

УДК 548:549.614:553.064.1(477.42)

ЗВ'ЯЗОК КРИСТАЛІЧНОЇ СТРУКТУРИ З ОСОБЛИВОСТЯМИ МОРФОЛОГІЇ ТОПАЗУ З КАМЕРНИХ ПЕГМАТИТІВ ВОЛИНИ

О. Вовк¹, І. Наумко²

¹Східноєвропейський національний університет імені Лесі Українки,
просп. Волі, 13, 43025 Луцьк, Україна
E-mail: geologygeochemistry@gmail.com

²Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України,
вул. Наукова, 3а, 79060 Львів, Україна
E-mail: igggk@mail.lviv.ua

Досліджено зв'язок морфології кристалів волинського топазу з внутрішньою структурою та умовами утворення. Наведено розрахунки ретикулярної густини за методом Доннея–Харкера, визначено РВС-вектори в кристалічній структурі та F, S, K-грані за П. Хартманом і В. Пердоком, з'ясовано морфологічну важливість простих форм, відповідно до симетрії грані за І. Шафрановським. Різні структурні підходи засвідчують морфологічну важливість граней {011}, {010}, {110}, {120}, {101}, {111}, {001}, {021}.

Ключові слова: топаз, кристалічна структура, ретикулярна густина, проста форма, грань, симетрія, умови мінералоутворення, Волинь.

Кристали волинського топазу відомі ще з XIX ст. і неодноразово описані в літературі. Детально вивчено їхнє забарвлення [8], морфологію [2], хімічний склад [9], генезис [7, 9, 10, 12] та ін. Незважаючи на велику кількість публікацій, зв'язок морфології кристалів топазу з його внутрішньою структурою детально не вивчали, а опубліковані дані [3, 4] є попередніми. Структуру топазу описано в праці [1], у якій наведено проекцію на грань (100). Незважаючи на наявність спеціальних комп'ютерних програм, проєкцій на інші грані до цього часу не наведено й не проаналізовано. Ми побудували проєкції кристалічної структури топазу на (100), (010) і (001), визначили напрями РВС-векторів та F, S, K-грані. Як відомо [15, 17], зовнішня форма кристалів є відображенням їхньої внутрішньої структури та умов утворення. Нетипові, згідно зі структурним підходом, форми можуть слугувати індикаторами умов утворення.

Єдиним джерелом ювелірного й технічного топазу в Україні є камерні пегматити Волині, генетично і просторово пов'язані з гранітами Коростенського плутону, серед яких головні – рапаківіподібні граніти [9].

Основна маса кристалів топазу в пегматитах приурочена до заніжкових ділянок та зон вилуговування. Крім того, топаз трапляється в порожнинах графічної, пегматоїдної і польовошпатової зон та в метасоматично змінених породах, а також у вигляді твердих включень у кварці [9, 10].

Досліджували вплив структурних (внутрішніх) чинників та умов утворення на морфологію топазу. Використовували такі структурні підходи: розрахунок ретикулярної густини за методом Доннея–Харкера [17], визначення ланцюгів сильного зв'язку за

П. Хартманом і В. Пердоком [15] та аналіз симетрії граней за І. Шафрановським [18]. Для вивчення умов утворення топазу застосовували методи дослідження включень мінералоутворювального середовища [6] та аналіз мінеральних парагенезисів. Результати теоретичної послідовності морфологічної важливості простих форм порівнювали з практичними даними наших попередніх досліджень [2].

Морфологія кристалів топазу з камерних пегматитів Волині досить цікава. Трапляються як багато, так і бідно огранені індивіди. Кристали з різних мінералого-структурних зон відрізняються за морфологією, що свідчить про відмінності в умовах утворення.

На всіх індивідах із занірків у зоні [001] наявні грані призм $\{110\}$ і $\{120\}$, форми $\{100\}$, $\{010\}$, $\{130\}$, $\{230\}$, $\{470\}$ трапляються рідше. На головках кристалів ми виявили 18 простих форм. Найбільше морфологічне значення мають $\{011\}$, $\{111\}$, $\{112\}$, $\{001\}$, $\{021\}$, $\{101\}$. Менш важливими є $\{023\}$, $\{113\}$, $\{103\}$, $\{225\}$, $\{012\}$, $\{201\}$, $\{201\}$, $\{121\}$, $\{114\}$, $\{232\}$ [9]. Для занірків типовими є великі багато огранені кристали (рис. 1, а).

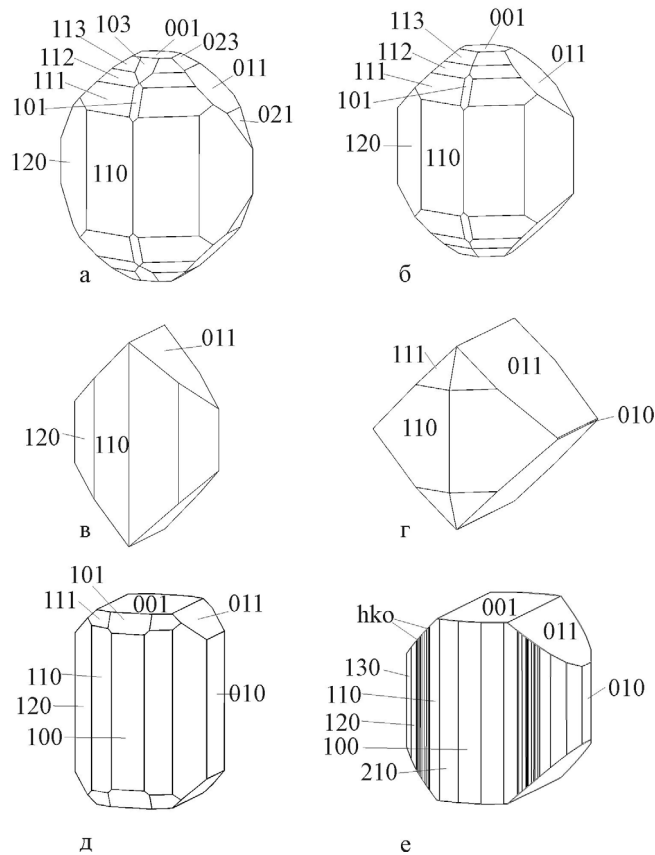


Рис. 1. Морфологія кристалів топазу:

а – із занірка; б – із зони вилуговування; в – кристал пізньої генерації; г – рівноважна за ретикулярною густиною форма; д – форма кристала за РВС-векторами; е – форма кристала за величиною симетрії граней.

Індивіди із зони вилуговування за морфологією простіші (див. рис. 1, б). На них у вертикальному поясі визначено грані призм $\{110\}$ і $\{120\}$, наявні на всіх кристалах, та рідкісні форми $\{100\}$, $\{010\}$, $\{210\}$. Кристали метасоматично змінених порід мають лише грані $\{110\}$, $\{120\}$, $\{011\}$ (див. рис. 1, в).

Різноманітна морфологія кристалів топазу зумовлена особливостями кристалічної структури та різноманітністю умов утворення. Вплив кристалічної структури трактують з позицій закону Браве, правила Доннея–Харкера, теорії РВС-векторів.

Розрахунки ретикулярної густини плоских сіток форм, виявлених на кристалах волинського топазу за законом Браве, дають таку послідовність морфологічної важливості простих форм: $\{010\}$, $\{001\}$, $\{011\}$, $\{100\}$, $\{110\}$, $\{101\}$, $\{021\}$, $\{012\}$, $\{111\}$, $\{120\}$, $\{121\}$, $\{112\}$, $\{130\}$, $\{103\}$, $\{131\}$, $\{023\}$, $\{210\}$, $\{113\}$, $\{201\}$, $\{114\}$, $\{230\}$, $\{232\}$, $\{225\}$, $\{470\}$.

Урахування гвинтових осей та площин ковзного відбиття вносить корективи у наведену вище послідовність: $\{011\}$, $\{010\}$, $\{001\}$, $\{110\}$, $\{111\}$, $\{120\}$, $\{121\}$, $\{112\}$, $\{130\}$, $\{131\}$, $\{100\}$, $\{210\}$, $\{113\}$, $\{201\}$, $\{101\}$, $\{021\}$, $\{012\}$, $\{114\}$, $\{230\}$, $\{232\}$, $\{225\}$, $\{103\}$, $\{023\}$, $\{470\}$.

Якщо для кристала топазу прийняти відцентрові відстані пропорційними до ретикулярної густини, то одержана таким способом рівноважна форма матиме вигляд, зображений на рис. 1, г. Реальні кристали відрізняються від цієї форми. Це пов'язано з іншими особливостями кристалічної структури та умовами утворення топазу. Згідно з нашими даними, ряд морфологічної важливості простих форм на головках топазу має такий вигляд: $\{011\}$ – $\{111\}$ – $\{112\}$ – $\{001\}$ – $\{021\}$ – $\{101\}$ – $\{023\}$ – $\{113\}$ – $\{103\}$ – $\{225\}$ – $\{012\}$ – $\{201\}$ – $\{121\}$, $\{114\}$, $\{232\}$. Цей ряд схожий на послідовність за Доннеєм–Харкером.

Оскільки кристалічна структура топазу досить складна, то питання про РВС-вектори вирішити нелегко. Просторова група топазу $D_{2h}^{16} = Pbm\bar{n}$, параметри елементарної комірки такі, нм: $a = 0,464$; $b = 0,878$; $c = 0,837$ [1]. Структура топазу складається з кремнекисневих тетраедрів і октаедрів, у центрі яких міститься йон алюмінію, а у вершинах – чотири йони кисню та два – фтору. Ланцюги в топазі не лінійні, як у галіті, чи двовимірні, як у флюориті, а об'ємні (тривимірні). Крім того, вони часто мають зигзагоподібну форму. РВС-вектори в топазі можуть складатися як лише з октаедрів, так і з октаедрів та тетраедрів. Ланцюги з октаедрів простягаються у напрямі $[001]$, що позначається на доброму розвитку вертикального поясу. Ці ланцюги є найважливішими, проте й іншими не варто нехтувати. Менш важливі РВС-вектори простягаються паралельно до $[010]$, $[100]$, можливо, $[012]$, $[201]$, $[011]$ і $[101]$.

Складна структура топазу не дає змоги однозначно відповісти на питання про доцільність виділення РВС-векторів уздовж зазначених вище напрямів (рис. 2).

Оскільки ланцюги сильного зв'язку не з'єднані в межах d_{200} (див. рис. 2, а), то $\{100\}$ не є істинною F-гранню. Тоді F-грані $\{010\}$ і $\{001\}$ не утворюють замкнутої форми. Відповідно, повинні бути ще F-грані, а отже, існують РВС-вектори, крім паралельних до напрямів $[001]$, $[010]$ і $[100]$.

Якщо допустити існування РВС-векторів уздовж $[012]$, $[201]$, $[011]$ і $[101]$, то вони дають змогу виділити такі можливі F-грані: $\{100\}$, $\{010\}$, $\{001\}$, $\{011\}$, $\{101\}$, $\{111\}$, $\{021\}$, $\{102\}$. Істинною F-гранню є та, на якій ланцюги сильного зв'язку з'єднані між собою в межах d_{hkl} [15, 16]. Такій умові відповідають $\{010\}$, $\{001\}$, $\{011\}$, $\{111\}$.

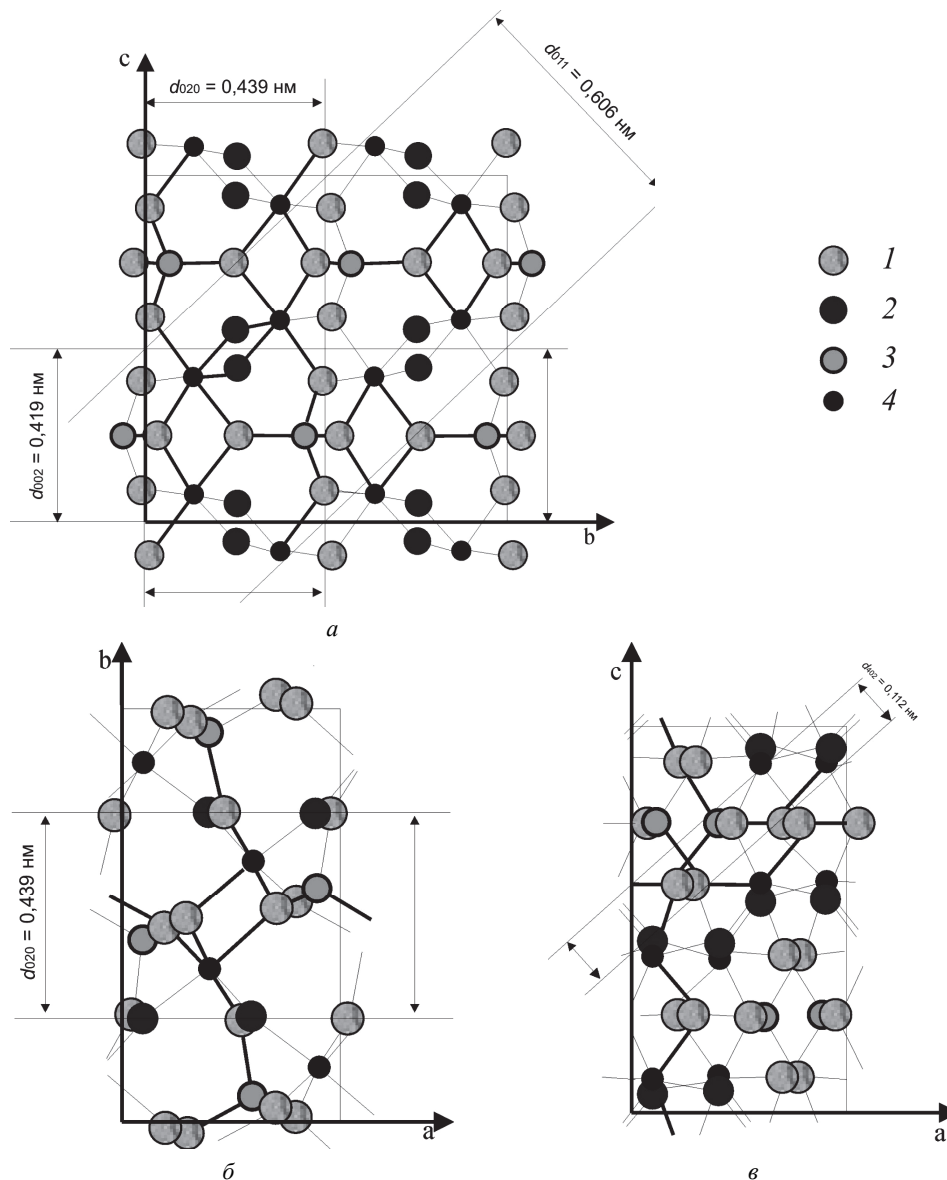


Рис. 2. Проекція структури топазу:
 а – на {100}; б – на {001}; в – на {010}; 1 – O^{2-} ; 2 – F^{1-} ; 3 – Si^{4+} ; 4 – Al^{3+}
 (РВС-вектори виділено жирними лініями).

На двовимірному рисунку важко показати наочно F-характер {111}, проте (з урахуванням порівняно великого d_{111} та S-характеру {101}) її доцільно зачислити саме до F-граней, оскільки {010}, {001} і {011} не утворюють замкненої форми. Простежується чіткий зв'язок між ретикулярною густиною та визначенням F-граней: чим більше значення d_{hkl} , тим більша ймовірність, що РВС-вектори будуть з'єднані в його межах. Пло-

ща елементарного паралелограма (величина, обернена до ретикулярної густини) для форм, визначених на кристалах волинського топазу, зворотно пропорційна до d_{hkl} цих форм. Критерій кореляції Пірсона в цьому разі становить 0,84.

Форма кристала топазу, яка відповідає теорії РВС-векторів, зображена на рис. 1, д. Її також можна вважати умовною, оскільки, на відміну від форми, побудованої за методом Доннея–Харкера, тут неможливо визначити математично точні критерії.

Згідно з І. Шафрановським [18], нескінченна площинна симетрія грані також впливає на морфологію кристалів – грані з вищою симетрією часто є габітусними. На кристалах топазу це значення для граней $\{100\}$, $\{010\}$, $\{001\}$, $\{011\}$, $\{hk0\}$ дорівнює 2, для інших форм, у тому числі $\{0kl\}$, крім $\{011\}$, – 1. Форма кристалів топазу, яка відповідає симетрії граней, зображена на рис. 1, е. На волинському топазі форми $\{110\}$, $\{120\}$, $\{011\}$ справді є габітусними.

Загалом морфологія кристалів топазу непогано узгоджується зі структурними чинниками. Винятком є лише грані форми $\{010\}$, які зрідка трапляються і не досягають значного розміру (усупереч розрахункам рівноважної форми за трьома описаними вище методами).

На кристаломорфологію топазу, крім структурних чинників, впливають умови утворення. Не завжди прості форми, які можна було б очікувати з огляду на кристалічну структуру, добре розвинені на реальних кристалах. Розрахований теоретично ряд морфологічної важливості граней тією чи іншою мірою відхиляється від реального. Зазначимо, що реальний ряд відрізняється для одного й того ж мінералу з різних родовищ і навіть для різних генерацій з одного й того ж родовища. Тому огранювання кристалів може слугувати індикатором умов утворення.

Топази в занірках та зонах вилуговування кристалізувалися в подібних умовах за температури близько 400 °С [7, 10, 12–14] і рН 4,3–5,6 [10]. Проте за морфологією індивіди із занірок і зон вилуговування відрізняються. Для зон вилуговування характерні індивіди, невеликі за розміром (до 10 см по $[001]$) [12]. У занірках трапляються як дрібні кристали, так і кристали-велетні (до 117 кг) [9].

Для дрібних індивідів із занірок характерна наявність на головках форм $\{011\}$, $\{112\}$, рідше – $\{111\}$, $\{021\}$.

У зонах вилуговування виявлено форми $\{011\}$, $\{111\}$, $\{112\}$, $\{113\}$, рідше – $\{001\}$, $\{101\}$. Дипіраміди в зонах вилуговування є частішими, проте їхній розмір менший.

Великі кристали із занірок зрідка мають бідне огранювання. Такі індивіди, очевидно, росли дуже швидко за значного пересичення. Більшість індивідів має багате огранювання, що свідчить про ріст за помірного пересичення. У зонах вилуговування кристали утворювалися в подібних із занірками умовах, однак тут сильніше виявилися розчини, збагачені CO_2 і метаном [11].

У цьому аспекті важливою є інверсія редокс-потенціалу флюїдів на постінверсійній стадії пегматитового процесу [5]. Дослідження розташування включень і статистичні дослідження у топазі з занірок засвідчили, що в процесі росту співвідношення розміру найважливіших граней змінюється з $\{110\}$ та $\{120\}$ на користь $\{110\}$, $\{011\}$, $\{021\}$ на користь $\{011\}$, $\{111\}$ та $\{112\}$ на користь $\{111\}$. Пінакоїд $\{001\}$ з'являється на пізніших стадіях росту. Ідентифіковані в зонах регенерації моріону мікрокристали топазу – індивіди пізньої генерації, які утворилися за низької температури (180–200 °С [10]), мають найбідніше огранювання: $\{110\}$, $\{120\}$, $\{011\}$.

Отже, найважливішими формами на кристалах топазу, згідно з законом Доннея–Харкера, РВС-векторів та симетрії грані за І. Шафрановським, є {011}, {010}, {110}, {120}, {101}, {111}, {001}, {021}.

Ланцюги сильного зв'язку в структурі топазу нерівноцінні, і визначення РВС-векторів є певною мірою суб'єктивним, однак непогано пояснює деякі морфологічні особливості, такі як значний розвиток поясу [001]. Структурні підходи загалом добре корелюють з реальною картиною, за винятком того, що форма {010} трапляється зрідка і не досягає на реальних кристалах значного розміру.

Морфологія реальних кристалів топазу відрізняється не лише на різних родовищах, а й для різних генерацій одного й того ж родовища. Форма кристалів, яка не відповідає структурним особливостям кристалів, може бути індикатором умов мінералогенезу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Брэгг У. Л. Кристаллическая структура минералов / У. Л. Брэгг, Г. Ф. Кларингбулл. – М. : Мир, 1967. – 390 с.
2. Вовк О. Кристаломорфологія топазу з камерних (заноришевих) пегматитів Волині / О. Вовк, І. Наумко // Мінерал. зб. – 2005. – № 55, вип. 1–2. – С. 79–89.
3. Вовк О. П. Морфологія топазу у зв'язку з його кристалічною структурою / О. П. Вовк // Наук. конф., присвячена 90-річчю від дня народження академіка Володимира Степановича Соболева : матеріали. – Львів, 1998. – С. 50–51.
4. Вовк О. П. Ланцюги сильного зв'язку і форма кристалів топазу / О. П. Вовк // Наука про Землю – 2001 : Молодіжна наук. конф. : матеріали. – Львів, 2001. – С. 11–12.
5. Геохимические особенности некоторых битуминозных веществ гидротермальной стадии гранитоидного магматизма / Р. П. Готтих, Б. И. Писоцкий, И. М. Наумко, К. И. Свешников // Докл. РАН. – 2012. – Т. 445, № 1. – С. 66–71.
6. Калюжный В. А. Основы учения о минералообразующих флюидах / В. А. Калюжный. – Киев : Наук. думка, 1982. – 240 с.
7. Калюжный В. А. Генезис топаза в пегматитах занорышевого типа Украины / В. А. Калюжный, И. М. Наумко // Морфология и фазовые равновесия минералов. – София : Изд-во Болгарской АН, 1986. – С. 395–401.
8. Леммлейн Г. Г. Об окраске двухцветных кристаллов топаза / Г. Г. Леммлейн, Н. М. Меланхолин // Тр. Ин-та кристаллографии. – 1951. – Вып. 6 – С. 245–254.
9. Минералогия и генезис камерных пегматитов Волини / Е. К. Лазаренко, В. И. Павлишин, В. Т. Латыш, Ю. Г. Сорокин. – Львов : Вища школа, 1973. – 360 с.
10. Мінералоутворюючі флюїди та парагенезиси мінералів пегматитів заноришевого типу України (рідкі включення, термобарометрія, геохімія) / [В. А. Калюжный, Д. К. Возняк, Г. М. Гігашвілі та ін.]. – К. : Наук. думка, 1971. – 216 с.
11. Наумко І. М. Флюїдний режим мінералогенезу породно-рудних комплексів України (за включеннями у мінералах типових парагенезисів) : автореф. дис. ... д-ра геол. наук : 04.00.02 / Ігор Михайлович Наумко. – Львів, 2006. – 52 с.
12. Наумко И. М. Генетические особенности топаза из зоны выщелачивания и перекристаллизации занорышевых пегматитов Волини / И. М. Наумко, В. А. Калюжный // Минерал. журн. – 1981. – Т. 3, № 3. – С. 52–62.

13. Павлишин В. И. Минералого-генетические особенности зоны выщелачивания занорышевых (камерных) пегматитов / В. И. Павлишин, П. К. Вовк // Изв. ВУЗов. Сер. геология и разведка. – 1971. – № 3. – С. 45–52.
14. Ремешило Б. Г. Два типа кристаллов фенакита из камерных пегматитов Волыни / Б. Г. Ремешило, П. К. Вовк // Докл. АН СССР. – 1973. – Т. 213, № 6. – С. 1395–1398.
15. Хартман П. Зависимость морфологии кристалла от кристаллической структуры / П. Хартман // Рост кристаллов. – М. : Наука, 1967. – Т. 7. – С. 8–24.
16. Хонигман Б. Рост и форма кристаллов / Б. Хонигман. – М. : ИЛ, 1961. – 221 с.
17. Шафрановский И. И. Кристаллы минералов / И. И. Шафрановский. – Л. : Изд-во Ленингр. ун-та, 1957. – 223 с.
18. Шафрановский И. И. Формы кристаллов / И. И. Шафрановский // Тр. Ин-та кристаллографии. – 1964. – Вып. 4. – С. 13–166.

*Стаття: надійшла до редакції 30.05.2013
прийнята до друку 19.06.2013*

THE CONNECTION BETWEEN CRYSTAL STRUCTURE AND MORPHOLOGY OF TOPAZ FROM VOLYN CHAMBER PEGMATITES

O. Vovk¹, I. Naumko²

¹*Lesya Ukrainka National University of Eastern Europe,
13, Voli Av., 43025 Lutsk, Ukraine
E-mail: geologygeochemistry@gmail.com*

²*Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals of NASU,
3a, Naukova St., 79060 Lviv, Ukraine
E-mail: igggk@mail.lviv.ua*

Connection of crystals morphology of Volyn topaz with its internal structure and mineral forming conditions has been investigated. The results of reticular density calculations by Dan-nay–Harker method, investigations of PBC-vectors and F, S, K-faces according to P. Hartman and W. Perdock, morphological importance of crystal faces in accordance with face symmetry after I. Shafranovskiy are described. Different structural methods specify the morphological importance of faces {011}, {010}, {110}, {120}, {101}, {111}, {001}, {021}.

Key words: topaz, crystalline structure, reticular density, crystal face, face symmetry, mineral forming conditions, Volyn.

СВЯЗЬ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ С ОСОБЕННОСТЯМИ МОРФОЛОГИИ ТОПАЗА ИЗ КАМЕРНЫХ ПЕГМАТИТОВ ВОЛЫНИ

О. Вовк¹, І. Наумко²

¹*Восточноевропейский национальный университет имени Леси Украинки,
пр. Воли, 13, 43025 Луцк, Украина*

E-mail: geologygeochemistry@gmail.com

²*Институт геологии и геохимии горючих ископаемых НАН Украины,
ул. Научная, 3а, 79060 Львов, Украина*

E-mail: igggk@mail.lviv.ua

Исследовано связь морфологии кристаллов волынского топаза с внутренней структурой и условиями образования. Рассчитано ретикулярную плотность по методу Доннея–Харкера, определено РВС-векторы в кристаллической структуре и F, S, K-границы по П. Хартману и В. Пердоку, установлено морфологическую важность простых форм в соответствии с симметрией грани по И. Шафрановскому. Разные структурные подходы указывают на морфологическую важность граней {011}, {010}, {110}, {120}, {101}, {111}, {001}, {021}.

Ключевые слова: топаз, кристаллическая структура, ретикулярная плотность, простая форма, грань, симметрия, условия минералообразования, Волынь.