

В.М. Савосько

ХІМІЧНА ДЕТОКСИКАЦІЯ СУБСТРАТІВ ШАХТНОГО ХВОСТОСХОВИЩА КРИВОРІЖЖЯ

хімічна детоксикація, хвостосховища, техногенні едафотопи, Криворіжжя

Вступ

Інтенсивний розвиток гірничорудної промисловості у другій половині ХХ сторіччя зумовив утворення величезних площ порушених земель, які чинять потужний негативний вплив на стан довкілля індустріальних регіонів [2, 3, 10, 12]. Однак широкомасштабна оптимізація таких земель за рахунок проведення повноцінної рекультивації гальмується фінансовими (брак коштів) та організаційними (відсутність достатньої кількості пухких гірських порід та гумусовмісних ґрунтів) причинами. Також слід відзначити, що за сучасними тенденціями окремі різновиди порушених земель, зокрема хвостосховища, слід розглядати як перспективні техногенні родовища. Тому при їх рекультивації вкрай недоцільно нанесення гірських порід та ґрунту [10, 12].

У зв'язку з цим дуже актуальним при рекультивації хвостосховищ є створення рослинного покриву безпосередньо на їхніх субстратах [5, 6, 11]. Однак вони характеризуються дуже несприятливими фізико-хімічними властивостями та негативно впливають на ріст та розвиток рослин [14, 15]. Тому так перспективна розробка інноваційних технологій попередньої детоксикації субстратів порушених земель.

Проблема хімічної детоксикації забруднених земель неодноразово ставала темою наукових публікацій, де проаналізовані різноманітні технології оздоровлення забруднених територій залежно від якісних та кількісних характеристик забруднень, фізико-географічних особливостей місцевості та організаційно-економічних можливостей [1, 4, 7, 9]. Однак, незважаючи на це, один важливий аспект оздоровлення забруднених земель залишився поза увагою наукової спільноти. Так, у більшості випадків дослідники вивчали забруднення та санацію переважно природних ґрунтів, тоді як проблема детоксикації техногенних субстратів порушених земель практично не відображена у наукових публікаціях.

Важливим питанням детоксикації забруднених ґрунтів і техногенних субстратів є обґрунтування вибору ефективних меліорантів залежно від їхньої екологічної безпеки, технологічної ефективності та економічної рентабельності [4, 13, 16]. У лабораторних та польових умовах було перевірено доцільність використання близько ста різноманітних за фізичним станом, походженням, складом та ефектом дії речовин. Проте на сьогодні немає однозначної відповіді щодо безальтернативного використання того чи іншого меліоранту.

Останнім часом для оцінювання успішності детоксикації ґрунтів та техногенних субстратів перспективним вважається використання методів прямого фітотестування [1, 2, 9, 16]. В якості тест-об'єктів застосовують низку видів судинних рослин, зокрема й люцерну посівну. На нашу думку, цей вид є актуальним для прямого фітотестування, так як він рекомендується для створення стійких культурфітоценозів в умовах техногенних ландшафтів [3, 6, 11]. Тому використання люцерни посівної в якості тест-об'єкта дасть змогу значно прискорити перехід від лабораторних досліджень до польових, а в подальшому до практичних природоохоронних технологій.

Серед територій порушених земель Криворіжжя особливе місце, з наукової точки зору, займають шахтні хвостосховища. Вони були збудовані майже при кожному руднику у 50–60-их роках минулого століття, а на початку 70–их років були залишені без використання [10, 12]. Тому наразі шахтні хвостосховища Криворіжжя являють собою унікальні наукові полігони, на яких розробляються інноваційні технології оптимізації порушених земель.

Мета роботи

Мета роботи – встановити за допомогою методів фітотестування ефективність хімічної детоксикації субстратів шахтного хвостосховища Криворіжжя та намітити перспективи її подальшого використання при оптимізації порушених земель.

Об'єкт та методи дослідження

Об'єктами дослідження були обрані субстрати хвостосховища шахти ім. Артема-2 на Криворіжжі. Зразки відбирали методом конверту з поверхневого шару 0–20 см на ділянках з типовими еколого-едафічними умовами. Субстрати хвостосховища характеризуються [15]: відсутністю гумусового шару; лужною реакцією ($pH_{H_2O} - 7,5-9,2$; $pH_{KCl} - 7,6-8,6$) та несформованістю ґрунтового вбірного комплексу (сума обмінних основ – 2–8 мг.-екв./100 г ґрунту).

Хімічну детоксикацію субстратів шахтного хвостосховища проводили в умовах модельного експерименту за наступною програмою: 1) внесення меліоранту, 2) інкубація, 3) оцінка фітотоксичності. В якості хімічних меліорантів були використані: 1) розчини: а) водогінна вода (10, 20, 30 м³/га), б) 0,002 Н Трилон Б (10, 20, 30 м³/га), в) 0,001 % гуматів (10, 20, 30 м³/га); 2) суміші: а) простий суперфосфат (50, 10, 150 кг діючої речовини на 1 га, б) крейда (1, 3, 5 тон фізичної маси на 1 га).

Після внесення меліоранту та ретельного перемішування зразки субстрату залишали у лабораторних умовах відповідно на 9, 18, та 29 днів. В якості контролю використовували зразки субстратів, які зрошували водою до рівня повної польової вологості та залишали на час інкубації.

Оцінювання токсичності субстратів проводили методом прямого фітотестування. Для цього зразки переносили у чашки Петрі, змочували дистильованою водою до отримання «водного дзеркала» та накривали фільтрувальним папером. Як тест-об'єкт використовували люцерну посівну – *Medicago sativa* L. 'Надія'. Насіння попередньо замочували при температурі +27...+28°C. У подальшому проростки переносили на фільтрувальний папір та вирощували при природному рівні освітленості і температурі +25°C. На сьому добу вимірювали приріст головного кореня.

На основі отриманих результатів розраховували кореневий індекс (КІ) [17] та проводили статистичну обробку даних на 95% рівні значимості [8].

Результати досліджень та їх обговорення

Детоксикація розчинними формами меліорантів. Серед заходів оптимізації забруднених земель промивання водою окремих ділянок вважається технологічно найпростішим заходом, який з цього приводу має найдовшу історію застосування [1, 4, 13]. На думку експертів, вода розчиняє хімічні сполуки токсичних елементів та вилуговує їх за межі кореневмісного шару, зумовлюючи таким чином детоксикацію ґрунтів [4].

Отримані у результаті модельних дослідів дані свідчать про позитивний вплив водогінної води на ефективність детоксикації субстратів шахтного хвостосховища Криворіжжя (табл. 1). Проте у більшості випадків, за відсутності статистично достовірної відмінності експериментальних даних від даних контролю, можна стверджувати лише про наявність тенденції. Виключення з цього становлять варіанти досліду з максимальним терміном інкубації меліоранту (29 днів), а також середнім терміном інкубації (18 днів) та максимальною дозою внесення меліоранту (30 м³/га), де спостерігається достовірне зменшення фітотоксичності субстратів. Про зазначену закономірність також свідчать максимальні для водогінної води значення корневих індексів (див. табл. 1).

Аналіз експериментальних даних показує, що між ефектом детоксикації, з одного боку, та дозою внесення меліоранту і терміном інкубації, з іншого боку, існує чітка залежність. Отримані коефіцієнти кореляції підтверджують цю думку та вказують на наявність прямого та сильного зв'язку. Тому в подальшому, використовуючи кореляційно-регресійні прогнози розрахунки, можна запропонувати найбільш ефективну технологію детоксикації субстратів шахтних хвостосховищ шляхом промивання водогінною водою їхнього кореневмісного шару.

Таблиця 1. Вплив розчинних меліорантів на фітотоксичність субстратів шахтного хвостосховища Криворіжжя

| Варіант досліджу | Показники тест-об'єкта** | | | | | |
|--------------------------|--|------|---|------|---|------|
| | довжина головного кореня на 9-й день, мм | КІ | довжина головного кореня на 18-й день, мм | КІ | довжина головного кореня на 29-й день, мм | КІ |
| | M±m | | M±m | | M± m | |
| водогінна вода | | | | | | |
| контроль | 25,60±1,30 | – | 25,88±1,51 | – | 25,20±0,89 | – |
| 10 м ³ /га | 27,00±1,30 | 1,05 | 26,79±1,14 | 1,04 | 28,90±1,24* | 1,15 |
| 20 м ³ /га | 27,10±1,40 | 1,06 | 27,48±1,09 | 1,06 | 28,60±1,34* | 1,13 |
| 30 м ³ /га | 27,20±1,39 | 1,06 | 29,79±1,78* | 1,15 | 29,30±1,04* | 1,04 |
| 0,002 Н розчин Трилону Б | | | | | | |
| контроль | 25,60±1,30 | – | 25,88±1,51 | – | 25,20±0,89 | – |
| 10 м ³ /га | 15,20±0,91* | 0,59 | 17,76±0,67* | 0,69 | 19,30±0,65* | 0,77 |
| 20 м ³ /га | 14,12±0,83* | 0,55 | 17,55±0,71* | 0,68 | 16,30±0,68* | 0,65 |
| 30 м ³ /га | 12,70±0,72* | 0,50 | 14,67±0,56* | 0,57 | 12,90±0,43* | 0,51 |
| 0,001 % розчин гуматів | | | | | | |
| контроль | 25,60±1,30 | – | 25,88±1,51 | – | 25,20±0,89 | – |
| 10 м ³ /га | 26,30±1,41 | 1,03 | 26,52±1,22 | 1,02 | 25,90±0,38 | 1,03 |
| 20 м ³ /га | 29,12±1,14* | 1,14 | 29,15±0,52* | 1,13 | 27,80±0,89* | 1,10 |
| 30 м ³ /га | 28,43±1,23 | 1,11 | 25,70±0,88 | 0,99 | 26,70±0,72 | 1,06 |

П р и м і т к и: тут и в табл.2: M±m – середнє арифметичнє значення ± похибка; КІ – кореневий індекс. * – відмінність з контролем статистично значима (P<0,05); **–тест-об'єкт – проростки *Medicago sativa* L. 'Надія'.

За сучасними уявленнями, Трилон Б (Комплексон III, EDTA) – це унікальна хімічна речовина, яка за рахунок утворення хелатних зв'язків здатна вилучати з розчинів певні хімічні елементи, зумовлюючи таким чином протекторний ефект та детоксикацію довкілля [4, 7, 16].

Модельними досліддами доведено, що промивання зразків субстратів шахтного хвостосховища 0,002 Н розчином Трилону Б значно посилює фітотоксичність цих зразків. Так, для всіх варіантів досліджу (за терміном інкубації та дозою меліоранту) встановлено статистично достовірне пригнічення приросту головного кореня тест-об'єкта (див. табл. 1). Наведену думку також підтверджують мінімальні чисельні значення корневих індексів.

Отримані результати посилення фітотоксичності субстратів шахтного хвостосховища після промивання розчином Трилону Б можна пояснити наступним чином. Потрапивши до розчинів субстратів, Трилон Б починає активно взаємодіяти з хімічними елементами твердої фази та колоїдних часток. Внаслідок цього потенційно фітотоксичні хімічні елементи (ймовірно це лужно-земельні елементи та важкі метали) стають більш мобільними, зумовлюючи таким чином збільшення рівнів фітотоксичності субстратів. Також можна припустити, що утворення хелатних сполук хімічних елементів з Трилоном Б посилює їх надходження до кореневої системи тест-рослин, що також зменшує ефект детоксикації субстратів.

Численні дослідження неодноразово підтверджували потужний протекторний ефект природних та штучно отриманих гумусових сполук [4, 13, 16]. Тому цілком закономірно, що промивання субстратів шахтного хвостосховища 0,001 % розчином гуматів зменшує їхню фітотоксичність (див. табл. 1). Проте статистично достовірний ефект детоксикації був виявлений лише для окремих варіантів досліду: середня доза внесення меліоранту (20 м³/га) для всіх термінів інкубації. Приріст головного кореня у відзначених варіантах збільшився порівняно з контролем на 11–14%. Також слід відзначити, що ефект детоксикації характеризується зворотним напрямком зв'язку з терміном інкубації. Максимальні його значення було виявлено при мінімальній інкубації 9 днів (КІ=1,14). Після самої довшої інкубації зразків ефект детоксикації був найменший (КІ=1,10).

Детоксикація твердими формами меліорантів. Відповідно до уявлень сучасної агрохімії, суперфосфат вважається мінеральним добривом, що поповнює вміст фосфору в ґрунтах. Однак останнім часом була підтверджена здатність суперфосфату утворювати малорозчинні сполуки з певними хімічними елементами: важкими металами та лужноземельними елементами [4, 16]. Тому вважається перспективним використовувати суперфосфат і в якості хімічного меліоранту з метою санації забруднених територій.

Аналіз експериментальних даних показує, що застосування суперфосфату характеризується різноманітним впливом на зміну фітотоксичності субстратів шахтного хвостосховища (табл. 2). Так, при мінімальній інкубації (9 днів) виявлено статистично достовірне пригнічення росту головного кореня тест-рослини у варіантах досліду з середньою (100 кг д. р./га) та максимальною дозами меліоранту (150 кг д. р./га). Про зазначену закономірність також свідчать чисельні значення КІ, які знаходяться у межах 0,84–0,86. Максимальний термін інкубації (29 днів) меліоранту при мінімальній дозі (50 кг д. р. / га) зумовлює зменшення рівнів фітотоксичності зразків субстрату – КІ=1,25.

Таблиця 2. Вплив твердих меліорантів на фітотоксичність субстратів шахтного хвостосховища Криворіжжя

| Варіант досліду | Показники тест об'єкта** | | | | | |
|------------------|--|------|---|------|---|------|
| | довжина головного кореня на 9-й день, мм | КІ | довжина головного кореня на 18-й день, мм | КІ | довжина головного кореня на 29-й день, мм | КІ |
| | M±m | | M±m | | M±m | |
| суперфосфат | | | | | | |
| контроль | 25,60±1,30 | – | 25,88±1,51 | – | 25,20±0,89 | – |
| 50 кг д. р. / га | 26,80±1,40 | 1,05 | 27,15±0,94 | 1,05 | 31,61±0,72* | 1,25 |
| 100 кг д. р./га | 21,61±1,11* | 0,84 | 25,91±1,06 | 1,01 | 24,92±0,71 | 0,99 |
| 150 кг д. р./га | 22,14±1,10* | 0,86 | 23,30±1,15 | 0,91 | 23,21±0,66 | 0,92 |
| крейда | | | | | | |
| контроль | 25,60±1,30 | – | 25,88±1,51 | – | 25,20±0,89 | – |
| 1 т ф. м. /га | 30,21±1,20* | 1,18 | 30,64±1,36* | 1,18 | 29,01±1,25* | 1,15 |
| 3 т ф. м. /га | 31,92±1,12* | 1,25 | 31,67±1,32* | 1,22 | 30,11±1,14* | 1,14 |
| 5 т ф. м. /га | 29,52±1,40* | 1,15 | 31,33±1,06* | 1,21 | 29,52±1,31* | 1,31 |

П р и м і т к и: *статистично достовірна різниця відносно контролю за P<0,05; **тест-об'єкт – *Medicago sativa* L. 'Надія'; д. р. – діюча речовина; ф. м. – фізична маса (тут та по тексту).

У інших варіантах модельного дослідження приріст головного кореня тест-рослини знаходиться на рівні контрольних значень. Виявлені факти дещо парадоксальні, тому потребують додаткового осмислення та перевірки.

Крейда здавна та регулярно використовується під час хімічної меліорації кислих ґрунтів. Протягом останніх 25 років вона, завдяки утворенню малорозчинних сполук (карбонатів важких металів), також знайшла застосування для детоксикації забруднених земель [4, 7, 13].

Наведені в таблиці 2 дані дослідження дозволяють стверджувати, що застосування крейди, як хімічного меліоранту, дуже перспективно. Так, у всіх варіантах дослідження (за терміном інкубації та дозою меліоранту) без виключення виявлено статистично достовірний позитивний ефект детоксикації субстратів шахтного хвостосховища. Також слід відзначити, що середня доза меліоранту (3 т/га) характеризується максимальними приростами головного кореня тест-рослини ($KI=1,19-1,25$), що було виявлено для всіх термінів (9, 18 та 29 днів).

Заключення

Найбільший позитивний ефект хімічної детоксикації субстратів шахтного хвостосховища було встановлено для таких варіантів застосування меліорантів: внесення крейди (3 т ф. м./га, 18 днів інкубації, 5 т ф. м./га, 29 днів інкубації), внесення суперфосфату (50 кг д. р. / га, 29 днів інкубації), промивання водоїнною водою (30 м³/га, 29 днів інкубації). З урахуванням організаційно-економічних передумов, для практичного застосування можна рекомендувати таку схему попередньої хімічної детоксикації субстратів шахтних хвостосховищ: внесення крейди у дозі 3 т фізичної маси на 1 га при 18 днях інкубації.

Отримані результати можуть бути використані при проведенні попередньої детоксикації техногенних субстратів порушених земель. У майбутньому доцільно провести дослідження з детоксикації субстратів шахтних хвостосховищ безпосередньо у польових умовах (in situ). Також доцільно звернути увагу на комбіноване застосування розчинних та твердих форм меліорантів.

1. *Аблаева Л.А.* Перспективныенаправленияиспользованияприродныхглиндляочисткиурбанизированныхтерриторий / Л.А. Аблаева, Е.А. Борисовская // Доп. Національної академії наук України. – 2011. – № 3. – С. 187–190.
2. *Глухов А.З.* Растения в антропогенно трансформированной среде / А. З. Глухов, А. И. Хархота // Промышленная ботаника. – 2001. – Вып. 1. – С. 5–10.
3. *Глухов О.З.* Стратегії популяцій рослин у техногенних екосистемах / О.З. Глухов, Г.І. Хархота, С.І. Прохорова, І.В. Агурова // Промышленная ботаника. – 2011. – Вып. 11. – С. 3–13.
4. *Егорова Е.В.* Эколого-биологическая оценка мелиорантов для детоксикации почв, загрязненных тяжелыми металлами / Е.В. Егорова // Проблемы агрохимии и экологии. – 2010. – № 1. – С. 55–62.
5. *Жуков С.П.* Регульована рекультивация промислово порушених територій / С.П. Жуков // Промышленная ботаника. – 2010. – Вып. 10. – С. 11–15.
6. *Зубова Л.Г.* Теоретичні і прикладні основи відновлення техногенних ландшафтів до рівня природних (на прикладі териконових ландшафтів Донбасу): автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук: спец. 21.06.01 «Екологічна безпека» / Л.Г. Зубова. – Дніпропетровськ, 2004. – 32 с.
7. *Кузьмич М.А.* Влияние известкования на поступление ТМ в растения / М.А. Кузьмич, Г.А. Графская, Н.В. Хостанцева // Агрохимический вестник. – 2000. – № 5. – С. 28–29.
8. *Лакин Г.Ф.* Биометрия / Г.Ф. Лакин. – М.: Высш. шк., 1990. – 352 с.
9. *Лысенко Л.Л.* Электрохимическая детоксикация почв и перспективы ее развития / Л.Л. Лысенко, М.И. Пономарев, Б.Ю. Корнилович и др. // Эко-технологии и ресурсосбережения. – 2001. – № 3. – С. 49–52.
10. *Лысый А.Е.* Экологические и социальные проблемы и пути оздоровления крупного промышленного региона (на примере Криворожского железорудного бассейна) / А.Е. Лысый, С.А. Рыженко, И.П. Козятин. – Кривой Рог: Этнод Сервис, 2007. – 428 с.
11. *Мазур А.Е.* Создание травянистых фитоценозов на эдафотобах отвалов угольных шахт Донбасса: автореф. дис. на соиск. науч. степени канд. биол. наук: спец. 03.00.16 «Экология» / А.Е. Мазур. – Днепропетровск, 1981. – 26 с.
12. *Малахов И.М.* Техногенез у геологічному середовищі / І.М. Малахов. – Кривий Ріг: Октант-Принт, 2003. – 252 с.

13. Минкина Т.М. Влияние различных мелиорантов на подвижность цинка и свинца в загрязненном черно-земе / Т.М. Минкина [и др.] // Агрехимия. – 2007. – № 10. – С. 67–75.
14. Савосько В.М. Оцінка фітотоксичності субстратів шахтних хвостосховищ Криворіжжя / В.М. Савосько // Промышленная ботаника. – 2011. – Вып. 11. – С. 19–25.
15. Савосько В.М. Физико-химические свойства субстратов шахтных хвостохранилищ Кривбасса / В.М. Савосько, М.А. Невядомский, П.Ю. Кудрявая // Питання біоіндикації та екології. – Запоріжжя: Вид-во Запоріж. нац. ун-ту, 2010. – Вып. 15, № 1. – С. 88–97.
16. Харитонов М.М. Ефективність детоксикації забруднених важкими металами ґрунтів за допомогою мінералів / М.М. Харитонов // Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету. – 2004 . № 2. – С. 32.
17. Wilkins D.A. The measurement of tolerance to edaphic factors by means of root growth / D.A. Wilkins // New Phytol. – 1978. – Vol. 80, № 3. – P. 623–633.

Криворізький педагогічний інститут
ДВНЗ «Криворізький національний університет»

Надійшла 09.08.2012

УДК 502.22:504.54.062.4+631.427.3(477.63)

ХІМІЧНА ДЕТОКСИКАЦІЯ СУБСТРАТІВ ШАХТНОГО ХВОСТОСХОВИЩА КРИВОРІЖЖЯ
В.М. Савосько

Криворізький педагогічний інститут
ДВНЗ «Криворізький національний університет»

Методами модельних експериментів досліджували можливість використання водогінної води; 0,002 Н розчин Трилону Б; 0,001 % розчин гуматів; простого суперфосфату та крейди для детоксикації субстратів шахтного хвостосховища. Встановлено, що для практичного використання доцільно застосовувати наступну схему попередньої хімічної детоксикації субстратів шахтних хвостосховищ: внесення крейди у дозі 3 т фізичної маси на 1 га при 18 днях інкубації.

UDC 502.22:504.54.062.4+631.427.3(477.63)

CHEMICAL DETOXICATION OF MINE TAILINGS SUBSTRATES IN KRYVYI RIH
ORE MINING REGION
V.M. Savosko

Kryvyi Rih Pedagogical Institute
SHEI 'National University of Kryvyi Rih'

We have investigated by methods of model experiments the potential use of water supply; 0.001 N solution of complexone III (versene); 0.001% solution of humates; simple superphosphate and chalk for detoxification of the mine tailings substrates. It has been found that the following practical scheme of a previous chemical detoxification of mine tailings substrates should be used: application of chalk at a dose of 3 tons of individual weight per 1 ha at 18 days of incubation.