

Д.В. ШВЕЦЬ, аспірант; С.Г. САВЕЛЬЄВ, д-р техн. наук, проф.
Криворізький національний університет

ТЕХНОГЕННІ ВІДХОДИ ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ: МАСШТАБИ, НАСЛІДКИ ТА ПОТЕНЦІАЛ ВТОРИННОГО ЗАЛУЧЕННЯ

Гірничо-збагачувальна діяльність характеризується утворенням значних обсягів техногенних відходів – розкривних порід, хвостів збагачення, шламів та дренажних стоків, що формують стійке техногенне навантаження на навколишнє середовище та економіку підприємств через необхідність у будівництві та підтримці хвостосховищ та відвалів, що збільшує капітальні вкладення та експлуатаційні витрати, включаючи витрати на моніторинг стійкості гідротехнічних споруд та запобігання аваріям. За оцінками міжнародних аналітичних організацій, щорічний світовий обсяг освіти гірничопромислових відходів на початку 2020-х років перевищував 100 млрд т, з яких основну частку (до 70-80 %) становлять розкривні породи, а значна частина – хвости збагачення.

З точки зору технології висока частка порожньої породи (у ряді кар'єрів коефіцієнт розтину досягає 3-10 т порожньої породи на 1 т руди, а при видобутку низькосортних родовищ – до 15-20 т/т) призводить до зниження коефіцієнта отримання корисних компонентів та зростання енергоємності виробництва. За оцінками галузевих досліджень, на переробку та транспортування гірничої маси припадає до 40-60 % сукупного енергоспоживання гірничодобувного підприємства, при цьому збільшення коефіцієнта розтину на 1 одиницю може підвищувати питомі енергетичні витрати на 8-12 %.

Екологічні наслідки мають масштабний характер: площа земель, зайнятих відвальними та хвостосховищними об'єктами, у світі оцінюється в мільйони гектарів, а щорічний обсяг утворення хвостів перевищує 10-15 млрд т. Формування кислих дренажних вод фіксується на 20-30% сульфідних родовищ і супроводжується виносом важких металів (Fe, Cu, Zn, Pb) у концентраціях, що перевищують фонові значення у десятки разів. Втрати ґрунтового покриву та посилення ерозійних процесів у районах відкритого видобутку можуть досягати 5-25 т/га на рік.

Водночас техногенні відходи гірничо-збагачувальної промисловості мають значний потенціал вторинного використання у якості будівельних матеріалів, матеріалів для рекультивативних порушених земель та формування інженерних споруд. Хвости збагачення нерідко містять залишкові концентрації кольорових, рідкісних та критично важливих металів (Cu, Zn, Ni, Co, Li), що робить їх перспективною сировиною. Крім того, мінеральна частина хвостів може використовуватися у виробництві цементу, кераміки, геополімерних матеріалів та закладальних сумішей для підземних виробок.

Саме тому з 2023 року у низці країн активізовано впровадження технологій переробки мінеральних відходів. У країнах ЄС у межах реалізації Critical Raw Materials Act посилено підтримку проєктів з вилучення критично важливих металів із хвостів збагачення та металургійних шлаків, зокрема літію, кобальту та рідкісноземельних елементів. Додатковим прикладом є проєкт повторної переробки мідних хвостів на родовищі Ескондіда в Чилі (2022-2025 рр.), де в рамках модернізації збагачувальних потужностей щорічно залучається понад 10 млн тонн раніше накопичених хвостів. В результаті додаткове вилучення міді становить до 50-70 тис. т на рік, що знижує потребу у розширенні кар'єрів та зменшує питомі викиди на одиницю продукції. За прогнозами галузевих аналітиків, до 2030 частка повторної переробки хвостів у країнах з розвинутою гірничою промисловістю може збільшитися на 15-20%, а обсяг залучених техногенних ресурсів перевищить 150-200 млн т на рік.

Таким чином, статистичні показники підтверджують системний характер проблеми – зростання обсягів відходів збільшує матеріаломісткість видобутку та посилює антропогенне навантаження, що обґрунтовує необхідність впровадження комплексних рішень на основі ресурсозбереження, глибокої переробки мінеральної сировини та принципів циркулярної економіки. Відходи гірничо-збагачувальних виробництв необхідно розглядати як стратегічний техногенний ресурс, раціональне використання якого стає одним із ключових факторів сталої модернізації гірничо-металургійного комплексу у довгостроковій перспективі.