

Міністерство освіти і науки України  
Дніпровський державний аграрно-економічний університет

Крамарьов С.М., Бандура Л. П., Гулін В. В., Гулін В. М.

**Закріплення поверхонь хвостосховищ для пилопригнічення  
техноземів, забруднених промисловими відходами, способом  
вирощування сільськогосподарських культур, стійких до  
повітряної та ґрунтової посухи в умовах гострого дефіциту  
рухомих форм поживних речовин**

(Науково-практичний посібник)

Дніпро  
2020

УДК 005.334:551.311]:[658.567+502/174

Г 83

Науково-практичний посібник з проведення закріплення поверхонь хвостосховищ, для пилопригнічення техноземів забруднених промисловими відходами, способом вирощування сільськогосподарських культур стійких до повітряної та ґрунтової посухи в умовах гострого дефіциту рухомих форм поживних речовин// Науково-практичний посібник / Крамарьов С.М., Бандура Л. П., Гулін В. В., Гулін В. М. – Дніпро: ТОВ підприємство «Дріант», 2020.– 57 с.

У науково-практичному посібнику розглянуто заходи з проведення закріплення поверхонь хвостосховищ, що пилять, кореневою системою рослин озимих сільськогосподарських культур, стійких до ґрунтової та повітряної посухи в умовах гострого дефіциту рухомих форм поживних речовин в техноземах, забруднених промисловими відходами.

Рецензенти:

доктор сільськогосподарських наук, професор Харитонов *М.М.*;

доктор сільськогосподарських наук, професор Циліурік *О.І.*

Науково-практичний посібник рекомендовано до друку науково-технічною радою ( протокол № 23 від 26 червня 2020р.) та Вченою радою Дніпровського державного аграрно-економічного університету ( протокол № 7 від 09 липня 2020р.)

## ЗМІСТ

ВСТУП	6
1. Характеристика хвостосховищ відходів збагачення залізної руди	14
2. Коротка характеристика хвостосховищ Кривбасу	17
3. Огляд сучасних підходів покращення стану хвостосховищ	26
4. Шляхи підготовки хвостосховищ до проведення на них біологічної рекультивації	28
5. Способи закріплення пилюватих піщаних поверхонь хвостосховищ	30
6. Детоксикація рухомих форм важких металів в складі відходів хвостосховищ Криворіжжя	34
7. Сільськогосподарська рекультивація хвостосховищ Криворіжжя	35
8. Перспективи використання посівів озимого жита і озимого тритикале для сільськогосподарської рекультивації пилячих поверхонь хвостосховищ	40
9. ВИСНОВКИ	46
10. РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ	49
11. СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	50

## ВСТУП

Людство в XXI столітті переживає один із самих трагічних моментів в своїй історії. Цей момент характеризується умовами, які суттєво відрізняються від всієї минулої історії цивілізації і насамперед прискореним індустріальним ростом регіонів, варварською експлуатацією природи і, як наслідок, виникають екологічні проблеми. В той же час висока концентрація людей на обмежених площах, різке зростання природних і техногенних аварій та катастроф призводять до виникнення нових епідемій, голоду та локальних воєн. Починають розвиватись ознаки опустелювання, які спостерігаються на всіх континентах світу. Поряд з цим прослідковується аридизація клімату, за рахунок чого зростає посушливість територій. Нині засушливі території займають біля 41% поверхні суші, де знаходиться третина населення земної кулі. Таким чином, на межі тисячоліть проблема опустелювання й деградації земель набула загальнопланетарного характеру. В першу чергу, вона обумовлена проблемами знищення природних екосистем, нерационального використання і виснаження земельних ресурсів, зростаючим забрудненням довкілля. Ці процеси виникають внаслідок того, що наземні екосистеми винятково вразливі в умовах надмірного і інтенсивного землекористування, в тому числі внаслідок видобутку корисних копалин.

Вважається, що збільшення території пустель на 80-90% зумовлене антропогенними чинниками і менш ніж на 10-15% -

факторами природного походження. Під впливом людської діяльності опустелювання особливо інтенсивне, оскільки відбувається за рахунок видобутку корисних копалин відкритим способом. Видобуток корисних копалин призводить до значного скорочення земельних ресурсів. В результаті руйнування ґрунтового покриву відбувається заміна природних ландшафтів техногенними, відновлення яких природним шляхом йде дуже повільно. Природне самовідновлення функцій едафотопу, як одного із основних блоків порушених екосистем, потребує значного періоду часу і наразі не задовольняє вирішенню природоохоронних та народногосподарських проблем у регіонах з високою концентрацією техногенних ландшафтів. Завдяки цьому дестабілізація стану довкілля в Україні, у порівняння з іншими європейськими країнами, має досить високий рівень.

Видобуток корисних копалин відбувається постійно для забезпечення життєдіяльності людини. В зв'язку з цим людині доводиться обробляти землю, будувати різні спорудження та переробляти певну кількість корисних копалин і матеріалів. Кожна стадія цього процесу, безумовно, супроводжується відходами, які забруднюють повітря, воду, ґрунт, тобто навколишнє середовище. І цей процес на земній кулі триває вже тисячоліття, особливо прогресуючи останнім часом.

Техногенне навантаження та довготривалий видобуток корисних копалин в Україні призвели до значних змін довкілля і перетворення природних комплексів на природно-техногенні. У

процесі видобутку разом з корисними копалинами вилучаються приблизно у однакових з ними об'ємами і відвальні шахтні породи, маса відходів в Україні щорічно зростає на 150-200 млн. т. Відходи гірничодобувної промисловості накопичуються у вигляді відвалів, териконів, шламосховищ, площа яких перевищує 160 тис. га (Бент, 1999). Рівень використання відходів в Україні складає 12%, на відміну від світового, який не знижується нижче 65% (Корпенева та ін., 2000). Все це перетворило благодатний український край на місце, де людині вже стало жити небезпечно.

Інтенсивне забруднення Придніпровського регіону промисловими відходами розпочалося з розвитком гірничодобувного та металургійного комплексів. На сьогодні площа земель, порушених кар'єрними роботами, і таких, що потребують нагального відновлення, становить близько 200 тис. га. Тільки в Дніпропетровській області для потреб різних галузей народного господарства зараз відчужено 140 тис. га, в т. ч. майже 84 тис. га - сільськогосподарських угідь, з них 58 тис. га - ріллі, а це - майже територія одного адміністративного району. На території Дніпропетровської області є в наявності відходи видобутку, збагачення і переробки залізної, марганцевої, уранової руд, вугілля тощо. Навколо міст з розвинутою промисловістю формуються «промислові пустелі», які не тільки заміняють сільськогосподарські угіддя, але й негативно впливають на навколишнє середовище. У результаті накопичення

відходів гірничодобувної і збагачувальної промисловості відбуваються наступні негативні зміни:

- формується техногенний рельєф (відвали, кар'єри, стави мулонакопичення, хвостосховища та ін.);
- порушується режим підземних вод (дисперсійні воронки, підтоплення, засолення ґрунтів та ін.);
- забруднення сільськогосподарських угідь сполуками, що містять у своєму складі екологічно небезпечні компоненти.

Враховуючи важливість цієї проблеми, в 1994 році в Парижі була ухвалена та відкрита для підписання Конвенція ООН про боротьбу з опустелюванням і деградацією земель, яка набула сили в 1996 році після приєднання до неї 50 держав. На даний час сторонами даної Конвенції є 191 країни світу, а в Україні вона була ратифікована наприкінці 2002 року. Згідно з вимогами даної Конвенції, Україна взяла на себе певні зобов'язання по її виконанню. Тому проблема відновлення порушених земель стоїть дуже гостро. Ця проблема в Україні, як і в усьому світі, гранично загострилася за порогом третього тисячоліття через руйнування природних екосистем відкритим видобутком корисних копалин, постійне розширення промислових пустель. В Україні більшу частину корисних копалин видобувають відкритим способом, що неминуче супроводжується руйнацією біогеоценозів, погіршенням екологічного стану територій. У великому різноманітті способів антропогенного перетворення ландшафтів гірничодобувні роботи відкритим способом мають найбільш

негативні наслідки, адже трансформація і навіть повне знищення ґрунтового і рослинного покриву змінює екологічну ситуацію території: змінюється кора вивітрювання, техногенний ландшафт змінює гідрологічний і гідрогеологічні режими, геохімічні потоки речовин, в біологічний кругообіг залучаються інші, часто токсичні елементи і сполуки. При цьому на поверхню виносяться гірські породи, які мають низьку збагачуваність рухомими сполуками фосфору та мінерального азоту. При відкритому способі видобутку корисних копалин вилучаються із надр, розпоршуються, накопичуються, перемішуються і переміщуються, тобто, опиняються у змінених геохімічних умовах значні маси гірських порід. Вони є якісно новими едафотехнічними компонентами екосистем із специфічним складом та властивостями і взаємодією з навколишнім середовищем і їх успішне біологічне освоєння потребує спеціальних наукових досліджень. Тому проблема рекультивації потребує глибокого теоретичного дослідження, прогнозування екологічних ситуацій, створення спеціальних безпечних технологій біологічної рекультивації техногенних ландшафтів.

Розвиток гірничодобувної промисловості в Україні сприяв накопиченню на її території значної кількості відходів видобутку, збагачення та переробки мінеральної сировини, забрудненню навколишнього середовища колосальними об'ємами техногенних відходів на полігонах, у відвалах, хвостосховищах та інших об'єктах. Однак, вирішення існуючих проблем опустелювання та



деградації земель в Україні ще не набуло пріоритетного характеру. Реформування земельних відносин, зміна форм власності і господарювання на земельні ресурси не призвели до покращення використання земель, їх охорони, підвищення екологоекономічної ефективності господарської діяльності, вирішення існуючих соціально-економічних проблем.

Нині в Україні налічується понад 80 родовищ, з яких 70% розвіданих запасів знаходиться у Криворізькому залізородному басейні. У Криворізькому басейні функціонує близько 90 підприємств різних галузей чорної металургії. Такі найкрупніші підприємства гірничо-металургійного комплексу, як ЗАТ «Криворізький суриковий завод», ВАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», ПрАТ «Північний гірничо-збагачувальний комбінат», ПАТ «Центральний гірничо-збагачувальний комбінат», АТ «Південний гірничо-збагачувальний комбінат», ПАТ «Інгулецький гірничо-збагачувальний комбінат», призводять до формування різних техногенних ландшафтів. Окрім них у Кривому Розі розташовані чисельні хімічні підприємства. Результатом багаторічної діяльності металургійних, хімічних та гірничо-видобувних підприємств національного масштабу є необоротна трансформація геологічного середовища, гідросфери (Леонов, 1970; Малахов, 2003). Відбулось комплексне забруднення ґрунтів, повітря, поверхневих та підземних вод. У такому локальному антропогенному регіоні та на новоутворених техногенних ландшафтах виникли техногенні екосистеми

(Травлєєв, 2000; Сметана, 2007). Унаслідок дії техногенезу на території Криворіжжя відбуваються корінні зміни природних ландшафтів. На новоутворених ландшафтах місце природних ґрунтів займають техногенно-модифіковані породні субстрати, які виконують функції ґрунту. Такі субстрати характеризуються малим вмістом гумусу і елементів живлення, різким зменшенням родючості, збільшеною кількістю промислових токсичних речовин. Трансформація ґрунтового покриву територій з інтенсивним техногенним впливом відображається на всіх компонентах біогеоценозів.

Порушення природних систем набуває ще більш яскравого вираження у потужних індустріальних регіонах держави, одним з яких є Криворізький залізорудний басейн. Територія Кривбасу доволі велика і становить 4,1 тис. км<sup>2</sup>. З них загальна площа порушених земель складає 25 тис. га, в тому числі: відвалів – 7 тис. га; кар'єрів – 4 тис. га; промислових ділянок підприємств – 3 тис. га; шахт – 1,4 тис. га; хвостосховищ – 7,5 тис. га (Сметана, Мазур, 2008). Інтенсивний видобуток і переробка корисних копалин у Криворізькому залізорудному басейні призводить до значного впливу на природне середовище різних хімічних сполук та утворення штучних біогеохімічних новоутворень – хвостосховищ.

Сховища відходів збагачення залізної руди (шламосховища) є небезпечними об'єктами техногенезу. Вони не тільки займають значні площі родючих земель в густонаселених регіонах, але

істотно забруднюють атмосферу, водойми й сільськогосподарські угіддя на прилеглих територіях. Дестабілізація стану довкілля в Україні, у порівнянні з іншими європейськими країнами, має досить виражений високий рівень. Тільки на Криворіжжі під шламосховища зайнято понад 7.5 тис. га земель, негативний вплив яких поширюється на значних територіях. Тому для цього регіону проблеми рекультивації заповнених шламосховищ має важливе як санітарно-екологічне, так і господарське значення.

Порушені землі, безумовно, потребують відновлення, але воно має проводитись з додержанням усіх умов, розроблених фахівцями різних галузей знань. Адже будь-яке виробничо-промислове землекористування поступово переходить після використання території у соціально корисне (рекультивовані землі) або соціально шкідливе (промислові пустирі) використання.

Проведені впродовж останніх п'ятдесяти років дослідження з рекультивації порушених земель в Україні надали багато інформації, яка була узагальнена у численних наукових монографіях, дисертаціях та статтях. Предметом дослідження з рекультивації були розкриті, шахтні гірські породи, варіанти та технології відновлення порушених гірничими розробками земель. Найбільш доцільним з екологічної точки зору є оздоровлення ландшафтів, які утворені на цих територіях шляхом проведення робіт з рекультивації. А в проблемі рекультивації земель, які були порушені шахтним і відкритим способами видобутку корисних

копалин, одним із головних питань є вивчення особливостей ґрунтоутворення в товщі едафотопів та розробка способів прискорення цього складного процесу.

## **1. Характеристика хвостосховищ відходів збагачення залізної руди**

На Криворізьких *гірничо-збагачувальних комбінатах* (ГЗК) із добутої залізної руди отримують **концентрат**, а залишені при цьому відходи переробки переміщують у хвостосховища. **Хвости** надходять у вигляді пульпи (**пісок, вода**).

Здебільшого хвостосховище відгороджується **дамбою**, яка наливається з хвостів і додатково зміцнюється. У хвостосховищі відбувається процес поступового осідання твердої фази хвостів, іноді за допомогою спеціально додавання **реагентів-коагулянтів та флокулянтів**. Відстояна вода піддається очищенню та скидається у локальні водойми або повертається на збагачувальну фабрику для технологічних потреб. В процесі збагачення руд, особливо з низьким вмістом в них корисного компоненту (сполук заліза), утворюється значна кількість відходів – хвостів збагачення. Хвости у своєму складі містять цінні хімічні елементи: залізо, алюміній, марганець, дорогоцінні та рідкісні метали, інші метали і неметали, переважно у вигляді хімічних сполук. Поряд з цим у їх складі присутні і токсичні сполуки – рухомі форми важких металів. Залежно від рельєфу місцевості хвостосховища класифікують за п'ятьма типами:

- ярове (балкове);
- ярово- (балково-) рівнинне;
- рівнинне;
- заплавне;
- косогірне.

Хвостосховища відходів збагачення залізної руди (шламосховища) є небезпечними об'єктами техногенезу. Вони не тільки займають значні площі родючих земель в густонаселених регіонах, але й істотно забруднюють атмосферу, водою й сільськогосподарські угіддя на прилеглих територіях. У цих штучних утвореннях зберігається більше 3,6 млрд. т. дрібнодисперсних високоабразивних шламів. В Криворіжжі під шламосховища зайнято понад 7,5 тис. га земель, негативний вплив яких поширюється на значні території. Тому для цього регіону проблема рекультивації заповнених шламосховищ має важливе як санітарно-гігієнічне, так і господарське значення. При створенні раціональних моделей рекультивації шламосховищ необхідно враховувати такі положення:

- відходи збагачення залізної руди, як субстрат для освоєння рослинністю, має несприятливі водно-фізичні, агрохімічні та біологічні властивості, що унеможлиблює створення на них господарських угідь без покриття шаром ґрунту чи потенційно родючої породи.

- ці відходи містять у своєму складі до 15-17% заліза, а також 7-8% рідкоземельних хімічних елементів, які належать до важких металів.

Відходи збагачення залізної руди (шлами) утворилися в результаті механічного роздрібнення залізорудної сировини на гірничо-збагачувальних комбінатах. За гранулометричним складом – пісок зв'язний або супісок із вмістом фізичної глини 6-13%. В них переважають фракції дрібного піску (25-29,2%), крупного піску (56,9-63,9%). Пористість субстрату – 33-45%. Ці шлами мають слабо лужну реакцію, характеризуються відсутністю гумусу і біофільних елементів, підвищеним вмістом хлоридів, незадовільними для росту рослин водно-фізичними властивостями, низькою зв'язністю, легкою дефляційною здатністю, що утруднює закріплення на них сільськогосподарських культур.

Мінералогічний склад пиловатих дрібнодисперсних частинок хвостосховищ наступний (%):

- магнетит –1,8;
- магнетит +гематит –1,0;
- карбонати – 17,0;
- силікати – 6,0;
- гідроксидизаліза – 5,3%;
- кварц – 64,4%;
- кальцит –4,2;

- апатит – 0,3.

Мінералогічний склад пилюватих частинок хвостосховищ переконливо показує, що в них практично відсутні поживні речовини, які могли б використати рослини для свого мінерального живлення. За даними рентгеноструктурного аналізу, магнітна фракція поточних відходів збагачення на всіх комбінатах представлена, в основному, кварцом та магнетитом, з гематитом та амфіболом у якості основних другорядних компонентів (на деяких ГЗК). Крупнозерниста немагнітна фракція >0,03 мм у відходах всіх комбінатів представлена кварцом і гематитом, доломітом і амфіболом у якості основних другорядних компонентів (на деяких ГЗК). Немагнітна тонкозерниста фракція представлена кварцом. В основному фракція представлена: кварцом, гематитом, гідрослюдою, амфіболом, доломітом. У відходах збагачення Північного та Центрального ГЗК встановлено фракції, що концентрують рідкісноземельні метали – Се, La, Y, Yb, та містять такі компоненти, як Fe, Mn, P, у зв'язку з чим ця частина відходів збагачення може бути корисним компонентом для виготовлення комплексних мікродобрих.

## **2. Коротка характеристика хвостосховищ Кривбасу**

Хвостосховище – це гідротехнічна споруда, комплекс спеціальних споруд та обладнання, які призначені для складування або захоронення радіоактивних, токсичних та інших

відвальних відходів збагачення корисних копалин. На гірничозбагачувальних комбінатах (ГЗК) із видобутої руди отримують концентрат, а відходи переробки переміщують у хвостосховища. Хвости надходять у вигляді пульпи (пісок, вода). Здебільшого хвостосховище відгороджується дамбою, яка наливається із хвостів і додатково зміцнюється. У хвостосховищі відбувається процес поступового осідання твердої фази хвостів, іноді за допомогою спеціального додавання реагентів-коагулянтів та флокулянтів. Відстояна вода піддається очищенню та скидається у локальні водойми або повертається на збагачувальну фабрику для технологічних потреб. На сьогодні в Україні хвостосховища мають усі потужні підприємства з видобутку та переробки сировини. Це: Запорізький алюмінієвий комбінат (ЗАК), Дніпровський алюмінієвий завод, Східний гірничозбагачувальний комбінат (м. Жовті Води), Миколаївський глиноземний завод (МГЗ), Криворізькі гірничо-добувні комбінати та інші. Нормативною базою будівництва і введення в експлуатацію хвостосховищ є державні будівельні норми України ДБН В.2.4-2011 «Хвостосховища і шламонакопичувачі». Ці норми сприяють забезпеченню технологічної та екологічної безпеки хвостосховищ, які експлуатуються підприємствами. Однак, як свідчить практика, екологічні проблеми, пов'язані з хвостосховищами, виникають як під час експлуатації підприємств, так і після виведення останніх з експлуатації.



Особливості будови шламосховища впливають на його характеристики як джерела надходження пилу та екополютантів у довкілля. Зовнішні відкоси дамб і сухі поверхні шламосховища є пиловими поверхнями та джерелами пилового і аерозольного забруднення атмосферного повітря, тобто сприяють потраплянню небезпечних полютантів до людини інгаляційним і травним шляхами.

За оцінками спеціалістів світове споживання мінеральної сировини досягло 12 млрд. тон на рік, а видобуток корисних копалин та металів щорічно складає 100 млрд. тон. В Україні існують підприємства, в яких відходи з видобутку та переробки сировини становлять 1 млрд. т/рік, з яких лише 10–15% використовується в якості вторинних ресурсів. Під складування відходів відведено 160 тис. га, а їх загальний об'єм перевищує 25 млрд. тон. У результаті цього виникають хвостосховища у вигляді попелу, шлаків, шламів.

В Україні великим промисловим гірничорудним регіоном є Криворіжжя. Територія Криворіжжя становить 4,1 тис. км<sup>2</sup>, що складає 0,67% від усієї площі держави. Протяжність з півдня на північ 96 км, з заходу на схід 62 км. Регіон повністю знаходиться у степовій ландшафтній зоні з помірно континентальним кліматом, в басейні середньої течії р. Інгулець та її притоку і частково (на сході) р. Кам'янки (притока р. Базавлук), які, зрештою, всі впадають у головну водну артерію країни – р. Дніпро. В геоморфологічному відношенні район м. Кривий Ріг

представляє собою степову рівнину. Загальний схил поверхні - з півночі на південь. Найбільші відмітки земної поверхні 110-115м, найнижчі 30–40 м. Значну площу поверхні займають балки та яри. Схили балок більшою мірою круті, у більшості балок побудовані штучні водоймища

Завдяки значним покладам залізних руд, історія геологічного вивчення Криворізької структури, або, як ще прийнято називати, Криворізького залізорудного басейну бере свій початок з кінця XVII століття, коли російський академік В.Ф. Зуєв у 1781 р. виявив і описав на берегах ріки Саксагані "залізний шифер". Після відкриття В.Ф. Зуєвим криворізьких залізних руд тільки через сто років (1875) О.М. Поль розпочав їх видобуток і практично поклав початок не тільки гірничо-видобувної промисловості в районі, але й послідовному геологічному вивченню Кривбасу.

Нині Криворізький залізорудний басейн відноситься до гірничопромислових регіонів України з критичним станом довкілля. Проведення протягом багатьох десятиріч (понад 100 років) поверхневих і підземних гірничих робіт на значних площах (сотні км<sup>2</sup>) і глибинах (понад 1000 м), накопичення на денній поверхні значних обсягів твердих і рідких відходів видобутку та збагачення залізних руд (понад 3,0 млрд. т на площі близько 5,3 тис. га, сумарним об'ємом 1,5 км<sup>3</sup>), а також розкривних порід в обсязі 3,5 млрд. м<sup>3</sup> призвели до змін екологічного стану довкілля.

В Кривбасі головні об'єкти гірничодобувної і переробної галузі сконцентровані на відносно незначній площі (330 км<sup>2</sup>), в межах Криворізької промислово-міської агломерації (ПМА) або в безпосередній близькості до її границь. Тут налічується 76 промислових підприємств, серед яких найбільш потужними (не тільки за рівнем продуктивності, а й за впливом на довкілля) є: 5 гірничо-збагачувальних комбінатів (ГЗК), 9 кар'єрів відкритого видобутку залізних руд, 8 діючих шахт і 2 шахти, що працюють виключно в режимі гідрозахисту, Металургійний комбінат «АрселорМіттал Кривий Ріг», КХВ «АрселорМіттал Кривий Ріг», цементний завод обладнання та ін. Кар'єри і відвали простягаються з півночі на південь більш ніж на 160 км, облямовуючи залізорудне родовище. Площа окремих кар'єрів досягає 8 км<sup>2</sup>, а глибина перевищує 300 м. Загальна площа кар'єрів Кривбасу – близько 4,0 тис. га. Площа, зайнята відвалами гірських порід, в 2001 р. складала 60 км<sup>2</sup>, висота їх коливається від 40-90 м, іноді перевищує 100 м, довжина – від 1,0 до 2,5 км. ширина 1,5-2,0 км. У відвалах накопичено понад 3,0 млрд. тонн відходів видобутку та збагачення залізних руд і 3,5 млрд. м<sup>3</sup> розкривних порід. Загальна площа відчужених земель під штучні промислові об'єкти гірничодобувного і переробного комплексів досягає 70 тис. га. Відходи збагачення залізних руд накопичуються в хвостосховищах, які водночас акумулюють шахтні і кар'єрні води. Концентрація відходів збагачення гірничої сировини досягла такого рівня, що вони можуть

розглядатися, як вторинні (техногенні) родовища. З іншого боку – це небезпечні джерела забруднення довкілля і насамперед – водних об’єктів Кривбасу.

Внаслідок майже 50-річної роботи гірничозбагачувальних комбінатів з видобутку та збагачення залізистих кварцитів на території Кривбасу утворились техногенні споруди – хвостосховища, в яких накопичено понад 5 млрд. т відходів збагачення. Щорічне їх утворення становить понад 140 млн. т. Вважається, що з відходами збагачення щорічно втрачається біля 25% заліза та інших компонентів, які можна було би використати в інших галузях промисловості. Криворізькі гірничозбагачувальні комбінати (ГЗК) складають відходи збагачення у хвостосховища (загалом шість об’єктів): балка Петрикова (Північний ГЗК), Войкове (Південний ГЗК), Об’єднане (Південний ГЗК та ГЗК “АрселорМіттал Кривий Ріг”), Міролюбівське (ГЗК “АрселорМіттал Кривий Ріг”), балка Лозоватка (Центральний ГЗК), хвостосховища Інгулецького ГЗК. Хвостосховища займають площу до 10 тис. га, висота огорожувальних дамб наближається до 100 м і термін їх експлуатації закінчується.

На території Криворіжжя розташовано десять великих хвостосховищ.

1. Хвостосховище ПівнГЗК. Експлуатується з 1963 року. Загальною площею 1750 га, рівень води (абс. відм.) 137,9 м. Об’єм шламів - 394,0 млн. м<sup>3</sup>. Мінеральний склад шламів (%): магнетит - 11,7; гематит - 4,32; кварц - 47,34; карбонати -3,70;

слюди і хлорит - 6,52; амфібол і піроксен - 18,96; інші - 3,88.

Вміст пиловидних глинистих часток - 3,08 %.

Щорічно хвостосховище поповнюється. До нього, крім надходження шламової пульпи, здійснюється скид ще й кар'єрних вод об'ємом (2,5 млн. м<sup>3</sup>/рік), мінералізованих шахтних вод (5,5 млн. м<sup>3</sup>/рік), господарчо-побутових умовно очищених стоків (13,0 млн. м<sup>3</sup>/рік), стоків очисних споруд ПівнГЗК (36,15 тис. м<sup>3</sup>/добу), а для поповнення втрат в системі оборотного водопостачання до 1985 р. подавалась вода з р. Саксагань.

Крім названих вод до шламосховища потрапляють атмосферні опади і поверхневі фільтраційні води із побудованих навколо дренажних споруд.

2. Хвостосховище ЦГЗК розміщене у середній частині балки Велика Лозуватка і в паралельно їй розташованій балці Мала Лозуватка, експлуатується з 1961 р. Гребля хвостосховища знаходиться на 4,5 км вище гирла балки, що впадає у Карачунівське водосховище питної води на р. Інгулець. Довжина хвостосховища - понад 7 км, середня ширина - 2,5 км, загальна площа - 1706 га.

До хвостосховища крім надходження пульпи скидають кар'єрні вод (1,66 млн. м<sup>3</sup>/рік), поверхневі фільтраційні води (3,5 млн. м<sup>3</sup>/рік), що надходять з дренажних систем, побутові стоки смт. Петрове, для поповнення втрат у системі оборотного водопостачання закачується вода з р. Саксагань (1,5 млн. м<sup>3</sup>/рік).

3. Хвостосховище ПівдГЗК і НКГЗК розміщене у балках Грушуватій, Велика і Мала Крюкви. Хвостосховище експлуатувалось з 1959 по 1971 р. Відпрацьовано, в значній частині рекультивовано і забудовано, іноді використовується для аварійного скиду шламів. Заскладовано шламів 50,04 млн. м<sup>3</sup>.

4. Хвостосховище ПівдГЗК розміщене на водорозділі у районі балки Грушуватої. Висота дамби - 23 м, відмітка поверхні води – 75 м, площа – 209 га. Відпрацьоване, експлуатувалось з 1964 по 1977 р. Об'єм шламів – 48,5 млн. м<sup>3</sup>.

5. Хвостосховище ПівдГЗК і НКГЗК розміщене на водорозділі у районі балки Грушуватої і балки Вовчище. Відпрацьоване, експлуатувалось з 1955 по 1984 р. Його площа – 504 га, заскладовано шламів 135,7 млн. м<sup>3</sup>.

6. Ставок оборотного водопостачання ПівдГЗК і НКГЗК розміщується у балці Грушуватій і використовується з 1955 р. Його площа 150 га, проектний об'єм - 20,3 млн. м<sup>3</sup>, фактично заповнено – 19,6 млн. м<sup>3</sup>.

7. Хвостосховище Войкове ПівдГЗК розміщене у верхів'ях балок Городувата і Вовча, експлуатується з 1977 р. Площа його 336 га, мінералізація води 21,5 г/л.

8. Хвостосховище Об'єднане ПдГЗК і НКГЗК розміщене на водорозділі (район балок Грушегатої і Вовчище). Загальна площа сховища – 713 га. Мінеральний склад шламів (%): магнетит - 1,8; магнетит + гематит - 1,0; карбонати - 17,0; силікати - 6,0; гідроксиди Fe - 5,3; кварц - 64,4; кальцит - 4,2; апатит - 0,3.

9. Хвостосховище ІНГЗК розташоване поблизу с. Миколаївка, у б. Безіменній, експлуатується з 1965 р. Довжина його - 10,4 км, середня ширина - 2,17 км, площа - 553,2 га. Відмітка рівня води - 101,1 м, об'єм накопичених шламів - 296 млн. м<sup>3</sup>.

10. Хвостосховище Держинське розташоване у центрі Криворізького залізорудного басейну, у Саксаганському районі міста, у басейні р. Саксагань, експлуатується з 1953 р., його призначення - накопичення вод поверхневого стоку і як проміжне сховище для трансформації шахтних вод. Хвостосховище є відсічною частиною Держинського водосховища р. Саксагань, останнє є напірним басейном для скидання води у р. Інгулець через Саксаганський тунель. Площа водозбору водосховища - 199,8 км<sup>2</sup>, середньорічний стік - 61,8 млн. м<sup>3</sup>.

Розташовуються хвостосховища, як правило, на відстані 1-5 км від промислових майданчиків і житлових масивів. Існуючі технології складування відходів збагачення, а також специфічні умови експлуатації хвостосховищ, створюють реальну небезпеку забруднення атмосфери пилом. На підставі вимірів СЕС м. Кривого Рогу встановлено, що в окремих випадках на відстані 3,5 км від хвостосховища концентрація пилу в 5 разів перевищує ГДК. При швидкості вітру 4-9 м/с, на дамбі обвалування концентрація пилу коливається від 32 до 600 мг/м<sup>3</sup>. На відстані 500 м від хвостосховища концентрація пилу досягає від 0,4 до 22,9 мг/м<sup>3</sup>.

Дрібнодисперсні фракції хвостосхощ є джерелом пилу, який викликає у людей захворювання на силікоз та інших патологій дихальних шляхів.

Відкриті поверхні сухих хвостосховищ під впливом вітрових потоків виділяють велику кількість пилу, що забруднює атмосферне повітря житлових масивів і осаджується на значних площах сільськогосподарських угідь. Дослідження процесів знесення поверхонь сухих «пляжів» хвостосховищ є досить актуальним завданням, яке потребує негайного вирішення.

### **3. Огляд сучасних підходів покращення стану хвостосховищ**

Встановлено, що лежалі відходи збагачення комбінату представлені на 49,75 ваг. % фракцією розміром  $> 0,25$  мм, на 24,25 ваг. % – фракцією 0,25– 0,125 мм, на 13,79 ваг. % – 0,125– 0,071 мм, і лише 12,3 ваг. % – розміром. Поточні відходи на 60,3– 97,3 ваг. %. представлені частками розміром 0,25 мм лише 0,01– 4,64 ваг. %. Причому найдрібніші вони на Північному і Інгулецькому ГЗК, крупніші – на ГЗК “МітталСтіл Кривий Ріг” (колишній Новокриворізький) та Південному ГЗК. Характер розподілу матеріалу за фракціями визначений мінеральним складом, розміром зерен та характером зростків магнетиту з іншими нерудними мінералами у вихідних залізистих кварцитах, а також ступенем подрібнення мінеральної сировини на збагачувальних фабриках.



Найбільша кількість Fe відмічена у відходах збагачення Центрального та Північного ГЗК – 14,0 та 14,5 ваг. % відповідно у найдрібнішій фракції. Середньозважений вміст суми рідкоземельних металів складає 339 та 271 г/т, Mn – 412 та 329 г/т, міді – 25 та 15 г/т, фосфору 398 і 650 г/т відповідно на Північному та Центральному ГЗК. У складі відходів знаходяться у незначній кількості важкі метали Pb і Zn, а небезпечного вмісту Cd і Mo не виявлено.

За даними повного хімічного силікатного аналізу, ця фракція поточних відходів збагачення Північного ГЗК вміщує 12,27 %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  та 5,72 % FeO. За даними авторів, поведінка іонів заліза залежить від його кількості та фізико-хімічних умов середовища. Відомо, що наявність у ґрунті заліза (II) може призвести до накопичення його в рослинах до токсичних концентрацій. Однак, якщо ґрунт містить достатню кількість марганцю та фосфору, то залізо (II) переходить у залізо (III), яке накопичується у вигляді органофосфорного заліза і в такому випадку рослина не зазнає негативного впливу на неї закисного заліза.

Таким чином, Кривбасу притаманні всі негативні зміни екологічного стану довкілля, що супроводжують розробку надр та переробку корисних копалин в гірничодобувних регіонах України. Забруднення компонентів довкілля, один з найбільш вагомих чинників негативних змін умов життєдіяльності людини, має багатокомпонентний склад і характеризується значним коливанням вмісту конкретних поллютантів. Це обумовлено

складним і різноманітним характером техногенного впливу на довкілля, особливостями функціонування численних підприємств і техногенних об'єктів різних галузей виробництва.

#### **4. Шляхи підготовки хвостосховищ до проведення на них біологічної рекультивації**

Одним із поширених шляхів підготовки хвостосховищ до проведення на них біологічної рекультивації є мульчування їх поверхні. Мульчування є одним з популярних методів стабілізації поверхні поверхонь, що пилять. Для цього поверхня хвостосховища покривається такими органічними речовинами рослинного походження як солома, сіно, тирса, кора дерев та ін. Мульчування поверхонь хвостосховищ, що пилять, - дійсно важливий захід, оскільки це покращує їх водно-фізичні та біологічні характеристики. Це стосується стабілізації умов вирощування рослин, знижує ризики прояву вітрової та водної ерозій, покращення водної інфільтрації, умов вологозабезпечення (за рахунок зниження випаровування), температурного режиму (завдяки кольору та ізоляційним властивостям). Мульчування є сумісним з розвитком рослин (покращує умови схожості та захищає проростки). Отже, поверхню хвостосховищ зміцнюють або стабілізують застосуванням мульчі. Ефективність різних мульчуючих матеріалів залежить від типу матеріалу та морфології мульчі.

Деякі органічні речовини є ефективними меліорантами, оскільки покращують водопоглинальну, іонообмінну здатність піщаних хвостосховищ. Загальновідомими речовинами органічного походження для забезпечення поживного режиму хвостосховищ є гній, компост, осад стічних вод та муніципальні відходи. Зокрема, для покращення структури та родючості піщаних хвостосховищ застосовують тирсу нормою 25 т/га, золу 1 т/га, гіпс 3 т/га, зелені добрива 50 м<sup>3</sup>/га, гній 10т/га, компост 3т/га, осад стічних вод.

Ще один підхід обумовлений використанням геотекстилю рослинного та мінерального походження, а також суперадсорбентів. Застосування геотекстилю пов'язане із покращенням інфільтрації та дренажу (внаслідок підвищення гідрофізичних властивостей). Рослинний геотекстиль перегниває через два роки. Чотири типи волокнини з бавовни, джуту, агави та кокосу прийшли спеціальне випробування. Після одного року тестування текстиль з кокосу деградував найменше. Було доведено, що кокосовий текстиль зберігався у 15 разів більше ніж бавовниковий та у сім разів довше ніж джутовий.

Інший за природою і принципом виготовлення виробляється німецьким концерном NAUE. Його представником в Україні є будівельна компанія «Геомембрана». Її покриття призначені для відновлення хвостосховищ. Серед цих матеріалів заслуговують на увагу карбофол, бентофікс і зекумат.

Заслуговує на увагу використання для поліпшення хвостосховищ супер-адсорбентів. Супер-адсорбенти - це органічні речовини з підвищеною здатністю до поглинання вологи від 100 до 1000 раз більше, ніж маса самого адсорбенту. Термін існування супер-адсорбенту в субстраті хвостосховища – від 6 місяців до одного року. Переваги супер-адсорбенту: забезпечення ефективного водоутримання, покращення аерації, дренажу та поживного режиму. Для гідромульчування супер-адсорбент змішують з мульчею, зволожують і висівають насіння. Доза внесення супер-адсорбенту 80 кг/га (Sing, 2007).

Мета рекультивації - довести рівень родючості гірських порід хвостосховищ до природного стану за рахунок формування природного ґрунтового профілю та розвитку рослинного покриву під час проходження стадії фітомеліорації гірських порід (Масюк, 1987). Це є інтегральною та життєво важливою частиною схеми рекультивації. Вибір складових схеми рекультивації робиться і контролюється для того, щоб оцінити ефективність формування штучних біогеогоризонтів завдяки направленому підбору компонентів рослинного покриву.

## **5. Способи закріплення пилюватих піщаних поверхонь хвостосховищ**

Піщані пилюваті частинки хвостосховищ під впливом вітру здатні приходити в рух. За швидкості вітру від 4,5 до 6,7 м/сек на висоті 0,1 м від поверхні відбувається рух частинок до 0,25 мм в

діаметрі. За швидкості від 6,7 до 8,4 м/сек розпочинають рухатись частинки діаметром до 0,5 мм, а піщинки діаметром від 1 до 1,5 мм починають рухатись за швидкості вітру коло поверхні хвостосховища 10-13 м/сек. Утворення пилу на хвостосховищах спостерігається вже при швидкості вітру на поверхні 4 м/сек. При сухій погоді піщинки хвостосховищ приходять в рух навіть за нижчої швидкості вітру.

З вологої поверхні хвостосховища пиління піщаної поверхні не спостерігається. Волога поверхня під впливом вітру інтенсивно висихає. Після висихання поверхні частинки менше 0,05 мм і особливо менші за 0,01 мм здатні підніматись вгору і формувати сильний пил.

В 30-ті роки ХХ століття Агрофізичним науково-дослідним інститутом було запропоновано новий спосіб закріплення пісків шляхом цементації їх поверхні бітумною емульсією. Сутність запропонованого методу полягає в тому, що на поверхню хвостосховища, що заздалегідь засіяна насінням, наприклад, жита озимого, шляхом розбризкування наноситься бітумна емульсія. Вода з емульсії порівняно швидко випаровується. Частинки бітуму затримуються на поверхні піску і зв'язують між собою окремі піщинки. Бітумні емульсії представляють собою дисперсні системи, в яких містяться дрібні частинки бітуму до 10 мікрон в діаметрі. Вони не з'єднуються між собою тому, що в цій суміші присутній емульгатор, який сприяє збереженню емульсії. Бітумні емульсії – легкорухомі рідини темного забарвлення. При

звичайній температурі в розбавлених концентраціях вони мають незначну в'язкість. Емульгаторами для бітумних емульсій можуть слугувати молекулярні, колоїдні і грубо дисперсні системи. До колоїдних емульгаторів відносяться мила, жирні кислоти і милоподібні системи, до грубодисперсних – гідрофільні порошки (глина,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ). Механізм створення стійкої емульсії полягає в утворенні навколо частинок бітуму покриву із молекул емульгатора. Основним фактором, який протидіє злипанню частинок, є не самі частинки емульгатора, а гідратні оболонки, які виникають біля них. Оболонки із емульгатора і молекул орієнтованих навколо них частинок води і слугують протидією до злипання між собою частинок бітуму. Для отримання стійких емульсій бітум перед використанням нагрівають до температури  $140^\circ\text{C}$ . При цій температурі бітум не змінює своїх властивостей і в той же час має потрібну в'язкість. В результаті цього утворюється зцементований шар піску, який захищає його від розвіювання.

Цей захід викликає скріплення частинок пилу в верхньому шарі і протидіє руйнівному впливу вітру. Слід відмітити, що цей спосіб призначений для тимчасового захисту рослин від видування в розрахунку на те, що в подальшому сама рослинність буде здатна протистояти шкідливому впливові вітру. Для захисту поверхні від шкідливого впливу вітру достатньо нанести на неї  $100\text{-}150\text{ г/м}^2$  бітуму, або  $1,5\text{ т/га}$  бітуму. Прості розрахунки показують, що при витраті  $1,5\text{ т/га}$  бітуму плівка від

нього буде мати товщину, яка не перевищує 0,15 мм. Слід також відмітити, що бітум не здійснював негативного впливу на рослини. Бітум навіть в самих високих концентраціях і зцементований ним пісок не чинили перешкоди для проростаючого насіння. Варто відмітити, що за рахунок бітумізації поверхні хвостосховища на глибині 5 см, в порівнянні з відкритою поверхнею, особливо в жаркі літні дні, зниження температури становить 6-7°C. Ця обставина дуже важлива для умов росту рослин, так як в цей період виникає реальна небезпека отримання опіку рослин біля кореневої шийки. Крім того під бітумною плівкою підвищений вміст продуктивної вологи, в порівнянні з відкритою поверхнею. Таким чином під бітумом проходить пом'якшення температурного режиму, поліпшуються водні умови, що сприяє успішному росту і розвитку рослин. Проростки насіння легко проростали через бітумну плівку і добре розвивалися і формували більше зеленої маси, в порівнянні умовами без бітуму. Бітуми за своїм кольором подібні до нафти чорного кольору і в хімічному відношенні інертні. Краще всього розбризкувати бітум на поверхні хвостосховища в вигляді водної емульсії.

В 1948 році (Н.І. Болишев, 1948) запропоновано закріплювати пісок глинистою суспензією, при нормі витрат глини 5-7 т/га. Проведені польові дослідження показали, що глина після висихання утворює кірку, яка розтріскується і легко піддається руйнації вітром. Вже за швидкості вітру 12 м/сек глиниста кірка зноситься

вітром і пісок починає рухатись. Але все ж таки, незважаючи на те, що цей спосіб не дав позитивного результату, слід визнати доцільним використання глини в суміші з бітумною емульсією для закріплення пісків.

Пропонується також проводити вкривання пилячої поверхні щитами, але цей спосіб дуже трудомісткий.

Для перехоплювання основної частини вітропіщаного потоку достатньо поставити на їх шляху перепону висотою в декілька десятків сантиметрів. Причиною послаблення вітру можуть бути перепони в вигляді живих або мертвих рослинних залишок. З цією метою було рекомендовано висівати віняче сорго, африканське просо, озиме жито.

## **6. Детоксикація рухомих форм важких металів в складі відходів хвостосховищ Криворіжжя**

В складі відходів хвостосховищ Криворіжжя присутні рухомі форми важких металів (ВМ) (свинцю та кадмію та ін.) в надлишкових концентраціях. Рухомість ВМ (здатність елемента переходити із твердих фаз в розчин) залежить від багатьох факторів, серед яких домінують хімічна природа самих металів та фізико-хімічні властивості відходів. Фітотоксична дія ВМ на рослини залежить від властивостей і концентрації їх в відходах хвостосховищ, а також від біологічних та фізіологічних особливостей самих рослин, які наділені властивостями бар'єрного і безбар'єрного типу накопичення забруднювачів.



Рухомі форми ВМ в першу чергу пригнічують ріст і розвиток рослин. Для зменшення токсичного впливу на рослини ВМ проводиться їх детоксикація. Достатньо ефективним і економічно виправданим є використання природних та штучних сорбентів, глин і глинистих мінералів (цеоліти, вермикуліти, бентоніти тощо). Для хімічного зв'язування катіонів ВМ до складу відходів хвостосховищ можна вносити поташ  $K_2CO_3$  та вапно  $CaCO_3$ , які з катіонами ВМ утворюють слабозчинні сполуки і блокують надходження цих полютантів до кореневої системи рослин.

## **7. Сільськогосподарська рекультивація хвостосхових Криворіжжя**

Розвиток практично-експериментальних та теоретичних робіт з рекультивації техногенних ландшафтних новоутворень Криворізького гірничопромислового регіону настав після введення відкритого способу видобутку залізної руди. Прикладом реалізації даного підходу до використання ресурсного потенціалу України є «Програма використання порушених земель гірничодобувних підприємств у якості відновлювальних елементів екологічної мережі Криворізького залізрудного басейну». Перші спроби рекультивації відвалів та хвостосховищ Центрального і Ново-Криворізького гірничо-збагачувальних комбінатів були здійснені співробітниками Криворізького педагогічного інституту під науковим керівництвом доктора біологічних наук, професора І.А. Добровольського у 70-х роках

минулого століття (Добровольський, Шанда, 1977). Практично в цей же час з ініціативи директора Донецького ботанічного саду Є.М. Кондратюка у Кривому Розі засновано опорний пункт з оптимізації техногенних ландшафтів (що згодом перетворився на криворізький ботанічний сад НАН України).

Переваги проведення масштабних рекультиваційних експериментів силами спеціалізованого наукового підрозділу полягали у можливості залучення до цих робіт чималого уже на той час колекційного фонду Донецького ботанічного саду НАН України. Вторинна інтродукція видів як місцевого, так і флори інших районів у невластиві для них умовах існування дозволили виявити приховані адаптивні можливості ряду рослин, цінних у естетичному та господарському відношенні (Мазур, 1993, Кучеревський, 2001).

Розроблені Криворізьким ботанічним садом НАН України технології створення насаджень на порушених землях (Мазур, Кучеревський, Доценко, 1989; Мазур, Кучеревський, Савосько, 2006; Коршиков, Мазур, Терлига, 2006 та ін.) мають значну перевагу перед існуючими аналогами.

По-перше, вони виключають гірничотехнічний етап рекультивації, який є досить капіталовмісним, потребує залучення спецтехніки, а також не потребують внесення субстратопокращуючих матеріалів (грунту, соломи, тирси та ін.), що значно знижує вартість рекультиваційних робіт.

По-друге, розроблені біологічні способи закріплення пилових поверхонь мають високу пилоутримуючу здатність, не призводять до вторинного забруднення оточуючого середовища, не виявляють токсичної дії і можуть бути застосовані в широкому діапазоні екологічних умов. Агротехнічні заходи по створенню стійких насаджень прості у виконанні і економічно вигідні.

По-третє, рослини, що рекомендуються для створення насаджень на порушених землях, витримують значні перепади вологості, однаково добре ростуть у вологому і сухому середовищі, витримують значне засолення субстратів; зростають без внесення додаткових субстратів, мають високу біологічну активність (самовідновлюються насіннєвим і вегетативним шляхом).

Слід визнати, що на сьогоднішній день у Кривбасі спостерігається певний спад обсягів рекультиваційних робіт, причиною чого є перехід металургійних гігантів у приватну власність. Власники гірничозбагачувальних комбінатів не лише нехтують відповідними екологічними планами, а й навіть займаються протилежною діяльністю, тобто самозахопленням сусідніх земельних угідь. Збільшення обсягів виробництва призводить до зростання техногенних впливів на навколишнє середовище, що на сучасному етапі вже вимагає переходу до коеволюційного розвитку природних, посттехногенних ландшафтів, ландшафтно-техногенних і ландшафтно-інженерних екосистем на основі реалізації ноосферної парадигми.

Наукові досягнення в галузі фіторекультивуації промислових земель (М.О. Бекаревич, М.І. Горбунов, М.Т. Масюк, Л.В. Єстеревська) спонукали до перегляду класичних уявлень про неродючість гірських порід. Інформація ж палеоекологічна, яку здобули на тих же об'єктах О.Г. Набоких, В.І. Крокос, О.І. Москвітін, О.О. Кіреєв, М.Ф. Веклич та їх послідовники, поки що є малозапитною.

Перші польові дослідження із сільськогосподарської рекультивуації порушених земель у степовій зоні України були розпочаті ще в 1962 році аспірантом кафедри ґрунтознавства Дніпропетровського сільськогосподарського інституту професором Масюком Миколою Трохимовичем під науковим керівництвом професора М. Є. Бекаревича.

За тривалий період розвитку рекультивуація земель з вузько відомчої перетворилась в глобальну екологічну проблему і нову область знань, що розвивається на стику біологічних, геологічних, гірничотехнічних і соціально-економічних наук. За цей час у Дніпропетровському аграрно-економічному університеті сформувалась наукова школа з рекультивуації земель, результати роботи якої стали широко відомі за межами України. Мережа дослідних станцій охоплювала найбільші родовища корисних копалин степової чорноземної зони – Нікопольський марганцеворудний, Криворізький та Камиш-Бурунський залізорудні басейни, Вільногірське родовище поліметалевих руд,

родовище кам'яного та бурого вугілля у Західному Донбасі та Кіровоградській області.

Дослідження з рекультивації порушених земель виконуються за комплексною програмою у творчій співдружності з науково-дослідними і проектними інститутами, навчальними закладами, підприємствами як близького, так і далекого зарубіжжя. У результаті багаторічної роботи були створені раціональні моделі штучних едафотопів стосовно до окремих родовищ і зональних умов.

Хоча розробка наукових основ оптимізації техногенних ландшафтів є очевидною за своєю актуальністю і є одним із глобальних першочергових питань сучасної промислової ботаніки та фітоекології, новітні наукові здобутки у цій галузі здебільшого залишаються незадіяними у виробничій сфері. Так, за результатами 2008-2010рр. підприємства Кривого Рогу виконали гірничотехнічну рекультивацію на площі 16 гектарів, що становить 60% від запланованого обсягу; план же біологічної рекультивації виконано лише на 51% (Шишка, 2011). До того ж розвиток біогеоценозів порушених земель якісно відрізняється від природних.

Утім, навіть у разі отримання успішних результатів фітооптимізації, про що свідчить аналіз досвіду рекультиваційних робіт у Криворіжжі, штучно створені рослинні угруповання через певний час опиняються на шляху саморозвитку. Тому біологічна рекультивація хвостосховищ є

одним із найдешевших і безумовно естетичним засобом зменшення пилового забруднення повітряного басейну регіону. Дослідження, виконані вченими, переконливо показали, що на гірських породах можна вирощувати спеціально підібрані стійкі до несприятливих умов рослини. Такі штучно створені едафотопи, сформовані з потенційно родючих гірських порід, Л.В. Етеревська назвала літоземами (Горбунов, Бекаревич, Етеревська, 1971).

## **8. Перспективи використання посівів озимого жита і озимого тритикале для сільськогосподарської рекультивації пилячих поверхонь хвостосховищ**

В зв'язку з дефіцитом продуктивної вологи в складі відходів збагачення залізної руди (шламів), для сільськогосподарської рекультивації хвостосховищ бажано використовувати озимі культури, які зможуть використати в більш повній мірі невеликі запаси продуктивної вологи, що накопичуються шламами хвостосховищ в осінньо-зимовий і ранньовесняний періоди. Серед озимих культур для цієї мети найбільш перспективним є використання *озимого жита або озимого тритикале*. Це пов'язано з тим, що ці культури не вибагливі до несприятливих умов навколишнього середовища. Жито краще росте на бідних ґрунтах, ніж більшість зернових культур. Жито озиме і тритикале озиме сіють в середині вересня і при сівбі вносять фосфоровмісні добрива дозою  $P_{10}$ . Припосівне внесення добрив сприяє

інтенсивному розвитку кореневої системи на початку онтогенезу. Висяє зерно цих сільськогосподарських культур починає проростати при температурі 1-2 °С, а сходи з'являються на поверхні ґрунту при 4-5°С. Для нормального розвитку рослин восени сума ефективних температур від сходів до припинення осінньої вегетації повинна складати 400-500°. Для повного циклу розвитку скоростиглих сортів потрібний 1000-1700°, середньоспілих – 1200 -1800°, пізньостиглих – 1300-1900°.

Серед озимих хлібів жито – сама морозостійка культура. Добре розвинені рослини витримують зниження температури на глибині залягання вузла кущення до -20 – -25°С. У безсніжні зими воно легко витримує морози до -25°С, а при доброму загартуванні йому не шкодить зниження температури повітря до -35°С. Озиме жито відновлює вегетацію рано навесні і швидко росте. Жито озиме найшвидше серед зернових культур починає весняне відростання, вже при температурі +2-3°С. Озиме жито і тритикале озиме належать до порівняно посухостійких рослин, що пов'язано з могутнішою і глибшою, чим у інших зернових культур, кореневою системою. На створення 1 ц зерна ці культури в середньому витрачають 6-8 мм запасів ґрунтової вологи. Рослини цих сільськогосподарських культур мають високу холодостійкість, посухостійкість, здатність засвоювати з ґрунту труднодоступні форми фосфору. Активний ріст рослин восени відбувається до настання стійкого похолодання із середньодобовою температурою 4-5°С. Навесні жито раніше

відростає, ніж пшениця, і приблизно на 7-10 днів швидше досягає. Жито менш вимогливе до вологи, ніж озима пшениця. Воно досить ефективно використовує осінньо-зимові опади і краще витримує весняні посухи завдяки добре розвиненій кореневій системі. Проте в суху осінь сходи бувають досить зрідженими і рослини погано кущяться. Жито менш вимогливе до вологи, ніж пшениця озима. Транспіраційний коефіцієнт у жита нижчий, ніж у озимої пшениці (340-420). Воно легко витримує весняні посухи. Все ж озиме жито досить негативно реагує на ґрунтову й повітряну посуху. Особливо шкодить жити ґрунтова посуха у період трубкування рослин, коли формуються генеративні органи. Озиме жито добре використовує поживні речовини з важкорозчинних речовин ґрунту, позитивно реагує на внесення фосфорних добрив, завдяки яким краще розвиваються коренева система і надземні органи, а також ефективніше засвоюється рослинами азот.

Поряд з озимим житом на хвостосховищах можна вирощувати озиме тритикале. Пшенично-житні гібриди (*Triticale*) володіють підвищеною зимостійкістю, стійкістю проти грибних і вірусних хвороб, зниженою вимогливістю до родючості ґрунту, оскільки рослини цієї сільськогосподарської культури мають добре розвинену кореневу систему, яка глибоко проникає в шлам хвостосховища. Коренева система тритикале мичкувата, з добре розвиненими вузловими коренями, проникає у ґрунт на глибину до 1,5 м і глибше. Відзначається високою фізіологічною



активністю, що сприяє гарному розвитку рослин на недостатньо родючих ґрунтах, в тому числі і на шламах хвостосховищ. Зернівки крупніші, ніж у жита і пшениці. Маса 1000 зернівок становить 40-60 г. Зерно цієї культури крупніше від житнього і може довше використовувати поживні речовини (ендосперму зерна) під час проростання, завдяки цьому в осінній період формуватимуться крупніші за розміром рослини. Тритикале значно краще, ніж пшениця, здатне протистояти низьким температурам, хворобам і шкідникам.

Мінімальна температура проростання насіння тритикале  $5^{\circ}\text{C}$ , оптимальна –  $20^{\circ}\text{C}$ , а максимальна –  $35^{\circ}\text{C}$ . Ку щиться воно переважно восени, але також продовжує цей процес навесні. Критична температура для тритикале в зимовий період –  $18-20^{\circ}\text{C}$ , причому воно більш стійке до несприятливих факторів вегетації рослин узимку й навесні, ніж пшениця.

Ці культури за осінній і ранньовесняний періоди встигають розку щитись і сформованою кореневою системою та стеблами міцно утримувати пи луваті частинки шла мів хвостосховищ від видування їх вітром (рис.1).



**Рис.1. - Посів жита озимого на хвостосховищах  
Криворізького залізорудного басейну**

Ці посіви продовжують свою вегетацію до фази виходу в трубку (рис. 2). Після цієї фази розвитку посіви гинуть у зв'язку з великим дефіцитом в шламах продуктивної вологи. До цієї фази розвитку вони встигають сформувати відносно велику вегетативну масу і добре розвинену кореневу систему. Завдяки кореневій системі і сформованій вегетативній масі відбувається гальмування швидкості вітру і таким чином утримання частинок шламів хвостосховищ від пиління. Завдяки даному агрозаходу можливе поліпшення екологічних умов у районах розташування хвостосховищ за рахунок зменшення рівня запилення атмосферного повітря.



Рис.2 - Рослини жита озимого в фазі куцнення на шламосховищах Криворіжжя

## ВИСНОВКИ

1. Закріплення поверхні, що виділяє пил, можна провести двома перспективними способами: а) за рахунок використання безпечних в'язучих речовин; б) висіванням озимих зернових колосових культур, стійких до посухи та толерантних до техногенного забруднення шламів хвостосховищ рухомими формами важких металів.

Перед початком проведення сільськогосподарської рекультивації обов'язково виконують детоксикацію рухомих форм важких металів хвостосховищ шляхом внесення еквівалентної кількості до вмісту в шламі катіонів важких металів сорбентів-меліорантів.

2. Заслуговує на увагу спосіб закріплення пилоутворюючих поверхонь за рахунок використання в'язучих речовин. Використання в'язучих речовин, за допомогою яких відбувається закріплення пилових поверхонь від видування з них пилових частинок, дає змогу зібрати пиловаті частинки в крупні агрегати, які вітер не здатний видути і відірвати від поверхні.

3. В'язучі речовини, які використовуються для закріплення поверхні, що виділяє пил, повинні бути безпечними для людей та рослинності. Для закріплення рекомендується використовувати бітумні емульсії від 20% до 30% концентрації та інші речовини (високодисперсну глину та синтетичні водорозчинні полімери, продукти переробки вугілля, сланців, нафти тощо), а також

грунти (щебінь, суглинок тощо) шаром від 5 см до 30 см і більше. Технологія закріплення поверхні в'яжучими речовинами включає: виготовлення водних розчинів закріплювача, вирівнювання, зволоження (від 5 л/м<sup>2</sup> до 6 л/м<sup>2</sup>) та ущільнення поверхні, розливання закріплювачів по поверхні (від 3 л/м<sup>2</sup> до 6 л/м<sup>2</sup>).

4. Для виконання цих робіт рекомендується використовувати бульдозери, поливальні машини, самохідні катки, автогудронатори, сільгоспмашини тощо, а також цивільну авіацію.

5. На працюючих спорудах, які мають недостатню несучу здатність для можливості проходження машин, пілопригнічення рекомендується здійснювати безконтактними засобами із застосуванням авіації (наприклад, гелікоптерів МИ-2 і МИ-8) або із застосуванням методу змочування потоками води. Кількість в'яжучих речовин, оптимальну висоту польоту, ширину гону, тривалість обприскування з однієї заправки, тривалість заправки та маневрування гелікоптера і періодичність виконання робіт із пілопригнічення визначають у процесі виконання наземних підготовчих робіт та здійснення пробних польотів.

6. Для змочування поверхні потоками води застосовують далеко- струменеві дощувальні установки з радіусом дії від 35 м до 75 м, які монтують на розподільному водогоні на стояках (рівномірно по периметру накопичувача або його секції). Дощування здійснюється обертанням ствола з далекоструменевим апаратом по колу чи у заданому секторі,

витрата води апаратом становить від 11 л/с до 55 л/с в залежності від його марки.

7. Перспективним напрямком утримання пилонабезпечних поверхонь хвостосховищ від пилоутворення є висівання насіння стійких до посухи рослин. Серед існуючого видового складу сільськогосподарських культур для пилопригнічення найбільш доцільним є використання озимих зернових культур, зокрема озимого жита або озимого тритикале. В даному випадку за рахунок висівання на цих поверхнях озимих зернових колосових посухостійких культур, толерантних до техногенного забруднення рухомими формами важких металів, відбувається затримання корінням і надземною масою пиловатих частинок шламів хвостосховищ від видування їх вітром.

## РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

Серед існуючих способів пилопригнічення найбільш перспективним і економічно вигідним є висівання восени в оптимальні строки в рекомендованих нормах висіву озимих зернових колосових культур, стійких до посухи і толерантних до техногенного забруднення рухомими формами важких металів, - озимого жита і озимого тритикале з одночасним припосівним внесенням фосфоровмісних добрив дозою  $P_{10}$ . За рахунок сформованої кореневої системи і надземної маси відбувається пилопригнічення з поверхні хвостосховища.

## Список використаної літератури

1. Захаров Н.Г., Ревут И.Б. Новый способ закрепления подвижных песков. – Сельхозиз, 1954.- 142 с.
2. Биологическая рекультивация нарушенных земель // Материалы Международных совещаний. – Ек-г: Ботанический сад УрОРАН, 2003. – 615 с.
3. Головач О. М., Демків О. Т. Фіторемідація – ефективний метод очищення забруднення важкими металами ґрунтів // О. М. Головач, О. Т. Демків / Науковий вісник Львівської національної академії ветеринарної медицини імені С. З. Гжицького, 2003. – Т. 5. – № 4. – С. 21-27.
4. Григор'єва Л. І. Використання різних методів пілопригнічення для зменшення надходження шкідливих поліутантів у навколишнє середовище / А. М. Огородник, Л. І. Григор'єва, Ю. А.Томлін, Ю. О. Кутлахмедов // Наукові праці. Серія : «Техногенна безпека». – 2010. – С. 26-32.
5. Ильин В. Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение. – Новосибирск: Наука, Сиб. отдел-е, 1991. – 151 с.
6. Ильина Т. Н. О закреплении пылящих поверхностей техногенных материалов / Т. Н. Ильина, С. Д. Михайлова // Вестн. БГТУ. – 2003. – № 6. – С. 39-42.
7. Ильченкова С. А. Защита от ветровой эрозии и повышение биопродуктивности насыпных отвалов и рекультивируемых площадей / С. А. Ильченкова, Н. А. Гаспарьян // Записки Горного института – СПб. : СПГИ, 2004, т. 159, часть 1-е. – С. 43–46.
8. Ищук И. Г., Поздняков Г. А. Средства комплексного обеспылевания горных предприятий. Справочник. – М. : Недра, 1991. – 253 с.
9. Каненко Г. М. и др. Технологии по подготовке и утилизации пылей и шламов металлургического предприятия // Збірник матеріалів Міжнародної науково-технічної конференції. – К. : Знання, 2000. – С. 111–116.
10. Капелькина Л. П. Экологические аспекты оптимизации техногенных ландшафтов. – СПб.: Наука, ПРОПО, 1993. – 190 с.



11. Михайлов В. А., Бересневич П. В. Борьба с пылью в рудных карьерах. – М. : Недра, 1981. – 262 с.

12. . Мочалов В. И., Мосин С. В. Анализ существующих способов и средств пылеподавления на хвостохранилищах железорудных горнообогатительных комбинатов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – М. : МГГУ, 2000. – № 5. – С. 181–183.

13. Ожогин В. В. Утилизация пылевидных отходов – важное звено в создании экологически чистых металлургических технологий // Черная металлургия, 2006. – № 7. – С. 67–70.

14. Салій І. В. Перспективні способи боротьби з пилоутворенням, як фактор покращення умов праці на підприємствах Кривбасу та стану довкілля // Вісник КНЕУ, 2009. – № 4(20). – С. 114-120.

15. Сеница И. В. Разработка и исследование параметров способа закрепления пылящих поверхностей хвостохранилищ // Автореф. дисс. канд. техн. наук – Тула : Тульский государственный ун-т., 2009. – 23 с.

16. Сметана С. М. Підвищення екобезпеки зовнішніх відвалів при формуванні протипилового рельєфу та вторинних екосистем // Екологія і природокористування: збірник наукових праць Інституту проблем природокористування та екології НАН України. – Дніпропетровськ, 2012. – Вип. 15. – С. 79–88.

17. Ушаков В. В., Браунер Е. Н. Закрепление пылящих поверхностей хвостохранилищ горно-обогатительных предприятий Забайкалья // Материалы Международной научной конференции им. акад. М. А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр». – Томск, 1998. – С. 72–73.

18. Шувалов Ю. В. Снижение интенсивности пылеобразования и пылепереноса с поверхности техногенных массивов / Ю. В. Шувалов, А. П. Бульбашев, С. А. Ильченкова, Н. А. Гаспарьян, А. Н. Никулин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – М. : МГГУ, 2004. – № 3. – С. 189-192.

19. Edwards C. A. The effects of contaminants on the structure and function of soil communities // 11 Int. Collog. Soil Zool. – Jyvaskyla, 1992 – P. 136.

20. <https://kdpu.edu.ua/pryroda-kryvorizhzhia/pryroda-ta-liudy/ekolohichna-stori nka/3217 -konstruktyvno-heohrafichni-osoblyvosti-polipshennya-uchasnoho-stanu-hirnychopromyslovykh-landshaftiv.html>







## ДЛЯ НОТАТОК

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Відповідальний за випуск

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ  
АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ,  
49600, м. Дніпро, вул. Сергія Єфремова, 25,  
т. (056) 744-81-32, info@dsau.dp.ua

Замовник

ТОВ «НВО «РЕМА»,  
49038 Україна,  
м. Дніпро, вул. Ярослава Мудрого, 68,  
+38 (050) 841 00 99, +38 (067) 841 00 99,  
rema\_office@ukr.net

Підписано до друку 05.07.2020  
Формат 60x84/0,25

Умовн. друк. арк 42 А5  
Наклад 258 прим. Зам. №342

Надруковано в ТОВ підприємство «Дріант»

м. Дніпро, пр. С. Нігояна, 55  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
ДК № 6593 від 28.01.2019 р.