

УДК 581.5: 594.5:574.4

*О.М. Сметана**, *Н.А. Сметана*****ЛІТОГЕОХІМІЧНА КОНЦЕПЦІЯ
ПОВОДЖЕННЯ З ВІДХОДАМИ
ЗБАГАЧЕННЯ РУД****Криворізький ботанічний сад НАН України, **НВП «КРИВБАСАКАДЕМІНВЕСТ»,
Кривий Ріг*

Розглянуто формування концепції поводження з відходами збагачення руд, яка забезпечена управлінням літогеохімічними потоками. Запропонована технологія складування відходів збагачення з системою послідовного покартового одноярусного наміву хвостів за умов одночасної переробки відходів збагачення та рекультивациі хвостосховищ.

Рассмотрено формирование концепции обращения с отходами обогащения руд, которая обеспечена управлением литогеохимическими потоками. Предложена технология складирования отходов обогащения с системой последовательного покартового одноярусного намыва хвостов при условиях одновременной переработки отходов обогащения и рекультивации хвостохранилищ.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями

Хвостосховища є одним з найбільш небезпечних об'єктів гірничого виробництва. Адже вони займають значні території і, навіть після виведення з експлуатації представляють потенційну загрозу для навколишнього середовища, оскільки відбувається забруднення прилеглих територій з фільтрацією мінералізованих вод в ґрунтові води та дефляцією тонко дисперсного матеріалу із сухих пляжів. Рекультивациа хвостосховищ ускладнена їх специфічною геоморфологічною будовою, низькою родючістю субстратів, фітотоксичністю технологічних вод і специфічним водним режимом.

Забезпечення можливості повторної переробки лежалих хвостів є одним з важливих компонентів раціонального використання природних ресурсів і має бути пріоритетним при виборі технології формування хвостосховищ.

За літературними даними загальна площа хвостосховищ Кривбасу складає 7,6 тис. га, об'єм заскладованих хвостів становить 4-6 млрд т [4]. Відмітки обваловування їх сягають 140 м відносно поверхні прилеглих територій. У зв'язку зі збільшенням вимог до якості мінеральної сировини металургійної промисловості відбувається ріст обсягів переробки залізної руди і, як наслідок, накопичення відходів, що в свою чергу зумовлює

збільшення площ для їх складування, нарощування дамб існуючих хвостосховищ, або вимагає пошуку територій для спорудження нових накопичувачів. Що в свою чергу призводить до збільшення техногенного навантаження на екосистеми регіону, необхідності відчуження земель сільськогосподарського та іншого використання, знищення компонентів гідрографічної мережі.

Так за ретроспективним аналізом картографічного матеріалу виявлено, що хвостосховище ВАТ «Північний гірничозбагачувальний комбінат» з розташоване в балці Петрикова – правобережній притоці р. Саксагань. Хвостосховища: „Миролубівське” займає схил балки Грушувата, „Об'єднане” розташоване в балці Вовчице – лівобережній притоці р. Інгулець. Хвостосховище „Войково” розташоване в середній частині балки Городувата і у верхів'ї балки Вовча. Навіть природні екосистеми, що межують з хвостосховищами, повністю деградовані. В них зазнав зміни не лише рослинний покрив і фауна, а й докорінним чином трансформовані елементарні ґрунтові процеси [8].

Аналіз процесів, які детермінують розвиток екосистем хвостосховищ і прилеглих територій свідчать про складність і стохастичність процесів літогеохімічного обміну. Так формується еолові прямі дефляційні і турбулентні потоки (з пониженою швидкістю), потоки еолової міграції пелітової фракції та потоки що призводять до накопичення

© Сметана О.М.,
Сметана Н.А., 2011

піщаної і алевритової фракцій. Розчинені в воді та зважені речовини беруть участь у фільтраційних гравітаційних, фільтраційних змішаних (горизонтально-гравітаційних) висхідних капілярно-десукційних потоках, які взаємодіють з обводненими субстратами, водопідпірними горизонтами, а на прилег-

лих до хвостосховищ територіях зумовлюють розвиток солончаків та солонцевих ґрунтів. Враховуючи високу складність і значну потужність системи діючих потоків корегування і управління ними в межах сучасної конструкції хвостосховищ навряд чи є можливим.

Аналіз досліджень і публікацій

Переважає більшість робіт присвячена вдосконаленню техніки і технології збагачення бідних руд, комплексній переробці залізородної сировини, розробці нових раціональних методів розміщення відходів та повторній переробці лежалих хвостів. Особлива увага приділяється вивченню, технологічній оцінці і розробці нових технологій переробки для промислово важливих дефіцитних руд чорних і легуючих металів – марганцю, хрому, ніобію, титану і ін. На сьогодні актуальним є питання підвищення ефективності використання природних ресурсів. Основним спрямуванням цих робіт є розробка технологій комплексної переробки корисних компонентів, що видобуваються та переробка відходів збагачення, вивчення можливості використання накопиченої мінеральної сировини з метою зменшення об'єму відходів.

Після надходження текучих хвостів зі збагачувальної фабрики і скиду їх до хвостосховища відбувається гравітаційна диференціація їх матеріалу. Як відомо з попередніх досліджень, на диференціацію часток хвостів впливають їх розмір, форма і густина мінералів, які їх складають [1-3,5-7,9-10]. В придамбовій частині хвостосховища відбувається осадження більш крупнозернистого матеріалу (переважно фракції від 0,5 до 3,0 мм) і розкритих часток магнетиту і гематиту, які мають максимальну густину – 5150-5200 кг/м³, а також часток що мають ізометричні форми (серед рудних мінералів – магнетит, серед нерудних – кварц і його зростки з іншими мінералами). Далі від гребеню дамби і ближче до центру ставка хвостосховища відкладаються дрібніші (менше 0,5 мм) частки нерудних мінералів – кварцу, силікатів, карбонатів, а також частки пластинчастої форми (серед рудних мінералів – залізна слюдка, серед нерудних – хлорит, біотит, тальк та інші).

Неоднорідність масиву хвостів виявляється у витриманій паралельній поверхні наміву шаруватості субстратів. Її Виник-

нення пов'язане із зміною властивостей субстратів за складом, розміром, формою, або характером взаємного розташування і орієнтування часток.

Структура хвостів – макро- і мікрошарувата. Мікрошари в розрізі мають потужність від часток сантиметра до 1 м і більше. Причина їх формування закладена в турбулентності потоку на пляжі намівання. Встановлено, що при невеликій інтенсивності намівання, коли частинки хвостів встигають вибірково відкластися на укосі, має місце чітка тонкошарувата структура, навпаки, при великій швидкості надходження частинки хвостів укладаються хаотично, формуючи практично ізотропний масив. Утворення макрошарів зумовлене технологією наміву, наприклад, наближенням ставка-відстійника у бік укосу або зсуву потоків пульпи на пляжі намівання при зміні місця випуску з розподільного пульпопроводу.

За даними Євтехова В.Д і Федорової І.А. [6,7] в хвостосховищах Кривбасу найбільша концентрація рудних мінералів (магнетиту та гематиту) відбувається у гранулометричній фракції – 0,16 мм, де разом з багатими і бідними зростками містяться розкриті рудні частки; найбільш високий вміст розкритих зерен міститься у матеріалі з розміром часток менше 0,074 мм. Матеріал гранулометричних фракцій з розміром часток +0,16 мм представлений частками, які мають, переважно, полімінеральний склад. У матеріалі з крупністю часток менше 0,05 мм практично всі мінерали утворюють мономінеральні уламки. Таким чином, в придамбовій частині хвостосховища на відстані до 500 м відбувається концентрація залізовмісних мінералів у розкритому стані, утворюється продуктивна зона, при повторній переробці якої, без додаткових затрат на переобладнання та зміни технології збагачення, можливо отримати високоякісний залізородний концентрат. Аналіз вищенаведених даних свідчить, що в межах хвостосховища відбу-

вається процес самозбагачення відходів і формується техногенний поклад залізородної сировини із зональною структурою.

Хвостовища Кривбасу, що знаходяться в експлуатації в даний час, відносяться до комбінованого типу. На початковому етапі вони утворювалися методом часткової обвалювання долини, а пізніше, по мірі заповнення, проводилося нарощування дамби методом верхнього б'єфу на намитій частині хвостосховища. Сучасна технологія наміву хвостів передбачає концентрацію їх крупнозернистої фракції в придамбовій частині хвостосховища для створення стійкої основи наступної дамби, і саме в цій частині хвостосховища відбувається концентрація залізовмісних мінералів у розкритому стані. При нарощуванні наступного ярусу хвостосховища продуктивна зона опиняється під дамою повторного обвалювання. Отже, повторна переробка хвостів можлива лише в придамбовій частині верхнього ярусу і тільки за умов забезпечення стійкості суміжних частин хвостосховища. При цьому застосування важкої техніки (екскаваторів, бульдозерів, скреперів) при виїмці продуктивної товщі ускладнюється тим що в процесі виїмки відбувається підтоплення місця розробки.

Варто відзначити що очевидними перевагами традиційних технологій формування хвостосховищ є те, що вони займають відносно невелику площу, дозволяють розмістити значні об'єми відходів на одиницю площі земної поверхні, мають великий термін експлуатації і капіталовкладення при їх спорудженні розподілені рівномірно по періодах будівництва.

Недоліками даної технології є: значний тиск на геологічне середовище, інфільтрація засолених вод через тіло дамби в підземні води, дефляція з поверхні плесів тонкодис-

персних мінеральних часток і забруднення ними атмосферного повітря та прилеглих територій, великий ризик аварій, ускладнення процесу повторної переробки хвостів на всю глибину залягання хвостів, неможливість проведення рекультивації хвостосховища до виведення його з експлуатації тощо.

Аспектами екологічної безпечності метода формування хвостосховищ в один ярус є можливість повторної переробки лежалих хвостів на всю глибину залягання хвостів, зменшеним тиском на геологічне середовище, незначною дефляцією тонкозернистої фракції хвостів з поверхні та невеликим ризиком аварій. Але цей метод має суттєві недоліки: необхідна велика площа для складування, малий об'єм заскладованих відходів на одиницю площі, невеликий термін експлуатації та неможливість рекультивації до припинення наміву хвостосховища.

Хвостосховища як системи що знаходяться в стані динамічного і статичного рівновазі до даного часу не розглядалися. Сучасна динаміка цих об'єктів як літо геохімічних систем може бути описана як функціонування утворень з позитивним техногенним дебетом рудних мінералів, солей і близьким до нуля балансом вод. Дамби обвалювання є компонентами що протидіють гравітаційно-гідралічному руйнуванню системи. В межах хвостосховища діє складний не керований комплекс літогеохімічних потоків. Отже, дані утворення через їх внутрішню динамічну не керованість, значні об'єми та потужність є техногенними об'єктами можливого виникнення надзвичайних ситуацій. Ці міркування обґрунтовують актуальність розробки концепції динамічно стійких і безаварійних систем поводження з відходами збагачення руд.

Постановка завдання

Основним завданням даної роботи є формування концепції поводження з відходами

збагачення руд, яка забезпечена управлінням літогеохімічними потоками.

Викладення матеріалу та результати

За авторським свідченням [11] слід розрізняти атмогеохімічні та гідрогеохімічні потоки за середовищем перенесення. Оскільки їх диференціація базується на врахуванні фізичної, хімічної природи, потужності та тривалості дії; ступеню трансформації сере-

довища, походження і функціональної характеристики, то ці аспекти зумовлюють просторову і типологічну диференціацію екосистем та знаходять своє вираження у функції формування ландшафту. Слід зауважити, що потоки у польових умовах зазвичай комбі-

новані та, відповідно, змінюють характеристику ландшафту комплексно.

Атмосферні потоки (аерозольні дефляційні та седиментаційні) відіграють значну роль на хвостосховищах, оскільки останні є джерелом води, розчинних солей та часток хвостів, які здатні розноситись на значні території. Так, на бермах дамб хвостосховищ за рахунок привнесення хвостів з карт шламосховища атмосферними аерозольними дефляційними потоками створюються специфічні для існування рослинності «піщані» території, що постійно змінюються під дією вітру та водних потоків.

Більший вплив на формування рельєфу та екосистем авторами відмічено для гідрогеохімічних потоків. Їх диференціація проведена за критеріями відношення до поверхні субстрату (поверхневі, підземні) та за розмірами мінеральної складової, що переноситься (гравітаційні, воднозважені та воднорозчинні).

Диференціація потоків за відношенням до поверхні субстрату дозволяє визначити напрямок зміни рельєфу. Так, поверхневі лінійні гідрогеохімічні потоки утворюватимуть характерні ерозійні рівчаки на схилах зі специфічними умовами (збільшене зволоження, привнесення речовин та енергії з верхніх ділянок), які відрізнятимуться від загальних умов схилу. Дані процеси добре виражені на схилах дамб хвостосховищ. Поверхневі площинні потоки рівномірно розподілятимуть міграційні компоненти. Такі потоки сприяють горизонтальній зональності розподілу мінералів. В нижній частині буде відбуватися акумуляція тонко дисперсного матеріалу і легкорозчинних солей.

Підземні гідрогеохімічні потоки визначають режим промивання порід у профілі. Так, при близькому розташуванні до поверхні водопідпорних порід, вода акумулюється на деякій глибині від поверхні. З порід інтенсивно «вимиваються» розчинні солі. Висхідні капілярні та дифузійні потоки спричиняють підйом води до поверхні та її випаровування. На поверхні відбувається акумуляція солей.

Воднозважені гідрогеохімічні потоки визначають міграцію речовин колоїдної, мулової та шліхової фракцій. Відповідно відбувається вимивання речовин цих фракцій з порід вищих горизонтів (локалітетів) до порід нижчих територій. Таким чином, у локаліте-

тах привнесення змінюється щільність та мінеральний склад порід.

Гравітаційні (механічні) гідрогеохімічні потоки характеризуються перекошуванням часток (шліхові та дрібно-уламкові потоки) або їх поступовим переміщенням під силою тяжіння внаслідок підмивання (крупно-уламкові потоки). Саме ці потоки сприяють розподіленню фракцій у відповідності до розміру уламків.

Отже, за схемою диференціації літогеохімічних потоків в межах хвостосховищ виділено потоки: аерозольні дефляційні та седиментаційні атмосферні; поверхневі, підземні, гравітаційні, воднозважені та воднорозчинні гідрогеохімічні. Літогеохімічні потоки як відкриті системи можуть бути керованими.

Управління – системологічна категорія, яка описує зменшення вірогідності станів системи або регуляцію числа ступенів її свободи. Створення лімітів, що обмежують систему, дозволяє привести її до необхідного стану. Мета управління літогеохімічним потоком при поводженні з відходами збагачення руд – використання енергії системи на виконання літогеохімічної і геоморфологічної роботи, через обмеження вірогіднісних станів системи.

При цьому літогеохімічна робота це сепарація хвосто-водяного потоку з виділенням рудних мінералів і транзит легкорозчинних солей та тонко дисперсних фракцій в зону акумуляції. Геоморфологічна робота виражається в самовипологуванні дна ділянки що наминається.

Результатом обмеження вірогіднісних станів системи є досягнення стану динамічної рівноваги, при якому відсутнє нагромадження значних мас хвостів на одиницю площі, можливість одночасного наживу хвостів та їх повторної переробки; зменшена кількість нерегульованих літогеохімічних потоків і складування мінералів у відповідності до їх гравітаційно-седиментаційної характеристики.

Таким чином, управління літогеохімічними потоками при раціональному складуванні відходів збагачення руд за рахунок обмеження кількості ступенів свободи до оптимального рівня, забезпечує впорядкованість літогеохімічних потоків орієнтованих на виконання цільових функцій.

За рахунок структурного управління нами визначені керуючі елементи системи. Функціональне управління літогеохімічними потоками передбачає обмеження вірогідності станів системи певними лімітами (в межах заданих структурою ступенів свободи). За рахунок функціонального управління визначаються кількісні параметри елементів та зв'язків системи. Управління літогеохімічним потоком здійснюється забезпеченням його інтенсивності, потужності та режимів за допомогою регуляторів.

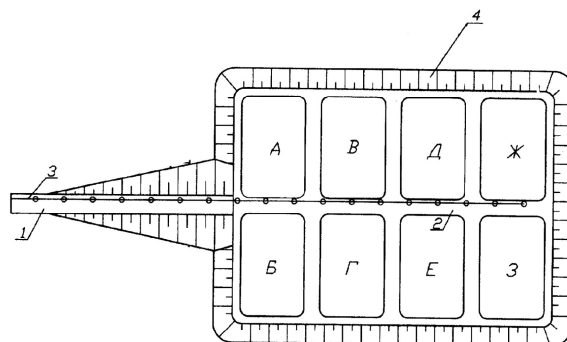
Для функціонального управління сепарційним потоком, в якому диференціюється мінеральний склад відходів збагачення і завдяки якому утворюється техногенне рудне тіло у хвостосховищі, необхідно технологічними засобами корегувати густину і швидкість, періодичність, потужність хвостоводяного потоку.

Таким чином результатом дії подібного літогеохімічного потоку є утворення техногенного покладу з визначеним гранулометричним і мінеральним складом.

Технологія послідовного покартового одноступеняного намиву хвостів реалізується таким чином.

Побудова хвостосховища передбачається з поетапним відводом земель в експлуата-

цію. На першому етапі проводиться зняття родючого шару ґрунту і складування його в спеціальні відвали. Другий етап побудови хвостосховища включає формування котловану на проектну глибину, формування дамб обвалювання, створення протифільтраційного (водоутримуючого) екрану і системи водозбору. При цьому леже хвостосховища формується з уклоном який дорівнює куту виположування при гірничотехнічному етапі рекультивації під луки, пашню тощо. В нижній частині передбачається створення пруда-відстійника для збору технологічної води. Хвостозливні труби слід розташовувати у верхній частині хвостосховища. Під час намиву ділянки А проводиться підготовка ділянки Б. Після виводу з експлуатації ділянки А намив відбувається на ділянці Б, а на ділянці В проводяться підготовчі роботи. При експлуатації ділянки Б на ділянці А можливо проведення виїмки хвостів з продуктивної частини хвостосховища для їх повторної переробки. При замиві ділянки В та ділянці А проводиться рекультивація, яка передбачає нанесення родючого шару ґрунту зі спецвідвалів, проведення агротехнічної підготовки земель до передання їх власнику для подальшого використання в народному господарстві (рисунок 1).



Примітки: 1 – під'їзний шлях; 2 – підготовлена ділянка зі знятим родючим шаром;
3 – пульпопровід; 4 – дамба обвалювання.

Рисунок 1 – Схема заповнення хвостосховища за умов одночасної переробки відходів та рекультивації.

Таким чином, по мірі просування робіт відбувається послідовне намивання хвостів у підготовлений котлован в один ярус. Скла-

дування відходів за даною технологією передбачає: поетапне відчуження земель під хвостосховище та їх повернення власнику

після виведення з експлуатації і рекультивації; можливість повторної переробки хвостів на всю глибину залягання хвостів, а при необхідності, консервацію відходів збагачення, що не підлягають переробці у даний час, з можливістю їх видобутку в майбутньому існуючими способами (при намиві хвостів формується горизонтальний поклад з відомими характеристиками). При формуванні хвостосховищ в один ярус з незначним під-

няттям над оточуючим середовищем зменшується ризик виникнення аварій, відбувається невеликий тиск на геологічне середовище. Невелика площа намиву і можливість одночасного проведення рекультивації відпрацьованої частини хвостосховища обумовлює незначну дефляцію з поверхні тонкодисперсних фракцій хвостів і, як наслідок, зменшення забруднення атмосферного повітря та прилеглих територій.

Висновки та напрямок подальших досліджень.

Запропонована технологія складування відходів збагачення є системою послідовного покартового одноярусного намиву хвостів на спроектовану ділянку у підготовлений котлован.

Поводження з відходами за даною системою, на відміну від технологій що використовуються на даний час, є в достатній мірі екологічно безпечним і дозволяє зменшити тиск на геологічне середовище, звести до мінімуму ризик виникнення аварійних ситуацій, проводити поетапне відчуження земель під хвостосховище, їх рекультивацію і повернення вилучених земель після рекультивації.

Раціональне використання природних ресурсів при використанні даної технології обумовлене можливістю повторної переробки хвостів на всю глибину та консервацією

відходів збагачення що не підлягають переробці у даний час і можливістю їх видобутку в майбутньому за спрощеною схемою. Реалізація концепції поводження з відходами збагачення базується на сучасних розробках пов'язаних з управлінням літогеохімічними потоками. При цьому реалізується структурний і функціональний аспекти управління, що дозволяють отримати потоки заданого типу, потужності, періодичності тощо.

Подальші дослідження раціонально спрямувати на розробку технології створення подібного типу хвостосховищ, проектування систем повторного збагачення легкодоступних лежалих хвостів та розрахунок техніко-економічних показників. Важливим є також виявлення аспектів впливу на навколишнє середовища впровадження даної технології.

Перелік посилань

1. Горелик Л.Ш. *Натурные исследования хвостохранилищ* / Л.Ш. Горелик // *Транспорт и складирование отходов производства в условиях повышения требований к защите окружающей среды.* – Ленинград, 1980. – С. 25–33.
2. Губина В.Г. *Закономерности распределения железа в техногенном месторождении ЦГОКа* / В.Г.Губина // *Совершенствование технологии горного производства. Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции* – Кривой Рог, 1991. – С. 32.
3. Евдокимов П.Д. *Проектирование и эксплуатация хвостовых хозяйств обогатительных фабрик* / П.Д.Евдокимов – М. : Госгортехиздат, 1960. – 420 с.
4. Евтехов В.Д. *Альтернативная минерально-сырьевая база Криворожского железорудного бассейна* / Евтехов В.Д., Паранько И.С., Евтехов Е.В. – Кривой Рог : Изд. Криворожского технического университета, 1999. – 70 с.
5. Євтехов В.Д. *Мінеральний склад хвостів Північного гірничозбагачувального комбінату* / В.Д.Євтехов, І.А.Федорова // *Геолого-мінералогічний вісник Криворізького технічного університету.* – 2002. – №1(7).– С. 90–98.
6. Євтехов В.Д. *Техногенні поклади Кривбасу як комплексна мінеральна сировина* / В.Д.Євтехов, І.А. Федорова // *Техногенно-екологічна безпека регіонів як умова сталого розвитку України. Матеріали другої науково-практичної конференції.* – Львів : Товариство “Знання” України, 2002. – С. 29–30.

7. Євтехов В.Д. Шлами гірничо-збагачувальних комбінатів Кривбасу як комплексна рідкіснометальна сировина / В.Д. Євтехов, І.А. Федорова // Рідкісні метали України – погляд у майбутнє. Збірник наукових праць ІГН НАН України – Київ, 2001.– С. 46–47.

8. Сметана О.М. Грунти плесів та дамб шламосховищ Кривбасу / О.М. Сметана, Н.А. Сметана, О.І. Маркевич // Вісник Криворізького технічного університету. – 2005.– Вип.7.– С. 191–196.

9. Пирогов Б.І. Еволюція властивостей мінералів при рудо- і техногенезі / Б.І. Пирогов // Відомості Академії гірничих наук України. – 1997. – № 4. – С. 12.

10. Федоров И.С. Свойства и расчетные характеристики намытых хвостов рудообогатительных фабрик / И.С.Федоров, О.Х.Добровинская – Москва: Недра, 1970. – 152 с.

11. А.с. 33653 Україна. Теоретичне обґрунтування управління літогеохімічними потоками для збільшення потенціалу розвитку екосистем на порушених гірничими роботами землях (управління літогеохімічними потоками / О.М. Сметана, С.М. Сметана (Україна). – № 33653; зареєстровано 09.06.2010.

O.M. Smetana, N.A. Smetana

**LITHOGEOCHEMICAL CONCEPT OF
ORE PROCESSION WASTE
MANAGEMENT**

*Kryvyi Rih Botanical Garden of NAS of Ukraine, RPE “KRYVBASACADEMINVEST”,
Kryvyi Rih*

The formation of ore procession waste management concept based on management of lithogeochemical flows is reviewed. Authors propose the technology of iron ore procession waste storage with the system of successive ponds one layer alluvium of tails at the terms of the simultaneous processing of ore wastes and rehabilitation of tailing ponds.

*Надійшла до редколегії 09 лютого 2011 р.
Рекомендовано членом редколегії канд. техн. наук П.І. Копачем*