

УДК 553.21/24:549.41(477)

**РУДНОФОРМАЦІЙНІ АСПЕКТИ ТЕРМОБАРОГЕОХІМІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ
ЗОЛОТОРУДНИХ РОДОВИЩ УКРАЇНИ
ТА ПРОГНОЗНО-МЕТАЛОГЕНІЧНІ НАСЛІДКИ**

Ю. Ляхов, М. Павлунь, Ю. Пахнющий

*Львівський національний університет імені Івана Франка
79005 м. Львів, вул. Грушевського, 4
E-mail: zaggeol@franko.lviv.ua*

Розглянуто логіку й методологію рудноформаційної типізації різноглибинних родовищ золота України на термобарогеохімічному підґрунті та розкрито деякі прогнозно-металогенічні наслідки такого підходу до термобарогеохімічного вивчення золоторудних формацій.

Ключові слова: термобарогеохімія, флюїдний режим, рудна формація, золоте зруденіння, прогнозно-металогенічна оцінка.

Стрижнем мінералогічної наукової школи акад. Є. Лазаренка є генетична і регіональна мінералогія, з якими дуже тісно пов'язані дослідження наукової школи термобарогеохімії (ТБГХ) проф. М. Єрмакова та її найважливішого напрямку – прикладної ТБГХ проф. Є. Лазька. Завдяки вивченню флюїдних включень у мінералах, які часто-густо формують у певних геологічних структурах парагенетичні рудні асоціації або ж самі є рудою, ТБГХ-дослідження реставрують з “мірою і вагою” мінералого-геохімічні та фізико-хімічні умови їхнього утворення на родовищах різного геолого-генетичного й формаційного типу. Наріжною проблемою таких досліджень в Україні є геолого-генетична і формаційна типізація родовищ самородного золота – усе ще не традиційного, проте вкрай важливого для нашої молоді держави виду сировини. Це особливо актуально сьогодні, коли роблять перші кроки з формування власної золотодобувної і золотопереробної галузі промисловості, для чого геолого-економічно важливо визначитися з першочерговістю освоєння родовищ золота з огляду на їхню формаційну належність: наявний світовий досвід гірничо-геологічних робіт засвідчив, що саме вона визначає вірогідний масштаб (розмір) запасів металу, а найбільші за запасами та вертикальним розмахом зруденіння – це поклади золота на гідротермально-метаморфогенних родовищах здебільшого формації великих глибин у металогенічних провінціях архейських щитів.

Відкинувши грандіозну формацію докембрійських золотоносних конгломератів, яку ми не вивчали, зазначимо, що золото-кварцові формації архейських структур і фанерозойських геосинклінально-складчастих областей (ГСО) якісно не зіставні за геолого-економічними показниками [14] (див. таблицю).

Отже, з усвідомленням величезного, а для Українського щита (УЩ) визначального ресурсного потенціалу родовищ золота в докембрії (25 % світових запасів проти 10 % для фанерозойських об'єктів), на який в Україні припадає близько 75 % у металогенічній провінції УЩ, 15 % на Донбасі й 10 % у Карпатах [1], доходимо думки про вірогідну

неоднотипність перебігу фізико-хімічних процесів золотоконцентрації в палеогідротермальних системах і різну складність їхнього поєднання в різних, часто автономних структурно-формаційних комплексах УЩ і його фанерозойському облямуванні.

Геолого-економічні показники родовищ золото-кварцової формації архейських щитів та геосинклінально-складчастих областей фанерозою

Геолого-економічні показники	Родовища золота	
	щитів	фанерозойських ГСО
Вертикальний розмах зруденіння	500–700–2 000, іноді до 3 000 м	Від 400–700 до 1 000–1 300 м
Запаси металу	800–1 300–1 800 т	240–325–695 т
Пробність золота	990–850	950–750

З іншого боку, це свідчить про очевидний дефіцит передусім ТБГХ-інформації щодо фізико-хімічних умов формування родовищ золота та про генетичну й формаційну сутність золотого зруденіння України. Зокрема, часто-густо зв'язок золотого зруденіння з породними комплексами певного складу, у яких воно міститься, зовсім не означає їхньої одновіковості, а власне процеси рудогенезу за змістом і формою можуть бути не пов'язані з петрогенезом, залежно від глибини перебігу по-різному взаємодіяти з геологічним середовищем або ж бути помітно відірваними в часі, особливо на УЩ. Наявна своя геолого-структурна і фізико-хімічна специфіка процесів у палеозойському й альпійському рудогенезі, що відображене в різному фазово-агрегатному стані та хімічному складі рудоутворювальних флюїдів, їхніх термобаричних характеристиках, різній будові та градієнтності палеотеплових полів рудоутворення як відображення особливостей ТБГХ-зональності.

І тут щодо з'ясування низки подібних та інших генетичних питань суттєву допомогу надають дослідження в напрямі реконструкції фізико-хімічних умов і ТБГХ-зональності, її градієнтів і трендів у разі формування родовищ. Це відкриває шлях до пізнання кардинальних закономірностей просторово-часової еволюції фізико-хімічних умов утворення родовищ золота як основи генетичного моделювання процесів рудогенезу, виявлення принципово нових показників ТБГХ-зональності та глибини розвитку різних формаційних типів самороднометалевого зруденіння й оцінки його перспективності. Як засвідчує досвід ТБГХ-досліджень представницької кількості золоторудних формацій у геотектонічних зонах різного віку й будови [21], багато аспектів цієї стратегічної концептуально-базової науково-прикладної проблеми сучасної геології України можна успішно вирішити або ж суттєво поглибити, розширити й доповнити саме за допомогою спеціалізованого застосування всього арсеналу методів сучасної ТБГХ [5, 6, 20].

Ефективність таких досліджень помітно зростає, якщо їх виконують разом з рудно-формаційним аналізом територій, головним завданням якого є розкриття зв'язків між геологічними і рудними формаціями та наукове передбачення поширеності зруденіння в породних і структурно-формаційних комплексах різного віку і складу. Бо ці зв'язки виявляються не тільки через структурно-геологічні та речовинно-геохімічні ознаки, а й через генетичні побудови. Як добре видно з [6], саме такі генетико-геологічні побудови помітно розширюють евристичні можливості рудноформаційного аналізу, а у випадку спряжених з ним коректних ТБГХ-досліджень рудоутворювальних процесів зародження, міграції та акумуляції рудогенних компонентів предметно слугують цілям прогнозу й дистанційної оцінки родовищ, будучи і метою, і його засобом.

Отже, головної мети рудноформаційного аналізу – великомасштабного прогнозування, розшуків та оцінки родовищ відповідних груп і рядів формацій – значно обґрунтованіше досягають у разі врахування сучасних даних про фізико-хімічний режим ендегенного рудоутворення та тренди і градієнти ТБГХ-зональності родовищ.

Особливо плідним напрямом такого комплексного підходу до вирішення означеної проблеми є критичне узагальнення ТБГХ-інформації про закономірності й тенденції розвитку рудних формацій у вигляді їхніх кількісно-метричних просторово-часових геолого-генетичних моделей на рівні рудних парагенезисів, родовищ і полів. Лише за дотримання такої умови геологічно коректно виявляють головні риси й чинники ТБГХ-зональності, її конфігурацію, напруженість, тренди і градієнти, параметричні особливості флюїдного режиму процесів рудоутворення, міграцію та концентрацію корисних компонентів у різноглибинних структурно-фаціальних і фізико-хімічних зонах.

Саме тоді з'являється реальна можливість упевнено діагностувати ТБГХ-ознаки рудних формацій, у тому числі в разі їхньої конвергенції, рудного гібридизму чи наявності перехідних типів родовищ, що утворюють споріднені рудно-формаційні групи і ряди [19], а відтак обґрунтованіше передбачати ще не відомі або ж не знайдені члени ряду у відповідних геотектонічних структурах подібно до того, як це вперше запропонував І. Магакьян [10].

Щодо геолого-генетичної типізації родовищ золота на підставі ТБГХ-досліджень флюїдних включень у мінералах, то її, здебільшого, виконують на підставі уявлень про реконструйовані фізико-хімічні особливості перебігу процесів рудоутворення, синтезовані у вигляді мінералого-парагенетичних схем стадійності й термобаричного режиму формування родовищ, часто з відображенням особливостей хімічного складу, фазово-агрегатного стану і густини рудоутворювальних флюїдів, що виявляються у фазовому типоморфізмі включень для відповідних стадій мінералізації, як це зроблено для золоторудних родовищ України (рис. 1, 2). Ці схеми не тільки відображають генетичну своєрідність процесів, а й можуть бути використані у прикладних аспектах, здебільшого для якісної й оперативної оцінки перспективних ділянок чи рудних тіл за так званим методом діагностики продуктивних стадій [16].

Головні риси багатостадійного розвитку мінералого-геохімічних і фізико-хімічних процесів, що призводять до утворення різноглибинних родовищ золота, з'ясовані з належною обґрунтованістю [3, 7, 8, 11, 15, 21]: до індикаторних ТБГХ-показників різноглибинності золоторудних формацій належать тиск, початкова температура флюїдних фаз, концентрація розчинених солей за мас. % NaCl, співвідношення Na^+/K^+ , наявність хлору і діоксиду вуглецю, межі варіацій температурних інверсій, агрегатно-густинні властивості флюїдів (періодичне кипіння, пневматоліз, щільний розчин з ознаками переенасичення CO_2 і солями-галогенідами, здебільшого NaCl у системах з так званою трифазовою гетерогенізацією тощо).

Саме вони інтегровано формують надійне теоретичне і фактологічне підґрунтя для порівняння умов утворення різноглибинних формацій золота [7, 9, 21], у тім числі для формаційної діагностики досліджуваних родовищ золота в Україні.

Водночас порівняльна глибинність золоторудних процесів як інтегрований показник багатьох геолого-генетичних особливостей зруденіння, що відображають різний зміст і значення описаних вище параметрів, є необхідною, проте не достатньою умовою: з високою коректністю вірогідну глибину можна оцінити з обов'язковим залученням градієнт-трендового ТБГХ-аналізу флюїдних палеосистем.

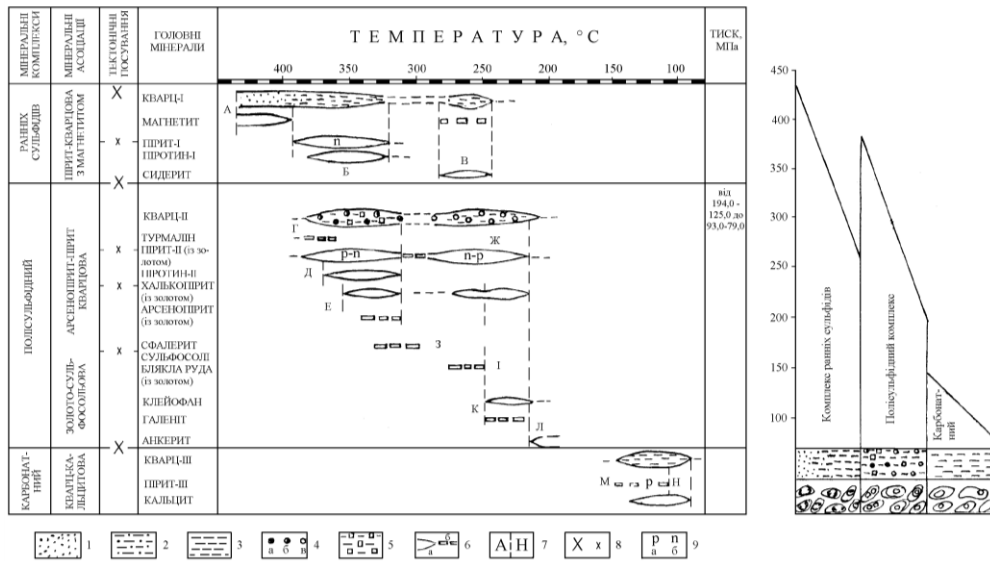


Рис. 1. Схема стадійності і термобаричного режиму формування золоторудного родовища Балка Широка.

Температурний інтервал кристалізації мінералів та агрегатний стан мінералотворних розчинів за даними гомогенізації вклучень: 1 – газоподібних; 2 – критичних; 3 – рідких гомогенних; 4 – гетерогенних з CO₂ (а), з високогустинним CO₂ – 0,809–0,866 г/см³ (б) і низькогустинним CO₂ – 0,653–0,688 г/см³ (в); 5 – порівняно висококонцентровані флюїди з NaCl; 6 – температурний інтервал кристалізації рудних мінералів, визначений за віковими співвідношеннями термометрично вивчених мінералів (а) та за результатами мінераграфічних досліджень (б); 7 – температурні межі головних мінеральних парагенезисів: магнетит-кварцового (А), піротин-пірит-кварцового з магнетитом (Б), кварц-сидеритового (з перевідкладеним магнетитом) (В), турмалін-кварцового (Г), кварц-піротин-піритового (Д), арсеніопірит-халькопірит-кварцового (Е), кварц-піритового (Ж), кварц-халькопірит-бляклорудного з золотом (З), клейофан-халькопірит-кварцового (И), клейофан-галеніт-кварцового (К), кварц-анкеритового (Л), кальцит-пірит-кварцового (М), кварц-кальцитового (Н); 8 – тектонічні рухи між: а – мінеральними комплексами, б – мінеральними парагенезисами; 9 – електропровідність піриту: а – діркова, б – електронна.

Такий аналіз дає змогу геологічно коректно виявляти головні риси і чинники ТБГХ-зональності родовищ, конфігурацію, тренди і градієнти її формування, просторово-часову зміну параметричних особливостей флюїдного режиму поліакцидентних золоторудних родовищ, геохімічні форми міграції і концентрації корисних компонентів у різноглибинних структурно-фаціальних і фізико-хімічних зонах.

Як засвідчив досвід, такі дослідження слугують надійним теоретико-методологічним підґрунтям рудноформаційної типізації родовищ і класифікаційного удосконалення різноманітних і численних схем систематики золоторудних формацій. Цей підхід враховує динаміку просторово-часових змін інтенсивних фізико-хімічних параметрів палеогідротермальних систем, що відображають особливості характеру енергетичної та речовинної взаємодії флюїдних рудоутворювальних систем і геологічного середовища в різних структурно-фаціальних і глибинних умовах локалізації золотого зруденіння. З іншого боку, очевидно, що рудноформаційний аналіз традиційно використовував і використовує геолого-структурні й речовинні ознаки, що відповідає змістовному поняттю рудної формації, проте ігнорував обґрунтоване розкриття ТБГХ-сутності фізико-

хімічних умов і морфогенетичного типу ТБГХ-зональності зруденіння, градієнтів і трендів її еволюції. Отже, за допомогою комплексного і предметного порівняльного аналізу визначених просторово-часових ТБГХ-параметричних показників флюїдного режиму і зонального розвитку золоторудних формацій можна ліквідувати цю теоретичну й методологічну прогалину.

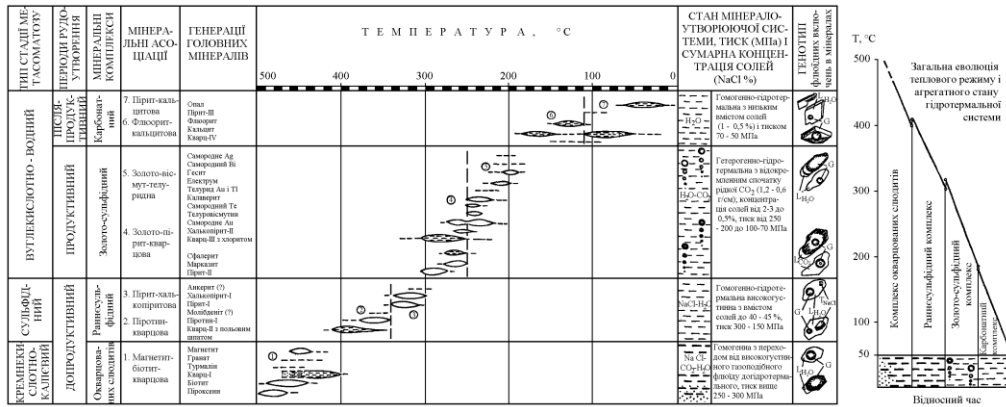


Рис. 2. Парагенетична схема стадійності та *PT*-режиму процесу формування Майського золоторудного родовища.

Дуже суттєвим у цьому контексті є логічне припущення Н. Петровської [17, 18] про зв'язок так званого ступеня термостатування гідротермальної системи з глибиною перебігу процесів рудоутворення: він закономірно знижується з наближенням до синрудної палеоповерхні і, навпаки, збільшується з віддаленням від неї. Надійними ТБГХ індикаторами цього показника глибинності процесів, що має належну роздільну здатність, стають усереднений параметр зміни *PT*-режиму в часі ($\Delta T/\Delta P$) і просторі ($\Delta T/100$ м) як пряма функція термостатування, а також значення флюктуаційних інверсій на тлі спрямовано-регресивного типу флюїдного режиму всього перебігу дискретного рудного процесу як відображення конкретних структурно-фаціальних умов, глибинності і, отже, відкритості–закритості системи.

Саме своєрідним характером і комбінаторними особливостями природного поєднання цих важливих параметричних ТБГХ-показників визначені закономірності еволюції рудогенерувальних і рудоконцентрувальних палеогідросистем золоторудних родовищ України, агрегатно-густинний стан та склад металоносних флюїдних фаз, їхні міграційні властивості, конфігурація, напруженість і тренди ТБГХ-зональності, інтенсивність і, отже, масштабність рудовідкладання загалом [2, 4, 7–9, 12, 21].

На підставі аналізу таких просторово-часових закономірностей фізико-хімічних умов формування родовищ золота в Україні ми вирізнили шість природно різних типів золотоконцентрувальних систем, мінералоутворювальну діяльність у яких провадили власне водні, вуглекисотно-водні й складні вуглекисотно-водно-сольові розчини за різних температури і тиску та їхніх флюктуацій (рис. 3).

1. **Вулканогенні** ($T = 360\text{--}50$ °C за $\Delta T/\Delta P = 8\text{--}12^\circ$).

Слабкотермостатована ($\Delta T = 20\text{--}40$ °C на 100 м) *низькобарна* (до 7–8 МПа) власне гідротермальна з інтенсивним кипінням суттєво дегазованих низькоконцентрованих розчинів (<1–4 мас. % NaCl). Генотип – Мужівське родовище (Закарпаття).

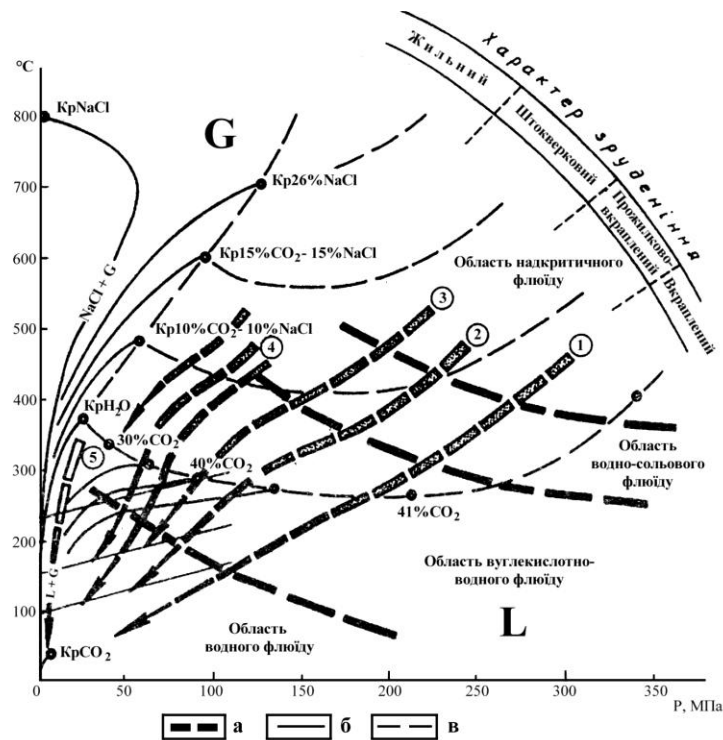


Рис. 3. Термобаричний режим золотоконцентрувальних флюїдних систем родовищ України на *PT*-діаграмі системи H_2O-CO_2-NaCl з лініями двофазової рівноваги (тонкі суцільні лінії) і критичного стану (тонкі штрихові лінії) за експериментальними даними [2, 16]. Показано генеральну спрямованість еволюції (стрілки з крапом) метаморфогенно-гідротермальних процесів золотоконцентрації на родовищах УЩ (1 – Майське, 2 – Балка Широка, 3 – Балка Золота), плутоногенно-гідротермальних (залиті стрілки), характерних для більшості фанерозойських родовищ, у тім числі Нагольного кряжа (4), і вулканогенно-гідротермальних (5 – Мужієвське родовище та його низькобарні аналоги). Виділено (товстий пунктир) *PT*-області існування водно-сольового флюїду (допродуктивний період), вуглекислотно-водного (продуктивний на золото) і власне водного (післяпродуктивний період).

Слабкотермостатована ($\Delta T = 25^\circ C$ на 100 м) *помірно барна* (до 22 МПа) – власне гідротермальна з періодичним закипанням слабкогазонасичених розчинів (< 9–11 мас. % NaCl). Генотип – Березівське родовище (Закарпаття).

2. **Вірогідно плутоногенні** ($T = 400-50^\circ C$ за $\Delta T/\Delta P = 2-9^\circ$).

Помірно термостатована ($\Delta T = 10-20^\circ C$ на 100 м) *середньобарна* (до 100–150 МПа) – гідротермальна, з глибиною пневматолітово-гідротермальна з обмеженим закипанням слабкоконцентрованих CO_2-H_2O розчинів (до 12–14 мас. % NaCl). Генотип – Бобрівське родовище (Нагольний кряж Донбасу), вірогідно – Східноюрівське (Кіровоградський геоблок УЩ).

3. **Метаморфогенні** ($T = 500-50^\circ C$ за $\Delta T/\Delta P = 3-10^\circ C$).

Порівняно термостатована ($\Delta T = 8-10^\circ C$ на 100 м) *середньобарна* (до 100–200 МПа) – пневматолітово-гідротермальна з інтенсивним кипінням густинного розчину H_2O-CO_2-NaCl , на початку процесу порівняно концентрованого (> 25–30 мас. % NaCl).

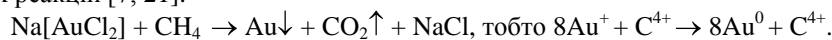
Генотип – родовище Балка Широка (див. рис. 1), області розвантаження та генерації флюїдів просторово розірвані (Чортотлицька зеленокам'яна структура).

Порівняно термостатована ($\Delta T = 5\text{--}8\text{ }^\circ\text{C}$ на 100 м) *високобарна* (до 250–300 МПа) – з самого початку гетерогенно-гідротермальна за участю порівняно високогустинного $\text{H}_2\text{O}\text{--}\text{CO}_2\text{--}\text{NaCl}$ (35–50 мас. % NaCl) флюїду, пізніше – гомогенно-гідротермальна з обмеженим кипінням $\text{CO}_2\text{--}\text{H}_2\text{O}$ розчину, просторово порівняно відірвана від джерел генерування флюїдів. Генотип – родовища Балка Золота, Сергіївське (Сурська зеленокам'яна структура).

Порівняно термостатована ($\Delta T = 5\text{--}8\text{ }^\circ\text{C}$ на 100 м) *гіпербарна* (до 350 МПа) – гомогенно-гідротермальна за участю порівняно густинного флюїду $\text{H}_2\text{O}\text{--}\text{CO}_2\text{--}\text{NaCl}$ (з концентрацією NaCl до 47 %), опісля гетерогенна з доволі інтенсивною дегазацією CO_2 , наприкінці суттєво водна, суміщена з джерелами генерування флюїдів (див. рис. 2). Генотип – Майське родовище (Дністерсько-Бузький геоблок УЩ).

За речовинним складом і послідовністю кристалізації мінеральних парагенезисів (див. рис. 1–3), морфоструктурними типами й фізико-хімічними умовами локалізації виділені генотипні родовища добре зіставні з трьома різноглибинними формаціями, за Н. Петровською та ін. [2, 12, 17, 18, 22], однак у запропонованому варіанті їхня генетична і формаційна позиція однозначніша, оскільки ґрунтується на інструментально-кількісній оцінці рівня баричності і значення термобароградієнтності золотоконцентрувальних систем, а також їхнього складу й фазово-агрегатного стану.

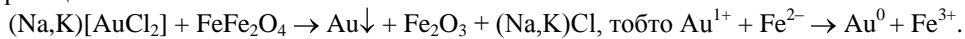
Аналіз найголовніших особливостей процесів рудогенезу і вивчення типоморфних властивостей флюїдних включень засвідчив таке. Під час руйнування металоносних комплексів і взаємодії розчинів з бічними породами родовищам золоторудних формацій великих глибин УЩ (де переважали пластичні деформації, а дегазація CO_2 відбувалася порівняно спокійно і була тривало-затяжною) притаманні процеси “всолювання” (накопичення солей), тоді як фракціонування CO_2 на родовищах середньо- і, особливо, малоглибинних формацій спряжене із зовнішніми (тектонічними) причинами – збільшенням об'єму системи і вибухоподібним кипінням гідротерм, коли процеси “всолювання” не могли відбуватися. Такі гідротермально-метаморфогенні золоторудні системи, на відміну від магматогенно-гідротермальних, фізико-хімічно еволюціонували в субізохоричному режимі за умов порівняного дефіциту вільного простору, що зумовлювало у високогіпербарних зонах вкраплений і прожилково-вкраплений тип зруденіння, тоді як для помірнобарних – жильно-штокверковий. Натомість магматогенно-гідротермальні процеси розвиваються у навхрест ізохоричному режимі (див. рис. 3), що спонукає до реактивної зміни щільності флюїдних фаз через різке й радикальне зниження тиску в разі крихких деформацій і утворення вільного простору. Такий перебіг подій призводив до значних порушень рівноваги відповідних фізико-хімічних систем із синхронними процесами кипіння й дегазації CO_2 , зміни рН і Eh та руйнування металоносних комплексів із кристалізацією самородного золота в середньотемпературному діапазоні за схемою окисно-відновних реакцій [7, 21]:



Швидко та ефективно реакція може відбуватися також у випадку перенесення золота у вигляді хлорауратних комплексів, наприклад, KAuCl_4 [13]. Зважаючи на потенціаловизначальну роль сполук вуглецю і генерацію у висхідних гідротермах CO_2 під час окиснення CH_4 , ця міграційно-кристалізаційна модель має загальне значення і є додатковим свідченням конвергентності фізико-хімічних умов розвитку золотоносної мінералізації.

Продовжуючи розпочатий вище аналіз, з'ясуємо (див. рис. 3), що саме в діапазоні 300–200 °С криві діаграми для помірно- і низькобарних родовищ мають найвиразніший перегин з $\Delta T/\Delta P > 5$, тоді як для родовищ високобарних груп це значення становить 2–3 чи майже не фіксується в гіпербарних умовах безумовного переважання пластичних з фрагментами напівкрихких деформацій (родовище Майське), що зумовлює геотектонічну і фізико-хімічну стійкість режиму. Суттєво незначні нерівноважні умови виявляються лише в локальних ділянках прояву зредукованих крихких деформацій, де, зважаючи на порівняно помітні флуктуації тиску, формуються окремі золоторудні стовпи з підвищеними щодо загального помірно убогого розподілу концентраціями металу.

Отже, крихкі деформації – визначальний геолого-структурний чинник регулювання фізико-хімічного режиму, трансляції і розвантаження металоносних флюїдів на певних ділянках. Саме такими були геолого-структурні й фізико-хімічні умови формування жильно-штокверкових і прожилково-вкраплених зон родовищ Сергіївське і Балка Золота, проте особливо сприятливими вони стали для Балки Широкої з її протяжними кулісоподібними зонами інтенсивного катаклазу, сітчастої тріщинуватості й брекчіювання порід у вузлах зчленування з поперечними структурами, а чіткий літологічний контроль зруденіння залізистими кварцитами можна задовільно пояснити потенціаловизначальною (для гідротермальної системи) роллю магнетиту як “відновника” золота, що звільнялось під час руйнування поширених у природі хлорауратних комплексів, наприклад, за реакцією



Самі ж висококомпонентні прошарки джеспілітів порівняно з іншими петротипами порід родовища були найсприятливішими для розвитку пластичних деформацій, через що стали найпридатнішими ділянками крихкого розвантаження тектонічних напружень, бар'єрно-спонтанної кристалізації та осадження золота [2].

З урахуванням описаних механізмів і форм міграції та кристалізації золота потрібно зважати на інші важливі механізми утворення його концентрацій, зокрема, на сепаратне осадження на енергоактивних поверхнях більш ранніх сульфідних мінералів допродуктивних стадій. Як засвідчили дослідження Г. Джейна і Г. Банкрофта, вірогідність адсорбції й відновлення золота на поверхні сульфідів (здебільшого піриту, арсенопіриту, піротину) – чи не головний механізм його концентрування, особливо у випадку порівняно низьких концентрацій й температури. Спочатку золото адсорбується у вигляді хлориду чи гідроксиду. Опісля сульфід-напівпровідник діє під час перенесення електронів як відновник за реакцією $8\text{AuCl}_4^- + 2\text{S}_2^{2-} + 12\text{H}_2\text{O} \rightarrow 8\text{Au}^0 + 3\text{SO}_4^{2-} + 24\text{H}^+ + 32\text{Cl}^-$ або $2\text{AuCl}_4^- + 3\text{S}^- \rightarrow 2\text{Au}^0 + 3\text{S}^0 + 8\text{Cl}^-$.

Нині для досліджених родовищ ми не можемо достеменно кількісно оцінити внесок процесів осадження золота на ранніх сульфідах і в разі його спільної кристалізації з сульфідами, бляклими рудами та іншими сульфосолями під час продуктивної, власне золотоносної стадії, однак численні аналогії дають підстави припускати, що провідну роль усе ж таки відіграють пізні виділення самороднометалевої фази у зв'язку з процесами масово-спонтанного руйнування золотоносних комплексів у діапазоні 280–200 °С. Такий міграційний і кристалізаційний геолого-геохімічний цикл для самородного золота доведений експериментально й обґрунтований статистичним аналізом дуже представницької вибірки ТБХ-даних [21].

Виконана таким способом геолого-генетична і формаційна типізація золоторудних родовищ України має не тільки помітне теоретико-методологічне, а й прогнозно-метало-

генічне значення, особливо щодо попередньої оцінки вірогідних масштабів зруденіння, зважаючи на його формаційну належність, можливості просторового визначення ділянок його вірогідного поширення залежно від наявності чи відсутності геоенергетичного чи генетичного зв'язку з палеотепловими полями розломних структур чи магматичних (метаморфічних) утворень, відірваності від рудогенних вогнищ чи суміщеності з джерелами генерування й розвантаження флюїдів. Вивіреними критеріями прогнозно-металогенічної оцінки зруденіння також є визначені ТБГХ параметричні характеристики утворення профільних мінеральних комплексів вивчених родовищ. Це слугує, як ми переконалися, підставою для випереджувального розрізнення рудноформаційної належності різноглибинних золоторудних родовищ, для яких типові включення CO_2 , законсервовані за 290–180 °C в умовах інтенсивної гетерогенізації флюїдів з різними співвідношеннями фаз у вакуолях включень ($\text{Г-Р}_{\text{CO}_2-\text{P}_{\text{H}_2\text{O}}}$; $\text{P}_{\text{CO}_2-\text{Г-Р}_{\text{H}_2\text{O}}}$; $\text{P}_{\text{CO}_2-\text{P}_{\text{H}_2\text{O}}}$; $\text{P}_{\text{CO}_2-\text{Г}}$; $\text{P}_{\text{CO}_2-\text{Г}_{\text{CO}_2}}$), поширені включення дво- й однофазового CO_2 з широкими варіаціями густини (для різноглибинних формацій від 1,02 до 0,4–0,1 г/см³) та гомогенізацією в рідку й газову фази.

Особливе значення для прогнозування зруденіння мають уявлення про закономірне збільшення вертикального розмаху золотого зруденіння від перших сотень до кількох тисяч метрів з переходом від слабо- до термостатованих систем рудоутворення, відображенням чого є значення вертикального палеотемпературного градієнта $\Delta T/100$ м: він, як достеменно з'ясовано, функціонально пов'язаний з витриманістю руд на глибину та для магматогенних плутоногенно- й, особливо, вулканогенно-гідротермальних помірно- і високофлюктуативних процесів значно більший (20–40 °C/100 м), ніж для низькофлюктуативних метаморфогенно-гідротермальних (5–8 °C/100 м). Саме впливом цих чинників пояснюють “стиснутий” по вертикалі й порівняно концентрований (бонанцевий) тип розподілу золотого зруденіння в першому випадку і розтягнутий по вертикалі за порівняно низького вмісту благородного металу, проте з дуже великими його запасами в другому. Водночас це дає змогу використовувати значення ΔT і температури рудоутворення на певному гіпсометричному рівні (денній поверхні) для оцінки вірогідного загального вертикального розмаху золотого зруденіння різноглибинних формацій, рівня його денудації і глибини поширення збереженої частини в сучасному ерозійному зрізі, напряму й розміру пострудних (епігенетичних) блокових переміщень за допомогою нескладних обчислень і графічних побудов [2, 4, 7, 9, 20, 21].

Описані ТБГХ закономірності й тенденції розвитку різноглибинних золоторудних флюїдних процесів і алгоритми їхнього прикладного використання мають, з певними корекціями для рудних формацій інших металів, загальне теоретичне і методологічне значення. Це свідчить також про те, що львівська наукова школа термобарогеохімії впритул підходить до реалізації наукової концепції нового напрямку сучасного рудно-формаційного і металогенічного аналізу – термобарогеохімічного моделювання, діагностики і прогнозування ендегенних рудних формацій.

1. Галецький Л. С. Золотоносність України / Л. С. Галецький // Наукові основи прогнозування, пошуків і оцінки родовищ золота : Міжнар. наук. конф. : матеріали. – Львів, 1999. – С. 34–36.
2. Геолого-генетична типізація золоторудних родовищ України / О. Б. Бобров, Д. С. Гурський, А. О. Сіворонов, Ю. В. Ляхов, М. М. Павлунь. – К., 2004. – 367 с.

3. Гончаров В. И. Термобарогеохимия вулканогенного рудообразования / В. И. Гончаров, А. А. Сидоров. – М. : Наука, 1979. – 207 с.
4. Кількісне термобарогеохімічне моделювання полів золотого зруденіння в практиці локального прогнозування / Ю. Ляхов, М. Павлунь, І. Попівняк, С. Ціхонь // Мінерал. зб. – 2001. – № 51, вип. 1. – С. 22–34.
5. Лазько Е. М. Физико-химические основы прогнозирования постмагматического оруденения / Е. М. Лазько, Ю. В. Ляхов, А. В. Пизнюр. – М. : Недра, 1981. – 286 с.
6. Лазько Е. М. Термобарогеохимическое моделирование рудных формаций и практика прогнозно-оценочных работ / Е. М. Лазько, Ю. В. Ляхов, А. В. Пизнюр // Сов. геология. – 1990. – № 6. – С. 75–84.
7. Ляхов Ю. В. Термобарогеохимические признаки глубины развития золоторудных формаций / Ю. В. Ляхов // Мінерал. сб. – 1988. – № 42, вип. 1. – С. 30–36.
8. Ляхов Ю. Термобарогеохімічне обґрунтування рудно-формаційної приналежності ендегенних золоторудних родовищ України: теоретичні та методологічні аспекти / Ю. Ляхов, М. Павлунь // Мінерал. зб. – 2002. – № 52, вип. 1. – С. 68–73.
9. Ляхов Ю. Термостатованість палеогідросистем як основа генетичної типізації золоторудних родовищ України (за флюїдними включеннями в мінералах) / Ю. Ляхов, М. Павлунь, С. Ціхонь // Мінерал. зб. – 2000. – № 50, вип. 2. – С. 38–43.
10. Магакьян И. Г. Типы рудных провинций и рудных формаций СССР / И. Г. Магакьян. – М. : Недра, 1969. – 383 с.
11. Моисеенко В. Г. Геохимия и минералогия золота Дальнего Востока / В. Г. Моисеенко. – М. : Недра, 1977. – 303 с.
12. Нарсеев В. А. Геохимические основы прогнозирования и оценки золоторудных месторождений (на примере Казахстана) : Автореф. дисс. ... д-ра геол.-мин. наук / В. А. Нарсеев. – Алма-Ата, 1983. – 46 с.
13. Овчинников Л. Н. Прикладная геохимия / Л. Н. Овчинников. – М. : Недра, 1990. – 246 с.
14. Павлунь М. М. Геолого-економічні аспекти формування та функціонування мінерально-сировинної бази золота / М. М. Павлунь // Зб. наук. праць УкрНДГРІ. – К., 2001. – С. 60–65.
15. Павлунь М. Термобарогеохімічні аспекти геолого-генетичної і рудноформаційної типізації золотого зруденіння Бельгау-Курамінського вулcano-плутонічного поясу у Східному Узбекистані / М. Павлунь // Мінерал. зб. – 2002. – № 53, вип. 2. – С. 78–85.
16. Павлунь Н. Н. Термобарогеохимические поисково-оценочные критерии эндогенного оруденения / Н. Н. Павлунь, А. В. Пизнюр, И. В. Попивняк // Термобарогеохимия в науке и технике. – М. : Наука, 1993. – С. 53–59.
17. Петровская Н. В. Самородное золото / Н. В. Петровская. – М. : Наука, 1973. – 347 с.
18. Петровская Н. В. Формации золоторудных месторождений / Н. В. Петровская, Ю. Г. Сафонов, С. Д. Шер // Рудные формации месторождений. Т. 2. – М., 1976.
19. Рундквист Д. В. О значении формационного анализа при прогнозных исследованиях / Д. В. Рундквист // Критерии прогнозной оценки территорий на твердые полезные ископаемые. – М. : Недра, 1978. – С. 181–192.
20. Термобарогеохімія в прикладній геології (пошуки, розвідка та експлуатація родовищ) / Є. М. Лазько, Ю. В. Ляхов, М. М. Павлунь, А. В. Пизнюр, І. В. Попівняк // Мінерал. зб. – 1994. – № 45, вип. 2. – С. 15–21.

21. Термобарогеохимия золота / Ю. В. Ляхов, Н. Н. Павлунь, А. В. Пизнюр, И. В. Попивняк. – Львов : Вища школа, 1995. – 285 с.
22. Шило Н. А. Золоторудные месторождения метаморфогенной, плутонической и вулканогенной формаций / Н. А. Шило // Геолого-геохимические особенности месторождений полезных ископаемых на Северо-Востоке СССР. – М. : Наука, 1976. – С. 3–41.

**ORE-FORMATION ASPECTS OF UKRAINIAN GOLD DEPOSITS
THERMOBAROGEOCHEMICAL INVESTIGATIONS
AND FORECAST-METALLOGENIC CONSEQUENCES**

Yu. Lyakhov, M. Pavlun, Yu. Pakhnyushchy

*Ivan Franko National University of Lviv
Hrushevskyi St. 4, UA – 79005 Lviv, Ukraine
E-mail: zaggeol@franko.lviv.ua*

Logic and methodology of ore-structure typification of Ukrainian different depth gold deposits on thermobarogeochemical basis are described. Some forecast-metallogenic consequences of such approach to auriferous structures thermobarogeochemical researches are resulted.

Key words: thermobarogeochemistry, fluid regime, ore formation, gold mineralization, forecast-metallogenic valuation.

**РУДНОФОРМАЦИОННЫЕ АСПЕКТЫ ТЕРМОБАРОГЕОХИМИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УКРАИНЫ
И ПРОГНОЗНО-МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКИЕ СЛЕДСТВИЯ**

Ю. Ляхов, Н. Павлунь, Ю. Пахнющий

*Львовский национальный университет имени Ивана Франко
79005 г. Львов, ул. Грушевского, 4
E-mail: zaggeol@franko.lviv.ua*

Рассмотрено логику и методологию рудноформационной типизации разноглубинных месторождений золота Украины на термобарогеохимической основе и раскрыто некоторые прогнозно-металлогенические следствия такого подхода к ТБГХ-изучению золотоносных рудных формаций.

Ключевые слова: термобарогеохимия, флюидный режим, рудная формация, золотое оруденение, прогнозно-металлогеническая оценка.

Стаття надійшла до редколегії 21.05.2012

Прийнята до друку 29.05.2012