

ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ І КРИТЕРІАЛЬНО-ПОНЯТІЙНІ ПІДҐРУНТЯ ПРОГНОЗНО-МЕТАЛОГЕНІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Микола Павлунь

*Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. Грушевського, 4, Львів, Україна, 79005
e-mail: geology.faculty@lnu.edu.ua;
<https://orcid.org/0000-0002-8634-6576>*

Проаналізовано теоретико-методологічне й критеріально-понятійне підґрунтя прогнозно-металогенічних досліджень, а також зміст і методи складання металогенічних і прогнозних карт як найважливішого практичного відображення закономірностей просторово-часового поширення родовищ твердих корисних копалин. Родовища формуються завдяки певним комбінаціям геотектонічних, геохімічних, петрологічних і власне рудоутворювальних процесів. Пізнання інформативного взаємопроникнення й логічної взаємодії саме цих процесів визначає раціональність, надійність і успіх прогнозних досліджень потенційно рудоносних породних комплексів. Металогенічні особливості, а відтак й ознаки (критерії) прояву зруденіння завжди різні на різних етапах геологічної історії земної кори. Тому прогнозно-металогенічні роботи потрібно виконувати з урахуванням винятково реальних, об'єктивно наявних геолого-геохімічних і геофізичних параметрів зруденіння, які можна простежувати, документувати, картувати й цілком або ж максимально об'єктивізувати в процесі складання металогенічних і прогнозних карт. Під час складання таких карт звичайно використовують два підходи – парагенетичний і генетичний.

Ключові слова: металогенія, прогнозування, родовище корисних копалин, рудна формація, металогенічні і прогнозні карти, критерії зруденіння.

Вступ. Металогенічні особливості й ознаки (критерії) прояву зруденіння завжди різні на різних етапах геологічної історії земної кори. Тому прогнозно-металогенічні роботи потрібно виконувати з урахуванням винятково реальних, об'єктивно наявних геолого-геохімічних і геофізичних параметрів зруденіння, які можна простежувати, документувати й картувати. У такий спосіб ми можемо цілком або максимально об'єктивізувати процес складання металогенічних і прогнозних карт. Алгоритми цього описано нижче.

Обґрунтованість поширення й оцінки зруденіння зумовлена, головню, практикою його типізації з метою уникнення ознак децю уявного, суто теоретичного його походження, часто на рівні суб'єктивних оцінок і припущень того чи іншого дослідження. Найголовнішим елементом такої типізації є рудно-формаційний тип зруденіння – уже не уявна, а реально природна кількість родовищ корисної копалини, яка утворилася за дуже подібних геолого-тектонічних умов, має статистично стійкий

набір мінералого-геохімічних, у тім числі “продуктивних”, параметрів з однаковими рисами їхнього дискретно-стадійного і просторово-зонального розвитку. Це реальне структурно-речовинне поняття, тому тільки воно може бути засадничим для прогнозного аналізу зруденіння будь-якого масштабу.

Практичне значення виконаних досліджень зумовлене тим, що розробка й систематика науково-обґрунтованих критеріїв прогносної оцінки території на тверді корисні копалини (а саме вони становлять “хребет” мінерально-сировинної бази України) для вирішення першочергових перспективних площ і удосконалення методології й методів прогнозно-металогенічних досліджень та картографічного відображення на металогенічних і прогнозних картах – це найважливіше наукове завдання сучасного етапу розвитку теоретичної і прикладної геології.

Результати досліджень та їх обговорення. У процесі аналізу металогенічних особливостей великих територій (ділянок земної кори) використовують не тільки геолого-геохімічні дані, спостережувані геологами поблизу поверхні земної кори, а й матеріали геофізичного вивчення її глибинних зон (іноді до 150–200 км). Літолого-структурні й фізико-хімічні закономірності, які зумовлювали головні причини концентрації (або розсіяння) корисних компонентів, визначені певним комбінаторним поєднанням геотектонічних, геохімічних, петрологічних і власне рудоутворювальних процесів [3]. Пізнання інформативного взаємопроникнення й логічної взаємодії саме цих процесів визначає раціональність, надійність і успіх прогнозних досліджень потенційно рудоносних породних комплексів різного масштабу – від регіональних структурно-металогенічних зон, мегаблоків, металогенічних провінцій, областей, рудних басейнів та районів до окремих рудних зон, вузлів, полів, рудних тіл і навіть поодиноких рудних стовпів (бонанців).

Металогенічні особливості, а відтак й ознаки (критерії) прояву зруденіння далеко не завжди однакові на різних етапах геологічної історії формування земної кори, і це теж потрібно відобразити на металогенічних і прогнозних картах. Неоднаковою є переважна більшість геологічних процесів, їхній характер і масштабність (продуктивність) рудогенерувальних систем: вони суттєво еволюціонують упродовж так званих металогенічних циклів. Саме тому в класичній металогенії важливе місце належить таким поняттям, як *археохрон*, *мезохрон*, *неохрон*. До того ж усі матеріали про регіональне чи локальне зруденіння повинні ґрунтуватися на формаційній основі. Саме в такій формі прогнозного аналізу різні генетичні типи родовищ чітко й логічно пов’язані з певними геологічними формаціями: *продуктивними*, *рудогенерувальними* (материнськими) і просто *рудоносними* [2].

Дуже важливою є чітка формалізація понять як термінологічної бази металогенічного прогнозування родовищ корисних копалин. Однак такі терміни, як *закономірність* поширення зруденіння, типи його *зв’язків*, *чинники*, *критерії* тощо (часто вживані дефініції), на жаль, усе ще тлумачать досить вільно. Отже, треба розуміти, що *прогноз* у металогенічному аналізі – це не просто *передбачення*, *випередження знання* апіорі, тобто поза досвідом, а, за визначенням Д. Рундквіста [11], “...складна система наукового аналізу конкретної геологічної ситуації та ґрунтового доведення її потенційної рудоносності з позицій як попереднього досвіду геологічної думки, так і сучасних наукових знань” (переклад наш. – М. П.).

Потрібно також чітко розрізняти поняття *комплексного* (за Ю. Білібіним, регіонального) та *галузевого* (за Ю. Білібіним, спеціального) прогнозування. Характер

причинно-наслідкових зв'язків між цими двома типами прогнозно-металогенічних робіт, логіка їхньої послідовності й порядок рекомендацій різні. Дуже важливим є зміст кожного з трьох етапів “багатоступеневого” розбракування територій під час галузевого прогнозування, масштабність вихідних і підсумкових металогенічних матеріалів (карт, схем) – від так званого оглядового, дрібномасштабного прогнозування до детальнішого й локального.

Щодо геолого-геохімічної діагностики й визначення *закономірних зв'язків* зруденіння, то вкрай важливо наголосити на принциповому значенні *статистично стійкого* (на 90 %) характеру його взаємовідношень (просторово, часово, речовинно, енергетично, зрештою, генетично) з будь-якими геологічними утвореннями (процесами) різного мас-штабу. Потрібно брати до уваги процесуально-причинний сенс *чинника* (лат. *фактора*), який навіть етимологічно не можна розглядати на кількісно-параметричному рівні на кшталт *критерію*, пам'ятаючи в цьому разі про головні чинники ендегенного зруденіння та розділяючи рудоносні чинники на рудопідвідні, рудорозподільчі, рудокалізуювальні, рудоконтролювальні, рудоутворювальні; і саме за такою ієрархією їх треба зображати на прогнозно-металогенічних картах. *Критерій* же (грец. *засіб вирішення будь-якого питання*) як специфічна риса (ознака) можливого зруденіння якісно є поняттям пріоритетно-параметричним, кількісно статистично стійким, ієрархічні системи якого можна впевнено перенести (однак із певними застереженнями щодо необмеженої екстраполяції) на інші площі галузевого прогнозування. Розрізняють і застосовують *прямі* й *непрямі* критерії, що належать до чотирьох класів: *речовинні* (геологічно широкого діапазону – від рудно-формаційних до термобарогеохімічних), *просторові*, *вікові* й *генетичні* (речовинно-енергетичні), а їхній склад і співвідношення знову ж таки різні для різних цілей регіонального й локального прогнозування. Для локального прогнозування дуже важливим є сучасний комплекс інструментально-об'єктивної оцінки локальних критеріїв зруденіння за багатофазовими флюїдними включеннями в мінералах (комплекс термобарогеохімічних критеріїв). Серед них [6, 7] вирізняють *оптимально-температурні*, *термоградієнтні*, *агрегатно-густинні*, *флюїдно-фазові*, *концентраційно-сольові*, *флюїдно-вуглекислотні*, *декрепітаційні* та ін.

Найважливішим є критерій термоградієнтного аналізу палеотемпературних полів процесів рудоутворення, за яким визначають вірогідний ступінь термостатування фізико-хімічної палеосистеми рудоутворення й вертикальний розмах зруденіння (що більший палеотемпературний градієнт $\Delta T/100$ м, то менший розмах зруденіння), коефіцієнт його післярудної ерозії, поширення стовпів багатого зруденіння для Mo-W, Sn, Au, Au-Ag, Pb-Zn, Sb-Hg, флюоритових, п'єзокварцових та інших родовищ [3].

Отже, металогенічне прогнозування – це науково обґрунтоване передбачення вірогідних місць локалізації зруденіння у вигляді промислових родовищ корисних копалин різних типів. Під час комплексного (регіонального) прогнозування аналіз ґрунтується на вивченні історії геологічного розвитку регіону (у тім числі еволюції рудних формацій) та вирізненні груп і рядів рудних формацій, які в заданій геотектонічній структурі можуть бути неповні, отже, пропущені (не знайдені), відтак, можна очікувати на їхнє знаходження [8, 9].

Галузеве ж прогнозування багатоступеневе, спрямоване на наукове розбракування територій з виявленням ієрархічного ряду рудоперспективних площ та оцінювання їхніх перспективних, так званих прогнозних ресурсів з виявленням загальних і специфічних

рис геологічної будови й речовинного складу територій, з особливою увагою на ієрархії рудоконтрольованих чинників у порядку зменшення їхнього значення (вагомості). Основою галузевого прогнозування є уявлення про критерії конкретної корисної копалини. І в цьому випадку потрібно брати до уваги не тільки позитивні, а й негативні критерії, що відображають чинники збереження зруденіння (а це актуальна геолого-економічна проблема), зокрема, розмір ерозійного зрізу рудовмісного блоку, несприятливий для зруденіння розвиток післярудного метаморфізму, тектонічного режиму, інтенсивність післярудної денудації та ін. Тут уже потрібні надійні знання про закономірності геотектонічної позиції родовищ корисних копалин, особливо щодо геолого-структурних і літолого-фаціальних умов поширення руд за стійкого характеру мінерального покладу та закономірної зміни статистично стійких мінеральних парагенезисів руд з часом (стадійність) і в просторі (зональність). Обґрунтованість таких оцінок зруденіння визначена, головню, коректністю його типізації з метою уникнення ознак дещо уявного, суто теоретичного його походження, часто на рівні суб'єктивних оцінок і припущень того чи іншого дослідника. Натомість прогнозно-металогенічні роботи потрібно виконувати з урахуванням винятково реальних, об'єктивно наявних геолого-геохімічних і геофізичних параметрів зруденіння, які геолог може простежувати, документувати й картувати. Найголовніші елементи цієї типізації такі [8, 9]:

1. *Генетичний тип* зруденіння – теоретично досить умовна сукупність продуктів розвитку однотипних у геолого-енергетичному сенсі рудоутворювальних процесів (магматичних, післямагматичних, осадових, метаморфічних).

2. *Геолого-генетичний тип* як складова генетичного типу, що за певної специфіки геологічних умов рудолокалізації має спільні риси морфоструктурної й мінералого-геохімічної спеціалізації (пізньомагматичні родовища титаномагнетитових чи хромітових руд або скарнові родовища заліза, міді тощо).

3. *Геолого-промисловий тип* як складова геолого-генетичного утворення промислових родовищ, на які припадає не менше 1 % світових запасів певної корисної копалини.

4. Нарешті, *рудно-формаційний тип* – уже не уявна, а реально-природна множина родовищ конкретної копалини, що утворилася за дуже подібних геолого-тектонічних умов, має статистично стійкий набір мінералого-геохімічних, у тім числі “продуктивних” парагенезисів з однаковими рисами їхнього дискретно-стадійного і просторово-зонального розвитку. Це реальне *структурно-речовинне поняття*, тому тільки воно, на відміну від попередніх трьох, може бути *засадничим* для прогнозного аналізу будь-якого масштабу.

5. Насамкінець, поняття *рудносна геологічна формація*, з якою просторово або в часі, а іноді й генетично пов'язані родовища корисних копалин. Тут доречною є логічна паралель, що розкриває структурні рівні організації всієї сукупності процесів геологічного прогнозування, коли мінерали є структурованими асоціаціями хімічних елементів, а гірські породи (і руди) – специфічними парагенезисами мінералів, і тоді доходимо висновку, що рудносна геологічна формація є просторовою, віковою або ж генетичною асоціацією гірських порід і руд. Звідси базовим є поділ рудоносних геологічних формацій на власне продуктивні, які самі відіграють роль прямих критеріїв зруденіння, материнські рудогенерувальні, які найчастіше пов'язані з магматичною чи післямагматичною діяльністю різноглибинних осередків речовини, і рудовмісні, до

яких належить більшість осадових, метаморфогенних і накладених гідротермально-метасоматичних формацій. Наголосимо на суттєвому значенні рудогенерувальної формації й, відтак, прогнозує ролі вторинних геологічних формацій останньої групи – пропілітової (Cu, Cu-Fe, Cu-Zn), вторинно-кварцитої (Cu-Mo, Au-Ag, Hg-Sb, корунд, алуніт), аргілізитої (Au-Ag, Zn-Pb, Hg-Sb), березитої (Zn-Pb-Ag, W-Mo-Au), гумбеїтової (Mo, Cu-Mo, U-Mo), серпентинітової (азбест, тальк, Cr-Pt), магнезійно-скарнової (Fe, Co, Cu, Zn-Pb, Mo-W, As), грейзенової й альбітитої (Sn-W, Be-W-Mo-Bi, Mo-W-Be, Li-Be, U), фенітової (Zr-Nb-Ta-U-Th), карбонатитої (Ti-Fe, Zr-Hf-Nb-Ta-Ce, апатит, флогопіт) тощо.

Чітко побачити головні елементи характеру ієрархії прогнозних критеріїв різного масштабу можна на прикладі провідних (типових) рудних формацій різних корисних копалин, тому що саме для них найповніше і найдосконаліше розроблено критеріальні системи, які були сформовані й багаторазово перевірені в процесі прогнозування й освоєння особливо показових і всесвітньо відомих металогенічних провінцій, у тім числі в Україні. Таким вимогам відповідають, скажімо, велетенські родовища смугастої залізородної формації (Криворізький залізородний басейн) у залізистих кварцитах (джеспілітах). Як добре відомо, ця формація належить до метаморфогенної серії класу регіонально-метаморфічних утворень. За М. Страховим, на неї припадає близько 90–92 % світових ресурсів заліза, за оцінкою Джей-Сіменса – близько 10^{12} т руди. Вміст Fe у власне магнетитових рудах таких покладів коливається від 25–40 до 70 %, у гематитових – до 40 %. Руди дуже чисті (мартенівські), без домішок сірки й фосфору, позитивне природне підшихтовування – до 3 % CO_2 , MgO і CaO – 4–5 %, SiO_2 – до 5 %. Руди легко збагачувати електромагнітною сепарацією.

Запаси руд окремих родовищ сягають сотень мільйонів і мільярди тонн (Криворізький залізородний басейн – родовища Саксаганське, Іллічівське тощо). Тут доцільно згадати Центральний Казахстан (Каражал), США (Верхнє Озеро), Канаду (басейн Лабрадор), Бразилію (басейн Мінас-Жерайс), Австралію (Хамерслі), ПАР (Трансвааль).

Серед *регіональних рудоконтролювальних критеріїв* розрізняють такі:

- 1) геохронологічні (докембрійський вік, особливо PR_1);
- 2) геотектонічні (кристалічні щити, кратони);
- 3) метаморфічні породи (зеленосланцева фація).

Локальні критерії:

- 1) структурні підняття кратонів;
- 2) магматичні (метабазити, лептити);
- 3) літолого-фаціальні (тонкорозшаровані суттєво кварцові породи потужністю понад 1 км);
- 4) геофізичні (лінійні магнітні аномалії інтенсивністю $> 10\,000$ γ за довжини 10–110 км).

Практичним втіленням (відображенням) металогенічних закономірностей поширення родовищ корисних копалин є **металогенічні і прогнозні карти**.

Геологічна картографія ґрунтується на всіх досягненнях геологічної науки – без цього геологічні карти залишалися б петрографічними змістовного рівня XVIII ст. і не могли б слугувати геологічною основою господарювання, науки й освіти. Основними є геологічні, стратиграфічні, літолого-петрографічні, тектонічні й металогенічні карти, загальним принципом складання і використання яких є збалансоване дотримання

співвідношення природних геологічних об'єктів та їхнього картографічного зображення, у тім числі з дотриманням максимально можливого рівня його генералізації (якщо його перевершити, то втрачається зміст складання таких карт).

На *металогенічній карті* відображають закономірності утворення й локалізації корисних копалин, металогенічне районування країни чи окремих регіонів, класифікацію металогенічних об'єктів. Іншими словами, ця карта максимально "всотує" результати інтегрованого металогенічного аналізу – про зв'язок розвитку геотектонічних структур земної кори з певною послідовністю проявів різних форм тектонічних рухів, магматизму, метаморфізму, осадоагромадження й формаційних типів родовищ. І тут, як уже зазначено, розрізняють галузевий (спеціальний, пометальний) і регіональний (комплексний) аналіз. У разі галузевого аналізу спочатку синтезують особливості поширення заданого рудноформаційного типу родовищ, визначають чинники його контролю, опісля розробляють критерії вирізнення перспективних площ на кожному ієрархічному рівні, а далі – за принципом їхнього просторового звуження (через застосування відповідних критеріїв на кожному рівні) – виділяють перспективні площі й оцінюють їхні прогнозні ресурси. Під час регіонального аналізу виконують металогенічне районування на структурно-формаційній основі через типізацію головних металогенічних підрозділів – провінцій, зон тощо.

З позиції тектоніки плит головне завдання металогенічного аналізу – виявлення палеогеодинамічних обстановок, ідентифікація їх за сучасними геодинамічними обстановками і, як наслідок, прогнозна оцінка територій. Однак тут завжди бракує геологічної фактології, а головне значення мають геофізичні дані.

Металогенія і спряжений прогноз родовищ ґрунтуються на органічному поєднанні геологічних (у широкому розумінні цього слова) і геохімічних закономірностей поширення та умов утворення промислових рудних концентрацій, основою яких є закон геохімічної диференціації, зонального розподілу металів (хімічних елементів). Головним відображенням результатів металогенічних досліджень та їхнім синтезом, відповідно, є металогенічні і прогнозні карти. Ці карти, крім прямих ознак зруденіння, повинні містити широку цілеспрямовану геохімічну інформацію, яка впливає з конкретно-історичних проявів головного закону зональності та його наслідків на заданій площі й у заданому об'ємі. У цьому разі потрібно переходити від уявлень про потенційну рудоносність до показників справжньої рудоносності через уже відому рудоносність, яку визначено під час проведення спеціальних бурових і гірничих робіт та експлуатації родовищ.

Головні принципи металогенічних і прогнозних карт та методика їхнього складання первинно й найфундаментальніше (це треба визнати) викладені в низці монографічних видань різного часу. Серед найважливіших – "Металлогенические прогнозные карты" (1959); "Основные принципы составления, содержания и условные обозначения металлогенических и прогнозных карт рудных районов" (1963); підсумкове узагальнення "Принципы и методика составления металлогенических и прогнозных карт" за редакцією Є. Шаталова (1965). Це той методологічний фундамент, який сьогодні дає змогу тільки доповнювати, конкретизувати, поглиблювати, виразніше зображати й удосконалювати зміст і дизайн карт, додавати деякі нові штрихи.

Суттєвим елементом металогенічних і прогнозних карт повинні бути вектори знаходження родовищ як відображення тренду зміни відповідних рудоконтрольованих

параметрів, які використовують у порядку послідовного скорочення розміру перспективних площ. Також повинні знайти своє логічне місце показники рівня ерозійного зрізу рудоносних і рудних формацій (питання збереженості зруденіння в сучасному ерозійному зрізі), які обов'язково потрібно поєднувати з гіпсометричним рівнем продуктивності. Доцільно використовувати коефіцієнти рудоносності окремих площ, блоків, продуктивних площ і світ. І, звичайно, треба відображати дані просторово-статистичного аналізу залежності геохімічних показників від геологічної будови території і конкретних геолого-структурних чинників контролю зруденіння – повинномасштабно застосовувати дуже потужний засіб прогнозування.

Теоретичну металогенічну основу геологічного картографування почали формувати від моменту виділення металогенії в самостійну галузь геології, особливо її розвивали у другій половині 1940-х років ХХ ст. К. Сатпаєв, Ю. Білібін, Є. Шаталов, К. Радкевич, О. Семенов, Д. Рундквіст, Я. Белевцев, М. Семененко, Є. Лазаренко та ін.

Чинники утворення родовищ та їхньої локалізації виявляли двома методами: на підставі узагальнення відомостей про приуроченість родовищ до певних поєднань гірських порід (геологічних формацій) і складених ними тектонічних структур, у тім числі магматичних тіл (парагенетичний підхід), і на основі теоретико-емпіричних моделей процесів утворення корисних копалин (генетичний підхід). В еволюції створення металогенічних карт ці два підходи поєднані по-різному. Здебільшого виявлені парагенетичні закономірності згодом знаходили теоретичне обґрунтування в моделях процесів рудогенезу, однак використання того чи іншого підходу різне для родовищ корисних копалин різного генезису.

Парагенетичний підхід використовували ще у ХVІІІ ст. Типовий його результат – виявлення геологічних чинників, які передбачали виникнення і контроль поширення родовищ корисних копалин. Уперше поняття чинників контролю під назвою *геологічні передумови* з'явилося 1934 р. у праці С. Кумпана “Курс разведочного дела” (Гірничий інститут, Ленінград). У 1940 р. ці уявлення значно розширив і конкретизував В. Крейтер, який запропонував низку рудоконтролювальних чинників і розшукових критеріїв зруденіння. Згодом на підставі таких уявлень дослідники-геологи виявили системи чинників різного ступеня спільності, що контролювали локалізацію родовищ корисних копалин. Найповніше зазначені чинники узагальнено в праці [11] за редакцією Д. Рундквіста. Дуже плідним стало застосування термінів *рудна формація* і *геолого-промисловий тип родовищ корисних копалин*, оскільки воно дало змогу найповніше з'ясувати чимало загальних закономірностей поширення корисних копалин, відображених на серії металогенічних карт різного масштабу. Те саме стосується поняття *прогнозно-розшукова модель родовищ* як комплексу рудоконтролювальних чинників і розшукових ознак родовища конкретного типу за конкретних геологічних і ландшафтно-геохімічних умов [4, 5]. Парагенетичний підхід є основою застосування й сучасних комп'ютерних систем прогнозування.

Генетичний підхід найвдаліше розвинений і застосований до осадових корисних копалин, коли виявляють і зображають літолого-фаціальні й палеогеографічні умови осадо- й рудонагромадження, особливо якщо рудоносні товщі є частиною стратиграфічного розрізу й відображають процеси нагромадження осадів.

Класифікацію металогенічних об'єктів більш-менш задовільно розроблено для металевих і деяких неметалевих родовищ. Однак і стосовно них розуміння таксонів

металогенічних об'єктів у різних дослідників різне, а власне їхні визначення часто недостатньо геологічні й не завжди логічні.

Загалом під час металогенічного районування на металогенічних картах виконують типізацію структурно-формаційних і структурно-металогенічних зон складчастих областей, чохла платформ і фундаменту, власне щитів, областей тектономагматичної активізації й серединних масивів; зони типізовані за складом їхніх рудних формацій, етапами і стадіями формування земної кори [4]. Формаційні комплекси поділено на згідні, січні (плутонічні) і метаморфічні. Кольором на таких картах зображають структурно-металогенічні зони зі специфічною рудоносністю, а родовища позначають традиційними геометричними значками (форма значка відображає формаційний тип, розмір значка – розмір родовища, колір – вид сировини). На карту наносять найважливіші рудоконцентрувальні розломи й інші структури, а також головний вид мінералізації структурно-металогенічних зон певного типу, для чого використовують різноманітні символи.

Металогенічні карти створюють для тривалого планування й розробки концепції проведення геологорозвідувальних робіт з метою розширення мінерально-сировинної бази країни, а використовують у процесі розгортання геологорозвідувальних робіт і виробничі геологічні об'єднання, і Кабінет Міністрів, у тім числі України. Їхня найважливіша роль здебільшого організаційно-геологічна: перспективно-освоювальна оцінка мінерально-сировинної бази країни.

Такі карти складено для багатьох регіонів, однак усі вони близькі за змістом і оформленням, зокрема, “Металогенічна карта Карпат” масштабу 1:1 000 000 (1977, за ред. Є. Лазаренка), “Металогенічна карта України” (2006, за ред. В. Великанова) та ін. Майже всі металогенічні карти порівняно дрібномасштабні (від 1:500 000 і дрібніші). Однак є зовсім дрібномасштабні (оглядові, зведені) карти масштабу 1:3 000 000 для території всієї земної кори, окремих континентів і держав чи їхніх великих частин, а також великих геотектонічних структур – складчастих областей, платформ, щитів тощо. Водночас складають металогенічні карти середнього (1:200 000–1:100 000) і великого (1:50 000–1:25 000) масштабу: перші – для гірничопромислових рудних районів і вузлів; другі – для відомих перспективних економічних районів або локальних частин важливих гірничорудних територій.

В основі методологічного підходу до складання всіх цих карт є один найважливіший принцип – графічне відображення й виділення на них всіх чинників, які впливали на утворення й локалізацію мінеральних родовищ у тих чи інших структурах земної кори, та, натомість, послаблення всіх інших чинників, які зовсім не впливали або впливали на ці процеси слабо.

Щодо прогнозних карт, то головна відмінність між металогенічними і прогнозними картами полягає в масштабі, проте не тільки. Сьогодні перевагу надають прогнозним картам, оскільки вони, на відміну від металогенічних, відображають висновки про можливі, однак ще не виявлені рудоносні площі й родовища, їхню перспективну оцінку, часто з характеристикою їхніх видів і черговості. Такі карти почали складати ще під час Другої світової війни під керівництвом Д. Щербакова.

Прогнозна карта – це не одна карта, а комплект карт з відповідною пояснювальною запискою. Звичайно, головною картою (фундаментом) тут є металогенічна карта, складена на спеціалізованій геологічній основі, а точніше – на генералізованій структурно-формаційній основі. Головними її елементами є вирізнені рудоносні

формації й рудоконтролювальні структури. Раніше це були, по суті, геологічні карти з металогенічним навантаженням. Однак з часом стало зрозуміло, що досить часто другорядні геологічні об'єкти “забивають” металогенічне навантаження, яке найважливіше, і його складно сприймати. Тому почали складати карти на генералізованій основі з вирізненням (за звичайними геологічними правилами складання й розфарбовування карт) найважливіших рудоконтролювальних і потенційно рудовмісних геологічних елементів. У цьому разі блідшим чи яскравішим (густішим) кольором, відповідно, “пом'якшують” другорядні або “посилюють” пріоритетні рудоносні чи рудоконтролювальні елементи. Такі особливості зображення геологічної основи застосовують для стратифікованих і магматичних утворень. Крім того, генералізація передбачає об'єднання деяких підрозділів, які не мають суттєвого значення для рудоутворення (рудоконтролю). Геологічна основа таких карт чітко відображає рудоконтролювальні розривні структури і плікативні дислокації, особливо зміни елементів залягання осей складок та їхніх шарнірів.

Металогенічне навантаження на таких картах досить просте, однак інформативне. На карту наносять родовища корисних копалин, поділені на великі, середні й дрібні, а також найперспективніші рудопрояви. Розмір родовища відповідає розмірові знаку, характер рудної формації відображено у формі знаку, а провідний вид корисної копалини – кольором (для комплексних родовищ співвідношення елементів відображає розмір відповідного поля). Складають також карти геофізичних і геохімічних аномалій, причому карту геохімічних аномалій часто супроводжують шліховою картою, схемами суміщення сприятливих ознак зруденіння, а вже після цього складають власне прогнозу карту.

Ця карта – головний, завершальний момент досліджень і найважливіший графічний документ, де відображено всі металогенічні уявлення і знання про район досліджень, що є підставою для проектування розшукових і навіть розвідувальних робіт. На ній обов'язково вирізняють черговість проведення робіт на відповідних ділянках, види робіт і малоперспективні території. Отже, прикладне значення прогнозування полягає в тому, щоб за допомогою виявлених (доведених або навіть вірогідних) закономірностей поширення певних типів родовищ корисних копалин науково передбачити їхню наявність у металогенічно-подібних регіонах чи районах. Тут потрібно зважати на те, що, за словами Б. Висоцького [2], найскладніше завдання геологічного дослідження полягає в тому, щоб провести його між Сциллою безмежної індивідуалізації й Харибдою невинуватої ідеологізації (генералізації). Це зауваження цілком стосується й металогенічного аналізу, де “відчуття міри” в дослідженнях має надважливе значення для правильного вибору рішення, сприяє найбільш об'єктивному пізнанню трендів і закономірностей вірогідного поширення родовищ корисних копалин у просторі й часі. Саме це й зображено на прогнозно-металогенічній карті.

За масштабом досліджень і співвідношеннями з геологорозвідувальними роботами розрізняють прогнозування *глобальне, регіональне, дрібно-, середньо-, великомасштабне і локальне*, а за метою й методами прогнозу – *якісне і кількісне*. Якісне прогнозування слугує для виокремлення перспективного об'єкта з загальної множини чи перспективної ділянки на тлі безперспективної площі, а кількісне – це наукове передбачення кількості мінеральної сировини, її вірогідних геолого-економічних параметрів (потужність, протяжність, глибина залягання рудних тіл, вміст корисних компонентів тощо). Особливо важливо, хоча й дуже не просто прогнозувати

розмір родовищ – деталізувати оцінки прогнозних ресурсів за родовищами різного розміру. У такому розумінні теоретичний розподіл ресурсів дає змогу реалізувати метод рангових рядів [1]. Наприклад, у літературі наводять різні емпіричні й теоретичні співвідношення кількості великих (M_v), середніх (M_c) і дрібних (M_d) родовищ – 1 : 7 : 50 [10], 1 : 3 : 10 [12], 1 : 10 : 100 [1], за десяткової градації за класами запасів – великі (в), середні (с), дрібні (д), тобто

$$Q_v : Q_c : Q_d = 100 : 10 : 1,$$

або в узагальненому вигляді

$$n_v : n_c : n_d = Q_v 1 / T Q_c 1 / T Q_d 1 / T,$$

де T – коефіцієнт залежності від типу родовищ [12]. У разі великомасштабного і ще детальнішого прогнозування очікувані розміри оцінюють за певними ознаками – структурним положенням, формаційною належністю, мінеральним складом тощо [13].

Отже, найліпшою й найдоцільнішою формою зображення результатів фактологічних досліджень є відповідні карти, у тім числі з демонстрацією оцінок перспективних рудоносних площ і ступеня їхньої перспективності.

Сучасні металогенічні карти потрібно складати на структурно-формаційній основі; у такому випадку виявлення тих чи інших конкретних геологічних і рудних формацій та їхніх взаємозв'язків сприятиме найбільш об'єктивному металогенічному районуванню територій. Прогнозно-металогенічні карти регіонів доцільно супроводжувати серією допоміжних карт: геохімічних, геофізичних, гідрогеохімічних, шліхових, блокової й розривної тектоніки, глибинної будови та ін. Вони відображатимуть допоміжні геологічні дані, необхідні для з'ясування й конкретизації головних закономірностей і причин розподілу зруденіння. Суттєвою рисою металогенічних і прогнозних карт є те, що їхня геологічна основа “розвантажена” від усіх тих елементів, які безпосередньо не стосуються металогенії, і, навпаки, усі чинники, що зумовлюють рудоутворення, наводять на картах цілком і особливо наочно. Нарешті, усі металогенічні й, особливо, прогнозні карти потрібно супроводжувати розрізами і блок-діаграмами максимально насичених зруденінням рудних районів, які відображатимуть глибинну будову земної кори в межах досліджуваної площі.

Висновки. Усе викладене вище дає підстави для таких висновків.

1. Літолого-структурні й фізико-хімічні закономірності, які зумовлювали концентрацію (або розсіяння) корисних компонентів, визначені певною комбінацією геотектонічних, геохімічних, петрологічних і власне рудоутворювальних процесів. Пізнання взаємопроникнення й логічної взаємодії саме цих процесів визначає раціональність, надійність і успіх прогнозних досліджень.

2. Критерій як специфічна риса (ознака) зруденіння є поняттям парагенетичним, кількісно статистично стійким, його ієрархічні системи можна впевнено “перенести” на інші площі галузевого прогнозування. Розрізняють чотири класи критеріїв: речовинні (від рудно-формаційних до термобарогеохімічних), просторові, вікові та генетичні (речовинно-енергетичні).

3. Під час складання металогенічних карт використовують два підходи: парагенетичний, за якого місця локалізації родовищ визначають на підставі узагальнення відомостей про приуроченість родовищ до певних геологічних формацій і тектонічних структур, та генетичний, що його застосовують до осадових корисних копалин, які є частиною стратиграфічного розрізу й відображають процеси осадонагромадження.

4. Головна відмінність між металогенічними і прогнозними картами полягає в тому, що на прогнозних картах, на відміну від металогенічних, відображають висновки про можливі, однак ще не виявлені рудоносні площі й родовища та їхню перспективну оцінку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Булкин Г. А. Количественные оценки прогнозирования руд. Москва : Недра, 1984.
2. Высоккий Б. П. Проблемы истории и методологии геологических наук. Москва : Недра, 1977.
3. Козеренко В. Н. Эндогенная металлогения. Москва : Недра, 1981.
4. Кривцов А. И. (отв. ред.). Прогнозно-поисковые комплексы. Москва : ЦНИГРИ, 1983–1989. Вып. 1–3.
5. Кривцов А. И. Прикладная металлогения. Москва : Недра, 1984.
6. Лазько Е. М., Ляхов Ю. В., Пизнюр А. В. Физико-химические основы прогнозирования постмагматического оруденения (по термобарогеохимическим данным). Москва : Недра, 1981.
7. Ляхов Ю. В., Павлунь Н. Н., Пизнюр А. В., Попивняк И. В. Термобарогеохимия золота (прогнозирование, поиски, оценка оруденения). Львов : Свит, 1995.
8. Ляхов Ю. В., Павлунь М. М., Пахнюций Ю. В., Луньов Г. О. Критерії прогнозної оцінки золотоносних територій (теоретичні та методологічні засади). Ч. 1 // Вісн. Львів. ун-ту. Сер геол. 2003. Вип. 17. С. 33–42.
9. Ляхов Ю. В., Павлунь М. М., Пахнюций Ю. В., Луньов Г. О. Критерії прогнозної оцінки золотоносних територій (теоретичні та методологічні засади). Ч. 2 // Вісн. Львів. ун-ту. Сер геол. 2003. Вип. 18. С. 3–16.
10. Овчинников Л. Н. Прикладная геохимия. Москва : Недра, 1990.
11. Рундквист Д. В. (ред.). Критерии прогнозной оценки территорий на твердые полезные ископаемые. Ленинград : Недра, 1978.
12. Рундквист Д. В., Неженский И. А. Количественное прогнозирование и некоторые вопросы теории металлогении // Разведка и охрана недр. 1984. № 7. С. 18–29.
13. Томпсон И. Н. Металлогения рудных районов. Москва : Недра, 1988.

REFERENCES

1. Bulkin G. A. (1984). *Quantitative assessments of ore forecasting*. Moscow : Nedra (in russian).
2. Vysotskiy B. P. (1977). *Problems of history and methodology of geological sciences*. Moscow : Nedra (in russian).
3. Kozerenko V. N. (1981). *Endogenous metallogeny*. Moscow : Nedra (in russian).
4. Krivtsov A. I. (Ed). (1983–1989). *Forecast and search complexes*. Moscow : CRGEI (in russian).
5. Krivtsov A. I. (1984). *Applied metallogeny*. Moscow : Nedra (in russian).
6. Lazko E. M., Liakhov Yu. V., & Pizniur A. V. (1981). *Physical and chemical bases for forecasting postmagmatic mineralization (according to thermobarogeochemical data)*. Moscow : Nedra (in russian).

7. Liakhov Yu. V., Pavlun N. N., Pizniur A. V., & Popivniak I. V. (1995). *Thermobarogeochemistry of gold (forecasting, prospecting, evaluation of mineralization)*. Lvov : Svit (in russian).
8. Liakhov Yu. V., Pavlun M. M., Pakhniushchyi Yu. V., & Luniiov H. O. (2003). Criteria for forecast assessment of gold-bearing areas (theoretical and methodological principles). Part 1. *Visnyk of the Lviv University. Series Geology*, 17, 33–42 (in Ukrainian).
9. Liakhov Yu. V., Pavlun M. M., Pakhniushchyi Yu. V., & Luniiov H. O. (2004). Criteria for forecast assessment of gold-bearing areas (theoretical and methodological principles). Part 2. *Visnyk of the Lviv University. Series Geology*, 18, 3–16 (in Ukrainian).
10. Ovchinnikov L. N. (1990). *Applied geochemistry*. Moscow : Nedra (in russian).
11. Rundkvist D. V. (Ed.). (1978). *Criteria for predictive assessment of territories for solid minerals*. Leningrad : Nedra (in russian).
12. Rundkvist D. V., Nezhenskiy I. A. (1984). Quantitative forecasting and some questions of the theory of metallogeny. *Exploration and protection of earth's interior (Razvedka i ohrana nedr)*, 7, 18–29 (in russian).
13. Tompson I. N. (1988). *Metallogeny of ore regions*. Moscow : Nedra (in russian).

Стаття: надійшла до редакції 16.05.2022
прийнята до друку 20.05.2022

THEORETICAL-METHODOLOGICAL AND CRITERION-CONCEPTUAL BASIS OF FORECASTING-METALLOGENIC RESEARCH

Mykola Pavlyn

*Ivan Franko National University of Lviv,
Hrushevskoho Str., 4, Lviv, Ukraine, 79005
e-mail: geology.faculty@lnu.edu.ua*

Theoretical-methodological and criterion-conceptual basis of forecasting-metallogenic researches, and also the maintenance and methods of drawing up of metallogenic and forecasting maps as the most important practical reflection of laws of space-time distribution of solid minerals deposits have been analysed.

Deposits are formed due to certain combinations of geotectonic, geochemical, petrological and actually ore-forming processes. Knowledge of informative interpenetration and logical interaction of these processes determines the rationality, reliability and success of predictive research of potentially ore-bearing rock complexes. Metallogenic features, and hence the signs (criteria) of the manifestation of mineralization are always different at different stages of the geological history of the Earth's crust. Therefore, forecasting-metallogenic works should be performed taking into account only real, objectively available geological-geochemical and geophysical parameters of mineralization, which can be traced, documented, mapped and fully or as much as possible objectified in the process of compiling metallogenic and forecast maps.

The metallogenic map shows the patterns of formation and localization of useful minerals, metallogenic zoning of the country or individual regions, the classification of metallogenic objects. In the case of such maps, two approaches are used: paragenetic (localization of deposits is determined on the basis of generalization of information about the confinement of deposits to

certain geological formations and tectonic structures) and genetic (applied to sedimentary minerals that are part of the stratigraphic section and reflect sedimentation processes).

Today, forecast maps are preferred because, unlike metallogenic ones, they reflect conclusions about possible, but not yet discovered ore-bearing areas and deposits, their long-term assessment, often with a description of their species and sequence. In fact, the forecast map is not one map, but a set of maps with a corresponding explanatory note.

Key words: metallogeny, forecasting, mineral deposit, ore formation, metallogenic and forecast maps, mineralization criteria.