

УДК 553.21/.24:549.41 (477)

**ТЕРМОСТАТОВАНІСТЬ ПАЛЕОГІДРОСИСТЕМ ЯК ОСНОВА
ГЕНЕТИЧНОЇ ТИПІЗАЦІЇ ЗОЛОТОРУДНИХ РОДОВИЩ УКРАЇНИ
(ЗА ДАНИМИ ДОСЛІДЖЕННЯ ФЛЮЇДНИХ ВКЛЮЧЕНЬ)**

Ю. Ляхов, М. Павлунь, С. Ціхонь

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

Показано, що зміни PT -режиму в часі (dT/dP) і просторі (dT на 100 м) є функцією термостатування. На основі сукупності термобарогеохімічних даних флюїдного режиму та ознак різної термостатованості палеогідросистем виділено шість генетичних типів золото-концентрувальних флюїдних систем на золоторудних родовищах України.

Ключові слова: золоторудне родовище, включення, флюїдний режим, градієнт, термостатування, палеогідросистема, генетична типізація, Україна

Рудноформаційний аналіз магматогенно- та метаморфогенно-гідротермальних родовищ золота ґрунтується на використанні переважно геологічних (у широкому розумінні) і мінералого-геохімічних ознак. Принципово важливими і плідними є також уявлення Н. В. Петровської [1] про вирішальну роль чинника глибинності зруденіння і про закономірне зниження “ступеня термостатованості гідротермальних систем” з наближенням до синрудної поверхні. Термобарогеохімічна інформація останнього десятиліття, отримана за флюїдними включеннями в мінералах, свідчить, що специфічні риси фізико-хімічного режиму й динаміки розвитку золотого зруденіння (включаючи різні геотектонічні зони України) залежали, власне і здебільшого, саме від ступеня термостатування відповідних палеогідросистем. Палеогідросистему, на відміну від не завжди геологічно коректно оціненої глибинності зруденіння, можна виражати через усереднені, проте конкретні значення просторово-часової зміни термобарогеохімічних градієнтів dT і dP [2].

Ми виконали комплексні термобарогеохімічні дослідження метаморфогенно-гідротермальних родовищ і рудопроявів золота в зеленокам'яних структурах Середнього Придніпров'я – Сурській, Чортомлицькій, у чарнокіт-гранулітовому блоці Побужжя, у метаморфітах Приазов'я і Рахівського масиву Карпат; охоплені вивченням плутоногенно-гідротермальні родовища Кіровоградського гранітоїдно-метатеригеного блока і теригенних товщ Донбасу (Нагольний Кряж), а також вулканогенно-гідротермальні родовища Закарпатського міжгірського прогину.

Під час досліджень поряд з абсолютними значеннями інтенсивних параметрів (T і P) оцінювали і деякі відносні показники загальної стійкості теплового балансу й оптимальних діапазонів розвитку рудогенерувальних палеосистем. Зокрема, усереднено показник зміни PT -режиму в часі (dT/dP), у просторі (dT на 100 м як функція

ступеня термостатування палеогідросистеми), а також розмірність регресивно-інверсійних (і флуктуаційних) порушень режиму (dT і dP) в ході рудного процесу. Саме характером поєднання цих показників визначено головні особливості фізико-хімічної еволюції рудогенерувальних палеосистем, агрегатний стан металоносних флюїдних фаз, масштаб і конфігурацію зональності та інтенсивність рудовідкладання в цілому.

Системний аналіз отриманих матеріалів дав змогу зробити загальний висновок про палеоградієнтність розвитку гідротермальних процесів з концентрацією золота в середньотемпературному діапазоні (переважно 280–200°C). Динаміка процесів і ступінь неоднорідності палеотеплових полів залежали здебільшого від конкретних геотектонічних умов, глибинності й “відкритості” рудогенерувальних систем.

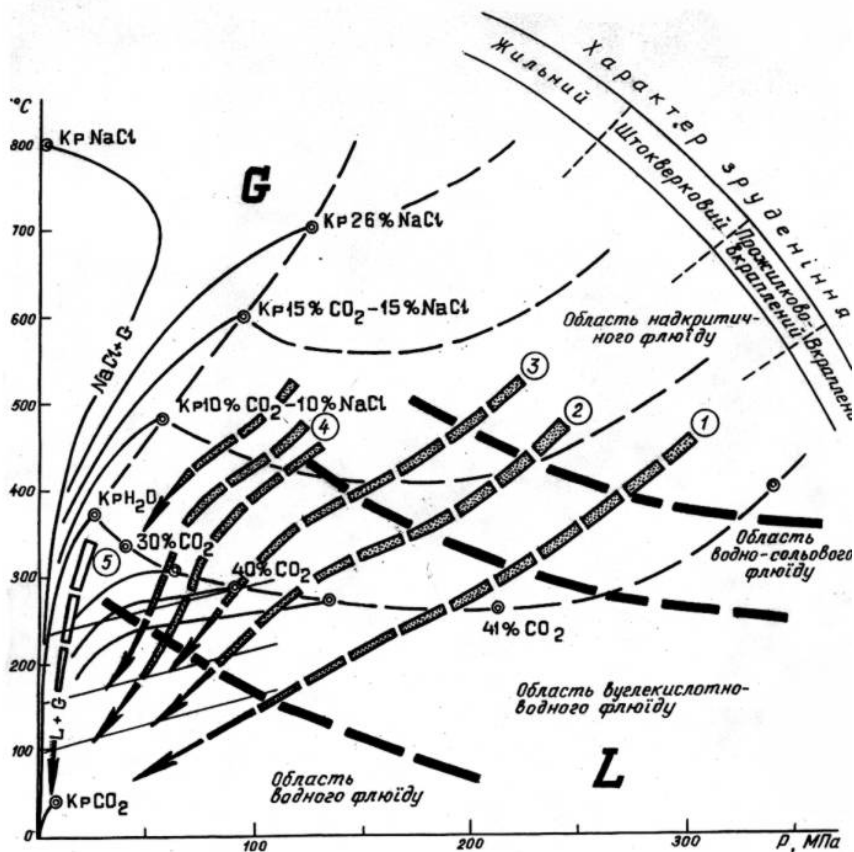
На базі термобарогеохімічних досліджень в Україні можна виокремити декілька типів зруденіння, специфіка умов золотоконцентрації в яких пов’язана з діяльністю власне водних, вуглекисотно-водних і вуглекисотно-водно-солевих розчинів. Відповідно, розрізняють низькобарні (до 20–22 МПа) гідротермальні родовища вулканогенних поясів (Мужієвське в Закарпатті), середньобарні (до 100–200 МПа) гідротермальні та пневматолітово-гідротермальні в теригенних товщах Донбасу (Нагольний кряж – Бобрівське, Вільховатське), частково в породах гранітоїдно-метатеригенного блока Українського щита (Клинці, Східноюрійське). Різноманітна група високо- і гіпербарних (до 250–350 МПа) метаморфогенно-гідротермальних родовищ у зеленокам’яних структурах (на півдні Сурської – Балка Золота, у Чортомлицькій – Балка Широка), в чарнокіт-гранулітовому геоблоці щита (Майське), у метаморфітах Приазов’я (рудопрояви Сорокинської тектонічної зони) і Мармароського масиву Карпат (Сауляк та ін.).

Кожна з названих груп родовищ має достатньо специфічні риси флюїдного режиму, які можна відобразити (рисунок) за допомогою усередненої величини dT/dP (інтенсивність зниження температури, °C на 1 МПа). Для вулканогенно-гідротермальних процесів її значення змінюється в межах 8–12° (у середньому 10°), для плутоногенно-гідротермальних, у тім числі з проявами пневматолізу, – 2,0–8,8° (у середньому 3,0°), а для метаморфогенно-гідротермальних – від 2,5 до 10,0° (у середньому 1,9–1,4°).

Цей показник треба трактувати як опосередковане відображення ступеня закритості (чи відкритості) рудогенерувальних палеосистем, тому цілком закономірне зменшення його значення з переходом від власне гідротермальних родовищ (низько- і помірнobarних жильно-штокверкових) до пневматолітово-гідротермальних (середньобарних) і метаморфогенно-гідротермальних (високо- і гіпербарних, здебільшого прожилково-вкраплених і вкраплених зон).

Щодо цього дуже показовим є закономірне зменшення кута зустрічі відповідних dT/dP -векторів злиття ізохор узагальненої PT -діаграми стану складної системи H_2O-CO_2-NaCl (див. рисунок). Вулканогенно-гідротермальним процесам найбільше властиве нахрест-ізохоричне їх розташування, тоді як метаморфогенно-гідротермальним – близькоізохоричне. Загалом, вірогідно, саме цим можна пояснити порівняно концентрований тип золотого зруденіння в першому випадку і, навпаки, більше розтягнутий по вертикалі, з нижчим вмістом металу – у другому. Натомість очевидно, що функціонально пов’язаний зі ступенем термостатування систем показник інтенсивності зміни їхнього PT -режиму треба враховувати не тільки для гене-

тичної типізації зруденіння, а й у разі вирішення прикладних прогнозно-оцінювальних завдань.



Термобаричний режим золотоконцентрувальних флюїдних систем
(за багатофазовими включеннями в мінералах).

Показана генеральна спрямованість еволюції (стрілки з крапом) метаморфогенно-гідротермальних процесів золотоконцентрації в межах Українського щита (родовища: 1 – Майське, 2 – Балка Широка, 3 – Балка Золота), плутоногенно-гідротермальних (4 – типові для більшості фанерозойських провінцій, включаючи Нагольний Кряж) і вулканогенно-гідротермальних (5 – Мужівське і його низькобарні аналоги). Виділені *PT*-області існування вуглекисотно-водно-сольового флюїду (допродуктивний період), вуглекисотно-водного (продуктивний на золото) і власне водного (післяпродуктивний) (а).

PT-діаграма з лініями двофазової рівноваги (б) і критичного стану (в) системи H_2O-CO_2-NaCl побудована за експериментальними даними К. Тедхейде, Е. Франко [3] і С. Такеночі, Д. Кеннеді [4, 5].

Загалом на підставі отриманих термобарогеохімічних даних вивчення флюїдних включень достатньо впевнено виділено шість найважливіших для України типів золотоконцентрувальних флюїдних систем.

• **Вулканогенні** ($T = 360\text{--}50^\circ \text{C}$ при $dT/dP = 8\text{--}12^\circ$)

1. *Слабкотермостатована* (з градієнтом $dt = 20\text{--}40^\circ \text{C}$ на 100 м) *низькобарна* (до 7–8 МПа) – власне гідротермальна з інтенсивним кипінням суттєво водних дегазованих розчинів низької концентрації (<1–4 мас. % ум. NaCl); генотип – Мужівське родовище (Закарпаття).
2. *Слабкотермостатована* (сер. $dt = 25^\circ \text{C}$ на 100 м) *помірнobarна* (до 21–22 МПа) – власне гідротермальна з періодичним закипанням слабо газо-соленасичених розчинів (< 9–11 мас. % ум. NaCl); генотип – Березівське родовище (Закарпаття).

• **Ймовірно плутоногенні** ($T = 400\text{--}50^\circ \text{C}$ при $dT/dP = 2\text{--}9^\circ$)

3. *Помірно термостатована* ($dt = 10\text{--}20^\circ \text{C}$ на 100 м) *середньobarна* (до 100–150 МПа) – гідротермальна, з глибиною – пневматолітово-гідротермальна з обмеженим закипанням слабоконцентрованих вуглекисотно-водних розчинів; генотип – Бобріківське (Нагольний Кряж), ймовірно, Східноюрійське (Кіровоградська обл.).

• **Метаморфогенні** ($T = 450\text{--}50^\circ \text{C}$ при $dT/dP = 3\text{--}10^\circ$)

4. *Відносно термостатована* ($dt = 8\text{--}10^\circ \text{C}$ на 100 м) *середньobarна* (до 100–200 МПа) – пневматолітово-гідротермальна з інтенсивним кипінням вуглекисотно-водно-сольового розчину, на початку процесу порівняно концентрованого (< 25–30 мас. % ум. NaCl); генотип – Балка Широка (Кіровоградська обл.).
5. *Відносно термостатована* ($dt = 5\text{--}8^\circ \text{C}$ на 100 м) *високobarна* (до 250–300 МПа) – первинно гетерогенно-гідротермальна з участю порівняно високощільного $\text{H}_2\text{O}\text{--}\text{CO}_2\text{--}\text{NaCl}$ (35–50 мас.%) флюїду, опісля гомогенно-гідротермальна з обмеженим кипінням вуглекисотно-водного розчину; генотип – родовища Балка Золота, Сергіївське (південь Сурської структури).
6. *Відносно термостатована* ($dt = 5\text{--}8^\circ \text{C}$ на 100 м) *гіпербарна* (до 350 МПа) – гомогенно-гідротермальна за участю порівняно щільного $\text{H}_2\text{O}\text{--}\text{CO}_2\text{--}\text{NaCl}$ -флюїду, опісля гетерогенна з інтенсивною дегазацією CO_2 , на завершенні функціонування – суттєво водна; генотип – Майське родовище (північ Одеської обл.).

За речовинним складом, морфоструктурними типами й умовами локалізації родовища названих груп досить добре зіставні з трьома різноглибинними формаціями за Н.В.Петровською [1]. Однак у запропонованому варіанті їхня генетична позиція відображена більш однозначно, передусім завдяки можливості інструментально-кількісного оцінювання рівня баричності й термоградієнтності відповідних рудогенерувальних систем. Для прогнозного оцінювання суттєво, що з переходом від слабо- до більш термостатованих систем закономірно зростає вертикальний розмах продуктивного зруденіння від перших сотень до кількох тисяч метрів, відповідно. Масштаб еродованої та збереженої частини зруденіння досить просто визначити за допомогою термобароградієнтного аналізу конкретних рудних полів.

Відповідний вертикальний розмах зон, сприятливих для розвитку зруденіння, обчислюють за формулою:

$$P_o = \frac{T_N - T_K}{\Delta t} \quad [6],$$

а розмах палеотемпературної зони поширення основних концентрацій металу –

$$P_k = \frac{t_p - t_n}{\Delta t},$$

де T_N і T_K – температури гомогенізації первинних і первинно-вторинних флюїдних включень у мінералах, що відповідають початку і кінцю розвитку продуктивної стадії мінералізації; Δt – вертикальний температурний градієнт, обчислений для тієї ж стадії не менш ніж за трьома–чотирма точками спостережень з інтервалом 50–100 м, $^{\circ}\text{C}$ на 100 м; t_p і t_n – верхня і нижня температури оптимального температурного інтервалу формування золотого зруденіння загалом. У випадку порівняно глибокого ерозійного зрізу зруденіння вертикальний розмах збереженої його частини визначають за аналогічної формулою, однак замість t_n використовують температуру t_e , яку отримують за включеннями у мінералах золотоносних парагенезисів на рівні сучасного ерозійного зрізу чи конкретного гіпсометричного горизонту (рівня). Якщо ж рудні зони (тіла) мають кут падіння $\alpha < 80^{\circ}$, тоді праві частини наведених формул треба помножити на $\sin \alpha$.

Як бачимо, серед різноманітних напрямів прикладної термобарогеохімії цей напрям є найважливіший, і його можна застосовувати до родовищ різних рудних формацій, а не тільки золота. Потрібно лише зазначити, що невідповідність детальності дослідження включень масштабів прогнозних і геологорозвідувальних робіт, як і їхній відрив від причинно-взаємопов'язаної геолого-структурної та мінералогеохімічної інформації, може призвести до невиправданої втрати сил, засобів і часу, різкого зниження ефективності термобарогеохімічних досліджень і навіть дискредитації усього напрямку [7].

1. *Петровская Н. В.* Самородное золото. М., 1973.
2. *Ляхов Ю. В.* Основные черты и факторы термобарогеохимической зональности золоторудных полей // *Минерал. сб.* 1989. № 43. Вып. 1. С. 23–41.
3. *Todheide K., Franch E. U.* Das Zweiphasengebiet und die Kritische Kurve im system Kohlendioxid-Wasser bis zu Drucken von 3500 bar // *Z. Phys. Chemie. Nev. ser.* 1963. Bd. 37. S. 387–401.
4. *Такеноучи С., Кеннеди Дж. К.* Бинарная система $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ при высоких температурах и давлениях // *Термодинамика постмагматических процессов.* М., 1968. С. 110–136.
5. *Такеноучи С., Кеннеди Дж. К.* Растворимость углекислоты в растворах NaCl при высоких температурах и давлениях // Там же. С. 137–149.
6. *Ляхов Ю. В., Павлунь Н. Н., Пизнюр А. В., Попивняк И. В.* Термобарогеохимия золота. Львов, 1995.
7. *Наумов Г. Б.* Флюидные включения в локальном металлогеническом прогнозе // *Прикладная термобарогеохимия: Сб. науч. ст.* Алма-Ата, 1988. Ч. 1.

**THERMOSTATIC CONTROL OF PALEOHYDROSYSTEMS AS THE BASIS
FOR GENETIC TYPIZATION OF THE UKRAINIAN GOLD DEPOSITS
(ACCORDING TO FLUID INCLUSIONS INVESTIGATIONS)**

Yu. Lyakhov, M. Pavloun', S. Tsikhon'

*Ivan Franko National University of Lviv
Hrushevskogo st. 4, UA – 79005 Lviv, Ukraine
E-mail: geomin@geof.franko.lviv.ua*

PT-regime alteration in time (dT/dP) and space (dT per 100 m) is the function of the thermostatic control degree. On the basis of thermobarogeochemical data of the deposits forming regime as well as thermostatic control degree six the most important in Ukraine genetic types of gold-concentrating fluid systems can be distinguished.

Key words: gold deposit, inclusion, fluid regime, gradient, thermostatic control, paleohydrosystem, genetic typization, Ukraine

Стаття надійшла до редколегії 29.05.2000