

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. Коржнєвим)

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

The article 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 навколошнє середовище обумовлено 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 складованих 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 технолого-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 залізистого 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) підвищенні 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 загальний матричній подібності суттєво розрізняються за характером їх впливу на навколошне 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 хвости збагачення більшості розсипних цирконільменітових 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'єднують 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 – хвости і шлами збагачення уранових руд і руд ртуті, хвости 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	Переважний характер впливу на довкілля
I	Відвали розкривних порід осадового чохла, хвости 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	
IV	c) Шлами і шлаки виробництва кольорових металів, гальванічних та електротехнічних виробництв, золи бурого вугілля і нафтопереробки	Мідь, цинк, свинець, кадмій, нікель, хром, ртуть тощо	Хімічний та механічний
	a) Відходи збагачення руд ртуті	Ртуть, свинець, кадмій	
	b) Відходи збагачення урану, хвости збагачення каоліну та золи бурого вугілля окремих родовищ	Радіоактивні елементи	Радіаційний та механічний

В деяких випадках у відходах ГЗК можуть фіксуватися підвищенні вмісті 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):

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

де $P_{\text{мет}}$ – вартість вилучених металів; $P_{\text{техн}}$ – затрати на технологічні процеси повторної переробки; $P_{\text{ек}}$ – 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 технолого-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 м³) відмічаються суттєво підвищені вмісті таких елементів як Bi, Sr, Ti, Ge, Sc, Y, U, Au, Ag. Відвали ж розкривних порід Криворіжжя (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 м³/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 технологічних 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 складуються 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 відвольних порід, що нагромадилися і продовжують нагромаджуватися навколо кар'єрів і шахт можна оцінювати як україн 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 відвольних 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 заскладованої 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, необхідно 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/м³, а в Україні це питання до цього серйозно не вивчалося – навіть для сотень мільйонів кубометрів відвольних пісків численних кар'єрів Криворіжжя. В той же час слід брати до уваги, що матеріал відвалів не завжди за своюю якістю може відповідати вимогам до нерудної сировини (велика кількість оксидів заліза в кварцовому піску, тріщинуватість або шаруватість відвольних 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 кварцітах був проконтрольований нами на прикладі Криворізького залізорудного басейну, де в зонах інтенсивних метасоматичних переворень дійсно інколи фіксуються підвищені вмісті золота. [22]. В ділянках сульфідно-кварцевої мінералізації епізодично відзначалася присутність підвищених концентрацій золота (навіть до 4,0–12 г/т, проте переважно відзначалися вмісті в діапазоні 0,1–2,0 г/т), спорадично фіксувались також локальні точки з підвищеними вмістами платинових металів (найбільш значні установлени 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 зафіковано 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 ділянки в брекчійованих і окварцованих вуглецевих сланцях вміст золота сягає 0,6 г/т, а у вуглецевих відмінах порід гданцевської і амфіболомагнетитових породах саксаганської світи вміст 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 потенціально 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 проведенні за останні роки була доведена можливість отримання з них товарних залізних концентратів і деяких кількостей золота (середній вміст 0,05–0,4 г/м³). 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 лежалих хвостів збагачення марганцевих руд Грушівської, Чкаловської, 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/м³), 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-рутіл-цирконієви (золото – 36–42 %, циркон – 40–60 %, рутил – 14–20 %) і запізо-вмісні (загальне запізо – 47–49 %) концентрати. [7, 8].

- **відходи збагачення ільменітових та циркон-ільменітових 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 лантаноїдів і торію.

Висновки. Виходячи з вищенаведеного слід зазначити, що майже усі великотоннажні масиви складованих промвідходів ГЗК можуть розглядалися 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.И. Техногенні родовища і приріст запасів корисних копалин. // Мінерал. журн. – 1996. – 18. – № 6. – С. 81–84. 2. Брагін Ю.М. Ресурсна цінність хвостів збагачення і гідрометалургійного переделу руд чорних і кольорових металів // Мін. ресурси України – 2006. – № 3. – С. 16–19. 3. Бутурин В.К., Юшин А.А. Нові данні о золоторудному потенціалі Криворіжжя (Український щит) // Матеріали конференції "Месторождения природного и техногенного сырья: геология, геохимия, геохимические и геофизические методы поиска, экологическая геология" – Воронеж.: Воронежпечат. – 2008. – С. 55–57. 4. Галецкий Л.С., Макагон В.Ф., Польський 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., Польський Ф.Р., Петрова Л.О., Пилипчук А.Д. Техногенні відходи – потенційні джерела для утворення техногенних родовищ // Наукові праці ДонНТУ Серія: "Гірнико-геологічна" – 2004. – Вип. 81. – С. 110–113. 6. Гошовський С.В., Брагін Ю.Н., Добровольська Т.І., Подубна Т.Д. Техногенные россыпи в Украине – важкий и перспективный источник минерального сырья // Зб. наук. праць УкрДГРІ – 2007. – № 2. – С. 130–137. 7. Губина В.Г., Кадашніков В.М. Червоний шлам Миколаївського глиноземного заводу – цінна техногенна сировина // Геолого-мінералогічний вісник – 2005. – № 2 (14). – С. 122–126. 8. Губина В.Г., Кадашніков В.М., Заборовський В.С., Бондаренко Г.М., Горлицький Б.О. Оцінка можливості використання відходів збагачення залізистих кварцитів в народному господарстві. // Зб. наук. праць ІГНС. – 2007. – Вип. 14. – С. 156–165. 9. Євтюхов В.Д., Паранько И.С., Євтюхов Е.В. Альтернативная минерально-сырьевая база Криворожского железорудного бассейна. – Кривой Рог: Изд-во Криворожского технического университета. – 1999. – 70 с. 10. Євтюхов В.Д. Техногенные месторождения: от использования имеющихся – к созданию более совершенных // Геолого-мінералогічний вісник – 2003. – № 1 (9). – С. 19–26. 11. Капінін В.І., Чумак 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. – N 2. – С. 12–16. 14. Ляшенко В.И. Охрана оточающей природной среды и защита населения в уранодобывающих регионах // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності – 2005. – № 4. – С. 82–92. 15. Паранько И.С., Євтюхов 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: "Гірнико-геологічна" – 2004. – Вип. 81. – С. 114–116. 17. Польський Ф.Р., Сидоренко Г.Ф., Пикальчук О.Д. Промислові відходи – база доволі цінних видів мінеральної сировини в Україні // Мін. ресурси України – 2002. – № 4. – С. 46–47. 18. Руд'ко 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., Комляр М.И., Ковальчук Л.Н. Минералогическое обоснование повышения эффективности использования стальплавильных шлаков // Геолого-мінералогічний вісник – 2005. – № 2 (14). – С. 113–116. 20. Філіненко В.В., Тырышкина С.Н., Иванченко В.В., Євтюхов В.Д., Нестеренко Т.П., Ковальчук Л.Н. Состав и обогащаемость металлургических шлаков комбината "Криворожсталь" // Геолого-мінералогічний вісник – 2005. – № 2 (14). – С. 109–112. 21. Цимбал С.М., Юшин О.О. Благородні метали в ільменітових розсипах Іршанського рудного району УШ // Матеріали 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: Материалы Международной научно-технической конференции. – Екатеринбург: Изд. УрГГТА, 1999. – С. 9–10. 23. Ярошук М.А., Юшин А.А., Бастиригина Т.М. Промотходы: вещественный состав, влияние на окружающую среду и возможности утилизации // Зб. наук. праць ІГНС. – 2003. – Вип. 3/4. – С. 213–225.