

УДК 548.726:548.4:549.652.2:546.12 (477.8)

<https://doi.org/10.30836/gbhgd.2024.15>

ПРО ГЕНЕТИЧНЕ ЗНАЧЕННЯ КРИСТАЛОМОРФОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ НА ПРИКЛАДІ ТОПАЗУ

Вовк О. П.¹, Наумко І. М.²

¹Волинський національний університет імені Лесі Українки, Луцьк, Україна,
geologygeochemistry@gmail.com

²Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, Львів, Україна,
naumko@ukr.net

ON THE GENETIC SIGNIFICANCE OF CRYSTAL MORPHOLOGICAL RESEARCH USING THE EXAMPLE OF TOPAZ

Vovk O. P.¹, Naumko I. M.²

¹Lesya Ukrainka Volyn National University, Lutsk, Ukraine,
geologygeochemistry@gmail.com

²Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals
of the NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine, naumko@ukr.net

On the basis of the author's research and generalization of literature data, a comprehensive methodology for crystal genetic research was developed using the example of topaz from the chamber pegmatites of the Korosten pluton. This approach is justified by the need to use crystal morphology both for diagnosing minerals and for deciphering the conditions of their formation. Additionally, the significant advantage of goniometry, which allows for mineral identification without destroying crystals, underscores the priority of conducting goniometric studies, which are often unjustifiably ignored.

Вступ. На сучасному етапі розвитку мінералогічної науки зростає доцільність застосування кристаломорфології не лише для діагностики мінералів, але й розшифрування умов їхнього утворення, що визначається можливістю отримання за кристаломорфологічними даними цінної генетичної інформації. Кристаломорфологічні методичні підходи добре узгоджуються з іншими методиками дослідження мінеральної речовини, зокрема в контексті досліджень включень мінералоутворювального середовища. Однак, з огляду на трудомісткість та невелику кількість фахівців, гоніометричні дослідження часто ігноруються. Водночас до відчутної переваги гоніометрії належить можливість збереження кристалів, що забезпечує раціональне використання кам'яного матеріалу, особливо цінних та унікальних кристалів коштовного та виробного каміння і п'єзокварцової сировини. Завдяки цьому гоніометричні дослідження повинні виконуватися першочергово, однак методика досліджень кристаломорфології, яка в комплексі з іншими методами складає основу кристалогенезису, описана недостатньо.

Це й визначає **мету роботи** – на основі систематизації власних та літературних даних про мінералогію топазу з камерних пегматитів Коростенського плутону показати на його прикладі особливості застосування кристаломорфологічних підходів у генетичному аспекті, розробити порядок методик, які використовуватимуться в процесі комплексного дослідження.

Стан проблеми. Генетичну роль кристалографії розглянуто на прикладі авторських досліджень топазу з камерних пегматитів Коростенського плутону та узагальнення літературних даних. Вперше такі дані були апробовані на 31th International Geological Congress в Rio de Janeiro [1]. Ці унікальні топазо-моріонові камерні (за М. Єрмаковим, 1957) гранітні пегматити є єдиним в Україні джерелом ювелірного топазу, багатогранники якого відомі ще з XIX століття [2]. Вперше результати ретельних досліджень кристаломорфології топазу були опубліковані в [2], згідно з якими на основі великої кількості гоніометрично досліджених багатогранників було описано морфологію топазу із камер (заноришів) і зон вилуговування та пізньої генерації з метасоматично змінених порід. Як відомо, зовнішня форма кристалів залежить від кристалічної структури та умов утворення. Результати аналізу кристалічної структури та її впливу на форму багатогранників топазу опублікували у [3], а впливу температури — у [4]. За результатами гоніометричних досліджень волинського топазу виконали статистичний аналіз [5]. Детальну порівняльну характеристику багатогранників топазу з різних мінералого-структурних зон камерних пегматитів Коростенського плутону наведено в [6]. Результатом узагальнення досліджень топазу (не тільки кристаломорфологічних) стала монографія [7]. Однак в усіх цих працях розглядали переважно ідеальні кристали топазу. Водночас реальні багатогранники можуть нести цінну генетичну інформацію, зокрема щодо напрямку потоків мінералоутворювальних флюїдів [8, 9]. Причина пониження симетрії реальних кристалів полягає в їхній анатомії [10].

Об'єкт дослідження – топаз камерних пегматитів Коростенського плутону.

Методи дослідження. Гоніометрія, аналіз кристалічної структури, статистичний аналіз, термобарогеохімія.

Отримані результати та їхнє обговорення. Роль типоморфних особливостей мінералів важко переоцінити в пошуках та розвідці корисних копалин. Характерні ознаки зовнішньої форми кристалів не є винятком. Кристаломорфологія того самого мінералу з різних родовищ, чи навіть різних генерацій того самого родовища часто істотно відрізняється. На родовищах колишнього СРСР виділяли три типи кристалів топазу: мурзинський з великим пінакоїдом $c\{001\}$, адун-чілонський з відсутнім, або вузьким пінакоїдом $c\{001\}$ та ільменський, в якому призми $\{0kl\}$ та пінакоїд $c\{001\}$ розвинені приблизно однаково [11]. В Бразилії можна знайти кристали топазу, де габітусними формами є дипіраміди $\{hkl\}$, найчастіше $o\{111\}$ [12].

Зовнішній вигляд кристалу є важливою типоморфною ознакою, яка дає можливість визначити його походження в родовищі та оцінити ступінь ерозії родовища [16]. Кристали топазу з різних мінерально-структурних зон камерних пегматитів Коростенського плутону значно відрізняються. Найбагатше огранення кристалів топазу характерне для камер (заноришів), де ми виявили 17 простих форм, серед яких морфологічно важливими є призми $f\{011\}$, $y\{021\}$ та $d\{101\}$, дипіраміди $o\{111\}$ та $u\{112\}$, пінакоїд $c\{001\}$. Однак морфологія кристалів з інших зон, таких як вилуговування, графічна, пегматоїдна та польовошпатована, є біднішою. Наприклад, на головках кристалів тут присутні лише сім простих форм, з яких морфологічно важливою є призма $f\{011\}$. Ще

менш багате огранення трапляється у топазу з метасоматично змінених порід, де виявлено лише призму $f \{011\}$ [7].

Положення про залежність морфології кристалів від їхньої ретикулярної густини спочатку висловив А. Браве [13]: «Можливість появи і розвитку кожної раціональної грани повинна бути принаймні частково пропорційна густині її сітки.» І.Д. Х. Донней та Д. Харкер [14] розширили цей закон, враховуючи гвинтові осі і площини ковзаючого відбиття у структурі кристала. Такі елементи симетрії знижують ретикулярну густину у 2 і більше разів, тобто площини в 2 рази, а осі – згідно з їхнім порядком. Згідно з І.І. Шафрановським [3], величина нескінченної площинної симетрії грани також впливає на морфологію кристалів: грані з вищою величиною симетрії часто мають габітусні форми. Описані вище методики розглядають лише загальні геометричні одиниці для визначення морфологічної важливості граней кристала. П. Хартман і В. Пердок [15] вважають, що головну роль у зв'язку між морфологією і структурою кристала відіграють напрямки. Відповідно, найважливіші зони в кристалах пов'язані з ланцюгами найсильнішого зв'язку між структурними одиницями, які позначають РВС (periodic bond chain). РВС-вектори мають бути неперервними у структурі мінералу, і чим ближчий ланцюг до прямої лінії, тим сильніше він впливає на кристаломорфологію.

Розглядаючи вищезазначені методики, можна дійти висновку, що для топазу морфологічно найважливішими простими формами є $f \{011\}$, $b \{010\}$, $M \{110\}$, $l \{120\}$, $d \{101\}$, $o \{111\}$, $c \{001\}$, $y \{021\}$ [2, 3]. Ці грані мають проявлятися на кристалах незалежно від умов утворення мінералу, але їхня наявність сама по собі не є індикатором умов утворення. На багатогранниках волинських топазів із камер (заноришів) всі вище перераховані прості форми, за винятком $b \{010\}$, чітко виявлені [4].

Кристаломорфологія багатогранників волинських топазів стає менш розмаїтою зі зниженням температури [16]. Основна маса топазу утворилася у другому кислотному періоді післяінверсійної стадії пегматитового процесу за температур, трохи вищих за 400 °С, шляхом вільної кристалізації у камерах (заноришах) і при метасоматозі у зонах вилуговування. Значення рН розчинів у включеннях у топазі зазвичай коливаються від 4,3 до 5,6. Кристали топазу з зон вилуговування не є новою генерацією, вони утворилися тоді само, що і топаз у камерах (заноришах) [2]. У метасоматично змінених породах топаз пізньої генерації, тобто топаз III, кристалізувався з низькотемпературних розчинів з температурою 180–200 °С у третьому кислотному періоді разом з пізніми берtrandитом, фенакітом, альбітом тощо [2].

Основна маса топазу утворилася за тисків, що не часто перевищували 30–40 МПа. Топаз є надійним індикатором підвищеної кислотності флюїдного середовища мінералогенезу, тоді як берил – лужності.

Наведений і обговорений фактичний матеріал чітко вказує на те, що аналіз морфології реальних багатогранників топазу дозволяє визначити симетрію флюїдного середовища і напрямок потоків мінералоутворювальних флюїдів.

Отже на основі авторських досліджень і узагальнення літературних даних розроблено комплексну методику кристалогенетичних досліджень на прикладі

топазу із камерних пегматитів Коростенського плутону. Завдяки кристаломорфологічним дослідженням виявлено найважливіші прості форми топазу із різних просторово-генетичних мінерально-структурних зон камерних пегматитів. На основі статистичних даних проведено кластеризацію багатогранників топазу із камер (заноришів), до яких приурочена основна кількість топазу. Завдяки аналізу кристалічної структури виявлені прості форми, які будуть формуватися за будь-яких умов і не нестимуть генетичної інформації. За габітусом реальних кристалів виявлено симетрію флюїдного середовища, в якому вони утворилися, а в окремих випадках – напрямки потоків мінералоутворювальних флюїдів. Ці результати отримані при збереженні цілості багатогранників топазу. Для повноти результатів необхідно розглянути анатомію кристалів, а також визначити умови їхнього утворення: температуру, рН, тиск. Для цього запропоновано застосування методів дослідження включень мінералоутворювального середовища.

Висновки.

1. Дослідження кристаломорфології методом гоніометрії є джерелом цінної генетичної інформації, причому отриманої без руйнування кристала, що складає вагому підставу для застосування цієї методики першою серед методів вивчення мінеральної речовини.

2. Аналіз кристалічної структури дає змогу визначити прості форми, які будуть формуватися за будь-яких умов і не несуть генетичної інформації.

3. Зовнішня форма кристалу може бути попереднім індикатором температури його утворення, для точнішого визначення температури необхідно застосовувати метод гомогенізації включень у кристалах.

4. Кристаломорфологія реальних багатогранників допомагає відтворити симетрію мінералоутворювального середовища та побудувати модель руху флюїдних потоків за умови правильно відібраного матеріалу.

5. Зовнішня симетрія кристалів залежить від їхньої анатомії, однак дослідження анатомії руйнують багатогранники, тому повинні проводитися після гоніометрії.

6. У підсумку необхідний порядок проведення кристаломорфологічних досліджень в комплексі з іншими методами набуває наступної послідовності: відбір матеріалу з фіксацією орієнтування кристалу – гоніометрія – опис скульптури граней – визначення теоретично морфологічно важливих простих форм за аналізом кристалічної структури – визначення практично морфологічно важливих простих форм (з різних родовищ, генерацій, зон, тощо) за допомогою статистичних методів – аналіз морфології реальних кристалів – дослідження анатомії – дослідження включень мінералоутворювального середовища – кореляція зовнішньої форми багатогранників з умовами утворення – хімічний аналіз, хімічна мас-спектрометрія – кореляція результатів.

Література

1. Naumko I. M., Vovk O. P. Crystallogenesis of topaz of chamber pegmatites of Korosten' plutone (Ukraine). Abstracts of 31th International Geological Congress. Rio de Janeiro, 2000. http://cbrazil.dominal.com/g_0806021.pgf.

2. *Вовк О., Наушко І.* Кристаломорфологія топазу з камерних (заноришевих) пегматитів Волині. *Мінерал. зб.* 2005. Т. 55, № 1-2. С. 79–89.
3. *Вовк О., Наушко І.* Зв'язок кристалічної структури з особливостями морфології топазу з камерних пегматитів Волині. *Мінерал. зб.* 2013. Т. 63. №. 1. С. 52–59.
4. *Вовк О.П., Наушко І.М.* Кристалогенез топазу і берилу камерних пегматитів Волині – передумова оцінки важливого виду каменебарвної сировини. *Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування: Матеріали Четвертої міжнар. науково-практ. конф., м. Трускавець, 6–10 листоп. 2017 р. Київ, 2017. Т. 1. С. 96–101.*
5. *Вовк О., Наушко І.* Особливості кристаломорфології топазу із камерних пегматитів Волині (за даними статистичних методів). *Мінерал. журн.* 2014. Т. 36. № 1. С. 26-33.
6. *Павлишин В.І., Вовк О.П., Наушко І.М.* Характерні особливості кристаломорфології топазу з різних мінерально-структурних зон камерних пегматитів Коростенського плутону Українського щита). *Мінерал. журн.* 2016. Т. 38. № 4. С. 3–13.
7. *Павлишин В., Довгий С., Пащенко Є., Вовк О.* Топаз у надрах України та в історії народів. Київ: Інститут обдарованої дитини НАПН України, 2017. 274 с. + 31 с. Вкл.
8. *Вовк О.П., Наушко 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>.
9. *Vovk O.P., Naumko I.M., Pavlyshyn V.I., Yakovlyeva V.V.* Distortion of the form of topaz polyhedra from chamber pegmatites of the Korosten pluton (Ukrainian shield) and its genetic significance / *Від Мінералогії і Геогнозії до Геохімії, Петрології, Геології та Геофізики: фундаментальні і прикладні тренди XXI століття: Матеріали конференції, Київ, 28 September 2022. Київ. Р. 78–80.*
10. *Павлишин В.І., Возняк Д.К.* Симетрія-диссиметрія кристалів слюд і топазу камерних пегматитів Волині: кристалохімічні, морфологічні, генетичні аспекти. *Мінерал. журн.* 2020. 42, № 1. С. 3–11. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.42.01.003>.
11. *Лазаренко Є.К.* Курс мінералогії. Видання друге, перероблене і доповнене. Київ: Вища школа. 1970. 600 с.
12. *Goldschmidt V.* Atlas der Krystallformen. Heidelberg: Winter, 1922. Vol. 8: Safflorit – Topas. 176 p.
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. *Am. Mineral.* 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. *Вовк О.П.* Кристаломорфологія топазу і берилу камерних пегматитів Коростенського плутону (північно-західна частина Українського щита). *Автореф. дис. ... канд. геол. наук (порівнюється до доктора філософії).* Київ, 2016. 25 с.