

УДК 548.4 + 553.84 (477.42)

Д.К. ВОЗНЯК

Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України
03680, м. Київ-142, просп. Акад. Палладіна, 34
E-mail: voznyak@igmof.gov.ua

ВКЛЮЧЕННЯ В ТОПАЗІ КАМЕРНИХ ПЕГМАТИТІВ ВОЛИНІ

Кристали топазу містять різноманітні, часто великі ($\geq 0,1$ мм) за розмірами, мінеральні й флюїдні включення, результати тривалого вивчення яких дали змогу з високою достовірністю і детальністю відтворити складну історію становлення камерних пегматитів Волині. У реконструкцію умов їх формування, безумовно, зробили внесок і дослідження інших мінералів (передовсім кварцу).

Перші кристали топазу в зоні вивітрювання у 1891 р. знайшов Г.І. Осовський. Безпосередньо у пегматитовому тілі кристал топазу виявлений у 1931 р. [7] на Волинському родовищі, яке експлуатувалося з 1931 по 1992 р. [13]. Воно — єдине в Україні джерело ювелірного і технічного топазу. Розміри кристалів топазу змінюються в широких межах: в пегматоїдній, графічній і польвошпатовій зонах до 5—9 см уздовж [001] і 2—4 см по [010]; у заноришах (камерах вільного росту кристалів) у 1965 р. виявлений найбільший на родовищі, але не збережений кристал заввишки 82 см і масою 117 кг. У Мінералогічному музеї імені О. Ферсмана в Москві експонують кристал топазу з Волині масою 110 кг, а в Музеї землезнавства Московського державного університету — кристал розміром $27,5 \times 38 \times 38$ см і масою 68 кг [7, 13].

Нижче на показових прикладах вивчення флюїдних включень у кристалах топазу із заноришів показано, наскільки результати таких досліджень далекі від простої інтерпретації, проте можуть надати достовірні факти про особливості формування пегматитів Волині, одних із найскладніших природних утворень. Усі зображення включень отримано у прохідному світлі оптичного мікроскопа

Мінеральні включення представлені сингенетичними і протогенетичними типами. До перших належать флюорит, колумбіт, альбіт [11], флюоцерит, протолітійніт (літєвий біотит) (фото 1 на 4-й сторінці обкладинки журналу), фенакіт, кварц, до протогенетичних — численні включення альбіту, монациту, кварцу, кріоліту, рідше

циркону, уранініту. Зеленого кольору флюорит утворює дві відміни мінералу: а) незвичні за формою мітлоподібні індивіди [6]; б) класичні сингенетичні включення, в яких ділянка вільного росту має форму октаедра, а площина індукції його з топазом — шестигранну форму [3] (фото 2 на 4-й сторінці обкладинки). За сингенетичними включеннями виявлено, що флюорит, колумбіт, протолітійніт, флюоцерит кристалізуються на раніших етапах росту топазу, а альбіт, фенакіт, кварц — на пізніших. Крім того, включення циркону, монациту, флюоцериту, тобто мінералів, до складу яких входять радіоактивні елементи, — об'єкти, сприятливі для визначення ізотопного віку їх утворення, оскільки вони зазвичай добре ізольовані від впливу зовнішніх чинників, що можуть порушити протягом тривалого геологічного часу співвідношення між вмістом радіоактивних елементів і продуктів їх розпаду.

Флюїдні включення у кристалах топазу характеризуються різним наповненням, хімічним складом, своєрідними, характерними для камерних пегматитів Волині включеннями. Історія їх тривалого вивчення є повчальною, оскільки розкриває зміну поглядів на походження включень одного й того самого типу і, як наслідок, на генезис камерних пегматитів Волині.

Г.Г. Леммлейн уперше описав світлові облямівки (смужки Бекке) навколо вторинних флюїдних включень у топазі [8]. Згодом такі світлові облямівки були виявлені навколо рідких включень у берилі [9]. Автори припускають, що кристалізація цих мінералів у пегматитах відбувалась із сильноконцентрованих водних розчинів, з яких зі зниженням температури відкладалася речовина мінералу, що розміщується між світловою облямівкою і сучасною порожниною включення.

З часом було доведено [2], що в процесі набуття порожниною рівноважної форми негативного кристала в топазі відбувалося закономірне перенесення розчином включення речовини мінералу з одного місця на інше. При цьому концентрація мінералу в розчині включення в момент його консервації була незначною, а температури — невисокими. Топаз і берил — мінерали змінного хімічного складу, тому перенесена речовина мінералу за зміни *PT*-параметрів має різні хімічний склад і показники заломлення. З пониженням температури показник заломлення перенесеного топазу зменшується, а з підвищенням температури — збільшується. Виявлено зазвичай поступове зменшення показника заломлення перенесеної речовини, проте наприкінці формування сучасної порожнини включення у перенесеному топазі утворюється невеличка ділянка з високим показником заломлення. Це засвідчує, що пегматитове тіло на завершальному етапі формування зазнало короткочасної дії високих температур. Достовірність цього висновку підтверджена й іншими спостереженнями [7, 11]. Світлові облямівки часто трапляються й навколо первинних включень. Результати вивчення включень зі світловою облямівкою також вказують, що в процесі еволюції форми включення в ізольованому об'ємі мінералу змінюється і склад водного розчину, оскільки перенесений топаз має інший хімічний склад відносно основної маси мінералу.

Запропоноване Г.Г. Леммлейном пояснення способу утворення світлових облямівок навколо флюїдних включень у топазі, берилі, на перший погляд, виявилось настільки логічно досконалим, що ним, як достовірним, іноді користуються й досі.

Використання характерних для топазу пегматитів Волині первинних флюїдних включень для відтворення умов його кристалізації також має свою непросту історію. Ці включення містять велику кількість мінеральних фаз (кварцу, альбіту, мусковіту, протолітійніту, кріоліту, флюориту, мікрокліну, іноді колумбіту), а також

водний розчин і газову фазу. У включеннях співвідношення між об'ємом твердих фаз, з одного боку, й рідиною з газом, з іншого — різне, хоча часто становить 70 : 30 (фото 3 на 4-й сторінці обкладинки). Ці фази розміщуються у кристалах топазу по площинах колишніх граней {011}, {001}, рідше {110} [11].

Г.Г. Леммлейн, М.О. Клія, І.А. Островський [10] вперше дослідили вищезгадані включення й нагрівали їх до 1000 °С в автоклаві під тиском інертного газу близько 3000 кгс/см³. Такий спосіб нагрівання був застосований тому, що включення в термокамері вище 500 °С неодмінно розтріскувалися. Автори дійшли висновку, що мінеральні фази, а також водний розчин і газ виникали у них в результаті розкристалізації силікатного розплаву, що містив понад 10 % води. Дослідники вважають, що у природі топаз, кварц, мусковіт, кріоліт й інші мінерали кристалізувалися в пегматитах приблизно при 700 °С і декількох тисячах атмосфер (1 атм дорівнює $\sim 1 \cdot 10^5$ Па).

Згодом [7, 11] було виявлено, що співвідношення між твердими фазами непостійне, різним є також відносний об'єм водного розчину з газом у включеннях. Іноді серед великої кількості включень з твердими фазами трапляються такі, що містять лише водний розчин і газову фазу (рідини ~ 40 %) [5]. Утворення такого сімейства включень викликано захопленням дрібних мінеральних фаз, які осідали на гранях кристалів топазу, що росли, із скаламученого флюїду, який виникав у заноришах під час закипання водного розчину. Тому температури захоплення включень (кристалізації топазу) дорівнюють або близькі до температур гомогенізації водного розчину включень: від 372—377 до 410—415 °С.

Включення гомогенізуються й в рідку, й в газову фазу, а хід кривої гомогенізації вказує, що густина водного розчину близька до критичної густини. Інакше кажучи, топаз із камерних пегматитів Волині кристалізувався не з магматичного розплаву, а з водного розчину за невисоких температур і тисків в умовах гетерогенної системи водний розчин + газ. У процесі росту кристалів іноді проявлялося бурхливе закипання цієї системи [5]. Вторинні рідинно-газові, включення (L = 40 %) (фото 4 на 4-й сторінці обкладинки) мають таке саме співвідношення між водним розчином і газовою бульбашкою, що й первинні включення з великою кількістю мінеральних фаз.

Великою кількістю твердих фаз відзначаються включення (фото 5 на 4-й сторінці обкладинки), що захопили висококонцентрований сольовий розчин. Вони (фази NaCl, KCl, хлориди Al і Zn та ін.) розчиняються в процесі нагрівання включень до зникнення газової фази [4].

Природу ще одного включення незвичного наповнення, основний об'єм якого займає тверда фаза типу опалу (фото на 1-й сторінці обкладинки журналу, довжина включення 0,58 мм) і газ, можна пояснити таким чином. Тверда фаза містить також водний розчин (майже дистильовану воду), що гомогенізується при 376 ± 2 °С. Вміст включення відповідає продуктам розпаду гідрогелю (процес синерезису) з утворенням твердої фази з великою кількістю SiO₂ й водного розчину. Формування цього включення безпосередньо пов'язане з появою прозорої склуватої маси (важкої рідини) з великою кількістю SiO₂, що виникає у нижній частині автоклавів, у яких з лужних водних розчинів вирощували кристали кварцу [1, 12].

Можливі причини перетворення важкої рідини включення в топазі у твердий гель такі: а) зміна хімічного складу розчину включення; хоча ознаки його перенаповнення відсутні, ця зміна може бути викликана зміною хімічного складу розчину включення у процесі набуття ним рівноважної форми негативного кристала; б) радіаційне опромінення.

Пегматитове тіло, в якому виявлено подібні включення, належить до високопродуктивного об'єкта родовища. Ймовірно, наявність важкої рідини, що перебувала у динамічній рівновазі з кислим водним розчином, була одним із сприятливих факторів росту в камерах досконалих кристалів.

На фото 6, 7 4-ї сторінки обкладинки журналу представлені плоскі вторинні включення, що заліковували площини спайності топазу. Вони зафіксували результати процесу зміни колоїдного розчину в гель, тверда речовина якого має вигляд чергування численних шарів різного складу (кілець Лізеганга) і ділянок прозорого мінералу. Чергування цих шарів речовини зумовлене ритмічними реакціями, що відбувалися в гелі внаслідок, ймовірно потрапляння у включення розчинів пізнішої гетерогенної системи (водний розчин + CO_2 -флюїд).

І насамкінець: «Деякі геологи, які звикли вивчати лише великі маси у полі, можуть бути схильні до сумнівів щодо цінності описаних мною фактів і вважати включення такими крихітними, що на них не слід звертати увагу... Проти такої думки я, без сумніву, протестую і стверджую... що, хоча описані мною предмети малі, висновки, які потрібно зробити з них, — великі» [14]. Цю думку, яку нерідко цитують, висловив понад 150 років тому Г.К. Сорбі (1826—1908), один із засновників науки про мінералоутворювальні флюїди.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бутузов В.П., Брятов Л.В. Исследование фазовых равновесий частей системы $\text{H}_2\text{O}-\text{SiO}_2-\text{Na}_2\text{CO}_3$ при высоких давлениях и температурах // Кристаллография. — 1957. — Вып. 5. — С. 670—675.
2. Возняк Д.К., Калюжный В.А. Преобразование формы включений в минералах переменного состава и его влияние на состав изолированного в вакуолях маточного раствора (на примере топаза из Волини) // Докл. АН СССР. — 1973. — Т. 212, № 6. — С. 1192—1195.
3. Возняк Д.К., Квасниця В.М. Де і як ростуть алмази? // Геолог України — 2010. — № 1—2. — С. 48—61.
4. Калюжный В.А. К изучению состава минералов-«узников» многофазовых включений // Минерал. сб. Львов. геол. об-ва. — 1958. — № 12. — С. 116—128.
5. Калюжный В.А. Основы учения о минералообразующих флюидах. — К.: Наук. думка, 1982. — 239 с.
6. Калюжный В.А., Ляхов Ю.В. Включения касситерита и флюорита в кристаллах из пегматитов Волини // Докл. АН СССР. — 1962. — Т. 143, № 5. — С. 1182—1185.
7. Лазаренко Е.К., Павлишин В.И., Латыш В.Т., Сорокин Ю.Г. Минералогия и генезис камерных пегматитов Волини. — Львов: Вища шк., 1973. — 360 с.
8. Леммлейн Г.Г. О соотношении современного и первоначального объемов жидких включений в минералах // Докл. АН СССР. — 1952. — Т. 72, № 4. — С. 775—778.
9. Леммлейн Г.Г., Клия М.О. Преобразование формы жидких включений при изменении температуры // Кристаллография. — 1958. — Т. 3, № 2. — С. 206—208.
10. Леммлейн Г.Г., Клия М.О., Островский И.А. Об условиях образования минералов в пегматитах по данным изучения первичных включений в топазе // Докл. АН СССР. — 1962. — Т. 72, № 4. — С. 775—778.
11. Мінералоутворюючі флюїди та парагенезиси Мінералів пегматитів заноришевого типу України / Відп. ред. В.А. Калюжний. — К.: Наук. думка, 1971. — 216 с.
12. Туттл О.Ф., Фридман И.И. Несмесимость жидкостей в системе $\text{H}_2\text{O}-\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ // Вопросы физико-химии в минералогии и петрографии. — М.: Изд-во иностр. лит., 1950. — С. 9—22.
13. Яковлева В.В., Власюк Л.Л. Історія створення ДУ «Музей коштовного і декоративного каміння». // Мінерально-сировинні багатства України: шляхи оптимального використання: Друга Всеукр. наук.-краєзн. конф., смт. Володарськ-Волинський, 10 груд. 2009 р. — Володарськ-Волинський, 2009. — С. 4—14.
14. Sorby H.C. On the mikroskopical structure of crystals, indicating the origin of minerals and rocks // Geol. Soc. London Quart. J. — 1858. — Vol.14, pt. 1. — P. 453—500.