МІНЕРАЛОГІЧНИЙ ЗБІРНИК
2007. № 57. Вип. 1. С. 17–25

MINERALOGICAL COLLECTION
2007. N 57 (1). P. 17–25

УДК 548.4

ВКЛЮЧЕННЯ В МІНЕРАЛАХ ЯК ОБ'ЄКТИ КРИСТАЛОГРАФІЇ

Г. Кульчицька, Д. Возняк, Д. Черниш

Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення НАН України
03680 м. Київ-142, просп. акад. Палладіна, 34
E-mail: kulchec@igmr.relc.com

Описано трансформацію вчення про включення в мінералах з окремого розділу різних геологічних дисциплін у самостійну науку. Наголошено, що вчення було і є відгалуженням кристалографічної науки. Лише на таких засадах можлива правильна інтерпретація результатів дослідження включень. Пропонуємо до відомих генетичних типів включень додати діагенетичні включення. Тверді, рідкі й газоподібні включення виникають у мінералах унаслідок розпаду ізоморфних і домішкових твердих розчинів. Домішкові тверді розчини утворюються як результат нерівноважного захоплення домішок під час кристалізації мінералу. Діагенетичні включення дають змогу простежити еволюцію флюїдної фази всередині кристалів без обміну з зовнішнім мінералоутворювальним середовищем.

Ключові слова: термобарогеохімія, ексолюційні діагенетичні включення, розпад неізоморфних твердих розчинів, кристалографія.

Учення про флюїдні включення в мінералах і геологічні науки. З часу опублікування 1858 р. класичної статті Г. Сорбі [20], вихід якої часто вважають датою зародження нової науки про флюїдні включення, а її автора – піонером досліджень, включення були в центрі уваги різних геологічних наук. Зазначимо, що Г. Сорбі був "родоначальником мікроскопічної петрографії", петрографією займався і Ф. Циркель, якого Г. Сорбі зумів зацікавити своїми ідеями. Саме у підручнику з петрографії Ф. Циркель зробив перший огляд з цього питання [21].

Незважаючи на те, що Г. Сорбі провів низку експериментів з захоплення включень водорозчинними мінералами, деякі методичні неточності, яких допустилися першовідкривачі, призвели до дискримінації методу серед петрографів; відродження досліджень відбулося вже у XX ст. Включеннями зацікавилися кристалографи. Потреба в п'єзосировині спонукала до прискіпливого вивчення дефектів у кристалах, серед яких важливе місце посідають включення. У цей період працював Г. Леммлейн. Фактично він заклав усі головні підвалини вчення, починаючи від первинності та вторинності утворення включень, аутигенності й ксеногенності їхнього вмісту, гомогенного і протогетерогенного стану до перетворення форми включень під впливом зміни температури, з чим пов'язані такі процеси, як відкладання й перевідкладання материнської речовини на стінках включення, досягнення рівноважної форми від'ємних кристалів, розшнуровування і розтріскування включень. Усі висновки вчений обгрунтував експериментально, документуючи утворення включень у водорозчинних мінералах, і за аналогією переніс їх на природні об'єкти. Переважна більшість цих висновків не заперечена досі, незважаючи на

© Кульчицька Г., Возняк Д., Черниш Д., 2007

таке поширене в геології явище, як конвергенція, коли одні й ті самі наслідки породжені різними причинами. Навпаки, ідеї Г. Леммлейна продовжено в працях послідовників, зокрема В. Калюжного та його учнів.

Якісній зміні розвитку вчення сприяло застосування М. Єрмаковим нагрівальної камери для визначення температури гомогенізації включень. Метод гомогенізації включень нагріванням дав змогу "з мірою і числом" дослідити параметри мінералоутворення, справді перетворити включення на самореєструвальні термометри, як це намагався зробити ще Г. Сорбі. Поява високотемпературних камер розширила можливості дослідження включень у мінералах, що кристалізувалися з магматичних розплавів, а застосування глибокого охолодження допомогло за температурою фазових переходів флюїдів у включеннях розраховувати тиск у середовищі мінералоутворення. Так включення у мінералах з об'єктів дослідження перетворились на *інструмент дослідження*, який давав змогу систематизувати геологічні об'єкти за числовими параметрами. Інтенсивно почала розвиватися нова наука – *мінералогічна термометрія за включеннями* в мінералах [2].

Перспектива, що відкрилася після визначення фізичних параметрів, спонукала до пошуку методів для вивчення хімічного складу включень як реліктів мінералоутворювального середовища. Хімічний напрям розвинувся настільки широко, що це дало підставу класифікувати нову науку як *термодинамічну геохімію* (термобарогеохімію), яка виникла на стику геохімії та мінералогії [4].

Досягнення науки були спрямовані на прикладні цілі, розробку критеріїв рудогенезу, і включення стали невід'ємним атрибутом вчення про корисні копалини. Розвинулася *прикладна термобарогеохімія*, підґрунтя якої закладене й розвинуте Є. Лазьком [13]. Виникла потреба класифікувати включення на підставі тих самих таксономічних категорій, які застосовують у металогенії [15]. Флюїди включень зіставили з рудоутворювальними флюїдними потоками. Вчення про включення вийшло за межі *мінералофлюїдології* [5], *мікрофлюїдології* [6], *мінералогії включень* [19] і перетворилось у загальну флюїдологію.

Як підсумовано, "на сучасному етапі досліджень флюїдних включень головними повинні бути завдання, пов'язані з: визначенням геохімічної (мінералогенічної) спеціалізації мінералотворних флюїдів залежно від умов становлення породних та рудних комплексів; відтворенням джерел та шляхів міграції флюїдних палеосистем; підтвердженням полігенної природи мінералотворних флюїдів; виявленням термобаричних і геохімічних ореолів вуглекислоти і вуглеводневих сполук розшуково-оцінного характеру... ...як основа для вивчення участі мантійних і корових флюїдів різної геохімічної (мінерагенічної) спеціалізації та з'ясування їхньої ролі у формуванні родовищ корисних копалин певного генетичного типу" [14].

З одного боку, приємно усвідомлювати таку глобалізацію вчення про включення, як би його не називали, з іншого, – не може не турбувати відхід від кристалографічних принципів вивчення включень. Треба нагадати слова Г. Леммлейна, що "задовільне наукове вирішення всього складного комплексу питань, пов'язаних з рідкими включеннями, можна зробити лише за злагодженої праці мінералога й геохіміка за участю *кристалографа* і фізико-хіміка" [11].

Науковий бум у колишньому СРСР, зумовлений удосконаленням апаратурної і методичної бази для вивчення включень, до середини 80-х років XX ст. досяг апогею. Скептицизм XIX ст., дискусійний підхід середини XX ст. змінилися сприйняттям нового методу з довірою і без сумнівів щодо доцільності вивчення включень.

На підставі дослідження включень опубліковано тисячі наукових статей. Їх доповнили сотні захищених дисертацій за спеціальностями 04.00.02 – геохімія, 04.00.14 – геологія, розшуки та розвідка рудних і нерудних родовищ, 04.00.08 – петрологія, вулканологія. І лише невеличка частка авторефератів у нашому зібранні відповідає спеціальності 04.00.20 – мінералогія (пізніше мінералогія, кристалографія).

У незалежній Україні тенденція не змінилась, хіба що включення в мінералах почали досліджувати не так часто. Аналіз дисертаційних робіт, захищених у 2000–2007 рр. в Україні за геологічними спеціальностями, відображає невтішну картину. Із загальної кількості дисертацій (понад 230) лише близько 10 % містять результати дослідження включень, переважна більшість з них виконана за спеціальністю "геохімія". Найчастіше включення використовують для з'ясування фізико-хімічних умов процесів мінералоутворення в разі моделювання динаміки формування покладів корисних копалин, а також розширення можливостей залучати включення для вирішення різноманітних прикладних завдань.

На підставі аналізу Паспортів спеціальностей, за якими в Україні присуджують науковий ступінь доктора та кандидата геологічних наук (затверджені постановою президії ВАК України від 14 квітня 1999 р.), треба зазначити, що пряме дослідження включень не входить до визначення формули жодної зі спеціальностей. Проте результати такої роботи можна побачити за фразами "фізико-хімічні умови утворення родовищ", "дослідження мінералів як джерела генетичної інформації, закодованої у їхній формі, анатомії, конституції та властивостях", "моделювання геохімічних процесів, визначення їхніх фізико-хімічних параметрів" тощо.

Нагрівати й гомогенізувати можна все, лиш би витримав мінерал-господар. Найважливіше правильно вибрати об'єкт нагрівання, щоб отримані дані справді відповідали параметрам того чи іншого геологічного процесу. За визначенням В. Калюжного [5], який узагальнив формулювання Г. Леммлейна [12] і М. Єрмакова [3], включення в мінералі – це простір внутрішнього дефекту кристалічної ґратки, заповнений у процесі кристалізації мінералоутворювальним флюїдом або іншою речовиною. Тобто включення – це нерозривний атрибут анатомії кристалів, одна з форм виявлення їхньої дефектності. Саме це фіксує УДК (Універсальна десяткова класифікація. Кн. 1. К., 2000): 548 – кристалографія; .4 – дефекти в кристалах. Включення. Аномалії. Деформації.

Включення як один із проявів дефектності кристалів. Кристалографія як наука про кристалічні тіла вивчає не лише їхню зовнішню форму та внутрішню будову (структуру). Сучасна кристалографія має такі головні розділи: геометрична кристалографія (морфологія кристалів), структурна кристалографія (кристалохімія), кристалофізика, утворення і ріст кристалів (кристалогенезис). У самостійний розділ можна виділити кристалографію реальних кристалів, об'єктом дослідження якої є різні порушення кристалічної ґратки, що виникають під час зародження, росту й перетворення кристалів. Оскільки у природі практично нема ідеальних кристалів і будь-яка кристалічна ґратка містить дефекти різного роду, то ці дефекти треба розглядати як невід'ємну рису кристалічних речовин.

Дефекти в кристалах виникають унаслідок зміни умов їхнього росту чи впливу зовнішніх механічних чинників на кристал, і саме дефекти визначають властивості реальних природних кристалів, що відрізняють їх від ідеальних. За однією з класифікацій [7], дефекти в кристалах поділяють на нульвимірні, або точкові, – це вакансії, міжвузлові атоми; одновимірні, або лінійні, – дислокації; двовимірні, або по-

верхневі, – поверхня кристалічного індивіда; тривимірні, або об'ємні, – включення іншої фази (твердої, рідкої, газоподібної).

Наука про флюїдні включення вивчає тривимірні дефекти. Однак найпоширеніший тип дефектів у кристалах – це вакансії, які для нейтральності компенсовані міжвузловими атомами. Серед міжвузлових атомів найчастіше трапляються "дрібні" атоми летких елементів – гідрогену, бору, карбону, нітрогену тощо. На утворення нерівноважних концентрацій точкових дефектів у процесі росту впливають домішки. Оскільки структура поверхні кристала і механізм росту залежать від розчинника, то іноді сам розчинник трактують як домішку, що наявна у великій кількості [17, т. 3]. Точкові дефекти в кристалі виникають не лише в процесі його росту й охолодження, а також під час пластичних деформацій та опромінення.

Згідно з узагальненнями [17, т. 3], захоплення домішок може бути гомо- і гетерогенним. Домішка в материнському середовищі може бути захоплена кристалом у вигляді окремих атомів, іонів, молекул та комплексів атомного розміру (гомогенне захоплення) або у вигляді колоїдних чи макроскопічних включень (гетерогенне захоплення). Унаслідок гомогенного захоплення утворюються тверді розчини (змішані кристали), концентрація яких для температури кристалізації може бути термодинамічно рівноважною і нерівноважною залежно від кінетики процесу. Гетерогенне захоплення завжди нерівноважне. Концентрація і стан гомогенно й гетерогенно захопленої домішки в об'ємі кристала зрідка бувають однорідними. Виділяють три типи неоднорідностей у розподілі домішок – секторіальні, зональні та структурні. Домішки захоплювані неоднаково не лише різними гранями, а й у різні моменти росту однієї грані.

Отже, з погляду кристалографії нема принципової різниці між точковими дефектами (домішками гомогенного захоплення) і включеннями (домішками гетерогенного захоплення). Різниця полягає у їхньому розмірі – це поодинокі атоми чи скупчення атомів. Концентрація одних та інших може бути нерівноважною, і тоді вони переміщаються у напрямі зменшення внутрішньої енергії.

Факт переміщення включень у тілі кристала відображають класичні праці Г. Леммлейна [10] та Я. Гегузіна [1]. Значні переміщення включень, на думку Е. Реддера [16], спричиняють залишкові статичні напруження у кристалах, унаслідок чого перекристалізація мінералу-господаря відбувається буквально відразу після утворення включень, щоб зменшити напруження, які виникли. Фактично йдеться про діагенетичні перетворення в мінералі відразу після його утворення.

Точкові дефекти ще менше статичні, ніж включення, особливо у випадку нерівноважного захоплення. Якщо вакансії достатньо рухомі, то вони рекомбінують з міжвузловими атомами, дифундують до поверхні кристала або до дислокацій, об'єднуються між собою – зміщуються в положення з мінімальною енергією. Вакансії та міжвузлові атоми можуть також дифундувати до первинних включень, якщо це термодинамічно вигідно. Навіть у випадку захоплення термодинамічно рівноважної кількості дефектів їхня концентрація стає нерівноважною після охолодження твердого тіла. Утворюються пересичені тверді розчини домішкових атомів, власних міжвузлових атомів або вакансій, захоплених кристалом під час росту. Внаслідок розпаду пересиченого твердого розчину в тілі кристала після його утворення можуть утворюватись порожнини та мінеральні включення [17, т. 3].

Про утворення мінеральних включень унаслідок розпаду змішаних кристалів – ізоморфних твердих розчинів – відомо багато. Такі включення отримали назву

ексолюційних. У вітчизняній геологічній літературі закріпилось уявлення, що змішані кристали і тверді розчини стосуються лише ізоморфних заміщень, а ексолюційні включення тотожні продуктам розпаду ізоморфних твердих розчинів. Однак ще Г. Леммлейн [9] зазначав про існування "аномальних змішаних кристалів", які, на відміну від "гомальних", для яких необхідна тривимірна подібність кристалів, утворюються за умови двовимірної подібності й тісно пов'язані з явищами адсорбції домішок кристалічною поверхнею. З погляду кристалографії, "існує багато різних варіантів входження атомів домішок у кристалічну ґратку, починаючи від ізоморфних заміщень з безперервним рядом твердих розчинів і закінчуючи проникненням атомів у нові позиції зі зміною структури в цілому" [17, т. 2]. Саме продукт розпаду останнього варіанта твердих розчинів мав на увазі Е. Реддер, виділяючи новий тип – *ексолюційні* включення, "які не вписуються в жодну з трьох категорій, що класифікують включення за їхнім генезисом, оскільки вони утворюються внаслідок внутрішніх ізохімічних процесів, що відбуваються у кристалах" [16, с. 74].

У книзі Е. Реддер користувався генетичною класифікацією з тричленним поділом включень на первинні, псевдовторинні і вторинні, де нема місця для ексолюційних включень. Зате ці включення можна вписати в класифікації Г. Леммлейна [12] та В. Калюжного [5], де, окрім генетичного чинника (первині чи вторинні), використано чинник часу: сингенетичні чи епігенетичні включення. Ексолюційні включення не можна зачислити до первинних, оскільки вони не захоплені під час росту кристала. Це вторинні включення. Однак це не епігенетичні включення, пов'язані із заліковуванням тріщин. Утворення тріщин знаменує етап руйнування кристала, а ексолюційні включення формуються в стадію термодинамічного врівноваження кристала, що первинно був нерівноважною фізико-хімічною системою. На нашу думку, це діагенетична стадія перетворення мінералу, подібно до того змісту, що закладений у цей термін у літології й петрології. Розпад твердих розчинів – це один з процесів, що відбувається в стадію магматичного діагенезу. Тому ексолюційні включення як продукти розпаду твердих розчинів, ізоморфних чи домішкових, треба зачислити до вторинних діагенетичних включень.

Безумовно, розпад твердих розчинів та виділення нової фази можливе за достатньої рухомості домішкових або міжвузлових атомів і вакансій. Найсприятливіші умови для утворення точкових дефектів виникають під час високотемпературної кристалізації з розплаву. Оскільки густина кристалів на декілька відсотків більша, ніж розплаву, то під час росту кристали захоплюють дефекти в нерівноважній концентрації. Охолодження кристалів створює ще більше пересичення домішкового й вакансійного твердого розчину. Розпад твердого розчину призводить до утворення мікропор, зокрема дископодібної форми [17, т. 3]. Унаслідок сегрегації домішок формуються мінеральні та флюїдні фази, які заповнюють мікропори.

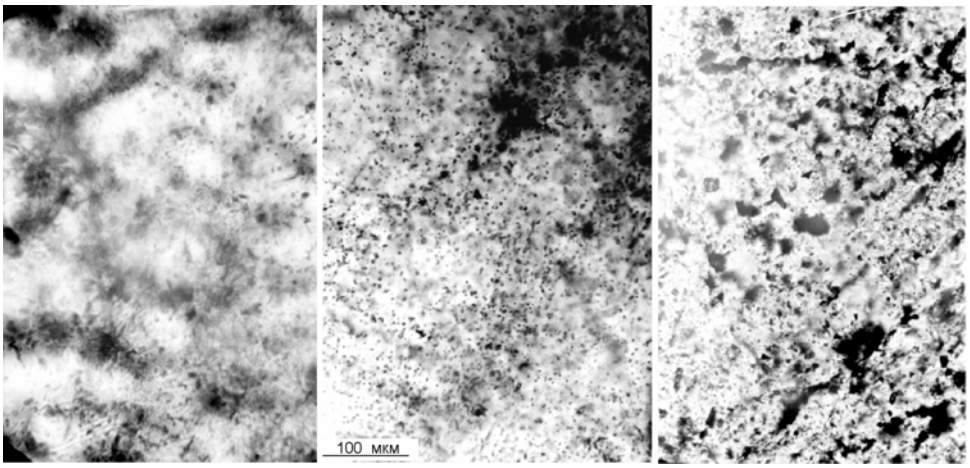
Дуже багаті на такі включення кристали флюориту з сієнітів Азовського масиву (Приазовський блок УЩ). Причому простежується "спеціалізація" октаедричних сіток флюориту: тверді й рідкі включення приурочені до сіток з різними кристалографічними індексами. Включення з водним розчином найчастіше приурочені до однієї з октаедричних площин, тоді як інші три "окуповані" твердими включеннями. "Спеціалізація" сіток існує також для твердих включень: у будь-якому разі в одних площинах більше голчастих виділень апатиту, в інших – пластинчастих виділень силікатів заліза. Це пов'язане з вибірковим поглинанням гранями флюориту певних домішок. На наш погляд, твердий домішковий розчин, що утворився внаслідок

високотемпературної нерівноважної кристалізації флюориту близько 800 ºС, зі зниженням температури досяг ще більшого пересичення домішками і розпався з переміщенням неструктурних атомів у ділянки меншої щільності, якими є площини спайності. Оскільки під час кристалізації певні грані кристала поглинали різні домішки, то у прилеглі площини спайності мігрували різні компоненти, що утворили протилежні за складом включення. Подібне розмаїття діагенетичних включень простежено в анортоклазі з сієнітів, однак їхня приуроченість до дислокацій не така чітка. Розміщення діагенетичних включень не відрізняється від первинних сингенетичних включень, що містяться в тих самих кристалах; вони поступаються лише розміром і різноманітніші за складом. Без урахування діагенетичної природи частини включень спочатку зроблено висновок про надзвичайну гетерогенізацію материнського розплаву сієнітів [8]. Хоча така сама різноманітність може бути спричинена зміною рухомості домішкових атомів зі зниженням температури.

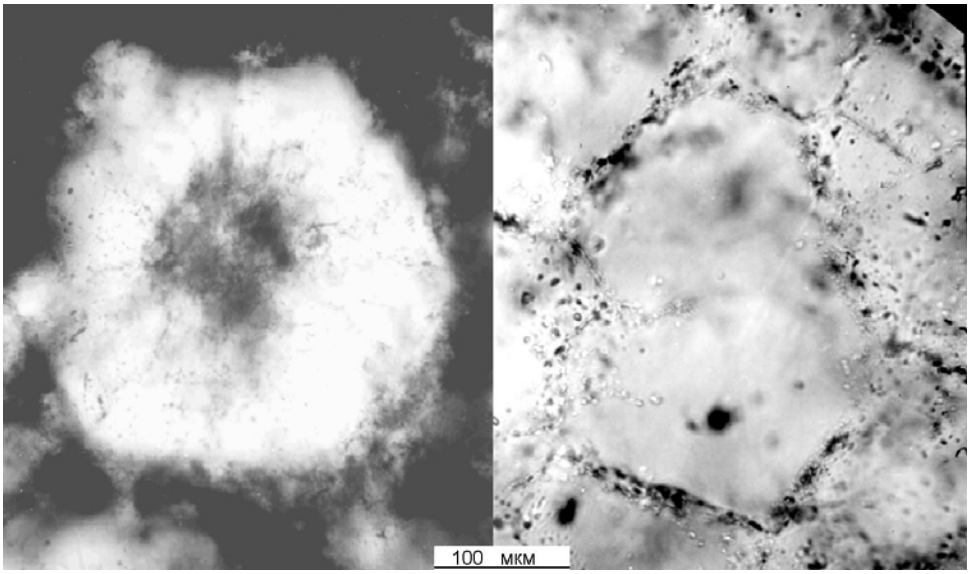
Велику подібність до мінералів, що утворилися з розплаву, виявляють індивіди жильного кварцу. Деякі з них бувають пересичені включеннями, розмір яких менший від роздільної здатності оптичних мікроскопів, а концентрація видимих включень перевищує реально можливе їх утворення під час заліковування тріщин (див. рисунок, *а*). Такі включення могли утворитися внаслідок сегрегації точкових дефектів, захоплених кристалами в процесі розкристалізації гелю. Залежно від анізотропії напружень у кристалі вони можуть концентруватися роями, смугами, в ядрі зерен, у периферійній частині тощо (див. рисунок, *б*). Саме включення у жильному кварці навів Е. Реддер як приклад ексолюційних включень.

Про існування в жильному кварці дуже дрібних дефектів з леткими елементами свідчать продукти піролізу мінералу. Після декрепітації головної частини флюїдних включень, яка відбувається між 400 і 500 ºС, газовиділення не зменшується, а навпаки, часто посилюється з чітким максимумом близько 600–650 ºС. Зазначимо, що багато інших силікатів мають максимум газовиділення близько 600 ºС.

Як відомо, у кварцових жилах огранені кристали і зональний ріст трапляються вкрай зрідка. Це передбачає інший механізм їхньої кристалізації порівняно з кварцом у порожнинах альпійських жил і камерних пегматитів. Неодноразово у геологічній літературі висловлювали думку про кристалізацію жильного кварцу з гелів кремнієвої кислоти. За винятком лужного середовища, кремнієва кислота, яка має велику здатність до поліконденсації, так чи інакше проходить через стадію гелю, утворення якого відбувається в широкому діапазоні pH – від 2,0 до 9,0. Механізм гелеутворення ще не вивчений [18], однак саме кристалізація з гелів сприяє захопленню найбільшої кількості домішок, у тім числі й розчинника. Хоча під час кристалізації з гелів температура не може бути високою, рухомість домішок забезпечена їхньою леткістю. Домішки з леткими елементами переміщаються в кристалі у місця зниженої густини й навіть за його межі. Справді, переважна більшість включень у жильному кварці – це включення летких сполук: N_2, CH_4, CO_2, H_2O.



а



б

Розмір (*а*) і розміщення (*б*) включень у жильному кварці.

Включення у жильному кварці ще потребують осмислення. Оскільки виражених зон росту нема, то включення в ньому звичайно класифікують або як умовно первинні і псевдовторинні, або вторинні ранні I, ранні II тощо, що відображають послідовну зміну складу і стану флюїдної системи зі зниженням температури. Те саме фіксують діагенетичні включення. Проте, як зазначив Е. Реддер [16], різниця між цими типами включень полягає в тому, що перші зафіксували обмін флюїду з довколишніми мінеральними асоціаціями, тоді як склад діагенетичних включень перебуває у рівновазі лише з кварцом.

Ще один аспект пов'язаний з густиною флюїду. Вплив так званого автоклавного ефекту, спричиненого стінками мінералу, може зумовити утворення діагенетичних

флюїдних включень, густина яких перевищує густину навколишнього флюїду. Якщо генетична належність включення визначена неточно, то це призведе до завищення розрахунків тиску в середовищі мінералоутворення. Дуже важливо виявляти такі включення, щоб з найбільшою вірогідністю реконструювати всі стадії мінералоутворювального процесу. Діагенетичні включення є не менш інформативними, ніж первинні й вторинні сингенетичні включення в мінералі.

З погляду кристалографії флюїдні включення в мінералах є макродефектами, лише окремим випадком вираження дефектності кристалів. З появою нової апаратури, удосконаленням електронної мікроскопії, спектроскопічних методів тощо наука отримуватиме дані про склад і властивості щораз дрібніших включень, стираючи грані між макро- і мікродефектами – невід'ємними атрибутами анатомії кристалів.

1. *Гегузин Я.Е.* Механизмы и кинетика преобразования формы включений в кристаллах // Проблемы современной кристаллографии. М., 1975. С. 110–127.
2. *Ермаков Н.П.* Геохимические системы включений в минералах. М., 1972.
3. *Ермаков Н.П.* Исследование минералообразующих растворов. Харьков, 1950.
4. *Ермаков Н.П., Долгов Ю.А.* Термобарогеохимия. М., 1979.
5. *Калюжный В.А.* Основы учения о минералообразующих флюидах. Киев, 1982.
6. *Кигай И.Н.* О некоторых достижениях и просчетах микрофлюидологии (термобарогеохимии) второй половины XX века // Тр. XI Междунар. конф. по термобарогеохимии. Александров, 2003. С. 3–40.
7. *Козлова О.Г.* Рост и морфология кристаллов. М., 1972.
8. *Кульчицкая А.А., Мельников В.С.* Включения магматических расплавов в минералах Азовского редкометального месторождения (Украинский щит) // Тр. XI Междунар. конф. по термобарогеохимии. Александров, 2003. С. 48–51.
9. *Леммлейн Г.Г.* Секториальное строение кристалла. М.;Л., 1948.
10. *Леммлейн Г.Г.* Перемещение жидкого включения в кристалле в направлении к источнику тепла // Докл. АН СССР. 1952. Т. 85. № 2. С. 325–328.
11. *Леммлейн Г.Г.* Исследование образования жидких включений в кристаллах // Вопросы геохимии и минералогии. М., 1956. С. 139–141.
12. *Леммлейн Г.Г.* Классификация жидких включений в минералах // Зап. Всесоюз. минерал. об-ва. 1959. Т. 88. № 2. С. 137–143.
13. *Ляхов Ю.В., Павлунь М.М.* Професор Є.М. Лазько – ідеолог та засновник Львівської наукової школи прикладної термобарогеохімії постмагматичних рудних формацій // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. геол. 2005. Вип. 19. С. 22–27.
14. *Наумко І., Калюжний В., Братусь В.* та ін. Учення про мінералотворні флюїди: пріоритетні завдання розвитку на сучасному етапі // Мінерал. зб. 2000. № 50. Вип. 2. С. 22–30.
15. *Попівняк І.* Поширення флюїдних включень і нові підходи до їхньої генетичної класифікації // Мінерал. зб. 2000. № 50. Вип. 1. С. 119–136.
16. *Рёддер Э.* Флюидные включения в минералах: В 2 т. Т. 1: Природа включений и методы их исследования. М., 1987.
17. Современная кристаллография: В 4 т. Т. 2: Структура кристаллов / Вайнштейн Б.К., Фридкин В.М., Инденбом В.Л. М., 1979; Т. 3: Образование кристаллов / Чернов А.А., Гиваргизов Е.Н., Багдасаров Х.С. и др. М., 1980.

18. *Шабанова Н.А., Саркисов П.Д.* Основы золь-гель технологии нанодисперсного кремнезема. М., 2004.
19. *He Zhili.* Welcoming speech and APIFIS work report // Modern methods of research and prospects of inclusion application of mineral-forming media in science and industry APIFIS–III: Materials of the Int. Symp. Tashkent: T.S.T.U. named after Abu Raikhan Beruni, 2006. P. 7–11.
20. *Sorby H.C.* On the microscopic structure of crystals, indicating the origin of minerals and rocks // Geol. Soc. London Quart. Journ. 1858. Vol. 14. Pt. 1. P. 453–500.
21. *Zirkel F.* Lehrbuch der Petrographie. Bd. 1. Leipzig, 1893. S. 166–192.

INCLUSIONS IN MINERALS AS THE OBJECTS OF CRYSTALLOGRAPHY

G. Kul'chyts'ka, D. Voznyak, D. Chernysh

Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of NASU
Palladin Av. 34, UA – 03680 Kyiv, Ukraine
E-mail: kulchec@igmr.relc.com

The article introduces the development of inclusions in minerals study from a separate department of geological disciplines to an autonomous science. It is stressed that the study always were and continue to be a branch of crystallographic science. Only on such principles correct interpretation of inclusion data is possible. It is recommended to add diagenetic inclusions in the list of known genetic types of inclusions. Solid, liquid and gaseous inclusions arise up in minerals as a result of disintegration of isomorphic and admixture solid solutions. The last forms in the result of unequal capture of admixtures by the crystallizing mineral. Diagenetic inclusions enable to trace the fluid evolution inside crystals without an exchange with an external mineral-forming environment.

Key words: thermobarogeochemistry, exsolution diagenetic inclusions, disintegration of nonisomorphic solid solutions, crystallography.

Стаття надійшла до редколегії 21.05.2007
Прийнята до друку 26.06.2007