

УДК 548 : 54-4-44

Д. ВОЗНЯК, Г. КУЛЬЧИЦЬКА, С. ОСТАПЕНКО

## НОВЕ ПРО СПОСОБИ УТВОРЕННЯ ФЛЮЇДНИХ МІКРОВКЛЮЧЕНЬ У МІНЕРАЛАХ

*Виявлено новий вид проникнення флюїду у кварц. Він полягає у тому, що силікатний та карбонатний розплави потрапляють у мінерал за допомогою додаткової фази. На Майському родовищі золота (Український щит) нею виявилось самородне золото, а на літєвому пегматиті Надія (Кіровоградський мегаблок Українського щита) - самородний бісмут і сульфід заліза. Такий спосіб проникнення флюїду у кристалічну речовину зафіксовано в геологічних об'єктах, що зазнали впливу високотермобаричних потоків CO<sub>2</sub>-флюїду.*

### ВСТУП

Флюїдні включення - джерело достовірної та емної інформації про параметри мінералоутворювального середовища, що брало участь у формуванні різних геологічних об'єктів [1-4]. Вони часто фіксують короткотривалі, але важливі для історії становлення об'єктів епізоди. Серед різноманітних чинників, що впливають на достовірність реконструкції умов мінералоутворення за флюїдними включеннями, важливе місце займає спосіб потрапляння флюїду у кристал.

Відомо декілька способів захоплення кристалічною речовиною флюїду: а) під час втрати стійкості росту будь-яким елементом кристала: гранню, її окремими ділянками, ребром, вершиною; б) внаслідок заліковування тріщин у кристалах, яке може відбуватися як в процесі, так і після росту кристала; в) шляхом утворення у кристалі його сегрегацій, що за механізмом своєї дії, імовірно, близьке до розпаду твердих розчинів. Перші два способи зафіксовані у генетичних класифікаціях як первинні та вторинні включення (двочленна класифікація Г.Г. Леммлейна [2] і В.А. Калужного [3]) або як первинні, первинно-вторинні та вторинні включення (тричленна класифікація М.П.Єрмакова [1]). Третій спосіб формування флюїдних включень у кристалах, безумовно, реалізовується у природних процесах, проте достовірно діагностувати такі включення не просто [5]. Генетична значущість перших двох способів полягає у тому, що в утворенні таких включень безпосередньо брала(-и) участь фаза(-и) мінералоутворювального середовища і тому відтворені за нею параметри консервації включень стосуються умов стану мінералоутворювального флюїду. За такими включеннями реконструйовано умови мінералоутворення багатьох різноманітних геологічних об'єктів. Флюїдні включення, сформованих третім способом, не має безпосереднього контакту з фазою(-ми) мінералоутворювального середовища. Він складається, імовірно, з легких компонентів структури мінералу й субмікроскопічних флюїдних включень. Відтворені за такими включеннями РТ-параметри їх утворення стосуватимуться умов зміни ("старіння") кристалів.

Ще один спосіб, про який частково повідомлялося [6, 7], виявлено недавно. Викладення його суті складає основу даного повідомлення.

*Об'єкт дослідження:* кварц кварцових прожилків із сульфідами та золотом із Майського золоторудного родовища (Голованіська шовна зона Українсько-

го щита (УЩ)) та кварц апоскарнового кварциту сподумен-петалітового пегматиту Надія (західна частина Кіровоградського мегаблоку УЩ).

**Методи дослідження:** електронно-мікроскопічне вивчення (сканувальний мікроскоп JSM-700F з енергодисперсійною системою для мікроаналізу JED 2300 (JEOL, Японія)) та оптично-мікроскопічне вивчення прозорих, полірованих з обох сторін, пластинок кварцу.

### РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Основним предметом нашого вивчення є видовжені включення силікатного скла та кальциту, вершини яких завжди покриті тонкими пластинками або золота (кварц Майського родовища), або самородного бісмуту, або сульфїду заліза (одна знахідка) (апоскарнові кварцити літєвого пегматиту Надія) (рис. 1).

*Морфологія і будова включень.* Товщина пластинок золота - 1-2, а самородного бісмуту і сульфїду заліза - 2-4 мкм. Поперечний переріз видовжених включень скла та карбонату точно відповідає формі тонких пластинок, що вінчають їхні вершини (рис. 1, б). Виключення складає індивід, який у процесі свого формування втратив частину золота пластинки, що прикривала його вершину (рис. 1, а). Товщина включень від 2-3 до 4-5, іноді 9-12, а довжина - від 20 до 180 мкм. Існує обернена залежність між товщиною і довжиною таких включень. Індивіди скла за видовженням переважно паралельні між собою і кристалографічній вісі (L<sub>3</sub>) мінералу. Вони розташовуються по один бік залікованої тріщини, іноді - по обидва (рис. 2, в). Наповнення включень склом не суцільне, а з порами які, імовірно, були заповнені CO<sub>2</sub>-фазою. Іноді скло має зональну будову. Показник заломлення скла більший за кварц.

*Хімічний склад.* За складом тонкі пластинки, що вкривають вершини видовжених включень, відповідають високопробному (992-1000) золоту, самородному бісмуту та сульфїду заліза (відношення S : Fe дорівнює 1,65). Хоча Майське родовище і пегматит Надія розташовані далеко один від одного (понад 100 км), за складом силікатні скла видовжених включень у кварці з цих об'єктів подібні [6, 7] (табл. 1-3). Крім зазначених видовжених включень скла і карбонату у кварці обох об'єктів виявлені також вторинні включення силікатного скла і карбонату. Захоплювались такі включення з розплаву [8-10] і за хімічним складом вони майже відповідають склу і карбонату видовжених включень (табл. 1-3).



Рис. 1. Видовжені включення силікатного скла (а, в) та кальциту (б), вершини яких покриті тонкими пластинками золота (а, б) і бісмуту (в) (темні ділянки), у кварці Майського родовища золота (а, б) та апоскарнового кварциту літєвого пегматиту Надія (в). Стрілкою позначено частинку золота, втрачену з вершини включення в процесі свого формування. Вигляд об'єктів у прохідному світлі

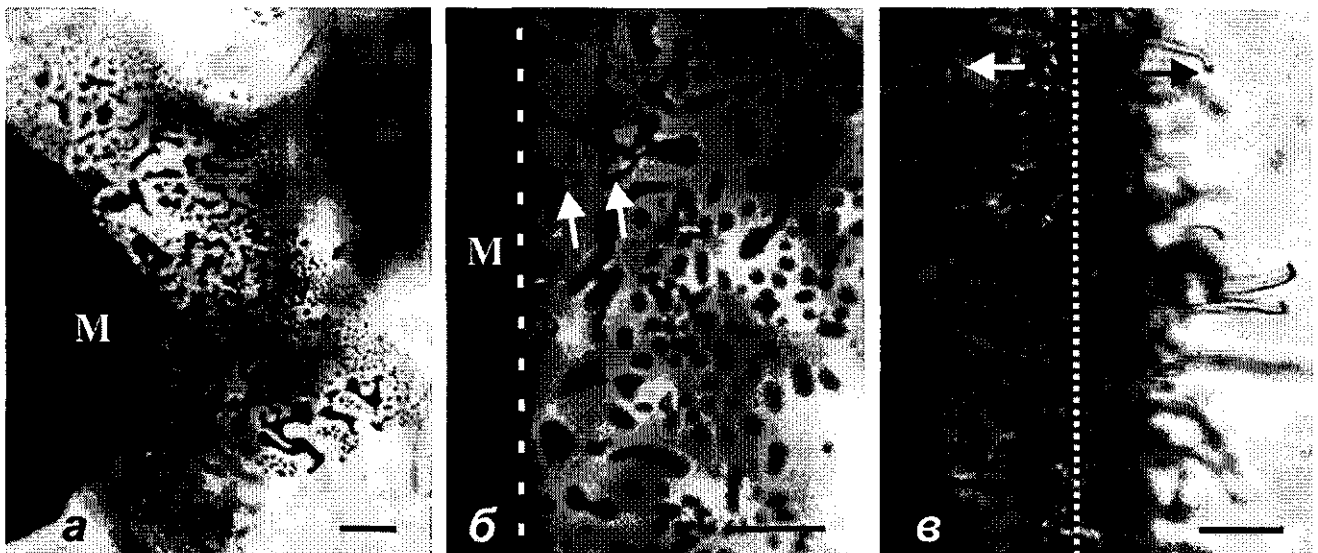


Рис. 2. Включення різного складу у залікованих тріщинах розриву навколо розтрісканих включень самородного золота (М) у кварці Майського родовища: а - тріщина навколо материнського (М) включення містить лише дочірні включення золота (темні виділення); б - крім краплеподібних включень золота у тріщині трапляються включення CO<sub>2</sub>-флюїду (позначено стрілками). Штриховою лінією позначено межу материнського (М) включення; в - видовжені утворення силікатного скла, вершини яких покриті тонкими пластинками самородного золота, що розташовані по обидві сторони (показано стрілками) залікованої тріщини (позначено пунктирною лінією) з дочірніми включеннями золота. Вигляд об'єктів у прохідному світлі. Масштабна мітка відповідає 20 мкм

Таблиця 1. Хімічний склад скла видовжених індивідів, вершини яких вкриті пластинками золота (1–6), і включень скла у залікованих тріщинах (7–9) у кварці Майського родовища золота (св. 6451 гл. 135,9 м)

Компонент	Номер аналізу								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO <sub>2</sub>	33,33	34,27	45,60	43,34	33,74	36,65	34,53	44,80	33,05
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,53	17,77	14,48	14,42	17,12	16,83	17,38	12,94	17,79
FeO	36,98	36,68	34,93	33,71	37,38	36,83	36,55	34,35	39,48
MgO	12,16	11,28	4,99	8,53	11,76	9,69	11,54	7,91	9,68
Сума	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

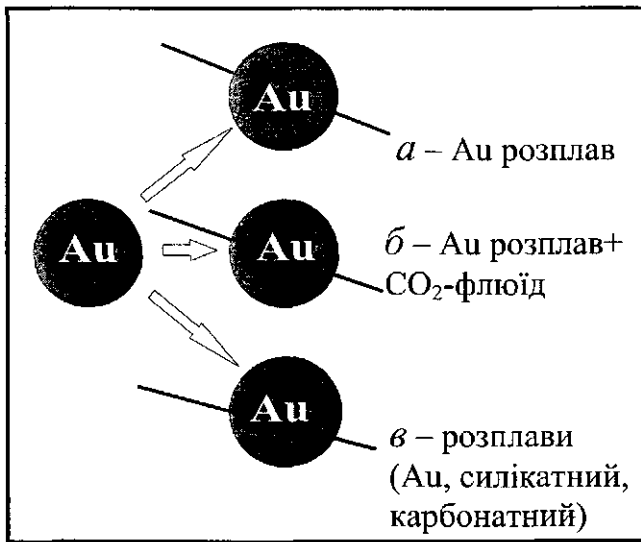


Рис. 3. Схема трьох можливих випадків заповнення тріщин розриву (прямі лінії) навколо розтрісканих материнських включень золота (Au) у кварці Майського родовища золота (УЩ). а - у тріщини розриву потрапляв лише розплав золота материнського включення; б - заліковування тріщин розриву відбувалося за участю розплаву золота та фази CO<sub>2</sub>-флюїду; в - у тріщини розриву крім розплаву золота потрапляв ще й силікатний або карбонатний розплав

**Умови утворення.** Розгадка способу формування досліджуваних включень криється в особливостях заліковування тріщин розриву навколо розтрісканих включень високопробного (992) золота у кварці Майського родовища. У залікованих тріщинах розриву трапляються включення трьох типів: а) що містять лише дочірні включення золота; б) вклю-

чення золота й CO<sub>2</sub>-флюїду та в) видовжені індивіди силікатного скла і карбонату, вершини яких вичають тонкі пластинки самородного золота (рис. 2). Перші два типи включень були описані раніше [8, 9]. Вони утворилися внаслідок впливу на породи високотермобаричних потоків CO<sub>2</sub>-флюїду. Максимальні значення РТ-параметрів таких потоків на Майському родовищі золота перевищували T<sub>пл</sub> Au і складали  $\geq 1112 \pm 7$  °C та  $\geq 820 \pm 120$  МПа, а на літєвому пегматиті Надія -  $\geq 1180$  °C і  $\geq 870$  МПа [10]. Таким чином, досліджувані включення приурочені **виключно** до залікованих тріщин навколо розтрісканих включень золота у кварці, але не будьяких, а лише до тих, у тріщини розриву яких крім розплаву золота ззовні потрапляв ще й силікатний або карбонатний розплав (рис. 3, в). Проте під час проникнення силікатного розплаву у кварц золото на вершині таких включень, було твердим. Таке судження підтверджується знахідкою включення скла (рис. 1, а), температура розплаву якого у процесі формування включення була нижчою за T<sub>пл</sub> Au, оскільки у протилежному випадку частинка золота, що відділилася від пластинки з вершини включення, у ньому (розплаві) неминуче набула би форму кульки.

На зв'язок утворення досліджуваних індивідів у кварці апоскарнових кварцитів пегматиту Надія з дією високотермобаричних потоків CO<sub>2</sub>-флюїду вказує: а) аналогічна будова видовжених включень скла з подібними утвореннями у кварці Майського родовища; б) наявність у кварці вторинних включень скла та карбонату, захоплених із розплаву [10]. Оскільки обов'язковою умовою просування силі-

Таблиця 2. Хімічний склад карбонату видовженого включення, зображеного на рис. 1, б (1-5), вершина якого вкрита пластинкою золота, і вторинних включень (6-10) у кварці Майського родовища золота (св. 6451 гл. 135,9 м)

Компонент	Номер аналізу									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ca	46,11	46,26	44,04	44,29	46,07	44,69	44,64	7,33	3,54	5,29
Fe	-	-	-	-	-	-	-	47,52	38,44	44,05
Mg	-	-	-	-	-	-	-	7,76	2,78	3,85
Mn	-	-	-	-	-	-	-	2,10	9,35	-
C	10,50	10,01	10,38	11,21	9,71	10,36	9,53	13,05	9,08	9,35
O	43,39	43,73	45,58	44,50	44,22	44,95	45,83	22,25	36,81	37,45
Сума	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Таблиця 3. Хімічний склад силікатного скла включень, вершини яких вкриті пластинками Ві (1-7) і сульфїду заліза (8). Кварц апоскарнового кварциту літєвого пегматиту Надія

Компонент	Номер аналізу							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	a/7	a/2	—	a/3	a/3	a/5	a/2	a/3
SiO <sub>2</sub>	34,57	34,07	47,63	32,41	40,05	32,68	33,03	33,20
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,52	18,35	11,10	16,67	17,86	17,47	17,79	17,44
FeO	35,85	34,86	34,37	40,56	29,74	37,98	36,08	37,83
MgO	12,06	12,72	6,90	10,36	12,35	11,87	13,10	11,53
Сума	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Примітка. a/n — середнє арифметичне з n-аналізів.

катного і карбонатного розплаву при формуванні досліджуваних включень є наявність між кварцом і флюїдом тонкого прошарку або Au, або Bi, або сульфїду заліза, то ці фази, безумовно, відігравали роль своєрідного бура. Імовірно, кварц на контакті з ними плавився. Речовина кварцу або повністю виносилася за межі видовжених каналів у випадку заповнення їх карбонатним розплавом, або частково - для включень, що заповнювалися силікатним розплавом. Розплави без контакту із тонким прошарком зазначених фаз захоплюються у вигляді звичайних вторинних включень.

### ВИСНОВКИ

Виявлено новий тип проникнення флюїду у кварц. Він полягає у тому, що силікатний і карбонатний розплави потрапляють у мінерал за допомогою додаткової фази. На Майському родовищі золота (УЩ) нею виявилось самородне золото, а на літєвому пегматиті Надія (УЩ) - самородний бісмут і сульфід заліза. Такий спосіб проникнення флюїду у кварц зафіксовано на геологічних об'єктах, що зазнали короткотривалого впливу високотермобаричних потоків CO<sub>2</sub>-флюїду. Максимальні значення їхніх РТ-параметрів склали на Майському родовищі золота > 1112 + 7 ≥ С, ≥ 820 ± 120 МПа, а на літєвому пегматиті Надія - ≥ 1180 °С, ≥ 870 МПа.

Описані індивіди у природі, безумовно, нерідкісні утворення. Знання про їхню будову, склад, умови становлення повинні привернути до них увагу дослідників і полегшити виявлення цих незвичайних утворень в інших місцях, що, в кінцевому результаті, призведе до розкриття невідомих особливостей формування цих геологічних об'єктів. Не виключено, що встановлений на геологічному об'єкті спосіб проникнення додаткової фази (на зразок Au, Bi, сульфїду заліза) у кристалічну речовину за допомогою флюїду може мати практичне застосування у технологічних процесах.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Ермаков Н.П. Геохимические системы включений в минералах. - М.: Недра, 1972. - 376 с.
2. Леммлейн Г.Г. Морфология и генезис кристаллов. - М.: Наука, 1973. - 328 с.
3. Калюжний В.А. Основы учения о минералообразующих флюидах. - Киев: Наук. думка, 1982. - 240 с.
4. Реддер Э. Флюидные включения в минералах: В 2 т. - М.: Мир, 1987. - Т. 1. - 558 с.; Т. 2. - 632 с.
5. Кульчицька Г., Возняк Д., Черниш Д. Включения у минералах як об'єкти кристалографії // Мінерал. зб. - 2007. - № 57, вип. 1. - С. 17-25.
6. Возняк Д.К., Остапенко С.С., Вишневский А.А., Бондаренко С.Н. Необычные образования силикатно-

го стекла и кальцита вокруг взорванных включений золота в кварце Майского месторождения золота (Украинский щит) // XIII Всерос. конф. по термобарогеохимии совместно с IV симпозиумом АРІFIS (22-25 сент., 2008 г.). - М.: ИГЕМ РАН, 2008. - С. 85-89.

7. Возняк Д.К., Вишневский А.А., Остапенко С.С., Бондаренко С.Н. Об условиях проникновения силикатного расплава в кварц апоскарнового кварцита сподумен - петалитового месторождения Надия (Украинский щит) // VI Междунар. симп. "Минералогические музеи", СПб., Россия, 17-20 июня 2008. - С. 172-174.

8. Возняк Д.К., Бондаренко С.М., Сьомка В.О. Прояви високотермобаричних потоків рідкого CO<sub>2</sub> при формуванні Майського родовища золота // Доп. НАН України. - 2000. - № 7. - С. 131-134.

9. Возняк Д.К., Павлишин В.І. Високотермобаричні потоки рідкого CO<sub>2</sub> та їх роль у мінералоутворенні (на прикладі Українського щита) // Мінерал. журн. - 2001. - 23, № 4. - С. 12-18.

10. Возняк Д.К. Мікрровключення та реконструкція умов ендегенного мінералоутворення. - К.: Наук. думка, 2007. - 280 с.

### РЕЗЮМЕ

Виявлен новий спосіб проникнення флюїда в кварц. Он заключається в том, что силикатный и карбонатный расплавы попадают в минерал при помощи дополнительной фазы. На Майском месторождении золота (Украинский щит) ею оказалось самородное золото, а на литиевом пегматите Надежда (Кировоградский мегаблок Украинского щита) - самородный висмут и сульфид железа. Такой способ проникновения флюида в кристаллическое вещество зафиксирован в геологических объектах, испытавших влияние высокотермобарических потоков CO<sub>2</sub>-флюида.

### SUMMARY

The new mode of the fluid penetration into the quartz is defined. It implies that silicate and carbonate melt disperse in the mineral due to the additional phase. In the Mayskoye gold deposition (Ukrainian shield) this additional phase is presented by the native gold and on the Nadya lithium pegmatite (Kirovograd megablock of the Ukrainian shield) by the native bismuth and the iron sulfide. This manner of the fluid penetration in the crystal substance is determined on the geological objects, which is implied by the high thermobaric flux of the CO<sub>2</sub>-fluids.

Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України, м. Київ  
e-mail: [voznyak@igmof.gov.ua](mailto:voznyak@igmof.gov.ua)