National University of Lviv.
11. Andrew, J., Skinner, A. J., LaFemina, J. P., & Jansen, H. J. F. (1994). Structure and bonding of calcite: A theoretical study. *Amer. Mineralogist, 79,* 205–214.
12. Aquilano, D., Benages-Vilau, R., Bruno, M., Rubboa, M., & Massaroa, F. R. (2013). Positive {hk.l} and negative {hk.$\bar{l}$} forms of calcite ($CaCO_3$) crystal. New open questions from the evaluation of their surface energies. *CrystEngComm., 15 (22),* 4465. https://doi.org/10.1039/c3ce40203g
13. Bravais, A. (1851). Etudes cristallographiques. *Journ. De l'Ecole polytechnique, 34,* 166–170.
14. Donnay, J. D. H., & Harker, D. (1937). A new law of crystal morphology extending the law of Bravais. *Amer. Mineralogist, 23,* 446–467.
15. Hartman, P., & Perdok, W. (1955). On relation between crystal structure and crystal morphology. *Acta Cryst., 8,* 49–52.
16. Heijnen, W. M. M. (1986). *Crystal growth and morphology of calcium oxalates and carbonates.* Utrecht: Instituut voor Aardwetenschappen RUU. URL: https://research-portal.uu.nl/en/publications/crystal-growth-and-morphology-of-calcium-oxalates-and-carbonates/
17. Kostov, I. (1968). *Mineralogy.* Edinburgh: Oliver & Boyd.
18. Laue, M. (1913). Zur Theorie der Interferenzen der Röntgenstrahlen. *Annalen der Physik, 346 (10),* 989–1002.
19. Pastero, L., Costa, E., Bruno, M., Rubbo, M., Sgualdino, G., & Aquilano, D. (2004). Morphology of calcite ($CaCO_3$) crystals growing from aqueous solutions in the presence of Li^+ ions. Surface behavior of the {0001} form. *Crystal Growth & Design, 4 (3),* 485–490. DOI:10.1021/cg034217r
20. Vovk, O., Naumko, I., Zankovych, H., & Kuzemko, Ya. (2022). Comparison of morphology of quartz crystals – «Marmarosh diamonds» – from Paleogene Flysch sequences of Krosno (Silesian) Zone, Dukla Zone in Ukrainian Carpathians, and Intra-Carpathian sequences of Western Carpathians. *Mineralia Slovaca, 54 (2)*, 163–174. https://doi.org/10.56623/ms.2022.54.2.3 54, 2 (2022), 163 – 174

FEATURES OF CRYSTAL GENETIC STUDIES OF MINERALS OF THE TRIGONAL AND HEXAGONAL SYSTEMS (ON THE EXAMPLE OF QUARTZ, CALCITE AND BERYL)

Oleksandr Vovk[1], Ihor Naumko[2]
geologygeochemistry@gmail.com; naumko@ukr.net

[1] Lesya Ukrainka Volyn National University,
9, Bankova St., Lutsk, Ukraine, 43025
[2] Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals of NASU,
3a, Naukova St., Lviv, 79060, Ukraine

The specific features of crystal genetic studies of trigonal and hexagonal crystals (quartz, calcite, beryl) using the Bravais setting are analysed based on published, original, and archival data. The

expediency of improving the notation of simple forms in trigonal and hexagonal systems by simplifying their symbols within the Bravais setting is substantiated. It is shown that the combination of goniometry, crystal structure analysis, and thermobarogeochemical methods (mineral thermometry) makes it possible to obtain comprehensive information on mineral formation conditions without destroying crystal integrity. It is emphasized that theoretically morphologically important simple forms determined by crystal structure do not carry genetic information, whereas their real ratios and degree of development reflect the parameters of the mineral-forming environment. Differences in the morphology and habit of quartz, calcite, and beryl crystals are revealed, controlled by both regional factors and formation conditions, including temperature, pressure, and fluid flow dynamics. It is demonstrated that the evolution of crystal habit during crystallization follows regular patterns and can be used to reconstruct physicochemical conditions of formation and the degree of erosion of deposits. Overall, the importance of a systematic approach and a consistent sequence of methods is demonstrated for increasing the informativeness of crystal morphological studies in both genetic and applied aspects.

Key words: crystal genesis, quartz, calcite, beryl, trigonal system, hexagonal system, Bravais setting, goniometry, crystal morphology, thermobarogeochemistry.

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

Дата першого надходження статті до видання: 30.03.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 23.04.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026