

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ ГЕОХІМІЇ, МІНЕРАЛОГІЇ ТА РУДОУТВОРЕННЯ  
ІМ. М.П. СЕМЕНЕНКА



**Вовк Олександр Павлович**

УДК 548:549.(614:646.1):553.064.1 (477.42)

**КРИСТАЛОМОРФОЛОГІЯ ТОПАЗУ І БЕРИЛУ  
КАМЕРНИХ ПЕГМАТИТІВ КОРОСТЕНСЬКОГО ПЛУТОНУ  
(ПІВНІЧНО-ЗАХІДНА ЧАСТИНА УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА)**

Спеціальність 04.00.20 – мінералогія, кристалографія

**АВТОРЕФЕРАТ**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата геологічних наук

**Київ – 2016**

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано на кафедрі географії географічного факультету Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки (м. Луцьк) та у відділі геохімії глибинних флюїдів Інституту геології і геохімії горючих копалин НАН України (м. Львів).

**Науковий керівник –**

доктор геологічних наук, старший науковий співробітник

**Наумко Ігор Михайлович**, Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, завідувач відділу геохімії глибинних флюїдів.

**Офіційні опоненти:**

доктор геолого-мінералогічних наук, професор **Квасниця Віктор Миколайович**, Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України, завідувач відділу проблем алмазоносності;

кандидат геолого-мінералогічних наук, доцент **Скакун Леонід Зіновійович**, Львівський національний університет імені Івана Франка, завідувач кафедри мінералогії.

Захист відбудеться 26 травня 2016 р. о 14 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.203.01 в Інституті геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України за адресою:  
пр. Акад. Палладіна, 34, м. Київ-142, Україна, 03680.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України за адресою:  
пр. Акад. Палладіна, 34, м. Київ-142, Україна, 03680.  
Тел. (38044) 501-15-20, факс (38044) 424-12-70,  
e-mail: igmr@igmof.gov.ua.

Автореферат розіслано 21 квітня 2016 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради Д 26.203.01  
кандидат геологічних наук



І.А. Швайка

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність роботи.** Згідно з законом України “Про затвердження Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року” передбачається здійснити пошукову оцінку перспективних проявів каменесамоцвітної сировини (Закон України..., 2011).

Це насамперед стосується камерних (заноришових) пегматитів, просторово і генетично пов’язаних з рапаківоподібними гранітами Коростенського плутону у північно-західній частині Українського щита, які є єдиним джерелом ювелірного топазу і берилу в Україні. Гігантські кристали волинських самоцвітів прикрашають не лише українські, але й зарубіжні музеї. Водночас чітко індивідуалізовані кристалографічно топаз і берил камерних пегматитів є важливими типоморфними мінералами – надійними індикаторами кислотності-лужності флюїдного середовища кристалізації мінералів на післяінверсійній стадії пегматитового процесу.

Незважаючи на численні дослідження топазу в аспекті кристаломорфології (Шафрановский, 1950; Леммлейн, Меланхолин, 1951; Чернышкова, 1952; Карпенко, 1954; Івантишин, 1955; Лазаренко и др., 1973 та ін.), морфологію його кристалів вивчено ще недостатньо. Зокрема, відсутні спроби пов’язати кристаломорфологію волинського топазу з структурними чинниками, які насамперед і визначають габітус мінерала. Ретельні дослідження берилу (Бартошинский и др., 1969; Лазаренко и др., 1973) через часткове або повне розчинення граней не дало змоги встановити головні прості форми кристалів. Для берилу також не вивчали впливу структурних чинників на габітус багатогранників. Недостатньо й графічних матеріалів, що стосуються кристаломорфології волинського коштовного каміння, зокрема опубліковано лише дві аксонометричні проєкції кристалів топазу (Лазаренко и др., 1973), а зображення ортогональних проєкцій багатогранників топазу, як найбільш наглядних для відображення головок кристалів, взагалі відсутні у друкованих працях. Для берилу, хоча скульптуру грані та фігури росту добре вивчено, жодної аксонометричної чи ортогональної проєкції не публікували, а наводили лише фотографії та зарисовки.

Отож, кристаломорфологія топазу і берилу камерних пегматитів потребує систематичних цілеспрямованих досліджень, що визначає актуальність теми дисертації. Кристаломорфологічні дослідження, поряд з даними із забарвлення, хімічного складу, фізичних властивостей, генези тощо, сприятимуть оцінці рівня кондиційності їхніх кристалів, адже при покращенні економічної ситуації експлуатацію пегматитових тіл Володарськ-Волинського поля з топазом і берилом як каменями-самоцвітами II порядку та ювелірним і п’єзооптичним кварцом варто обов’язково відновити, оскільки за ринкових умов природне кольорове каміння (дорогоцінне, напівдорогоцінне, виробне) стане надійним джерелом коштів, зокрема валютних, для поповнення державної скарбниці України.

**Зв’язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Роботу над дисертацією розпочато в час навчання в аспірантурі з відривом від виробництва у відділі геохімії глибинних флюїдів Інституту геології і геохімії горючих копалин (ІГГК) НАН України (м. Львів) із завершенням досліджень на кафедрі географії географічного факультету Східноєвропейського національного університету (СНУ) імені Лесі Українки (м. Луцьк).

Матеріали кристаломорфологічних досліджень автора використовуються у науково-дослідних роботах відділу геохімії глибинних флюїдів ІГГК НАН України за бюджетними темами: “Флюїдний режим формування мінеральних асоціацій гідротермально-катагенного походження в осадових нафтогазоносних формаціях заходу і півдня України” (державний реєстраційний номер 0197U009484) і “Леткі компоненти флюїдів гідротермально-метасоматичних і катагенетичних процесів мінералогенезу породно-рудних комплексів провінцій горючих копалин України” (державний реєстраційний № 0112U000047).

Дослідження за темою дисертаційної праці виконували у рамках наукового напрямку Відділення наук про Землю НАН України “Геохімія, термобарометрія флюїдів мінералоутворюючого середовища” (постанова Президії НАН України від 30.03.2011 № 117).

**Мета і завдання дослідження.** Мета роботи – виконати комплексні систематичні дослідження кристаломорфології топазу і берилу з різних мінералого-структурних зон камерних пегматитів Коростенського плутону, пояснити вплив структурних чинників та умов утворення на форму багатогранників даних мінералів.

*Основні завдання дослідження:* гоніометричне дослідження кристалів топазу та індексація простих форм, що визначають їхнє огранення; порівняння морфології багатогранників топазу з різних мінералого-структурних зон (занориші, зони вилуговування, метасоматично змінені породи); вивчення спотворення габітуса кристалів топазу, побудова ортогональних та аксонометричних проєкцій; статистичний аналіз гоніометричних досліджень, визначення морфологічної важливості простих форм, класифікація головок кристалів топазу на основі кластерного аналізу; аналіз структури топазу, визначення чинників, які впливають на кристаломорфологію, порівняння теоретичних розрахунків з реальною важливістю простих форм, відповідно до статистичного аналізу; гоніометричне дослідження кристалів берилу та індексація простих форм, що визначають їхнє огранення; порівняння морфології багатогранників берилу з різних мінералого-структурних зон; аналіз структури берилу, визначення чинників, які впливають на кристаломорфологію, порівняння теоретичних розрахунків з габітусом кристалів.

*Об’єкт дослідження* – топаз і берил з різних мінералого-структурних зон камерних пегматитів Коростенського плутону.

*Предмет дослідження* – кристаломорфологія топазу і берилу з камерних пегматитів Коростенського плутону.

*Методи дослідження:* 1. Польові геологічні (відбір та опис кам’яного матеріалу, кристалів, підготовка пластинок для дослідження флюїдних включень); 2. Гоніометричні дослідження кристаломорфології топазу і берилу (прикладний гоніометр, двоколовий гоніометр ГД-1); 3. Побудова ортогональних та аксонометричних проєкцій (сітка Вульфа, програма Shape); 4. Аналіз структури топазу і берилу: розрахунок ретикулярної густини, визначення симетрії грані, виявлення РВС-векторів (програма Diamond); 5. Статистичні методи аналізу гоніометричних даних: описова статистика, кростабуляція, кластерний аналіз (програма SPSS Statistics 17.0); 6. Термобарогеохімічні: термометрія включень (термокамери конструкції В.А. Калюжного (до 600 °С, точність  $\pm 2$  °С), а також М.П. Єрмакова та І.Т. Бакуменка), фотоапарат Canon Power Shot A550.

### Основні наукові положення, що подаються до захисту:

1. Особливості кристаломорфології топазу камерних пегматитів Волині визначаються домінуванням у вертикальному поясі всіх кристалів габітусних граней призм  $M \{110\}$  і  $l \{120\}$ , проте кристали із різних зон пегматитів відрізняються ограненням своїх головок: на багатогранниках із заноришів розвинені грані 17 простих форм, головними з яких є  $f \{011\}$ ,  $o \{111\}$ ,  $u \{112\}$ ,  $c \{001\}$ ,  $y \{021\}$ ,  $d \{101\}$ , на індивідах із зон вилуговування – грані 6 простих форм, з яких морфологічно важливими є лише грані призми  $f \{011\}$ , на кристалах топазу пізньої генерації з метасоматично змінених порід – лише грані призми  $f \{011\}$ . Згідно з аналізом структури топазу (ретикулярна густина плоских сіток, симетрія граней, РВС-вектори) морфологічно важливими простими формами повинні бути  $b \{010\}$ ,  $M \{110\}$ ,  $l \{120\}$ ,  $f \{011\}$ ,  $o \{111\}$ ,  $u \{112\}$ ,  $c \{001\}$ , які, за винятком  $b \{010\}$ , добре проявлені на волинських топазах. Найважливіший РВС-вектор в структурі топазу проходить у напрямку  $[001]$ , що відображається в доброму розвитку граней вертикального поясу. Реальний і теоретичний ряди простих форм на кристалах волинського топазу майже співпадають.

2. При рості кристалів топазу в камерних пегматитах Волині відбувається еволюція огранення індивідів: призма  $f \{011\}$  поступово витісняє інші призми  $\{0kl\}$ , дипіраміди та пінакоїд  $c \{001\}$ , дипіраміда  $o \{111\}$  поглинає інші дипіраміди  $\{111\}$ , а призма  $d \{101\}$  –  $h \{103\}$ . На дрібних кристалах топазу цей процес проходить швидше. Водночас великі багатогранники топазу набувають багатшого огранення головок кристалів, на них частіше розвиваються грані більшості структурно важливих простих форм порівняно з ограненням дрібних кристалів.

3. На кристалах берилу із камерних пегматитів Волині розвинені грані наступних 6 простих форм:  $\{0001\}$ ,  $\{10\bar{1}0\}$ ,  $\{11\bar{2}0\}$ ,  $\{10\bar{1}1\}$ ,  $\{11\bar{2}1\}$ ,  $\{21\bar{3}1\}$ .

Огранення індивідів берилу із зон вилуговування багатше, ніж кристалів із заноришів, також для берилу характерна більша кількість простих форм на дрібних індивідах, ніж на великих. Згідно з аналізом структури берилу (ретикулярна густина плоских сіток, симетрія граней, РВС-вектори) найважливішими простими формами повинні бути  $\{0001\}$ ,  $\{10\bar{1}0\}$ ,  $\{11\bar{2}0\}$  і  $\{10\bar{1}1\}$ . Реальний і теоретичний ряди простих форм на кристалах волинського берилу майже повністю ідентичні.

4. Топаз і берил є антиподами не лише генетично, а й кристаломорфологічно щодо розвитку граней різних простих форм залежно від розміру їхніх кристалів і зон росту. Виявлено зв'язок між умовами утворення і морфологією кристалів топазу і берилу. Температурний режим утворення виявлених морфологічних типів кристалів топазу в різних зонах пегматитів наступний: занориші та зони вилуговування (топаз II) – 385–415 °С, метасоматично змінені породи (топаз III) – 180–200 °С. Огранення багатогранників топазу збіднюється зі спадом температури утворення. Температурний режим утворення виявлених морфологічних типів кристалів берилу в різних зонах пегматитів не такий контрастний як для топазу: занориші – 350–415 °С, зони вилуговування – 400–450 °С, метасоматично змінені породи – 480–510 °С. Огранення багатогранників берилу також збіднюється зі спадом температури утворення, проте його еволюція на кристалах проявлена слабкіше.

**Наукова новизна одержаних результатів.** В дисертаційній праці наводяться нові дані з кристаломорфології топазу і берилу з камерних пегматитів Коростенського плутону, отримані на основі опрацювання великої статистично значимої кількості результатів гоніометричних досліджень, завдяки чому вперше:

1. Проведено порівняння морфології багатогранників топазу і берилу з різних мінералого-структурних зон пегматитових тіл.

2. Виявлено нові прості форми на кристалах топазу і берилу.

3. Застосовано математичні методи для класифікації морфологічних типів топазу і виділено морфологічні типи головок кристалів на засадах комплексування гоніометричних досліджень та кластерного аналізу.

4. Пов'язано кристаломорфологію топазу і берилу із структурними чинниками. Визначено прості форми, які, звичайно, повинні проявлятися за будь-яких умов. Проведено порівняння теоретичних розрахунків та реальної кристаломорфології топазу і берилу з різних мінералого-структурних зон.

5. Розглянуто вплив температури на кристаломорфологію топазу і берилу.

**Практичне значення одержаних результатів.** З практичного боку особливу ефективність у кристаломорфологічних дослідженнях топазу і берилу відведено прогнозу зовнішньої форми кристалів, як надійної типоморфної ознаки, виходячи з аналізу внутрішньої структури та умов утворення. За формою кристалу можна встановити, в якій саме частині родовища він утворився, що дає змогу встановити ступінь еродованості родовища. Це стверджує важливість порівняння кристаломорфології топазу і берилу з різних мінералого-структурних зон.

**Особистий внесок здобувача.** Збір, систематизація, аналіз кам'яного матеріалу виконано особисто автором. Проведено гоніометричні дослідження топазу і берилу (понад 110 багатогранників). Побудовано 59 ортогональних та 41 аксонометричну проєкцій кристалів топазу і берилу, що дало змогу вперше в світі проілюструвати їхню кристаломорфологію. Виконано статистичне опрацювання результатів гоніометричних досліджень головок багатогранників топазу із заноришів як підставу для виділення морфологічно важливих простих форм. Проведений кластерний аналіз 73 індивідів і зростків топазу із заноришів дав змогу виділити 5 морфологічних типів головок топазу. За гоніометричними матеріалами виявлено кілька простих форм на кристалах топазу і берилу, не описаних в літературі. Виявлено найважливіші зони на багатогранниках топазу. Проведено аналіз структури топазу і берилу: розраховано ретикулярну густину плоских сіток, виявлено морфологічно важливі прості форми відповідно до симетрії грані, виявлено напрямки РВС-векторів, визначено теоретично можливі та істинні F-грані. Це дало змогу визначити морфологічно важливі прості форми, які будуть проявлятися за будь-яких умов і не можуть слугувати індикаторами умов утворення мінералів. Досліджено флюїдні включення у топазі, результати яких підтвердили літературні дані.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на Міжнародних та Всеукраїнських наукових конференціях: наук. конф., присвяченій 90-річчю від дня народження академіка В.С. Соболева (Львів, червень 1998 р.); Mining Příbram Symposium International Section. Mathematical methods in Geology (Prague, 1999); 31th Intern. Geol. Congress

(Rio de Janeiro, Brasil, August 6–7, 2000); «Наука про Землю–2001» (Львів, 2001); Міжнар. наук. конф. «Геологія горючих копалин України» (Львів 13–15 листопада 2001 р.); XI Междунар. конф. по термобарогеохимии (Александров, 8–12 сентября 2003 г.); восьмих наук. читаннях імені академіка Євгена Лазаренка (присвячено 150-річчю заснування кафедри мінералогії у Львівському університеті) (Львів-Чинадієве, 11–14 вересня 2014 р.); XIV Всерос. конф. по термобарогеохимии (Иркутск, 10–14 сентября 2014 г.).

**Публікації.** За темою дисертації опубліковано 12 наукових праць, з них 4 статті у журналах, що входять до переліку наукових фахових видань Міністерства освіти і науки України, 1 стаття – у зарубіжному науковому фаховому виданні і 7 тез доповідей – у збірниках матеріалів міжнародних і державних наукових конференцій.

**Об'єм та структура роботи.** Дисертація загальним обсягом 226 сторінок складається із вступу, шести розділів, висновку і списку використаних джерел з 177 найменувань, ілюстрована 73 рисунками та 12 таблицями.

**Подяки.** Автор щиро вдячний за повсякчасну допомогу, сприяння і незамінні консультації у процесі роботи над дисертацією науковому керівнику – завідувачу відділу геохімії глибинних флюїдів ІГГК НАН України, доктору геологічних наук, старшому науковому співробітнику І.М. Наумку.

Постійна підтримка і консультації, допомога в зборі матеріалу та організації польових робіт, рекомендована література, цінні поради і методичні вказівки автору були надані його батьком – кандидатом геолого-мінералогічних наук, доцентом П.К. Вовком.

Автор щиро вдячний кандидату геолого-мінералогічних наук, доценту І.Т. Бакуменку за консультації та дієву допомогу.

На початкових етапах тематичних досліджень велика допомога, підтримка та матеріал були надані доктором геолого-мінералогічних наук, професором З.В. Бартошинським, доктором геологічних наук, професором І.В. Попівняком і старшим науковим співробітником НДЧ Львівського університету Б.Г. Ремешилом.

Автор щиро вдячний геологам АТ «Кварцсамоцвіти» І.С. Василишину, В.І. Панченку і В.М. Бурлакову за надані матеріали з геологічної будови і карти Володарськ-Волинського пегматитового поля.

Автор висловлює подяку всім працівникам відділу геохімії глибинних флюїдів ІГГК НАН України та кафедри географії географічного факультету СНУ імені Лесі Українки за підтримку і розуміння.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

### РОЗДІЛ 1. ІСТОРІЯ І СТАН ПРОБЛЕМИ МІНЕРАЛОГО-ГЕНЕТИЧНИХ І КРИСТАЛОМОРФОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ САМОЦВІТІВ КАМЕРНИХ ПЕГМАТИТІВ КОРОСТЕНСЬКОГО ПЛУТОНУ

Стисло обговорено історію понад 100-літніх досліджень камерних пегматитів Коростенського плутону, перші знахідки кристалів топазу (Г.І. Оссовський) і берилу (Л.Л. Іванов) у корі звітрювання якого відомі ще з ХІХ ст. (Лазаренко и др., 1973). Узагальнено літературні дані з геології, мінералогії, кристалографії, петрографії.

В історії досліджень камерних пегматитів можна виділити такі етапи: геолого-геоморфологічні (з середини XIX ст.), мінералогічні переважно описового характеру (друга половина XIX–початок XX ст.) і сучасні комплексні з вивчення морфології і кристалохімії мінералів та реконструкції умов утворення мінералів пегматитів за включеннями мінералоутворювального середовища, результати яких узагальнено у монографіях «Мінералогія и генезис камерных пегматитов Волини» (Лазаренко и др., 1973) і «Мінералоутворюючі флюїди та парагенезиси мінералів пегматитів заноришевого типу України (рідкі включення, геохімія, термобарометрія)» за редакцією В.А. Калюжного (1971), відповідно (друга половина XX ст.–по наш час).

За даними аналізу узагальнених матеріалів попередників (Лазаренко и др., 1973) обговорено кристаломорфологічні типи топазу камерних пегматитів на основі виділених для родовищ колишнього СРСР трьох типів кристалів: мурзинського, адун-чїлонського та ільменського. Багатогранники волинського топазу, головню, відносять до ільменського типу, але досить часто трапляються й індивіди адун-чїлонського типу. Кристали коростенського типу (Івантишин, 1955) відповідають адун-чїлонському типу.

Кристаломорфологічні типи багатогранників берилу виділяють, головню, за фігурами розчинення і росту (Бартошинский и др., 1969).

У підсумку вказано, що ретельно вивчали хімічний склад, забарвлення та, особливо, генезис топазу і берилу. Водночас їхню кристаломорфологію вивчено недостатньо. Зокрема, для топазу гоніометричним дослідженням піддавали невелику кількість кристалів, що не давало змоги зробити статистичний аналіз, не наведено достатньої кількості графічного матеріалу (наявні лише дві аксонометричні проєкції кристалів топазу в (Лазаренко и др., 1973)), не порівнювали морфологію багатогранників з різних мінералого-структурних зон, не пов'язували форму індивідів топазу з його кристалічною структурою та умовами утворення. Низку питань не висвітлено і для берилу, а саме: не наведено ні ортогональних, ні аксонометричних проєкцій кристалів, не порівнюються багатогранники з різних мінералого-структурних зон пегматитів, не розглядаються вплив кристалічної структури та умов утворення на морфологію індивідів тощо.

## РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ ДО ГЕОЛОГІЧНОГО ВИВЧЕННЯ РАЙОНУ РОЗВИТКУ КАМЕРНИХ ПЕГМАТИТІВ

У підсумку багатолітніх планомірних геолого-геофізичних досліджень району розвитку камерних пегматитів (Лазаренко и др., 1973) уточнено контури поширення Володарськ-Волинського габро-анортозитового масиву і гранітів Коростенського плутону, виявлено взаємовідношення основних і кислих порід, отримано нові дані про тектоніку району, виділено найчіткіші розломи глибинного закладення.

Геоструктурно район досліджень – Володарськ-Волинське пегматитове поле знаходиться в північно-західній частині Українського щита у межах Коростенського плутону. Складають плутон три серії порід, які відповідають головним фазам його утворення: породи основного складу (габро, габро-анортозити, лабрадорити, габро-монцоніти), кислого складу (граніти) і гібридні породи (Соболев, 1947) як наслідок гідротермального перетворення гранітів. Всі породи належать до утворень раннього протерозою. Кисла магма у процесі їхнього утворення, ймовірно, надходила по



Володарськ-Волинському глибинному розлому який за геофізичними даними на глибині може з'єднуватися з Коростенським або Центральним глибинним розломом.

Камерні пегматити Коростенського плутону пов'язані з двома різновидами гранітів:  $\gamma_1$  і  $\gamma_2$  і розташовані, переважно, на їхньому контакті, де наявними зонами підвищеної флюїдопроникності інтенсивно проходив приплив глибинних флюїдів.

Камерними досліджені пегматити назвав М.П. Єрмаков (1957). Відомі класифікації не дають їхньої точної характеристики. За місцевою класифікацією вони є топазо-моріоновими камерними гранітними пегматитами, які просторово і генетично пов'язані із гранітними інтрузіями малих глибин (Лазаренко и др., 1973).

Вони характеризуються специфічністю будови, багатством і своєрідністю мінерального складу, наявністю великих і прозорих кристалів коштовного каміння. За морфологією і зональністю виділяють три типи пегматитових тіл. В пегматитах тілах I типу переважає розвиток графічної структури. Пегматити II типу утворені графічною, пегматоїдною, польовошпатовою та кварцовою зонами. Типовими для них є великі розміри кварцового ядра, яке складає 30–40 % об'єму всього тіла. Пегматити III типу – повнодиференційовані камерні тіла з кварцом, топазом і бериллом. Характерна наявність занориша значних розмірів з великими кристалами цих та інших мінералів, зони вилуговування і повної диференціації решти зон. Зональність у будові камерних пегматитів є наступною (зверху вниз): графічна, пегматоїдна, польовошпатово, кварцова, заноришова зони і зона вилуговування.

### РОЗДІЛ 3. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ КРИСТАЛОМОРФОЛОГІЇ ТА ГЕНЕЗИСУ ТОПАЗУ І БЕРИЛУ КАМЕРНИХ ПЕГМАТИТІВ

Описано основні методи і методику досліджень.

Найчастіше використовуваним методом була гоніометрія. Всього проміряли понад 90 багатогранників топазу і 22 індивіди берилу. При цьому ми, слідом за (Кокшаров, 1856; Hintze, 1897, Лазаренко и др., 1973), дотримувалися рентгенівської установки кристалів топазу. Великі кристали вивчали за допомогою прикладного гоніометра, дрібні – гоніометра ГД-1. Кути між гранями і сферичні координати простих форм були взяті з довідника мінералів (Чухров, 1972) та мінералогії (Hintze, 1897). Там само були взяті буквені позначення простих форм топазу.

За матеріалами гоніометричних вимірювань були побудовані зведені гномостереографічні проекції простих форм топазу і берилу, за якими викреслювали ортогональні та аксонометричні проекції кристалів з використанням програми Shape. Всі аксонометричні проекції кристалів топазу і берилу, побудовані як вручну, так і за допомогою програми Shape, виконані за розташуванням полюса проекції  $\varphi = 71,5^\circ$  і  $\rho = 80^\circ$ .

Дані гоніометричного вивчення кристалів топазу піддавали статистичному опрацюванню. Застосовували методи описової статистики. Досліджували загальну частоту наявності граней, частоту наявності з урахуванням комбінаційної стійкості та відносного їхнього розміру за методом П. Нігглі. Подібні дослідження здійснено для кальциту із Штрамберка (Словаччина) (Sekanina, 1962). Залежність морфології індивідів від розмірів аналізували методом крос-табуляції. З метою виділення морфологічних типів кристалів топазу використовували кластерний аналіз. При статистичних дослідженнях застосовували програми SPSS Statistics 17.0 і Ms Excel.

Для пояснення морфології топазу і берилу проводили аналіз їхньої кристалічної структури. Ретикулярну густину плоских сіток граней розраховували за формулами, наведеними І.І. Шафрановським (1957). Досліджували РВС-вектори і виділяли F (S, K)-грані за власними методиками, розробленими на основі наукових праць П. Хартмана та В. Пердока (Hartman, Perdok, 1955; Хартман, 1967), проводили паралелі між симетрією грані (Шафрановский, 1964) та морфологією кристалів.

Методики гоніометричних досліджень і побудови аксонометричних проєкцій було апробовано також на кристалах інших мінералів.

Фізичні властивості (показники заломлення,  $2V$ , густина, твердість) топазу і берилу не відрізняються від літературних. Можливості імерсійного методу не дали змоги встановити різницю показників заломлення різнобарвних кристалів топазу.

Дослідження флюїдних включень у топазі і берилі проводили методами термометричного і мас-спектрометричного хімічного аналізів (Калюжный, 1982).

#### РОЗДІЛ 4. МІНЕРАЛОГО-КРИСТАЛОГРАФІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТОПАЗУ

*Результати кристаломорфологічних та статистичних досліджень, аналізу структури топазу та її впливу на кристаломорфологію.* На основі гоніометричних досліджень описано морфологію кристалів топазу з різних мінералого-структурних зон пегматитів. Виявлено зв'язок габітусу з розмірами багатогранників. На основі кластерного аналізу виділено морфологічні типи головок кристалів топазу.

В камерних пегматитах Волині кристали топазу співвідносять, переважно, із заноришами, зонами вилуговування і метасоматично зміненими породами. Топаз є чітко кристалографічно індивідуалізованим мінералом. Морфологія кристалів топазу із названих вище мінералого-структурних зон помітно відрізняється.

*Кристали топазу в заноришах* нарастають на субстрат із кварцу і топазу (Лазаренко и др., 1973). Крім того, нами прослідковувалися топази в альбіті (рис. 1), моріоні (рис. 2) та на гранях калієвого польового шпату (рис. 3).

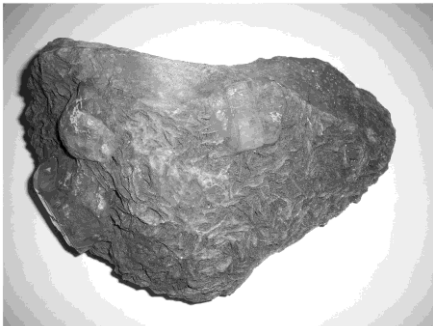


Рис. 1 Кристали топазу в альбіті з занориша. Зм в 4.



Рис. 2 Кристали топазу в моріоні із занориша. Зм в 2.

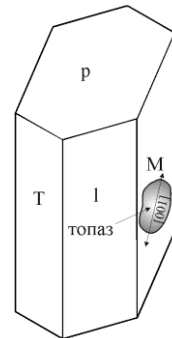


Рис. 3 Кристали топазу в мікрокліні (занориш)

Багатогранники із заноришів зазвичай одноголові, їхня вага сягає кількох десятків кг. Крім монокристалів, трапляються зростки з 2–4 індивідів багатого огранення. У вертикальному поясі виявлені грані призм  $M \{110\}$  і  $l \{120\}$ , добре розвинені на всіх багатогранниках. До них доєднуються призми  $m \{230\}$ ,  $g \{130\}$ ,  $\lambda \{470\}$ ,  $U \{160\}$ ,  $\{410\}$ , пінакоїди  $a \{100\}$ ,  $b \{010\}$ . Ці форми малопоширені і рідко сягають значних розмірів. На головках кристалів наявні грані пінакоїда  $c \{001\}$ , ромбічних призм  $f \{011\}$ ,  $y \{021\}$ ,  $X \{023\}$ ,  $\beta \{012\}$ ,  $d \{101\}$ ,  $h \{103\}$ ,  $Q \{201\}$ ,

ромбічних дипірамід  $o \{111\}$ ,  $u \{112\}$ ,  $i \{113\}$ ,  $f \{225\}$ ,  $\varepsilon \{114\}$ ,  $r \{121\}$ ,  $\tau \{131\}$ ,  $\gamma \{232\}$ ,  $\chi \{123\}$ [1]. Дипіраміди  $\tau \{131\}$ ,  $\gamma \{232\}$ ,  $\chi \{123\}$  визначено вперше.

На гранях поясу  $[001]$  наявна вертикальна штриховка. На головках знайдені різноманітні фігури розчинення. На  $s \{001\}$  вони мають форму вузьких западин, видовжених вздовж  $[010]$ , а на  $f \{011\}$  – рівнобедрених трикутників. На  $\beta \{012\}$  простежуються фігури розчинення у вигляді еліпсів, довга вісь яких паралельна до  $[010]$ . На гранях  $o \{111\}$  фігури розчинення мають форму глибоких жолобів, паралельних до видовження  $[100]$ . Кристали топазу поділяють на типи залежно від розвитку пінакоїда  $s \{001\}$ . Серед топазів із заноришів є індивіди не лише з добре розвиненим пінакоїдом, а й з вузьким або відсутнім. Пінакоїд  $s \{001\}$  ніколи не домінує над призмами поясу  $[100]$ , тому більшість індивідів подібні на ільменські, рідше трапляються багатогранники адун-чілонського типу. Між згаданими типами існують поступові переходи. Лише один індивід з добре розвиненим пінакоїдом  $s \{001\}$  є перехідним між ільменським та мурзинським (не виявленим на кристалах волинських топазів) типами.

Статистичне опрацювання матеріалів показало, що на головках індивідів із заноришів найбільше розвинені  $f \{011\}$ ,  $o \{111\}$ ,  $u \{112\}$ ,  $s \{001\}$ ,  $y \{021\}$ ,  $d \{101\}$ ,  $X \{023\}$ [1, 4, 7]. Простежується чітка кореляція між розмірами і ограненням індивідів: великі кристали огранені багатше, частота прояву практично всіх простих форм на них вища (рис. 4). Виняток становить лише добре розвинена призма  $f \{011\}$ .

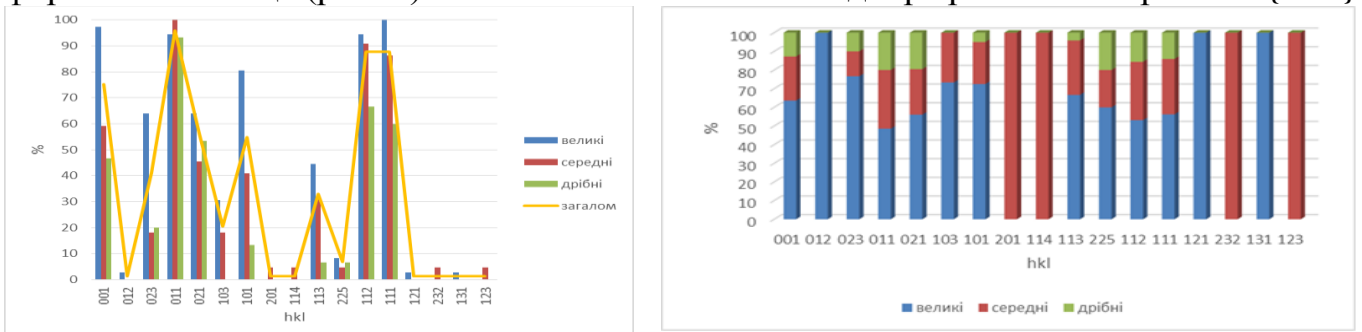


Рис. 4 Частота простих форм на кристалах топазу із заноришів залежно від розмірів індивідів

Кластерний аналіз морфології 73 індивідів і зростків із заноришів дає підставу виділити шість морфологічних типів кристалів волинських топазів (рис. 5), кожен з яких відповідає індивідам певного розміру. Багатоогранені великі кристали можуть слугувати індикатором умов утворення, зокрема повільного росту за умов помірних пересичень. Власне такі параметри, що фіксуються у субвертикальних підтипах пегматитових тіл з необхідним достатнім перепадом температури для інтенсифікації явищ вилуговування і перекристалізації, сприяють формуванню у парагенезах коштовного каміння кристалів топазу з високими кондиційними показниками [4].

Індивіди із зон вилуговування мають менші розміри (до 10 см по  $[001]$ ) і простішу морфологію. Наявні одно- і двоголові кристали призматичного габітусу. У вертикальному поясі розвинені грані призм  $M \{110\}$  та  $l \{120\}$ , що наявні на всіх кристалах. На головці виявлені грані пінакоїда  $s \{001\}$ , призм  $\{011\}$ ,  $d \{101\}$ , дипірамід  $o \{111\}$ ,  $u \{112\}$ ,  $i \{113\}$ . Морфологічно важливими на кристалах є лише три призми  $M \{110\}$ ,  $l \{120\}$  та  $f \{011\}$ , причому частота останньої вища, ніж в заноришах. В ограненні головки домінує призма  $f \{011\}$ , тому більшість індивідів

належать до адун-чілонського типу. Трапляються багатогранники ільменського типу. Дипіраміди  $o\{111\}$ ,  $u\{112\}$ , і  $i\{113\}$  трапляються частіше, ніж на кристалах із заноришів, хоча через малі розміри вони мають другорядне значення. Призма  $d\{101\}$ , фіксується рідше, ніж в заноришах, і не сягає значних розмірів (рис. 6).

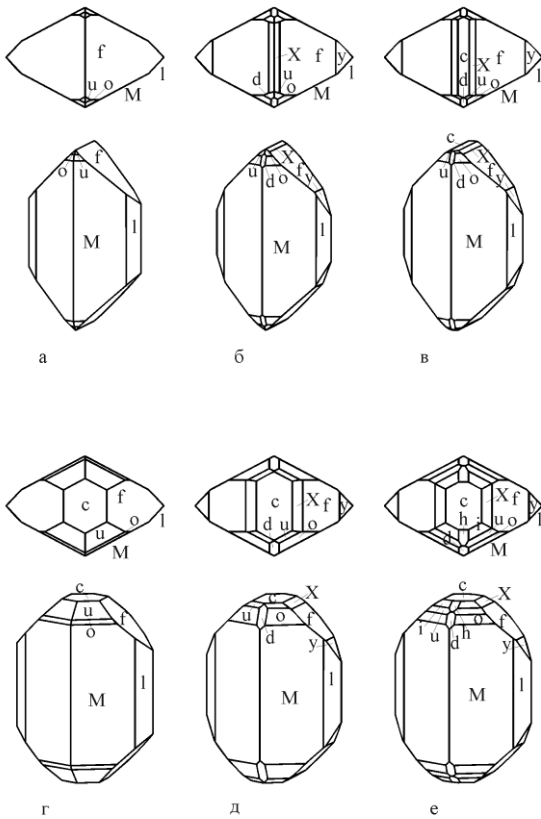


Рис. 5 Морфологічні типи волинських топазів із заноришів

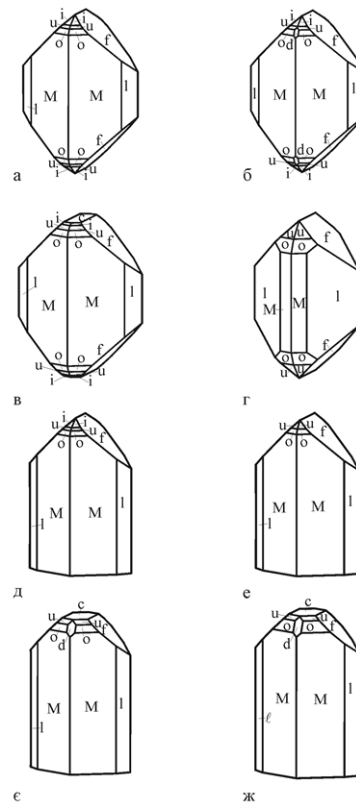


Рис. 6 Морфологія кристалів топазу із зон вилугування

*Кристали пізньої генерації* пов'язані із метасоматично зміненими породами, що знаходяться під пегматитовими тілами і утворилися під дією післямагматичних розчинів на рапаківіподібні граніти. Топаз асоціює з берtrandитом, фенакітом, флюоритом, калієвим польовим шпатом і альбітом. Кристали водяно-прозорі, безбарвні. Їхні розміри до 3–4 мм вздовж  $[001]$ . Габітус кристалів призматичний, обрис стовпчастий (рис. 7). У вертикальному поясі розвинені грані  $M\{110\}$  та  $l\{120\}$ , які вкриті густою штриховкою. На головках індивідів зафіксовані лише грані  $f\{011\}$  що слабо розчинені. Вони матові і дають сигнал у вигляді світлової плями. Отже, пізня генерація топазу відзначається найбільшньою огранкою [1].

Вплив структурних чинників на кристаломорфологію топазу розглядали з позицій закону Браве з поправками Доннея-Харкера, величини елементарного шару  $d_{hkl}$  за методом Міхеєва–Шафрановського (Шафрановский, 1957), впливу ланцюгів найсильнішого хімічного зв'язку в структурі мінералу або РВС-векторів за П. Хартманом та В. Пердоком (Hartman, Perdok, 1955; Хартман, 1967) і величини симетрії грані за І.І. Шафрановським (1964). Розрахунки ретикулярної густини із врахуванням гвинтових осей та площин ковзаючого відбиття і метод Міхеєва–Шафрановського дають, практично, таку ж послідовність морфологічної важливості простих форм на головках кристалів топазу:  $f\{011\}$  –  $c\{001\}$  –  $o\{111\}$  –  $g\{121\}$  –

$u \{112\} - \tau \{131\} - i \{113\} - \chi \{123\} - d \{101\} - y \{021\} - \beta \{012\} - \varepsilon \{114\} - \gamma \{232\} - f \{225\} - h \{103\} - X \{023\} - Q \{201\}$ . Величина симетрії грані топазу становить 2 для пінакоїдів  $a \{100\}$ ,  $b \{010\}$ ,  $c \{001\}$ , призм  $f \{011\}$  та призм  $\{hk0\}$ , тому саме ці прості форми повинні бути морфологічно найважливішими. РВС-вектори не мають вирішального впливу на морфологію топазу, оскільки ланцюги, сформовані атомами одного типу, є важливіші, ніж утворені атомами (чи іншими структурними одиницями) різних типів, а прямолінійні – важливіші, ніж зигзагоподібні (Шафрановский, 1968). Отже, РВС-вектори найважливішого типу в топазі відсутні.

Найважливіші ж з наявних ланцюги сильного хімічного зв'язку в топазі простягаються у напрямку  $[001]$ , менш важливі – паралельно до  $[010]$ ,  $[100]$ , можливо  $[012]$ ,  $[201]$ ,  $[011]$  і  $[101]$ . В топазі можна виділити такі можливі F-грані:  $a \{100\}$ ,  $b \{010\}$ ,  $c \{001\}$ ,  $f \{011\}$ ,  $d \{101\}$ ,  $o \{111\}$ ,  $y \{021\}$ ,  $p \{102\}$ , з них істинними можуть бути  $b \{010\}$ ,  $c \{001\}$ ,  $f \{011\}$ ,  $o \{111\}$ . Згідно з аналізом структури топазу, найважливішими простими формами повинні бути  $f \{011\}$ ,  $b \{010\}$ ,  $M \{110\}$ ,  $l \{120\}$ ,  $d \{101\}$ ,  $o \{111\}$ ,  $c \{001\}$ ,  $y \{021\}$ . Всі вони, за винятком пінакоїда  $b \{010\}$ , добре проявляються на його кристалах [2, 6, 9]. Вигляд багатогранників топазу та зрівноважених форм кристалів за різними структурними підходами подано на рис. 8.

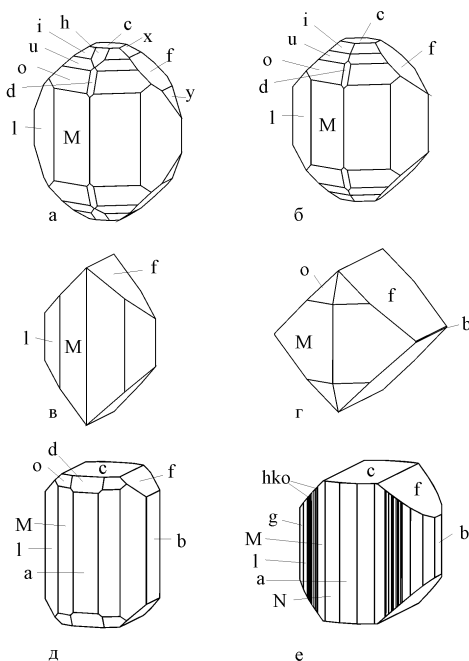
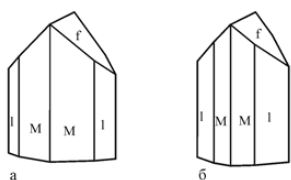


Рис. 7 Морфологія кристалів топазу із метасоматично змінених порід

Рис. 8 Морфологія кристалів топазу з різних мінералого-структурних зон пегматитів відповідно до структурних підходів: а – типовий індивід із занориша, б – кристал із зони вилуговування, в – індивід пізньої генерації, г – зрівноважена форма за ретикулярною густиною, д – форма кристалу за РВС-векторами, е – форма кристалу за величиною симетрії граней

Відносно домішок топаз є досить чистим утворенням. Хімічним аналізом виявлено домішки заліза, марганцю, магнію, кальцію, натрію, спектральним – галію, германію, титану, міді. В напрямку від периферії до занориша кількість фтору в топазі зростає, а гідроксилу – зменшується. При зростанні кількості фтору показники заломлення дещо зменшуються, а кут оптичних осей  $2V$  зростає.

Забарвлення топазів досить розмаїте – від прозорих безбарвних індивідів до рожево-коричневих і блакитних. Типовою особливістю топазів є секторіальний і зональний розподіл забарвлення, зокрема багатьма дослідниками виявлено, що рожеве забарвлення належить пірамідам росту  $M \{110\}$ ,  $o \{111\}$ ,  $y \{021\}$ ,  $b \{010\}$ , блакитне – пірамідам  $l \{120\}$ ,  $f \{011\}$ ,  $u \{112\}$  (Леммлейн, Меланхолин, 1951).

В оптичному спектрі коричнювато-рожевого топазу фіксується широка смуга так званого "червоного" центру  $\sim 22500 \text{ см}^{-1}$ , що має поляризацію  $\alpha \geq \beta$ .

Для оптичних спектрів блакитних топазів типова широка смуга поглинання  $\sim 15300 \text{ см}^{-1}$ , що фіксується лише в поляризації  $E \parallel a$  ( $\alpha$ ). Можливо, "блакитні" центри забарвлення є агрегатними центрами типу R-центрів, що формують пару аніонних вакансій з одним або двома електронами. "Червоні" і "жовті" центри в топазах ототожнюють з F-центрами тобто вакансією фтору або гідроксилу, яка захопила електрон. Забарвлення топазу вивчене ще недостатньо.

## РОЗДІЛ 5. МІНЕРАЛОГО-КРИСТАЛОГРАФІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА БЕРИЛУ

*Результати кристаломорфологічних досліджень, аналізу структури берилу та її впливу на кристаломорфологію.* Берил в пегматитах найчастіше співвідносять із заноришами повнодиференційованих тіл, рідше його кристали трапляються в зонах вилуговування. Берил часто знаходять серед кристалів і уламків кварцу, польових шпатів і слюд. В топазоносних пегматитових тілах берил відсутній. Кристали берилу сягають значних розмірів (перші метри по  $z$ ), хоча їхні гоніометричні дослідження ускладнюються через значне розчинення і скульптуру граней.

Ґрунтуючись на таких ознаках, як розмір і видовженість кристалів, колір мінералу та фігури росту і розчинення на гранях індивідів берилу (Лазаренко и др., 1973), виділено п'ять морфологічних типів берилу. Виходячи з цих матеріалів, такі ж морфологічні типи подано в узагальнювальних працях (Яковлева, Каменчук, 2004; Сливко, 2007). Дана класифікація не розглядає морфологічну важливість простих форм на багатогранниках берилу. Між виділеними типами існують поступові переходи. Фігури розчинення морфологічно відрізняються як на багатогранниках одного типу, так і навіть на різних гранях одного і того самого кристала берилу (рис. 9). Останнє типово також і для топазу, що не дивно, оскільки грані займають різне положення відносно елементів симетрії, навіть якщо належать до однієї зони.

*Кристали берилу із заноришів* сягають значних розмірів (перші метри вздовж  $[0001]$ ). Обрис практично всіх кристалів стовпчастий, а габітус – призматичний (рис. 10).

Їхні грані часто заокруглені і покриті фігурами розчинення (Лазаренко и др., 1973), що часто ускладнює діагностику. Незважаючи на це, нами були виділені такі прості форми: пінакоїд  $\{0001\}$ , гексагональні призми  $\{10\bar{1}0\}$  і  $\{11\bar{2}0\}$ , гексагональні дипіраміди  $\{10\bar{1}1\}$  і  $\{11\bar{2}1\}$  [4, 6, 14, 15]. Найбільше розвинені грані вертикального поясу з домінуванням призми  $\{10\bar{1}0\}$  над  $\{11\bar{2}0\}$ . Розміри пінакоїду  $\{0001\}$  варіюють від досить великого (див. рис. 10а) аж до його відсутності (див. рис. 10д).

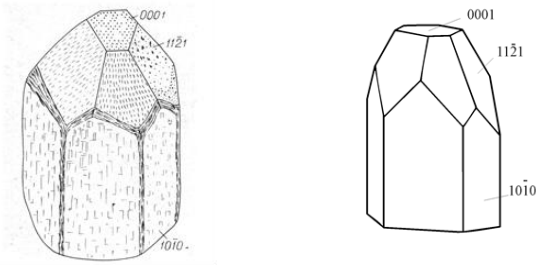


Рис. 9 Кристал берилу: а – фігури розчинення на гранях (Лазаренко и др., 1973), б – аксонометрична проекція того самого кристала

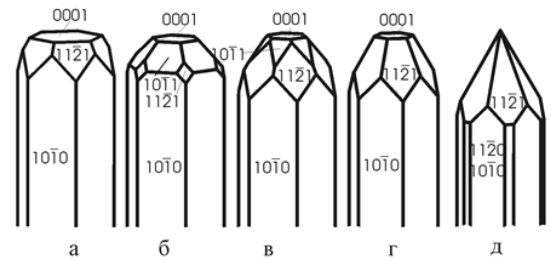


Рис. 10 Морфологія кристалів берилу із заноришів

Індивіди із зон вилуговування загалом подібні до кристалів із заноришів, проте не сягають значних розмірів – перші см по  $[0001]$ . Обрис багатогранників стовпчастий, інколи близький до ізометричного, габітус призматичний (рис. 11). Морфологія цих кристалів дещо багатша. На них нами виявлені грані пінакоїда  $\{0001\}$ , гексагональних призм  $\{10\bar{1}0\}$  і  $\{11\bar{2}0\}$ , гексагональних дипірамід  $\{10\bar{1}1\}$ ,  $\{11\bar{2}1\}$  і дигексагональної дипірамід  $\{21\bar{3}1\}$ . Другою відмінністю багатогранників берилу із зон вилуговування є домінування призми  $\{11\bar{2}0\}$  над  $\{10\bar{1}0\}$ .

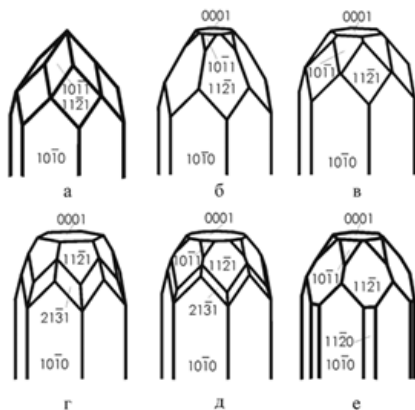


Рис. 11 Морфологія кристалів берилу із зон вилуговування

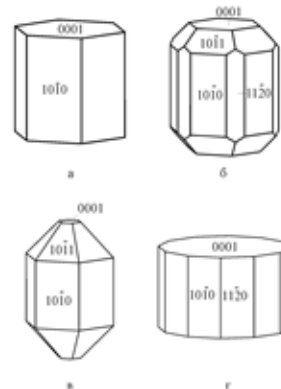


Рис. 12 Морфологія кристалів берилу згідно з різними структурними підходами: а – істинні F-грані, б – морфологічно важливі грані за комплексним структурним підходом, в – зрівноважена форма за методом Доннея–Харкера, г – форма кристалу, що відповідає максимальній симетрії грані

Як вказується (Donnay, Harker, 1937; Шафрановский, 1957), прості форми з більшою ретикулярною густиною на реальних кристалах добре розвинені. Площу елементарного паралелограма плоскої сітки розраховували для граней волинських берилів за методикою І.І. Шафрановського (1957). Беручи за основу особливості кристалічної структури берилу, згідно з доповненнями Доннея і Харкера до закону Браве, отримуємо таку послідовність морфологічної важливості граней:  $\{10\bar{1}0\}$  –  $\{10\bar{1}1\}$  –  $\{11\bar{2}0\}$  і  $\{0001\}$  –  $\{11\bar{2}1\}$  –  $\{10\bar{1}2\}$  –  $\{21\bar{3}1\}$ . Форму  $\{10\bar{1}2\}$  не виявлено на берілах з камерних пегматитів, хоча вона буває типовою для кристалів з інших



родовищ (Шафрановский, 1957). Якщо при побудові аксонометричної проекції кристалу відстані визначити пропорційними до площі елементарного паралелограма, то отримаємо відповідну зрівноважену форму (див. рис. 12в).

За І.І. Шафрановським (1964) форми, що мають вищу симетрію граней на кристалах, є габітусними. На кристалах берилу найвищу симетрію – 6 має пінакоїд  $\{0001\}$ . Величина симетрії гексагональних призм  $\{11\bar{2}0\}$  і  $\{10\bar{1}0\}$  становить 4. Інші форми мають нижчу симетрію:  $\{hk\bar{i}o\}$  – 2,  $\{hh\bar{2}hl\}$  – 2 і 1,  $\{h0\bar{h}l\}$  – 2 і 1,  $\{hk\bar{i}l\}$  – 1. Отже, до габітусних граней на кристалах берилу, згідно з теорією симетрії грані, належать пінакоїд  $\{0001\}$  і гексагональні призми  $\{11\bar{2}0\}$  і  $\{10\bar{1}0\}$  (див. рис. 12г).

На противагу підходам (Donnay, Harker, 1937; Шафрановский, 1964), суть нашої методики полягає у визначенні пріоритетних напрямків, що зумовлюють розвиток морфологічно значимих зон і визначення ступеня важливості граней, зокрема F-граней, S-граней, K-граней у напрямі спадання (Хартман, 1967). Структура берилу відзначається високою симетрією та нетиповими для гексагональної сингонії параметрами комірки. Просторова група берилу:  $D^2_6h = R6/mcs$ ,  $a = 9,19 \text{ \AA}$ ,  $c = 9,19 \text{ \AA}$ ,  $Z = 2$  (Брэгг, Кларингбулл, 1967). Пояси, які відповідають ланцюгам сильного зв'язку, і теоретичні F-грані, подані на рис. 13.

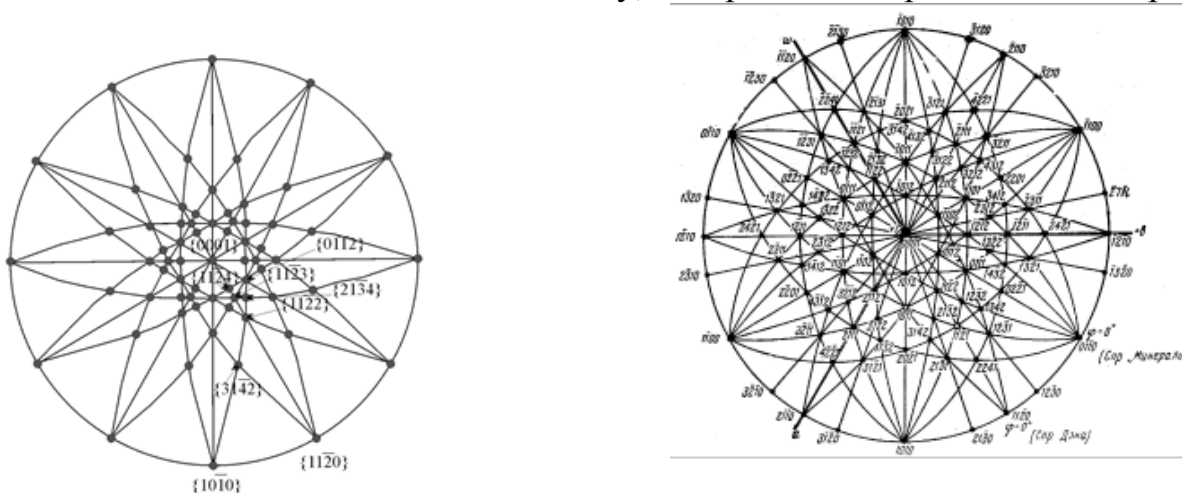


Рис. 13 Теоретично можливі F-грані берилу (а) [5], положення осей і зведена проекція граней для кристалів гексагональної і тригональної сингонії (б) (Буланов, Юденко, 2006)

Теоретичними F-гранями є пінакоїд  $\{0001\}$ , гексагональні призми  $\{10\bar{1}0\}$  і  $\{11\bar{2}0\}$ , гексагональні дипіраміди  $\{11\bar{2}2\}$ ,  $\{11\bar{2}3\}$ ,  $\{11\bar{2}4\}$ ,  $\{01\bar{1}2\}$ , дигексагональні дипіраміди  $\{31\bar{4}2\}$ ,  $\{21\bar{3}4\}$ . Серед них істинними F-гранями є лише  $\{0001\}$  і  $\{10\bar{1}0\}$ , оскільки PBC-вектори з'єднані між собою в межах  $d_{hkl}$  лише цих граней. Отже найважливішими гранями є:  $\{0001\}$ ,  $\{10\bar{1}0\}$ , далі  $\{11\bar{2}0\}$  і  $\{10\bar{1}1\}$  [5].

Хімічному складу волинського берилу притаманний низький вміст лужних елементів, низький вміст або відсутність  $Fe^{2+}$  і підвищений вміст  $Fe^{3+}$ .

Більшість кристалів берилу із камерних пегматитів Волині мають різні відтінки зеленого забарвлення, а аквамарин є рідкісним.



## РОЗДІЛ 6 УМОВИ ФОРМУВАННЯ ТОПАЗУ І БЕРИЛУ КАМЕРНИХ ПЕГМАТИТІВ

Умови формування парагенезів з коштовним камінням камерних пегматитів відтворено за даними виконаного автором аналізу результатів комплексного вивчення флюїдних включень як індикаторів процесів топазо- і берилуотворення, наведених у численних літературних джерелах (Д.К. Возняк, Г.М. Гігашвілі, Ю.О. Долгов, М.П. Єрмаков, М.М. Івантишин, К.М. Калюжна, В.А. Калюжний, Г.Г. Леммлейн, І.В. Моторіна, І.М. Наумко, В.І. Павлишин, Б.Г. Ремешило і ін.), а також отриманих особисто, зокрема у контексті з'ясування зв'язку генетичних і кристаломорфологічних особливостей топазу [8, 10] і берилу [11]. Акцентовано на зіставленні РТ-параметрів і складу флюїдів при кристалізації мінералів у занориші та зоні вилуговування, що займає особливе місце в пегматитовому процесі, бо безпосередньо з формуванням цих мінералого-структурних зон пов'язані транспортування і перерозподіл кремнезему та інших сполук як вагомого чинника впливу на генезис топазу і берилу та кондиційність їхніх кристалів. Деякі з найінформативніших флюїдних включень у топазі і берилі наведено на рис. 14–16.

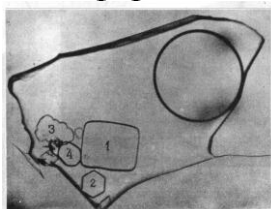


Рис. 14 Багатофазові включення з мінералами-в'язнями в топазі із занориша: 1 – галіт, 2 – сильвін, 3 – ельпасоліт, 4 – хлорид алюмінію і цинку. Зб. 40х (Калюжний, Наумко, 1986)

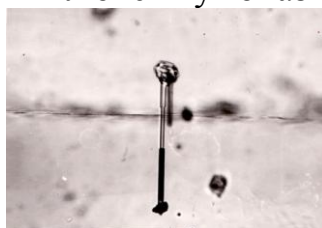


Рис. 15 Первинні включення, що утворилися при відштовхуванні, спільному рості і захопленні чужорідних твердих частинок кристалами топазу під час росту в зоні вилуговування. Зб. 60х

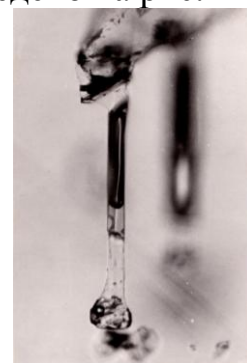


Рис. 16 Первинне включення в зоні “присипок” у берилі із заноришової області. Зб. 110х (Ремешило, 1971)

Термодинамічні умови утворення топазу у камерних пегматитах вивчалися багатьма дослідниками. Г.Г. Леммлейн і ін. (1962) на підставі вивчення твердих і багатофазових включень допускають, що топаз утворився магматичним шляхом за температури приблизно 700 °С.

Однак з'ясувалося (Возняк, 1971; Мінералоутворюючі флюїди..., 1971), що більшість із досліджених включень такого типу, тобто не менше 95 % від загальної кількості первинних, містять різні тверді фази, об'єм яких не постійний і становить 50–90 % об'єму вакуолі. За формою, розмірами і складом твердих фаз (кварц, альбіт, протолітійоніт, кріоліт, флюорит, колумбіт, монацит) вони аналогічні до описаних у праці (Леммлейн і ін., 1962). Такі ж мінерали знаходяться в топазі у вигляді лише твердих включень, часто в зоні первинних рідких включень з твердими фазами. Співвідношення між твердими фазами у включеннях різне. У зонах, які містять включення з твердими фазами, знаходяться рідинно-газові ( $L = 40\%$ ) включення без твердих фаз. Ці первинні газиво-рідкі (з твердими фазами мінералів-супутників) і

рідинно-газові ( $L = 40\%$ ) включення (без твердих фаз) гомогенізуються за температури 385–392 °С у рідку (без розчинення твердих фаз–мінералів-супутників) та 410–415 °С – у газову фази, відповідно. Близькість температури гомогенізації включень однієї зони росту в рідку і газову фази і їхня сингенність свідчить про гетерогенний субкритичний стан флюїдів. Виміряні температури є дійсними (або близькими до дійсних) температурами захоплення включень, тобто температурам мінералогенезу. Отже, це – типові включення гетерогенного походження.

Нами у кристалах топазу із занорища пегматитового тіла, розкритого шахтою № 2, ідентифіковано більшість з восьми типів флюїдних включень, виявлених у топазі із занорищів пегматитів (Возняк, 1971, Мінералоутворюючі флюїди..., 1971), а також виявлено тверді включення, подібні до розплавних включень. При їхньому нагріванні до 800 °С (разом з І.Т. Бакуменком) жодних фазових змін не виявлено, тому їх не можна вважати розплавними. Ці дані вказують на ксеногенне походження таких газОВО-твердих включень, незважаючи на те, що при нагріванні у високотемпературній камері їхнє плавлення може здійснюватися при 1000–1200 °С з доброю гомогенізацією в рідку чи газову фази, як це доведено Г.М. Гігашвілі. Вони також підтвердили інформацію про утворення топазу на післяінверсійній стадії пегматитового процесу з надкритичних розчинів (Возняк, 1971; Мінералоутворюючі флюїди..., 1971, Возняк, Павлишин, 2008), підкреслюючи недостатню аргументацію висновку щодо утворення топазу, кварцу, мусковіту, кріоліту та інших мінералів камерних пегматитів з розплав (Леммлейн і ін., 1962).

Найраніші кристали топазу (топаз I) утворилися за температури біля 600 °С у 1-й кислотний період. Це засвідчує знаходження мікрокристаликів топазу у включеннях із зовнішніх зон “стільнікового” кварцу. Основна маса топазу (топаз II) утворилася з надкритичних розчинів у 2-й кислотний період післяінверсійної стадії пегматитового процесу за температури, дещо вищої за 400 °С як шляхом вільної кристалізації в занорищах, так і при метасоматозі у зонах вилуговування. У метасоматично змінених породах топаз пізньої генерації (топаз III) кристалізувався з низькотемпературних розчинів (180–200 °С) у 3-й кислотний період разом з пізніми берtrandитом, фенакітом, альбітом тощо (Мінералоутворюючі флюїди..., 1971). Величина рН топазоутворювальних розчинів складала від 4,3 до 5,6 (Калюжний, 1957; Калюжний, 1960; Калюжная, Калюжный, 1963; Возняк, 1971).

Берил кристалізувався за температур, близьких до утворення топазу, проте за інших значень рН. Формування берилу в заноришовій області відбувалося за температури майже 400 °С. В зонах вилуговування температура кристалізації берилу дещо вища, а в метасоматично змінених породах – досягала 500 °С. Величини рН індивідуальних включень у берилі становлять 7,5–8,5±0,2 (Калюжний, 1960; Калюжная, Калюжный, 1963) що безпосередньо засвідчує ріст лужності розчинів завдяки нагромадженню калію при альбітизації калішпату, як це доведено експериментально (Беус, Диков, 1967), і переконує, що флюїдне середовище періоду формування основної маси берилу було слабо лужним (Ремешило, 1971, 1972).

Основна маса топазу і берилу утворилася за тисків, не вищих від 30–40 МПа.

У заноришових областях камерних пегматитів мінералоутворювальні розчини еволюціонували так: розчини, що кипіли, з густиною, близькою до критичної, → гетерогенні висококонцентровані розчини багатofазових включень → гетерогенні

розчини з перевагою діоксиду вуглецю. В зоні вилуговування чіткіше простежується діяльність висококонцентрованих та збагачених  $\text{CO}_2$  і метаном флюїдів.

Топаз і берил виявилися надійними типоморфними мінералами–індикаторами кислотно-лужних умов мінералогенезу на післяінверсійній стадії пегматитового процесу, чітко індивідуалізованими кристалографічно.

В процесі кристалізації морфологія багатогранників топазу збіднюється.

Як вже зазначалося (Івантишин, 1955), огранка кристалів топазу ільменського типу багатша, ніж індивідів адун-чілонського типу. Кристали пізньої генерації, що утворилися за температури 180–200 °С з розчинів низької концентрації (Мінералоутворюючі флюїди..., 1971), мають найбіднішу огранку. За матеріалами (Івантишин, 1955) багатогранники ільменського типу утворилися за вищої температури, ніж кристали коростенського, тобто адун-чілонського типу. З огляду на це, можна вважати доказаним факт збіднення габітусу топазу зі спадом температури (рис. 17). Це добре узгоджується з даними (Балицкий, 2008), що при вирощуванні штучних топазів максимальні швидкості росту простежуються в напрямку  $[001]$ . Як відомо (Шафрановский, 1974), грані, які ростуть з максимальною швидкістю, проявляються на перших стадіях росту кристалів і з часом зникають.

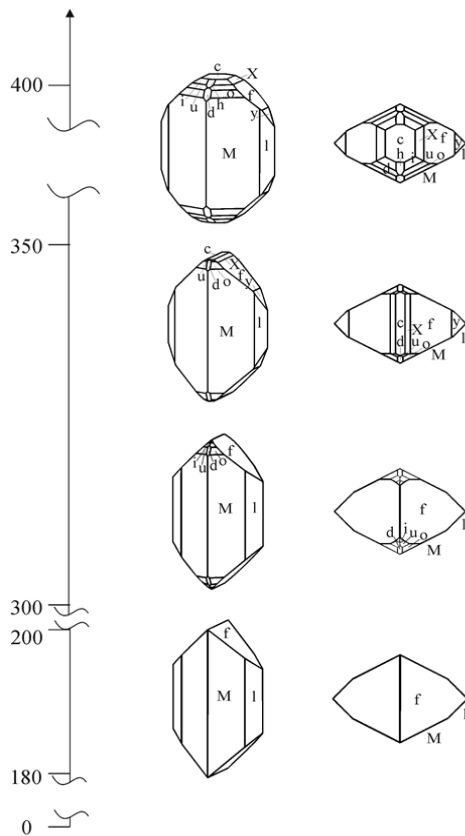


Рис. 17 Залежність габітусу кристалів топазу від температури

У підсумку до виявлених нами основних закономірностей впливу температури утворення на кристаломорфологію топазу належать такі:

1. Рідкісні прості форми простежуються, зазвичай, на багатогранниках, що утворилися при високих температурах.

2. Морфологічно важливі, виходячи з структурних чинників, прості форми  $M\{110\}$ ,  $l\{120\}$  та  $f\{011\}$  фіксуються на кристалах топазу незалежно від

температури, водночас важливість  $o \{111\}$ ,  $u \{112\}$ ,  $c \{001\}$  і  $b \{010\}$  із зниженням температури зменшується.

3. Прості форми  $c \{001\}$ ,  $d \{101\}$ ,  $y \{021\}$ ,  $X \{023\}$ ,  $o \{111\}$ ,  $u \{112\}$  є морфологічно важливими лише на високотемпературних топазах.

4. Низьку частоту прояву пінакоїда  $b \{010\}$  неможливо пояснити ні спираючись на структурні чинники, ні на вплив температури.

5. Загальна тенденція процесу – це поступове збіднення габітусу і збільшення відсотків індивідів адун-чілонського типу.

Водночас, для берилу в цьому аспекті вдалося встановити наступне.

Враховуючи, що в зонах вилуговування берил утворюється за дещо вищих температур, ніж у заноришах, можна дійти висновку, що з падінням температури габітус кристалів берилу збіднюється. У зв'язку з невеликою кількістю придатних для гоніометричних досліджень багатогранників берилу, можна висловити лише два припущення щодо впливу температури на кристаломорфологію берилу:

1. Дигексагональна дипіраміда  $\{21\bar{3}1\}$  зникає з падінням температури.

2. Морфологічна важливість гексагональної дипіраміди  $\{10\bar{1}1\}$  з пониженням температури зростає, але все одно вона поступається дипіраміді  $\{11\bar{2}1\}$  частотою прояву та величиною розвитку.

Отже, отриманими автором даними вперше доведено факт збіднення кристаломорфології топазу і берилу в процесі кристалізації з падінням температури.

## ВИСНОВКИ

У дисертації вирішено актуальне наукове завдання з дослідження кристаломорфології та генезису топазу і берилу камерних пегматитів Коростенського плутону як важливих типоморфних мінералів, надійних індикаторів кислотності-лужності флюїдного середовища кристалізації мінералів на післяінверсійній стадії пегматитового процесу.

До найвагоміших результатів роботи належать:

1. На підставі гоніометричних досліджень понад 90 кристалів топазу з різних мінералого-структурних зон пегматитових тіл підтверджено багату кристаломорфологію мінералу. Виявлено наступні прості форми:  $M \{110\}$ ,  $l \{120\}$ ,  $m \{230\}$ ,  $g \{130\}$ ,  $\lambda \{470\}$ ,  $U \{160\}$ ,  $\{410\}$ ,  $a \{100\}$ ,  $b \{010\}$  – у вертикальному поясі;  $c \{001\}$ ,  $f \{011\}$ ,  $y \{021\}$ ,  $X \{023\}$ ,  $\beta \{012\}$ ,  $d \{101\}$ ,  $h \{103\}$ ,  $Q \{201\}$ ,  $o \{111\}$ ,  $u \{112\}$ ,  $i \{113\}$ ,  $f \{225\}$ ,  $\varepsilon \{114\}$ ,  $r \{121\}$ ,  $\tau \{131\}$ ,  $\gamma \{232\}$ ,  $\chi \{123\}$  – на головках, зокрема дипіраміди  $\varepsilon \{114\}$ ,  $\tau \{131\}$ ,  $\gamma \{232\}$ ,  $\chi \{123\}$  виявлено вперше. Огранення індивідів топазу визначають три пояси  $[001]$ ,  $[100]$  і  $[110]$ , причому у зоні  $[001]$  головними простими формами є  $M \{110\}$  і  $l \{120\}$ , останні наявні практично на всіх кристалах, інші призми мають підпорядковане значення; важливість поясу  $[100]$  визначають призми  $f \{011\}$ , рідше  $y \{021\}$  і  $X \{023\}$ , та пінакоїд  $c \{001\}$ , інші форми менш важливі; у зоні  $[110]$  виявлено п'ять дипірамід, серед яких найважливішими є  $o \{111\}$  та  $u \{112\}$ , сюди також належать призма  $M \{110\}$  і пінакоїд  $c \{001\}$ .

Порівняння багатогранників топазу з різних мінералого-структурних зон пегматитів Коростенського плутону показало, що кристали із заноришів, особливо значних розмірів, мають найбагатшу морфологію. На головках індивідів із

заноришів головними простими формами є  $f\{011\}$ ,  $o\{111\}$ ,  $u\{112\}$ ,  $c\{001\}$ ,  $y\{021\}$ ,  $d\{101\}$ ,  $X\{023\}$ . Кристали із зон вилуговування невеликі за розмірами до перших сантиметрів і їхнє огранення простіше. Так на головках важливою є лише призма  $f\{011\}$ , а дипіраміди  $o\{111\}$  та  $u\{112\}$ , хоч і трапляються частіше, ніж у заноришах, проте мають менші розміри, пінакоїд  $c\{001\}$  і призма  $d\{101\}$  також невеликі. Дрібні кристали пізньої генерації із метасоматично змінених порід огранені найбідніше: на них наявна лише призма  $f\{011\}$ . Загалом у вертикальному поясі кристалів незалежно від мінералого-структурної зони домінують призми  $M\{110\}$  та  $l\{120\}$ , інші форми – другорядні.

2. За матеріалами вперше виконаного статистичного опрацювання результатів гоніометричних досліджень топазу з'ясовано, що загальна частота прояву простої форми, практично, співпадає з морфологічною важливістю граней, що враховує не лише загальну частоту прояву, а й комбінаційну стійкість і відносний розвиток граней. Винятком є дипіраміди  $o\{111\}$  та  $u\{112\}$ : при майже однакої частоті прояву  $o\{111\}$  за рахунок більшого розвитку граней важливіша за  $u\{112\}$ . Простежується чітка кореляція між розмірами кристалів та їхнім ограненням. Так на великих багатогранниках виявлено більше простих форм, частота прояву практично всіх простих форм на великих кристалах вища. Винятком є призма  $f\{011\}$ , що добре простежується за будь-яких умов на багатогранниках різного розміру. Для морфологічної класифікації головок кристалів топазу були вперше застосовані математичні методи. За допомогою кластерного аналізу виділено шість морфологічних типів кристалів топазу. Оскільки дві пари типів доцільно об'єднати, а нетипові індивіди виділити окремо, пропонується п'ять типів кристалів топазу.

3. Вперше здійснено аналіз кристалічної структури топазу з метою пояснення морфології його індивідів. Прості форми, які є морфологічно важливими за структурними підходами, повинні появлятися за будь-яких обставин і не можуть слугувати індикаторами умов утворення. За розрахунками ретикулярної густини плоских сіток, враховуючи гвинтові осі і площини ковзаючого відбиття, морфологічна важливість виявлених нами граней на головках топазів матиме наступний вигляд:  $f\{011\}$  –  $c\{001\}$  –  $o\{111\}$  –  $r\{121\}$  –  $u\{112\}$  –  $\tau\{131\}$  –  $i\{113\}$  –  $\chi\{123\}$  –  $d\{101\}$  –  $y\{021\}$  –  $\beta\{012\}$  –  $\epsilon\{114\}$  –  $\gamma\{232\}$  –  $f\{225\}$  –  $h\{103\}$  –  $X\{023\}$  –  $Q\{201\}$ .

Найвищий рівень симетрії грані топазу у таких форм:  $a\{100\}$ ,  $b\{010\}$ ,  $c\{001\}$ ,  $f\{011\}$  та призм  $\{hk0\}$ . РВС-вектори найважливішого типу в структурі топазу відсутні, тому виділення істинних F-граней так чи інакше суб'єктивне. Найважливіший напрямок в структурі топазу –  $[001]$ , що підтверджується добре розвиненими гранями поясу  $[001]$ . Загалом до істинних F-граней можна віднести  $b\{010\}$ ,  $c\{001\}$ ,  $f\{011\}$  і, певною мірою,  $o\{111\}$ , оскільки вищезгадані пінакоїди та призма не утворюють замкнутої форми.

Отже, найважливішими формами на кристалах топазу згідно з законом Доннея–Харкера, РВС-векторів та симетрії грані за І.І. Шафрановським є:  $f\{011\}$ ,  $b\{010\}$ ,  $M\{110\}$ ,  $l\{120\}$ ,  $d\{101\}$ ,  $o\{111\}$ ,  $c\{001\}$ ,  $y\{021\}$ . Всі вони, за винятком  $b\{010\}$ , добре простежуються на топазах Волині.

4. Уперше доведено, що у процесі кристалізації зі спадом температури морфологія багатогранників топазу збіднюється. Прості форми  $M\{110\}$ ,  $l\{120\}$ ,

$f \{011\}$  є габітусними практично на всіх кристалах. Морфологічна важливість  $c \{001\}$ ,  $y \{021\}$ ,  $d \{101\}$ ,  $o \{111\}$ ,  $u \{112\}$  зменшується з падінням температури. Рідкісні прості форми трапляються зазвичай на кристалах топазу, утворених за високої, тобто понад  $400\text{ }^\circ\text{C}$ , температури.

5. Уперше показано вплив, як загалом простішої кристаломорфології берилу, так і значного прояву процесів розчинення, на розвиток на його кристалах значно меншої кількості простих форм порівняно з топазом. Морфологічні типи кристалів берилу класифікують власне за розчиненими індивідами. На багатогранниках берилу виявлені такі прості форми: пінакоїд  $\{0001\}$ , гексагональні призми  $\{10\bar{1}0\}$  і  $\{11\bar{2}0\}$ , гексагональні дипіраміди  $\{10\bar{1}1\}$  та  $\{11\bar{2}1\}$  і дигексагональна дипіраміда  $\{21\bar{3}1\}$ . На противагу топазу, морфологія індивідів берилу із зон вилуговування дещо багатша, ніж із заноришів. Дигексагональну дипіраміду  $\{21\bar{3}1\}$  ідентифіковано лише на індивідах із зон вилуговування, а інші прості форми зафіксовано не лише в заноришах, а й в зонах вилуговування. Крім наявності дипіраміди  $\{21\bar{3}1\}$ , багатогранники із зон вилуговування відрізняються домінуванням призми  $\{11\bar{2}0\}$  над  $\{10\bar{1}0\}$ .

6. Уперше виконаний аналіз структури берилу показав, що, виходячи з визначеної ретикулярної густини із врахуванням гвинтових осей та площин ковзаючого відбиття, найважливішими формами на кристалах берилу повинні бути  $\{10\bar{1}0\}$ ,  $\{10\bar{1}1\}$ ,  $\{11\bar{2}0\}$  і  $\{0001\}$ . Найвища симетрія грані (6) для просторової групи, до якої належить берил, у пінакоїда  $\{0001\}$ , а потім у призми  $\{10\bar{1}0\}$  і  $\{11\bar{2}0\}$ . Істинними F-гранями берилу є лише пінакоїд  $\{0001\}$  і призма  $\{10\bar{1}0\}$ . Комплексний структурний підхід визначає морфологічну важливість простих форм  $\{0001\}$ ,  $\{10\bar{1}0\}$ , а потім  $\{11\bar{2}0\}$  і  $\{10\bar{1}1\}$ .

7. З падінням температури кристаломорфологія берилу збіднюється, дигексагональна дипіраміда  $\{21\bar{3}1\}$  зникає, а важливість гексагональної дипіраміди  $\{10\bar{1}1\}$  зростає, хоча і при низьких температурах вона поступається частотою прояву і відносним розвитком  $\{11\bar{2}1\}$ .

8. Порівнянням морфології кристалів топазу і берилу вперше виявлено, що для топазу і берилу типовий призматичний габітус, однак морфологія топазу багатша, на його індивідах виявлено значно більше простих форм. На кристалах топазу більше простих форм зафіксовано на індивідах із заноришів, на кристалах берилу – із зон вилуговування; великі багатогранники топазу відзначаються багатшою морфологією, а берилу – біднішою. Фігури розчинення на багатогранниках топазу не перешкоджають індексації простих форм, розчинення берилу часто робить неможливим гоніометричні дослідження. З падінням температури морфологія багатогранників не лише топазу, а й берилу збіднюється.

Відмінності кристаломорфології топазу і берилу камерних пегматитів Коростенського плутону добре корелюються з особливостями генезису мінералів: топаз формувався в кислотні періоди мінералогенезу, а берил – у лужні з мінералоутворювальних флюїдів, різко відмінні значення рН яких визначалися, насамперед, співвідношенням  $\text{CO}_2$ , фтору і лугів флюїдного середовища формування мінеральних парагенезів з коштовним камінням.



## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ

### Статті у наукових фахових виданнях:

(Особистий внесок здобувача)

1. **Вовк О.** Кристаломорфологія топазу з камерних (заноришових) пегматитів Волині / **О. Вовк**, І. Наумко // Мінерал. зб. – 2005. – № 55, вип. 1–2. – С. 79–89. (*Гоніометричні дослідження, їхній аналіз, виконання рисунків, статистичні розрахунки*).
2. **Вовк О.** Зв'язок кристалічної структури з особливостями морфології топазу з камерних пегматитів Волині / **О. Вовк**, І. Наумко // Мінерал. зб. – 2013. – № 63, вип. 1. – С. 52–59. (*Аналіз кристалічної структури топазу, визначення зрівноважених форм багатогранників, порівняння теоретичних розрахунків з результатами гоніометричних досліджень*).
3. **Вовк О.** Кристаломорфологія берилу з камерних пегматитів Волині / **О. Вовк**, І. Наумко // Мінерал. зб. – 2013. – № 63, вип. 2. – С. 82–89. (*Гоніометричні дослідження, побудова аксонометричних проєкцій кристалів*).
4. **Вовк О.П.** Особливості кристаломорфології топазу із камерних пегматитів Волині (за даними статистичних методів) / **О.П. Вовк**, І.М. Наумко // Мінерал. журн. – 2014. – Том 36, вип. 1. – С. 26–33. (*Статистичне опрацювання результатів гоніометричних досліджень, визначення морфологічних типів кристалів топазу*).

### Статті у зарубіжних наукових фахових виданнях:

5. **Вовк А.П.** Связь ПЦС-векторов с кристалломорфологией берилла из камерных пегматитов Вольны (Украина) / **А.П. Вовк**, И.М. Наумко // Зап. Рос. минерал. об-ва. – 2014. – Ч. СХLIII, № 4. – С. 102–109. (*Аналіз кристалічної структури берилу, визначення зрівноважених форм багатогранників, порівняння теоретичних розрахунків з результатами гоніометричних досліджень*).

### Праці, матеріали і тези доповідей:

6. **Вовк О.П.** Морфологія топазу у зв'язку з його кристалічною структурою / **О.П. Вовк** // Матер. наук. конф., присвяченої 90-річчю від дня народження академіка В.С. Соболева (Львів, 8–10 червня 1998 р.). – Львів, 1998. – С. 50–51. (*Аналіз кристалічної структури топазу*).
7. **Vovk O.P.** Statistical investigations with purpose of reconstruction of mineral forming conditions in crystal morphology (using topaz for an example) / **O.P. Vovk**, I.M. Naumko // Abst. of the Mining Příbram Symposium “International Sections. Mathematic methods in Geology”. – Prague, 1999. – МС 46. (*Гоніометричні дослідження кристалів топазу та їхня статистична обробка*).
8. **Naumko I.M.** Crystallogenesis of topaz of chamber pegmatites of Korosten' plutone (Ukraine) / I.M. Naumko, **O.P. Vovk** // Abst. of 31th Intern. Geol. Congr. (Rio de Janeiro, August 6–7, 2000). – [http://cbrazil.dominal.com/g\\_0806021.pgf](http://cbrazil.dominal.com/g_0806021.pgf). (*Гоніометричні дослідження кристалів топазу*).
9. **Вовк О.П.** Ланцюги сильного зв'язку і форма кристалів топазу / **О.П. Вовк** // Матер. молодіжної наук. конф. «Наука про Землю – 2001». Тези доп. наук. наради (Львів, 19–21 жовтня 2001 р.). – Львів, 2001. – С. 11–12. (*Аналіз кристалічної структури топазу*).
10. Наумко И.М. О связи кристалломорфологических и генетических особенностей топаза из занорышевых (камерных) пегматитов Вольны /

И.М. Наумко, **А.П. Вовк** // Матер. XI Междунар. конф. по термобарогеохимии (Александров, 8–12 сентября 2003 г.). – Александров : ВНИИСИМС, 2003. – С. 108–111. (*Гоніометричні дослідження кристалів топазу*).

11. Наумко И.М. Генезис берилла в камерных пегматитах Волыни (по включениям в минералах) / **А.П. Вовк**, И.М. Наумко // Матер. XVI Всерос. конф. по термобарогеохимии (Иркутск, 10–14 сентября 2014 г.). – Иркутск : Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2014. – С. 38–39. (*Гоніометричні дослідження кристалів берилу*).

12. **Вовк О.** Вплив РВС-векторів на кристаломорфологію берилу з камерних пегматитів Волині / **О. Вовк**, І. Наумко // Мінералогія : сьогодні і майбуття : Матер. восьмих наук. читань імені академіка Євгена Лазаренка (присвячено 150-річчю заснування кафедри мінералогії у Львів. ун-ті) (Львів–Чинадієве, 11–14 вересня 2014 р.). – Львів, 2014. – С. 26–28. (*Аналіз кристалічної структури топазу, визначення зрівноваженої форми індивідів, відповідно до структурних чинників*).

## АНОТАЦІЯ

**Вовк О.П. Кристаломорфологія топазу і берилу камерних пегматитів Коростенського плутону (північно-західна частина Українського щита). – Рукопис.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата геологічних наук за спеціальністю 04.00.20 – “мінералогія, кристалографія”. Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України, Київ, 2016.

Дисертацію присвячено дослідженню кристаломорфології топазу і берилу з різних мінералого-структурних зон камерних пегматитів Коростенського плутону, визначенню впливу структурних чинників та умов утворення на форму багатогранників цих мінералів. Гоніометрично досліджено понад 110 кристалів, побудовано 59 ортогональних та 41 аксонометричну проєкцій кристалів топазу і берилу, що дало змогу вперше в світі проілюструвати еволюцію їхньої кристаломорфології. Вперше чітко зафіксовано відмінності між багатогранниками топазу і берилу з різних мінералого-структурних зон камерних пегматитів Коростенського плутону. За результатами статистичного аналізу гоніометричних досліджень були визначені найважливіші прості форми багатогранників топазу із заноришів, виявлений зв'язок між розмірами кристалів та їхнім ограненням. Вперше за допомогою кластерного аналізу виділені морфологічні типи головок багатогранників топазу. Вперше досліджено вплив структурних чинників, зокрема ретикулярної густини, періодичних ланцюгів сильного хімічного зв'язку, тобто РВС-векторів та величини нескінченної симетрії грані, на кристаломорфологію топазу і берилу. Вперше доведений факт збіднення кристаломорфології топазу та берилу в процесі кристалізації з падінням температури.

**Ключові слова:** топаз, берил, кристаломорфологія, ретикулярна густина, РВС-вектори, симетрія грані, флюїдні включення, камерні пегматити, Коростенський плутон.



## АННОТАЦИЯ

**Вовк О.П. Кристалломорфология топаза и берилла камерных пегматитов Коростенского плутона (северо-западная часть Украинского щита). – Рукопись.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата геологических наук по специальности 04.00.20 – “минералогия, кристаллография”. Институт геохимии, минералогии и рудообразования им. Н.П. Семененко НАН Украины, Киев, 2016.

Диссертация посвящена исследованию кристалломорфологии топаза и берилла из разных минералого-структурных зон камерных пегматитов Коростенского плутона, определению влияния структурных факторов и условий образования на форму многогранников этих минералов. Гониометрически исследовались свыше 110 кристаллов, построены 59 ортогональных и 41 аксонометрическая проекции кристаллов топаза и берилла, что дало возможность впервые в мире проиллюстрировать эволюцию их кристалломорфологии.

На многогранниках топаза обнаружены следующие простые формы: в зоне [001] призмы  $M \{110\}$  и  $l \{120\}$ , хорошо развитые на всех образцах, независимо от минералого-структурной зоны пегматитов; иногда небольшие грани призм  $m \{230\}$ ,  $g \{130\}$ ,  $\lambda \{470\}$ ,  $U \{160\}$ ,  $\{410\}$ , пинакоидов  $a \{100\}$ ,  $b \{010\}$ . На головках кристаллов присутствуют грани пинакоида  $c \{001\}$ , ромбических призм  $f \{011\}$ ,  $y \{021\}$ ,  $X \{023\}$ ,  $\beta \{012\}$ ,  $d \{101\}$ ,  $h \{103\}$ ,  $Q \{201\}$ , ромбических дипирамид  $o \{111\}$ ,  $u \{112\}$ ,  $i \{113\}$ ,  $f \{225\}$ ,  $\varepsilon \{114\}$ ,  $r \{121\}$ ,  $\tau \{131\}$ ,  $\gamma \{232\}$ ,  $\chi \{123\}$ . Дипирамиды  $\tau \{131\}$ ,  $\gamma \{232\}$ ,  $\chi \{123\}$  на вольтинских топазах найдены впервые.

В результате гониометрических исследований было доказано, что кристалломорфология многогранников топаза из разных минералого-структурных зон камерных пегматитов Коростенского плутона заметно отличается. Для занорышей типичными являются крупные, богато ограненные кристаллы, головки которых сформированы хорошо развитыми гранями пяти–семи и более простых форм. Все простые формы, найденные на многогранниках из других минералого-структурных зон, присутствуют на топазах из занорышей. Морфологически самыми важными на головках кристаллов топаза из занорышей являются:  $f \{011\}$ ,  $o \{111\}$ ,  $u \{112\}$ ,  $c \{001\}$ ,  $y \{021\}$ ,  $d \{101\}$ . Другие простые формы, хотя и достигают, иногда, значительных размеров, но проявляются гораздо реже. В зонах выщелачивания морфология кристаллов гораздо беднее. На головках кристаллов габитусными являются только грани призмы  $f \{011\}$ . Дипирамиды  $o \{111\}$ ,  $u \{112\}$ ,  $i \{113\}$  и призма  $d \{101\}$ , несмотря на высокую частоту встречаемости, не являются морфологически важными, так как не достигают больших размеров. Самая бедная огранка типична для кристаллов топаза поздней генерации из метасоматически измененных пород: на их головках установлена только призма  $f \{011\}$ .

Статистический анализ результатов гониометрических исследований кристаллов топаза позволил не только определить вышеназванные морфологически самые важные грани, но и проследить четкую закономерность между размерами кристалла и богатством его огранки. На больших (свыше 10 см по одной из кристаллографических осей) многогранниках найдено больше простых форм, чем на маленьких. Кластерный анализ позволил впервые выделить морфологические типы кристаллов топаза на математической основе.

Впервые исследовано влияние структурных факторов, в частности ретикулярной плотности, периодических цепочек сильной химической связи, т. е. РВС-векторов и величины бесконечной симметрии грани, на кристалломорфологию топаза. Таким образом, исходя из кристаллической структуры топаза, самыми важными в морфологическом отношении должны быть:  $f \{011\}$ ,  $b \{010\}$ ,  $M \{110\}$ ,  $l \{120\}$ ,  $d \{101\}$ ,  $o \{111\}$ ,  $c \{001\}$ ,  $y \{021\}$ . Эти простые формы могут проявляться в любой среде, поэтому их нельзя использовать в качестве индикаторов условий образования минерала. На кристаллах волынского топаза все вышеназванные формы, за исключением пинакоида  $b \{010\}$ , встречаются довольно часто и нередко достигают значительных размеров.

Грани кристаллов берилла из камерных пегматитов Коростенского плутона в большинстве случаев покрыты разнообразной скульптурой, фигурами роста и растворения, что затрудняет их индексацию. Несмотря на это, на бериллах из занорышей обнаружены следующие простые формы: пинакоид  $\{0001\}$ , гексагональные призмы  $\{10\bar{1}0\}$  и  $\{11\bar{2}0\}$ , гексагональные дипирамиды  $\{10\bar{1}1\}$  и  $\{11\bar{2}1\}$ , а в зонах выщелачивания, кроме этих простых форм, еще и дигексагональная дипирамида  $\{21\bar{3}1\}$ . В отличие от топаза, морфология индивидов берилла из зон выщелачивания несколько богаче, чем кристаллов из занорышей. Кроме наличия дигексагональной дипирамиды  $\{21\bar{3}1\}$ , многогранники берилла из зон выщелачивания отличаются доминированием призмы  $\{11\bar{2}0\}$  над  $\{10\bar{1}0\}$ .

Топаз и берилл камерных пегматитов Коростенского плутона являются антагонистами в генетическом и кристалломорфологическом отношениях.

Большинство кристаллов топаза образовалось во второй кислотный период при температурах около  $400\text{ }^{\circ}\text{C}$  в результате свободного роста в занорышах и вследствие метасоматоза в зонах выщелачивания, рН минералообразующих растворов колебался от 4,3 до 5,6. Поздний топаз из метасоматически измененных пород кристаллизовался при температурах  $180\text{--}200\text{ }^{\circ}\text{C}$ . В то же время, температура кристаллизации берилла из занорышей составляет почти  $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а в зонах выщелачивания – несколько выше. В метасоматически измененных породах температура кристаллизации берилла, в отличие от топаза, более высокая (до  $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Величины рН индивидуальных включений в берилле составляют  $7,5\text{--}8,5\pm 0,2$ . Основная масса топаза и берилла образовалась при давлении, не превышающем  $30\text{--}40\text{ МПа}$ .

Сравнивая морфологию и условия образования кристаллов волынского топаза ильменского и адун-чилонского типов из занорышей и поздних кристаллов из метасоматически измененных пород, впервые удалось доказать факт обеднения огранки топаза в процессе кристаллизации с падением температуры. Огранка кристаллов берилла с падением температуры также становится беднее, но в связи с меньшим количеством пригодных для гониометрии многогранников этот процесс описать сложнее.

**Ключевые слова:** топаз, берилл, кристалломорфология, ретикулярная плотность, РВС-векторы, симметрия грани, флюидные включения, камерные пегматиты, Коростенский плутон.

## SUMMARY

**Vovk O.P. Crystal Morphology of topaz and beryl of chamber pegmatites of Korosten' pluton (north-western part of the Ukrainian Shield). – Manuscript.**

Thesis for a candidate degree of Geological Sciences by speciality 04.00.20 – “mineralogy, crystallography”. – M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the National Academy of Science of Ukraine. – Kyiv, 2016.

The work is devoted to investigation of crystal morphology of topaz and beryl from the different mineralogical-structural zones of chamber pegmatites of Korosten' pluton, to determination of influence of structural factors and terms of formation on the form of polyhedrons of those minerals. Over 110 of crystals have been researched goniometrically. The 59 ortogonal and 41 axonometric projections of crystals of topaz and beryl have been made, that gave an opportunity for the first time in the world to illustrate the evolution of it crystal morphology. For the first time the differences between the polyhedrons of topaz and beryl from the different mineralogical-structural zones of chamber pegmatites of Korosten' pluton have been clearly fixed. Based on results the statistical analysis of goniometric researches the major simple forms of polyhedrons of topaz from the chambers have been certain, the connection between the sizes of crystals and their habit have been set. For the first time the morphological types of heads of polyhedrons of topaz have been distinguished by cluster analysis. For the first time the influence of structural factors i.e. reticular dencity, PBC-vectors, and lattice symmetry of crystal faces on crystal morphology of topaz and beryl have been investigated. For the first time the fact of simplification of crystal morphology of topaz and beryl in the process of crystallization with falling of temperature have been proved.

**Keywords:** topaz, beryl, crystal morphology, reticular density, PBC-vectors, symmetry of face, fluid inclusions, chamber pegmatites, Korosten' pluton.