

УДК 549.0

## ПОСТУПАЛЬНА ХОДА ГЕНЕТИЧНОЇ МІНЕРАЛОГІЇ АКАДЕМІКА ЛАЗАРЕНКА

Д. Возняк, Г. Кульчицька, Ю. Галабурда

*Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М. П. Семененка НАН України  
03142 м. Київ, просп. акад. Палладіна, 34  
E-mail: voznyak@igmof.gov.ua*

Одна із заслуг академіка Є. Лазаренка – створення в Україні потужної школи регіональної і генетичної мінералогії, розвиток якої продовжують його учні. Регіонально-мінералогічні дослідження, започатковані Є. Лазаренком ще у львівський період, досягли апогею під час його праці у Києві та сьогодні, на жаль, поступово йдуть на спад. Генетична ж мінералогія, попри всі негаразди, продовжує розвиватися в руслі планів відомого мінералога. Перелічено найбільші здобутки його учнів у галузі мінералофлюїдології – реконструкції умов мінералоутворення за флюїдними включеннями в мінералах. Наведено приклади нетрадиційних підходів до реконструкції *PT*-умов мінералоутворення внаслідок поєднання результатів дослідження флюїдів включень методами термобарометрії з даними про фізичні властивості мінералів, склад газоподібних продуктів їхнього піролізу, поведінку експериментально загартованих розплавів.

*Ключові слова:* флюїдні включення, *PT*-параметри мінералоутворення, розплав, ліквідація, піроліз, леткі компоненти, генетична мінералогія.

Без перебільшення можна стверджувати, що серед усіх розділів мінералогічної науки академік Євген Лазаренко найбільше уваги приділяв регіональній та генетичній мінералогії.

**Регіонально-мінералогічні дослідження.** Лише завдяки енергії, організаторським здібностям і наполегливості відомого мінералога побачили світ такі зведення з регіональної мінералогії, як “Мінералогія вивержених комплексів Західної Волині” (1960), “Мінералогія осадочних утворень Прикарпаття” (1962), “Мінералогія Закарпаття” (1963), “Мінералогія Поділля” (1969), “Мінералогія и генезис камерных пегматитов Вольни” (1973), “Мінералогія Донецького басейна” (1975), “Мінералогія Криворожського басейна” (1977), “Мінералогія Приазовья” (1981). Короткий довідник “Мінерали України”, що вийшов 1990 р. за редакцією академіка М. Щербака, лише підсумував напрацьоване на той час.

Прикро констатувати, що сьогодні регіональна мінералогія України майже не розвивається. Регіонально-мінералогічний напрям в Україні ще підтримує проф. Орест Матковський – прямий учень Є. Лазаренка і такий же ентузіаст своєї справи. З 1990 р. за його редакцією вийшли томи наукової серії “Мінералогія Українських Карпат”, ідея створення якої належить ще Є. Лазаренку як першому голові Комісії з мінералогії і геохімії КБГА. Четвертий том серії [18] підсумував мінералогічні дослідження, виконані для карпатського регіону, хоча за три десятиріччя після Є. Лазаренка назбиралося чимало матеріалу для інших регіонів. Частково останні мінералогічні напрацювання втрача-

но у підручнику “Основи мінералогії України” [16]. Критичне становище регіонально-мінералогічних досліджень могло б виправити багатотомне видання “Мінералогічної енциклопедії України”, підготовку якого за редакцією проф. В. Павлишина розпочали ще 2003 р., однак з огляду на фінансові негаразди та інертність виконавців його досі не завершено.

**Генетично-мінералогічні дослідження.** Інша річ – генетично-мінералогічні дослідження. Їм Євген Костянтинівич приділяв особливу увагу. Згадаємо його два найбільші узагальнення з генетичної мінералогії – “Основы генетической минералогии” (1963) і “Опыт генетической классификации минералов” (1979). Перша книга логічно продовжує підручник “Курс мінералогії”, три частини якого (“Загальна мінералогія”, “Опис мінералів”, “Мінералогія гірських порід і мінеральних родовищ”) виходили послідовно з 1958 по 1961 рр. Статичну мінералогію “Курсу мінералогії” в “Основах генетической минералогии” змінює динамічна мінералогія в тому розумінні, що мінерали народжуються і помирають, змінюючи один одного у часі й просторі. Тому не дивно, що цю книгу Є. Лазаренко присвятив засновнику генетичної мінералогії Володимиру Вернадському.

Друга книга – це остання наукова праця, яку акад. Є. Лазаренко ще встиг повністю підготувати до друку. У ній він намагався підсумувати весь свій досвід з генетичної мінералогії. На думку академіка, провідним методом у мінералогії був і є власне мінералогічний, в основі якого має бути генетичний принцип. “Только на основе генетического принципа можно ставить и решать вопросы истории минеральных тел и эволюции минерального вещества в планетарном масштабе, а также наиболее рационально подойти к раскрытию причин возникновения высоких концентраций минералов в отдельных участках...” [14, с. 7]. Учений розділив увесь мінеральний світ на чотири типи за походженням – ендо-, екзо-, космо- і техногенний, а в межах типів виділив підтип, клас, підклас тощо аж до окремого мінерального виду з типоморфною ознакою саме для цього типу.

Після переїзду до Києва в 1969 р. Є. Лазаренко одночасно розпочав створення своєї школи мінералогів на базі очолюваного ним відділу регіональної та генетичної мінералогії, спочатку в стінах Інституту геологічних наук АН УРСР, а через три роки – у стінах також академічного Інституту геохімії та фізики мінералів (ІГФМ). Підбираючи учнів і відповідні теми дисертацій, він мав на меті охопити всі можливі напрями генетичних досліджень, однак передусім – дослідження флюїдних включень, оскільки методи термобарометрії вважали і вважають донині найоб’єктивнішими методами реконструкції умов мінералоутворення. З огляду на це перед трьома його учнями було завдання дослідити включення в усіх типах мінералів: магматичних (Д. Возняк, камерні пегматити Волині), метаморфічних (Ю. Галабурда, криворізькі залізородні родовища) і осадових (Г. Кульчицька, гіпси й ангідрити України). Про виконання завдання можна судити за авторефератами відповідних кандидатських дисертацій. Що стосується метаморфічних і осадових утворень, то через об’єктивні причини ці дослідження далі дисертацій не продовжували. Наукова тематика ІГФМ щораз більше зосереджувалася на рідкіснометалевих об’єктах, пов’язаних з магматичними породами та їхніми пегматитами. Ці об’єкти потребували нетрадиційних підходів до визначення параметрів мінералоутворення.

Спостереження за фазовими переходами, що відбуваються у флюїдних включеннях унаслідок охолодження (до  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) або нагрівання (до  $1\ 400\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), дають змогу з високим ступенем достовірності визначити температуру кристалізації мінералу, тиск і склад флюїду в середовищі кристалізації. Проте за таких умов: а) такі включення захоплені під час кристалізації мінералу, б) їхній розмір є в межах шкали оптичних мікроскопів, в)

вони зберігають герметичність під час нагрівання. Найчастіше хоча б одна із зазначених умов не виконується. Тоді генетичну інформацію за флюїдними включеннями отримують іншими способами. Нижче наведено приклади саме таких нетрадиційних підходів до реконструкції умов мінералоутворення за флюїдами, законсервованими у мінералах. Термін “флюїд” ми вживаємо у значенні субстанції з малою механічною міцністю (газ, рідина, розплав), що має плинні властивості, і дотримуємося термінології та класифікації включень Г. Леммлейна [15] і В. Калюжного [6].

**Стільниковий кварц – мінералогічний термобарометр.** Стільниковий кварц – параморфоза низькотемпературного  $\alpha$ -кварцу по високотемпературному  $\beta$ -кварцу. Він отримав власну назву завдяки рівномірній густій мережі залікованих тріщин, малюнок яких нагадує бджолині стільники. У залікованих тріщинах міститься велика кількість так званих стільникових включень. Утворення цього типоморфного мінералу камерних пегматитів спричинене поліморфним  $\beta \rightarrow \alpha$ -переходом кварцу, який відбувається близько 573 °С і змінюється залежно від тиску.

Лабораторні дослідження засвідчили, що стільникові тріщини виникають у разі  $\beta \rightarrow \alpha$ -переходу внаслідок різкого охолодження. Через малу теплопровідність кварцу значної швидкості охолодження і, відповідно, великої швидкості  $\beta \rightarrow \alpha$ -переходу можна досягти лише у тонкому (1,5–2,0 мм) прошарку мінералу. Оскільки природні кристали, розмір яких сягає 1,5 м, розбиті стільниковими тріщинами на всю їх глибину, то стає очевидним, що механізм їхнього утворення інший.

Великої швидкості  $\beta \rightarrow \alpha$ -переходу кварцу можна досягти іншим способом – унаслідок поліморфного переходу мінералу з метастабільного стану. У такому разі вся маса кристала кварцу буде розбита стільниковою тріщинуватістю, а стільникові включення можна використати для реконструкції умов їхньої консервації [2].

Розмір стільників залежить від швидкості поліморфного  $\beta \rightarrow \alpha$ -переходу кварцу, тому за ним можна визначити ступінь метастабільного переохолодження. Чим більша метастабільність, тим більша швидкість поліморфного переходу та менший розмір стільників.

**Визначення глибини формування камерних пегматитів за флюїдними включеннями у кристалах кварцу.** Для обчислення глибини формування геологічних об'єктів недостатньо точно визначити флюїдний тиск, необхідно з'ясувати гідродинамічний тип системи мінералоутворення – закрита, перехідна чи відкрита. Відповідно, флюїдний тиск у таких системах змінюється від літостатичного через проміжний до гідростатичного, а його градієнт – від 10 до 28 МПа/км.

Оцінити глибину формування пегматитів можна за флюїдними включеннями у стільниковому і пізньому кварці типу Д [2].

1. *Стільниковий кварц.* *PT*-умови утворення стільникового кварцу визначають за густиною флюїду стільникових включень. Наповнення рідинно-газових стільникових включень для різних пегматитів змінюється від 20 до 30–35 % водного розчину, а температура гомогенізації – від 370 до 450 °С в газову фазу. Ці значення відповідають ізохорі густини  $\sim (0,2-0,4) \text{ г/см}^3$ . Умови заліковування стільникової тріщинуватості кварцу відповідають *PT*-параметрам точки перетину ізохори стільникового включення з лінією рівноваги  $\alpha$ - $\beta$ -кварцу: температурі 590–595 °С та флюїдному тиску, що, ймовірно, не перевищував 80–85 МПа. Якщо система мінералоутворення була гідродинамічно закритою (флюїдний тиск відповідає літостатичному), то глибину, на якій перебував кварц під час утворення стільників, визначають за таким рівнянням:

$$h [\text{км}] = P_{\text{фл}} / \Delta P_{\text{л}}$$

де  $P_{\text{фл}}$  – флюїдний тиск, визначений за стільниковими включеннями (МПа);  $\Delta P_{\text{л}}$  – градієнт літостатичного тиску (28 МПа/км) Отже, глибина формування стільникового кварцу камерних пегматитів орієнтовно становить  $\leq 3,0$  км.

2. *Пізній кварц (кварц типу Д)*. Точніші значення глибини формування пегматитів можна визначити за включеннями, що утворилися з гетерогенної системи (водний розчин +  $\text{CO}_2$ -флюїд), оскільки з більшою точністю можна розрахувати флюїдний тиск системи мінералоутворення. У пізньому кварці пегматитового тіла 303 трапляються первинні включення гомогенного захоплення з  $\text{CO}_2$  та сингенетичні до них включення водного розчину з наповненням 80–85 % [3]. Густина  $\text{CO}_2$  – 0,21–0,23 г/см<sup>3</sup>, мінімальні значення температури гомогенізації включень водного розчину – 230–240 °С. Параметри консервації цих включень:  $T = 230\text{--}240$  °С,  $P = 23\text{--}25$  МПа ( $\pm 5\text{--}10$  %) відповідають умовам кристалізації кварцу типу Д. Тиск у системі мінералоутворення був визначений потоком  $\text{CO}_2$ -флюїду, що надходив по системі тріщин у водний розчин, тому він міг перевищувати гідростатичний тиск [2]. Отже, глибина, на якій перебувало пегматитове тіло 303 на пізній стадії формування, становить  $\leq 2,3\text{--}2,5$  км. Ще менші значення глибини ( $\leq 1,0\text{--}1,3$  км) отримано за первинними включеннями у кристалах берилу, що також утворилися із системи водний розчин +  $\text{CO}_2$ -флюїд.

**Про умови формування Володарськ-Волинського пегматитового поля.** За результатами дослідження флюїдних включень у мінералах пегматитів виявлено закономірну зміну наповнення включень, агрегатного стану, сольової концентрації мінералоутворювального розчину, температуру консервації [3, 19]. Вони засвідчують, що до температури  $\sim 370\text{--}400$  °С флюїдний тиск у камерах пегматитів був приблизно сталим і орієнтовно дорівнював літостатичному. Така поведінка тиску можлива у випадку перебування пегматитів у зоні флюїдного потоку [3].

Розташування Володарськ-Волинського пегматитового поля поблизу контакту з основними породами є, певною мірою, випадковим явищем, натомість вирішальне значення у його формуванні має те, що по західному контакту основних порід з гранітами проходить Володарськ-Волинський глибинний розлом, по якому передбачають надходження магми коростенського граніту, а надалі – продуктів дегазації магми [3]. За такого способу утворення пегматити будуть розташовані в зоні розлому на всю потужність коростенських гранітів. Морфологія, розмір, будова і продуктивність пегматитових тіл змінюються впоперек та вздовж пегматитового поля, витягнутого у субмеридіональному напрямі. Особливо різка відмінність у  $PT$ -параметрах і швидкості потоку  $\text{CO}_2$ -флюїду в камери виявилася наприкінці формування пегматитів північних (села Краївщина, Вікторинка, Писарівка) околиць поля і центральних (Вишняківської, Поромівської) ділянок родовища [5]. Надходження потоків  $\text{CO}_2$ -флюїду пов'язане з новим джерелом – продуктами дегазації магми основного складу. Така магма, імовірно, виявилася в утворенні дайок діабазових порфіритів, діабазів у районі пегматитового поля [17].

**Високотермобаричні потоки  $\text{CO}_2$ -флюїду.** Вперше дію таких флюїдних потоків визначили на Майському родовищі Голованівської шовної зони (Український шит). Флюїдні потоки зумовили плавлення й розтріскування включень самородного золота у кварці [4] (рис. 1). Загалом для їхнього розтріскування температура повинна перевищувати 880 °С, що впливає зі зміни коефіцієнтів об'ємного розширення цих мінералів [2]. Лише вище зазначеної температури внутрішній тиск включення золота спричинить у кварці динамічні напруження, розрядка яких урешті-решт призведе до утворення тріщин, у які витісниться розплавлене золото. Про рідкий стан золота свідчать розмір і форма

дочірніх включень – по периферії залікованих клиноподібних тріщин вони мають ізометричну форму й субмікроскопічний розмір, а в напрямі до гирла стають більшими і набувають крапле- й амебоподібної форми (див. рис. 1, *a*).

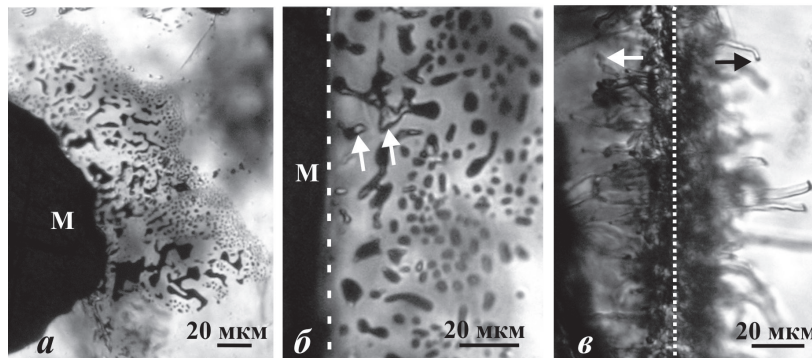


Рис. 1. Включення різного складу у залікованих тріщинах розриву навколо розтрісканих включень самородного золота (М) у кварці Майського родовища:

*a* – тріщина навколо материнського (М) включення містить лише дочірні включення золота (темні виділення); *b* – крім краплеподібних включень золота, у тріщині трапляються включення  $\text{CO}_2$ -флюїду (позначено стрілками). Штриховою лінією позначено межу материнського (М) включення золота; *v* – видовжені включення силікатного скла, вершини яких покриті тонкими пластинками самородного золота, що розташовані по обидва боки (показано стрілками) залікованої тріщини (позначено пунктирною лінією). Прохідне світло.

Оскільки у заліковані тріщини навколо розтрісканих включень золота іноді потрапляє рідкий  $\text{CO}_2$ -флюїд (див. рис. 1, *b*), то за густиною таких включень можна точніше розрахувати умови їхнього консервування. Вони відповідають *PT*-параметрам точки перетину ізохори  $\text{CO}_2$  включення з лінією залежності  $T_{\text{пл}}$  золота від тиску, тобто  $\geq (1\ 112\ ^\circ\text{C}\ \text{і}\ 820\ \text{МПа})$  [2, 4].

Окрім Майського родовища золота, дія потоків  $\text{CO}_2$ -флюїду виявилася у процесі формування сподумен-петалітових пегматитів західної частини Кіровоградського мегаблока, Азовського Zr-REE родовища Приазовського мегаблока, північних околиць Володарськ-Волинського пегматитового поля. На Полохівському родовищі сподумен-петалітових пегматитів *PT*-умови метасоматичного заміщення первинної магматичної породи під дією  $\text{CO}_2$ -флюїду були близькі до  $680\ ^\circ\text{C}$  і  $410\ \text{МПа}$ . Розтріскані включення піротину в апоскарнових кварцитах родовища Надія свідчать про температуру потоків  $\text{CO}_2$ -флюїду  $1\ 100\text{--}1\ 200\ ^\circ\text{C}$  і тиск  $540\text{--}840\ \text{МПа}$  [22]. Надходження потоків  $\text{CO}_2$ -флюїду в сієніти Азовського Zr-REE родовища спричинило розтріскування первинних включень у кристалах циркону (рис. 2, *a*) і плавлення їхнього вмісту близько  $1\ 000\text{--}1\ 200\ ^\circ\text{C}$  з утворенням природно загартованого скла (див. рис. 2, *b*). Відповідно до густини  $\text{CO}_2$ -флюїду у вторинних включеннях гомогенного захоплення (до  $0,79\ \text{г/см}^3$ ) тиск сягав  $450\text{--}520\ \text{МПа}$  [24]. Температура  $\text{CO}_2$ -потоків, які спричинили розтріскування стільникових включень і утворення стільникоподібного кварцу [5] на північних околицях Володарськ-Волинського пегматитового поля, перевищувала  $450\text{--}500\ ^\circ\text{C}$ .

Значення *PT*-параметрів і хімічний склад високотермобаричних потоків  $\text{CO}_2$ -флюїду дають змогу оцінити глибину і джерело їхнього формування. Оскільки у вивержених породах включення  $\text{CO}_2$  виявлені винятково в мінералах з основних і ультраосновних порід, то джерелом високотермобаричних потоків безводного  $\text{CO}_2$ -флюїду є продукти

дегазації основної або ультраосновної магми. Вони могли транспортувати у верхні горизонти земної кори золото й інші рудні елементи [2]. Обчислена глибина магматичного осередку становить:  $\geq 41 \pm 6$  км для Майського родовища золота;  $\geq 44$  км для родовища Надія [2];  $\geq 22$ –26 км для Азовського Zr-REE родовища.

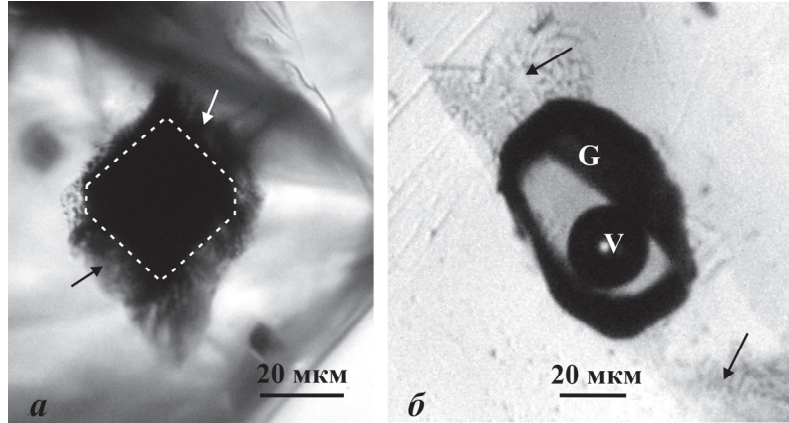


Рис. 2. Первинні розтріскані включення природно загартованого скла у цирконі Азовського Zr-REE родовища:

*a* – материнське включення негативної форми, контури якої помічені штриховою лінією, з ореолом субмікроскопічних дочірніх включень (показано стрілками) довкола; *б* – включення силікатного скла (G) з бульбашкою газу (V). Стрілки вказують на лінійні тріщини, заліковані дрібними дочірніми включеннями. Прохідне світло.

**Нове природне явище – проникнення розплаву в мінерал за участю проміжної фази.** Такі включення трапляються у кварці на різних об'єктах, у формуванні яких брали участь високотермобаричні потоки CO<sub>2</sub>-флюїду [20, 21, 23]. Механізм проникнення розплаву у кварц є незвичним, оскільки воно відбувається лише за участю проміжної фази – пластинок самородного золота (Майське родовище), самородного бісмуту й піротину (апоскарновий кварцит родовища Надія) (рис. 3) за високих значень температури й тиску CO<sub>2</sub>-флюїду [22]. Склад включень відповідає силікатному розплаву (Майське родовище, апоскарнові кварцити родовища Надія) (див. рис. 1, *в*; 3, *а*, *б*), кальциту (Майське родовище) (рис. 4, *з*).

**Алмазоутворювальні флюїди та способи винесення алмазу з глибин мантії.** Пошуки флюїдних включень в алмазі тривалий час були безуспішними, і лише порівняно недавно отримано переконливі докази їхнього існування. Важливу інформацію про генезис алмазу та можливі способи його транспортування у верхні горизонти Землі й на її поверхню можна також одержати за результатами вивчення включень у парагенетичному мінералі – цирконі кімберлітового типу [1].

За флюїдними включеннями у кристалах циркону виявлено, що алмаз утворювався спочатку з безводних сольових розплавів (рис. 5, *а-в*), а потім – із флюїдів, збагачених водою (гідросилікатними розчинами) (див. рис. 5, *з*).

Оскільки включення обох типів флюїдів розтріскані, то зміна складу алмазоутворювального середовища відбулася до розтріскування включень, тобто до викиду магмою кімберлітів з цирконом і алмазом із глибин верхньої мантії на поверхню Землі у вигляді трубок, дайок, силів.

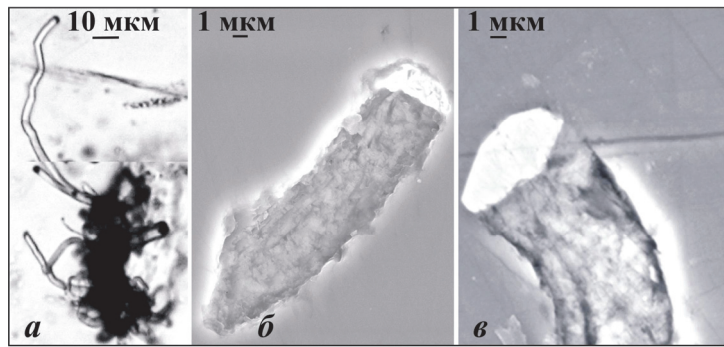


Рис. 3. Форма виділень силікатного скла у кварці апоскарнових кварцитів родовища Надія:  
*a* – загальний вигляд; *б, в* – деталі будови індивідів, вершини яких покриті пластинками, відповідно, самородного бісмуту й піротину; *a* – у прохідному світлі; *б, в* – РЕМ-зображення (сканувальний мікроскоп JSM-6700F).

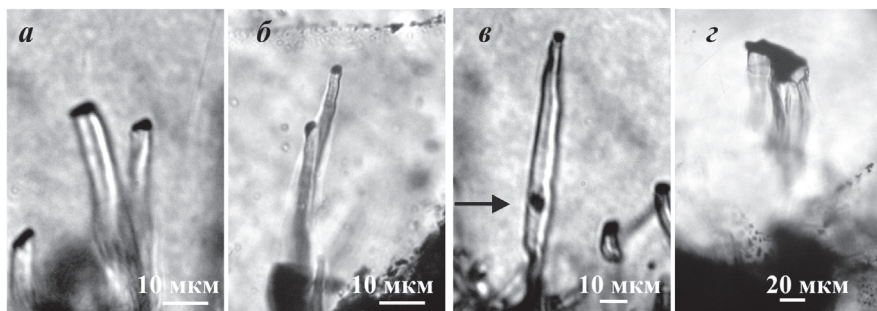


Рис. 4. Видовжені включення силікатного скла (*a–в*) та кальциту (*з*), вершини яких покриті пластинками самородного золота (чорні), у кварці Майського родовища золота (у прохідному світлі).

Стрілкою позначено частину пластинки золота, що відірвалася від вершини включення. Процес її втрати не був різким, оскільки розмір поперечного перерізу включення зменшувався поступово.

У природі може виявитися й інший, некімберлітовий, спосіб транспортування алмазу у верхні горизонти Землі – проходженням флюїду по ослаблених зонах астеносфери й літосфери. Алмазоутворювальний флюїд у цьому випадку, найімовірніше, відповідає сольовому (карбонатитовому) розплаву, що близький за складом до вмісту включень типу 1 у цирконі кімберлітового типу [1]. Винесені таким способом у верхні горизонти земної кори алмази – дрібні, оскільки система тріщинуватості порід таких зон навіть за умови відповідної швидкості потоку флюїду не пропустить нагору кристали великого розміру.

**Виявлення незмішуваності розплавів за флюїдними включеннями.** Незмішуваність магматичних розплавів має різну природу: ліквацийну й неліквацийну. Незмішуваність неліквацийної природи виникає, якщо одна з рідких фаз має обмежену розчинність в іншій (сульфідній і силікатній розплави, “ільменітовий” і силікатний розплави) [4].

Ліквацийне розділення розплаву зафіксоване за включеннями у кристалі циркону рудної зони Азовського родовища. Внаслідок експериментального загартування розплаву в первинному включенні виникло два скла різного складу (рис. 6), які свідчать про можливість ліквацийного розділення магми у процесі формування родовища.

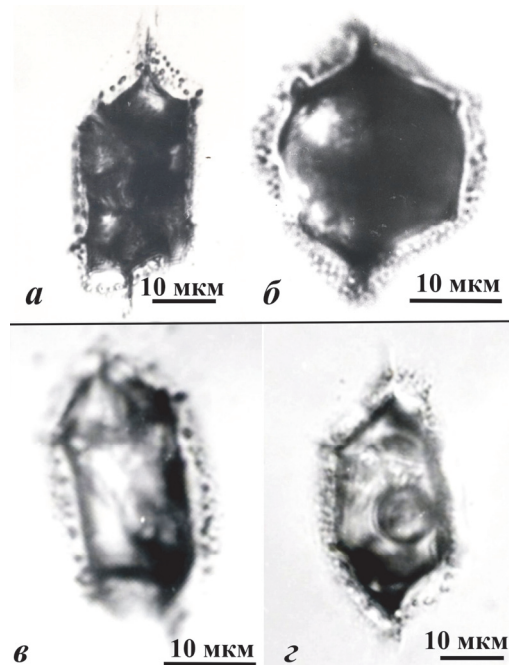


Рис. 5. Розтріскані флюїдні включення у цирконі кімберлітового типу:

*a-в* – первинні включення розкристалізованого солявого розплаву (тип 1); газова фаза розташована між твердими фазами; *г* – первинне (?) включення, збагачене гідросилікатною рідиною, унаслідок чого газова фаза набуває форми бульбашки (тип 2). Прохідне світло.

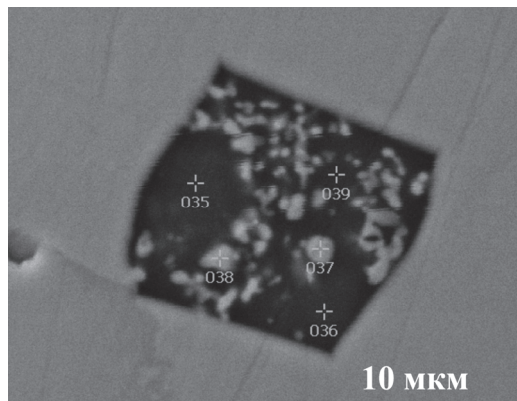


Рис. 6. Первинне включення у кристалі циркону з двома типами скла, що утворилися після нагрівання і загартування вмісту включення.

Темні ділянки – висококремнеземисте скло, світлі – скло з великим вмістом Fe та незначним –  $\text{SiO}_2$ . РЕМ-зображення. Сканувальний мікроскоп JSM-6700F.

**Діагенетичні включення та їхнє значення для реконструкції умов мінералоутворення.** Накопичений досвід вивчення включень привів до висновку, що, окрім сингенетичних твердих і флюїдних включень, захоплених безпосередньо під час кристалізації, які прийнято називати первинними, мінерали можуть містити вторинні включення,



що утворюються всередині кристалів унаслідок сегрегації домішок різного розміру. Оскільки сегрегація домішок відбувається відразу після кристалізації мінералу, у діагенетичну стадію його ущільнення, то включення, що виникають всередині кристалів унаслідок сегрегації домішок, запропоновано називати діагенетичними [7, 11]. Діагенетичні вторинні включення є не менш інформативними, ніж первинні, проте, очевидно, температура їхньої гомогенізації буде дещо нижча від температури кристалізації мінералу, а густина флюїду, навпаки, може перевищувати густину зовні кристала [8]. Діагенетичні включення формуються в ізохімічному середовищі на тлі зниження температури і зміни тиску, тому вміст послідовних генерацій діагенетичних включень закономірно еволюціонуватиме зі зміною рухомості домішкових компонентів. Особливо багаті на діагенетичні включення магматичні породи [13].

**Піролітична газова хроматографія як новий метод генетичної мінералогії.** На жаль, з огляду на різні причини більшість мінералів належить до “німих” з погляду мінералофлюїдології і не придатні для термобарометрії. Вони або містять надто дрібні включення, або мінерал є непрозорим для видимого світла. Однак усі мінерали містять легкі компоненти, що легко випаровуються в разі нагрівання. Одні легкі компоненти є повноправними елементами структури мінералу, наприклад, гідроксильна, карбонатна, сульфатна групи тощо, інші так чи інакше пов’язані з дефектами в мінералах – від точкових до тривимірних. Легкі компоненти в мінералі утримувані різними силами. Для структурних компонентів і точкових дефектів головними є сили хімічної взаємодії, легкі компоненти у закритих тривимірних дефектах (у газово-рідких включеннях) утримуються механічно, у відкритих тривимірних дефектах (у порах мінералу) і на поверхні зерен – електростатичним зарядом (фізично сорбовані гази). Ці сили нерівноцінні: під час нагрівання мінералу першими виділяються фізично сорбовані гази, потім – механічно зв’язані і, насамкінець, легкі сполуки, що утворюються під час піролізу внаслідок дисоціації хімічних груп структури або точкових дефектів. Поступово нагріваючи мінерал і аналізуючи газову суміш через певні проміжки температури, отримують газопіролітичний спектр, що характеризує склад дискретних порцій газоподібних продуктів піролізу мінералу залежно від температури [9, 12].

Усі типи легких компонентів пов’язані між собою. Компоненти перебувають у мінералі в рівновазі й можуть переходити з одного типу в інший зі зміною умов його існування. Газопіролітичні спектри одного й того ж мінералу, утвореного за різних геологічних умов, відрізняються між собою, тому спектр можна вважати типоморфною ознакою цього мінералу. Розшифрувати генетичну інформацію, закладену в газопіролітичному спектрі, покликаний банк даних, який створюють [10].

1. Возняк Д. Де і як ростуть земні алмази ? / Д. Возняк, В. Квасниця // Геолог України. – 2010. – № 1–2. – С. 48–61.
2. Возняк Д. К. Мікрровключення та реконструкція умов ендегенного мінералоутворення / Д. К. Возняк. – К. : Наук. думка, 2007. – 280 с.
3. Возняк Д. К. Фізико-хімічні умови формування та особливості локалізації заноришових пегматитів Волині (Український щит) / Д. К. Возняк, В. І. Павлишин // Мінерал. журн. – 2008. – Т. 30, № 1. – С. 5–20.

4. Возняк Д. К. Прояви високотермобаричних потоків рідкого CO<sub>2</sub> при формуванні Майського родовища золота / Д. К. Возняк, С. М. Бондаренко, В. О. Сьомка // Доп. НАН України. – 2000. – № 7. – С. 131–134.
5. Возняк Д. К. О генезисе сотовидного кварца / Д. К. Возняк, Ю. А. Галабурда, Д. С. Черныш // Кварц. Кремнезем : Междунар. семинар : материалы. – Сыктывкар : Геопринт, 2004. – С. 70–72.
6. Калужний В. А. Методи вивчення багатозональних включень у мінералах / В. А. Калужний. – К. : Вид-во АН УРСР, 1960. – 168 с.
7. Кульчицкая А. А. Диагенетические включения в минералах как результат преобразования нанодфектов в микродефекты / А. А. Кульчицкая, Д. С. Черныш // Минералогическая интервенция в микро- и наномир : Междунар. минерал. семинар : материалы. – Сыктывкар : Геопринт, 2009. – С. 209–211.
8. Кульчицкая А. А. Диагенетические включения в минералах и их значение для реконструкции условий минералообразования / А. А. Кульчицкая, Д. С. Черныш // Минералогические перспективы : Междунар. минерал. семинар : материалы. – Сыктывкар : Геопринт, 2011. – С. 79–80.
9. Кульчицька Г. Піролітична газова хроматографія мінералів – новий метод генетичної мінералогії / Г. Кульчицька // Мінерал. зб. – 2010. – № 60, вип. 1. – С. 10–19.
10. Кульчицька Г. Закономірності вмісту та розподілу летких компонентів у мінералах / Г. Кульчицька, Д. Возняк, С. Остапенко // Мінерал. журн. – 2009. – Т. 31, № 2. – С. 48–57.
11. Кульчицька Г. Включення у мінералах як об'єкти кристалографії / Г. Кульчицька, Д. Возняк, Д. Черныш // Мінерал. зб. – 2007. – № 57, вип. 1. – С. 17–25.
12. Кульчицька Г. О. Леткі компоненти мінералів як індикатори умов мінералоутворення / Г. О. Кульчицька, Д. К. Возняк // Мінерал. журн. – 2005. – Т. 27, № 2. – С. 86–92.
13. Кульчицька Г. О. Включення закристалізованих розплавів у анортотлаз-мікропертиті з сієнітів Азовського штоку (Український щит) / Г. О. Кульчицька, В. С. Мельников // Мінерал. журн. – 2008. – Т. 30, № 4. – С. 21–40.
14. Лазаренко Е. К. Опыт генетической классификации минералов / Е. К. Лазаренко. – Киев : Наук. думка, 1979. – 316 с.
15. Леммлейн Г. Г. Классификация жидких включений в минералах / Г. Г. Леммлейн // Зап. Всесоюз. минерал. об-ва. – 1959. – Ч. 88, № 2. – С. 137–143.
16. Матковський О. Основи мінералогії України : [підручник] / О. Матковський, В. Павлишин, Є. Сливко. – Львів : Видавн. центр ЛНУ ім. Івана Франка, 2009. – 856 с.
17. Минералогия и генезис камерных пегматитов Вольни / Е. К. Лазаренко, В. И. Павлишин, В. Т. Латыш, Ю. Г. Сорокин. – Львов : Вища школа, 1973. – 360 с.
18. Мінералогія Українських Карпат. Т. 4. Силікати / [Відп. ред. О. Матковський]. – Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2011. – 520 с.
19. Мінералоутворюючі флюїди та парагенезиси мінералів заноришевих пегматитів Волині / [Відп. ред. В. А. Калужний]. – К. : Наук. думка, 1971. – 216 с.
20. Необычные образования силикатного стекла и кальцита вокруг взорванных включений золота в кварце Майского месторождения золота (Украинский щит) / Д. К. Возняк, С. С. Остапенко, А. А. Вишневы, С. Н. Бондаренко // 13 Всерос. конф. по термобарогеохимии совместно с IV симпозиумом APFIS : материалы. – М., 2008. – С. 85–89.

21. Об условиях проникновения силикатного расплава в кварц апоскарнового кварцита сподумен-петалитового месторождения Надия (Украинский щит) / Д. К. Возняк, А. А. Вишневский, С. С. Остапенко, С. Н. Бондаренко // Минералогические музеи : 6 Междунар. симпоз. : материалы. – СПб., 2008. – С. 172–174.
22. Особливості мінерального складу та умов утворення рідкіснометалевих пегматитів західної частини Кіровоградського блоку (Український щит) / Д. К. Возняк, В. М. Бугаєнко, Ю. А. Галабурда, В. С. Мельников, В. І. Павлишин, С. М. Бондаренко, В. О. Сьомка // Минерал. журн. – 2000. – Т. 22, № 1. – С. 21–41.
23. Про ефект проникнення мінералоутворювального флюїду в кристал за участю фази каталізатора / Д. К. Возняк, С. С. Остапенко, О. А. Вишневський, С. М. Бондаренко // Доп. НАН України. – 2009. – № 4. – С. 113–117.
24. Influence of CO<sub>2</sub>-fluid flows on forming of Azov Zr-REE deposit (Ukrainian shield) / D. K. Voznyak, V. S. Melnikov, D. S. Chernysh, S. S. Ostapenko // 3 Biennial Conf. of Asian Current Research on Fluid Inclusions (ACROFI III) and 14 Intern. Conf. on Ter-mobarogeochimistry (TBG XIV) : Abstracts. – Novosibirsk : Publishing House of SB RAS, 2010. – P. 260–261.

### PROGRESSION OF GENETIC MINERALOGY OF ACADEMICIAN LAZARENKO

**D. Voznyak, G. Kulchytska, Yu. Galaburda**

*Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of NASU  
Acad. Palladin Av. 34, UA – 03142 Kyiv, Ukraine  
E-mail: voznyak@igmof.gov.ua*

One of the great achievements of academician Ye. Lazarenko is the establishment of high-performance school of regional and genetic mineralogy. Its development is implemented by his students. Yevhen Lazarenko began regional mineralogical investigations in Lviv; they reached apogee during his work in Kyiv but today unfortunately gradually decline. Despite difficulties, genetic mineralogy continues its development within the plans of the well-known mineralogist. The article specifies the most significant achievements of his students in the sphere of fluid mineralogy – reconstruction of mineral formation conditions using fluid inclusions in minerals. Examples of non-traditional approaches to reconstruction of *PT*-parameters of mineral formation are resulted. They combine the results of thermo- and barometric researches in fluid inclusions with the data on physical characteristics of minerals, composition of gaseous products of their pyrolysis and behaviour of melts during experimental hardening.

*Key words:* fluid inclusions, *PT*-parameters of mineral formation, melt, liquation, pyrolysis, volatile components, genetic mineralogy.

**ПОСТУПАТЕЛЬНОЕ ШЕСТВИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОЙ МИНЕРАЛОГИИ  
АКАДЕМИКА ЛАЗАРЕНКО**

**Д. Возняк, А. Кульчицкая, Ю. Галабурда**

*Институт геохимии, минералогии и рудообразования  
имени Н. П. Семеново НАН Украины  
03142 г. Киев, просп. акад. Палладина, 34  
E-mail: [voznyak@igmof.gov.ua](mailto:voznyak@igmof.gov.ua)*

Одна из заслуг академика Е. Лазаренко – создание в Украине мощной школы региональной и генетической минералогии, развитие которой продолжают его ученики. Регионально-минералогические исследования, начатые Е. Лазаренко еще во Львове, достигли апогея во время его работы в Киеве и сегодня, к сожалению, постепенно спадают. Генетическая минералогия, несмотря на все трудности, продолжает развиваться в русле планов известного минералога. Перечислено наиболее значимые достижения его учеников в отрасли минералофлюидологии – реконструкции условий минералообразования по флюидным включениям в минералах. Приведено примеры нетрадиционных подходов к реконструкции *PT*-параметров минералообразования, в которых сочетаются результаты исследования флюидов во включениях методами термобарометрии с данными о физических свойствах минералов, составе газообразных продуктов их пиролиза, поведении расплавов при их экспериментальном закаливании.

*Ключевые слова:* флюидные включения, *PT*-параметры минералообразования, расплав, ликвация, пиролиз, летучие компоненты, генетическая минералогия.

Стаття надійшла до редколегії 17.04.2012

Прийнята до друку 29.05.2012