

<https://doi.org/10.15407/mineraljournal.42.01.024>  
УДК 548.4:082.2

**Д.К. Возняк**, д-р геол. наук, гол. наук. співроб. Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України 03142, Київ, Україна, пр-т Акад. Палладіна, 34

E-mail: dkvoznyak@ukr.net

<https://orcid.org/0000-0002-6124-2033>

**В.О. Сьомка**, д-р геол. наук, головн. наук. співроб. Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України 03142, Київ, Україна, пр-т Акад. Палладіна, 34

E-mail: syomka1949@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-5202-4045>

**В.М. Бельський**, канд. геол. наук, наук. співроб. Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України 03142, Київ, Україна, пр-т Акад. Палладіна, 34

E-mail: belskyi\_vm@ukr.net

Researcher ID: K-8607-2018

## НОВІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ФЛЮЇДНИХ ВКЛЮЧЕНЬ У ВІДТВОРЕННІ *PT*-УМОВ МІНЕРАЛОУТВОРЕННЯ

---

*Інформація про *PT*-параметри мінералоутворення, яку отримують за флюїдними включеннями, умовно розділена на основну й додаткову. Основна інформація ґрунтується на генетичному навантаженні включень гомогенного й гетерогенного захоплення, які можуть мати гомогенне й гетерогенне походження (за термінологією В.А. Калюжного). Вона домінує серед даних про *PT*-параметри мінералоутворення. Додаткова інформація суттєво доповнює основну. Її здобувають досліджуючи перенаповнення і розтріскування включень; зміни хімічного складу мінеральної речовини, перевідкладеної на стінках включення в процесі набуття ним рівноважної форми негативного кристала, а також унаслідок вивчення включень із "шапочкою" — включень нового типу, що мають індикаторне (типоморфне) значення. Загалом випадки використання включень легких компонентів гомогенного походження для відтворення *PT*-умов мінералоутворення рідкісні, оскільки знайти точку на ізохорі вмісту включення непросто: слід незалежним способом визначити або температуру, або тиск. Іноді трапляються випадки безпосереднього визначення *PT*-умов мінералоутворення. Розв'язок таких випадків показано на прикладах оцінки величини флюїдного тиску під час метаморфогенного мінералоутворення; визначення ступеня перегріву включень у кварці камерних пегматитів Волинні й глибини формування пегматитів; виявлення участі високотермобаричних потоків  $CO_2$ -флюїду в становленні Майського родовища золота, утворенні кварц-альбіт-петалітових пегматитів у західній частині Інгульського мегаблоку, формуванні REE-U-Th рудопрояву Діброва (Український щит), утворенні включень із "шапочкою".*

**Ключові слова:** флюїдні включення, *PT*-параметри, гомогенне й гетерогенне захоплення включень, гомогенне й гетерогенне походження включень.

**Вступ.** Температура і тиск — важливі параметри мінералоутворення, достовірних значень яких завжди бракувало в геології. Внесок флюїдних включень у реконструкцію *PT*-параметрів є вагомим; іноді дані, отримані за включення-

ми, є єдиними. Їхня значущість підсилюється інформацією про агрегатний стан, хімічний склад, динамічну в'язкість та інші властивості флюїдів, що брали участь у мінералоутворенні. З розвитком науки про флюїдні включення

---

Цитування: Возняк Д.К., Сьомка В.О., Бельський В.М. Нові аспекти використання флюїдних включень у відтворенні *PT*-умов мінералоутворення. *Мінерал. журн.* 2020. 42, № 1. С. 24—35. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.42.01.024>

розкривались нові можливості використання включень для відтворення еволюції процесів мінералоутворення.

Точність визначення температури й тиску консервації включень різна: температури — від 1–2 до 10–20 °C і більше, тиску — від 0,1–1,2 до 160 МПа [3, 8]. У кожному конкретному випадку вона визначається точністю розрахунку *PT*-параметрів ізохор летких компонентів, достовірністю експериментально побудованих фазових діаграм для відповідних систем.

Відомо, що включення дуже далекі від простої інтерпретації, проте вони можуть надати нам детальні факти про складну історію становлення об'єктів протягом тривалого геологічного часу. Найбільша за обсягом генетична інформація, назвемо її умовно **основною** (класичною [4]), ґрунтується на включеннях, захоплених мінералом із гетерогенного й гомогенного мінералоутворювального флюїду [10, 11, 13, 15, 28]. Дані, здобуті за іншими ознаками флюїдних включень, умовно названі нами **додатковими**. Такі включення переважно не є поширеними або навіть рідкісні, проте результати їх дослідження суттєво доповнюють основну інформацію. Її зазвичай не можна отримати іншим шляхом.

Температуру гомогенізації та інших фазових змін у флюїдних включеннях одержують шляхом їх нагрівання у термокамерах з візуальною фіксацією змін або у спеціальних пристроях унаслідок загартування, тобто збереження фазових співвідношень у нагрітих включеннях після різкого охолодження. Загартування можливе у включеннях розплавів силікатного складу. Флюїдний тиск розраховують за експериментально отриманими *PT*-параметрами флюїду, аналогічного або близького за хімічним складом до вмісту включень, оскільки очевидно, що під'єднати до них манометр немає змоги. Проте є спроба прямого визначення температури й тиску моменту гомогенізації включень [20]. Оригінальна установка дає змогу визначати тиск у межах 1–400 атм, температуру — в інтервалі 20–280 °C.

У даній праці використано двочленну генетичну класифікацію флюїдних включень Г.Г. Леммлейна [23] і В.А. Калюжного [13–15] та іншу термінологію цих авторів.

**Значення деяких найуживаніших у статті термінів.** Включення *гомогенного походження* кристал захоплює під час росту з гомогенного мінералоутворювального флюїду. Утворені у

цьому випадку включення належать лише до *включень гомогенного захоплення* флюїду. Включення *гетерогенного походження* мінерал консервує з гетерогенної флюїдної системи. Вони *можуть належати до включень і гомогенного, і гетерогенного захоплення*, оскільки могли захопити лише одну із фаз гетерогенного флюїду або обидві у різних об'ємних співвідношеннях. За визначенням Г.Г. Леммлейна [23], вони відповідають *протогомогенному* і *протогетерогенному* вмісту включень у момент його консервації мінералом. Термін *флюїд* об'єднує маточне середовище, що має змінні властивості: може бути й газом, і рідиною, і розплавом. Англomовному терміну *Fluid inclusions* відповідає термін *рідкі включення* [23]. Ці терміни, на жаль, майже не вживають.

**Мета дослідження** — окреслити методичні можливості флюїдних включень для реконструкції *PT*-умов мінералоутворення.

**Основна *PT*-інформація.** Початок дослідження флюїдних включень пов'язують із серединою XIX ст. [29]. Появу знакової роботи Г.К. Сорбі [36] часто приймають за дату народження науки про флюїдні включення у мінералах, яка за більш ніж 160-річну історію розвитку пододала багато перепон. Нині вагомий внесок результатів дослідження флюїдних включень у реконструкцію умов формування різних геологічних об'єктів є незаперечним.

Використання флюїдних включень для отримання *PT*-параметрів мінералоутворення проілюстровано на прикладі гіпотетичної закритої однокомпонентної системи [15]. На *PT*-діаграмі стану системи (рис. 1) крива *АСКО* розділяє поле діаграми на дві ділянки: газової фази — ліворуч й рідкої — праворуч. Включення, захоплені за параметрів поза лінією двофазової рівноваги *АСК* (точки *D*, *B*), належать до включень гомогенного походження. Температура їхньої гомогенізації відповідатиме мінімальним *PT*-значенням консервації включень ( $T_c < T_{yng}$  і  $P_c < P_{yng}$ ). Включення, захоплені за *PT*-параметрів, що відповідають кривій *АСК*, будуть належати до включень гетерогенного походження. Вони можуть мати або гомогенне захоплення — тоді  $T_c = T_{yng}$  і  $P_c = P_{yng}$ , або гетерогенне захоплення — тоді ( $T_c > T_{yng}$  і  $P_c > P_{yng}$ ). Включення гетерогенного захоплення непридатні для методу гомогенізації.

З діаграми виходить, що чим більше перевищення тиску (точки *D* і *B*) у момент утворення включення ( $P_{yng}$ ) над пружністю

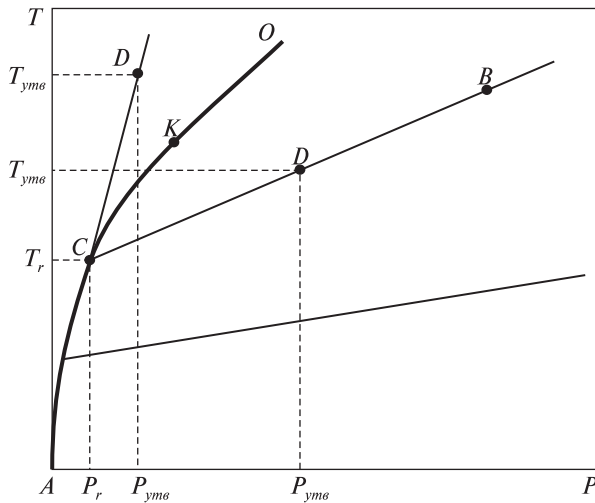


Рис. 1. *PT*-умови консервації включень залежно від агрегатного стану однокомпонентної гіпотетичної закритої системи.  $T_2, P_2$  — відповідно температура й тиск моменту гомогенізації флюїдних включень;  $T_{ume}, P_{ume}$  — відповідно температура й тиск консервації включень;  $K$  — критична точка;  $KO$  — ізохора критичної густини.  $ACK$  — крива двофазової рівноваги

Fig. 1. *PT*-conditions of capture conservation depending on the aggregate state of a hypothetical single-component closed system.  $T_2, P_2$  — the temperature and pressure at the moment of fluid inclusions homogenization, respectively;  $K$  — critical point;  $KO$  — critical density isochore.  $ACK$  — two-phase equilibrium curve

насиченої пари, тим більшою є різниця між  $T_{ume}$  і  $T_2$ .

З наведеного випливають головні положення методу гомогенізації:

- включення з флюїдом великої густини, що відповідає ізохорі  $CDB$ , і які консервуються мінералами в гідротермальних системах за відносно високого тиску і невисокої температури, можна застосовувати для оцінки температури мінералоутворення, тобто як мінералогічні термометри, оскільки значні зміни тиску супроводжуються невеликими змінами температури;

- включення з флюїдом малої густини, що відповідає ізохорі  $CD$ , і які захоплюються кристалами за високих значень температури та відносно низького тиску, можна використовувати для оцінки тиску, тобто як мінералогічні барометри, оскільки значні зміни температури викликають невеликі зміни тиску.

Вибрати з множини точок на ізохорі саме ту, що відповідає умовам консервації включень, — складна задача, яка не має простого розв'язку [13, 15 тощо]. Випадки її розв'язання є рідкісними й заслуговують на окреме обго-

ворення, їх буде розглянуто в додатковій інформації.

Таким чином,  $T_2$  і  $P_2$  моменту гомогенізації у включеннях можуть або відповідати дійсним параметрам —  $T_{ume}$  і  $P_{ume}$  консервації включень (включення гомогенного захоплення гетерогенного походження) або бути меншими за дійсні *PT*-умови захоплення включень (включення гомогенного походження). У природних умовах випадки кристалізації мінералів із гетерогенної системи мінералоутворювальних флюїдів трапляються часто. Вони є найінформативнішими об'єктами: за включеннями гомогенного захоплення гетерогенного походження можна отримати найточніші *PT*-параметри формування геологічних об'єктів. Включення гетерогенного захоплення, як уже було зазначено, не відповідають умовам використання методу гомогенізації.

Розвиток фізичної хімії, фізики та інших наук впливав на результати дослідження флюїдних включень, які стали все повніше й точніше відтворювати процеси мінералоутворення. Показовим прикладом такого впливу є зміна підходу до визначення *PT*-параметрів мінералоутворення за включеннями  $H_2O$  і  $CO_2$  гомогенного захоплення з флюїдної гетерогенної  $H_2O + CO_2$  системи.

1880 р. О.П. Карпінський [18] довів наявність у кристалах аметисту великих включень рідкого  $CO_2$ , температура гомогенізації яких складала 28,3–30,6 °С. Він припустив, що кристал захопив включення  $CO_2$  за температури близько 30 °С і тиску 73 атм. Глибина кристалізації аметисту біля с. Липового на Уралі, де були виявлені кристали аметисту, розрахована за гідростатичним тиском, складала приблизно 701 м.

1921 р. Р. Наккен [33] вважав співіснування водного розчину й  $CO_2$ -флюїду в природних умовах малоймовірним. Однак він висловив думку, що за включеннями  $H_2O$  і  $CO_2$  гомогенного захоплення можна визначити *PT*-параметри їхньої консервації, сумістивши на одній *PT*-діаграмі ізохори  $H_2O$  та ізохори  $CO_2$ . *PT*-параметри точки перетину ізохор відповідають умовам захоплення включень.

1953 р. В.А. Калюжний і Л.І. Колтун на матеріалі досліджень гідротермальних жил Нагольного кряжу [12, 17] розвіяли сумніви Р. Наккена й довели можливість одночасної консервації сингенетичних включень  $CO_2$  і  $H_2O$  гомогенного захоплення, тобто фактичними

даними вперше було доведено існування в природі гетерогенного мінералоутворювального водного розчину, насиченого  $\text{CO}_2$ . Для визначення *PT*-умов захоплення включень було використано метод сумішених діаграм Р. Наккена.

1958 р. П.В. Клевцов, Г.Г. Леммлейн [19] у кварці з родовищ Південного Уралу виявили первинні сингенетичні включення 30 % водного розчину  $\text{NaCl}$  і рідкого  $\text{CO}_2$ -флюїду. Для визначення *PT*-параметрів консервації включень вони використали сумішені діаграми водного розчину  $\text{NaCl}$  і  $\text{CO}_2$ .

1960 р. В.А. Калюжний [13] на підставі даних про повну змішувальність  $\text{H}_2\text{O}$  і  $\text{CO}_2$  довів, що *PT*-умови консервації включень гомогенного захоплення із гетерогенної  $\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ -системи визначають таким чином: температуру консервації включень — за температурою гомогенізації включень  $\text{H}_2\text{O}$  ( $T_2$ ), а тиск під час консервації — за величиною тиску флюїду у включенні  $\text{CO}_2$  за  $T_2$  включень  $\text{H}_2\text{O}$ . У випадку включень  $\text{CO}_2$  гетерогенного захоплення розрахунок густини  $\text{CO}_2$  набагато складніший [15]. Отже, дійсні *PT*-умови мінералоутворення значно менші за визначені методом сумішених діаграм  $\text{H}_2\text{O}$  і  $\text{CO}_2$ .

**Додаткова інформація.** Вагома частина внеску у реконструкцію *PT*-параметрів мінералоутворення, як зазначено, припадає на інформацію, що ґрунтується на явищах: перенаповнення і розтріскування включень; зміни хімічного складу перевідкладеної речовини в процесі набуття включеннями рівноважної форми негативного кристала; формування включень з "шапочкою". Окрім того, в додатковій інформації буде розглянуто випадки використання включень гомогенного походження для точнішої реконструкції умов формування деяких геологічних об'єктів.

**Перенаповнення включень.** Г.Г. Леммлейн уперше [22] зазначив, що за перетинами тріщин із вторинними включеннями можна визначити їхній відносний вік, тобто відтворити ті процеси, що відбувалися в навколишньому мінералоутворювальному середовищі. В.А. Калюжний розглянув механізм цих змін у включеннях, назвав його методом перенаповнення включень [13—15] і ввів цей спосіб визначення відносного віку включень у практику мінералогічних досліджень [6, 15, 25].

Особливо вдалим було використання методу перенаповнення включень у відтворенні умов мінералоутворення у камерних пегматити-

тах Волині — одних із найскладніших природних утворень, формування яких відбувалося під час магматичного і постмагматичного етапів, в умовах гідродинамічно закритої й відкритої системи, за участі флюїдних мінералоутворювальних потоків [25]. Використання методу перенаповнення включень дало змогу об'єктивно реконструювати процес мінералоутворення, а саме: а) еволюційна зміна *PT*-параметрів кристалізації мінералів після досягнення температури 320—350 °С була порушена різким і короточасним максимальним зростанням температури до 500—550 °С, що спричинило масове розтріскування флюїдних включень; б) наприкінці формування пегматитів у камери вільного росту кристалів (занориші) надійшли потоки  $\text{CO}_2$ -флюїду, за участі яких сформувався кварц пізньої генерації. *PT*-параметри потоків  $\text{CO}_2$  пульсаційно змінювалися, що обумовило розтріскування включень у кварці й берилі. Максимальна температура потоків  $\text{CO}_2$ -флюїду на центральних ділянках Володарськ-Волинського пегматитового поля сягала орієнтовно 320 °С, а на його північних околицях — значно більше [3]. Камерні пегматити Волині є чи не єдиним відомим місцем на планеті, формування яких на пізньому етапі відбувалося за участі потоків  $\text{CO}_2$ -флюїду. Своїм теплом вони розігріли метеорні води в камерах і на короткий час продовжили ендегенне життя пегматитів.

**Розтріскування включень.** Флюїдні включення розтріскуються внаслідок різниці між зовнішнім ( $P_{\text{зн}}$ ) і внутрішнім флюїдним тиском ( $P_{\text{вн}}$ ). Включення розтріскуються за умови, що ця різниця досягає певних значень, яка отримала назву ефективного тиску. Розтріскування включень у крихких мінералах супроводжується утворенням клиноподібних мікротріщин, гирлова частина яких відходить від включення. Характерна риса розтрісканих включень — ореол субмікроскопічних включень навколо них. Г.Г. Леммлейн і М.О. Клія [24] вперше експериментально отримали розтріскані рідкі включення під час нагрівання натрієвої селітри. Вони виявили особливості розташування ореола дрібних включень у залікованих тріщинах розриву, а також незмінні дрібні включення поряд з розтрісканими включеннями більшого розміру. Розтріскані включення несуть важливу генетичну інформацію, оскільки фіксують важливі, часто екстремальні, зміни в історії формування геологічних об'єктів. За

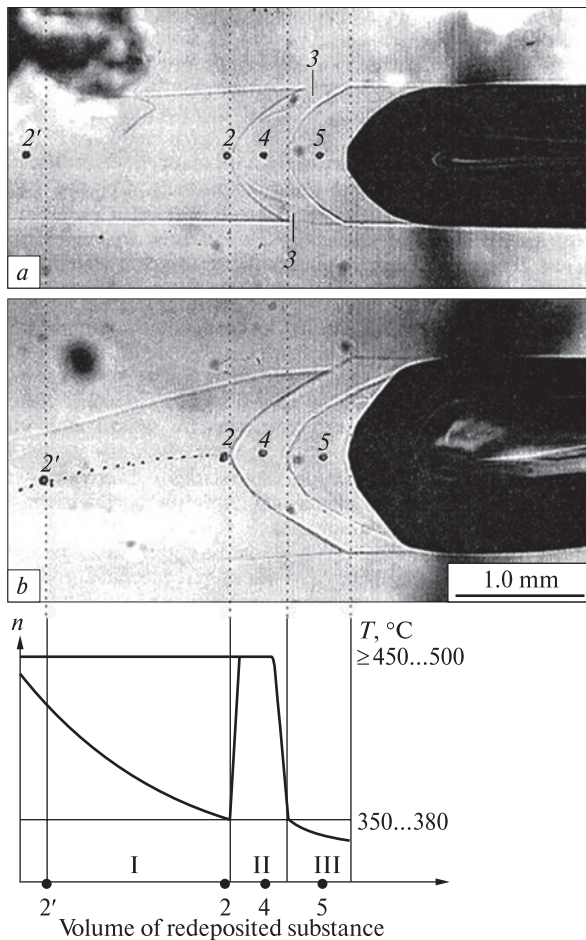


Рис. 2. Еволюція форми й розміщення речовини топазу (a, b), перевідкладеної розчином первинного рідинно-газового включення, від зміни температури й часу. Показано лише ліву частину порожнини включення (темне). За видовженням воно співпадає з [100]. Камерні пегматити Волині [15]: a — вигляд у площині (001); b — теж саме у площині (010). Пунктирною лінією позначено шлях переміщення вершини негативного кристала; 2'–5 — зони топазу різного світлозаломлення:  $n_4 > n_1 > n_3 > n_2$ ;  $n_1 > n_5$  (див. a, b); зона 4 фіксує короточасне різке підвищення температури, що відбулося вищими показниками світлозаломлення. I–III — часові періоди перевідкладання топазу;  $n_1$  — показник заломлення основної маси кристала топазу

Fig. 2. Evolution in shape and arrangement of the topaz substance (a, b) redeposited by solution of the primary liquid-gas inclusion, depending on temperature and time variations. Only the left part of the inclusion cavity (dark) is shown. By extension, it coincides with [100]. Chamber pegmatites of Volyn [15]: a — the same in (010). The dashed line indicates the displacement path of the negative crystal vertex; 2'–5 — topaz zones of different light refraction:  $n_4 > n_1 > n_3 > n_2$ ;  $n_1 > n_5$  (see a, b); zone 4 indicates (або register) a short-term sharp rise in temperature manifested by higher refractive indices. I–III — time periods of topaz redeposition;  $n_1$  — refractive index of the topaz crystal groundmass

температурою консервації дочірніх включень навколо розтрісканих включень у кварці камерних пегматитів Волині доведено, що температура мінералоутворення після їх розтріскування швидко знизилася [25].

За співвідношенням величин зовнішнього  $P_{zn}$  і внутрішнього  $P_{вн}$  флюїдного тиску виділяють експлозивний ( $P_{вн} > P_{zn}$ ) і імпульсивний ( $P_{вн} < P_{zn}$ ) типи розтріскування флюїдних включень. Експлозивне розтріскування можливе: 1) унаслідок підвищення  $P_{вн}$  зі зростанням температури; 2) унаслідок зменшення  $P_{zn}$ . Обидва способи розтріскування включень проявляються в природі.

На підставі численних експериментів виявлено [26, 27], що після досягнення у включеннях у кварці мінімального тиску ( $850 \pm 50$  атм) розпочинається їхня масова декрепітація (експлозивне розтріскування). Величину внутрішнього тиску, що спричиняє розтріскування, визначає розмір включень. Експериментальні залежності отримано для кварцу, олівину й флюориту [28, 35]. Величину мінімального внутрішнього тиску в кварці використано для визначення флюїдного тиску в момент гомогенізації включень [27] і для оцінки температури природного розтріскування включень [6].

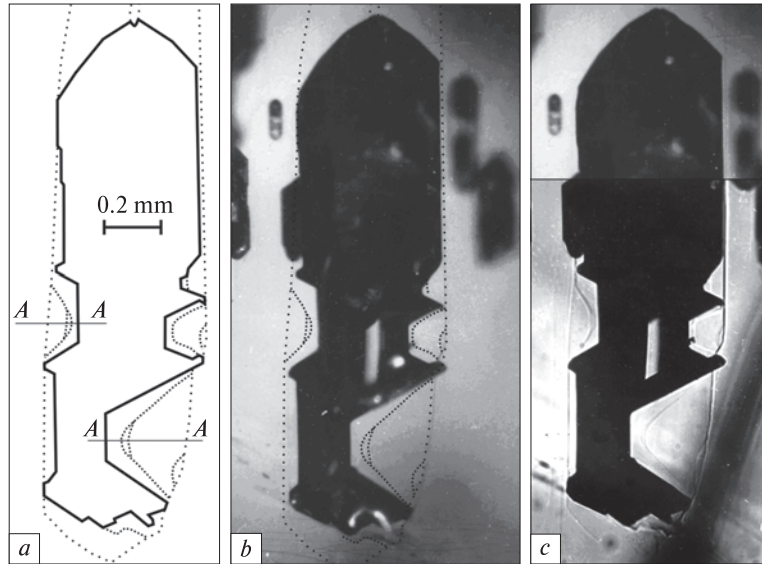
Імпульсивне розтріскування ( $P_{вн} < P_{zn}$ ) [34]. Експерименти засвідчили [30, 37], що за ідентичних умов: 1) чим більший ефективний тиск, тим більших змін зазнають включення; 2) включення більшого розміру менше змінюються або залишаються незмінними; 3) густина зміненого включення зростає відносно початкового вмісту. У випадку експлозивного розтріскування ця залежність зворотна: включення більшого розміру зазнають більших змін; густина зміненого включення зменшується відносно початкового вмісту.

**Зміна хімічного складу перевідкладеної речовини у включенні в процесі набуття включенням рівноважної форми негативного кристала.**

Відразу ж після захоплення мінералом форма флюїдних включень починає змінюватися в напрямі формування рівноважної форми негативного кристала [21]. Це відбувається шляхом перевідкладання мінеральної речовини з одних стінок на інші. У разі зниження / підвищення температури хімічний склад перевідкладеної речовини змінюється. Таку зміну поки що виявлено лише у кристалах топазу й берилу [5, 16] — мінералах змінного складу. Перевідкладена речовина у цих мінералах від-

Рис. 3. Зубчастої форми речовина топазу в порожнині первинного включення, яка в периферійній частині (лінії *A-A*) представлена невеликою кількістю мінералу з більшим показником заломлення. Рис. (а) зроблено з фото. Пунктирними лініями позначено попередні контури порожнини включення, які виділені світловими облямівками. На фото *c* чітко проявилися світлові облямівки. Камерні пегматити Волині

Fig. 3. Tooth-shaped substance of topaz in the cavity of the primary inclusion, which is represented by a small amount of mineral with a high refractive index in the peripheral part (lines *A-A*). Fig. (a) is made after the photo. The dotted lines indicate the previous contours of the inclusion cavity, which are highlighted by light borders. The photo *c* shows distinct light borders. Chamber pegmatites of Volyn



окремлена від основної маси кристала світловою облямівкою (смужкою Бекке) унаслідок різниці в їхніх показниках заломлення. Вона свідчить про зміну температури в процесі кристалізації топазу в камерних пегматитах Волині й, що дуже важливо, відносну тривалість прояву екстремального підвищення температури. Відносна кількість перевідкладеного топазу, що відрізняється більшими показниками заломлення (період II на рис. 2) вказує, з одного боку, на короткочасне підвищення температури у камері, з іншого, на те, що воно відбулося наприкінці формування пегматиту.

Дещо інша за формою перевідкладена речовина зафіксована ще в одному включенні (рис. 3). Пунктирні лінії трасують попередні контури включення. Зміна показників заломлення топазу по лінії *A-A* подібна до виявленої у включенні на рис. 2, тобто підвищення температури в камері проявилось наприкінці формування пегматиту й тривало короткий час. В обох випадках (рис. 2, 3) включення мають великі розміри.

Слід очікувати, що в інших мінералах, окрім топазу й берилу, в майбутньому також буде виявлено зміну хімічного складу перевідкладеної мінеральної речовини довкола флюїдних включень після набуття ними рівноважної форми. Вона, найімовірніше, не буде фіксуватися оптично, однак її можна буде виявити за хімічним складом.

**Включення гомогенного походження.** Нижче наведено приклади знаходження точки на ізохорі включення гомогенного походження, що

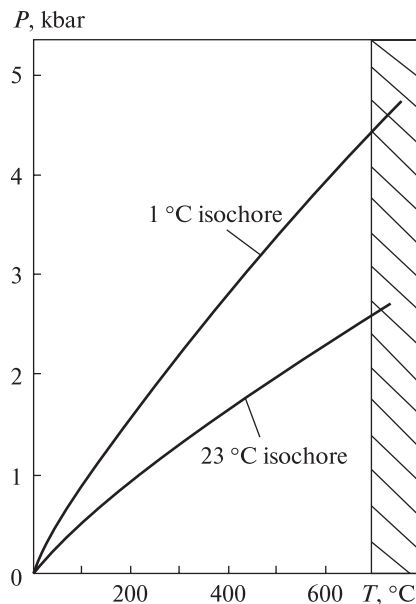


Рис. 4. Ізохори включень чистої  $\text{CO}_2$ , що гомогенізуються в рідку фазу за вказаних значень температури. Заштрихована область охоплює значення, що відповідають умовам мінімальної температури на піку метаморфізму [28]

Fig. 4. Isochores of pure  $\text{CO}_2$  inclusions homogenized into the liquid phase at the temperatures indicated. The shaded area covers the values corresponding to the minimum temperature conditions at the peak of the metamorphism [28]

відповідає *PT*-умовам консервації включення мінералом. Кількість випадків такого використання флюїдних включень гомогенного походження у майбутньому буде зростати.

1. Визначення флюїдного тиску під час метаморфогенного мінералоутворення. Температура мінералоутворення (рис. 4) оцінена не-

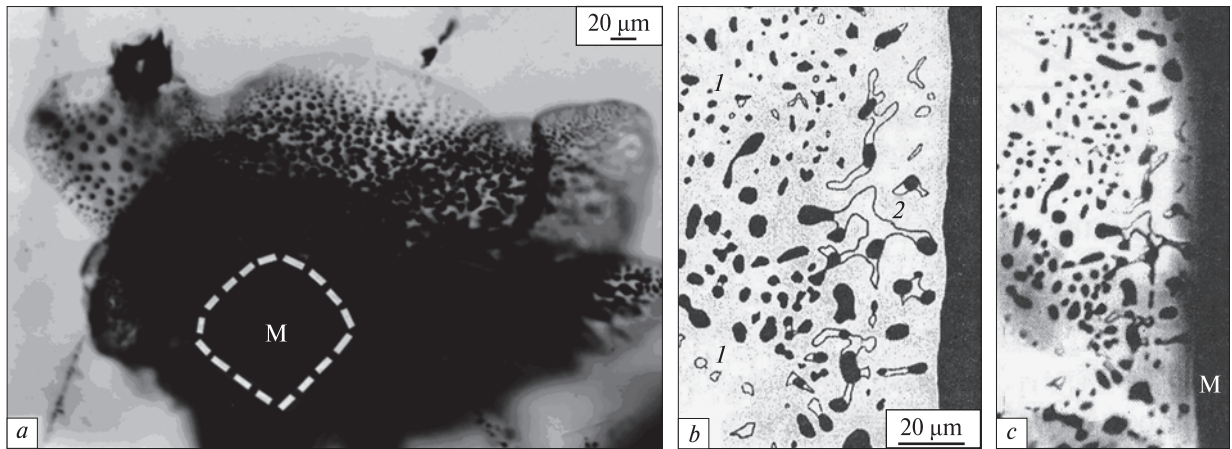


Рис. 5. Розтріскані включення золота (дрібні чорні виділення) у кварці Майського золоторудного родовища: *a* — загальний вигляд; навколо материнського (М) включення, виділеного штриховою лінією, розміщено багато зазікованих тріщин із дочірніми включеннями золота; *b, c* — включення золота й рідкого  $\text{CO}_2$  гомогенного (1) й гетерогенного (2) захоплення у зазікованій тріщині навколо материнського включення; *b* — рисунок виконано за фото

Fig. 5. Cracked inclusions of gold (small black segregations) in the quartz of the Mayske gold deposit: *a* — overall view. Many healing cracks with subsidiary inclusions of gold localised around the parental (M) inclusions highlighted by the dashed line; *b, c* — inclusion of gold and homogeneous (1) and heterogeneous (2) liquid  $\text{CO}_2$  captured in the healed crack around the parental inclusions; *b* — the picture is made after the photo

залежно — за мінеральними парагенезисами. У мінералах виявлено включення  $\text{CO}_2$ -флюїду, що брав участь у метаморфізмі. Точки перетину відповідних ізохор  $\text{CO}_2$ -флюїду з ізотермою для мінерального парагенезису визначають діапазон мінімальних значень флюїдного тиску на піці метаморфізму [9, 31, 35].

2. Оцінювання температури розтріскування рідких включень у кварці в процесі становлення камерних пегматитів Волині. Визначено температуру розтріскування двох типів флюїдних включень гетерогенного походження у кварці камерних пегматитів Волині [6]. Перший тип — включення гомогенного захоплення 30 % водного розчину NaCl (температура захоплення  $350^\circ\text{C}$ , тиск 220 атм) і включення  $\text{H}_2\text{O}$  (сольова концентрація — 0 мас. %). Розмір включень 0,05—0,5 мм. Другий тип — включення гомогенного захоплення водного розчину (температура захоплення  $240^\circ\text{C}$ , тиск 250 атм) і включення  $\text{CO}_2$ -флюїду. Розмір включень 0,05—0,1 мм. Згідно з експериментальними даними [26, 27], мінімальний тиск, за якого розпочинається масова декрепітація включень —  $850 \pm 50$  атм. Цю величину використано для оцінки температури розтріскування зазначених двох типів включень. Визначена графічним способом температура розтріскування включень першого типу дорівнювала  $400^\circ\text{C}$ , а другого типу —  $300^\circ\text{C}$ . У кварці ви-

явлені вторинні включення сольових розплавів, які проявилися після включень першого типу, температура захоплення яких сягала  $450\text{—}500^\circ\text{C}$  і більше, що цілком достатня для розтріскування включень першого типу. У кварці пізньої регенерації трапляються вторинні включення, температура консервації яких сягала  $300\text{—}320^\circ\text{C}$ , котрі могли викликати розтріскування включень другого типу. Таке узгодження отриманих графічно температур розтріскування включень і виявлених у кварці включень із вищими значеннями температури захоплення підтверджує доцільність використання у даному випадку величини  $850 \pm 50$  атм для оцінки температури розтріскування включень у природному процесі.

3. "Стільниковий" кварц — мінерал-термометр. Цей різновид кварцу — параморфоза низькотемпературної ( $\alpha$ ) модифікації по високотемпературній ( $\beta$ ) — трапляється в камерних пегматитах Казахстану, Бразилії, України (на території Володарськ-Волинського пегматитового поля). Використати "стільниковий" кварц як термометр стало можливим лише після того, як було доведено, що ураження речовини  $\beta$ -кварцу інверсійною полігональною тріщинуватістю відбулося за великої швидкості  $\beta \rightarrow \alpha$  переходу не внаслідок різкого охолодження, а з метастабільного стану на тлі еволюційної зміни *PT*-умов пегматитоутворення [3].

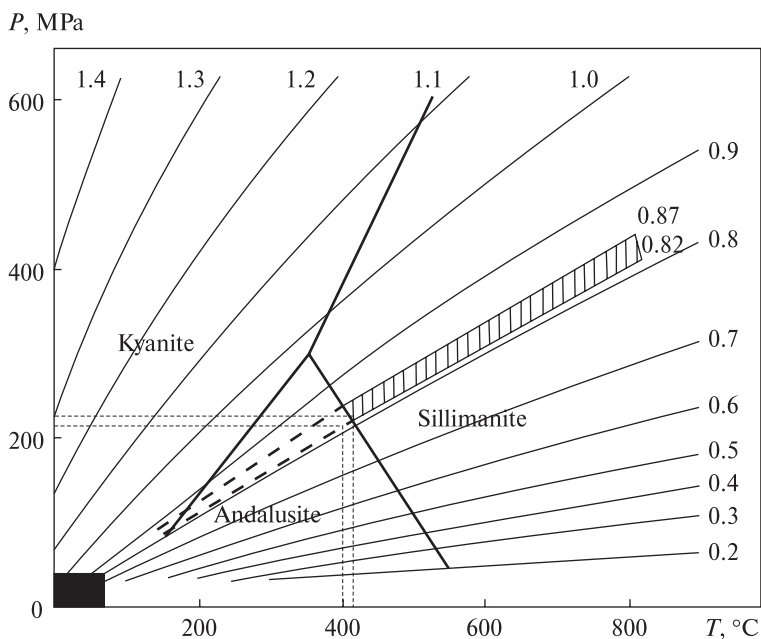


Рис. 6. *PT*-діаграма  $\text{CO}_2$  з ізохорами ( $\text{г/см}^3$ ), сумішена з діаграмою рівноваги системи "андалузит — силіманіт — кяніт" [1]. Пояснення в тексті

Fig. 6. The *PT*-diagram of  $\text{CO}_2$  with isochromes ( $\text{g/cm}^3$ ) combined with the equilibrium diagram of the "andalusite — sillimanite — kyanite" system [1]. Explanation is in the text

*PT*-параметри точок перетину ізохор водного розчину включень гомогенного захоплення, що заліковували стільникову тріщинуватість, з лінією залежності температури  $\beta \rightarrow \alpha$  переходу від тиску відповідають умовам формування "стільникового" кварцу, точніше, умовам заліковування інверсійної стільникової тріщинуватості. За *PT*-параметрами заліковування стільникової тріщинуватості кварцу є змога оцінити відносну глибину формування пегматитів [7].

4. Розтріскані включення самородного золота в кварці — мінералогічний термобарометр. Вперше в кварці Майського золоторудного родовища (Голованівська шовна зона Українського щита (УЩ)) виявлено розтріскані включення самородного золота 992 проби [3]. Їхня морфологія типова для розтрісканих включень: від зерна золота (материнського включення) відходять заліковані тріщини, що містять дрібні дочірні включення золота (рис. 5, *a*), іноді рідкого  $\text{CO}_2$  (рис. 5, *b*, *c*). *PT*-параметри точки перетину ізохори дочірніх включень  $\text{CO}_2$ -флюїду ( $1,02\text{—}1,03 \text{ г/см}^3$ ) з лінією залежності  $T_{\text{пл}}$  золота від тиску відповідатимуть мінімальним параметрам стану флюїду, за участі якого відбулося розтріскування включень золота і консервація дочірніх включень золота й  $\text{CO}_2$ -флюїду ( $\geq 1112 \pm 7 \text{ }^\circ\text{C}$  і  $\geq 820 \pm 120 \text{ МПа}$ ).

5. Визначення умов формування кварц-альбіт-петалітової породи Полохівського петалітового родовища (західна частина Інгуль-

ського мегаблоку УЩ). У кварці виявлено включення  $\text{CO}_2$ -флюїду ( $0,88\text{—}0,89 \text{ г/см}^3$ ) гомогенного походження, що "поприлипали" до зерен петаліту. Ізохора  $\text{CO}_2$  такої густини на *PT*-діаграмі петаліт + сподумен + кварц розташована поблизу неваріантної точки [3, 7]. Таким чином, утворення кварц-альбіт-петалітової породи відбувалося за участі потоків  $\text{CO}_2$ -флюїду, температура якого сягала  $\leq 680 \text{ }^\circ\text{C}$ , а тиск до  $410 \text{ МПа}$  [32].

6. Визначення *PT*-умов утворення *REE-U-Th* рудопрояву Діброва. Виявлено первинні включення  $\text{CO}_2$ -флюїду густиною  $0,82\text{—}0,87 \text{ г/см}^3$ , що "поприлипали" до голчастих включень силіманіту в кварці вторинного кварциту [1]. *PT*-параметри точок перетину ізохор  $\text{CO}_2$  такої густини з полем силіманіту на діаграмі кяніт — андалузит — силіманіт відповідатимуть мінімальним значенням параметрів стану  $\text{CO}_2$ -флюїду, що брав участь у формуванні рудопрояву Діброва ( $\geq (400\text{—}420) \text{ }^\circ\text{C}$  і  $\geq 220\text{—}240 \text{ МПа}$ ) (рис. 6).

7. Включення з "шапочкою" — новий різновид вторинних включень. Вони характеризуються індикаторними (типоморфними) властивостями: формуються лише за участю потоків  $\text{CO}_2$ -флюїду, що відзначаються дуже високими значеннями *PT*-параметрів. Спочатку вони мали назву "включень із проміжною фазою", а потім отримали більш вдалу, на наш погляд, назву — включення з "шапочкою" [2]. Включення з "шапочкою" виявлені лише на території УЩ — у кварці Майського родови-



ща золота (Голованівська шовна зона), апоскарнового кварциту сподумен-петалітового родовища Надія (Інгульський мегаблок), *REE-U-Th* рудопрояву Діброва (Приазовський мегаблок), тобто на тих об'єктах, де проявилися високотермобаричні потоки  $\text{CO}_2$ -флюїду. Включення з "шапочкою" відзначаються своєрідною будовою й специфічними умовами формування.

Характерні риси будови включень: 1) вершини (головки) включень завжди мають "шапочку" одного із мінералів — золота, бісмуту, піротину, галеніту, халькопіриту; 2) форма й розмір "шапочки" точно відповідають формі поперечного перетину й розміру включень; 3) якщо включення у процесі свого формування втрачає або "губить" частину "шапочки", то в подальшому рості поперечний перетин включення зменшується, змінюючись відповідно до нової форми й розмірів "шапочки". Деякі включення з "шапочкою" нагадують первинні включення, що виникли в процесі відштовхування мінеральних частинок, але ця подібність є випадковою, оскільки включення з "шапочкою" — включення вторинного генетичного типу й напрям їхнього вкорінення може змінюватись на протилежний або навіть на спіральний.

Укорінення включень із "шапочкою" відзначається специфічним, вперше виявленим, механізмом. Він ґрунтується на таких засадах: 1) включення розплаву вкорінюється у кварц, що вміщує його, завдяки мінералу "шапочки"; 2) кварц на контакт з мінералом "шапочки" плавиться за високих значень *PT*-параметрів потоку  $\text{CO}_2$ -флюїду; 3) виниклий кварцовий розплав витискується у кварц навколо включення. Об'єм кварцу, видалений під час росту включення, дорівнює об'єму включення. У кварці рудопрояву Діброва трапляються випадки значного або майже повного розчинення мінералу "шапочки" у розплав включення в процесі його формування.

*PT*-параметри потоків  $\text{CO}_2$ -флюїду, що брали участь у формуванні включень з "шапочкою", такі: для Майського родовища вони складають  $\geq 1112$  °C і  $\geq 820$  МПа, для апоскарнових кварцитів родовища Надія —  $\geq 1180$  °C і  $\geq 870$  МПа, для *REE-U-Th* рудопрояву Діброва —  $1000$ – $1100$  °C і  $720$ – $760$  МПа. *PT*-параметри потоків  $\text{CO}_2$ -флюїду, що брали участь у формуванні включень з "шапочкою" у кварці, оцінювали таким чином: температуру визначали за плавленням мінералу "шапочки", а ба-

ричні умови — за флюїдним тиском у включеннях  $\text{CO}_2$  максимальної густини орієнтовно за температури плавлення мінералу "шапочки". Укорінення включень з "шапочкою" тривало недовго, оскільки довжина включень на всіх об'єктах не перевищувала 0,18 мм; тобто *PT*-параметри потоку  $\text{CO}_2$ -флюїду, необхідні для забезпечення їх формування, витримувалися відносно короткий час.

Умови утворення включень із "шапочкою" у кварці вдалося з'ясувати й обґрунтувати лише на Майському родовищі золота. Включення з "шапочкою" починали свій ріст від залікованих тріщин довкола материнського включення золота, в залікованих тріщинах яких поряд із включеннями золота траплялися також рідкі включення  $\text{CO}_2$ -флюїду густиною  $1,02$ – $1,03$  г/см<sup>3</sup>. Оскільки включення з "шапочкою" на інших об'єктах УЩ мають таку саму будову, зроблено логічне припущення, що на цих об'єктах включення з "шапочкою" сформувалися аналогічним способом, тобто за участі високотермобаричних потоків  $\text{CO}_2$ -флюїду.

**Висновки.** Основну інформацію про *PT*-параметри мінералоутворення отримують за флюїдними включеннями гомогенного захоплення, що були законсервовані кристалом із гомогенного або гетерогенного мінералоутворювального флюїду. У першому випадку температура і тиск моменту гомогенізації включень менші за дійсні *PT*-умови їхньої консервації. У другому (гетерогенний мінералоутворювальний флюїд) — температура й тиск моменту гомогенізації включень відповідають дійсним *PT*-параметрам консервації включень. В природних умовах випадки кристалізації мінералів з гетерогенного мінералоутворювального флюїду трапляються часто.

Важливу інформацію про *PT*-параметри мінералоутворення здобуто у ході вивчення інших явищ — перенаповнення і розтріскування включень; зміни хімічного складу мінеральної речовини, перевідкладеної на стінках включення в процесі набуття ними рівноважної форми негативного кристала; умови утворення включень із "шапочкою". Включення легких компонентів гомогенного походження використано для: відтворення особливостей формування Майського родовища золота, кварц-альбіт-петалітової породи рідкіснометалевих пегматитів західної частини Інгульського мегаблоку й *REE-U-Th* рудопрояву Діброва (УЩ); реконструкції умов утворення

стільникового кварцу й оцінки глибини становлення камерних пегматитів Волині тощо. У майбутньому слід очікувати ширшого вико-

ристання флюїдних включень гомогенного походження для реконструкції умов формування геологічних об'єктів.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Бельський В. Умови формування REE-U-Th родовища Діброва (Український щит) за результатами дослідження включень CO<sub>2</sub> гомогенного походження. *Мінерал. зб.* 2012. № 62, вип. 2. С. 269—273.
2. Бельский В.Н., Возняк Д.К., Остапенко С.С. Вторичные включения стекла с "шапочкой" в кварце REE-U-Th месторождения Диброва (Украинский щит). *Современные проблемы теоретической, экспериментальной и прикладной минералогии (Юшкинские чтения). Материалы минерал. сем. с междунар. участием.* Сыктывкар: Геопринт ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2013. С. 173—174.
3. Возняк Д.К. Мікрровключення та реконструкція умов ендегенного мінералоутворення. Київ: Наук. думка, 2007. 280 с.
4. Возняк Д.К. Возможности использования флюидных включений для реконструкции *PT*-умов мінералоутворення. *Зб. тез наук. конф., присвяченої 50-річчю Ін-ту геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України* (ІГМР, 14—16 трав.). Київ, 2019. Т. 1. С. 132—133.
5. Возняк Д.К., Калюжний В.А. Преобразование формы включений в минералах переменного состава и его влияние на состав изолированного в вакуолях маточного раствора (на примере топаза из Волини). *Докл. АН СССР.* 1973. **212**, № 6. С. 1192—1195.
6. Возняк Д.К., Калюжний В.А. Использование растресканных включений для восстановления *PT*-условий мінералообразования (на примере кварца пегматитов Волини). Ч. II. *Мінерал. сб. Львов. ун-та.* 1977. № 31, вып. 2. С. 22—30.
7. Возняк Д.К., Кульчицька Г.О., Черниш Д.С., Бельський В.М. Наука про флюїдні включення у мінералах в Україні (до 100-річчя НАН України). *Мінерал. журн.* 2019. **41**, № 1. С. 23—34. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.41.01.023>
8. Долгов Ю.А., Бакуменко И.Т. О высокотемпературном пневматолитовом кварце Золотой горы. *Докл. АН СССР.* 1964. **159**, № 5. С. 1041—1043.
9. Долгов Ю.А., Макагон В.М., Соболев В.С. Жидкие включения в дистене из метаморфических пород и пегматитов Мамского района (Северо-Восточное Забайкалье). *Докл. АН СССР.* 1967. **175**, № 2. С. 444—447.
10. Ермаков Н.П. Геохимические системы включений в минералах. М.: Недра, 1972. 375 с.
11. Ермаков Н.П., Долгов Ю.А. Термобарогеохимия. М.: Недра, 1979. 272 с.
12. Калюжний В.А. Жидкие включения в минералах как геологический барометр. *Мінерал. сб. Львов. геол. о-ва.* 1955. № 9. С. 64—84.
13. Калюжний В.А. Методи вивчення багатофазових включень у мінералах. Київ: Вид-во АН УРСР, 1960. 168 с.
14. Калюжний В.А. Перенаполнение жидких включений в минералах и его генетическое значение. *Мінерал. сб. Львов. ун-та.* 1971. № 25, вып. 2. С. 124—131.
15. Калюжний В.А. Основы учения о минералообразующих флюидах. Киев: Наук. думка, 1982. 240 с.
16. Калюжний В.А., Возняк Д.К. Анализ генетической информативности преобразованных включений. Использование методов термобарогеохимии при поисках и изучении рудных месторождений. М.: Недра, 1982. С. 161—175.
17. Калюжний В.А., Колтун Л.И. Некоторые данные о давлениях и температурах при образовании минералов Нагольного кряжа (Донбасс). *Мінерал. сб. Львов. геол. о-ва.* 1953, № 7. С. 64—84.
18. Карпинский А.П. О нахождении в минеральных веществах включений жидкого угольного ангидрида. *Горный журнал.* 1880. **2**, № 4—5. С. 96—117. *Собр. соч.*, 1941. **3**. С. 111—132.
19. Клевцов П.В., Леммлейн Г.Г. Определение условий образования кварца с Южного Урала по жидким включениям CO<sub>2</sub> и водного раствора солей. *Зап. Всесоюз. минерал. о-ва.* 1958. Ч. 87, № 2. С. 159—165.
20. Ковалевич В.М. Физико-химические условия формирования Стебникского калийного месторождения. Киев: Наук. думка, 1978. 100 с.
21. Леммлейн Г.Г. К теории залечивания трещин в кристалле и о равновесной форме отрицательного кристалла. *Докл. АН СССР.* 1953. **89**, № 2. С. 283—286.
22. Леммлейн Г.Г. Исследования образования жидких включений в кристаллах. *Вопросы геохимии и минералогии.* М.: Изд-во АН СССР, 1956. С. 139—141.
23. Леммлейн Г.Г. Классификация жидких включений в минералах. *Зап. Всесоюз. минерал. о-ва.* 1959. Ч. 88, № 2. С. 137—143.
24. Леммлейн Г.Г., Кляя М.О. Изменения жидких включений под влиянием временного перегрева кристалла. *ДАН СССР.* 1954. **94**. № 2. С. 233—236.
25. *Мінералоутворюючі флюїди та парагенезиси мінералів пегматитів заноришевого типу України* (рідкі включення, термобарометрія, геохімія). Відп. ред. В.А. Калюжний. Київ: Наук. думка, 1971. 216 с.
26. Наумов В.Б., Балицкий В.С., Хетчиков Л.Н. О соотношении температур образования, гомогенизации и декрепитации газовой-жидких включений. *Докл. АН СССР.* 1966. **171**, № 1. С. 183—185.

27. Наумов В.Б., Малинин С.Д. Новый метод определения давления по газово-жидким включениям. *Геохимия*. 1968. № 4. С. 432—441.
28. Рёддер Э. Флюидные включения в минералах: В 2 т. М.: Мир, 1987. Т. 1. 558 с.; Т. 2. 632 с.
29. Смит Ф.Г. Геологическая термометрия по включениям в минералах. Под ред. и с дополн. Г.Г. Леммлейна. М.: Изд-во иностр. лит., 1956. 166 с.
30. Bodnar R.J., Binns P.R., Hall D.L. Synthetic fluid inclusions. VI. Quantitative assessment of the decrepitation characteristics of fluid inclusions in quartz at one atmosphere confining pressure. *J. Metamorphic Geol.* 1989. 7. P. 229—242.
31. Hollister L.S., Burrus R.S. Phase equilibria in fluid inclusions from the Khtada Lake metamorphic complex. *Geochim. et cosmochim. acta*. 1976. 40. P. 163—175.
32. London D. Experimental phase equilibria in the system  $\text{LiAlSiO}_4 - \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$ : a petrogenetic grid for Lithium-rich pegmatites. *Amer. Miner.* 1984. 69. P. 995—1004.
33. Nacken R. Welche Folgerungen ergeben sich aus dem Auftreten von Flüssikeitanschlüssen in Mineralien? *Centralblatt für Min.*, etc. 1921. P. 12—20, 35—43.
34. Paterson M.S. Experimental Rock Deformation: The brittle field. New York: Springer-Verlag, 1978. 254 p.
35. Roedder E. Fluid Inclusions. Reviews in Mineralogy. *Mineral. Soc. Amer.* (Virginia, 1984. Vol. 12). 644 p.
36. Sorby H.C. On the Microscopic Structure of Crystals, Indicating the Origin of Minerals and Rocks. *Quarterly Journal of the Geological Society of London*. 1858. 14. P. 453—500. <https://doi.org/10.1144/GSL.JGS.1858.014.01-02.44>
37. Sterner S.M., Bodnar R.J. Synthetic fluid inclusions. VII. Re-equilibration of fluid inclusions in quartz during laboratory-simulated metamorphic burial and uplift. *J. Metamorphic Geol.* 1989. 7. P. 243—260.

Надійшла 01.10.2019

## REFERENCES

1. Belskyi, V. (2012), *Mineral. Rev.*, No. 62, Iss. 2, Lviv, UA, pp. 269-273 [in Ukrainian].
2. Belskyi, V.M., Voznyak, D.K. and Ostapenko, S.S. (2013), *Modern problems of theoretical, experimental and applied mineralogy (Yushkinsky readings), Mineralogical seminar materials with international participation*, Syktyvkar, RU, pp. 173-174 [in Russian].
3. Voznyak, D.K. (2007), *Micro-inclusion and reconstruction of conditions of endogenous mineral formation*, Nauk. dumka, Kyiv, UA, 280 p. [in Ukrainian].
4. Voznyak, D.K. (2019), *Sci. conf. dedicated to the 50<sup>th</sup> anniversary of M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of NAS of Ukraine*, 14-16 travnia, Vol. 1, Kyiv, UA, pp. 132-133 [in Ukrainian].
5. Voznyak, D.K. and Kalyuzhnyi, V.A. (1973), *Dokl. AN SSSR*, Vol. 212, No. 6, RU, pp. 1192-1195 [in Russian].
6. Voznyak, D.K. and Kalyuzhnyi, V.A. (1977), *Mineral. Review Lviv. Univ.*, No. 31, Vyp. 2, Lviv, UA, pp. 22-33 [in Russian].
7. Voznyak, D.K., Kulchytska, H.O., Chernysh, D.S. and Belskyi, V.M. (2019), *Mineral. Journ. (Ukraine)*, Vol. 41, No. 1, Kyiv, UA, pp. 23-34, <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.41.01.023> [in Ukrainian].
8. Dolgov, Yu.A. and Bakumenko, I.T. (1964), *Dokl. AN SSSR*, Vol. 159, No. 5, RU, pp. 1041-1043 [in Russian].
9. Dolgov, Yu.A., Makahon, V.M. and Sobolev, V.S. (1967), *Dokl. AN SSSR*, Vol. 175, No. 2, RU, pp. 444-447.
10. Yermakov, N.P. (1972), *Geochemical systems of inclusions in minerals*, Nedra, Moscow, RU, 375 p. [in Russian].
11. Yermakov, N.P. and Dolgov, Yu.A. (1979), *Thermobarogeochemistry*, Nedra, Moscow, RU, 272 p. [in Russian].
12. Kalyuzhnyi, V.A. (1955), *Mineral. Review Lviv Geol. soc.*, No. 9, UA, pp. 64-84 [in Russian].
13. Kalyuzhnyi, V.A. (1960), *Methods for studying multiphase inclusions in minerals*, Vyd-vo AN URSR, Kyiv, UA, 168 p. [in Ukrainian].
14. Kalyuzhnyi, V.A. (1971), *Mineral. Review Lviv. Univ.*, No. 25, Vyp. 2, Lviv, UA, pp. 124-131 [in Russian].
15. Kalyuzhnyi, V.A. (1982), *Basics of the doctrine of mineral-forming fluids*, Nauk. dumka, Kyiv, UA, 240 p. [in Russian].
16. Kalyuzhnyi, V.A. and Voznyak, D.K. (1982), *Analysis of genetic information content of transformed inclusions. The use of methods of thermobarogeochemistry in the search and study of ore deposits*, Nedra, Moscow, RU, pp. 161-175 [in Russian].
17. Kalyuzhnyi, V.A. and Koltun, L.I. (1953), *Mineral. Review Lviv Geol. Soc.*, No. 7, UA, pp. 64-84 [in Russian].
18. Karpinskiy, A.P. (1880), *Gornyi zhurn.*, Vol. 2, No. 4-5, pp. 96-117, *Collected works* (1941), Vol. 3, RU, pp. 111-132 [in Russian].
19. Klevtsov, P.V. and Lemmlein, G.G. (1958), *Zap. Vsesoyuz. mineral. ob-va*, Pt 87, No. 2, RU, pp. 159-165 [in Russian].
20. Kovalevych, V.M. (1978), *Physico-chemical conditions for the formation of the Stebnik potash deposit*, Nauk. dumka, Kyiv, UA, 100 p. [in Russian].
21. Lemmlein, G.G. (1953), *Dokl. AN SSSR*, Vol. 89, No. 2, RU, pp. 283-286 [in Russian].
22. Lemmlein, G.G. (1956), *Voprosy geokhimii i mineralogii*, Izd. AN SSSR, Moscow, RU, pp. 139-141 [in Russian].
23. Lemmlein, G.G. (1959), *Zap. Vsesoyuz. mineral. ob-va*, Pt 88, No. 2, RU, pp. 137-143 [in Russian].
24. Lemmlein, G.G. and Kliya, M.O. (1954), *DAN SSSR*, Vol. 94, No. 2, pp. 233-236, Moscow, RU, [in Russian].
25. Kalyuzhnyi, V.A. (publ. ed.) (1971), *Mineral-forming fluids and paragenesis of minerals of pegmatites of the nonarid type of Ukraine (fluid inclusions, thermobarometry, geochemistry)*, Nauk. dumka, Kyiv, UA, 216 p. [in Ukrainian].

26. Naumov, V.B., Balitskiy, V.S. and Khetchikov, L.N. (1966), *Dokl. AN SSSR*, Vol. 171, No. 1, Moscow, RU, pp. 183-185 [in Russian].
27. Naumov, V.B. and Malinin, S.D. (1968), *Geokhimiya*, No. 4, RU, pp. 432-441 [in Russian].
28. Roedder, E. (1987), *Fluid inclusions in minerals*: in 2 vol., Vol. 1, 558 p.; Vol. 2, 632 p., Mir, Moscow, RU [in Russian].
29. Smith, F.G. (1956), *Geological thermometry for inclusions in minerals*, in Lemlein, G.G. (ed.), *Izd. inostr. liter.*, Moscow, RU, 166 p. [in Russian].
30. Bodnar, R.J., Binns, P.R. and Hall, D.L. (1989), *J. Metamorphic Geol.*, Vol. 7, pp. 229-242.
31. Hollister, L.S. and Burrus, R.S. (1976), *Geochim. et cosmochim. acta*, Vol. 40, pp. 163-175.
32. London, D. (1984), *Amer. Miner.*, Vol. 69, pp. 995-1004.
33. Nacken, R. (1921), *Centralblatt für Min.*, pp. 12-20, 35-43.
34. Paterson, M.S. (1978), *Experimental Rock Deformation: The brittle field*, Springer-Verlag, New York, 254 p.
35. Roedder, E. (1984), Fluid Inclusions. Reviews in Mineralogy, *Mineral. Soc. Amer.* (Virginia, Vol. 12), 644 p.
36. Sorby, H.C. (1858), *Quarterly Journal of the Geological Society of London*, Vol. 14, pp. 453-500, <https://doi.org/10.1144/GSL.JGS.1858.014.01-02.44>
37. Sterner, S.M. and Bodnar, R.J. (1989), *J. Metamorphic Geol.*, Vol. 7, pp. 243-260.

Received 01.10.2019

*D.K. Voznyak*, DrSc (Geology), Chief Research Fellow

M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine  
34, Acad. Palladin Ave., Kyiv, Ukraine, 03142

E-mail: dkvoznyak@ukr.net

<https://orcid.org/0000-0002-6124-2033>

*V.O. Syomka*, DrSc (Geology), Chief Research Fellow

M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine  
34, Acad. Palladin Ave., Kyiv, Ukraine, 03142

E-mail: syomka1949@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-5202-4045>

*V.M. Belskyi*, PhD (Geology), Researcher Fellow

M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine  
34, Acad. Palladin Ave., Kyiv, Ukraine, 03142

E-mail: belskyi\_vm@ukr.net

Researcher ID: K-8607-2018

#### NEW ASPECTS OF FLUID INCLUSIONS APPLICATION FOR RECONSTRUCTION OF MINERAL FORMATION *PT*-CONDITIONS

By convention, the information about the *PT*-parameters of mineral formation obtained by fluid inclusions study is classified into basic and additional. The former is based on studying the genetic nature of inclusions of homogeneous and heterogeneous capture that are homogeneous and heterogeneous in origin (according to V.A. Kalyuzhnyi). It forms predominant data set on the *PT*-parameters of mineral formation. The latter, additional information substantially supplements the basic information. It is obtained by studying inclusions refilling and cracking, variations in chemical composition of the mineral substance re-deposited on the walls of the inclusion during the acquisition of the equilibrium form of the negative crystal as well as the study of inclusions with "cap". These are inclusions of new type that have indicator (typomorphic) value. It should be noted that, in general, there are rare examples of application of volatile components inclusions that are homogeneous in origin for reconstruction of *PT*-conditions of mineral formation. It is not easy to find a point on the isochore that corresponds to the inclusion content and it should be done in separate way by determination of either temperature or pressure. Sometimes there are cases of direct determination of the *RT*-condition of mineral formation. The solution of such cases might be done through estimation of fluid pressure at formation of metamorphic mineral; determination of the overheating degree of inclusions in quartz from Volyn chamber pegmatites and the depth of pegmatites formation; revealing the role of high-thermobaric CO<sub>2</sub> fluid flows in the formation of the Mayske gold deposit; studying the genesis of quartz-albite-petalite pegmatites in the western part of the Ingul megablock as well as REE-U-Th ores of Dibrova deposit (Ukrainian Shield); formation of inclusions with a "cap".

**Keywords:** fluid inclusions, *PT*-parameters, homogeneous and heterogeneous capture, homogeneous and heterogeneous origin of inclusions.