

УДК 549.0

МЕТОДОЛОГІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ МІНЕРАЛОГІЇ ТА ПРИРОДА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МІНЕРАЛІВ

Б. Пирогов

*Російський державний геологорозвідувальний університет
117873 Росія, м. Москва, вул. Міклухо-Маклая, 23
E-mail: pirogov_bi@inbox.ru*

Технологічні властивості мінералів формуються в єдиній геолого-техногенній системі. “Життя”, розпочате в геологічних процесах, триває в технологічних апаратах, однак у часі й просторі відбувається значно швидше, ніж у природі. Воно віддзеркалює двояку природу властивостей мінералів, інформація про які формується на різних рівнях мінералогічної “пам’яті” – морфологічному, структурному тощо. Інтеграція мінералогічних методів зі збагаченням корисних копалин дає змогу оцінити систему природи технологічних властивостей мінералів і навчитись керувати ними під час рудопідготовки й сепарації подрібнених продуктів у технологічній схемі.

Ключові слова: технологічна мінералогія, технологічні властивості мінералів, мінералогічна “пам’ять”, геолого-техногенна система, технологічна схема.

Ще 1954 р. А.І. Гінзбург зазначав, що залучення у сферу практичного використання будь-якого мінералу або виявлення 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. Учений завжди закликав до комплексності вивчення, оцінки й переробки корисних копалин (КК). Саме *технологічна мінералогія об’єднує мінералогічні й технологічні дослідження, пов’язані з вивченням речовинного складу, текстурно-структурних ознак КК і технологічних властивостей мінералів, спрямовані на розробку раціональних схем їхнього збагачення й комплексне використання мінеральної сировини*. Вона дає змогу з єдиних позицій простежити весь хід змін мінеральної речовини літосфери через технологію обробки й переробки до нагромадження в літосфері відходів [26]. Розробку наукової системи й методології цього найважливішого напрямку прикладної мінералогії варто пов’язувати з основами теорії мінералогії загалом, фізики й хімії твердого тіла, досягненнями таких наук, як розшуки, розвідка й оцінка родовищ, збагачення, економіка та екологія корисних копалин через таке:

– дослідження еволюційних закономірностей розвитку мінерального світу у взаємозв’язку з живою речовиною, беручи до уваги, що мінерали й їхні асоціації (речовинний склад, текстурно-структурні ознаки, властивості КК, у тім числі технологічні) формуються на макро-, мікро- і нанорівні в єдиній геолого-техногенній системі, визначають головні геолого-мінералогічні чинники збагачування КК та їхні екологічні особливості. Вони відображають кругообіг мінеральної речовини в природі на різних рівнях її організації: індивід (кристал, зерно, частинка) – агрегат

(технологічний агрегат малих частинок) – рудне тіло (КК) – мінералогічна аномалія (у тім числі відвали “пустих” порід і некондиційних КК, хвостосховища) – потенційні техногенні родовища КК – мінералогічне поле та ін.;

– розуміння, що технологічні властивості мінералів (магнітні, густинні, напівпровідникові, люмінесцентні, властивості поверхні тощо) є функцією їхньої конституції та генезису, а тому їхнє “життя”, розпочате в геологічних процесах, триває в технологічних апаратах. Це відображає двояку природу технологічних властивостей мінералів [19]: з одного боку, вони зумовлені взаємозв’язком з генезисом, конституцією й морфологією виділень, з іншого, – змінами морфології, конституції мінералів і, як наслідок, їхніх природних властивостей під час рудопідготовки та збагачення. Інформація про властивості локалізована на різних рівнях мінералогічної “пам’яті” – морфологічному, ізотопному, молекулярному, структурному, магнітному тощо. Тому мінералоги й технологи повинні зрозуміти характер та особливості прояву технологічних властивостей мінералів, щоб навчитись керувати ними;

– урахування у природних геологічних і технологічних системах ієрархічної систематики дискретного стану речовини [29] у такому ряду: мінерал–мікромінерал–квазікристали–фулерени–аморфна речовина–колоїди–наночастинки–кластери. Це дає змогу по-новому підійти до мінералого-технологічного оцінювання комплексності, екологічності КК та відходів, розробки нестандартних методик такого оцінювання, технології видобутку і збагачення; забезпечити розробку економічно-екологічних технологій одержання нових нетрадиційних видів мінеральної сировини (цеоліти, сапоніт, польові шпати, кіаніт, гранати тощо), постійно розширюючи сфери їхнього застосування;

– використання онтогенічного підходу в комплексі з традиційними мінералогічними та сучасними фізичними й фізико-хімічними методами аналізу речовини (високороздільна оптична й електронна мікроскопія, растрова електронна мікроскопія, візуалізація зображень, рентгенівська топографія, ІЧ-спектроскопія, ядерний магнітний резонанс, електронний парамагнітний резонанс, люмінесцентний, термохімічний, рентгеноспектральний, термобарогеохімічний та інші види аналізу) під час “тілесного” дослідження індивідів і агрегатів мінералів [3, 5] та КК загалом; обробка отриманої інформації за допомогою комп’ютера для виявлення тонких особливостей конституції мінералів, закономірностей мінливості мінералів у морфолого-структурному ряді з урахуванням технологічних даних під час детального вивчення мінеральних асоціацій; одержання інформації про типоморфні ознаки та властивості мінералів, які визначають збагачуваність рудних і нерудних КК. Для кожного виду рудних, нерудних, техногенних КК визначають свій комплекс мінералогічних та інших методів мінералого-технологічного оцінювання з урахуванням їхніх генетичних особливостей і перетворень під час збагачення;

– інтеграцію мінералогічних методів зі збагаченням КК на підставі синтезу мінералогічних знань і розвитку різних експериментальних напрямів у технології для підвищення системи рудопідготовки і збагачення КК загалом (збереження й перетворення мінералого-генетичної інформації в процесі природно-техногенної еволюції мінеральної речовини з урахуванням двоякої природи властивостей мінералів, особливо можливостей їхньої спрямованої зміни);

– оцінку збагачуваності нерудних КК (цеолітова, гранатовмісна, карбонатна, фосфатна, глиниста й інші види мінеральної сировини) на підставі комплексування

специфічних мінералого-аналітичних, математичних методів та імітаційного моделювання [9, 13, 30 та ін.];

– використання результатів вивчення процесів концентрації мінералів у природних родовищах для вдосконалювання їхньої технологічної концентрації шляхом: а) створення процесів-аналогів; б) термодинамічної оцінки напряму перебігу відповідних процесів для зрушення рівноваги в певному напрямі, щоб посилити концентрацію тих чи інших елементів або мінералів; в) сумісного розгляду й удосконалювання загальної “технологічної схеми” концентрації елементів, включаючи природні й техногенні процеси. Потрібно мати на увазі, що геологічні процеси суттєво відрізняються за кінетикою їхнього перебігу та реакцій [1, 9, 20]. Однак технологічна мінералогія дає змогу не тільки виявити й оцінити технологічні особливості КК і мінералів, а й одержати зворотню інформацію для розуміння їхнього генезису;

– виявлення під час геолого-(мінералого)-технологічного картування родовища на підставі геолого-технологічної моделі закономірностей мінливості речовинного складу, текстурно-структурних ознак, фізико-механічних і фізико-хімічних властивостей типів і сортів рудних і нерудних КК на тлі мінералого-геохімічної зональності рудних тіл (товщ), що визначає характер їхньої геохімічної й екологічної спеціалізації, фазовий склад мінеральних асоціацій і мікропарагенезисів головних рудних і нерудних мінералів, кристаломорфологію, гранулометрію – особливості технологічних схем і показники збагачення КК;

– розвиток системи геолого-технологічного моделювання родовищ КК різних генетичних типів на підставі вдосконалювання методів картування і прогнозування їхнього збагачування, технологічної оцінки КК на ранніх стадіях вивчення з використанням банків даних (мінералогічних, геохімічних, екологічних, технологічних), а також апріорних методів;

– перехід від “сировинного” використання мінералів, від утилізації й експлуатації мінерального світу до застосування мінералів у складі композиційних матеріалів з урахуванням розмаїтості наявної мінерально-сировинної бази, до взаємодії й гармонічного “зрощення” людини з мінералами (створення мінеральних біокомплементарних систем, імплантантів тощо);

– розширення й поглиблення у зв’язку з технологічною мінералогією мінералогічних досліджень у галузі екологічної мінералогії.

Отже, визначивши найважливіші напрями методології технологічної мінералогії, можна спробувати зрозуміти природу технологічних властивостей мінералів, характер і глибину природно-технологічних системних змін, навчитись керувати їхнім формуванням. Адже в остаточному підсумку технологічну схему створюють на підставі знань про мінеральну сировину: де, скільки і з якими властивостями є мінерали (КК). Вивчення їх важливо саме в єдиному геологічному і технологічному середовищі, яке охоплює фізичний, речовинний і енергетичний простір, де мінерал розвивається саме у взаємозв’язку з середовищем (природним геологічним і технологічним), еволюціонує під дією зовнішніх і внутрішніх чинників, розпадається на системи “мінерал”, два типи “середовищ” і взаємозв’язки між ними. У розвиток ідей М.П. Юшкіна [33] про взаємозв’язок між мінералом і мінералогенетичним середовищем властивості мінералів можна трактувати як багато в чому загальні й у технологічній системі. Їх поділяють на такі:

енергетичні – забезпечують обмін енергією під час структурних перетворень індивіда;

речовинні – пов'язані з надходженням з середовища в мінеральний індивід речовини, яка забезпечує його ріст, або, навпаки, руйнування індивіда й видалення речовини з мінералу в середовище;

інформаційні – передавання особливостей структурної організації речовини й енергії від середовища до мінералу і назад.

На підставі даних про особливості речовинного складу, текстурно-структурних ознак, фізико-механічних і фізико-хімічних властивостей КК різних генетичних типів, на засадах законів мінералогії – інформаційних, резонансу, інерції [5, 33, 34], з огляду на взаємозв'язок і багато в чому подібність між процесами мінералоутворення (перетворення) у Природі й Технології, на результати технологічних експериментів, ми розвиваємо наші уявлення про систему природи технологічних властивостей мінералів (рис. 1).

Двояка природа властивостей, їхня контрастність формуються в динамічному середовища на різних дискретних рівнях (макро-, мікро-, нанорівні) і широко виявляються в природно-технологічному гранулометричному спектрі як на стадії рудопідготовки, так і в різних вузлах технологічної схеми. Вони відображають кругообіг речовини в природі на тлі мінералого-геохімічної й еколого-технологічної спеціалізації КК. Відмінності природних і технологічних умов локалізації інформації на різних рівнях мінералогічної “пам'яті” пов'язані з масштабністю розмірів, масою, часом, енергією процесів [7, 19]. Причому тривалість природних процесів, які формують технологічні властивості мінералів, до встановлення термодинамічної рівноваги обчислюють тисячоліттями. Відповідно до принципу успадковування структурних, речовинних і морфологічних ознак мінералів [37], їхні технологічні властивості потенційно виявляються в різних еволюційних рядах мінералів (асоціацій), які відображають безперервний спрямований розвиток процесів мінерагенезису (результат взаємодії мінералів із середовищем у різних енергетичних полях).

Цей принцип важливо враховувати під час переробки й модифікування мінералів (руд) та керування цими процесами. Однак швидкоплинні технологічні процеси, зумовлені продуктивністю апаратів, інтенсивно руйнують природну інформаційну структуру мінералу, повільніше передають її новим продуктам у більш-менш збереженому вигляді.

Провідним чинником під час збагачення руд є, передусім, крупність їхнього дроблення [27]: на початку ХХ ст. вона становила 1 мм, у 1930-ті роки її на порядок знизили для всіх типів руд – до 100 мкм, а сьогодні багато руд подрібнюють до 50 мкм, оскільки суттєво погіршились їхні текстурно-структурні ознаки. Сумарна поверхня здрібненої руди за умов переходу крупності 1 мм → 100 мкм зростає на два порядки, а в разі зниження лінійних розмірів до 50 мкм – уже на чотири (відбувається перехід якісної межі). Ці зміни в системі збагачення пов'язані з залученням щораз більшої кількості так званих важкозбагачуваних руд, або руд з несприятливими характеристиками. Йдеться про тонкозернисті руди зі складними текстурами і зрощеннями мінералів, збагачувані з більшою кількістю шламів (частки розміром <20–10 мкм), для яких нема ефективних методів збагачення. У цих рудах асоціації мінералів мають близькі технологічні властивості, які зумовлюють низьку контрастність мінералів під час сепарації. Наприклад, наявність асоціації хризосола + халь-

кантит + брошантит + польові шпати + кварц утруднює флотування оксидів і сульфідів низки мідно-молібденових і мідних руд [21].

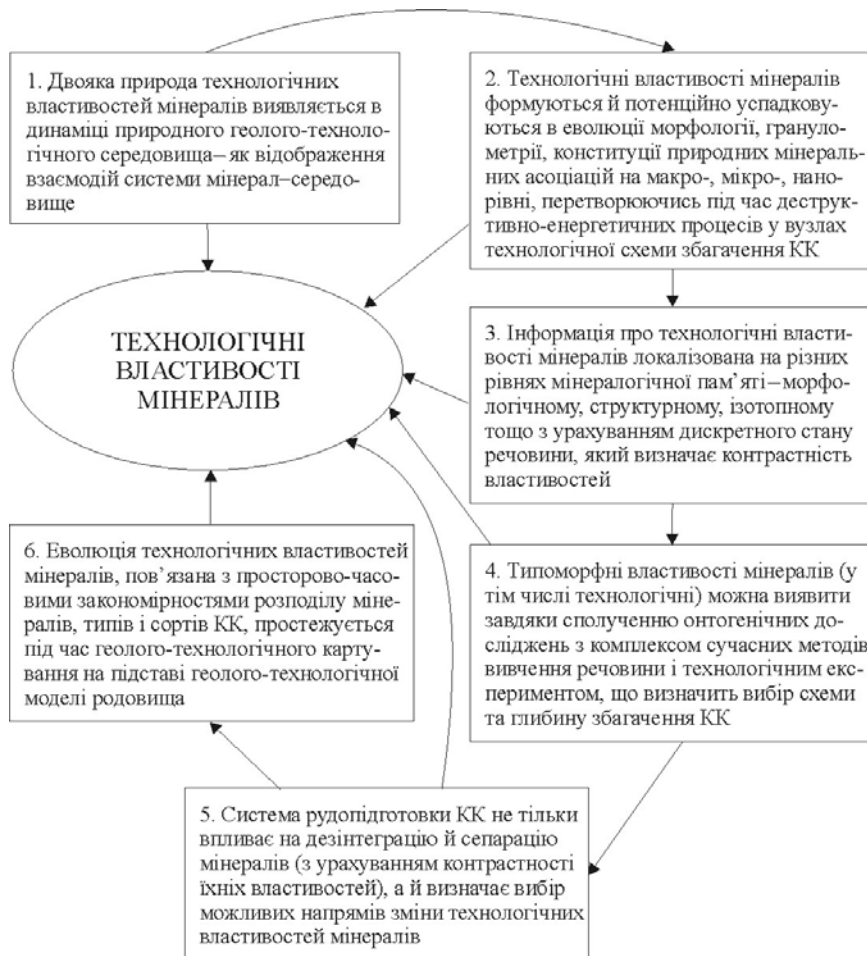


Рис. 1. Система природи технологічних властивостей мінералів.

У разі тонкого здрібнювання (<44 мкм) можуть значно змінюватися природні ознаки КК – морфологія, гранулометрія і конституція мінералів, аж до появи новоутворених фаз, явищ аморфізації, псевдоморфізації, поліморфізму [18]. Перетворення мінералів під час дроблення звичайно починається й завершується під впливом навантажень (тектонічних у природі й механічних у подрібнювальних апаратах), які зумовлюють різний ступінь диспергування й наступне формування технологічного (новоутвореного) агрегатного стану речовини (флокули та ін.). У цьому разі на деформованих ділянках, особливо вздовж зон крихкого розриву, інтенсивніше відбуваються процеси розкладання, окиснення та інші види фізико-хімічних перетворень системи мінерал–середовище, що особливо стосується мінералів тех-

ногенних родовищ КК [31 та ін.]. На всі ці особливості КК потрібно зважати під час їхнього мінералого-технологічного вивчення.

У разі дослідження індивідів і агрегатів рудних мінералів чи зрощень мінералів з урахуванням конституції, як зазначено вище, важливо “тілесно” виразити еволюцію їхніх технологічних властивостей і надати поняттю поряд з хімічним чіткий фізичний зміст [3], у якому закодовані їхні найважливіші особливості. Це дасть змогу виразити ті чи інші особливості неоднорідності хімічного складу і структури різних порядків в анатомії реальних кристалів або частинок (зональність, секторіальність, мозаїчність), у деталях конституції другого і третього порядків (полісинтетична, доменна будова, епітаксialні прошарки), деталях атомного й молекулярного масштабу (різноманітні дефекти кристалічної структури), ізотопному складі, ядерній, електронній і магнітній структурах. Важливо врахувати різні за складом включення, пори, тріщини, покриття індивідів і частинок адсорбційним шаром, різні плівки, синтаксію, епітаксію й інші особливості. Під час розшифрування анатомії індивідів потрібно також пам’ятати, що вона відображає історію їхнього росту, кількаразову зміну габітусу, трансформацію скелетного росту в повногранний і навпаки. Причому анатомія індивідів може бути суттєво перетворена в процесі зміни й руйнування мінералів завдяки зовнішньому енергетичному впливу (як у природі, так і в технології). Важливо виявити й простежити особливості змін мінералів, пов’язані з етапами син- та епігенетичного метаморфізму [28]. Особливе місце в оцінюванні технологічних властивостей мінералів і руд посідають завершальні етапи мінегагенезу, коли інформація фрагментарно “заморожується” в кількісних морфолого-структурних параметрах (насамперед, у зрощеннях мінералів, які дають змогу оцінювати ефективність їхнього розкриття у разі дроблення). Без сумніву, один з найефективніших методів пізнання технологічних властивостей мінералів пов’язаний з онтогенічним підходом [4, 5, 19]. Саме цей підхід до оцінювання технологічних особливостей мінералів і КК з урахуванням даних технологічного експерименту забезпечує, по-перше, вибір оптимальних умов розкриття зерен корисного компонента, беручи до уваги природу зрощень, яка визначає гранулометрію, форму зерен мінералів, що зростаються, і особливості їхніх меж; по-друге, оптимізацію технологічного процесу з урахуванням контрастності властивостей розділення мінералів на підставі особливостей їхньої конституції – неодмінної неоднорідності складу і властивостей мономінеральних зерен (під час комплексного аналізу анатомії індивідів і здрібнених частинок); по-третє, виділення під час мінералого-технологічного картування типів і сортів КК з одержанням їхньої всебічної мінералого-технологічної характеристики.

Технологічні властивості мінералів формуються й потенційно успадковуються в еволюції морфології, гранулометрії, конституції природних мінеральних асоціацій на макро-, мікро-, нанорівні, а також перетворюються під час деструктивно-енергетичних процесів у різних вузлах технологічної схеми збагачення КК. Дослідження еволюції технологічних властивостей мінералів і поведінки техногенних фаз дають змогу говорити про два головні механізми змін, як уже зазначено вище, – поліморфний та ізоморфний [7]. Найчіткіше обидва механізми перетворень протиставлені в техногенезі. У цьому разі поліморфний механізм перетворень – це не хімічні, а симетрійні реакції мінералів. Якщо технологічні властивості мінералів формуються завдяки поліморфним перетворенням, то енергія витрачається на розупорядкування ґратки і структура перетворюється в низькосиметричну. Автори [7] за-

значають, що зі зниженням симетрії зростають домішкова ємність структури та реакційна активність поліморфних фаз. Дослідження збагачуваності залізних руд різних генетичних типів засвідчили [24], що перетворення в структурі рудних мінералів пов'язані з морфотропними змінами в ряді: вюстит $Fm\bar{3}m$ –магнетит $Fd\bar{3}m$ –магхеміт $P4_22_12$ –гематит $R\bar{3}c$. У природних і промислових умовах окисно-відновні процеси переходу магнетиту у вюстит або магхеміт (далі в гематит) зумовлені об'ємними змінами на тлі симетрійних перетворень [8]. Зокрема, в разі окиснення магнетиту до магхеміту об'єм рудної фази збільшується на 9 %, під час відновлення до вюститу – зменшується на 21 %, що приводить до значної деформації і окремих зерен, і агрегатів. Вони провокують процеси псевдоморфізації магнетиту й гематиту (мартитизацію та мушкетовітизацію), які досить суттєво позначаються на зміні таких технологічних властивостей перетворених мінералів, як характер і розмір питомої поверхні, коерцитивна сила та ін. У природі ці процеси посилюються завдяки виникненню численних вторинних мікротріщин у мінералах. Згідно з нашими спостереженнями, інтенсивні процеси мушкетовітизації й мартитизації характерні для залізистих кварцитів Михайлівського родовища КМА. Це чітко простежено за зміною значення повної питомої поверхні магнетитового концентрату і його якості (крупність подрібнення 95 % класу <44 мкм) в поєднанні з зональністю товщі кварцитів – від суттєво магнетитових з силікатами і піритом лежачого й висячого боків (Fe – 65,8 %; питома поверхня – 1 788 м²/кг) до силікатно-магнетитових (65,3 та 1 407, відповідно) і гематит-магнетитових центральної частини покладу (66,0 % і 1 200 м²/кг). На прикладі низки сульфідів і оксидів доведено [7], що поліморфні модифікації суттєво відрізняються за фізичними властивостями: густиною, твердістю, оптичними характеристиками. Це дає змогу під час дроблення руд на гірничо-збагачувальних комбінатах фіксувати такі перетворення, як магнетит–гематит, сфалерит–вюртцит та ін.

Механізм нормального ізоморфізму не пов'язаний з різкою зміною в енергетиці структур, він визначає шлях монотонної зміни фізичних властивостей мінералів. Нерідко в макрокристалах розвинений наноблоковий ізоморфізм [35]. Він формує новий світ структур і морфологічно впорядкованих об'єктів, які перебувають у дальньому порядку структуроутворювальних частинок: механічно захоплені в процесі росту наноіндивіди; у вигляді структур розпаду твердих розчинів; у міжзернових межах і межах субіндивідів; в агрегатах і надмолекулярному упорядкуванні наноструктур аморфних речовин тощо. Конституція й форма наноіндивідів практично не залежать від зовнішніх впливів, вони зумовлені тільки внутрішніми чинниками. Такий вид ізоморфізму важливий під час вирішення проблем повного добування корисних компонентів з руд, одержання нових видів мінеральної сировини, оцінювання показників збагачення руд різних генетичних типів. Його чітко фіксують комплексом сучасних методів досліджень і в анатомії індивідів. За допомогою ІЧ-спектрів поглинання ми виявили [22] закономірності прояву нормального і наноблокового ізоморфізму в магнетиті з руд різних генетичних типів, що дає змогу оцінити характер заміщення заліза у структурі мінералу, фіксувати наноблоковий ізоморфізм в анатомічних зрізах і розділяти магнетит за мінералого-технологічними сортами руд під час картування. Без сумніву, обидва явища (ізоморфізм і поліморфізм) головно визначають вибір режимів збагачення руд різних генетичних типів.

Практика роботи гірничо-збагачувальних комбінатів свідчить, що на ефективність процесів сепарації багатьох руд може впливати будь-який мінерал (або група мінералів) навіть у невеликій кількості, і це погіршує показники збагачення [10, 24, 25 та ін.]. Наприклад, поява шаруватих силікатів (тальк, хлорит, слюди) від десятих часток до перших відсотків негативно позначається на флотаційних властивостях рудних мінералів зі скарнових вольфрам-молібденових руд. У залізо-фосфорних рудах поява 0,5–1,5 % гіпсу знижує флотацію апатиту тощо.

Уявлення про геолого-структурну позицію родовища дають змогу врахувати структурно-тектонічні чинники у формуванні та зміні технологічних особливостей КК і простежити динаміку деформаційних проявів (мікроскладчастість, тріщинуватість, кліваж, будинаж, брекчіювання тощо) на різних рівнях (родовище–рудне тіло–мінеральний агрегат–мінеральний індивід) у зв'язку з постулатом онтогенії мінералів: фізика керує хімією [6]. Саме деструктивно-енергетичні перетворення приводять до суттєвої зміни морфології й розмірів рудних і нерудних мінералів, текстурно-структурних ознак та речовинного складу КК. Зокрема, прояви пружних і, особливо, пластичних та крихких деформацій визначають практично всі зміни форми й анатомії індивідів мінералів (ковзання, двійникування, блокування, поділ на частини, сколювання, стирання); як наслідок – зміна технологічних характеристик і показників збагачення КК. Ми виявили [20, 24], що найвідчутніша роль цього чинника в залізистих кварцитах, метаморфізм і метасоматоз яких пов'язаний, насамперед, з процесами деформації й перекристалізації. Ці зміни зумовлені, з одного боку, фізичними властивостями мінералів, що співіснують, а з іншого, – особливостями онтогенії індивідів і агрегатів у зв'язку з проявом різних видів деформації та підвищеною здатністю до перекристалізації. Деформації в шаруватій текстурі кварцитів виявляються, зазвичай, диференційовано: поряд із пластичністю одних шарів фіксують крихкість інших. Співвідношення динамометаморфізму і рудних проявів у цьому разі ускладнене хорошою розчинністю рудних мінералів або їхньою рухливістю. Метасоматоз, який виявляється у зв'язку з дислокаціями, нерідко зумовлює не тільки значне спотворення складу і форми рудних тіл, а й появу нових рудних тіл, а в остаточному підсумку суттєво впливає на технологічні особливості руд. Якість магнетитового концентрату знижується на 1–5 %.

Детальне вивчення метаморфічної перекристалізації залізистих кварцитів Інгулецького родовища (Кривий Ріг), пов'язаної з тектонічними проявами (складчастість, брекчіювання, утворення структур будинажу), дало змогу простежити зміни їхніх технологічних властивостей (рис. 2). Під час складкоутворення зміни пластичності шарів кварцитів ув'язані з послідовністю їхньої перекристалізації: кварцові шари на стадії перекристалізації кварцу пластичніші, ніж магнетитові й кумінгтонітові. Тому суттєва зміна технологічних властивостей кварцитів пов'язана із втратою кварцом і магнетитом здатності до перекристалізації, яка приводить до їхньої інтенсивної грануляції під час деформації, що триває. У ділянках розвитку будинажу кварцових шарів, зумовленого процесами розлінзування і грануляції магнетиту, вміст Fe у концентраті зменшується з 66–63 до 63–60 %. Виявлена на родовищі послідовність формування мінералів (пойкілітовий магнетит → роговоковий кварц → ксенобластовий магнетит → ідіобластовий магнетит → стільниковий кварц → метасоматичний кумінгтоніт) визначає генетичний тип їхніх зрощень. Це зумовлює кореляційні зв'язки між характером меж зрощень магнетиту, двох типів кварцу, метасоматичного кумінгтоніту і технологічними властивостями квар-

цитів, визначає коливання якості концентрату в межах одного і того ж їхнього різновиду (див. рис. 2).

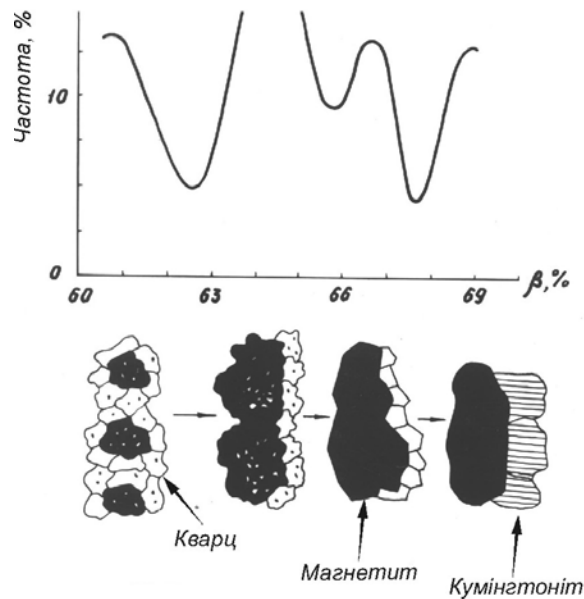


Рис. 2. Залежність технологічних показників збагачення магнетит-силікатних кварцитів Інгулецького родовища від еволюції типів зрощень мінералів, які відображають особливості їхньої геолого-структурної позиції.

Онтогенічні спостереження дали змогу зафіксувати приуроченість формування конкретного типу зрощень до кварцитів, які мають певну структурну позицію: а) на ділянках слабкої перекристалізації у значній кількості зберігається тонкозернистий, пойкилітовий магнетит, що погіршує якість концентрату (перший максимум); б) стільниковий кварц і метасоматичний кумінгтоніт приурочені до зон розтягання шарів – до замків складок. Їхня поява зумовлює межі типу наростання з магнетитом і, як наслідок, погіршення якості концентрату, дроблення, подрібнюваності кварцитів (другий максимум); в) для крил складок характерне гальмування перекристалізації, що визначає значне поширення метасоматичного типу зрощень ксенобластового магнетиту з роговиковим кварцом. Це поліпшує розкриття магнетиту під час дроблення, а отже, – і якість концентрату (третій максимум); г) значний розвиток метасоматичного кумінгтоніту зумовлює подальше погіршення дроблення кварцитів (зростає їхня в'язкість). Одночасно змінюються межі наростання між магнетитом і стільниковим кварцом на “помилкові” (між магнетитом і кумінгтонітом), що сприяє ліпшому подрібненню та розкриттю магнетиту, і якість концентрату зростає (останній максимум).

Спостереження у складноскладчастих залізистих кварцитах Михайлівського родовища [24] засвідчили також зміни мінералогічних (анатомія індивідів магнетиту) і технологічних характеристик залежно від мікроскладчастості й кліважу. Кліваж розлому й ковзання пов'язаний із серією кулісних мікроскладок і серією дрібних асиметричних складок з деякими елементами волочіння, з розвитком на окремих

ділянках зон мілонізації. Все це суттєво впливає на розвиток процесу рекристалізації магнетиту (рис. 3) і появу значної кількості тонких мікроблокових виділень розміром до 30 мкм. Між кількістю частинок мінералу такого розміру і вмістом Fe в концентраті є чіткий зворотний зв'язок ($r = -0,80$). Це враховують у мінералогічно-технологічній класифікації кварцитів для кожного технологічного сорту на родовищі під час картування, подачі руд на збагачувальну фабрику та мінералогічного контролю їхнього збагачення.

Отже, в оцінці збагачуваності залізистих кварцитів і геолого-технологічному картуванні важливо брати до уваги взаємозв'язок їхніх технологічних властивостей з характером структурно-тектонічних проявів на родовищі, які головно визначають закономірності просторової мінливості і, як наслідок, закономірності мінливості речовинного складу й технологічних показників збагачення.

Типоморфні властивості мінералів, утім числі технологічні, виявляються у разі сполучення онтогенічних досліджень з комплексом сучасних методів вивчення речовини й технологічним експериментом, визначають вибір схеми та глибину збагачення КК. На їхній підставі оцінюють провідні геолого-структурні й мінералогічно-технологічні чинники, які визначають збагачуваність КК. Ці чинники пов'язані з відтворенням мінерагенезу будь-якого об'єкта – від окремого мінерального виду (навіть окремих його конституційних або анатомічних елементів) до мінеральних агрегатів, парагенезисів, асоціацій, комплексів на рівні мінералогічної “пам'яті”; генетична історія відображається в еволюційних структурних, морфологічних, видових, формаційних тощо рядах. Тут використовують інформацію, записану в кам'яній формі [6, 37]. Адже під час зародження, росту, зміни (за обопільної дії параметрів середовища – P , T , C , Eh , pH та ін.) мінерали фіксують у собі у вигляді зональності, реакційних облямівок, псевдоморфоз, структур розпаду, наростань одних кристалів на інші тощо початок, еволюцію та припинення дії чинників, віддзеркалюючи у кам'яному записі динаміку причин мінерагенезу й техногенезу. Тому їх треба трактувати не тільки як “шматки простору”, а й як “скам'янілі відрізки часу”. Важливу роль у цьому разі відіграють чинники структурного, речовинного, морфологічного успадковування, які виявляються в певних енергетичних умовах. Технологічні властивості мінералів мають двояку природу – інерційно та відповідно до принципу детермінізму успадковують природні особливості речовинного складу, текстурно-структурні ознаки, фізичні й фізико-хімічні властивості КК різних генетичних типів родовищ, змінювані в техногенезі. Наприклад, у залізних рудах з родовищ різних генетичних типів магнетит має такі типоморфні ознаки, які визначають збагачуваність руд [24]:

– **гетерогенний склад**, зумовлений генезисом мінералу й пов'язаний із проявами нормального й аномального (наноблокового) ізоморфізму, який визначає теоретично можливу і технологічно досяжну якість магнетитового концентрату. Характер

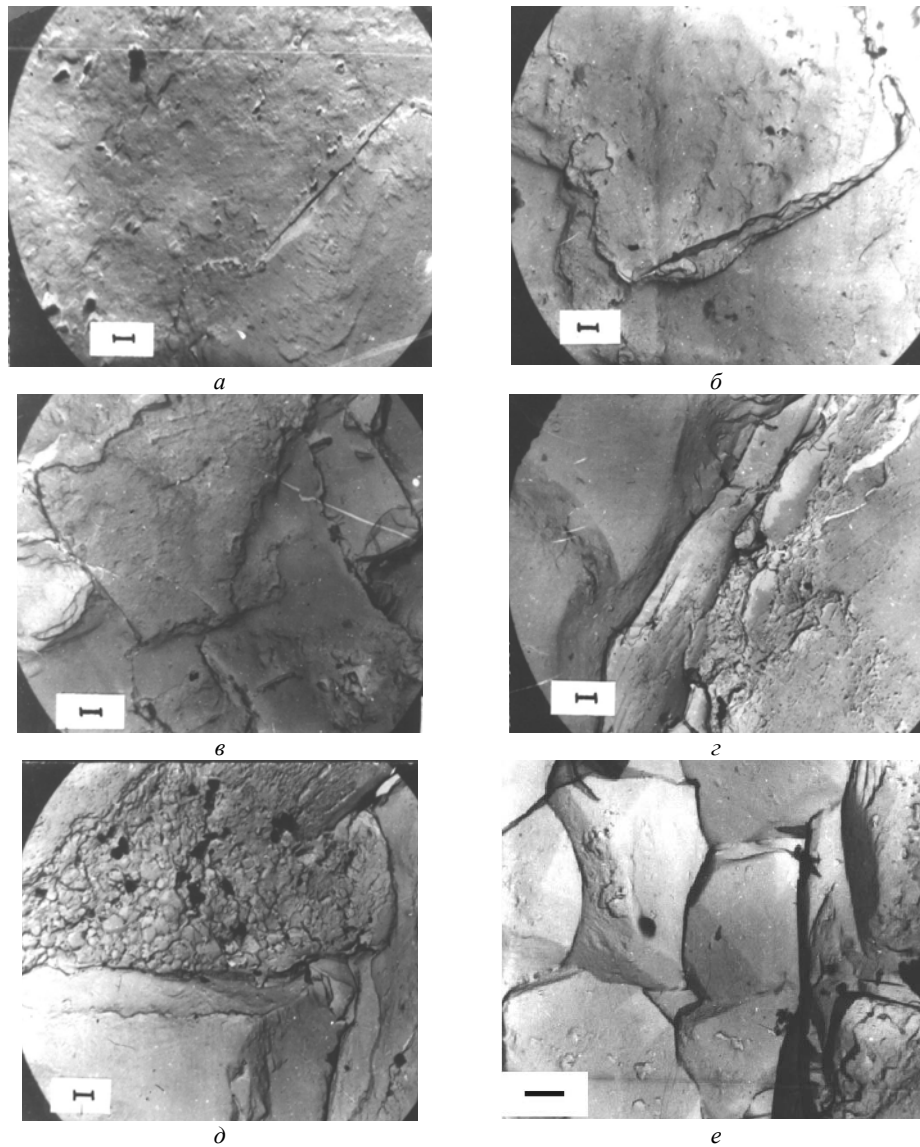


Рис. 3. Послідовні стадії процесу рекристалізації магнетиту від початку руйнування індивіда (а-г) до появи дрібних вторинних індивідів (д-е). Вугільні репліки. Масштаб – 10 мкм.

неоднорідності та вміст заліза в мінералі змінюється в ряді: 71,9 % (власне магнетит і оксимагнетит у залізистих кварцитах Кривого Рогу і КМА) → 69,3 % (Mn-магнетит у карбонатних скарнах родовища Дашкесан) → 68,4 % (Ti-, Mg-, Al-магнетит у карбонатно-силікатних скарнах Соколовського й Сарбайського родовищ) → 65,4 % (Ca-, Mg-, Al-магнетит у пірокластичних породах, пов'язаних із трапами, Коршунівського та Рудногорського родовищ) → 64,7 % (Al-, Mg-, Ti-магнетит в ультраосновних лужних породах з карбонатами, Ковдор) → 63,7 % (Ti-

магнетит і Ті-магнетит з ільменітом в ультраосновних і основних породах Качканарського й Кусинського родовищ).

Звідси впливає, що найчистіший магнетит – метаморфічного типу, а найменше заліза – у магматичному. Отже, метаморфізм мінералів будь-якого генезису (як завершальний етап мінералоутворення) спричинює зміну їхнього складу і властивостей як у природі, так і в техногенезі. Вивчення анатомії індивідів дає змогу чітко простежити еволюцію метаморфічних перетворень мінералу [28]: послідовну зміну аж до руйнування первинних структур зональної, зонально-секторіальної, мікроблокової будови, пов'язаної з явищами перекристалізації, рекристалізації тощо (див. рис. 3), що приводить, врешті-решт, до зміни рівня гетерогенності складу й будови частинок магнетиту в класах різної крупності. У технологічній схемі під час дроблення завдяки явищам метаморфізму мінералу порушується його первинна доменна структура, що зумовлює суттєве зростання коерцитивної сили частинок. За даними Діна й Девіса (1940), коерцитивна сила намагнічених частинок магнетиту різко зростає зі зменшенням їхнього розміру в інтервалі 40–20 мкм. Це зумовлює їхню підвищену флокуляцію та захоплення великих частинок нерудних мінералів, які збіднюють концентрат (на 1–3 % за Fe). Підвищення якості концентрату можливо тільки на стадіях перечищення під час розмагнічування вихідної пульпи в магнітних гідроциклонах. Водночас різко зменшується питома магнітна сприйнятливості часток мінералу розміром до 20 мкм, чим зумовлена втрата їх у “хвостах” (звичайно їхній вміст у них становить 15–30 % від загального вмісту магнетиту);

– *мінливість магнітних властивостей* (у тім числі характеру магнітних доменів) у зв'язку з генезисом руд. Ці властивості визначають ефективність сепарації – зміну вмісту Fe у концентраті і втрати його у “хвостах”. Особливості ізоморфізму елементів зумовлюють параметри кристалічної структури мінералу, насамперед параметри ґратки, і в підсумку – типоморфізм магнітних властивостей. Наприклад, за значенням питомої магнітної сприйнятливості χ досліджений магнетит поділено на три групи: найвищі значення χ має мінерал із залізистих кварцитів, найнижчі – з карбонатно-силікатних скарнів і карбонатитів, проміжні – з карбонатних скарнів. Важливі також дані щодо зміни коерцитивної сили магнетиту. Зокрема, найвищі її значення характерні для магнетиту лужного (залізисті кварцити Північного гірничо-збагачувального комбінату, Криворіжжя) і карбонатного (Дашкесан, Ковдор) метасоматозу. Специфічна тонкоблокова будова магнетиту Соколовського і Сарбайського родовищ (крім тичкуватого різновиду) зумовлює низькі значення заданого параметра. Високу мінералого-технологічну інформативність мають коерцитивні спектри та дані термомагнітних аналізів, які дають змогу оцінювати гетерогенність складу і структури магнетиту різного генезису [24]. Цікаві також результати вивчення термо-е.р.с. магнетиту, точки Кюрі, аналіз кривих нагрівання й охолодження, зв'язків їх зі зміною кристалічної структури, стадійністю мінералоутворення, які забезпечують певні за вмістом Fe концентрати у головних мінералого-технологічних типах руд (як ми продемонстрували це на прикладі Ковдорського родовища);

– *еволюція морфології (у тім числі анатомії), гранулометрії та типів зрощень магнетиту з рудними й нерудними мінералами*. Це чинник оцінки значимості текстурно-структурних ознак руд і особливостей розкриття мінералів під час дроблення й подрібнювання, які впливають на ефективність сепарації мінеральних частинок. Вивчення особливостей онтогенії магнетиту нерідко виявляє складну

внутрішню будову кристалів і агрегатів, прояви зональної, секторіальної, мозаїчно-блокової будови, слідів росту й розчинення на гранях кристалів, характер деформаційних змін. Коливання фізико-хімічних умов приводить до кількарязової зміни габітусу мінералу, яку виражають такою загальною формулою:

$$\begin{matrix} \{111\} & & \{111\} & & \{111\} \\ & > \{111\} - \{110\} < & & > \{111\} - \{100\} < & \\ \{110\} & & \{110\} & & \{110\} \end{matrix}$$

Зазвичай, у межах одного родовища магнетит представлений декількома генераціями: зернисті індивіди різного вигляду і розміру, псевдоморфози, суцільні, стрічкові, пойкилітові завдяки включенням інших мінералів, мірмекітові й мірмекітоподібні, радіально-променисті агрегати, паралельні зростки, складні епітаксичні наростання слюд, хлоритів на магнетит тощо. Під час подрібнення кристали мінералу розколюються по певних кристалографічних площинах, тому їх фіксують у широкому технологічному гранулометричному спектрі різних класів крупності (зі своєю кристалохімією і здатністю поверхні адсорбувати як певні хімічні елементи й групи, так і подрібнені частинки інших мінералів, які утруднюють сепарацію, зокрема, у випадку флотації). Дуже важливо виявити природу меж зрощень магнетиту з гематитом, сульфідами, нерудними мінералами (див. вище).

В оцінці типоморфних особливостей мінералів комплексних руд під час збагачення важливо комплексно поєднувати їхні природні й технологічні характеристики. У ковдорських рудах ми виконали це для магнетиту, а також для бадделейту й апатиту, які вилучають попутно [22–24]. Зазначимо, що сьогодні для багатьох типів рудних і нерудних КК досліджено типоморфні ознаки мінералів і мінеральних асоціацій, що забезпечило розробку високоефективних технологічних схем [10, 13, 16, 30 та ін.].

Технологічні властивості мінералів у Природі й Технології та головні методи їхньої спрямованої зміни пов'язані з “регенеруванням” або “заліковуванням” дефектів кристалічних ґраток на поверхні чи в об'ємі подрібнених частинок.

До таких методів належать:

- механічні (особливі режими і прийоми дроблення);
- акустичні (ультразвукова обробка);
- термічні (нагрівання й наступне швидке або повільне охолодження);
- активація властивостей поверхні (блокування поверхневих центрів у фізичних полях простими молекулами газової складової; зміна співвідношення електронних і діркових центрів різними методами зсуву адсорбційно-десорбційної рівноваги, що змінює умови сепарації частинок завдяки поверхневим та об'ємним змінам [12]);
- хімічні зміни (протравляння, обробка реагентами, які “легуєть” поверхню домішковими іонами);
- радіаційні (опромінення рентгенівськими й гамма-променями, потоками швидких частинок) та ін.

У разі спрямованої зміни властивостей мінералів на макро-, мікро- й нанорівні можна впливати як на мінерал, так і на середовище. За різних видів енергетичного впливу з урахуванням типоморфних особливостей КК можна спрямовано модифікувати їхні технологічні властивості, вибирати оптимальний спосіб модифікації, цілеспрямовано змінюючи контрастність сепарованих мінералів й оптимізуючи схему збагачення [15]. Розробка і впровадження методів селективного виділення

мінералів пов'язані з використанням нових систем рудопідготовки і збагачення КК. У 2003 р. В.К. Гаранін уперше запропонував і обґрунтував елементи нової технології електроімпульсної дезінтеграції для селективного розкриття лужно-ультраосновних порід, у тім числі для забезпечення високого ступеня збереженості алмазу та мінералів-супутників під час їхнього вилучення, а також можливості вилучення мікрокристалів. За допомогою методу електроімпульсного дроблення виділено й вивчено мікроалмази з автілітової брекчії (яку вважали неалмазозною) трубки ім. В. Гриба в Архангельській алмазозній провінції. Без сумніву, запропоновану технологію можна використовувати як окремий завершений цикл дезінтеграції порід і руд, а також як ланку в технологічному ланцюзі апаратів.

Розроблено нові технології видобутку тонкого золота на підставі нанотехнологій [17 та ін.]. Зокрема, у праці [17] описано (на відміну від традиційного технологічного підходу) можливість створення поверхневого заряду в мінералах, які супроводжують золото в концентраті, що стало підґрунтям для розробки способу його термоелектричної сепарації. Під час експерименту з'ясували, що рівновагу на поверхні мінералу, зумовлену адсорбцією OH^- , H^+ , O^- , CO_3^{2-} , C^- , можна зрушити в той чи інший бік різними способами, у тім числі нагріванням, опроміненням тощо. Мас-спектроскопічними та нанометричними дослідженнями виявлено, що поверхня мінералів шліху (концентрату) у звичайних умовах покрита іонами OH^- . Унаслідок нагрівання вони видаляються з поверхні силікатів за 220 °С, а оксидів – за 400 °С [12]. Оскільки OH^- -групи мають негативний заряд, то з їхнім видаленням поверхня мінеральної частинки стає зарядженою позитивно. У цьому випадку на поверхні виникає некомпенсований заряд Q_s . У золота й алмазу за цієї температури значення заряду близьке до нуля. Вилучення частинок мінералу розміром 1–5 мкм дрібних і тонких класів концентрату в експериментах становило 99–100 %. Розроблено також технологічну схему гравітаційного збагачення золота класу –200+40 мкм [17]. Використано метод “ізометризації” пластинчастого золота (з утворенням валиків по краях золотин і формуванням тороїдальних частинок), що дало змогу підвищити його вилучення в концентрат на 25 %. Так само вдалося підвищити якість лейкоксенового концентрату з 50–52 до 80,82 % TiO_2 без зміни головних режимів і устаткування завдяки зміні магнітної сприйнятливості мінералу під час ультразвукового опромінення.

Сьогодні мікромінералогія виділень порядку 100,0–0,1 мкм є новим високоефективним напрямом у вивченні, оцінюванні й збагаченні тонкодисперсних руд (мінералого-геохімічних систем) благородних, рідкісних та інших металів, промислово цінність яких становлять елементи з низькою концентрацією (0,000n–0,0n %). Методологія мікромінералогічного підходу під час вивчення руд золото-срібних родовищ (на прикладі золоторудних родовищ вулканогенних областей Чаткало-Курамінського регіону Східного Узбекистану) дала змогу уточнити фізико-хімічні особливості їхнього утворення, елементи зональності, рівні ерозійного зрізу тощо прихованого золотого зруденіння й розробити технологію їхнього збагачення. За допомогою наномінералогічних досліджень виявили (Осташенко, Шумилова, 2003) закономірності формування мінералів і мінеральних фаз у нетрадиційних родовищах рідкісноземельно-рідкіснометалево-золотого типу (Чудне, Полярний Урал). Нові дані про особливості мінерального складу руд допомагають обрати найоптимальнішу методику для визначення в рудах реального вмісту благородних металів і на цій підставі розробляти раціональну технологію збагачення. Запропонована

технологія автоклавного кислотного розкладання слюдяного концентрату хоча й дорога, однак забезпечує стовідсоткове вилучення золота. Високий вміст золота (представленого мікро- і нанофазами) в рудах подібного типу, просторово пов'язаних зі слюдами, безсумнівно, потребує розробки спеціальних технологій їхнього збагачення. Завдяки експериментальним роботам в Інституті геології Республіки Комі розробили методику штучного облагороджування первинно безбарвного преніту з базальтів Північного Тиману (Назарова и др., 1988). Застосування цієї методики (опромінення й відпалювання) дало змогу підвищити вихід ювелірної сировини з 3–5 до 60 %, агату – до 70 %. Створено модель природного забарвлення преніту, за якою можна описувати все різноманіття колірної гами мінералу з різних родовищ і прогнозувати можливості облагороджування вихідної сировини.

Еволюція техногенних властивостей мінералів, пов'язана з просторово-часовими закономірностями розподілу мінералів, типів і сортів КК, простежується під час геолого-технологічного картування на підставі геолого-технологічної моделі родовища. За допомогою такої моделі, як засвідчили наші дослідження баделейт-апатит-магнетитових руд Ковдору [23, 24], можна керувати технологією процесу збагачення з урахуванням раціонального й комплексного використання КК. Модель будують на системі ретроспективного комплексного мінералогічного дослідження й експериментальних технологічних даних. За її основу взято такі принципи:

- усі мінерали – продукт єдиних взаємозалежних процесів, тому вивчати їх треба комплексно, з урахуванням головних мінеральних асоціацій;
- зміни у фізико-хімічному стані системи фіксують і вивчають на різних рівнях: родовище (зональність) – руда (рудне тіло) – мінерал (агрегат–індивід);
- просторовий розподіл парагенетичних асоціацій, контрольованих структурними чинниками;
- онтогенічний підхід до мінералого-технологічної оцінки руд, який дає змогу визначити послідовність виділення і характер взаємин мінералів, дослідити закономірності розвитку процесів мінералоутворення, а в остаточному підсумку оцінити ефективність розкриття мінералів під час збагачення і схарактеризувати контрастність їхніх технологічних властивостей;
- типоморфні мінералого-генетичні чинники, які визначають збагачуваність, є головними критеріями геолого-технологічного картування;
- під час рудопідготовки і збагачення природно-зумовлені технологічні властивості мінералів (руд) нерідко суттєво змінюються (не всі однаково), тому, проникаючи в суть закономірностей, які формують технологічні властивості руд і зв'язок їх з конституцією мінералів, дуже важливо надати конституції мінералів чіткий фізичний зміст.

Складний і багатостадійний генезис руд, а також суттєва зміна властивостей під час рудопідготовки і збагачення зумовили загалом різницю між мінералого-технологічними сортами трьох головних компонентів (магнетиту, апатиту, баделейту), що ускладнює їхнє усереднення, технологічне прогнозування й систему контролю за процесами рудопідготовки і збагачення. Впровадження ЕОМ (алгоритм геолого-технологічного моделювання родовища) забезпечує об'єднання геолого-технологічних планів у єдину модель із залученням додаткових характеристик руди: вмісту Fe, P₂O₅, S та ін. Геолого-технологічні плани по кожному з видів сировини в сукупності з допоміжною інформацією щодо руди становлять найважливіший інформа-

ційний модуль (базу даних), за яким ЕОМ буде образ цифрової моделі родовища. Інші модулі і блоки є допоміжними, “обслуговують” на підставі розрахункових показників.

Зокрема, *модуль прогнозування й керування технологічними процесами* забезпечує розрахунок співвідношення технологічних сортів руд з урахуванням промислово-важливих компонентів для усереднення руди в циклі кар’єр–усереднювальне сховище–усереднення на збагачувальній фабриці для досягнення раціонального режиму технологічного устаткування і стабілізації показників переробки. *Модуль контролю за процесами рудопідготовки і збагачення* дає змогу фіксувати й коригувати порушення технологічного процесу, зумовлені об’єктивними (зміна природних умов, спрацювання устаткування, перехід на нові реагенти тощо) та суб’єктивними (порушення технологічних режимів, недотримання напрямів видобувних робіт та ін.) чинниками. *Модуль розв’язування геологічних задач* забезпечує автоматизоване виконання рутинної роботи: підрахунок запасів, побудову погоризонтних геолого-маркшейдерських планів, ведення геологічної документації тощо. Вся цифрова розрахункова інформація проходить через блок оцінки її вірогідності, що дає змогу операторові оцінити її значимість і ввести необхідні корективи.

Сьогодні результати геолого-технологічного картування родовищ використовують для вирішення широкого кола завдань: раціоналізація роботи гірських, геологічних і технологічних служб гірничо-збагачувальних комбінатів у зв’язку з усередненням руд перед подачею на збагачувальну фабрику; оцінка сировинної бази комбінату (у тім числі комплексності); розробка автоматизованих систем керування виробництвом (АСКВ). На підставі АСКВ за допомогою геолого-технологічного картування можна проводити різні види оперативного й перспективного планування, контролювати роботу комбінатів. Це потребує постійного вдосконалювання системи геолого-технологічного картування.

-
1. Барский Л.А. Основы минералургии. Теория и технология разделения минералов. М., 1984.
 2. Гинзбург А.И., Кузьмин В.И., Сидоренко Г.А. Минералогические исследования в практике геологоразведочных работ. М., 1981.
 3. Григорьев Д.П. Позиции онтогенеза минералов // Зап. Всесоюз. минерал. об-ва. 1978. Ч. 107. Вып. 4. С. 407–415.
 4. Григорьев Д.П. Соотношение технологической минералогии с сопредельными отраслями знания // Онтогенез минералов и технологическая минералогия. Киев, 1988. С. 11–15.
 5. Григорьев Д.П. Рассуждения о минералогии. Сыктывкар, 1998.
 6. Григорьев Д.П., Жабин А.Г. Онтогенез минералов. М., 1975.
 7. Дементьева Г.И., Смирнов Ю.М. Изоморфные и полиморфные превращения минералов в техногенезе // Обогащение руд. 1988. № 3. С. 34–37.
 8. Дымкин А.М., Пермяков А.А. Онтогенез магнетита. Свердловск, 1984.
 9. Землянский В.Н. Развитие технологических основ комплексной утилизации Al-, Ti- и Fe силикатных горнопромышленных и техногенных отходов (на примере бокситовых и титановых руд Северо-Онежской и Тиманской минералогических провинций Восточно-Европейской платформы): Автореф. дисс. ... д-ра геол.-мин. наук. Ухта, 2005.

10. *Изоитко В.М.* Технологическая минералогия и оценка руд. СПб., 1997.
11. *Коровушкин В.В.* Кристаллохимия минералов железа и олова в решении задач прикладной минералогии (по данным мессбауэровской спектроскопии): Автореф. дисс. ... д-ра геол.-мин. наук. М., 2001.
12. *Котова О.Б.* Поверхностные процессы в тонкодисперсных минеральных системах. Екатеринбург, 2004.
13. *Лыгина Т.З.* Методические основы комплексной оценки состава и свойств неметаллических полезных ископаемых: Автореф. дисс. ... д-ра геол.-мин. наук. М., 2001.
14. *Мейер К.* Физико-химическая кристаллография. М., 1972.
15. Направленное изменение физико-химических свойств минералов в процессах обогащения полезных ископаемых. Плаксинские чтения. М., 2003.
16. *Ожогина Е.Г.* Технологическая минералогия труднообогатимых марганцевых руд России: Автореф. дисс. ... д-ра геол.-мин. наук. М., 2002.
17. *Остащенко Б.А.* Направленное изменение технологических свойств минералов: Автореф. дисс. ... д-ра геол.-мин. наук. Сыктывкар, 1998.
18. *Пирогов Б.И.* Роль минералогических исследований в обогащении руд // Минерал. журн. 1982. № 1. С. 81–92.
19. *Пирогов Б.И.* Онтогенетический метод в познании технологических свойств минералов // Проблемы онтогенеза минералов. Л., 1985. С. 22–30.
20. *Пирогов Б.И.* Теоретические основы технологической минералогии // Теория минералогии. Л., 1988. С. 127–134.
21. *Пирогов Б.И.* Позиції мінералогії у збагаченні корисних копалин // Мінерал. зб. 2002. № 52. Вип. 2. С. 24–31.
22. *Пирогов Б.И., Холошин И.В.* Инфракрасные спектры поглощения магнетита и их прикладное значение // Минерал. журн. 1989. № 2. С. 73–80.
23. *Пирогов Б.И., Холошин И.В.* Геолого-технологическое моделирование комплексных железорудных месторождений // Геолого-технологическое моделирование рудных месторождений. СПб., 1993. С. 83–95.
24. *Пирогов Б.И., Поротов Г.С., Холошин И.В., Тарасенко В.Н.* Технологическая минералогия железных руд. Л., 1988.
25. *Попов В.А.* О необходимости усиления минералогических исследований в технологии минерального сырья // Онтогенеза минералов и технологическая минералогия. Киев, 1988. С. 16–21.
26. *Ревнивцев В.И.* Роль технологической минералогии в обогащении полезных ископаемых // Зап. Всесоюз. минерал. об-ва. 1982. Вып. 4. С. 4–20.
27. *Ревнивцев В.И.* Рудоподготовка как новое направление горных наук // Основные направления развития техники и технологии обогащения полезных ископаемых. Л., 1983. С. 3–22.
28. *Руденко С.А., Иванов М.А., Романов В.А.* Метаморфизм минералов – важное явление в истории их формирования // Зап. Всесоюз. минерал. об-ва. 1978. № 6. С. 698–710.
29. *Турсебеков А.Х., Конев Р.И., Каширский С.А., Ахмедов А.М.* Дискретное состояние вещества в рудных и техногенных системах // Минералогическое общество и минералогическая наука на пороге XXI века. СПб., 1999. С. 174–175.
30. *Щипцов В.В.* Геолого-минералогические основы технологической оценки индустриальных минералов Карелии: Автореф. дисс. ... д-ра геол.-мин. наук.

- СПб., 2000.
31. Юргенсон Г.А. Проблемы минералогии геотехногенеза // Роль минералогических исследований в решении экологических проблем (теория, практика, перспективы развития). СПб., 2002. С. 200–203.
 32. Юсупов Т.С. О структурных изменениях минералов при тонком измельчении // Интенсификация подготовительных магнитных и гравитационных процессов обогащения. М., 1980. С. 27–28.
 33. Юшкин Н.П. Теория и методы минералогии. Л., 1977.
 34. Юшкин Н.П. Теоретические и методические основы расшифровки генетической информации, содержащейся в минералах // Новые идеи в генетической минералогии. Л., 1983. С. 38–47.
 35. Юшкин Н.П. Наноминералогия: объекты, функции, перспективы // Минералогическое общество и минералогическая наука на пороге XXI века. СПб., 1999. С. 20.
 36. Юшкин Н.П. Современная минералогия и новые тенденции ее развития // Новые идеи и концепции в минералогии. Сыктывкар, 2002. С. 8–9.
 37. Юшкин Н.П., Хомяков А.П., Евзикова Н.З. Принцип наследования в минералогенезисе. Сыктывкар, 1984. Препринт. Вып. 93.

METHODOLOGY OF TECHNOLOGICAL MINERALOGY AND NATURE OF MINERALS' TECHNOLOGICAL PROPERTIES

B. Pyrogov

*Russian State Geological-Prospecting University
Miklukho-Maklaj St. 23, RU – 117873 Moscow, Russia
E-mail: pirogov_bi@inbox.ru*

Technological properties of minerals are formed in common geological-technogene system. Mineral's "life", which was begun in geological processes, proceeds in technological instruments, but in time and space it proceeds much more quickly than in nature. It reflects the double nature of mineral properties, the information about which has been formed at various levels of mineralogical "memory" – morphological, structural etc. Integration of mineralogical methods with enrichment of minerals allows to estimate the system of minerals technological properties nature and to learn operate them during ore-preparation and separations of the crushed products in the technological circuit.

Key words: technological mineralogy, technological properties of minerals, mineralogical "memory", geological-technogene system, technological circuit.

Стаття надійшла до редколегії 20.08.2007

Прийнята до друку 19.11.2007