

ВНЕСОК ПРОФЕСОРА В.А. КАЛЮЖНОГО У РОЗВИТОК НАУКИ ПРО ФЛЮЇДНІ ВКЛЮЧЕННЯ У МІНЕРАЛАХ (ДО 90-РІЧЧЯ ВІД ДНЯ НАРОДЖЕННЯ)



У серпні 2012 р. виповнилося 90 років від дня народження видатного українського вченого — одного з засновників вчення про мінералоутворювальні флюїди за включеннями у кристалах, дослідника проблем генетичної мінералогії, лауреата Державної премії в галузі науки й техніки, доктора геолого-мінералогічних наук, професора Володимира Антоновича Калюжного. Він у числі перших трьох вчених світу отримав авторитетну нагороду — Міжнародну золоту медаль ім. Г.К. Сорбі за успіхи в дослідженні флюїдних включень у мінералах. Ім'я В.А. Калюжного відоме широкому науковому загалу не лише в Україні, але й у цілому світі.

Народився В.А. Калюжний 6 серпня 1922 р. у с. Буняковка Одеського р-ну Омської обл. (Російська Федерація) у сім'ї селянина-бідняка. У 1924 р. сім'я переїхала в Україну. Після закінчення у 1939 р. середньої школи в с. Миколаївка Бердянського р-ну Запорізької обл. В. Калюжний вступив на геологорозвідувальний факультет Дніпропетровського гірничого інституту, де вчився до початку Другої світової війни, у якій він брав участь з 1941 по 1945 р.

у складі Червоної Армії. Потому відновив навчання на геологорозвідувальному факультеті Дніпропетровського гірничого інституту (1945—1946 рр.), а продовжив на геологічному факультеті Львівського державного університету ім. Івана Франка (1946—1949 рр.). Після закінчення навчання в університеті він спочатку (1949—1950 рр.) працював молодшим науковим співробітником у Львівському відділенні Інституту геологічних наук, а згодом (1950—1955 рр.) — науковим співробітником геологічного факультету Львівського державного університету ім. Івана Франка.

Подальші творчі й наукові здобутки пов'язані з Інститутом геології корисних копалин АН УРСР (з 1963 р. — Інститутом геології і геохімії горючих копалин АН УРСР (НАН України)), в якому В.А. Калюжний працював протягом 1955—2010 рр. За час роботи в Інституті пройшов шлях від молодшого наукового співробітника до завідувача відділу геохімії глибинних флюїдів і відомого в світі дослідника флюїдних включень. Відділ, який багато років (1961—1988 рр.) очолював вчений, став центром успішного комплексного вивчення флюїдних включень у мінералах і авторитетною школою підготовки наукових кадрів, місцем, яке охоче відвідували, щоб отримати консультації та пройти стажування, фахівці з різних регіонів колишнього Радянського Союзу, а також США, Японії, Швеції, Болгарії, Польщі та інших країн.

На історичному тлі зростання інтересу до флюїдних включень і набуття знань про них вирізняється 1858 рік. Цього року вийшла друком робота Г.К. Сорбі "Утворення мінералів і порід на основі мікроскопічного вивчення кристалів", що відкривала якнайширші перспективи вивчення включень. Дату її опуб-

лікування нерідко ототожнюють з часом народження нової науки. Проте довіра до результатів, отриманих за включеннями, прийшла не одразу, оскільки залишалася невирішеною низка проблем.

І лише тоді, коли було розкрито особливості захоплення та змін флюїдних включень у кристалах і обґрунтовано теоретичні основи використання включень для реконструкції умов мінералоутворення, а також проведено експериментальні роботи з *РТХ* залежностей систем, що за хімічним складом близькі до виявлених у включеннях, нова наука посіла заслужене місце серед наук про мінерали. Цьому сприяло також створення термо- й криокамер, які дозволяли спостерігати і точно фіксувати фазові переходи вмісту включень у широкому температурному інтервалі ($\leq -196... \geq +1200$ °C), і зацікавлення нових методів дослідження мікрокількостей речовини.

У цьому поступі знань, у становленні науки про включення мінералоутворювальних флюїдів у мінералах видатні здобутки В.А. Калюжного залишили помітний слід. Об'єктивно оцінити внесок дослідника у розвиток науки можна лише з урахуванням часу, в якому він творив. Однак серед наукового доробку Володимира Антоновича є багато таких результатів, що не втрачають цінності з плином часу.

Період до Другої світової війни відзначався майже повною втратою інтересу до вивчення флюїдних включень. Початкове захоплення всесильністю включень як інструмента достовірного відтворення умов формування мінералів змінилося майже повним їх ігноруванням. У світовій літературі з 1920 до 1939 р. вийшли друком 10 статей, присвячених дослідженню включень, але серед них не було жодної, опублікованої російською мовою. Проте німецькою у 1929 р. побачила світ знакова робота "Вторинні включення рідини у мінералах" російського вченого Г.Г. Леммлейна, в якій він вперше запропонував розділяти за генетичним принципом всі включення у мінералах на дві великі групи: первинні і вторинні, а за їх вмістом — на аути- й ксеногенні. Важливі висновки роботи автор підкріпив експериментами з легкорозчинними у воді мінералами. Робота привернула увагу геологів до флюїдних включень і сприяла залученню нових ентузіастів до їх дослідження.

Після Другої світової війни у Радянському Союзі відбулося стрімке зростання інтересу

до вивчення включень, яке було пов'язане з іменем М.П. Єрмакова. У повоєнному Львові М.П. Єрмаков (1945—1952 рр.) читав старшокурсникам "Курс мінералотермометрії (за даними включень у мінералах)" на геологічному факультеті Львівського державного університету. У цей період навколо нього сформувалася група дослідників включень, до складу якої входили Є.І. Вульчин, Ю.О. Долгов, В.А. Калюжний, Л.І. Колтун, Є.М. Лазько, В.Ф. Лесняк, Н.І. Мязь, А.В. Пізнюр, Р.Ф. Сухорський. Для В.А. Калюжного, як і для багатьох інших дослідників з цієї групи, відтворення умов формування геологічних об'єктів за результатами вивчення флюїдних включень у мінералах стало основою їх наукової роботи. Тривалий час світовим лідером у вивченні флюїдних включень у мінералах був Радянський Союз. Такому інтенсивному процесу розвитку досліджень включень сприяли науково-організаційні зусилля М.П. Єрмакова.

Внесок В.А. Калюжного у дослідження флюїдних включень великий і надзвичайно різноманітний, оскільки він вважав за необхідне вивчати включення всебічно. Для становлення нової науки велике значення мають обґрунтовані ним теоретичні основи використання включень для відтворення *РТ*-умов їх консервації, аналіз *VTX*-діаграм системи летких і нелетких компонентів, побудова наближеної *VTX*-діаграми системи $H_2O - NaCl$, питання реконструкції *РТ*-умов мінералоутворення у системі $H_2O - CO_2$, обґрунтування умов тривалого кипіння мінералоутворювальних розчинів тощо. Важливими для реконструкції умов формування геологічних об'єктів стали вивчені В.А. Калюжним різні зміни включень, що відбуваються після їх ізоляції (перенаповнення, розтріскування, зміна форми, питання герметичності вмісту). У колі інтересів вченого була також розробка численних методів дослідження хімічного складу вмісту включень (як твердих, так і рідких складових), мікроколориметричне визначення рН і окремих хімічних елементів у розчинах включень тощо. Вчений розвинув ряд методів вивчення хімічного складу газів, вилучених з включень (окремих і валовий склад), розробив установку для вилучення CO_2 із порід і мінералів і його експресного аналізу, запропонував схему відбору проб на ізотопний аналіз вуглецю тощо. На той час не існувало термо- і криокамер та інших установок для вивчення вклю-

чень. У Львові їх конструювали і виготовляли за участі Володимира Антоновича. Реконструкція умов формування камерних пегматитів Волині, гідротермальних жил Донбасу та інших геологічних об'єктів, що її проводив В.А. Калюжний з використанням результатів вивчення флюїдних включень, відзначається достовірністю і детальністю. Не залишилося поза увагою вченого прикладне застосування результатів дослідження включень.

Теоретичні основи використання включень для реконструкції термобаричних умов їх консервації. Г.К. Сорбі запропонував використовувати включення первісно гомогенного наповнення для визначення температури утворення мінералів. Відновлюючи шляхом нагрівання первісний гомогенний стан включення можна, на його думку, визначати мінімальні значення температури, близькі до дійсних. Це — основа методу гомогенізації включень. Проте стан науки того часу, у першу чергу фізичної хімії, не дозволив Г.К. Сорбі здійснити більш повну перевірку методу.

Цю перевірку та детальний аналіз здійснив В.А. Калюжний. Він зазначив, що незалежно від заключного фазового переходу температура гомогенізації (T_r) включень є останньою можливістю візуально спостерігати за еволюцією його вмісту. Але гомогенний стан включення далеко не завжди відповідає параметрам його консервації. Температура гомогенізації включень може дорівнювати, бути більшою або меншою за температуру їх захоплення, тобто умов росту або зміни мінералу. Ріст кристалів у гетерогенній флюїдній системі супроводжується консервацією включень гетерогенного походження, що мають як гомо-, так і гетерогенне захоплення. T_r включень гомогенного захоплення відповідає дійсній температурі його консервації; а T_r включень гетерогенного захоплення перевищують її. У мінералах, що сформувалися у гомогенній флюїдній системі, утворюються включення гомогенного походження, що мають лише гомогенне захоплення, T_r яких менша за дійсну температуру флюїду.

Подальше, після гомогенізації, відтворення PT -параметрів вмісту включень гомогенного походження можливе лише шляхом розгляду відповідних за складом фізико-хімічних систем. І чим більше відповідають експериментально вивчені системи реальному вмісту включення, тим точніше можна реконструю-

вати умови мінералоутворення. Однак для визначення PT -умов консервації включень такого типу необхідні ще незалежні методи оцінки температури, або тиску, або й двох цих параметрів мінералоутворення.

Терміни "включення гомогенного й гетерогенного походження" і "включення гомогенного й гетерогенного захоплення" задіяні у генетичній класифікації включень (В.А. Калюжний, 1960; В.А. Калюжний, 1982). Ця класифікація є простою, з чітким критерієм поділу включень на основні одиниці — первинні й вторинні включення, але вона охоплює всі можливі вікові співвідношення між ростом і заліковуванням кристала флюїдом, між аути- й ксеногенними складовими мінералоутворювального середовища різних геологічних процесів.

Вчений наводить ряд ознак, за якими можна відрізнити вторинні включення гетерогенного походження від включень, що зазнали розшнуровування (В.А. Калюжний, 1978).

Визначення PT -параметрів консервації включень системи $H_2O + CO_2$. Р. Наккен (1921) припускав можливість існування у природі гетерогенного водного розчину і фази CO_2 -флюїду, а В.А. Калюжний і Л.І. Колтун (1953) (В.А. Калюжний, 1954, 1955) вперше довели наявність їх у природному середовищі. В.А.Калюжний (1960) обґрунтував, що для визначення PT -параметрів консервації включень гомогенного захоплення системи $H_2O + CO_2$ не можна застосовувати метод суміщених PT -діаграм H_2O і CO_2 , оскільки компоненти системи відзначаються повною взаємною розчинністю. Тому T_r включення H_2O гомогенного захоплення відповідає температурі його консервації, а відповідний тиск за цієї температури розраховують за включенням CO_2 гомогенного захоплення. Крім того, В.А. Калюжний запропонував графічний метод визначення PT -параметрів моменту гомогенізації включень $H_2O + CO_2$.

Вчений зазначив, що метод суміщених діаграм ідеально підходить лише для систем, складених індиферентними між собою фазами.

Набуття включеннями рівноважної форми негативного кристала. У мінералах змінного складу перетворення форми флюїдних включень на шляху до утворення негативного кристала супроводжуються перевідкладанням речовини, що відокремлена від основної маси мінералу світловими об'ямівками (смушками Бек-

ке). Оскільки склад перевідкладеної речовини залежить від температури, то за зміною показників її заломлення можна відтворити еволюцію температурного режиму мінералоутворення. У топазі з камерних пегматитів Волині за включеннями зі світловими облямівками встановлено, що на заключному етапі їх становлення температура на короткий час різко зросла до значень, вищих від температури кристалізації основної маси кристала топазу (В.А. Калюжний, Д.К. Возняк, 1973).

Рефрактометричний метод визначення загальної сольової концентрації включень. Метод ґрунтується на мікроскопічному спостереженні повного внутрішнього відбиття від включення з використанням столика Федорова й мікроскопа. Точність методу складає $\pm 0,003$ — $0,005$ одиниць показників заломлення (В.А. Калюжний, 1955). За співвідношеннями між хімічними елементами, отриманими за результатами аналізу водних витяжок, і показником заломлення водного розчину включення можна дізнатись про достовірні значення сольової концентрації багатокомпонентного мінералоутворювального флюїду.

Перенаповнення і відносний вік включень. Г.Г. Леммлейн вперше відзначив: "На лінії перетину двох тріщин різного віку молодша тріщина розкриває включення більш старої, уже залікованої тріщини, і вміст цих включень за складом відповідатиме включенням молодшої тріщини. За складом вмісту тріщин різного віку можна зробити висновок про зміни, що відбуваються у середовищі, яке оточує кристал" (1956). Думку щодо встановлення відносного віку включень успішно розвинув В.А. Калюжний (1960, 1966, 1971). Він вперше використав метод перенаповнення включень для обґрунтування еволюції мінералоутворювальних флюїдів у процесі формування камерних пегматитів Волині та гідротермальних жил Донбасу. На основі визначень відносного віку різних типів вторинних флюїдних включень виявлено важливі особливості зміни температури, тиску, хімічного складу, сольової концентрації розчинів, що брали участь у формуванні цих геологічних об'єктів.

Розтріскування включень. За результатами вивчення розтрісканих включень можна детальніше відтворити процес мінералоутворення, оскільки розтріскані включення фіксують дуже важливі його епізоди. Вперше розтріскані включення описали, вказавши на причину

їх утворення, Г.Г. Леммлейн і М.О. Клія (1954). Вони експериментально відтворили процес розтріскування однофазових водних включень у натрієвій селітрі під час їх нагрівання. В.А. Калюжний (1982) зауважив, що у природних умовах розтріскування включень можливе як внаслідок підвищення температури, так і за різкого скидання флюїдного тиску мінералоутворювального середовища, в якому перебуває кристал. Були встановлені залежності між значеннями температури гомогенізації й агрегатним станом включень води різного наповнення до і після їх розтріскування, а також температурою, що викликала їх розтріскування. T_r розтрісканих включень може бути меншою, близькою або навіть більшою за температуру розтріскування. Виявлені залежності слід брати до уваги у ході відтворення умов природного розтріскування включень.

Під час формування камерних пегматитів Волині проявилось дворазове розтріскування газово-рідких включень у кристалах кварцу, викликане підвищенням температури, що було короткотривалим та різким. Воно зафіксувало важливі епізоди становлення пегматитів.

Мікроколориметричний метод визначення рН розчинів включень. В.А. Калюжний розробив мікроколориметричний метод вимірювання рН розчинів включень, що дозволяє визначати концентрацію водневих іонів у включеннях розміром до $0,2 \times 0,1 \times 0,05$ мм з точністю $\pm 0,2$ — $0,3$. Окрім визначень рН розчинів включень різного наповнення у кварці, топазі, флюориті з різних геологічних об'єктів автор методу провів також цілеспрямовану роботу з виявлення зміни концентрації водневих іонів у розчинах включень від ранніх до більш пізніх на прикладі мінералів камерних пегматитів Волині. На основі отриманих результатів і вивчення мінеральних парагенезисів обґрунтовано два лужних і три кислотних періоди у процесі формування пегматитів. Абсолютні значення рН мінералоутворювальних флюїдів у природному процесі могли бути дещо іншими, хоча тенденція до зміни кислотності водних розчинів, ймовірно, зберігається.

Тривале кипіння водного розчину у включеннях. В.А. Калюжний (1982) дослідив і дав пояснення явищу як завгодно довгого кипіння водного розчину, густина якого близька до критичної, у включеннях у кристалах топазу з камерних пегматитів Волині. На основі отриманих результатів вчений довів, що у природі

окрім короткотривалого кипіння мінералоутворювального розчину внаслідок різкого спаду флюїдного тиску можливе кипіння, що виникає через нерівномірний обігрів гетерогенного флюїду в області температури, дещо нижчої від критичної. Температурний діапазон кипіння розчину тим ширший, чим більша нерівномірність обігріву порожнини, що заповнена флюїдом. Кипіння може відбуватися протягом тривалого часу. Таким чином, виникли відомі первинні включення з великою кількістю твердих фаз у кристалах топазу з камерних пегматитів Волині, що виріс не із магматичного розплаву, а з водного розчину, що кипів, густина якого близька до критичної.

Вуглеводневі включення. В.А. Калюжним зі співробітниками напрацьовано великий обсяг генетичної інформації, що стосується процесів мінералоутворення за участю вуглеводнів у прожилкових мінералах гідротермально-катагенного походження осадових товщ нафтогазоносних формацій. Зокрема, у кварці типу "мармароських діамантів" південно-західного

схилу Українських Карпат виявлено водні й вуглеводневі (від метанових розчинів до легких нафт) включення, тиск у момент консервації яких сягав 250—300 МПа, а температура — 230—240 °С.

Виявлена також стадійність катагенного мінералоутворення та зональність розподілу вуглеводнів за включеннями у мінералах як за латераллю, так і за вертикаллю осадових товщ Львівського палеозойського прогину.

За результатами вивчення включень метанових розчинів у кальцитах з викидів грязьових вулканів Керченського й Таманського п-вів оцінено термобаричні параметри формування їх глибинних осередків.

І, насамкінець, підсумуємо, що В.А. Калюжний багато зробив для того, щоб стало очевидним, що включення неможливо інтерпретувати примітивно, що достовірність відтворення умов мінералоутворення за флюїдними включеннями залежить від багатьох чинників, у тому числі від фаховості, обізнаності та уважності дослідника.

Д.К. Возняк