

EARTH SCIENCES

РЕКУЛЬТИВАЦІЯ ҐРУНТІВ МЕТОДОМ ФІТОРЕМЕДІАЦІЇ

Рибалова О.

Національний університет цивільного захисту України, Україна

Бригада О.

Національний університет цивільного захисту України, Україна

Ільїнський О.

Національний університет цивільного захисту України, Україна

Мацак А.

Національний університет цивільного захисту України, Україна

Чорнс К.

Національний університет цивільного захисту України, Україна

SOIL REMEDIATION BY PHYTOREMEDIATION

Rybalova O.,

National University of Civil Defence of Ukraine, Ukraine

Bryhada O.,

National University of Civil Defence of Ukraine, Ukraine

Ilyinskiy O.,

National University of Civil Defence of Ukraine, Ukraine

Matsak A.,

National University of Civil Defence of Ukraine, Ukraine

Chorns K.

National University of Civil Defence of Ukraine, Ukraine

Анотація

В роботі розглянуто сучасні методи фітореємедіації: фітоекстракція, фітостабілізація, фітоволатилізація та ризофільтрація. В статті наведено критерії відбору видів рослин для впровадження методів фітореємедіації. Проаналізовано переваги та обмеження використання методів фітореємедіації для очищення ґрунтів від вмісту важких металів. В статті доведено ефективність впровадження природних методів рекультивації ґрунтів, що особливо актуально для післявоєнного відновлення ґрунтів України.

Abstract

The paper deals with modern methods of phytoremediation: phytoextraction, phytostabilization, phytovolatilization and rhizofiltration. The article presents the criteria for selecting plant species for the implementation of phytoremediation methods. The advantages and limitations of using phytoremediation methods for soil purification from heavy metals are analyzed. The article proves the effectiveness of implementing natural methods of soil remediation, which is especially important for the post-war restoration of Ukrainian soils.

Ключові слова: ґрунти, забруднення, важкі метали, фітореємедіація, екологічна небезпека, природоохоронні заходи.

Keywords: soils, pollution, heavy metals, phytoremediation, environmental hazard, environmental protection measures.

Фітореємедіація – це нова природна технологія, що використовується для видалення забруднювачів з компонентів навколишнього середовища. На вибір відповідної стратегії фітореємедіації впливає багато факторів. Це залежить від властивостей ґрунту, рівнів і характеристик важких металів, видів рослин і кліматичних умов [1].

Коріння рослин може впливати на фітодоступність важких металів, змінюючи властивості ґрунту в ризосфері [2].

Ферменти рослин, що виділяються з коренів, повинні відігравати ключову роль у трансформації та хімічному видаленні важких металів у ґрунтах, що полегшує їх поглинання рослинами. Діяльність коренів рослин, яка потенційно збільшує роз-

чинність металів і може змінити видалення важких металів, включає підкислення/підлужування, модифікацію окисно-відновного потенціалу та екстракцію хелантів металів [3].

Фітореємедіацію можна визначити як процес, який використовує рослини для полегшення, перенесення, стабілізації або деградації забруднювачів з ґрунту, поверхневих і підземних вод [4]. Коріння деяких рослин може поглинати та іммобілізувати забруднювачі металів, тоді як інші види рослин мають здатність метаболізувати або накопичувати органічні та поживні забруднювачі. Різноманітні взаємозв'язки та взаємодії між рослинами, мікробами, ґрунтами та забруднювачами роблять можливими ці численні процеси фітореємедіації. Процеси фіто-

ремедіації найбільш ефективні там, де забруднювачі присутні на низькому або середньому рівні, оскільки високі рівні забруднення можуть пригнічувати ріст і активність рослин і мікроорганізмів [5].

Фіторемедіація – це загальний термін, що включає в себе кілька процесів, які залежать від взаємодії рослин, ґрунту та атмосфери. Для ґрунтів, забруднених важкими металами, розрізняють чотири

процеси фіторемедіації: фітоекстракція, фітостабілізація, фітоволатилізація та ризофільтрація. Два перших механізми є найбільш надійними. Різні форми фіторемедіації вимагають різних загальних характеристик рослин для оптимальної ефективності [6].

Основні характеристики процесів фіторемедіації і критерії відбору видів рослин наведено в табл.1.

Таблиця 1

Визначення та основні характеристики процесів фіторемедіації [5, 7]

Мета процесу	Забруднюючі речовини	Середовище	Критерії відбору видів рослин
Фітоекстракція			
Поглинання забруднювача корінням рослин з навколишнього середовища та його транслокація у рослину біомасу. Вилучення та уловлювання забруднювачів.	Органічні та неорганічні забруднювачі	Ґрунти; осадові породи; вода; шлами	Толерантність до високих концентрацій металів; висока здатність до накопичення металів; швидкість росту; накопичення мікроелементів у надземній частині; легко збирати врожай; розширена коренева система для освоєння великих об'ємів ґрунту; високий коефіцієнт транслокації; простий агротехнічний менеджмент; хороша адаптація до переважаючих природних та кліматичних умов; стійкість до патогенів та шкідників; відлякування трав'янистих тварин для уникнення забруднення харчового ланцюга.
Фітостабілізація			
Зменшення мобільності та біодоступності забруднюючих речовин у навколишньому середовищі шляхом фізичного або хімічного впливу. Утримання забруднюючих речовин.	Важкі метали; хлоровані розчинники	Ґрунт; відкладення; шлами	Здатність розвивати розгалужену та рясну кореневу систему; здатність утримувати транслокацію металів з коренів у пагони на якомого нижчому рівні; здатність утримувати забруднювачі в коренях або ризосфері (механізм виключення), щоб обмежити розповсюдження по харчовому ланцюгу.
Фітоволатилізація			
Процес поглинання забруднюючих речовин рослинами та їх випаровування в атмосферу за допомогою листової системи. Вилучення забруднюючих речовин із середовища та викид у повітря	Хлоровані розчинники; неорганічні сполуки	Ґрунтова вода; ґрунт; осадові породи; мул	Металостійкі рослини; висока адсорбційна поверхня; толерантність до гіпоксії.
Ризофільтрація			
Використання коріння рослин для поглинання або адсорбції забруднюючих речовин, що знаходяться в розчині навколо кореневої зони. Вилучення та уловлювання забруднень.	важкі метали; органічні сполуки	Поверхневі води; стічні води	Наземним рослинам надається перевага, оскільки вони мають волокнисту і набагато довшу кореневу систему, що збільшує площу коренів

Фіторемедіація, як і інші технології відновлення, має низку як переваг, так і недоліків. Найбільш позитивними аспектами використання фіторемедіації є наступні: 1) більш економічно ефективний; 2) більш екологічний; 3) застосовується до широкого спектру токсичних металів і 4) більш естетичний метод. З іншого боку, фіторемедіація має

певні обмеження. Це тривалий процес, тому для очищення ділянки може знадобитися кілька років або більше, і він може застосовуватися лише до поверхневих ґрунтів. Переваги та недоліки використання фіторемедіації для відновлення забруднених важкими металами територій і кожного механізму наведені в табл. 2.

Переваги та обмеження фітореMediaції [4]

Переваги	Обмеження
Фітоекстракція	
Вартість фітоекстракції досить недорога. Забруднювач назавжди видаляється з ґрунту. Кількість відходів, що підлягають утилізації, значно зменшується (до 95%). Забруднювач може бути перероблений із забрудненої рослинної біомаси.	Металеві гіперакумулятори, як правило, повільно ростуть, мають невелику біомасу і неглибоку кореневу систему; рослинна біомаса повинна бути зібрана і вивезена з подальшою рекультивацією металу або належною утилізацією біомаси; метали можуть мати фітотоксичну дію.
Фітостабілізація	
Утилізація небезпечних матеріалів або біомаси не потрібна. Дуже ефективний, коли необхідна швидка іммобілізація для збереження підземних і поверхневих вод. Присутність рослин також зменшує ерозію ґрунту та зменшує кількість води, доступної в системі. Видалення ґрунту не потрібне. Має нижчу вартість і є менш руйнівним, ніж інші більш енергійні технології відновлення ґрунту. Відновлення рослинності сприяє відновленню екосистеми. Метод з хорошими результатами у запобіганні викидів кислотних шахт і стабілізації металу.	Забруднювачі залишаються на місці. Рослинність і ґрунт можуть потребувати тривалого догляду, щоб запобігти повторному вивільненню забруднюючих речовин і майбутньому вимиванню. Рослинність може потребувати значного внесення добрив або модифікації ґрунту з використанням поправок. Необхідно уникати поглинання металів рослинами та їх переміщення в надземну частину. Необхідно контролювати кореневу зону, кореневі екsudати, забруднювачі та зміни в ґрунті, щоб запобігти підвищенню розчинності металів та їх вимиванню. Фітостабілізація може розглядатися лише як тимчасовий захід. Стабілізація забруднюючих речовин може бути пов'язана, в першу чергу, з ефектом внесення змін до ґрунту, при цьому рослини лише сприяють стабілізації, зменшуючи кількість води, що рухається через ґрунт.
Фітоволатилізація	
Забруднювач, наприклад іон ртуті, може бути перетворений на менш токсичну речовину. Забруднювачі можуть бути перетворені на менш токсичні речовини. Забруднюючі речовини або метаболіти, що потрапляють в атмосферу, можуть піддаватися більш ефективним або швидким природним процесам деградації, таким як фотодеградація.	Забруднююча речовина або небезпечний метаболіт може потрапити в атмосферу. Забруднююча речовина або небезпечний метаболіт може накопичуватися в рослинності і передаватися в наступних продуктах, таких як фрукти або деревина. Низькі рівні метаболітів були виявлені в рослинній тканині.
Ризофільтрація	
Можливість використовувати як наземні, так і водні рослини для застосування <i>in situ</i> або <i>ex situ</i> . Можна використовувати інші види, окрім гіперакумуляторів. Система <i>ex situ</i> може бути розміщена де завгодно, оскільки очищення не обов'язково має відбуватися на місці первинного забруднення.	Постійна потреба у регулюванні рН для отримання оптимального поглинання металів. Рослини, можливо, спочатку потрібно вирощувати в теплиці або розсаднику. Періодичне збирання врожаю та утилізація рослин. Конструкція резервуара повинна бути добре продумана. Необхідно добре розуміти хімічну специфікацію/взаємодію. Необхідно розуміти та враховувати хімічні види та взаємодію всіх видів у стічних водах. Результати іммобілізації та поглинання металів, отримані в лабораторних та тепличних дослідженнях, можуть бути недостижними в польових умовах.

Види рослин для фітореMediaції обираються на основі глибини їхнього коріння, природи забруднювачів і ґрунту, а також регіонального клімату. Глибина коріння безпосередньо впливає на глибину ґрунту, яку можна відновити. Вона сильно варіює між різними видами рослин, а також може значно відрізнятися для одного виду залежно від місцевих умов, таких як структура ґрунту, глибина твердого піддону, родючість ґрунту, тиск на посіви, концентрація забруднюючих речовин або інших умов [6]. Природа забруднювачів є основним фактором при виборі рослини для фітореMediaції.

Для фітореMediaції найчастіше використовують трави, оскільки порівняно з деревами та чагарниками, трав'янисті рослини, особливо трави, мають характеристики швидкого росту, великої кількості біомаси, сильної стійкості, ефективної стабілізації до ґрунтів та здатності відновлювати різні типи ґрунтів [7]. Трав'янисті рослини зазвичай пристосовані до несприятливих умов, таких як низький вміст поживних речовин у ґрунті, стресові умови та неглибокі ґрунти [8].

Чагарники і дерева створюють обширний покров і глибоке коріння для запобігання ерозії в довгостроковій перспективі. Крім того, чагарники або дерева забезпечують траву високим вмістом поживних речовин, знижуючи при цьому водний стрес і покращуючи фізичні властивості ґрунту [9]. Однак витрати на посадку дерев є високими, а швидкість росту - низькою.

Для досягнення стабільного стійкого покриву важливо використовувати змішану культуру і поєднувати трави, чагарники і дерева в програмах фітореMediaції. Для більш тривалого періоду, як вважається для більшості видів фітореMediaції процесів, не можна очікувати очищення ґрунту лише одним видом рослин, який використовується виключно в монокультурі [10].

Багаторічні трави розвивають велику рослинну біомасу за відносно короткий час і визнані толерантними до важких металів біосистемами, накопичуючи високі рівні цих елементів [7].

Для фітореMediaції краще використовувати види рослин, адаптовані до кліматичних та ґрунтових умов регіону. Однак, певна немісцева рослина може найкраще справлятися з конкретним забруднювачем і може безпечно використовуватися за обставин, коли можливість інвазивної поведінки виключена [11].

Різні форми фітореMediaції потребують відповідні характеристики рослин для оптимальної ефективності. У ризофільтрації та фітостабілізації це здатність видаляти метали, відсутність переміщення металів від коренів до пагонів і швидке зростання коренів. Для фітоекстракції рослина повинна витримувати, переміщувати та накопичувати високі концентрації важких металів у пагонах і листі, а також мати швидкий темп росту та високе виробництво біомаси. Для ризодеградації рослина повинна виділяти відповідні ферменти та інші речовини, які посилюють біодеградацію, не поглинати забруднювачі і мати відповідну глибину, швидкість і ступінь росту коренів і гниття. Для фітодеградації потрібна рослина, яка може поглинати та метаболізувати забруднювачі, не виробляючи токсичних продуктів розпаду. Для фітовипаровування рослина повинна мати можливість поглинати та перетворювати забруднювачі у менш токсичну летку форму.

Ретельний вибір рослини та сорту рослини має вирішальне значення, по-перше, щоб переконатися, що рослина відповідає кліматичним і ґрунтовим умовам на ділянці, а по-друге, для ефективності фітореMediaції. Перевагу матимуть види рослин, які є тривалими конкурентами та виживають за несприятливих мінливих умов. Залежно від кліматичних і ґрунтових умов рослині може знадобитися стійкість або толерантність до хвороб, спеки, холоду, комах, посухи, хімічних речовин і стресу. У деяких випадках можуть знадобитися солестійкі рослини (галофіти), такі як солоний кедр, у випадку засоленних ґрунтів або ґрунтових вод. Використання фреатофітів може посилити гідравлічний контроль ґрунтових вод. Інші міркування при виборі рослин

включають використання однорічних або багаторічних рослин, використання монокультури або кількох видів рослин, а також використання листяних дерев. Насіння або рослини (або різновид рослини) мають походити від клімату місця фітореMediaції або бути адаптованими до нього.

Генна інженерія рослин має потенціал для підвищення ефективності та використання фітореMediaції, оскільки рослини можна генетично модифікувати за допомогою специфічних бактеріальних, грибових, тваринних або рослинних генів, які мають корисні властивості для поглинання забруднювачів, деградації або трансформації, а також для адаптації до кліматичних змін.

Види рослин або сорти одного виду можуть значно відрізнятися за своєю ефективністю для фітореMediaції. Їхня реакція на забруднювач і концентрацію цього забруднювача, поглинання або метаболізм забруднювача або здатність рости в певних ґрунтових і кліматичних умовах можуть бути різними.

Успішне зростання рослин сильно залежить від відповідних кліматичних умов. Для забезпечення росту необхідні правильна кількість і час опадів, сонячне світло, тінь і вітер, а також належна температура повітря та тривалість вегетаційного періоду. Слід завжди оцінювати місцеві умови та придатність вибраної рослини до цих умов.

Таким чином, фітореMediaція – це перспективна зелена технологія, яка може бути використана для покращення якісного стану ґрунтів, поверхневих і підземних вод. Складність факторів, які контролюють ефективність цієї технології, таких як властивості ґрунтів, види рослин і кліматичні умови, зумовлює необхідність проведення додаткових досліджень. Необхідно ідентифікувати більше видів, які мають відновлювальні властивості, особливо рослин, які можуть сприяти соціальному та економічному розвитку місцевого населення, наприклад, промислових видів.

Список літератури

1. Laghlimi, M., Baghdad, B., Hadi, H. and Bouabdli, A. (2015) Phytoremediation Mechanisms of Heavy Metal Contaminated Soils: A Review. *Open Journal of Ecology*, **5**, 375-388. doi: 10.4236/oje.2015.58031
2. Brown, S.L., Henry, C.L., Chaney, R., Compton, H. and De Volder, P.S. (2003) Using Municipal Biosolids in Combination with Other Residuals to Restore Metal-Contaminated Mining Areas. *Plant Soil*, **249**, 203-215. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1022558013310>
3. Wenzel, W.W., Bunkowski, M., Puschenreiter, M. and Horak, O. (2003) Rhizosphere Characteristics of Indigenously Growing Nickel Hyperaccumulator and Tolerant Plants on Serpentine Soil. *Environmental Pollution*, **123**, 131-138. [http://dx.doi.org/10.1016/S0269-7491\(02\)00341-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0269-7491(02)00341-X)
4. Paz-Ferreiro, J., Lu, H., Fu, S., Mendez, A. and Gasco, G. (2014) Use of Phytoremediation and Bi-

ochar to Remediate Heavy Metal Polluted Soils: A Review. *Solid Earth*, 5, 65-75. <http://dx.doi.org/10.5194/se-5-65-2014>

5. United States Environmental Protection Agency (2000) Introduction to Phytoremediation. USEPA, Cincinnati

6. Pivetz, P. (2001) Phytoremediation of Contaminated Soil and Ground Water at Hazardous Waste Sites. EPA/540/S-01/ 500, United States Environmental Protection Agency (EPA), Washington DC, 36 p

7. Elekes, C.C. (2014) Eco-Technological Solutions for the Remediation of Polluted Soil and Heavy Metal Recovery. In: Hernández-Soriano, M.C., Ed., Environmental Risk Assessment of Soil Contamination, InTech, Rijeka, 309-335. <http://dx.doi.org/10.5772/57314>

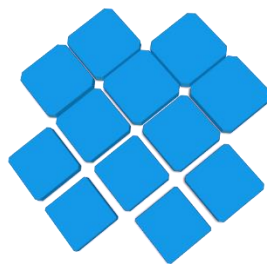
8. Sinha, S., Mishra, R.K., Sinam, G., Mallick, S. and Gupta, A.K. (2013) Comparative Evaluation of Metal Phytoremediation Potential of Trees, Grasses

and Flowering Plants from Tannery Wastewater Contaminated Soil in Relation with Physico-Chemical Properties. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, 22, 958-983.

9. Hamzah, A. and Priyadarshini, R. (2014) Identification of Wild Grass as Remediator Plant on Artisanal Gold Mine Tailing. *Plant Science International*, 1, 33-40. <http://dx.doi.org/10.12735/psi.v1n1p33>

10. Cechmankova, J., Vacha, R., Skala, J. and Havelkova, M. (2011) Heavy Metals Phytoextraction from Heavily and Moderately Contaminated Soil by Field Crops Grown in Monoculture and Crop Rotation. *Soil and Water Research*, 6, 120-130

11. United States Environmental Protection Agency, USEPA (2000) Electrokinetic and Phytoremediation in Situ Treatment of Metal-Contaminated Soil: State-of-the-Practice. Draft for Final Review. EPA/542/R-00/XXX. US Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste and Emergency Response Technology Innovation Office, Washington DC



Polish journal of science

POLISH JOURNAL OF SCIENCE

№69 (2023)

ISSN 3353-2389

Polish journal of science:

- has been founded by a council of scientists, with the aim of helping the knowledge and scientific achievements to contribute to the world.
- articles published in the journal are placed additionally within the journal in international indexes and libraries.
- is a free access to the electronic archive of the journal, as well as to published articles.
- before publication, the articles pass through a rigorous selection and peer review, in order to preserve the scientific foundation of information.

Editor in chief – Jan Kamiński, Kozminski University

Secretary – Mateusz Kowalczyk

Agata Żurawska – University of Warsaw, Poland

Jakub Walisiewicz – University of Lodz, Poland

Paula Bronisz – University of Wrocław, Poland

Barbara Lewczuk – Poznan University of Technology, Poland

Andrzej Janowiak – AGH University of Science and Technology, Poland

Frankie Imbriano – University of Milan, Italy

Taylor Jonson – Indiana University Bloomington, USA

Remi Tognetti – Ecole Normale Supérieure de Cachan, France

Bjørn Evertsen – Harstad University College, Norway

Nathalie Westerlund – Umea University, Sweden

Thea Huszti – Aalborg University, Denmark

Aubergine Cloez – Université de Montpellier, France

Eva Maria Bates – University of Navarra, Spain

Enda Baciú – Vienna University of Technology, Austria

Also in the work of the editorial board are involved independent experts

1000 copies

POLISH JOURNAL OF SCIENCE

Wojciecha Górskiego 9, Warszawa, Poland, 00-033

email: editor@poljs.com

site: <http://www.poljs.com>

CONTENT

ARCHITECTURE

Honcharyk R.

ARCHITECTURAL AND SPATIAL CHANGES IN IVANO-FRANKIVSK DURING THE SOVIET PERIOD: MAIN FEATURES AND CHARACTERISTICS..... 3

EARTH SCIENCES

Rybalova O., Bryhada O., Ilyinskiy O., Matsak A., Chorns K.

SOIL REMEDIATION BY PHYTOREMEDIATION 13

ECONOMIC SCIENCES

Marinova-Kostova K.

KEY DIMENSIONS OF WEB-BASED RESERVATION SYSTEMS IN MODERN TOURISM SECTOR 18

MEDICAL SCIENCES

Katamadze N., Kandashvili T., Zaalishvili E.

THE ROLE OF GUT MICROBIOTA IN TYPE 2 DIABETIC PATIENTS..... 21

PEDAGOGICAL SCIENCES

Shepitko O.

INNOVATIVE PEDAGOGICAL IDEAS OF O. Y. SAVCHENKO 25

POLITICAL SCIENCES

Ionescu F.–A.

THE ARCHITECTURE OF NATO’S RESPONSE TO CRISES: ESSENTIAL PREREQUISITE FOR SUCCESS..... 28

PSYCHOLOGICAL SCIENCES

Vladimirov D., Meimankulova Z.

THE IMPACT OF MENTAL ILLNESSES ON QUALITY-OF-LIFE INDICATORS OF MODERN KAZAKHSTAN’S POPULATION 33

TECHNICAL SCIENCES

Perju V., Mastac I., Ammen A.

MODERN MILITARY COMMAND AND CONTROL SYSTEMS AND THEIR SECURITY ENSURING BASED ON THE SDN TECHNOLOGY 45

Baltag O.

YOUNG INVENTORS AND PIONEERING INVENTIONS FROM TELEVISION..... 51

Hashimov Kh., Aliyev B.,

Musayev M., Ismayilova L.,

Ahmadova H., Sultanova C., Guliyeva Y.

EFFECT OF SiO_2 AND Fe_3O_4 NANOPARTICLES ON YIELD OF GOLDEN DELICIOUS APPLE VARIETY 72