

І. М. Петрушка, д.т.н.,

Т. І. Волівач, аспірант

Національний університет «Львівська політехніка», Львів

## ФІТОРЕМЕДІАЦІЯ ҐРУНТІВ ЗАБРУДНЕНИХ ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ

**Анотація.** *Високі концентрації важких металів у ґрунтах створюють довгострокові проблеми для навколишнього середовища та здоров'я людини через їх стійкість і тенденцію до накопичення. Відновлення деградованих земель є складним, а інколи неможливим завданням. Одним з перспективних методів відновлення ґрунтів, забруднених важкими металами є фіторемедіація. В даній роботі було розглянуто ефективність фіторемедіаційних технологій для відновлення ґрунтів.*

**Ключові слова:** фіторемедіація, важкі метали, забруднення ґрунтів, енергетичні культури, відновлення ґрунтів.

Важкі метали є природними елементами, які за звичайних умов присутні в низьких концентраціях у ґрунті. Проте нині антропогенний вплив важких металів на воду, повітря та ґрунт значно перевищує природні джерела. Основні антропогенні джерела забруднення важкими металами включають: гірничодобувну промисловість, виплавку металу, металургійну промисловість та інші галузі, що пов'язані з металами, утилізацією відходів, спалюванням викопного палива, сільське та лісове господарство. Проте на теперішній час в Україні існує додатковий значний негативний аспект – бойові дії. Останні дослідження українських науковців геохімічного стану ґрунтів, порушених військовими діями, показали, що внаслідок вибуху ґрунт найбільше забруднюється такими важкими металами як Cd, Pb, Ni, Cu, Cr, Mn [1].

Важкі метали не піддаються біологічному розкладанню, тому, опинившись у ґрунті чи воді, вони, як правило, залишаються там протягом тривалого часу, якщо їх не видалити. Через забруднення навколишнього середовища важкі метали можуть потрапляти в організм людини через їжу та питну воду. Важкі метали у ґрунті можуть поглинатися рослинами, спричиняючи накопичення в тканинах рослин та можливу фітотоксичність. Короткострокові та довгострокові наслідки забруднення відрізняються залежно від характеристик металу та ґрунту. Вважається, що надходження важких металів через систему ґрунт-рослина є домінуючим шляхом впливу на людину. Серед важких металів Cu, Cd, Cr, Pb, Hg, Zn і As зазвичай вважаються токсичними як для рослин, так і для людини [2].

Деактивація ґрунтів, забруднених важкими металами, вимагає ефективних підходів для захисту здоров'я населення. Поточна практика усунення забруднення важкими металами в багатьох частинах світу значною мірою зводиться до захоронення забруднених ґрунтів і не стосується питання знезараження ґрунту. Імобілізація або екстракція за допомогою фізико-хімічних методів може бути

економічно недоцільною і застосовна лише для невеликих ділянок, де потрібна швидка повна дезактивація. Останні розробки в галузі відновлення навколишнього середовища призвели до винаходу техніки фітореMediaції. Видалення важких металів із ґрунту за допомогою рослин, які природно ростуть в околицях вибраних забруднених ділянок і застосування в ґрунті сорбуючих матеріалів, таких як цеоліт і газобетон є одними з ефективних методів відновлення забруднених ґрунтів [3].

ФітореMediaція — це недорога біотехнологія, яка майже не вимагає витрат на технічне обслуговування та, зрештою, навіть повертає інвестиції у вигляді деревини, біомаси чи волокна. ФітореMediaція, не потребує видалення ґрунту та сприяє збереженню й відновленню природного середовища, покращенню якості ґрунтів і може успішно застосовуватися на великих територіях [4].

Метали в ґрунті існують у різних фракціях. Деякі з них доступні для поглинання, тоді як деякі фракції недоступні для поглинання рослинами. Метали, які вважаються доступними для поглинання рослинами, це ті, які існують у вигляді розчинних компонентів у ґрунтовому розчині або легко десорбуються чи солнобілізуються компонентами ґрунтового розчину. Обмежена біодоступність різних іонів металів через їх низьку розчинність у воді та міцне зв'язування з частинками ґрунту обмежує їх поглинання/накопичення рослинами. Крім біодоступності металу в ґрунті, різні види рослин значно відрізняються за здатністю накопичувати метали із забруднених ґрунтів, тому цей метод досі потребує більш детальних досліджень та ідентифікації рослин-аккумуляторів, які можна використовувати у фітореMediaції. Успіх цього методу вимагає рослин, які можуть переносити високу концентрацію металу в ґрунті та здатні накопичувати метал. Основним механізмом у толерантних видів рослин є компартменталізація іонів металу, яка виключає їх із клітинних ділянок, де відбуваються такі процеси, як клітинний поділ і дихання, таким чином забезпечуючи ефективний захисний механізм. Рослини, що можуть використовуватися для фітореMediaції ґрунтів забруднених важкими металами повинні бути толерантним до високих концентрацій металів, мати розгалужену кореневу систему, мати швидкий темп росту, мати потенціал для створення високого рівня біомас, накопичувати високий рівень металу в придатних для збирання частинах [3].

Особливої уваги заслуговують енергетичні культури – рослини, які спеціально вирощують для використання як палива або ж для виробництва на їх основі біопалива. Вагомим аргументом фітореMediaції є те, що енергетичні культури можуть успішно рости навіть на малородючих, забруднених ґрунтах і накопичувати значну кількість біомаси в таких умовах. Протягом тривалого періоду вирощування культур на одному місці, коренева система збагачує вміст органічних речовин у ґрунті, що підвищує його родючість. Після вегетації надземна біомаса рослин може бути перероблена в якості додаткового джерела біопалива для енергетичних цілей. Висока продуктивність біомаси енергетичних культур може зробити фітореMediaцію вигідним напрямом для біоенергетичної промисловості. Сьогодні досліджено велику кількість рослин із можливістю використання їх як енергетичних, але тільки деякі види досягли комерційного рівня та вирощуються на великих площах. . Встановлено, що енергетичні

культури, зокрема світчграс і міскантус, є гіперакумулянтами – активно поглинають важкі метали і частково акумулюють їх у своїй підземній та надземній частинах. Після закінчення росту, надземна частина цих рослин може бути оброблена для видобутку кольорових металів або перероблена у біопаливо для використання у енергетичних цілях [4].

Вирощування енергетичних культур як засобу фітореMediaції на забруднених та деградованих ґрунтах є перспективним напрямом. Це не лише допоможе знизити рівень деградації, але й підвищить агрономічну цінність цих ґрунтів. Методи фітореMediaції та сорбції металів можуть використовуватися разом, щоб доповнювати один одного для посилення рекультиваци ґрунту.

### Список використаної літератури

1. Зайцев Ю.О., Грищенко О.М., Романова С.А., Зайцева І.О. Вплив бойових дій на вміст валових форм важких металів у ґрунтах Сумського та Охтирського районів Сумської області. Агроекологічний журнал. 2022. №3. С. 136–149. Режим доступу: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2022.266419> (дата звернення 10.03.2024).
2. Важкі метали у компонентах навколишнього середовища м. Маріуполь (еколого-геохімічні аспекти) / С.П. Кармазиненко, І.В. Кураєва, А.І. Самчук, Ю.Ю. Войтюк, В.Й. Манічев. — К.: Інтерсервіс, 2014. — 168 с;
3. Marques, A. P. G. C., Rangel, A. O. S. S., & Castro, P. M. L. (2009). Remediation of Heavy Metal Contaminated Soils: Phytoremediation as a Potentially Promising Clean-Up Technology. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 39(8), 622–654.
4. Самохвалова В.Л. Біологічні методи ремедіації ґрунтів, забруднених важкими металами. Біологічні студії. 2014. С. 217–236