

УДК 549.2:548.4–134

ПРОЛІТИЧНА ГАЗОВА ХРОМАТОГРАФІЯ МІНЕРАЛІВ ЯК НОВИЙ МЕТОД ГЕНЕТИЧНОЇ МІНЕРАЛОГІЇ

Г. Кульчицька

*Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М.П. Семененка НАН України
03680 м. Київ, просп. акад. Палладіна, 34
E-mail: kulchec@igmof.gov.ua*

Новий метод генетичної мінералогії ґрунтується на порівнянні складу всіх летких компонентів мінералу. Газово-рідкі включення у мінералах, які давно використовують для реконструкції умов мінералоутворення, є лише однією категорією летких компонентів. Окрім летких сполук, що механічно утримуються у включеннях або фізично адсорбовані у відкритих порах, кристали містять прототипи летких сполук. Це хімічні групи з леткими елементами, розміщені у вузлах кристалічної ґратки або в її дефектах, що слугують джерелом летких сполук під час піролізу. Газопролітичні спектри мінералів або їхніх парагенетичних асоціацій, які отримують під час нагрівання мінеральної проби від 50 до 1 050 °С, характеризують виділення всіх категорій летких компонентів залежно від температури. Кількість і динаміка виділення найпоширеніших сполук (H₂O, H₂, CO₂, CO і CH₄) пов'язані з температурними, баричними і хімічними параметрами середовища, у якому кристалізувалися мінерали парагенезису. Окремі легкі сполуки по-різному реагують на зміну тих чи інших параметрів, що дає змогу частково розмежувати вплив кожного з них.

Ключові слова: газова хроматографія, леткі компоненти мінералів, флюїдні включення, піроліз, типоморфізм, *PTX*-параметри, генетична мінералогія.

Пріоритетним завданням генетичної мінералогії є реконструкція умов мінералоутворення. Бажано для кожного мінералоутворювального процесу визначити температуру, тиск, геохімічний тип середовища. Найбільше на зміну *PTX*-параметрів у мінералоутворювальному середовищі реагують легкі компоненти мінералів, тому їх здавна залучають для вирішення завдань генетичної мінералогії. Загальновідомий спосіб реконструкції умов мінералоутворення ґрунтується на виявленні й дослідженні захоплених мінералом часточок флюїдного середовища, у якому він кристалізувався, – флюїдних включень у мінералах. Одні флюїдні компоненти, такі як рідини з низькою температурою кипіння, реагують на зміну тиску, інші, наприклад, вода і водні розчини, сольові й силікатні розплави, – більш чутливі до зміни температури. Спостерігаючи за допомогою оптичного мікроскопа за фазовими змінами в законсервованому флюїді під час нагрівання чи охолодження, заміряють мінімальну температуру консервації флюїду, фізичним способом визначають його густину, склад розчинених газів і солей. За густиною флюїдів обчислюють баричні умови мінералоутворення. У рідкісних випадках (в особливо великих включеннях) вдається визначити склад консерванту хімічним способом.

За 150 років розвитку вчення про флюїдні включення у мінералах завоювало авторитет, закріплений великим дослідницьким досвідом, теоретичними розрахунками й експериментальним вивченням систем, аналогічних до природних. Єдина проблема полягає

в тому, що флюїдні включення, придатні для мікроскопічних досліджень, містить мізерна частка природних кристалів, тоді як для реконструкції умов мінералоутворення необхідно простежити зміну параметрів від початку до кінця мінералоутворення, дослідивши включення в усіх мінералах парагенетичної асоціації. Є низка чинників, які ускладнюють визначення параметрів навіть тоді, коли мінерал містить включення необхідного розміру. Недоступні для оптичних приладів усі непрозорі рудні мінерали (opaque minerals), генезис яких найчастіше цікавить дослідників. Прозорі мінерали, у структурі яких є атоми заліза або інших перехідних елементів, чорніють під час нагрівання, що потребує застосування спеціальних камер з безкисневою атмосферою. Інші камери, з високим тиском усередині, потрібні для дослідження включень щільного флюїду в мінералах крихких чи з досконалою спайністю.

Леткі компоненти мінералів. Леткі сполуки, тобто такі, що мають властивість випаровуватися з мінералу за кімнатної температури й атмосферного тиску, належать до поширених, часто єдиних складників флюїдних включень. Це сполуки хімічних елементів, розміщених здебільшого у перших рядах Періодичної системи, хоча леткими, практично, можуть бути сполуки всіх елементів, особливо за відновних умов. Серед складників включень домінують H_2O і CO_2 , часто містяться N_2 і CH_4 , трапляються CO , H_2S , C_2H_6 та інші вуглеводні, благородні гази.

Поширення летких компонентів у мінералі не обмежене флюїдними включеннями (рис. 1), що є лише одним із типів дефектів. Кожен кристал містить низку дефектів: точкові (окремі атоми, молекули, їхні асоціації), лінійні (поверхня), площинні (тріщини) і тривимірні (пори). Леткі компоненти пов'язані з усіма дефектами і часто є причиною утворення дефектів. Флюїдні включення – це закриті тривимірні дефекти. У закритих дефектах-порах леткі сполуки утримувані механічно.



Рис. 1. Поширення летких сполук у мінералі.

Інші леткі сполуки містяться у відкритих порах-дефектах. Утримування газів на відкритій поверхні (пори, тріщини, поверхня кристала) відбувається завдяки фізичній адсорбції. Зазвичай, це полярні молекули, що мають нерівномірний розподіл електричного заряду. Типовим їхнім представником є молекули води. До категорії фізично адсорбованих компонентів можна зачислити також міжпакетну, кристалізаційну і цеолітну воду, хоча для її утримування частково задіяні також механічні сили [2].

Окрему категорію становлять хімічно зв'язані леткі компоненти. Їм властиве значне поширення і найбільше розмаїття. На відміну від механічно законсервованих у включеннях і фізично адсорбованих газів, хімічно сорбовані компоненти містяться в мінералі не як молекули, а у вигляді різноманітних хімічних груп з леткими елементами. Хімічні групи (гідроксильна, карбонатна, карбоксильна, сульфідна, сульфатна тощо) і комплекси з леткими елементами в тій чи іншій кількості містяться в усіх мінералах. В одних вони наявні як вузлові елементи структури, за якими виділяють цілі класи мінералів (карбонати, сульфати, нітрати, підкласи з додатковими аніонами), в інших пов'язані з дефектами – від точкових до лінійних і площинних. Це прекурсори (прототипи) летких сполук. Під дією різних чинників групи розпадаються і дають початок молекулам летких сполук. Одним з таких чинників є підвищення температури. Під час нагрівання мінералу (піролізу) групи з леткими елементами дисоціюють і конденсують, утворюючи леткі молекули.

Зв'язок між леткими компонентами мінералу. Всі три категорії летких компонентів, що їх утримують у кристалі фізичні (механічно або електричним зарядом) і хімічні сили, перебувають у рівновазі відповідно до тих умов, у яких перебуває мінерал. Межа між виділеними категоріями летких компонентів певною мірою умовна.

По-перше, кристал, що росте в будь-якому середовищі, відіграє роль сепаратора, диференціюючи материнський флюїд [1]. Кристал поглинає одні розчинені компоненти і відштовхує інші, які акумулюються перед гранню, що росте. Як крайнє вираження кристалізаційної диференціації перед гранню виникають окремі фази з домішок – тверді, рідкі, газоподібні. Накопичення летких і нелетких домішок є причиною втрати стійкості грані, що призводить, як відомо [10], до утворення сингенетичних включень. Роль домішки може відігравати сам розчинник, якщо утворюється його надлишок.

По-друге, рідкі й газоподібні включення мінерал може захоплювати не лише ззовні як частинки мінералоутворювального середовища; існують усі передумови для утворення включень усередині кристала внаслідок стікання домішок летких елементів, захоплених мінералом під час швидкої кристалізації за умов високого пересичення. В процесі посткристалізаційного ущільнення мінералу точкові дефекти, зумовлені домішками з леткими елементами, можуть сегрегувати і перетворюватися на тривимірні дефекти – флюїдні включення, подібно до того, як утворюються ексклюзійні включення, які є наслідком розпаду ізоморфних твердих розчинів. Флюїдні включення, зазвичай, утворюються внаслідок розпаду неізоморфних твердих розчинів. І чим вища температура кристалізації мінералу, тим імовірнішим є такий процес [10]. Утворення включень також можна спровокувати високоенергетичним опроміненням [15].

Флюїд у включеннях і відкритих порах перебуває в рівновазі з внутрішньою поверхнею пори, стінки якої завжди вкриті хімічними групами з леткими елементами. Молекули адсорбованої води у прилеглому шарі настільки тісно пов'язані з поверхнею пори, що, по суті, це вже не молекули, а гідроксильні групи [2].

Зі зміною умов у природі чи в лабораторії змінюється також рівновага між різними видами летких компонентів. Є дані, що у високотемпературному або іншому енергетичному полі флюїдні включення можуть “розсмоктуватися”, тобто леткі компоненти тривимірних дефектів можуть рівномірно розподілятися між іншими дефектами у кристалі [7, 11]. З іншого боку, розкриття включень унаслідок подрібнення призводить до адсорбції законсервованих флюїдів механоактивованою поверхнею кристала, на що неодноразово звертали увагу [4, 8, 9].

Фізичне і хімічне сорбування компонентів включень поверхнею, активованою подрібненням, продемонстрували досліди з піролізу кварцу [5]. Вони засвідчили виняткове значення стандартизації умов підготовки проби для дослідження складу летких компонентів і вибору розміру фракції, зокрема. Внаслідок подрібнення змінюється не лише кількість легкої сполуки, що утворюється під час піролізу, а також її позиція в мінералі (рис. 2). Одні зі сполук переходять у категорію хімічних груп ($\text{CH}_4 \rightarrow \text{CH}_3^-$), інші фізично сорбуються у порах між дисперсними частинками мінералу (H_2O , CO). Якщо лабораторна підготовка мінеральних проб відбувається строго регламентовано, то різний склад отриманої суміші для хімічно подібних мінералів треба приписати неоднаковому складу летких домішок, а отже, різниці в умовах кристалізації мінералів, які призвели до захоплення саме таких домішок. Зіставивши отримані дані з банком даних для цієї групи мінералів, можна отримати інформацію про особливість умов кристалізації конкретного взірця.

Визначення складу летких компонентів. Є різні способи вилучення летких компонентів з мінералу (нагріванням, розчиненням, подрібненням) і методи визначення їхнього складу (газохроматографічний, мас-спектрометричний, волюмометричний) [4, 12–14]. Ми розглянемо метод газохроматографічного визначення летких продуктів піролізу мінералів. Під час нагрівання мінеральної проби з певними розміром частинок і масою в інертній атмосфері від 50 до 1 050 °C у легкий стан поступово переводять фізично адсорбовані молекули \rightarrow компоненти флюїдних включень \rightarrow хімічно сорбовані компоненти. Температура випаровування окремих категорій летких компонентів різна, що дає змогу частково розмежувати джерело надходження піролізних газів. Водночас, як це видно з рис. 3, температурні межі виділення летких компонентів перекриваються, тому більш-менш достовірно визначити джерело газу можна лише в тому випадку, коли воно домінує. Наприклад, чіткий максимум виділення H_2O до 250 °C свідчить про велику частку адсорбованої води, а максимуми близько 450 °C – про велику кількість закритих пор, тобто флюїдних включень. Понад 650 °C внесок фізично сорбованих і законсервованих газів знижується до мінімуму, піролізна суміш поповнюється леткими сполуками винятково з хімічних груп, розміщених або закономірно у вузлах кристалічної ґратки, або в міжвузлях як дефекти. Максимуми, виявлені на кривих у високотемпературному інтервалі, зазвичай, зумовлені деструкцією хімічних груп. На жаль, піролізній хроматографії не під силу повністю відмежувати гази, що містилися у мінералі як молекулярні сполуки, від тих, що утворилися вже в процесі піролізу внаслідок дисоціації і конденсації груп з леткими елементами.

Кількість газоподібних сполук, які можна визначити хроматографічно, залежить від вибраного сорбенту й особливостей методики. Використання полісорбу-1 у поєднанні з кріоприставкою [4] дає змогу визначити на одному приладі з однієї наважки понад два десятки летких сполук H, C, O, N та S – майже всі найпоширеніші леткі компоненти мінералів. Однак лише чотири з них (H_2 , H_2O , CO і CO_2) утворюються під час піролізу будь-якого мінералу й у всіх температурних інтервалах. Водночас H_2 до 250 °C практично не фіксується, оскільки наявність адсорбованого або законсервованого водню вкрай мала. Постійним компонентом газової суміші є також CH_4 , проте його кількість у крайніх частинах температурної шкали часто знижується нижче чутливості приладу.

Газопіролітичні спектри. Виділення окремих летких сполук залежно від температури піролізу характеризує відповідна крива. Сукупність кривих формує газопіролітичний спектр, який є типоморфною ознакою мінералу, що утворився за певних умов.

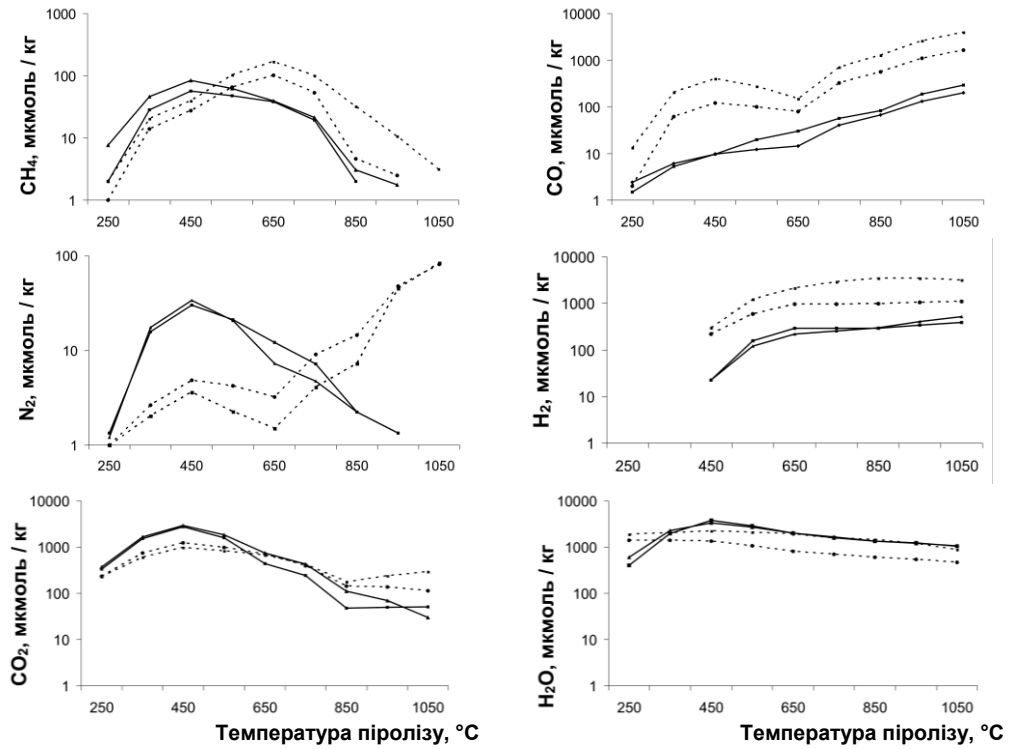


Рис. 2. Піролітичні криві виділення окремих летких сполук з різних фракцій двох взірців жильного кварцу. Суцільна лінія – фракція +1–2, штрихова – фракція –0,25 мм.

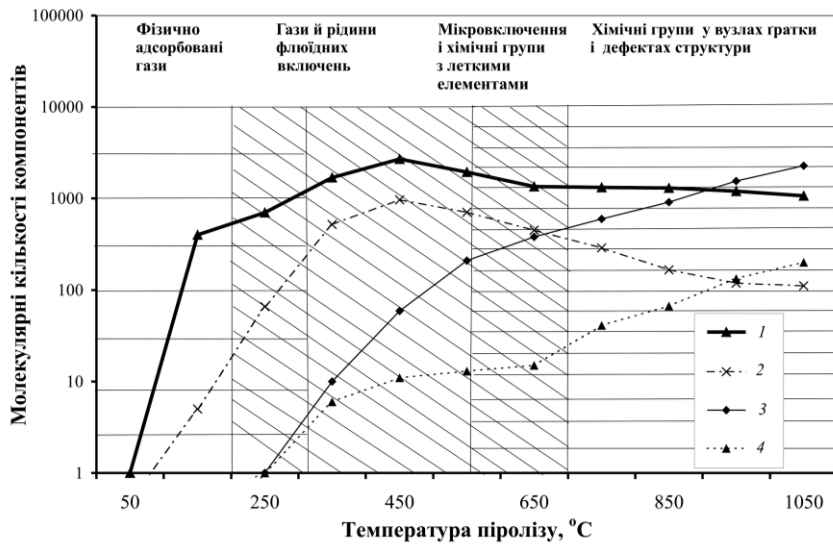


Рис. 3. Температурне розмежування джерел летких компонентів у мінералі. Криві виділення H₂O (1), CO₂ (2), N₂ (3) і CO (4) залежно від температури піролізу.

Типоморфними є кількість кривих, їхня форма, взаємне розташування і розміщення в координатах *температура піролізу–кількість газу*. На відміну від індивідуальних флюїдних включень, газопіролітичні спектри дають змогу порівнювати між собою всі мінерали подібного складу незалежно від їхніх фізичних властивостей. Для порівняння задіяні головні криві H_2 , H_2O , CO , CO_2 , а також CH_4 , оскільки ці гази є постійними елементами газопіролітичного спектра.

Леткі компоненти нерівномірно розподілені між парагенетичними мінералами. Це стосується не лише хімічних груп структури. Нерівномірно розподілені також законсервовані й адсорбовані флюїди.

Слушно, на наш погляд є думка [1], що кристалізаційна диференціація речовини спричиняє різного ступеня неоднорідність материнського флюїду поблизу граничного шару грані, що приводить до різного складу сингенетичних включень не лише у різних мінералах, а навіть в одному кристалі. Різною є також здатність мінералів до утримання законсервованих флюїдів. Тому газопіролітичні спектри парагенетичної асоціації точніше характеризують флюїдний режим середовища мінералоутворення, ніж окремі мінерали. Чим ширша мінеральна асоціація охоплена аналізом, тим точніше отримані піролізні характеристики відображають умови її формування. Порівнюючи між собою газопіролітичні спектри різних парагенезисів, можна виявити особливості їхнього формування. Найпомітніші ці особливості, якщо порівнювати однотипні парагенезиси, на кшталт однотипних магматичних порід, які утворилися в різних геологічних структурах, блоках щита або навіть на різних щитах. Однак склад продуктів піролізу асоціації не тотожний складу летких компонентів у середовищі мінералоутворення, він лише відображає термобарогеохімічні особливості мінералоутворення.

Оскільки окремі леткі сполуки по-різному реагують на зміну тих чи інших параметрів середовища, то кількість окремих сполук і їхніх прототипів у мінералі опосередковано залежить від цих параметрів, тобто співвідношення летких сполук у піролізній суміші змінюватиметься відповідно до зміни *PTX*-параметрів у кристалізаційному середовищі.

Кількість H_2O у мінералах найбільше залежить від температури їхнього утворення. Продукти піролізу екзогенних утворень містять на один–два десяткових порядки більше води, ніж гранітоїди; основна її частина виділяється до $650\text{ }^\circ\text{C}$. Пухка будова екзогенних порід і мінералів сприяє утримувannya великої кількості води у відкритих і закритих порах, у тім числі кристалізаційної й цеолітної. За умов метаморфізму саме вона зазнає відчутних змін. Чіткий мінімум поблизу $450\text{ }^\circ\text{C}$ на кривих виділення води свідчить про витіснення молекулярної води з мінералів під час літостатичного ущільнення аргіліту та підсилення цього процесу за умов зеленосланцевої й амфіболітової фації метаморфізму (рис. 4).

На кількість H_2O , яка виділяється вище $650\text{ }^\circ\text{C}$, тобто утвореної в процесі піролізу з гідроксилів, впливає найближче катіонне оточення ОН-груп. У кислих породах дисоціація цих груп зміщена в бік утворення H_2 , у лужних домінує H_2O .

Кількість CO_2 у мінералах відчутніше залежить від флюїдного тиску, і не стільки кількість CO_2 , як співвідношення CO_2/CO . В екзогенних мінералах між оксидами вуглецю усталюється співвідношення на рівні 10:1, витримане в усіх температурних інтервалах. Підвищення тиску призводить до різкого зниження кількості утвореного CO між 450 і $650\text{ }^\circ\text{C}$ та зростання відповідного співвідношення в цьому температурному інтервалі в десятки й сотні разів. Зменшення CO_2/CO або $CO_2/(CO+CH_4)$ у цьому інтервалі (аж до $CO > CO_2$) можна трактувати як наслідок відновних умов.

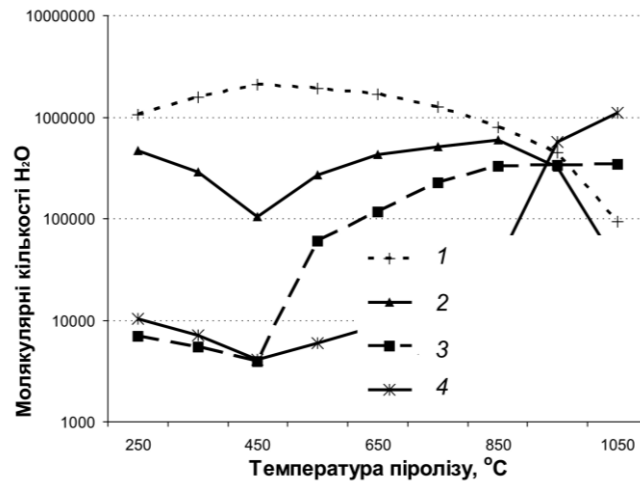


Рис. 4. Зміна форми кривих виділення води залежно від ступеня метаморфізму бентоніту (1), аргілітового сланцю (2), хлоритового сланцю (3) та амфіболіту (4).

Якщо підвищення флюїдного тиску в середовищі сприяє захопленню летких компонентів, то висока температура сприяє їхньому випаровуванню. Газопіролітичні спектри у цьому аспекті відображають рівнодійну між цими двома різнонапрямленими силами. Якщо порівнювати не криві виділення окремих компонентів, а співвідношення кривих, то всі отримані газопіролітичні спектри можна розділити на дві групи: в одній $H_2O/H_2 > CO_2/CO$, в іншій $CO_2/CO \geq H_2O/H_2$. У першому випадку “перемогла” температура, середовище було відкрите для CO_2 , у другому – переважив тиск, що призвело до накопичення CO_2 у вигляді або карбонатних груп, або молекул у включеннях, або обох разом.

Отже, легкі компоненти мінералів – цілісна, органічно пов’язана система. Зміна умов існування мінералів у природі або лабораторії призводить до обміну компонентами між джерелами летких компонентів.

Газопіролітичні спектри, отримані для окремих мінералів чи мінерального парагенезису, – це термобарогеохімічний показник середовища їхнього формування. Однак склад продуктів піролізу мінералів не тотожний складу мінералоутворювального середовища. На цьому етапі можна лише порівнювати склад продуктів піролізу мінералів, виражений у вигляді газопіролітичних спектрів. Найпомітніше впливають на форму кривих такі чинники: для H_2O – температура і літостатичний тиск; для CO_2 – температура і флюїдний тиск; для H_2 – кислотні характеристики породи; для CO і CH_4 – потенціал кисню і флюїдний тиск.

Одні з чинників впливають на загальну кількість легкої сполуки, що утримується в мінералі, тобто на положення відповідної кривої на діаграмі, інші – на динаміку її виділення з підвищенням температури, тобто на нахил кривої. Одні визначають будову правої частини спектра, інші – лівої.

Метод піролітичної газової хроматографії дає змогу порівнювати між собою всі мінеральні комплекси, а зафіксовані розбіжності інтерпретувати як наслідок різних умов їхньої кристалізації. Для успішного розвитку методу необхідно збільшувати аналітичну й експериментальну базу, розширювати банк даних синтетичних аналогів порід.

1. *Воробьев Ю.К.* Закономерности роста и эволюции кристаллов минералов. М., 1990. 184 с.
2. *Габуда С.П.* Связанная вода. Факты и гипотезы. Новосибирск, 1982. 157 с.
3. *Ковалишин З.И.* Влияние измельчаемых минералов на выделение газов из включений // Минералогическая термометрия и барометрия. М., 1968. Т. 2. С. 31–33.
4. *Кульчицкая А.А., Возняк Д.К., Галабурда Ю.А., Павлишин В.И.* Некоторые результаты высокотемпературной пиролитической газовой хроматографии минералов пегматитов // Минерал. журн. 1992. Т. 14. № 6. С. 88–98.
5. *Кульчицка Г.О., Возняк Д.К., Павлишин В.И., Галабурда Ю.А.* Леткі елементи у жильному кварці України // Минерал. журн. 2000. Т. 22. № 4. С. 19–30.
6. *Летников Ф.А., Шкарупа Т.А.* Методическое руководство по хроматографическому анализу воды и газов в горных породах и минералах. Иркутск, 1977. 25 с.
7. Минералогия и кристаллография ювелирных разновидностей кремнезема / В.Г. Балакирев, Е.Я. Киевленко, Л.В. Никольская и др. М., 1979. 149 с.
8. *Миронова О.Ф., Салазкин А.Н.* Источники ошибок при деструктивном газовом анализе флюидных включений и пути их преодоления // Геохимия. 1993. № 5. С. 697–709.
9. *Миронова О.Ф., Салазкин А.Н., Гаранин А.В.* Сравнение результатов газового анализа флюидных включений при механической и термической деструкции // Геохимия. 1992. № 1. С. 78–86.
10. Современная кристаллография: В 4 т. Т. 3. Образование кристаллов / А.А. Чернов, Е.Н. Гиваргизов, Х.С. Багдасаров и др. М., 1980. 407 с.
11. *Стенина Н.Г.* Просвечивающая электронная микроскопия в задачах генетической минералогии. Новосибирск, 1985. 109 с.
12. *Труфанова С.Ф., Мурогова Р.Н., Мельников Ф.П., Алексеев В.А.* Определение температурных условий образования минералов и руд методом газовой хроматографии // Материалы XI Междунар. конф. по термобарогеохимии. 8–12 сентября 2003 г. Александров, 2003. С. 29–31.
13. *Элинсон М.М.* Методика извлечения и исследования газа и жидкости из включений в минералах // Минералогическая термометрия и барометрия. М., 1968. Т. 2. С. 23–31.
14. *Bray C.J., Spooner E.T.C., Thomas A.V.* Fluid inclusion volatile analysis by heated crushing, on-line gas chromatography; applications to Archean fluids // Journal of Geochemical Exploration. 1991. Vol. 42. Is. 1. P. 167–193.
15. *Dubessy J., Damien G., Buschaert S. et al.* Production of synthetic fluid inclusions in the H₂O–CH₄–NaCl system using laser ablation in fluorite and quartz // European Journal of Mineralogy. 2000. Vol. 12. N 6. P. 1083–1091.

PYROLYSIS GAS CHROMATOGRAPHY OF MINERALS – A NEW METHOD OF GENETIC MINERALOGY

H. Kulchytska

*M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of NASU
Acad. Palladin Av. 34, UA – 03680 Kyiv-142, Ukraine
E-mail: igmr@igmof.gov.ua*

The new method of genetic mineralogy is based on comparison of all volatile components of mineral. Gas and liquid inclusions in minerals which are successfully used for genetic reconstructions are one category of volatile components only. Besides volatile compounds in inclusions and open pores, crystals contain the precursors of volatile compounds. It is chemical groups with volatile elements, located in lattice or in defects. They serve as pyrolytic source of volatile compounds. The gas-pyrolytic spectrums of minerals or mineral paragenesis which get as a result of heating of mineral from 50 to 1 050 °C, characterize the vaporization of all volatile components in mineral. Amount and dynamics of vaporization of the most prevalent components H₂O, H₂, CO₂ as well as CH₄ related to the temperature, baric and geochemical parameters of crystallization environment by indirection. As some components react differently on the change of crystallization factors, is possible to give proper effect of each of them.

Key words: gas chromatography, volatile components of minerals, fluid inclusions, pyrolysis, typomorphism, PTX-factors, genetic mineralogy.

ПИРОЛИТИЧЕСКАЯ ГАЗОВАЯ ХРОМАТОГРАФИЯ МИНЕРАЛОВ КАК НОВЫЙ МЕТОД ГЕНЕТИЧЕСКОЙ МИНЕРАЛОГИИ

А. Кульчицкая

*Институт геохимии, минералогии и рудообразования им. Н.П. Семеновко НАН Украины
03680 г. Киев, просп. акад. Палладина, 34
E-mail: igmr@igmof.gov.ua*

Новый метод генетической минералогии базируется на сравнении состава всех летучих компонентов минерала. Газово-жидкие включения в минералах, которые успешно используют для реконструкции условий минералообразования, представляют собой только одну категорию летучих компонентов. Помимо летучих соединений, которые механически удерживаются во включениях либо физически адсорбированы в открытых порах, кристаллы содержат прекурсоры летучих соединений. Это химические группы с летучими элементами, расположенные в узлах кристаллической решетки или в ее дефектах, которые служат источником летучих соединений при пиролизе минерала. Газо-пиролитические спектры минералов или их парагенезисов, которые получают в результате нагревания минеральной пробы от 50 до 1 050 °C, характеризуют выделение всех категорий летучих соединений зависимо от температуры. Количество и динамика выделения наиболее распространенных соединений (H₂O, H₂, CO₂, CO, CH₄) косвенно связа-

ны с температурными, барическими и геохимическими параметрами среды, в которой кристаллизовались минералы парагенезиса. Поскольку отдельные соединения по-разному реагируют на изменение тех или иных факторов, можно частично вычленить влияние каждого из них.

Ключевые слова: газовая хроматография, летучие компоненты минералов, флюидные включения, пиролиз, типоморфизм, *РТХ*-параметры, генетическая минералогия.

Стаття надійшла до редколегії 14.10.2010

Прийнята до друку 21.10.2010