

УДК 549:550.8

МАЙБУТНЄ МІНЕРАЛОГІЇ – У ЇЇ ПРИКЛАДНОМУ ЗНАЧЕННІ
Ч. 1. ПРОБЛЕМИ НАУКОВО-МЕТОДИЧНОГО І
РОЗШУКОВО-ОЦІННОГО СПРЯМУВАННЯ

Б. Пирогов

*Московський державний геологорозвідувальний університет
117873 Росія, м. Москва, вул. Міклухо-Маклая, 23*

Виділено головні проблеми сучасної прикладної мінералогії і проаналізовано їхнє науково-методичне та розшуково-оцінне значення.

Ключові слова: методологія прикладної мінералогії, мінералоутворення, прогнозування, розшуково-оцінні критерії та ознаки, типоморфізм мінералів.

Майбутнє мінералогії – у її прикладному значенні. Ці слова, що їх постійно повторював видатний мінералог XX ст. Є.К. Лазаренко, сьогодні набувають принципового значення для розвитку прикладної мінералогії (ПМ). Учений надавав величезного значення систематичному регіонально-мінералогічному вивченню країни, прирівнюючи його за значимістю до геологічного знімання. Від цих досліджень значно залежав розвиток інших напрямів. Є.К. Лазаренко та В.І. Павлишин [18] наголошували, що ефективно виконувати такі роботи можна лише в разі максимального використання поряд із загальгеологічною і геохімічною інформацією даних з мінералогії геологічних об'єктів, оскільки мінерали, з одного боку, є головними носіями генетичної інформації, без знання якої взагалі неможливе ніяке прогнозування, а з іншого, – усі корисні копалини складені, за рідкісним винятком, з мінералів-носіїв тих корисних властивостей чи елементів, що необхідні для практичного використання.

Нині мінералогія переживає новий дуже бурхливий етап розвитку завдяки, по-перше, інтенсивному розвитку методів дослідження [27], по-друге, розробці нових сучасних підходів до вивчення мінералів, відкриттю нових галузей їхнього використання і виявленню нових видів мінеральної сировини. Це збагачує типоморфізм і топомінералогію мінералів, які визначають теоретичну основу і практичну спрямованість прикладної мінералогії. А.І. Гінзбург [5] наголошував на ролі типоморфних мінералів як мінералів-індикаторів під час розшуково-оцінних робіт і зазначав, що залучення до практичного використання якогось мінералу чи відшукування нових галузей застосування мінералів, уже використовуваних у господарстві, найчастіше виявляється рівноцінним за техніко-економічним ефектом відкриттю й освоєнню нового великого родовища, не потребуючи, до того ж, значних капіталовкладень. Такі ідеї чітко погоджені з новою парадигмою мінералогії – вивченням і оцінкою мінеральної речовини, крім макро- й мікро-, на нанорівні, з урахуванням його структурної організації, дискретності, еволюції (онтогенез, сингенез, філогенез) у взаємозв'язку з живою речовиною [34].

Суттєвий внесок у розвиток різних напрямів сучасної ПМ зробили М.М. Федоровський, О.Є. Ферсман, А.І. Гінзбург, Є.К. Лазаренко, В.З. Близковський, В.Б. Борискін, В.П. Бродін, Д.П. Григор'єв, В.Ю. Ешкін, Н.З. Євзікова, А.Г. Жабін, О.П. Іванов, В.М. Ізоїтко, О.Б. Котова, В.І. Кузьмін, О.І. Матковський, Е.М. Ожогіна, В.І. Павлишин, Н.В. Петровська, Б.І. Пирогов, В.І. Ревнівцев, Г.О. Сидоренко, М.П. Юшкін та ін. Найповніші узагальнені дані з різних проблем прикладної мінералогії наведені в монографіях А.І. Гінзбурга та ін. [6], М.П. Юшкіна [31], Н.З. Євзікової [11], В.А. Попова [22], В.П. Афанасьєва [1], М.П. Джонса [10], О. П. Іванова [13], В.М. Ізоїтка [14], Г.О. Сидоренко [26], В.І. Кузьміна та ін. [15], О.І. Матковського та Б.І. Пирогова [19], у працях В.Ю. Ешкіна [28, 29 та ін.] та ін. Сьогодні назріла необхідність розглянути з урахуванням нових матеріалів загальний стан проблем прикладної мінералогії і, насамперед, у розвитку наведених нижче напрямів (рис. 1).

Напрямок перший. Генеральні тенденції розвитку мінералогії (у тім числі і прикладної) у минулому та їхній прогноз на майбутнє варто розглядати з історичного погляду [32, 35 та ін.]. Розвиток мінералогії ХХІ ст. буде пов'язаний з подальшим пізнанням складу, структури й еволюції мінерального світу, синтезом мінералогічних знань, геологізацією науки, синтезом живого і мінерального світів. Саме історичний ракурс мінералогії дає нам змогу побачити, як вона при зародженні й поглибленому розвитку завжди вирішувала різноманітні прикладні завдання. Особливо яскраво це виявилось у ХХ ст. Видатний учений В.І. Вернадський [3] ще 1927 р. стверджував, що вивчення родовищ корисних копалин (учення про корисні копалини він трактував як прикладну мінералогію. – *Б.П.*) «...не может вестись ни одними геологами, ни одними минералогами, нужна работа и тех, и других, а в равной мере и химиков (безсумнівно, і технологів. – *Б.П.*), но всё же исследование неизбежно должно вестись на минералогической основе... ..Прикладная минералогия должна получить ... более основное значение... ..Мы должны понять, что мы видим явление не остановившееся, но растущее и текущее». М.М. Федоровський (учень В.І. Вернадського і перший директор ВІМС*) – основоположник прикладної мінералогії – наголошував на нагальній потребі детального і всебічного вивчення властивостей мінералів, які визначають їхнє застосування в різних галузях практичної діяльності людини, а також оцінки поширення потенційно корисних мінералів у земній корі. Ці думки ще більше підсилив у вступному слові на з'їзді Всесоюзного мінералогічного товариства (1976) А.В. Сидоренко: «Без систематического и углубленного изучения свойств минералов, физики и химии минералов ... невозможны ни понимание процессов, происходящих в земной коре, ни научно обоснованный поиск полезных ископаемых» [25]. І, нарешті, Д.П. Григор'єв особливо зазначав [7]: «Практицизм нашей науки должен сильно указываться в самом её определении, а не в дополнениях или примечаниях... ..Минералогия есть наука о «Царстве минералов» – великом множестве кристаллов и зерен, образующих руды и горные породы на Земле и в Космосе, предназначенная служить для удовлетворения потребностей человечества в минеральном сырье, современном и будущем».

Викладені думки про стан ПМ дають змогу намітити низку важливих напрямів у розвитку її наукових основ і методології:

дослідження еволюційних закономірностей розвитку мінерального світу (сучасної еволюційної мінералогії) у взаємозв'язку з живою речовиною з огляду на те, що

* ВІМС – Всесоюзний (нині – Всеросійський) інститут мінеральної сировини.

мінерали та їхні асоціації (у цілому речовинний склад і властивості, у тім числі технологічні) формуються в єдиній геолого-техногенній системі (ЄГТС) і відображають кругообіг мінеральної речовини в природі на різних рівнях організації мінеральної речовини: індивід–агрегат–рудне тіло–мінералогічна аномалія–мінералогічне поле...;

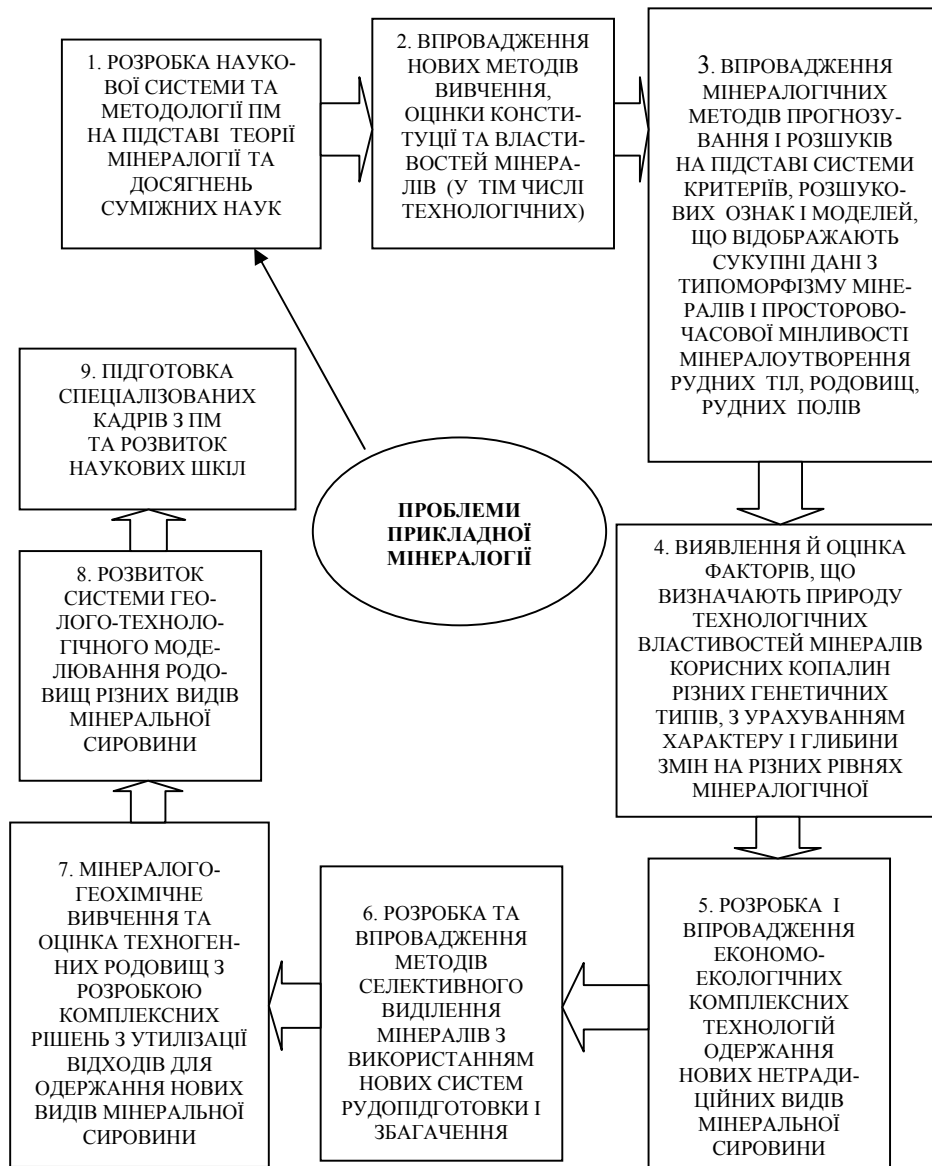


Рис. 1. Головні проблеми сучасної прикладної мінералогії.

розробка системи подальшого використання мінералів (насамперед, типоморфних ознак мінералів-індикаторів зруденіння – їхніх конституційних, морфологічних, фізико-хімічних характеристик на макро-, мікро- і нанорівні) як критеріїв оцінки (у тім числі кількісної) потенційної рудоносності масивів гірських порід і масштабів зруденіння;

нагромадження емпіричних даних з кількісних співвідношень концентрацій електронно-діркових центрів у мінералах, що співіснують, і аналіз виявлених співвідношень за типом фазової відповідності в розподілі ізоморфних домішок;

удосконалення генетичних основ мінералогічних методів розшуків і розвідки родовищ корисних копалин з урахуванням розвитку вчення про мінеральні ореоли навколорудних змін на підставі історико-еволюційного підходу (виявлення ореолів до-, перед-, син- і пострудного типів), оскільки на їхнє формування впливають практично всі процеси, що відбуваються на різних стадіях становлення й розвитку рудних тіл – кристалізації, метаморфізму і руйнування індивідів [23]. Ув'язування зруденіння певного генетичного типу з мінералами-індикаторами конкретних зон їхнього впливу дасть змогу передбачати його на значних відстанях;

подальша розробка мінералогічних критеріїв розшуків родовищ корисних копалин у системі мінералого-геохімічного аналізу і комплексу методів локального прогнозування зруденіння, пов'язаних із принципами побудови прогнозних (кількісних) мінералогічних моделей через індикаторні характеристики мінералів [4], які виражають найзагальніші закономірності філо- й онтогенічного розвитку мінеральних рудотворних систем: принципом речовинного успадкування, принципом часової і фаціальної еволюції рудоутворення, принципом інтенсивності процесу рудоутворення в межах великомасштабних об'єктів. У цьому аспекті важлива розробка системи (сукупності) типоморфних ознак, що їх одержують за парагенними мінералами або за різними особливостями одного мінералу, які достовірніше відображають комплекс взаємозалежних особливостей генезису; це дасть змогу реалізувати подальшу розробку моделей родовищ з активним використанням даних з типоморфних властивостей рудних і супутніх мінералів;

ширше залучення мінералогічних методів (у тім числі типоморфних ознак) у загальний комплекс комп'ютеризованих прогнозних систем; створення комп'ютерних програм для порівняння вибірок у багатовимірному просторі всієї сукупності мінералогічних ознак на підставі як параметричних, так і рангових статистичних критеріїв;

інтеграція мінералогічних методів зі збагаченням корисних копалин на підставі синтезу мінералогічних знань і розвитку різних експериментальних напрямів у технології з метою підвищення ефективності системи рудопідготовки і збагачення корисних копалин у цілому (збереження і перетворення мінералого-генетичної інформації в процесі природно-техногенної еволюції мінеральної речовини);

перехід від переважно “сировинного” використання мінералів [34], від утилізації й експлуатації мінерального світу до взаємодії і гармонічного “зрощення” людини з мінералами (створення мінеральних біокомплементарних систем, імплантантів тощо).

Напрямок другий. Сучасний етап у вивченні мінеральної речовини пов'язаний з могутнім прогресом у розвитку прямих методів структурних, морфологічних досліджень, особливо різних видів мікроскопії (електронної, тунельної, атомно-силової), які дають змогу досліджувати окремі атоми та їхні дрібні закономірні угруповання

[34]. Це надзвичайно важливо для виявлення нових тонких особливостей конституції і закономірностей мінливості властивостей мінералів у практиці розшуково-оцінних і технологічних робіт. З одного боку, щораз значимішою стає гетерогенність мінералів в оцінці їхніх індикаторних типоморфних ознак, з іншого, – виникає нагальна потреба оцінювання в технологічних процесах дуже тонких часток (до 10–20 мкм). У таких частках, поряд з об'ємними перетвореннями, більше значимим стає внесок змінених властивостей поверхні, що зумовлює мінливість технологічних властивостей мінералів.

В оцінці мінеральної сировини визначальним став кількісний фазовий аналіз як хімічними, так і фізичними методами [26]. З ним пов'язана оцінка вмісту мінеральних і синтетичних, кристалічних і аморфних фаз (сполук) природних і техногенних об'єктів. Причому вибір методу визначення об'єктом і вимогами до точності аналізу, тому що навіть в одному об'єкті форми прояву елементів можуть суттєво відрізнятися. Для їхнього визначення доцільно використовувати високочутливі й високороздільні методи.

Сучасний етап розвитку прикладної мінералогії відрізняється високим рівнем комплексування різних видів аналізу. Зокрема, у технологічній мінералогії вірогідність оцінки збагачуваності мінеральної сировини залежить від повноти вивчення речовинного складу і точності визначення його технологічно значимих параметрів. Причому текстурно-структурні і морфометричні параметри є найбільш динамічним і значимим показником, що широко змінюється в технологічному процесі. Колектив авторів НВП “Центр експертних систем технологічного аудиту” під керівництвом Т.В. Башликової (2001) дійшов висновку, що кількісно ці параметри можна оцінити за допомогою автоматичного аналізатора зображень на російській комп'ютерній системі “Відео-Мастер”. У комплексі можна отримати такі характеристики: мінеральний (фазовий) склад у вихідних, здрібнених матеріалах і технологічних продуктах; гранулометричний склад (масовий і кількісний) у тих же продуктах; початок розкриття зростків; модальність (стадіальність) розкриття; складність мінералів і ступінь їхнього окиснення; ступінь контрастності технологічних властивостей. На підставі отриманої інформації визначають: оптимальний режим рудопідготовки з повним розкриттям рудних мінералів; оптимальну глибину збагачення за поєднанням механічного і хіміко-металургійного переділів; раціональну технологічну схему, головні технологічні показники, що їх можна отримати під час переробки за рекомендованою схемою; неминучі технологічні втрати.

Нижче розглянемо окремі аспекти проблеми на конкретних прикладах. Наведено можливості комплексного використання таких методів: візуалізація зображень, електронна мікроскопія і раманівська електронна мікроскопія, рентгенівська обчислювальна мікротомографія, інфрачервона спектроскопія (ІЧС), ядерна гамма-резонансна мікроскопія (ЯГРС), ядерний магнітний резонанс (ЯМР), електронно-парамагнітний резонанс (ЕПР), термолюмінесцентний аналіз (ТЛ), визначення термоелектрорушійної сили (ТЕРС), термохімічний і радіографічний, мікрозондовий (у тім числі протонний), рентгеноспектральний аналізи, методи термобарогеохімії та ін.

Напрямок третій. Нині накопичено значний фактичний матеріал, який засвідчує високу ефективність застосування мінералогічних методів розшуків і оцінки родовищ корисних копалин на підставі системи критеріїв, розшукових ознак і моделей, що відображають сукупні дані з типоморфізму мінералів, просторово-тимчасової мінли-

вості мінералоутворення рудних полів, тіл, родовищ. ВІМС визначив такі головні напрями мінералогічних досліджень під час розшукових і оцінних робіт [15]:

- використання мінералогічних ознак і критеріїв для виявлення рудопроявів і родовищ на території опошукуваного району й оцінки їхньої формаційної, а по можливості, й геолого-промислової належності,
- застосування мінералогічних методів для визначення контурів виходу на поверхню зруденіння чи навколорудно-змінених порід;
- визначення ступеня еродованості родовища, перспектив поширення промислово цінної мінералізації на глибину, ймовірного розмаху зруденіння по вертикалі;
- з'ясування елементів зональності, типів навколорудних змін, особливостей просторового розподілу зон зруденіння та навколорудно-змінених порід;
- визначення мінерального типу зруденіння, виділення головних, другорядних і супутніх промислово цінних мінеральних фаз, з'ясування особливостей їхнього розподілу в контурах родовища;
- перспективна оцінка технологічних властивостей руд, типізація руд за мінеральним складом і текстурно-структурними особливостями, прогнозування поведінки руд у технологічних процесах;
- аналіз імовірних екологічних наслідків залучення оцінюваного родовища в промислове відпрацювання.

Мінералогічні методи розшуків і розвідки родовищ корисних копалин становлять суть розшукової мінералогії. Вони пов'язані з виявленням мінералогічних розшукових і оцінних ознак шляхом виявлення мінералів та їхніх парагенезисів, вивчення особливостей їхнього складу й будови, морфології і властивостей, з'ясування просторово-часових закономірностей поширення мінералів, що мають типоморфні особливості, на підставі мінералогічного картування. Це дає змогу вже на ранній стадії вивчення рудопроявів судити про геолого-генетичний тип, особливості речовинного складу руд, ймовірні масштаби об'єкта. Мінералогічні критерії доповнюють дані геохімічних і геофізичних досліджень під час розбраковування й оцінки аномалій і рудопроявів, виділення об'єктів для розшуково-оцінних робіт.

Застосування комплексу сучасних методів дослідження дає змогу виявляти нові типоморфні властивості мінералів, обґрунтовувати виділення нових розшуково-оцінних і прогнозних мінералогічних критеріїв. В.М. Крейтер навів найповніші, на нашу думку, уявлення про мінералогічні критерії оцінки й ознаки рудоносності [19].

Мінералогічні критерії (чи передумови) рудоносності визначені топомінералогічними закономірностями (чи умовами), які контролюють просторове розміщення мінеральних тіл (мінералів і асоціацій). Вони свідчать про можливість концентрації на тих чи інших ділянках промислово-цінних мінералів (металів) у конкретних геологічних умовах. Разом із геологічними (тектонічними, літологічними та ін.) критеріями їх використовують головню для прогнозування рудоносності та конкретизації розшукових площ.

Мінералогічні розшукові ознаки (або мінералогічні індикатори рудоносності) – це мінеральні асоціації, окремі мінерали або їхні особливості, які безпосередньо (прямі ознаки) або посередньо (непрямі ознаки) свідчать про наявність певних мінеральних тіл.

Мінерали-індикатори за розшуковими ознаками поділяють на три категорії [15]: корисні (рудні) мінерали; “мінерали-родичі”; мінерали-супутники, що відрізняють-

ся за природою та розшуковими ознаками.

Під час розробки сучасних розшукових методів, які синтезують накопичені знання про умови генезису рудної мінералізації, за основу потрібно брати, насамперед, інформацію, записану в кам'яній формі [8]. Зароджуючись, розростаючись, змінюючись (за спільної дії *РТС*-параметрів), мінерали фіксують у собі (у вигляді зональної будови, реакційних об'ємів, псевдоморфоз, структур розпаду, наростань одних кристалів на інші тощо) початок, еволюцію і припинення дії факторів, відображаючи у кам'яному записі динаміку причин мінералоутворення. Тому їх варто розглядати не лише як "шматки простору", а й як "скам'янілі відрізки часу".

У разі вивчення мінералів як свідків минулого діє особливий методологічний ретроспективний підхід, що ґрунтується на принципах інерційності та детермінізму. *Інерційність* відображає можливість збереження як раніше утворених тіл, так і раніше закладених у тілах якостей, хоча і застарих, але пізнаваних. Інерційно збережану первинну генетичну інформацію розглядають як мінералогічну "пам'ять" [31]. Вона може бути локалізована в мінералі на різних рівнях: ізотопному, молекулярному, структурному, магнітному, морфологічному тощо.

Украй важливо також враховувати *принцип успадковування* в мінералогенезисі різних характеристик мінералів на всіх структурних рівнях [8] – від окремого мінерального індивіда, навіть від окремих конституційних чи анатомічних елементів, до мінеральних агрегатів, парагенезисів, асоціацій, комплексів. Значною мірою це виражається в генетичних і еволюційних рядах мінералів. У будь-якому випадку важливу роль у формуванні еволюційних рядів (структурних, морфологічних, видових, формаційних тощо) відіграють фактори структурного, речовинного і морфологічного успадковування.

Відповідно ж до *принципу детермінізму*, що стверджує зумовленість результату породжувальною причиною, колишні фактори мінералоутворення записуються як тіла, що утворюються. На підставі теорії інформації і даних сучасної генетичної мінералогії М.П. Юшкін (1977) сформулював у загальному вигляді закони, які в онтогенії мінералів регулюють поведінку мінералогенетичної інформації, у тім числі розшуково-оцінної й технологічної.

Це сприяло розробці основ прогнозування і розшуків родовищ, визначенню розшукових і технологічних критеріїв і ознак руд різних типів, раціональній етапності і стадійності виконання геологорозвідувальних робіт: геологічне (геолого-мінералогічне) картування – прогнозна оцінка – загальні розшуки – детальні розшуки – розшуково-оцінні роботи. У цьому випадку ті чи інші особливості мінералів або мінеральних тіл, що їх використовують як розшукові чи оцінні ознаки або критерії, можуть виникати на різних стадіях формування мінералів, мінеральних тіл та ореолів.

С.О. Руденко [23] запропонував з позицій онтогенії виділяти стадії кристалізації, метаморфізму, руйнування мінералів, максимально повно через анатомію індивідів і агрегатів трансформували просторово-тимчасову модель об'єкта в генетично-еволюційну. Тільки тоді, коли визначено, в який період утворення індивіда (або стадію формування мінеральних тіл та їхніх ореолів) позначився вплив рудотворного процесу, ті чи інші з перелічених особливостей мінералів можуть бути надійними розшуковими ознаками. Тому тут важлива система [7] взаємозалежних типоморфних ознак (асоціацій, мінералів), диференційованих відповідно до життя індивідів їхніх агрегатів.

В.С. Соболев найчіткіше сформулював цю тезу: «Изучение свойств минералов должно производиться не разобшенно и не как самоцель, а во взаимосвязи со всей историей минералов и всегда с учетом конечной задачи, полной расшифровки всей истории данного минерального комплекса как геологического объекта» [33].

Г.А. Юргенсон [30], розвиваючи вчення про типоморфізм мінералів, висунув тезу про необхідність виділення, крім типових, ще й відмінних властивостей, які відрізняють конкретний мінерал, індивід від усіх інших у межах вищого рівня порівняння. Можна погодитися і з запропонованим Б.І. Боруцьким (1997) поняттям “конкретний типоморфізм мінералів” для позначення конкретних геологічних об’єктів.

Різні автори, які досліджували причинно-наслідковий зв’язок у системі мінерал-середовище, довели, що мінерали в процесі утворення і перетворення залежать від багатьох чинників, як фізико-хімічних (T , P , рН, Eh, концентрація й активність компонентів, наявність летких, швидкість і спосіб кристалізації та ін.), так і геологічних (джерела речовини і частка участі кожного у формуванні родовища, геохімічна специфіка регіону, макро- і мікротектоніка, геологічна історія району, структурно-речовинні особливості ділянок міграції та розвантаження рудотворних розчинів тощо). Знання послідовності і способу утворення рудних мінералів у тих чи інших частинах мінеральних тіл, специфіка породоутворювальних і акцесорних мінералів як індикаторів зруденіння кожного окремо взятого геологічного об’єкта має принципове значення для надійнішого з’ясування ролі того чи іншого процесу мінералоутворення (у комплексі з геологічними факторами контролю) в розміщенні родовищ і окремих рудних зон, у тому числі з урахуванням мінералогічної інформативності навколорудних ореолів.

Сьогодні розроблено низку високоінформативних мінералогічних прогнозних, розшукових і розшуково-оцінних критеріїв [15]. За характерними парагенезисами й окремими індекс-мінералами, особливостями складу та інших властивостей полігенних (наскрізних) мінералів удається прогнозувати перспективи рудоносності окремих територій [24 та ін.], структурно-фаціальних зон, визначати формаційну належність виявленого рудопрояву, судити про можливі масштаби зруденіння, розвинуті в його межах типи руд та їхню якість, прояви рудних метасоматитів, оцінювати рівень ерозійного зрізу рудних тіл, їхню довжину вглиб і по латералі, визначати етапи і стадії рудогенезу й на цій підставі – елементи зональності, оцінювати екологічну безпеку корисних копалин, використовувати перелічені теоретичні та методологічні розробки з виявлення й оцінки високоінформативних властивостей, пов’язаних з тонкими особливостями реальної будови мінералів (дефектами їхньої структури, позаструктурними, у тім числі ультрамікроскопічними домішками та ін.), як типоморфні ознаки. Цей методичний арсенал дає змогу успішно вирішувати низку складних прогнозних і оцінних завдань, зокрема, такі.

Виявлення мінералогічних критеріїв оцінки низки корисних копалин на підставі комплексу фізичних методів – типоморфних якісно-кількісних параметрів спектрів люмінесценції мінералів (рис. 2) у разі виділення фотолюмінесцентних ореолів [9] за співвідношенням кількості ФЛ-зерен мінералів (“сигнал /фон”).

Виявлено зональність кімберлітів Архангельського і Марієнського полів за такими мінералами: кальцитом – червона ФЛ іонів Mn^{2+} і співвідношення 110/3, фіолетово-синьо-пурпурні тони ФЛ – 280/4; апатитом – жовта ФЛ завдяки Mn^{2+} (0,7/0,06) та синювато-фіолетова завдяки Ce^{3+} і Eu^{2+} (1,1/0,02); цирконом – жовта ФЛ (2,5/0,02), а також баритом, флюоритом, бітумоїдами.

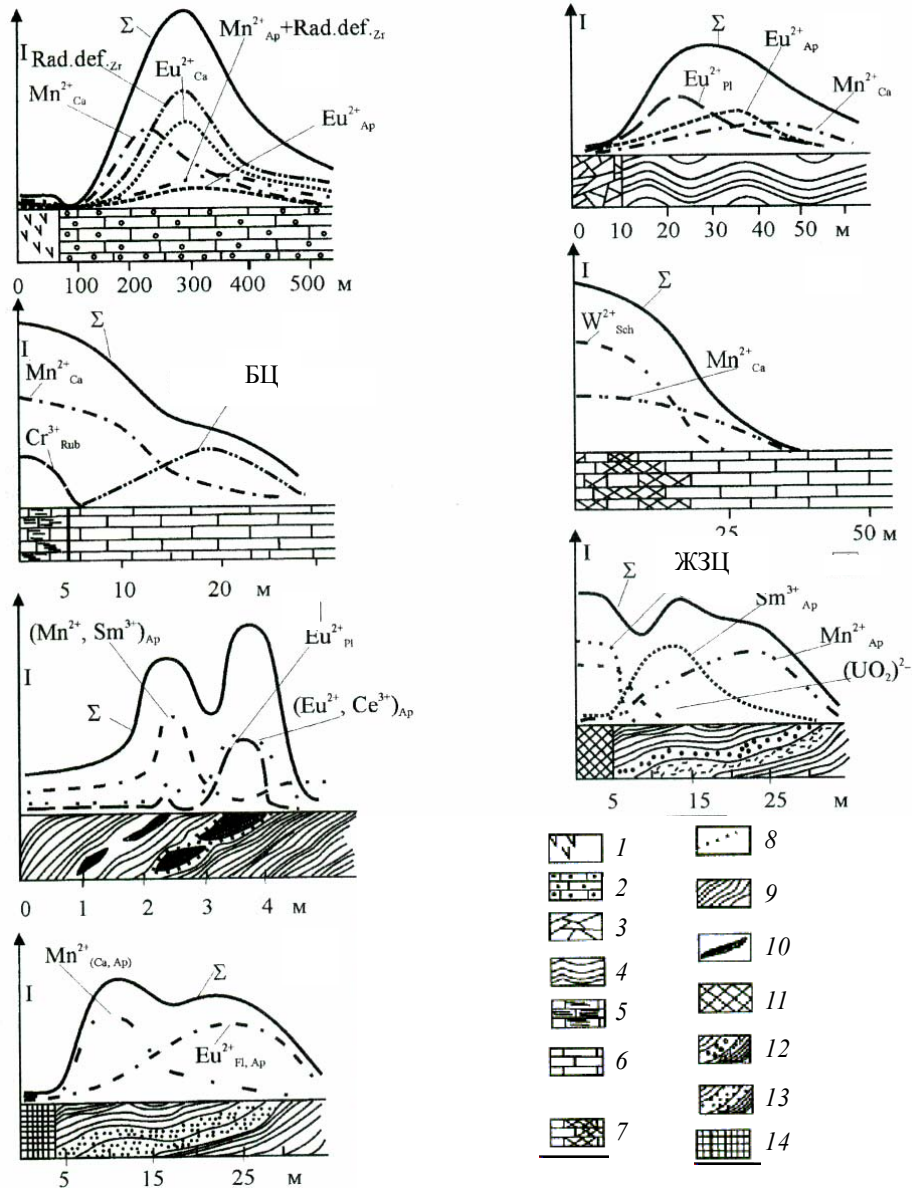


Рис. 2. Приклади виділення фотолюмінесцентних ореолів, за [9]:

1 – кімберліти; 2 – осадові породи; 3 – мусковітові пегматити; 4 – гнейси і кристалічні сланці; 5 – рубіноносні зони у мармурі; 6 – мармури (PR₃), мармуризовані вапняки; 7 – скарновані вапняки з шеслітом; 8 – смарагди; 9 – маргарит-мусковіт-флогопітові метасоматити; 10 – олігоклазити; 11 – золоторудні жили; 12 – вулканогенно-осадові породи; 13 – піщано-сланцева товща; 14 – кристаленосні жили. БЦ – “блакитний” центр (кальцит); ЖЗЦ – “жовто-зелений” центр.

Виділено три зони: перша – приконтактова потужністю 20–50 м, друга – концентрації ФЛ-мінералів потужністю 50–350 м (після чого їхній вміст помітно зменшується), третя – поступового зменшення вмісту ФЛ-мінералів до фонового (потужністю до 1,5 км). У цьому разі необхідно вивчати, крім грубої фракції шліхів (>1 мм), тонку (<0,25 мм) немагнітну фракцію з концентратом апатиту, циркону, бариту, що дає змогу оконтурити ближній ореол механічного розсіяння мінералів навколо кімберлітових тіл. Аналогічно оцінені люмінесцентні ореоли й інших корисних копалин. Отже, детектування їх дає змогу прогнозувати розшукові роботи, розвідувати “сліпі” рудні поклади, виділяти зони метасоматичних змін, оцінювати умови рудовідкладання й метасоматозу.

Виявлення за ЯГРС (мессбауерівською спектроскопією) ^{57}Fe і ^{119}Sn типоморфних особливостей кристалічної, магнітної структури, складу мінералів групи шпінелі (склад і вміст ізоморфних домішок, ступінь окиснення Fe, низько- і високотемпературні фазові переходи), турмаліну (ступінь окиснення Fe і характер розподілу іонів Fe у структурі), боратів (характер магнітного впорядкування, ступінь окиснення Fe і склад ізоморфних домішок), сфалериту (кількість нееквівалентних положень у структурі, що залежить від складу другої координаційної сфери атомів Fe). Це використовують для підтвердження формаційної належності родовища, виявлення різних видів зональності зруденіння, стадійності процесів рудоутворення.

На рис. 3 (Коровушкин, 2003) показано принципову схему визначення вертикального розмаху, глибини і рівня ерозійного зрізу борного зруденіння, його масштабів (за мінералами вонсеніт-людвігітової серії).

Використання ІЧ-спектроскопії хромшпінелідів (параметр $\nu_1 = 600\text{--}635\text{ см}^{-1}$) і показника заломлення олівину як критеріїв прогнозування оцінки хромітоносності та якості хромових руд ультрабазитів Полярного Уралу (Макеєв, Брянчикова, 1999). За нашими даними [21], зіставлення ІЧ-спектрів магнетиту різних генетичних типів у координатах $\nu_3\text{--}\nu_4$ дає змогу оцінювати характер заміщення Fe у структурі мінералу і розділяти магнетити в межах формацій та окремих родовищ.

Дослідження зміни типоморфних електричних властивостей піриту: від ранніх до пізніх піритовмісних асоціацій мінералів ендегенних родовищ відбувається послідовна зміна типу провідності [15] у порядку: $n\text{--}pn\text{--}np\text{--}p$ (модель змішаної провідності) або за схемою $n\text{--}n'\text{--}p'\text{--}p$ (модель чистої провідності). Екзогенний пірит з осадових родовищ відрізняється характерним лише для цього типу “дефектним” дірковим типом провідності. Промисловим перерізам рудних тіл піриту грейзенового родовища Акчатау властивий максимальний діапазон еволюції типів провідності $n+n+(n)+pn+np$ з обов'язковим n -типом провідності і розвитком пострудної генерації піриту з провідністю np -типу. На відміну від піриту, високотемпературний арсенопірит має діркову провідність p -типу, а низькотемпературний – електронну n -типу. Середній промисловий рівень більшості родовищ відрізняється поширенням арсенопіриту головно електронно-діркового типу провідності (np), що відрізняє їх від ділянок з бідним непромисловим зруденінням.

Використання термобарогеохімічних методів під час вирішення таких розшуково-оцінних і прогнозних завдань [15]: визначення ступеня рудоносності того чи іншого прояву магматизму; прогнозування типу рудної формації; оконтурювання ореолів продуктивної гідротермальної діяльності; виявлення, простежування й оцінювання рудоконтрольовальних структур; визначення характеру зв'язку зруде-

ніння з магматизмом, оцінка ступеня його віддаленості від продуктивної інтрузії; з'ясування елементів стадійності мінералоутворення та зональності зруденіння, оцінка перспективності його на глибину; виділення багатих і бідних ділянок рудонесних зон; оконтурювання різних технологічних типів руд; локальне прогнозування зруденіння; виявлення токсичних речовин, які містяться у включеннях і впливають на умови праці під час розвідки та експлуатації родовищ корисних копалин.

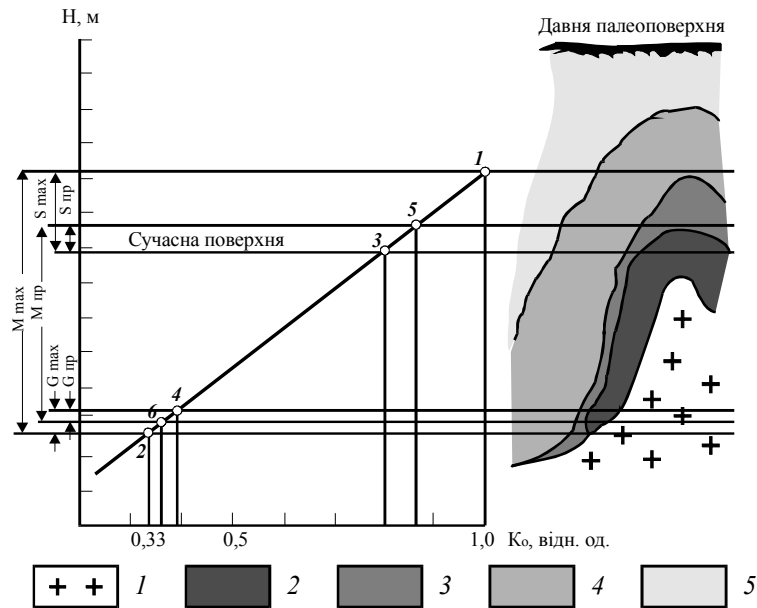


Рис. 3. Принципова схема визначення вертикального розмаху, глибини і рівня ерозійного зрізу ендегенного борного зруденіння:

1 – інтрузивні породи; 2 – руди; 3 – мінералізовані метасоматити; 4 – рудовмісні породи; 5 – перекривні породи.

Позначення на схемі: 1 – рівень, що відповідає гранично магнєзійному складу залізо-магнєєвих боратів з $K_0=1$, його використовують для визначення максимально можливого положення ореола борної мінералізації; 2 – рівень, що відповідає гранично залізистому складу з $K_0 = 0,33$, його використовують для визначення поширеності зруденіння на максимальну глибину; 3 – рівень сучасної поверхні, відповідає залізо-магнєєвим боратам з максимальним зафіксованим значенням K_0 ; 4 – максимально можлива глибина опробування з мінімальним зафіксованим значенням K_0 ; 5, 6 – прогнозовані рівні верхньої і нижньої меж зруденіння, відповідають складу залізо-магнєєвих боратів з обчисленими значеннями K_0 . M_{max} – вертикальний максимально можливий розмах зруденіння; $M_{пр}$ – вертикальний прогнозований розмах зруденіння; S_{max} – максимально можливий рівень ерозійного зрізу; $S_{пр}$ – прогнозований рівень ерозійного зрізу; G_{max} – максимально можливий розвиток зруденіння на глибину; $G_{пр}$ – прогнозований розвиток зруденіння на глибину.

Найцікавіші дослідження в цих напрямках належать представникам львівської школи термобарогеохімії (М.П. Єрмаков, Д.К. Возняк, В.А. Калюжний, Є.М. Лазько, Ю.В. Ляхов, М.М. Павлунь, А.В. Пізнюр, І.В. Попівняк та ін.), які систематизу-

вали прийоми одержання різних термобарогеохімічних даних під час вивчення родовищ рудних формацій (Au, Mo-W та ін.), розробки на цих засадах відповідних методів розшуків, локальної оцінки і прогнозування зруденіння на різних стадіях геологорозвідувального процесу і під час експлуатаційних робіт.

Виявлення низки нових мінералів-індикаторів і розшуково-оцінних ознак алмазонасності кімберлітів на підставі досліджень Якутської, Архангельської алмазонасних провінцій (Росія), Приазов'я (Україна) порівняно з канадськими, південно-африканськими та австралійськими алмазонасними регіонами (Бартошинский З.В. и др., 1992; Квасница В.Н., 1992; Побережська І.В., 1995; Богатиков О.А. и др., 1999; Бовкун А.В., 2000; Спиридонов Э.М., 2000; Панов Ю.Б., 2001; Серов И.В., 2002; Головин Н.Н., 2003; Гаранин К.В., 2003; Соболев В.К. и др., 2003 та ін.). Широко використовують мінералогічні прогнозно-розшукові методи – алмазо-, оксидо-, гранато-, цирконометричний та інші, за допомогою яких визначають морфологічні, гранулометричні, хімічні, конституційні, термобарогеохімічні критерії мінералів. Причому можливість виявлення алмазонасності значно зростає, якщо застосовувати не один мінерал-індикатор, а парагенну алмазоіндикаторну асоціацію.

На підставі результатів оксидометрії чітко простежуються відмінності в петрохімії порід провінцій з різною оксидною спеціалізацією: у Якутській алмазонасній провінції (ЯАП) – з хромшпінелідовою (Mg-Cr-серії), хромшпінелід-пікроільменітовою (Mg-Cr-Ti-серії), титаномагнетит-пікроільменітовою (Mg-Fe-Ti-серії) і титаномагнетит-перовськітовою (кімберлітові та споріднені лужно-ультраосновні породи).

Набір, кількісні співвідношення, гранулометрія, хімічний склад мікрокристалічних оксидних мінералів матриці (шпінелідів, ільменіту, перовськіту) – це індикатори умов зародження, еволюції і становлення кімберлітових порід. У разі переходу від високоалмазонасних кімберлітів через низько- до неалмазонасних фіксують зсув масового гранулометричного складу шпінелідів із дрібних класів ($-0,044+0,020$ мм) крупності у більші ($>0,1$ мм). Для неалмазонасних кімберлітів характерний бімодальний розподіл шпінелідів (відповідно, за класами $-0,074 +0,044$ і $-0,15+0,1$ мм) в об'ємі породи. Еволюційні тренди зміни складу шпінелідів з матриці кімберлітів відображають закономірності кристалізації різних їхніх типів: в унікально- і високоалмазних – яскраво виявлений неповний еволюційний тренд кристалізації шпінелідів; у низько- і неалмазонасних тренд характеризується наявністю значної кількості високотитанистих шпінелідів із масовим вмістом Cr до 40–42 % Cr_2O_3 , отже, визначає умовну межу розділення низько- та неалмазонасних кімберлітів. Індикаторами зниження первинної алмазонасності слугують наявність у матриці кімберлітів ЯАП великої кількості різноманітних за складом послідовно сформованих ульвошпінелей і титаномагнетитів, які утворюють протяжні (неперервні) кристалізаційні тренди; перовськіту або нема, або його дуже мало (до 5 об. %). Взагалі вміст перовськіту в матриці (30 % від загальної кількості оксидних фаз) – один із непрямих показників алмазонасності кімберлітів. Критерії відбраковування неалмазонасних кімберлітів на початкових стадіях робіт – відсутність хромшпінелідів, що містять Cr_2O_3 понад 40 мас. % і TiO_2 – до 4 мас. %, повна відсутність Cr-пікроільменіту і значний вміст перовськіту ($> 30-40$ %).

В Архангельській алмазонасній провінції (ААП) помітна відмінність складу (Mg, Al-Mg, Ti-Fe, Ва-Sa-серій ультраосновних лужних порід), набору, вмісту мінералів важкої фракції і ксенолітів метаморфічних і мантієвих порід (гранату, хром-

шпінелідів, клінопіроксену, ільменіту, рутилу) [2 та ін.]. Іноді в промислово-алмазонасних тілах їхній вміст корелює з алмазонасністю (Зимовий Берег), хоча й украй низькою завдяки високому ступеню розчинення алмазу та його мінералів-супутників. Для трубок ААП характерний перидотитовий (ультраосновний) та еклогітовий (основний) парагенезиси мінералів важкої фракції за різкого переважання перидотитового. Порівняно з багатьма трубками Якутської та Південноафриканської алмазонасних провінцій помітна суттєво менша роль процесів мантійного метасоматозу. За хімізмом гранатів (наскрізних мінералів ксенолітів мантійних порід) виявлено співвідношення їхніх глибинних ультраосновних та еклогітових парагенезисів у різних тілах. Кімберліти трубки ім. В. Гриба належать до Mg-серії порід, а трубки родовища ім. М. Ломоносова – до Al-Mg. У зв'язній масі трубок і силів Кепінського поля досить поширений типоморфний рутил. Аналіз геохімічних особливостей порід свідчить про збіднення рідкісними та рідкісноземельними елементами, проте за їхніми співвідношеннями можна виділяти високо- і неалмазонасні різновиди та відрізнити їх від споріднених олівінових мелілітитів. Також мізерно мало сульфідів. Геохімічні особливості магматитів корелюють з їхніми ізотопними характеристиками, зокрема, співвідношенням ізотопів Nd і Sr (Богатиков и др., 2002).

Ксенокристали мінералів-супутників алмазу Приазов'я (хромпіропу, пікроільменіту, хромшпінелідів і хромдіопсиду) подібні до аналогів з кімберлітових і лампроїтових тіл ПАР, Росії, Китаю, Канади. Одночасно виявлені деякі незвичайні аспекти їхньої геохімії, що є для них типоморфними і виявляються у певному кількісному і якісному розподілі Ni, Cr, Zr, Nb, Y, TR та інших елементів-домішок, а також головних оксидних компонентів. У поєднанні з загальногеологічними відомостями це дає змогу трактувати Приазовський блок Українського щита як потенційно алмазонасний регіон Східноєвропейської кімберлітової провінції (Панов, 2002).

Алмази в кімберлітах Росії, як в Африці та інших регіонах світу, за розміром аналогічні до стандартних мантійних мегакристалів у лужних магматитах – ільменіту, піропу, клінопіроксену, енстатиту тощо. Лише близько 10 % становлять правильні багатогранники, інші – це кристали недосконалої форми й уламки. Разом з парагенетичними мінералами-багатогранниками гранату, хромшпінеліду й циркону (Квасница, 1992) вони утворюють специфічну морфологічну асоціацію (парагенезис форм; за В.А. Поповим [22] – узгоджених форм), типоморфну для певних типів мантійних порід.

Результати алмазометричного методу засвідчують, що індикатором регіонального прогнозування провінцій є оцінні критерії: морфологічний і конституційний, які виявляються в габітусі кристалів, їхній кристалохімії та властивостях. У кімберлітових тілах із центральних зон (класичних глибинних) від трубки до трубки простежується диференціація кристалів за морфологією та дефектами:

підвищений вміст плоскогранних і скульптурованих октаєдрів і перехідних форм від октаедра до ромбододекаедра;

переважання частки алмазів зі звичайним мантійним складом вуглецю ($\delta C^{13} = (-2) - (-10) \text{‰}$);

характерні азотні центри (A, B1, B2, C та інші дефекти – завдяки розірваним вуглецевим зв'язкам, дислокаційні петлі та диски великої густини);

наявність дрібних краплеподібних включень моносольфідних твердих розчинів

(на основі троїліту і/або пентландиту), а також самородного заліза, вюститу, включень-зростків сульфідів, вюститу і самородного заліза, газових включень складу H_2O+CO_2 , включень твердого CO_2 ;

домінування серед включень ультраосновної асоціації мінералів. Алмази містять включення олівіну, низькозалістистих і екстремально багатих на Ni (до 3 % Ni), клінопіроксенів, екстремально збагачених K^+ , ламелі розпаду гранату, включення магнезівюститу, висококремнієвого гранату.

Ранні плоскогранні октаедри частіше безбарвні, їхні розміри від мікроскопічних до велетенських (переважають 0,1–4,0 мм). Найпізніші алмази кубічного габітусу з заокругленими ребрами мають жовтувате забарвлення різної інтенсивності. Жовті й коричневі алмази збагачені азотом до 0,3 мас. %, азот заміщує вуглець у гратці, зумовлюючи її високу твердість. Цікаві блакитні алмази типу Пв, що містять еквівалентні невеликі (близько 20 г/т) кількості В й N (ізоморфно заміщують вуглець). Менш глибинні кімберліти багатші на піроп і бідніші на алмаз (частіше це кривогранні додекаедри й антискелетні кристали). У підвищених кількостях у них є всі головні індикаторні мінерали кімберлітів і ксеноліти глибинних порід (із широкими варіаціями складу мінералів і петрографічних особливостей). У периферійних зонах в алмазах підвищена частка округлих і напівкруглих індивідів, помітно різницю в морфології дрібних (плоскогранні форми) і великих (округлі і напівкруглі форми) індивідів, багато кристалів з полегшеним ізотопним складом вуглецю і твердими включеннями еклогітової асоціації.

Алмази з корінних джерел слабо диференційовані за властивостями, від трубки до трубки (як і в розсипах) відрізняються мало. Алмазоносні породи відрізняються від типових кімберлітів за речовинним складом: у них порівняно невелика кількість індикаторних мінералів і ксенолітів мантійних порід, одноманітніші варіації складу мінералів і ксенолітів, ніж у породах центральних зон. Відмінною рисою кристалів алмазу ААП є низький вміст мінеральних включень, відсутність або дуже малий вміст сульфідів, високий вміст H_2O і CO_2 у газових включеннях. Кожна трубка має специфічні (типоморфні) ознаки мінералів (розподіл різних морфологічних типів і специфіка мікроморфології, особливості внутрішньої будови кристалів та їхніх фізичних властивостей: катодо-, рентгено- і фотолюмінесценція, фотоелектричні властивості, забарвлення, прозорість), зумовлені різницею в умовах формування кімберлітових тіл.

Виявлено дві контрастні популяції алмазів: перша – великі кристали зі складною внутрішньою будовою і значним поширенням структур типу “алмаз в алмазі” з переважанням індивідів додекаедричного габітусу, з інтенсивною резорбцією; друга – дрібні (<0,5 мм) гладкогранні октаедричні кристали без будь-яких слідів розчинення. На відміну від інших провінцій світу, в алмазах з ААП повсюди розвинені скульптури окиснювального розчинення завдяки тривалому перебуванню їх в агресивному водно-силікатному флюїді, що привело до аномально високого вмісту додекаедроїдів. Закономірно знижується алмазоносність (від промислової до убогої) у разі переходу від родовища ім. В. Гриба до Золотицького поля, далі до Верхотинського і Кепінського, що супроводжується закономірними змінами розмірів, морфології і властивостей алмазу.

Досить чітко фіксована рудоносність гранітів і пегматитів кварцово-, слодо-, польовошпатометричним та іншими методами з використанням хіміко-структурного (конституційного), радіоспектроскопічного, люмінесцентного, термо-

барогеохімічного критеріїв, як це показано за матеріалами України [19]. Термобарогеохімічні критерії є головними в разі постмагматичного перетворення гранітів і пегматитів у зв'язку з їхньою рудоносністю.

Розшуково-оцінні роботи під час мінералогічного картування на підставі використання методу фаціального мінералогічного аналізу [24] з урахуванням просторової мінливості особливостей мінералів-індикаторів. Під фацією мінералу розуміють сукупність мінеральних індивідів конкретного мінерального виду з близькими особливостями складу й будови (конституції), морфології та властивостей, що пов'язано з близькими РТС-умовами їхнього утворення. У разі зміни зовнішніх умов ці особливості мінералів можуть змінюватися поступово чи досить різко. У першому випадку залежно від геологічної ситуації і завдань дослідження конкретного об'єкта межі фацій вибирають умовно. Причому конституція, морфологія і властивості мінералів у разі переходу від однієї фації до іншої змінюються сполучно. Виділяють такий ряд: фації мінералу – комплекс фацій мінералу (фація порід) – комплекс фацій порід (формація). Для фаціального аналізу можна використовувати як рудні, так і породотворні та акцесорні мінерали.

Фаціальна мінливість мінералів може виявлятися в їхніх ознаках, що виникають на різних стадіях формування (Руденко та ін., 1978):

- у період росту (з'ясовано на прикладі бляклих руд Березівського родовища, за Чесноковим, 1975; каситериту гідротермальних родовищ, за Євзіковою, 1984, та ін.);
- метаморфізму (кварц гідротермальних кристаленосних родовищ, за Ешкінім, 1986);
- руйнування мінералів (розсипний каситерит, за Карякінім, 1981).

В остаточному підсумку врахування фаціальної мінливості приводить до виявлення зональної будови родовищ, рудних полів і районів, у межах яких його не виявили на підставі фацій гірських порід.

Визначення просторово-часової мінливості речовинного складу руд і навколорудних змін порід, еволюції фізико-хімічних параметрів рудоутворення через конституцію і властивості мінералів на підставі побудови мінералогічних моделей – окремих, загальних і прогнозних (кількісних). У разі вивчення гідротермальних родовищ олова й вольфраму В.В. Гавриленко та С.Г. Панова [4] запропонували виконувати такі побудови.

О к р е м і моделі дають змогу виявляти сукупність процесів формування конкретного об'єкта мінерального світу й еволюції типоморфних властивостей мінералів.

З а г а л ь н і (еволюційні), побудовані на індикаторних властивостях мінералів, дають змогу виявити для різних родовищ спільні особливості їхнього генезису, що були визначальними і привели до зруденіння. За такого підходу вдається виділити комплекс взаємозалежних особливостей генезису, специфічних для певних часових і просторових груп мінеральних утворень, і побудувати загальні мінералогічні моделі зруденіння різних формаційних типів, різностадійних парагенезисів, різних рівнів ерозійного зрізу рудних тіл, різномасштабного зруденіння.

П р о г н о з н і (кількісні) моделі, які ґрунтуються на окремих і загальних, реалізують через індикаторні характеристики мінералів, вони пов'язані з вирішенням конкретних завдань на різних стадіях розшуків, оцінки й освоєння родовищ. Тут можливо поєднання методів класичного онтогенічного аналізу мінералів і кількісних вимірювань їхніх “тонких” конституційних характеристик з використанням значених вище головних принципів побудови (філо- і онтогенічного розвитку міне-

ральних рудотворних систем).

Під час побудови моделей важлива система (сукупність) типоморфних ознак парагенних асоціацій або різних особливостей одного мінералу, що дають змогу достовірно схарактеризувати комплекси взаємозалежних особливостей генезису. У таблиці наведено виявлені на досліджених родовищах індикаторні особливості породотворних мінералів, використовувані під час визначення формаційної належності рудної мінералізації вже на ранніх етапах оцінки флюїдної діяльності геохімічних провінцій різного профілю. Від профілю залежить, по-перше, абсолютний рівень вмісту елементів у мінералах; по-друге, виявлення різної міграційної здатності закисного й окисного заліза – Fe^{2+} у флюїдно-магматичних системах “олов’яних” провінцій, а Fe^{3+} – у “молібденових” гранітних. Тому на Sn-W-родовищах частіше трапляються цинвальдитові й сидерофілітові грейзени (так звані цвітери), а на Mo-W переважають яснослюдисті.

Помітні розбіжності в хімізмі мінералів з Sn-W парагенезисів і близьких за типом родовищ олов’яних (Правоурмійське) і молібденових (Акчатауське) провінцій. У складі газОВО-рідинних включень парагенних кварцу й турмаліну родовищ молібденової провінції переважає Cl, а олов’яної – F. Склад елементів-домішок турмаліну: у Mo-провінціях у ньому накопичується W, а в Sn-провінціях – Sn, Sc, Ga, Ge, згідно з принципом концентраційного ізоморфізму (Щербина, 1980). Флюорит відрізняється за співвідношенням сум рідкісноземельних елементів церієвої та ітрієвої груп: для Mo-провінцій – 0,23–0,49, для Sn – 0,09–0,18. У топазі з родовищ Mo-провінцій зафіксовано вищий вміст W, Nb, а в Sn-провінціях – це Sn, Ga, Ge, Y, Yb. У складі газОВО-рідинних включень у топазі в Mo-провінції переважають Cl^- , K^+ , а в Sn-провінціях – HCO_3^- . Такі мінералогічні моделі придатні для вирішення різних прикладних завдань.

Розшукові ознаки на певний мінерал можуть виявлятися не тільки в ньому самому, а й у вмісних мінералах, разом утворених і наступних. Поряд із динамікою загальний рівень факторів мінералоутворення зафіксований у скам’янілому стані у вигляді їхньої приуроченості до певних геологічних тіл і структур. Порівняльно-історичний аналіз загальної історії полягає у відшуканні в різних частинах окремого тіла або в різних тілах якоїсь спільноти таких записів часу, в яких кінці одних почасті перекриваються з початками інших, що дає змогу зібрати їх у безперервний ланцюг подій. Така операція синтезування загальної історії веде до усереднення індивідуальних ознак у вигляді ідеалізованої динамічної моделі, що допомагає уточнити уявлення про ознаки мінеральних тіл, які використовують під час розшуків концентрацій мінералів [8].

Використання градієнтних конституційних властивостей мінералів під час оцінки зональності навколорудних ореолів. Мінерали-індикатори є джерелом як якісної (наприклад, тип рудної формації, форма аномалії), так і кількісної (розмір ореола, напрям до рудного тіла тощо) інформації. За видом інформації А.Г. Жабін зі співавт. [12] поділяє такі мінерали-індикатори на дев’ять груп:

перша – мінерали-індикатори та їхні різновиди, що свідчать про формаційну належність ореола. Наприклад, в ореолах родовищ багатьох формаційних типів (навіть гранітних пегматитів, кварц-вольфрамітових жил та ін.) є вкраплення піриту. Однак стійка асоціація $\text{FeS}_2 + \text{ZnS} + \text{CuFeS}_2$ виникає лише в безпосередній близькості від сульфідних сфалерит-халькопірит-піритових рудних тіл. Окремі мінерали прямо свідчать про неможливість конкретних рудних асоціацій. Наприклад, за наявно-

сті галеніту нестійкими є сульфіді високовалентних катіонів – As_2S_3 , Sb_2S_3 (завдяки утворенню відповідних сульфосолей);

Найважливіші індикаторні характеристики породотворних мінералів гідротермальних родовищ олова і вольфраму

Прикладні завдання	Виявлення родовищ різних формаційних типів	Розбракуння різностадійних парагенезисів родовищ кварцової (а) та силікатно-сульфідної (б) формацій	Виявлення великомасштабного зруєнення	Визначення рівня ерозійного зрізу рудних тіл	
МІНЕРАЛИ	Кварц	а) $Al_{структ}$, $Ti_{структ}$, $[Ge-Li]$, $[Ti-Li]$, $[O_2]^{3-}$ центри; склад газово-рідинних включень (Cl/F), $\delta^{18}O_{H_2O}$	а) $[Ge-Li]$, $[Ti-Li]$ -центри; $T_{гом}$, NaCl екв.-% б) $[Ge-Li]$, $[O_2]^{3-}$ -центри; $T_{гом}$	$[Ge-Li]$ -центри	$Al_{структ}$
	Слюди	Не типові для силікатно-сульфідної формації	а) Типохімізм Sn, Li, Rb, Cs, Sc, Ga, Cu, Pb б) Не типові для силікатно-сульфідної формації	Типохімізм Li, Rb, F, W, Sn, Ga	Типохімізм Li, Fe, Mg, Mn, Sn, W
	Топаз	Не типовий для силікатно-сульфідної формації	а) Кристалізується в рудну стадію мінералоутворення б) Не типовий для силікатно-сульфідної формації	Типохімізм Ge, Ga, Sn; N_o	Типохімізм Ge, F; N_o
	Флюорит	Σ РЗЕ; характер Eu-аном.	а) $\Sigma PZE_{Ce}/\Sigma PZE_{Y}$; $T_{гом}$, NaCl екв.-%; характер Eu-аном. б) не типовий для силікатно-сульфідної формації	Характер Eu-аном.; $\Delta \Sigma PZE$ на 10 м вертикального інтервалу; Mn^{2+} (ЕІР)	Типохімізм F, Li, Sn, W, Ga, Ge, Sc, V, Zr, Ti
	Турмалін	Типохімізм F, Li, Sn, W, Al, Ti; $K_{ок.}$ (ЯГР) = $Fe^{3+}/(Fe^{3+}+Fe^{2+})$; сумарне газонасичення	а) не виявлений на всіх стадіях рудоутворення б) типохімізм Sn, Ga, Mn, V, Ti	$\Sigma PZE_{Ce}/\Sigma PZE_{Y}$	Типохімізм Sn, Ga, Sc, V, Ti; $K_{ок.}$ (ЯГР) = $Fe^{3+}/(Fe^{3+}+Fe^{2+})$

друга – наявність або зникнення мінералів, пов'язаних із близькістю рудного тіла. Наприклад, біля гранітних пегматитів Na-Li типу в напрямі до рудного тіла формується послідовний ряд мінералів: Cs-барит – флогопіт – Cs-протолітійніт; рогова обманка моноклінна – ромбічний холмквістит (Li-амфібол);

третья – мінерали певного становища в зональній колонці руд і навколорудних метасоматитів. Наприклад, у поліметалевих і колчеданових родовищах барит – характерний компонент надрудного інтервалу, а ангідрит – підрудного (Столяров, 1978);

четверта – мінерали при одному й тому ж головному хімічному елементі, що кристалізуються у певній послідовності й у різних частинах зональної колонки; зміна в просторі мінеральної форми характерного ореольного елемента. Зокрема, Mo нерідко фіксується не тільки у молібденіті й гіпогенному повеліті, а й у вульфеніті, а W – не тільки у вольфраміті та пізнішому шееліті, а й у гіпергенному штольциті;

п'ята – пари мінералів, співвідношення яких у зональній колонці ореола кількісно змінюється обернено пропорційно. М.М. Зубков успішно застосував для ртутних родовищ співвідношення кількостей мінералів як індикаторні під час діагностики внутрішніх і навколорудних частин ореолів;

шоста – модифікації мінералів, що свідчать про температури фазових переходів або інші температурні межі: CuFeS_2 тетрагональний – кубічний (547°C); порівняно низько-температурні ($200\text{--}350^\circ\text{C}$) – слюда 1M_1 , а 2M_1 – про вищі температури ($350\text{--}500^\circ\text{C}$);

сьома – мінерали-індикатори всього ореола з домішками, частота входження і рівень вмісту яких відображає загальну зональну структуру ореола. Наприклад, під час визначення Co та Ni у пириті раних піритових (сірчано-колчеданових) тіл Pb-Zn-Cu колчеданових родовищ виявили закономірну зональність їхньої внутрішньої будови (приховану, за М.І. Єр'омініним), виражену, наприклад, в ізолініях Co/Ni;

восьма – породотворні мінерали, які змінюють склад у певному напрямі. Наприклад, зростає залізистість хлоритів у напрямі до сульфідного рудного тіла колчеданових родовищ;

дев'ята – пари і тріади акцесорних і породотворних мінералів, що виникають синхронно або в хронологічному порядку, сполучено змінюючи склад у просторі й часі. Наприклад, розрізняють сполучену зміну кристаломорфологічних характеристик мінералів, які кристалізуються синхронно (Шафрановский, Евзикова, 1976).

Онтогенічний метод реконструкції просторово-часових закономірностей у рудному тілі [12]. Стадіальний аналіз дає змогу виявляти і сортувати речовинні ознаки, їхню послідовність у просторово-часовій моделі, щоб чітко схарактеризувати стадії сингенезу і метаморфізму рудного об'єкта з метою відповіді на питання: як росло рудне тіло, як воно перетворювалося в процесі і після росту. А.Г. Жабін успішно застосував ці аспекти під час вивчення карбонатних порід колчеданового гідротермально-осадового родовища Сибай на Уралі.

Серед цілей мінералогічного картування рудних об'єктів найбільш значимі такі, як виявлення анатомії рудного тіла, послідовності мінералоутворення, зональності тощо. Важливий цей метод і під час мінералого-технологічного картування родовищ, що ми довели на прикладі різних генетичних типів залізородних родовищ [19]. Зруденіння прогнозують на підставі аналізу сукупності всіх даних з метою виявлення найімовірніших ділянок локалізації корисних копалин, їхньої генетичної належності, якості та кількості.

Технологічна оцінка нових мінеральних об'єктів на ранніх стадіях геологорозвідувальних робіт [20] реалізована на основі школи ВІМС з наукового забезпечення розвитку мінерально-сировинної бази: неперервного (від найраніших стадій геологорозвідувальних робіт до передачі родовища в експлуатацію) і комплексного (геологія – аналітика – мінералогія – технологія). Вона пов'язана з розробкою методичних рекомендацій стосовно прогнозування технологічних властивостей знову виявлених рудопроявів на ранніх стадіях геологічного вивчення надр із використанням наявної геологічної інформації, текстурно-структурних і мінералогічних характеристик. У міру нагромадження інформації результати технологічної переробки руд прогнозують на підставі: генетичної належності потенційного родовища в разі співвіднесення його за методом аналогій з головними геолого-промисловими типами; використання банку даних з елементного складу потенційних руд та очікуваної номенклатури цінних мінералів; складу і гранулометричної характеристики цінних мінералів.

Можна прогнозувати масштаби родовища і якість корисної копалини зі з'ясуванням прогнозних якісно-кількісних показників за методом аналогії збагачення руд конкретного геолого-промислового типу в промислових умовах.

Модельно-тестовий метод оцінки потенційної рудоносності перспективних районів і площ [36]. Створивши експериментальну або теоретичну модель формування мінералізації певного генетичного типу й визначивши оптимальні умови рудоутворення з урахуванням складу, концентрації, Eh-pH гідротермальних розчинів, термодинамічних та інших чинників, можна обстежити зразки порід по всьому геологічному розрізу в перспективному рудоносному районі. Досліджено карбонатні породи (вапняки, доломіти, мармури тощо) в разі взаємодії їх з водними, фторидними, кремнефторидними, хлоридними розчинами, що містять також $BaSO_4$, ZnS , PbS . Завдяки таким випробуванням можна виділяти потенційні рудоносні відміни порід, горизонти розрізу, ділянки розшукової площі і кількісно оцінювати можливий масштаб зруденіння. Метод випробування під час прогнозування і розшуків у карбонатних породах метасоматичних родовищ флюориту і бариту.

Для підвищення в цілому ефективності мінералогічних методів необхідно інтенсивніше залучати їх у загальний комплекс геологічних, геофізичних і геохімічних робіт, а також у комп'ютеризовані інформаційні системи прогнозу зруденіння. Роботи в цьому напрямі тривають. Системи з машинного прогнозування (РЕГИОН, АЛИСА) орієнтовані, насамперед, на оцінку територій [15]. У ВІМС [16] та багатьох інших інститутах Росії і країн СНД створені суттєві передумови – накопичено величезний запас знань і даних з конкретних родовищ. Як правильно зазначив І.І. Купріянов зі співавторів [19], непорушний фундамент для прогнозування, що ґрунтується головню на методі аналогій, – це банк даних еталонних об'єктів. Детально розглянуто методологію пропонованого підходу, порівняння з типовими об'єктами за мінералогічними ознаками з урахуванням геологічної ситуації.

1. *Афанасьев В.П.* Теоретические аспекты поисковой минералогии. Новосибирск, 1989.
2. *Богатилов О.А., Гаранин В.К., Кононова В.А.* и др. Архангельская алмазоносная провинция (геология, петрография, геохимия и минералогия). М., 1999.
3. *Вернадский В.И.* Задачи минералогии в нашей стране (1917–1927) // Природа.

1928. № 1. С. 21–40.

4. *Гавриленко В.В., Панова Е.Г.* Геохимия, генезис и типоморфизм минералов месторождений олова и вольфрама. СПб., 2001.
5. *Гинзбург А.И.* Основные направления развития современной прикладной минералогии // Минерал. журн. 1984. Т. 6. № 5. С. 98–109.
6. *Гинзбург А.И., Кузьмин В.И., Сидоренко Г.А.* Минералогические исследования в практике геологоразведочных работ. М., 1981.
7. *Григорьев Д.П.* Рассуждения о минералогии. Сыктывкар, 1998.
8. *Григорьев Д.П., Юшкин Н.П.* Теоретические основы поисковой минералогии // Зап. Всесоюз. минерал. об-ва. 1989. Вып. 2. С. 1–7.
9. *Горобец Б.С., Рогожин А.А.* Спектры люминесценции минералов: Справочник. М., 2001.
10. *Джонс М.П.* Прикладная минералогия. Количественный подход. М., 1991.
11. *Евзикова Н.З.* Поисковая кристалломорфология. М., 1984.
12. *Жабин А.Г., Самсонова Н.С., Исакович И.З.* Минералогические исследования околорудных ореолов. М., 1987.
13. *Иванов О.П.* Топоминералогический анализ рудных месторождений. Л., 1991.
14. *Изютко В.М.* Технологическая минералогия и оценка руд. СПб., 1997.
15. *Кузьмин В.И., Болохонцева С.В., Ожогина Е.Г.* и др. Минералогические методы поисков и оценки месторождений полезных ископаемых. М., 1999.
16. *Куприянова И.И., Кукушкина О.А.* Типоморфизм минералов и геолого-генетические модели эндогенных редкометалльных месторождений. М., 2001.
17. *Куприянова И.И., Кукушкина О.А., Матиас В.В.* Методы поисковой минералогии при геолого-съёмочных работах (на примере редкометалльных месторождений) // Мин. сырьё. 1997. № 1.
18. *Лазаренко Е.К., Павлишин В.И.* Роль минералогических исследований в повышении эффективности геологоразведочных работ // Зап. Всесоюз. минерал. об-ва. 1977. Вып. 1. С. 17–29.
19. *Матковський О.І., Пирогов Б.І.* Прикладна мінералогія: Навч. посібник. Львів, 2002.
20. *Остроумов Г.В., Грекулова Л.А., Кушпаренко Ю.С.* и др. Технологическая оценка новых минеральных объектов на ранних стадиях геологоразведочных работ // Традиционные и новые направления в минералогических исследованиях. М., 2001. С. 112–115.
21. *Пирогов Б.И., Холошин И.В.* Инфракрасные спектры поглощения магнетита и их прикладное значение // Минерал. журн. 1989. № 2. С. 73–80.
22. *Попов В.А.* Практическая кристалломорфология минералов. Свердловск, 1984.
23. *Руденко С.А.* Генетические основы минералогических методов поисков и разведки месторождений полезных ископаемых // Минералогические критерии оценки рудоносности. Л., 1981. С. 5–25.
24. *Руденко С.А., Эшкин В.Ю., Карякин И.А.* Фации минералов // Зап. Всесоюз. минерал. об-ва. 1991. № 3. С. 1–13.
25. *Сидоренко А.В.* Вступительное слово на съезде ВМО 18 октября 1976 г. // Зап. Всесоюз. минерал. об-ва. 1977. Вып. 2. С. 129–134.
26. *Сидоренко Г.А.* Методические основы фазового анализа минерального сырья // Минеральное сырьё. М., 1999.

27. Современные методы исследования минералов, горных пород и руд: Учебное пособие. СПб., 1997.
28. Эшкин В.Ю. Принципы количественной оценки интенсивности процессов минералообразования при поисках, разведке и перспективной оценке месторождений полезных ископаемых // Минералогические критерии оценки рудоносности. Л., 1981. С. 39–48.
29. Эшкин В.Ю. Поисковая минералогия и минералогическое картирование: Учебное пособие. Л., 1989.
30. Юргенсон Г.А. Типоморфизм и рудоносность жильного кварца: Автореф. дисс. ... д-ра геол.-мин. наук. М., 1997.
31. Юшкин Н.П. Топоминералогия. М., 1982.
32. Юшкин Н.П. Минералогические методы поисков и оценки месторождений полезных ископаемых // Новые минералогические методы поисков месторождений полезных ископаемых. Сыктывкар, 1982. С. 3–15.
33. Юшкин Н.П. В.И. Вернадский и развитие прикладной минералогии // Минерал. журн. 1988. Т. 10. № 2. С. 69–77.
34. Юшкин Н.П. Современная минералогия и новые тенденции ее развития // Новые идеи и концепции в минералогии. Сыктывкар, 2002. С. 8–9.
35. Юшкин Н.П. Минералогия в России: этапы, факторы и закономерности развития // Сыктывкар. минерал. сб. 2003. № 33. С. 5–12.
36. Юшкин Н.П., Кунц А.Ф., Таранина Т.И. Бариты Уральско-Пайхойской провинции. Екатеринбург, 2002.

**THE FUTURE OF MINERALOGY – IN ITS APPLIED MEANING
PART 1. PROBLEMS OF SCIENTIFIC-METHODICAL AND
PROSPECTING TRENDS**

B. Pyrogov

*Moscow State Geological Research University
Mikluho-Maklaj St. 23, RU – 117873 Moscow, Russian Federation*

Basic problems of modern applied mineralogy, their scientific-methodical and prospecting significance have been analysed.

Key words: methods of applied mineralogy, forecasting, search-estimated criteria and attributes, typomorphism of minerals.

Стаття надійшла до редколегії 13.09.2004

Прийнята до друку 15.11.2004