

УДК 553.065/061.11

Микола Павлунь

*Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. Грушевського, 4, Львів, Україна, 79005,
shvayevskiy@ukr.net*

ДЕЯКІ АСПЕКТИ ПРИРОДИ Й ЕВОЛЮЦІЙНОЇ СТРУКТУРИ ЗОНАЛЬНОСТІ ЗРУДЕНІННЯ ГІДРОТЕРМАЛЬНОГО КЛАСУ ТА ЇЇ ТЕОРЕТИКО-ПРИКЛАДНЕ ЗНАЧЕННЯ

Зональність зруденіння є важливою геолого-генетичною характеристикою гідротермальних родовищ. Наведено різні види і типи рудної зональності. Запропоновано ієрархічну характеристику зональності рудної формації (родовища) з погляду структурних рівнів організації речовини.

Ключові слова: зруденіння, зональність, гідротермальні процеси, парагенезис мінералів, рудна формація, родовище.

Генетичні мінералогічні дослідження, які є стрижнем мінералогічної школи академіка Євгена Лазаренка, неодмінно охоплюють вивчення зональності зруденіння, її морфології та природи. Однак уже досить тривалий час такі дослідження провадять фрагментарно і спорадично, а це гальмує поглиблення теоретичних розробок у напрямі з'ясування генезису і прикладного використання зональності, особливо щодо гідротермального зруденіння. Адже його мінерало-геохімічна та інша зональність найчіткіша і найбільш контрастна, до того ж найбільше видів корисних копалин має власне гідротермальне походження (Cu-Mo, W-Mo, Sn-W, Pb-Zn, Au, Au-Ag, Sn-Ag, Co, Cd-In, Hg-Sb, Re-Ga-Ge, Th-Sc-Ag тощо).

З такого погляду зональність зруденіння є надважливою геолого-генетичною характеристикою родовищ гідротермального класу, оскільки дає змогу глибше й повніше розуміти генезис і загальні закономірності просторово-часового поширення зруденіння, вирізняти природні взаємозв'язки мінеральних парагенезисів залежно від мінливих геологічних, геохімічних та фізико-хімічних умов їхнього формування й залягання. Недарма у праці [6] зазначено про взаємозв'язок і взаємозалежність трьох головних питань: генетичної класифікації родовищ, ендегенної зональності (простір) та мінеральних парагенезисів (час): "...Вони є різноманітним відбиттям загального явища, і ми робимо велику помилку, розглядаючи їх незалежно одне від одного. Спільне вивчення цих трьох питань, безперечно, призведе до прогресу наших уявлень про походження і розподіл руд... Тип зональності визначений змінами мінерального складу руд у вертикальному й горизонтальному напрямках. Окремі з них можуть відрізнятися за мінеральними видами, типами металів, вмістом тих чи інших елементів і навіть за ледь відчутними змінами співвідношень між ними. Якби характеристики не використовували для

з'ясування й вирішення самостійних зон, зональність і парагенезис будуть поняттями когенетичними, оскільки вони суть два аспекти одного й того ж явища”.

З іншого боку, з'ясування характеру зональності генотипного об'єкта дає змогу екстраполювати її за межі родовищ і рудних полів, тобто прогнозувати зруденіння, коректніше діагностувати рудні формації (як структурно-речовинні утворення) та вдосконалювати їхні речовинні класифікаційні ознаки, більш обґрунтовано обирати щільність розвідувальної мережі, превентивно оцінювати поширення зруденіння з глибиною, розшукувати так звані сліпі рудні тіла тощо.

Певні узагальнення наявного фактичного матеріалу і теоретико-практичні уявлення щодо природи гіпогенної зональності зроблено в праці І. Кигая [3] (табл. 1).

Таблиця 1

Генетичні типи ендегенної зональності мінералізації, за [3]

Тип зональності	Головний чинник	Парагенезиси		Типові приклади
		один	декілька	
Структуро-генна	Еволюція структур		+	Численні
Міграційна	Різна рухомість розчинних форм, різна стійкість мінералів	+	+	Концентрична зональність рудних вузлів (зрідка)
Термогенна	Гradient температури	+	?	Континентальні роговики, первинні ореоли
Метаморфічна	Gradientи T і P	+		Регіональний метаморфізм
Ацидогенна	Gradient рН флюїдів	+		Навколорудні метасоматити
Редокси-генна	Gradient Eh флюїдів	+	?	Вертикальна зональність метасоматитів вулканічних областей
Дифузійна	Gradient концентрації	+		Скарни, наволожиліні метасоматити
Літогенна	Відмінності складу та фізико-механічних властивостей вмісних порід	+	+	Зональність ендо- і екзоскарнів, вибірково заміщених порід
Гравігенна	Вплив навантаження (на структури і текстури руд) або сили тяжіння (на концентрацію компонентів у розчинах)			Зникнення штокверків з глибиною, посилене окварцювання з глибиною
Барогенна	Gradient тиску або різний тиск на породу і флюїд	+		Жили альпійського типу
Амфідірогенна	Змішування флюїдів різного складу	+		Баритові “шапки” сульфідних родовищ
Поляризаційна (електрохімічної природи)	Вплив поляризації рудних тіл на відкладання наступних рудних парагенезисів	+	+	Пряма вертикальна зональність більшості гідротермальних сульфідних тіл

Розрізняють сформовану в процесі гідротермального рудогенезу морфологічну, хронологічну та речовинну зональність, а Є. Лазько запропонував [4] ще вирізняти термобарогеохімічну зональність, яка має ширше охоплення, ніж речовинна, оскільки її мож-

на виявляти, на відміну від мінерало-геохімічної, на об'єктах мономінерального або майже мономінерального складу (п'єзокварцові кришталеносні жили, деякі жильні утворення з W, Mo, Sn, Au). За морфологією вона може бути вертикальна, горизонтальна, об'ємна та в площині рудної жили. З урахуванням напрямів зміщення мінеральних (геохімічних) парагенезисів чи термобарогеохімічних показників (*РТС*-параметри, сольова концентрація і хімічний склад розчинів, агрегатний стан, густина, співвідношення катіонів та аніонів чи газових компонентів, декрептоактивність флюїдних інклюдивів) щодо центра мінералізації (енергетичного осередку) вирізняють також пряму (центральну, доцентрову), зворотну (відцентрову) і чохову (симетричну до центра в одному–трьох вимірах) зональність, що особливо стосується гідротермально-метасоматичних процесів.

Хронологічна (водночас генетична) зональність охоплює одностадійну (радіальна, відкладання включно з зональністю мінералів однієї парагенетичної асоціації та зональність різних парагенетичних асоціацій однієї стадії), багатостадійну (пульсаційна) і багатоетапну (пов'язана з різними магматичними (енергетичними) джерелами), а також зональність продуктів різних тектономагматичних епох (циклів) металогенії – глобально-регіональну. Вирізняють також зональність комбіновану – пульсаційно-фаціальну.

Серед типів речовинної зональності розрізняють ізотопну, геохімічну, мінералогічну, текстурних і структурних типів руд [2, 3], а також фізико-хімічну (термобарогеохімічну), яка може бути температурна, іонометрична, газометрична, декрептометрична, фазово-агрегатна, концентраційна, та регіональну металогенічну [10].

Отже, що більше різних параметричних показників зональності буде розкрито, то більш обґрунтованим буде з'ясування теоретичного підґрунтя її генезису та прикладна інтерпретація її будови.

Зазначимо, що одностадійне мінералоутворення може бути тривале, з формуванням декількох послідовних парагенезисів і відповідних зароджень того чи іншого мінерального виду. Тому зональність “відкладання” не завжди є синонімом одностадійної зональності, а генетичні чинники її формування доцільно аналізувати окремо для синхронних одностадійних і асинхронних (послідовних) одно- і багатостадійних мінеральних асоціацій (див. табл. 1). Мінерало-геохімічна зональність буває первинна, для багатостадійних утворень – часто телескопована (накладена), однак є і вторинна зональність, яка формується, наприклад, у зонах вторинного сульфідного збагачення сульфідних руд за умов окиснення. На деяких міднорудних родовищах така зональність становить головну чи навіть єдину цінність родовища [9].

Здавалось би, що після авторитетних міжнародних симпозіумів з цього наріжного питання [1, 7] уже все з'ясовано, однак і нині є чимало невизначених питань і, як наслідок, привід для досліджень та конструктивних дискусій щодо категорій і типів зональності, геологічних та фізико-хімічних чинників і процесів її формування.

Зокрема, з погляду геолого-генетичної інтерпретації зональності зруденіння найважливішими є випадки, коли пульсаційна і фаціальна зональність мають однаково спрямований регресивний характер – відцентровий або доцентровий, а у вертикальному перерізі – висхідний. Іноді ці два типи зональності належать до прогресивної відцентрової, а в перерізі – низхідної. Епізодично виявлені фрагменти комбінації регресивно-пульсаційної та прогресивно-фаціальної зональності, дуже зрідка – навпаки. З'ясування характеру комбінацій елементів зональності вкрай важливе для розуміння загальної динаміки і геолого-структурних чинників розвитку магматогенно-гідротермальних процесів і для прогнозування зруденіння, особливо в масштабах родовища чи рудного поля. А локаль-

ні прогнози вже ґрунтуються винятково на аналізі елементів фаціальної зональності в рудному тілі чи зоні. У такому випадку мінералого-геохімічна зональність не завжди є належним підґрунтям для вирішення такого важливого і складного питання, тому на допомогу приходять дані про фаціальну термобарогеохімічну зональність. І тут вже особливо важливим є регресивний тип висхідної зональності, оскільки на підставі значення палеотемпературного градієнта $\Delta T/100$ м і ступеня термостатованості палео-гідротермальної системи (які мають обернено пропорційний зв'язок: що більше значення ΔT , то менший ступінь термостатованості й менший вертикальний розмах сприятливої для формування зруденіння фізико-хімічної зони) можна досить прецизійно, з "мірою і числом", оцінити вірогідну глибину розвитку продуктивного зруденіння загалом і перспективність спряжених по-різному еродованих рудних блоків, рівень їхнього ерозійного зрізу й, відтак, збереженість зруденіння в сучасному ерозійному зрізі [5, 10].

Ще є багато інших, остаточно не з'ясованих питань, які стосуються різних аспектів зональності зруденіння, особливо з урахуванням різноманітних комбінацій чинників її формування.

Надзвичайно цікаві також концептуальні уявлення про структурні рівні організації речовини [8]. З такого погляду зональність зруденіння набуває нового змісту: вона стає найважливішою характеристикою рудної формації (аналогічно до структури мінералу), тому її почали використовувати під час вирішення й систематики рудних формацій – "природної множини родовищ корисних копалин, що мають статистично стійкий мінералого-геохімічний парагенезис, подібні риси дискретного стадійно-зонального розвитку за дуже близьких геологічних умов" [8, 9] (табл. 2).

Таблиця 2

Група характеристик різноієрархічної зональності

Рівень організації речовини	Об'єкти дослідження		
	мінеральний парагенезис	мінерал	хімічний елемент
Родовище, рудна формація	1 Закономірність розміщення парагенезисів у рудній формації, $\Phi = \Pi \cdot S$	2 Закономірність розміщення мінералу в родовищі (рудній формації)	3 Закономірність розміщення хімічного елемента в родовищі (рудній формації), $S = \Phi/E$
Мінеральний парагенезис (порода, руда)		4 Закономірність розміщення мінералів у парагенезисах, $\Pi = M \cdot S$	5 Закономірність розміщення хімічних елементів у мінеральних парагенезисах, $S = \Pi/E$
Мінерал			6 Закономірність розміщення хімічних елементів у мінералі, $M = E \cdot S$, $S = M/E$
Зональність	Рудна	Мінералогічна	Геохімічна

П р и м і т к и: Φ – формація; Π – парагенезис; M – мінерал; E – хімічний елемент; S – зона (простір) родовища.

Згідно з цією концепцією, передбачають повну характеристику складу й будови будь-якого геологічного тіла (утворення), у тім числі просторових закономірностей розташування всіх його складових елементів у різних просторових об'єктах: хімічний елемент – мінерал – мінеральний парагенезис – родовище – рудна формація.

Як випливає з табл. 2, систематична характеристика зональності рудної формації (родовища), зазвичай, ієрархічна (за схемою 1–4–6). Однак корисно і плідно розглядати також зональність в одному “знаменнику” – хімічний елемент (3–5–6), мінерал (2–4), парагенезис мінералів (1) чи на одному “рівні” – рудна формація (1–2–3), мінеральний парагенезис (4–5), мінерал (6). У цьому разі такі форми зональності не будуть однотипні (не буде повторень), оскільки один хімічний елемент може міститись у різних мінералах, а один мінерал – у різних мінеральних парагенезисах.

Отже, можна вибудувати такі три ряди зональності:

1) “ієрархічний ряд” – $S = \Phi/\Pi \rightarrow \Pi/M \rightarrow M/E$;

2) ряди зі “спільними знаменниками” – $S = \Phi/E \rightarrow \Pi/E \rightarrow M/E$; $S = \Phi/M \rightarrow \Pi/M$;

3) ряди зі “спільними чисельниками” – $S = \Phi/\Pi \rightarrow \Phi/M \rightarrow \Phi/E$; $S = \Pi/M \rightarrow \Pi/E$.

Так ідеалізовано виглядає різнорівнева рудна зональність. Вона розкриває успадкованість процесів акумуляції мінеральної речовини від хімічного елемента до рудної формації – природної множини родовищ, яка є продуктом дискретного стадійно-зонального розвитку за дуже близьких геологічних умов та відображає найвищий рівень узгальнення зональності зруденіння.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Зональність гидротермальних рудних месторождений. – М. : Наука, 1974. – Т. 1. – 294 с. ; Т. 2. – 218 с.
2. Зональность и глубинность оловянного оруденения / Е. А. Радкевич, И. Н. Томсон, В. П. Полохов и др. – М. : Наука, 1980. – 180 с.
3. Кигай И. Н. Генезис гидротермальних месторождений цветных и редких металлов, связанных с гранитами / И. Н. Кигай. – М. : ИГЕМ РАН, 1989. – 48 с.
4. Лазько Е. М. О термобарогеохимической зональности / Е. М. Лазько // Зап. Рос. минерал. об-ва. – 1981. – Ч. 110, вып. 1. – С. 16–25.
5. Павлунь Н. Н. О термобарогеохимической зональности молибден-ванадиевого месторождения Акчатау в Центральном Казахстане / Н. Н. Павлунь // Докл. АН СССР. – 1984. – Т. 274, № 6. – С. 1450–1454.
6. Парк Ч. Ф. Рудные месторождения / Ч. Ф. Парк, Р. А. Мак-Дормид. – М. : Мир, 1966. – 544 с.
7. Проблемы постмагматического рудообразования. – Прага, 1963. – Т. 1, 2.
8. Рундквист Д. В. Зональность эндогенных рудных месторождений / Д. В. Рундквист, И. А. Нежинский. – М. : Недра, 1975. – 374 с.
9. Смирнов В. И. Геология полезных ископаемых / В. И. Смирнов. – М. : Недра, 1982. – 264 с.
10. Термобарогеохимия золота / Ю. В. Ляхов, Н. Н. Павлунь, А. В. Пизнюр, И. В. Попивняк. – Львов : Світ, 1995. – 278 с.

Стаття: надійшла до редакції 27.07.2018
прийнята до друку 06.08.2018

Mykola Pavlun

*Ivan Franko National University of Lviv,
4, Hrushevskoho St., Lviv, Ukraine, 79005,
shvayevskyi@ukr.net*

SOME ASPECTS OF NATURE AND EVOLUTIONARY STRUCTURE OF ZONING IN HYDROTHERMAL DEPOSITS AND ITS THEORETICAL-APPLIED SIGNIFICANCE

Zoning of mineralization is an important geological and genetic characteristic of hydrothermal deposits, since it enables one to understand deeper and more fully the genesis and general regularities of spatial and temporal distribution of mineralization, as well as to distinguish natural interconnections of mineral parageneses depending on the changing geological, geochemical and physical-chemical conditions of their formation and occurrence.

Different types and species of ore zoning are described in the article. The hierarchical characteristic of the zoning of ore formation (deposit) is proposed in terms of the matter structural levels organization: the chemical element – the mineral – the mineral paragenesis – the deposit – the ore formation.

Key words: mineralization, zoning, hydrothermal processes, mineral paragenesis, ore formation, ore deposit.