

КОРИСНІ КОПАЛИНИ І ПРОДУКТИ ЗБАГАЧЕННЯ

ПОХОДЖЕННЯ КОРИСНИХ КОПАЛИН

Корисними копалинами називаються видобуті з надр природні речовини, що при даному стані техніки можуть бути з достатньою ефективністю використані в природному вигляді або після попередньої обробки.

Корисні копалини бувають твердими (руди, нерудні і горючі корисні копалини), рідкими (нафта, мінеральні води) і газоподібними (природні газу).

Корисні копалини звичайно залягають в гірських породах, що являють собою природні агрегати однорідних або різних мінералів, що утворилися за певних геологічних умов у земній корі чи на земній поверхні.

За походженням розрізняють *магматичні, осадові та метаморфічні* гірські породи.

Магматичні гірські породи – це мінеральні асоціації, що утворилися внаслідок кристалізації та (або) затвердіння магми, як на глибині, в середині земної кори, так і на поверхні після виверження. Концентрація цінних мінералів у магмі, що вихолоняє, зумовлена різними причинами:

– магма при охолодженні може розпадатися на дві рідини, що не змішуються (процес ліквідації, який приводить до виникнення ліквідаційних родовищ), прикладом є сульфідні мідно-нікелеві руди;

– цінні мінерали при розкристалізації можуть виділитися раніше від інших, зосередитися на дні магматичного резервуара і сформувати поклади ранньомагматичних родовищ (аккумулятивних або сегрегаційних). До них належать деякі родовища руд хрому, титану і заліза. Оригінальними ранньомагматичними утвореннями є трубки кімберлітів Сибіру і Південної Африки, що складаються із застиглої магми ультраосновного складу (кімберліт), що містить кристали алмазів, які виділилися на ранній стадії її охолодження;

– у магмі, багатій на газ, при її розкристалізації речовина корисної копалини може сконцентруватися в легкоплавкому залишковому розплаві і при подальшому

твердінні утворити пізньомагматичні родовища. Серед них відомі родовища титаномagnetитового типу – гори Качканар на Уралі, хромітів південного Уралу, апатитів Кольського півострова, танталу, нію бію і рідкісноземельних елементів;

– значно рідше родовища виникають у вигляді потоків, що виливаються з жерла вулканів, як напр., потоки сірки вулканів Італії і Японії.

Серед магматичних родовищ найбільш значні родовища руд заліза, титану, ванадію, хрому, платиноїдів, міді, нікелю, кобальту, апатиту, алма зів, ніобію, цирконію і гафнію. Магматичні гірські породи можуть використовуватись як будівельні (туфи, лабрадорити і ін.), абразивні (пемза) і теплоізоляційні (пемза, перліт) матеріали.

Осадові гірські породи утворилися на поверхні літосфери внаслідок вивітрювання та перевідкладення більш давніх порід різного походження, випадіння речовин з розчинів, нагромадження решток рослинних і тваринних організмів та продуктів їх життєдіяльності, вулканічного матеріалу та матеріалу, що надходить з космосу. Пороодоутворення осадових гірських порід включає таку послідовність основних процесів: *седиментація* або *седиментогенез* (накопичення осадів) → *діагенез* (перетворення осадів у гірські породи) → *катагенез* (зміни осадових порід на глибині поза зоною діагенезу) → *метагенез* (більш глибокі зміни речовини осадових порід на глибині та під дією високих температур) → *гіпергенез* (зміни порід під впливом вивітрювання в приповерхневій зоні земної кори). За характером осадонакопичення осадові родовища поділяють на 4 класи:

– *механічні осадові родовища* представлені уламковими фракціями оса дів, що використовуються в основному як будівельні матеріали (родовища гравію, піску і глини), а також річкові, прибережно-морські і океанічні розсипи золота, платини, алмазів, мінералів олова, титану, вольфраму та ін.;

– *хімічні осадові родовища* включають родовища солей, гіпсу, ангід риту, боратів, бариту, руд заліза, марганцю, алюмінію (бокситів), а також деяких кольорових і рідкісних металів (мідь, молібден, ванадій, уран), що виникли зі справжніх колоїдних розчинів на дні водойм;

– *біохімічні осадові родовища* включають родовища горючих газів, нафти,

вугілля, фосфоритів, карбонатних і кременистих порід; вони оса джувалися з розчинів при хімічних процесах внаслідок життєдіяльності організмів у водах і на дні водойм;

– *вулканогенні осадові родовища* виникли з осадів продуктів підводно го і прибережного вулканізму; до них належать колчеданні родовища ко льорових металів, оксидні родовища руд заліза і марганцю, а також яшм і кварцитів.

Біля 70 % всіх корисних копалин представлені осадовими гірськими породами.

Метаморфічні гірські породи утворилися внаслідок суттєвої зміни текстури, структури і мінералогічного складу магматичних і осадових по рід під дією температури, тиску і хімічних глибинних процесів. Метамор фізм звичайно відбувається при зміні температури в діапазоні 1100 – 300°C і тискові в діапазоні 1 – 6000 атм. Так напр., при тривалій дії великого тис ку і високої температури утворюються різні метаморфічні сланці – хлори тові, глинисті та ін.; при зіткненнях з розплавленою масою магматичних порід вапняки перетворюються у мрамур. Метаморфічні гірські породи ха рактеризуються зернистою будовою, здебільшого сланцюватою текстурою. З метаморфізмом пов'язані родовища мрамuru, корунду, сланців, андалу зиту, кіаніту, силіманіту, аргілітів та ін.

За іншою класифікацією виділяють *ендогенні* та *екзогенні* корисні копалини.

Ендогенні корисні копалини – речовини, які утворилися в надрах Зем лі внаслідок кристалізації, затвердіння магми та діяльності магматичних розчинів. До них належать:

магматичні – мінеральні асоціації, що утворилися внаслідок кристалізації та (або) затвердіння магми як на глибині, всередині земної кори, так і на поверхні після виверження; у залежності від цього виділяють два головних класи магматичних корисних копалин – інтрузивні (глибинні) та ефузивні (виливні);

пегматитові – крупнокристалічні мінеральні комплекси, що утво рилися внаслідок кристалізації залишкового магматичного розплаву і які залягають у вигляді лінз, жил, штоків та гнізд;

карбонатитові – карбонатні або силікатно-карбонатні гірські породи; представлені жилами та масами неправильної форми з кальциту, доломіту і інш.

карбонатів, що містять рудні мінерали, просторово і генетично асоційовані з глибинними (інтрузивними) утвореннями;

гідротермальні – речовини, які утворюються з гарячих водних (гідротермальних) розчинів, які циркулюють у надрах Землі.

Екзогенні корисні копалини – речовини, які утворилися на поверхні Землі або у верхній частині земної кори під впливом процесів вивітрювання – фізичного, хімічного, біогенного руйнування, напр., при дії потоків води й живих організмів.

Екзогенні корисні копалини утворюються, зокрема, на дні боліт, озер, рік, морів і океанів. Вони формуються в результаті механічного і біохімічного перетворення та диференціації мінеральних речовин ендегенного походження. Розрізняють чотири генетичні групи цих копалин: залишкові, інфільтраційні, розсипні і осадові.

Залишкові формуються внаслідок винесення розчинних мінеральних сполук із зони вивітрювання і накопичення важкорозчинного мінерального залишку, що утворює руди заліза, нікелю, марганцю, алюмінію.

Інфільтраційні виникають при осадженні з підземних вод поверх невогню походження розчинених в них мінеральних речовин з утворенням покладів руд урану, міді, срібла, золота, самородної сірки.

Розсипні утворюються при накопиченні в пухких відкладах на дні рік і морського узбережжя важких цінних мінералів, до числа яких належать золото, платина, мінерали титану, вольфраму, олова.

Осадові утворюються в процесі осадонакопичення на дні морів і континентальних водоймищ, що формує поклади вугілля, горючих сланців, нафти, горючого газу, солей, фосфоритів, руд заліза, марганцю, бокситів, урану, міді, а також будівельних матеріалів (гравій, пісок, глина, вапняк, цементна сировина).

КЛАСИФІКАЦІЯ КОРИСНИХ КОПАЛИН

Залежно від характеру і призначення цінних компонентів корисні копалини підрозділяють на *рудні, нерудні і горючі*.

Руди поділяють на *металічні* і *неметалічні*. До металічних відносять руди, що є сировиною для одержання чорних, кольорових, рідкісних, дорогоцінних і інших металів (залізни, мідні, уранові і ін.). До неметалічних відносять руди, що є сировиною для металургійної, хімічної і харчової промисловості (азбестові, графітові, фосфоритові і ін.).

До *нерудних корисних копалин* належить сировина для виробництва будівельних матеріалів (глина, пісок, гравій, вапняк і ін.).

Горючі корисні копалини представлені вугіллям, торфом, нафтою і природним газом.

За умовами залягання виділяють *пластові, жильні* та ін. корисні копалини.

За фізичним станом є *тверді, рідкі й газоподібні* корисні копалини. Крім того, розрізняють копалини *органічного* і *неорганічного* походження.

До корисних копалин *органічного* походження належать речовини всіх трьох агрегатних станів: газоподібні (природний газ), рідкі (нафта) і тверді (кам'яне вугілля, сланці, торф). До *неорганічних* належать тверді копалини трьох видів: нерудна мінеральна сировина, що містить неметалічні породи (азбест, графіт, граніт, гіпс, вапняк, кам'яна сіль, кварц, мармур, сірка, слюда тощо); агрономічні руди (апатитові, фосфоритові); руди чорних, кольорових, благородних і рідкісних металів.

За своїм значенням корисні копалини поділяють на *загальнодержавного* і *місцевого значення*. В Україні віднесення корисних копалин до загальнодержавного та місцевого значення здійснюється Кабінетом Міністрів України за поданням Державного комітету України з геології і використання надр.

НЕОБХІДНІСТЬ ЗБАГАЧЕННЯ КОРИСНИХ КОПАЛИН

Видобута з надр Землі гірнича маса являє собою суміш грудок окремих мінералів, мінеральних комплексів, зростків різноманітних розмірів і форми зерен, які мають різні фізичні, фізико-хімічні і хімічні властивості. Ефективність використання корисної копалини залежить головним чином від вмісту в ній корисного компонента і наявності шкідливих домішок. Корисні копалини, що добуваються, тільки в тих випадках піддаються безпосередній переробці металургійними, хімічними та іншими методами, коли їхня якість відповідає вимогам, пропонованим до даної сировини. Але такі корисні копалини в природі зустрічаються рідко. Вміст корисних компонентів у сировині, що добувається, може складати від часток відсотка (мідь, нікель, кобальт і ін.) до декількох відсотків (свинець, цинк і ін.) і декількох десятків відсотків (залізо, марганець, вугілля і ін.). Безпосередня переробка бідних за вмістом корисних копалин технічно і економічно недоцільна. Тому в більшості випадків корисні копалини піддають спеціальній переробці з метою їхнього збагачення.

Збагачення корисних копалин – це сукупність процесів первинної переробки мінеральної сировини з метою підвищення концентрації корисних компонентів шляхом їх відокремлення від порожньої породи і шкідливих домішок, що не являють собою практичної цінності в даних техніко-економічних умовах.

Збагачення корисних копалин дозволяє:

- збільшити промислові запаси сировини за рахунок використання родовищ бідних корисних копалин з низьким вмістом цінних компонентів;
- підвищити продуктивність праці на гірничих підприємствах і знизити вартість руди, що добувається, за рахунок механізації гірничих робіт і суцільної виїмки корисної копалини замість вибіркової;
- підвищити техніко-економічні показники металургійних і хімічних підприємств при переробці збагаченої сировини за рахунок

зниження витрати палива, електроенергії, флюсів, хімічних реактивів, поліпшення якості готових продуктів і зниження втрат корисних компонентів з відходами;

- здійснити комплексне використання корисних копалин, тому що попереднє збагачення дозволяє вилучити з нього не тільки основні корисні компоненти, але і супутні, що містяться в малих кількостях;
- знизити витрати на транспортування до споживачів більш багатих продуктів, а не всього об'єму добутої корисної копалини;
- виділити з мінеральної сировини шкідливі домішки, що при подальшій його переробці можуть погіршувати якість кінцевої продукції, забруднювати навколишнє середовище і загрожувати здоров'ю людей.

Якість корисних копалин і продуктів збагачення визначається вмістом цінного компонента, домішок, супутніх елементів, а також вологістю і крупністю.

Цінним (корисним) компонентом називають хімічний елемент або природне з'єднання, для одержання якого добувається корисна копалина (напр., Fe у залізних рудах, Cu у мідних рудах).

Домішками називають хімічні елементи або природні з'єднання, що містяться в корисній копалині у невеликих кількостях. Домішки можуть бути корисними і шкідливими; корисні поліпшують якість цінного компонента, а шкідливі – погіршують (напр., V, W, Mn, Cr – корисні домішки в залізних рудах, а S, P – шкідливі).

Супутніми називають цінні елементи, що містяться в корисній копалині у невеликих кількостях, і їхнє вилучення економічно доцільно тільки тому, що вони добуваються з надр попутно з основним компонентом (напр., благородні метали в поліметалічних рудах). Супутні елементи при збагаченні виділяють або в самостійний продукт, або в колективний продукт з основним цінним компонентом. З колективного продукту супутні елементи вилучають у процесі металургійної або хімічної переробки.

Мінерали, що не містять цінних компонентів, називають *порожньою*

породою. При збагаченні вони разом зі шкідливими домішками направляються у відходи і віддаляються у відвал.

У результаті збагачення корисна копалина розділяється на кілька продуктів: концентрат (один або декілька) і відходи. Крім того, у процесі збагачення можуть бути отримані проміжні продукти.

Концентрати – продукти, у яких зосереджена основна кількість цінного компонента. Концентрати в порівнянні зі збагачуваним матеріалом характеризуються значно більш високим вмістом корисних компонентів і більш низьким вмістом порожньої породи і шкідливих домішок.

Відходи – продукти, у яких зосереджена основна кількість порожньої породи, шкідливих домішок і невелика (залишкова) кількість корисних компонентів.

Проміжні продукти (промпродукти) – це механічна суміш зростків з розкритими зернами корисних компонентів і порожньої породи. Промпродукти характеризуються більш низьким у порівнянні з концентратами і більш високим у порівнянні з відходами вмістом корисних компонентів.

Переробка корисних копалин здійснюється на збагачувальних фабриках, що являють собою потужні висококомеханізовані підприємства зі складними технологічними процесами.

Збагачення корисних копалин уможливорює подальшу ефективну металургійну, хімічну та іншу їх переробку.

ТЕХНОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ ЗБАГАЧЕННЯ

Результати збагачення корисної копалини характеризуються якісно-кількісними показниками, основні з них такі: вихід продукту, вміст компонента, вилучення, ступінь скорочення, ступінь концентрації.

Вихід продукту – показник, що характеризує, яку частину маси корисної копалини, що переробляється, складає той чи інший продукт збагачення. Вихід продукту збагачення виражають у відсотках, рідше в частках одиниці:

$$\gamma = 100Q_{np} / Q_{вих}, \% \quad (1.1)$$

де $Q_{пр}$ і $Q_{вих}$ маси продукту і вихідного матеріалу.

Сумарний вихід усіх продуктів збагачення повинний відповідати виходу вихідної збагачуваної корисної копалини, що приймається за 100 %. Якщо при збагаченні одержують два кінцевих продукти – концентрат з виходом γ_k і відходи з виходом $\gamma_{відх}$, то ця умова записується таким рівнянням, що виражає баланс виходів продуктів збагачення:

$$\gamma_k + \gamma_{відх} = 100\% . \quad (1.2)$$

Вміст компоненту – показник, що характеризує частку компонента в корисній копалині або продукті збагачення. Вміст компонентів у корисній копалині α і у продуктах збагачення β виражають у відсотках, іноді в частках одиниці. Вміст дорогоцінних металів у рудах і продуктах збагачення виражають звичайно в г/т.

Сумарна кількість будь-якого компонента, що міститься в кінцевих продуктах збагачення, повинна відповідати кількості цього компонента у вихідній корисній копалині. Якщо при збагаченні отримані два кінцевих продукти – концентрат і відходи, то ця умова запишеться рівністю:

$$\gamma_k \beta_k + \gamma_{відх} \beta_{відх} = 100\alpha . \quad (1.3)$$

Рівності (1.2) і (1.3) називаються рівняннями балансу продуктів збагачення.

Вилучення ε – показник, що оцінює частину корисного компонента, що міститься в збагачуваній корисній копалині, яка перейшла в продукт збагачення. Вилучення виражається у відсотках, рідше в частках одиниці, і обчислюється як відношення маси компонента в i -тім продукті до його маси в збагачуваній корисній копалині:

$$\varepsilon_i = \gamma_i \beta_i / \alpha , \quad (1.4)$$

Сумарне вилучення даного компонента в усі кінцеві продукти збагачення складає 100 %.

Ступінь скорочення k_c – величина, що показує у скільки разів вихід отриманого концентрату γ_k менше кількості переробленої корисної копалини:

$$k_c = 100 / \gamma_k . \quad (1.5)$$

Ступінь скорочення показує, яку кількість тонн корисної копалини необхідно переробити для одержання 1 т концентрату.

Ступінь концентрації (ступінь збагачення) k_k величина, що показує у скільки разів збільшився вміст компонента в концентраті в порівнянні з його вмістом у збагачуваній корисній копалині:

$$k_k = \beta_k / \alpha . \quad (1.6)$$

Якісно-кількісні показники збагачення характеризують технічну досконалість технологічного процесу фабрики. Чим вище вміст цінного компонента в концентраті і його вилучення, чим більше показники ступеня збагачення і ступеня скорочення, тим вище ефективність збагачення корисної копалини.

Якість продуктів збагачення в окремих випадках характеризують не тільки вмістом цінних компонентів і наявністю шкідливих домішок, але і вмістом зерен різного розміру – *гранулометричним складом*. Якість кінцевих продуктів збагачення, одержуваних на збагачувальних фабриках, повинна відповідати вимогам, пропонованим до них споживачами продукції. Вимоги до якості концентратів називаються *кондиціями* і регламентуються державними стандартами (ДСТУ) або технічними умовами (ТУ), вони розробляються з урахуванням технології і економіки переробки даної сировини і її властивостей, а також з урахуванням реальних можливостей технології збагачення. Кондиціями встановлюються середній і мінімально або максимально припустимий вміст різних компонентів корисної копалини в кінцевих продуктах збагачення. Якщо якість продуктів відповідає кондиціям, продукти називаються кондиційними.

КЛАСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ЗБАГАЧЕННЯ

Переробка корисних копалин на збагачувальних фабриках включає ряд послідовних операцій, у результаті яких досягається відокремлення корисних компонентів від домішок. За призначенням процеси переробки корисних копалин підрозділяють на підготовчі, основні (збагачувальні) і заключні (допоміжні).

Підготовчі процеси призначені для роз'єднання мінералів, що входять до складу корисної копалини, і розділення її на класи крупності, що задовольняють наступним процесам збагачення.

До підготовчих відносять процеси дроблення, подрібнення, грохочення і класифікації.

Дроблення і подрібнення – процеси зменшення розмірів грудок корисних копалин під дією зовнішніх сил, що переборюють внутрішні сили зчеплення між частинками твердої речовини.

Дроблення і подрібнення не мають між собою принципових відмінностей. Умовно прийнято вважати, що при дробленні одержують продукти крупніше 5 мм, а при подрібненні – дрібніше 5 мм. Розмір максимальних зерен, до якого необхідно роздробити або подрібнити корисну копалину при її підготовці до збагачення, залежить від розміру включень основних компонентів, що входять до складу корисної копалини, і від технічних можливостей обладнання, на якому передбачена наступна переробка дробленого (подрібненого) продукту.

Грохочення і класифікація застосовуються з метою розділення корисної копалини на продукти різної крупності – класи.

Грохочення здійснюється розсівом корисної копалини на решетах і ситах з каліброваними отворами на дрібний (*підрешітний*) продукт і крупний (*надрешітний*). Грохочення застосовується для розділення корисних копалин по крупності на поверхнях, що просівають, з розмірами отворів від часток міліметра до декількох сотень міліметрів.

Класифікація здійснюється у водному або повітряному середовищі і базується на використанні відмінності у швидкостях осадження частинок різної крупності. Великі частинки осаджуються швидше і концентруються в нижній частині класифікатора, дрібні частинки осаджуються повільніше і виносяться з апарата водним або повітряним потоком. Одержувані при класифікації крупні продукти називаються *пісками*, а дрібні – *зливом* (при гідравлічній класифікації) або *тонким продуктом* (при пневмокласифікації). Класифікація застосовується для розділення дрібних і тонких продуктів по зерну розміром не більше 1 мм.

Основні (збагачувальні) процеси призначені для розділення вільних мінеральних зерен на відповідні продукти. У результаті основних процесів корисні компоненти виділяють у вигляді концентратів, а породні мінерали видаляють у

відвал у вигляді відходів. У процесах збагачення використовують відмінності мінералів по густині, магнітній сприйнятливості, змочуваності, електропровідності, крупності, формі зерен і ін.

Відмінності в густині мінеральних зерен використовуються при збагаченні корисних копалин *гравітаційним методом*, який застосовують при збагаченні вугілля, руд і нерудної сировини.

На *розходженнях магнітної сприйнятливості компонентів* заснований *магнітний метод* збагачення, застосовуваний для збагачення руд чорних металів, титанових, вольфрамітових руд, для виділення залізистих домішок із графітових, талькових і інших корисних копалин, для регенерації магнетитових суспензій.

Відмінності в змочуваності компонентів водою використовуються при збагаченні корисних копалин *флотаційним методом*. Особливістю флотаційного методу є можливість штучного регулювання змочуваності і розділення дуже тонких мінеральних зерен. Завдяки цим особливостям флотаційний метод є одним з найбільш універсальних, він застосовується для збагачення різноманітних тонковкраплених корисних копалин.

Корисні копалини, компоненти яких мають *відмінності по електропровідності* або мають здатність під дією тих чи інших факторів здобувати різні по величині і знаку електричні заряди, можуть збагачуватися *методом електричної сепарації*. До таких корисних копалин належать апатитові, вольфрамкові, олов'яні і інші руди.

Збагачення по крупності використовується в тих випадках, коли корисні компоненти представлені більш крупними або, навпаки, більш дрібними зернами в порівнянні з зернами порожньої породи. У розсипах корисні компоненти знаходяться у вигляді дрібних частинок, тому відділення крупних класів дозволяє позбутися від значної частини породних домішок.

Відмінності у формі зерен і коефіцієнті тертя дозволяє відокремити плоскі лускаті частинки слюди або волокнисті агрегати азбесту від частинок породи, що мають округлу форму. При русі по похилій площині плоскі і волокнисті частинки сковзають, а округлі зерна скачуються вниз. Коефіцієнт тертя катання завжди менше коефіцієнта тертя ковзання, тому плоскі і округлі частинки сходять з похилої

площини з різною швидкістю і по різних траєкторіях, що створює умови для їхнього розділення.

Відмінності в оптичних властивостях компонентів використовуються при збагаченні корисних копалин *методом фотометричної сепарації*. Цим методом здійснюється механічна рудорозбірка зерен, які мають різний колір і блиск (напр., зерен алмазів від зерен порожньої породи).

Застосування того чи іншого методу збагачення залежить від мінерального складу корисних копалин і фізичних властивостей розділюваних компонентів.

Заключні операції в схемах переробки корисних копалин призначені для зневоднення продуктів збагачення з метою зниження їхньої вологості до кондиційної, а також для регенерації оборотних вод збагачувальної фабрики.

Вибір метода зневоднення залежить від характеристики матеріалу, що зневоднюється (початкової вологості, гранулометричного і мінералогічного складів) і вимог до кінцевої вологості. Часто необхідної кінцевої вологості важко досягти в одну стадію, тому на практиці для деяких продуктів збагачення використовують операції зневоднення різними методами в декілька стадій.

Для зневоднення продуктів збагачення використовують *методи дренажування* (грохоти, елеватори), *центрифугування* (фільтруючі і відсаджувальні центрифуги), *згущення* (згущувачі, гідроциклони), *фільтрування* (вакуум-фільтри, фільтр-преси) і *термічної сушки*.

Крім технологічних процесів для нормального функціонування збагачувальної фабрики повинні бути передбачені *процеси виробничого обслуговування*: внутрішньоцеховий транспорт корисної копалини і продуктів її переробки, постачання фабрики водою і електроенергією, технологічний контроль якості сировини і продуктів переробки.