

## ГІДРОГЕОЛОГІЯ, ІНЖЕНЕРНА ТА ЕКОЛОГІЧНА ГЕОЛОГІЯ

УДК 504.062; 504.054

О. Пономаренко, член-кор. НАН України,  
О. Юшин, канд. геол.-мінерал. наук,  
О. Грінченко, канд. геол.-мінерал. наук, доц.

### МОЖЛИВИЙ ПОТЕНЦІАЛ ПОВТОРНОГО ВИКОРИСТАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ВІДХОДІВ ГІРНИЧОВИДОБУВНОЇ ГАЛУЗІ УКРАЇНИ

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол.-мінерал. наук, проф. М.М. Коржневим)

*У статті наведено інформацію про основні типи промислових відходів та їх можливу класифікацію. Подана оцінка перспектив повторного використання промислових відходів гірничовидобувних підприємств*

*The articles discusses information about the basic types of industrial wastes and their possible classification. The estimation of prospects of repeated usage of industrial wastes of the mining enterprises is presented*

**Вступ та постановка проблеми.** В індустріально розвинутих країнах світу питанню утилізації промислових відходів приділяється значна увага, внаслідок чого рівень їх повторної переробки перевищує 65 % (в США з промвідходів видобувають більше ніж 20 % від загального виробництва алюмінію, 33 % заліза, 50 % свинцю і цинку, 44 % міді). В Україні ще за часів СРСР щорічно продукувалось до 1,7 млрд т. промислових відходів і станом на 2001 р. їх було нагромаджено не менше 25 млрд т. Проте рівень вторинної переробки промвідходів в Україні був і залишається досить низьким – по окре-

мих регіонах складає від 5 до 20 % (в середньому 8–10 %). Таким чином, проблема зниження все зростаючого екологічного навантаження на навколишнє середовище обумовленого величезною кількістю різноманітних промислових відходів, що щорічно виробляються підприємствами України не є новою [1, 11, 12].

#### **Виклад основного матеріалу.**

##### **1. Основні типи складованих промислових відходів.**

Відомо, що в абсолютній більшості складовані промислові відходи, в залежності від їх речовинного складу здійснюють як безпосередній, так і опосередкований

вплив на довкілля. Особливу увагу багатьох дослідників привертає не тільки можливість повторної переробки металоносних відвалів і хвостів збагачення з вилученням залишкових кількостей головних рудних компонентів, але часто підкреслюється особливе значення домішок цінних супутніх рудних компонентів в складі матеріалу. Проте оцінки можливостей повторного використання промислових відходів гірничовидобувних підприємств повинна базуватись на врахуванні двох головних аспектів – екологічного та технологічно-економічного.

В першому, екологічному аспекті необхідно зважати на присутність в деяких випадках в складі матеріалу відвалів і шламів таких екологічно небезпечних домішок як ртуть, свинець, арсен, радіоактивні елементи та інш. Так, наприклад, близькі за масштабами масиви відходів збагачення вугілля, руд заліза, марганцю і ртуті не тільки покривають і знищують тисячі гектарів культурних земель, але й зумовлюють різний вплив на біологічні об'єкти довкілля високими концентраціями залізного і марганцевистого пилу в повітрі, продуктами окислення сульфідів, парами ртуті тощо. В хвостах збагачення каоліну деяких родовищ інколи фіксується підвищена радіоактивність, яка зумовлена значною концентрацією монациту. В золах вугілля (переважно бурого) підвищені концентрації урану є швидше правилом ніж випадковістю. А розробка родовищ Криворіжжя (в одних випадках залізорудних, в інших уранових) зумовлює формування значної кількості відходів, які при їх загальній матричній подібності суттєво розрізняються за характером їх впливу на навколишнє середовище [13, 14, 18]. Так наприклад, у 1993 р. в Москві було демонтовано вже збудований дитячий об'єкт – в зв'язку з підвищеним радіаційним фоном бетону, який був вироблений з щебеню з використанням матеріалу відвалів розкривних порід Криворіжжя.

В другому, економічному аспекті особливу увагу більшості дослідників привертають дані щодо високих вмістів в деяких промислових відходах цінних рудних компонентів. Зважаючи на те, що основна кількість (по масі) промислових відходів нагромаджується гірничовидобувними та гірничозбагачувальними підприємст-

вами, в рамках даної статті переважно розглядаються особливості металоносності промислових відходів саме цих типів. Саме такі типи відходів продукуються у значних кількостях кар'єрами, шахтами і гірничозбагачувальними комбінатами (ГЗК).

За результатами наших досліджень окремі типи промислових відходів можна об'єднати в чотири основні групи, що контрастно розрізняються за масштабами їх накопичення, рівнем небезпеки і концентраціями цінних компонентів. (табл. 1).

До першої групи можна віднести майже виключно усі масиви відвалів розкривних порід осадового чохла і хвостів збагачення більшості розсипних цирконієвих родовищ (піски, глини, суглинки тощо). До другої групи були віднесені шлами вуглезбагачення та шлами збагачення залізних руд. Третя група найбільш різноманітна за переліком типів промислових відходів, які об'єднує така характерна ознака, як підвищений вміст рухливих токсичних сполук – свинцю, цинку, кадмію, парів ртуті, оксидів сірки і арсену. До четвертої (за рівнем токсичності) групи віднесено специфічні відходи з підвищеними вмістами радіоактивних елементів або ртуті – хвостів і шламів збагачення уранових руд і руд ртуті, хвостів збагачення каоліну окремих родовищ, а також золи спалювання бурого вугілля. До четвертої групи можуть бути також віднесені високорадіоактивні технологічні відходи та відпрацьоване ядерне паливо атомних електростанцій, проте надзвичайно високий рівень їх радіоактивності та особливі умови збереження і переробки виключають можливість їх розгляду в рамках даної статті [22, 23].

Варто підкреслити, що промвідходи рудників і ГЗК відрізняються від самих руд, які є головним об'єктом видобутку і збагачення, перш за все тим що промвідходи в певному сенсі можуть розглядатися як вже видобута і попередньо підготовлена руда. Тобто їх використання вже не потребує попереднього проведення значних за об'ємами геологорозвідувальних та гірничовидобувних робіт. Цей факт, безумовно є важливим економічним фактором що суттєво впливає на собівартість використання промвідходів як можливої сировини.

Таблиця 1

Чотири основні групи промислових відходів

| Група | Типи промислових відходів  | Головні токсичні компоненти                                 | Переважає вплив на довкілля                        |
|-------|--|---|--|
| I     | Відвали розкривних порід осадового чохла, хвостів збагачення розсипів ільменіту  | Практично відсутні  | Механічне забруднення ґрунтів, гідросфери, повітря |
| II    | Відвали і шлами видобутку і збагачення руд заліза  | Пил гідроксидів Fe, сполуки S, зрідка радіоактивні елементи |  |
| III   | a) Відвали і шлами збагачення руд марганцю, продукти вуглезбагачення   | Сполуки S, As, інколи Hg,                                   | Хімічний та механічний                             |
|       | b) Шлами збагачення руд алюмінію (бокситів)  | Солі важких металів   |  |
|       | c) Шлами і шлаки виробництва кольорових металів, гальванічних та електротехнічних виробництв, золи бурого вугілля і нафтопереробки | Мідь, цинк, свинець, кадмій, нікель, хром, ртуть тощо       |  |
| IV    | a) Відходи збагачення руд ртуті  | Ртуть, свинець, кадмій                                      | Радіаційний та механічний                          |
|       | b) Відходи збагачення урану, хвостів збагачення каоліну та золи бурого вугілля окремих родовищ                                     | Радіоактивні елементи                                       |  |

В деяких випадках у відходах ГЗК можуть фіксуватися підвищені вмісти окремих цінних супутніх компонентів. Проте економічна доцільність їх вилучення при процесах повторної переробки повинна визначатись окремо в кожному випадку (за умови, що вартість вилучення цих супутніх компонентів не повинна перевищувати їх ринкової вартості):

$$P_{\text{мет}} = P_{\text{зк}} + P_{\text{техн}},$$

де  $P_{\text{мет}}$  – вартість вилучених металів;  $P_{\text{техн}}$  – затрати на технологічні процеси повторної переробки;  $P_{\text{зк}}$  – розміри фінансування, яке суспільство (держава) здатне вкладати в ліквідацію промвідходів.

Тому навряд чи припустимо розглядати на цій основі в якості рудних субкларкові концентрації металів. До

того ж необхідно дотримуватись умов коли сама переробка промвідходів не буде супроводжуватись утворенням нових типів вторинних відходів з класом небезпечності 4 групи і вище.

### *2. Цінні компоненти в складі матеріалу відходів збагачення ГЗК та відвалів.*

Оцінка перспектив повторного використання промислових відходів гірничовидобувних підприємств повинна базуватись на врахуванні головним чином технологіко-економічного аспекту, а саме можливості рентабельного вилучення корисних компонентів.

За даними деяких дослідників [4, 5, 16] у відходах ГЗК Кривбасу і Приазов'я окрім промислово цінних руд заліза вміст супутніх інших корисних компонентів може досягати (г/т): Cu та Ni – до 200; Zn – 300; V – до 600. Одночасно з тим, в хвостах збагачення Криворізьких ГЗК (2,6 млрд м<sup>3</sup>) відмічається суттєво підвищені вмісти таких елементів як Bi, Sr, Ti, Ge, Sc, Y, U, Au, Ag. Відвали ж розкривних порід Криворізького (біля 3,8 млрд т.) містять суттєві кількості Fe, Bi, Sr, Ni, Al, Ti, Au, Ag., а відвали металургійних шлаків Криворізького металургійного комбінату (понад 30 млн м<sup>3</sup>/рік) характеризуються підвищеними вмістами Ti, Au, Ag. [19, 20].

Дійсно, в окремих випадках відходи гірничовидобувних підприємств України вміщують підвищені концентрації ряду цінних компонентів, вилучення яких може забезпечити економічно доцільну переробку промвідходів, за умови що вартість їх вилучення не повинна перевищувати вартість отриманих металів. В той же час рівень вивченості супутньої металоносності техногенних відходів в Україні оцінюється як надзвичайно низький [2, 17], а технології їх повторної переробки, які пропонувалися раніше базуються на традиційних, але деякою мірою застарілих методиках вилучення корисних компонентів.

### *3. Промвідходи ГЗК, перспективні для повторної переробки.*

Відомо, що на гірничо-збагачувальних комбінатах (ГЗК) утворюються два види відходів – розкривні породи та відходи збагачення. Розкривні породи вивозяться за межі кар'єрів та шахт і складаються у відвали.

Відвали розкривних порід є, по суті, звичайними гірськими породами, з якими як правило, не пов'язані значні концентрації рудних компонентів, у тому числі шкідливих. В переважній більшості ці відходи забруднюють навколишнє середовище чисто механічно. З одного боку, величезні маси відвальних порід, що нагромадилися і продовжують нагромаджуватися навколо кар'єрів і шахт можна оцінювати як край несприятливий екологічний чинник, що призводить до виведення з користування значних площ земель. Разом з тим, широкомасштабні дослідження попередніх років, які були проведені в Канаді і Росії, дозволили прийти до парадоксального висновку – при незначному ступені рекультивації кар'єрних і відвальних площ так звані "порушені землі" сприятливо позначаються на природних біоценозах. Як правило, в таких місцях збільшується видова різноманітність рослинного і тваринного світу, істотно підвищується продуктивність мисливських і риболовецьких угідь.

За видом закладованої речовини відвали розрізняються в залежності від мінерального складу і механічних властивостей гірських мас. За мінеральним складом виділяються піщані, піщано-глинисті, глинисті, суглинкові, ґрунтові, гранітні, залізорудні, сланцеві та інші відвали. В залежності від механічних властивостей порід вони можуть бути поділені на скельні, пухкі (складені пісками, суглинками, глинами), змішані (скельно-

суглинкові, скельно-глинисті). До відвалів, що складаються з ґрунтів, слід віднести земельні відвали.

В той же час, однією з суттєвих обставин, що перешкоджає використанню можливих накопичених у відвалах корисних компонентів, окрім їх недостатньої вивченості, є нераціональна з сучасної точки зору технологія формування цих відвалів – а саме, змішування гірських порід і корисних копалин різного складу. На думку більшості дослідників, для зменшення об'ємів мінеральної маси, яка нагромаджується у відвалах, а також розширення кількості корисних компонентів, що можуть супутньо вилучатися з відвалів, необхідною є розробка технологій їх селективного видобутку з раціональними технологіями їх (селективного) складування.

Додатковим чинником розробки раціональної технології складування, повинно бути детальне вивчення, з використанням сучасних методів дослідження, мінерального і хімічного складу розкривних порід, складаючих їх мінералів і мінеральних комплексів, визначення можливостей їх збагачення.

Характерним прикладом є Криворізький басейн. У відвалах його родовищ міститься, за різними оцінками, від 10 до 13 млрд т. розкривних порід. На теперешній час відомі близько 50 мінералів і гірських порід з продуктивних і вміщуючих товщ залізорудних родовищ Кривбасу, які можуть розглядатися в якості потенційних металевих і неметалевих корисних копалин. [9, 10, 12, 15]. Так наприклад, піски відвалів при деякій додатковій обробці можуть ефективно використовуватися як нерудна сировина, а в окремих випадках – і як джерело рудних компонентів (в Росії, наприклад, є рентабельним вилучення золота з пісків при середньому вмісті 0,15–0,25 г/м<sup>3</sup>, а в Україні це питання до цього серйозно не вивчалось – навіть для сотень мільйонів кубометрів відвальних пісків численних кар'єрів Криворізького. В той же час слід брати до уваги, що матеріал відвалів не завжди за своєю якістю може відповідати вимогам до нерудної сировини (велика кількість оксидів заліза в кварцовому піску, тріщинуватість або шаруватість відвальних уламків порід і т.п.), що може значно зменшувати сировинний потенціал промвідходів гірничого виробництва цього типу.

Слід зазначити, що незважаючи на надзвичайно широкий перелік супутніх рудних елементів в матеріалах відвалів і хвостів збагачення ГЗК, єдиним компонентом який постійно привертає увагу дослідників і дійсно може мати реальне економічне значення залишається золото. Реальний рівень вмісту благородних металів в незмінених залізистих кварцитах був проконтрольований нами на прикладі Криворізького залізорудного басейну, де в зонах інтенсивних метасоматичних перетворень дійсно інколи фіксуються підвищені вмісти золота. [22]. В ділянках сульфідно-кварцевої мінералізації епізодично відзначалась присутність підвищених концентрацій золота (навіть до 4,0-12 г/т, проте переважно відзначались вмісти в діапазоні 0,1-2,0 г/т), спорадично фіксувались також локальні точки з підвищеними вмістами платинових металів (найбільш значні установлені в зразках з РУ ім. Фрунзе – платина до 1 г/т, паладій до 6 г/т; РУ ім. Р.Люксембург – паладій до 0,5 г/т). В межах рудного поля РУ ім. Фрунзе в декількох свердловинах зафіксовано інтервали 10-15 м із вмістом золота 0,03-0,1 г/т, з локальними вмістами до 0,1-0,3 г/т. В розрізах Первомайської діляни в брекчіюваних і окварцованих вуглецевих сланцях вмісти золота сягають 0,6 г/т, а у вуглецевих відмінах порід гданцевської і амфіболомагнетитових породах саксаганської світи вмісти золота

сягають інколи 1-3 г/т.. Золото лускувате, мікронне, високої пробності (Au – 99,08; Ag – 0,1; Fe – 0,01) [3].

На відміну від відвалів розкривних порід усі відходи збагачення, що накопичуються у хвостосховищах, є найбільш підготовленою (внаслідок подрібнення рудних мінералів) сировиною для подальшої переробки, яка потребує значно менших енерговитрат на процеси вилучення корисних компонентів. В той же час мінеральний і хімічний склад відходів збагачення ("поточних хвостів") істотно змінюється і суттєво відрізняється від складу початкової руди. Як наслідок змінюється і природа корисної копалини – з первинного корінного воно перетворюється на техногенне розсипне, що може бути навіть більш придатним для промислового вилучення окрім головних, ще й супутніх корисних компонентів.

Загалом, в якості потенційно промислових техногенних родовищ можуть розглядатись:

- **хвости збагачення залізних руд.** Щорічно гірничо-збагачувальні комбінати Криворізького басейну скидають у відстійники біля 60 млн т хвостів збагачення залізних руд, загальна кількість накопичення яких досягла вже більше 2500 млн тон. За результатами досліджень, що були проведені за останні роки була доведена можливість отримання з них товарних залізних концентратів і деяких кількостей золота (середній вміст 0,05–0,4 г/м<sup>3</sup>). За попередніми розрахунками УкрДГРІ, до вторинної переробки придатні 500 млн т. [6].

- **хвости збагачення руд марганцю.** У Нікопольсько-Марганецькому рудному районі у хвостосховищах міститься біля 240 млн т відходів збагачення марганцевих руд, частка марганцю яких сягає 10–15 %. Результати аналізу полімінеральних суттєво кварцових лежальних хвостів збагачення марганцевих руд Грушівської, Чкалівської, Максимовської фабрик показали їх придатність для отримання товарних марганцевих концентратів. В той же час ці техногенні утворення містять золото в кількостях (0,27–0,78 г/м<sup>3</sup>), що також надає додатковий практичний інтерес. [2]. За попередніми розрахунками інституту УкрДГРІ, до вторинної переробки придатні 150 млн т марганцевих хвостів.

- **шлами переробки бокситів.** При переробці гібситових бокситів Австралії, Бразилії, Гвінеї, Індії і інших країн Миколаївський глиноземний завод щорічно скидає 1,2–1,3 млн т. так званих "червоних шламів", що містять суттєві домішки (г/т): циркону – 2500–3500, рутилу – 800–1200, золота – 0,05–0,4. За результатами досліджень утилізація тільки 35 % твердої речовини цих шламів дозволить отримувати золото-рутил-цирконієві (золото – 36–42 %, циркон – 40–60 %, рутил – 14–20 %) і залізо-вмісні (загальне залізо – 47–49 %) концентрати. [7, 8].

- **відходи збагачення ільменітових та цирконієвих розсипів.** Результати вивчення хвостів збагачення титанових руд Іршанської збагачувальної фабрики вказують на можливість вилучення з них золота (середній вміст Au – 5,64 г/т) [21].

- **відходи збагачення каоліну,** що складаються переважно з кварцового піску з домішками циркону, рутилу, монациту, ільменіту, гетиту, лейкоксену, гранату. Монацитовий концентрат розглядається як одне з джерел отримання легких лантанодів і торію.

**Висновки.** Виходячи з вищенаведеного слід зазначити, що майже усі великотоннажні масиви складованих промвідходів ГЗК можуть розглядатися як можливі техногенні родовища, з властивими кожному з них спеціалізацією, комплексністю але й часто з можливою складною будовою і вірогідною геохімічною зональністю. Тому в подальшому постає необхідність проведен-

ня системного і геологічно обґрунтованого вивчення варіацій речовинного складу відходів ГЗК, з використанням сучасних методів дослідження мінерального і хімічного складу розкривних порід та відходів збагачення, мінералів і мінеральних комплексів що їх складають, визначення можливостей їх збагачення. В той же час, закономірності які були виявлені вже на теперішньому етапі досліджень дозволяють провести попередню економічну оцінку рентабельності переробки металоносних промвідходів.

1. Бент О.Й. Техногенні родовища і приріст запасів корисних копалин. // Мінерал. журн. – 1996. – 18. – № 6. – С. 81–84.
2. Брагин Ю.М. Ресурсна цінність хвостів збагачення і гідрометалургійного переділу руд чорних і кольорових металів // Мін. ресурси України – 2006. – № 3. – С. 16–19.
3. Бутырин В.К., Юшин А.А. Новые данные о золоторудном потенциале Криворожья (Украинский шит) // Материали конференції "Месторождения природного и техногенного сырья: геология, геохимия, геохимические и геофизические методы поиска, экологическая геология" – Воронеж: Воронежпечать. – 2008. – С. 55–57.
4. Галецкий Л.С., Макагон В.Ф., Польской Ф.Р., Бент О.И. Перспективы получения цветных, редких и благородных металлов из техногенных отходов в Украине. – К.: Общество "Знание", – 1998. – 36 с.
5. Галецкий Л.С., Польской Ф.Р., Петрова Л.О., Пилипчук А.Д. Техногенні відходи – потенційні джерела для утворення техногенних родовищ // Наукові праці ДонНТУ Серія: "Гірничо-геологічна" – 2004. – Вип. 81 – С. 110–113.
6. Гошовский С.В., Брагин Ю.Н., Добровольская Т.И., Поддубная Т.Д. Техногенные россыпи в Украине – важный и перспективный источник минерального сырья // 36. наук. праць УкрДГРІ – 2007. – № 2. – С. 130–137.
7. Губіна В.Г., Кадошніков В.М. Червоний шлам Миколаївського глиноземного заводу – цінна техногенна сировина // Геолого-мінералогічний вісник – 2005. – № 2 (14). – С. 122–126.
8. Губіна В.Г., Кадошніков В.М., Заборовський В.С., Бондаренко Г.М., Горлицький Б.О. Оцінка можливості використання відходів збагачення залізистих кварцитів в народному господарстві. // 36. наук. праць ІГНС. – 2007. – Вип. 14. – С. 156–165.
9. Евтехов В.Д., Паранько И.С., Евтехов Е.В. Альтернативная минерально-сырьевая база Криворожского железорудного бассейна. – Кривой Рог: Изд-во Криворожского технического университета. – 1999. – 70 с.
10. Евтехов В.Д. Техногенные месторождения: от использования имеющихся – к созданию более совершенных // Геолого-мінералогічний вісник – 2003. – № 1 (9). – С. 19–26.
11. Калінін В.І., Чумаков Д.М. Щодо стану геологорозвідувальних робіт з оцінки техногенної сировини // Мін. ресурси України – 2001. – № 1. – С. 11–12.
12. Куделя А.Д. Комплексное использование минеральных ресурсов железорудных горно-обогатительных комбинатов УССР. – Київ: "Наукова Думка" – 1984. – 496 с.
13. Лісова Т.С. Радіаційний вплив уранодобувної промисловості на довкілля // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. – 2008. – № 2. – С. 12–16.
14. Ляшенко В.И. Охрана окружающей природной среды и защита населения в уранодобывающих регионах // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності – 2005. – № 4. – С. 82–92.
15. Паранько И.С., Евтехов В.Д., Сидоренко В.Д. Шляхи вирішення актуальних проблем Криворізького басейну в умовах сталого розвитку регіону // Геолого-мінералогічний вісник – 2007. – № 1 (17). – С. 5–12.
16. Петрова Л.О. Умови формування техногенних родовищ // Наукові праці ДонНТУ Серія: "Гірничо-геологічна" – 2004. – Вип. 81 – С. 114–116.
17. Польской Ф.Р., Баклан Ф.Г., Пикальчук О.Д. Промислові відходи – база доволі цінних видів мінеральної сировини в Україні // Мін. ресурси України – 2002. – № 4. – С. 46–47.
18. Рудько Г.І., Бондар О.І. Екологічні ризики при розробці родовищ корисних копалин // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності – 2005. – № 5. – С. 9–14.
19. Тырышкина С.Н., Иванченко В.В., Котляр М.И., Ковальчук Л.Н. Минералогическое обоснование повышения эффективности использования сталеплавильных шлаков // Геолого-мінералогічний вісник – 2005. – № 2 (14). – С. 113–116.
20. Филенко В.В., Тырышкина С.Н., Иванченко В.В., Евтехов В.Д., Нестеренко Т.П., Ковальчук Л.Н. Состав и обогатимость металлургических шламов комбината "Криворожсталь" // Геолого-мінералогічний вісник – 2005. – № 2 (14). – С. 109–112.
21. Цимбал С.М., Юшин О.О. Благородные металлы в ильменитовых россыпях Иршанского рудного района УЩ // Материали наук.-техн. наради "Мінерально-сировинна база чорних та кольорових металів". – Київ, 2002. – Держгеолслужба України. – С. 75–78.
22. Юшин А.А., Коваленко А.И. Ресурсы благородных металлов в разных типах промышленных отходов Украины. // Проблемы геологии и разведки месторождений золота, извлечения благородных металлов из руд и отходов производства: Материали Международной научно-технической конференции. – Екатеринбург: Изд. УрГГГА, 1999. – С. 9–10.
23. Ярошук М.А., Юшин А.А., Бастригина Т.М. Промотходы: вещественный состав, влияние на окружающую среду и возможности утилизации // 36. наук. праць ІГНС. – 2003. – Вип. 3/4. – С. 213–225.