

¹*Лахорі Альтаф Хусейн, д. філос., доц.,*

²*Міжва-Герштек Моніка Анна, д-р. хаб. інж.,*

^{3,4}*Вамболь В.В., д.т.н., професор, ⁵Вамболь С.О., д. т. н., професор,*

¹*Ісламський університет Сінда Мадрессатул, Карачі, Пакистан,*

²*Університет науки й технологій, м. Краків, Польща,*

³*Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»,
м. Полтава, Україна,*

⁴*Люблінський університет природничих наук, Люблін, Польща*

⁵*Національний технічний університет «Харківський політехнічний
університет», м. Харків, Україна*

АНАЛІЗ МЕТОДІВ І ТЕХНОЛОГІЙ ВИДАЛЕННЯ ТОКСИЧНИХ МЕТАЛІВ ІЗ ЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТІВ

Метою дослідження є аналіз та оцінка ефективності індивідуальних і комбінованих ефектів в технологіях видалення токсичних металів із забруднених ґрунтів. Глобальна індустріалізація та діяльність людини, така як виплавка, видобуток руд, сучасні методи сільського господарства та методи утилізації відходів, швидко забруднюють ґрунти токсичними металами (ТМ) [1-3]. Оскільки ТМ повільно розкладаються у ґрунті в інші форми, їх стійкість у довкіллі може вплинути на продуктивність сільського господарства та екосистему ґрунту. Результатом є значний негативний вплив на здоров'я людей та живі організми. Зокрема, проблеми зі здоров'ям, такі як нудота, біль в епігастральній ділянці, млявість і втома, виникають через потрапляння Zn в організм у значних кількостях. До того ж Zn негативно впливає на розвиток рослин [4]. Існує багато методів і технік для видалення ТМ із забрудненого ґрунту, але вони мають багато недоліків. Впровадження більшості звичайних підходів до рекультивації, наприклад фітореMediaції, засипання землі, електрокінетики, поверхневого покриття, вітрифікації та промивання ґрунту, є неможливим у великих масштабах, бо є екологічно небезпечними і занадто коштовними [5].

Серед різноманітних способів відновлення ґрунтів від забруднення ТМ слід відзначити використання технологій з додатковими біологічними компонентами. Основний механізм фіксації ТМ у ґрунті з додатковим біологічними компонентами залежить від (ад)сорбції, рН, електростатичного притягання, температури, окисно-відновного потенціалу та опадів [6]. Біологічні компоненти як добавки до ґрунту мали б високу іммобілізуючу здатність, були б легкодоступними на ринку, мали б низьку вартість і були б екологічно чистими для відновлення найбільш забруднених місць [7]. Відомо, що іммобілізуючий агент може бути ефективним для іммобілізації одного токсину, однак може збільшити розчинність іншого ТМ [8]. У науковому дослідженні Naiya та ін. [9]

використовували фуллерову землю у водних розчинах для зниження розчинності Pb (II). Mohammed та ін. [10] застосували місцеві червоноземні та чорноземні ґрунти для утримання Cd²⁺ та Ni²⁺ із водного середовища. Крім того, виявлено, що фосфатні сполуки активні у фіксації свинцю, кадмію та цинку [11]. Основним процесом фіксації вважається осадження фосфатів металів [12]. Наприклад, СаО та ін. [13] підтвердили, що фосфорит знижує біодоступність Pb через утворення піроморфітоподібних мінералів.

Як додатковий компонент слід розглядати і біовугілля. Біовугілля – це насичений вуглецем матеріал, утворений шляхом піролізу, термохімічного перетворення вихідної сировини за відсутності або за обмеженої кількості O₂ [14]. Це є надійним і найкращим варіантом до зниження концентрації ТМ із забруднених ґрунтів, оскільки структурно він є макро/мікропористим і має велику площу поверхні. Протягом останніх кількох років попередні дослідження показали, що різні біовугілля мають великий потенціал для зменшення ТМ у ґрунті, а також поглинання рослинами через їх економічно доцільний варіант відновлення [15].

Виробництво біомаси призводить до утворення великої кількості відходів, тому сировину можна оцінити як хороший метод управління та оброблення великої кількості біологічних відходів, а саме побутових твердих і напівтвердих відходів, відходів сільськогосподарських культур, харчових відходів, гній тварин і промислові відходи. Mohan та ін. [16] виявили, що біовугілля як доповнення до ґрунту можна розглядати як економічно ефективну та екологічно чисту біотехнологію, яка має потенціал для стабілізації органічних і неорганічних забруднювачів у забруднених ґрунтах. Він має мікропори, які також необхідні для деградації розчинної органічної речовини та зниження розвитку мікробів, таким чином сприяючи розчиненню біологічних забруднювачів у ґрунтах [17]. Moghal та ін. [18] оцінили реакцію хімічно модифікованих ґрунтів на сорбцію хрому та ртуті з водних розчинів. Було відзначено, що витрати на рекультивацію з використанням біологічних компонентів у кілька разів менші, ніж стандартні підходи, такі як фізична обробка, біологічна рекультивація та фіторе mediaція [19].

Неофіційна утилізація великої кількості фруктових відходів, які щодня виробляються в мегаполісах, може спричинити економічні та екологічні проблеми. Перетворення відходів плодової шкірки в біологічні компоненти за допомогою піролізу могло би стати ефективною добавкою до ґрунту [20]. Zhang та ін. [21] застосували біовугілля, виготовлене зі шкірки грейпфрута, як доповнення для покращення видалення Cu(II) із водного розчину. Анає та ін. [6] виявили, що біологічні компоненти розроблений з гідрогелю, дигестату та мікроорганізмів дають більше можливостей у біоремедіації для очищення забруднених ґрунтів.

Зважаючи на заявлену відсутність даних і прогалини в дослідженнях, життєво важливо побудувати нове розуміння наступних наукових питань:

1) Який вплив мають біологічні компоненти на хімічні властивості ґрунту, стабільність та поглинання Cu, Zn, Fe та Cd.

2) Яке індивідуальне та комбіноване застосування цих компонентів вплине на зростання рослин в ґрунтах, забруднених багатьма металами?

До теперішнього часу жодних досліджень не проводилося для вивчення відновлення Cu, Zn, Fe та Cd окремо та з комбінованим застосуванням, фосфоритів і шкірки грейпфрута, виготовлених на виробництві.

Виходячи з цього аналізу можна зробити висновок, що застосування індивідуальних і комбінованих біологічних компонентів для відновлення ґрунтів (на основі фосфоритів і біовугілля) мають перспективу для стабілізації забруднювачів ґрунтів, забруднених кількома металами, а також для безпечного вирощування сільськогосподарських культур.

Наукова гіпотеза полягає в тому, що застосування нового біовугілля, виготовленого з шкірки грейпфрута, окремо та в суміші, може стабілізувати розчинність Cu, Zn, Fe та Cd у ґрунтах для безпечного вирощування сільськогосподарських культур.

Використані інформаційні джерела:

1. Ashraf, S.; Ali, Q.; Zahir, Z.A.; Ashraf, S.; Asghar, H.N. *Phytoremediation: Environmentally sustainable way for reclamation of heavy metal polluted soils. Ecotox. Environ. Safe.* **2019**, 174, 714–727.

2. Hussain, A.; Rehman, F.; Rafeeq, H.; Waqas, M.; Asghar, A.; Afsheen, N.; Iqbal, H.M. *In-situ, Ex-situ, and nano-remediation strategies to treat polluted soil, water, and air—A review. Chemosphere* **2022**, 289, 133252.

3. Lahori, A.H.; Zhang, Z.; Guo, Z.; Mahar, A.; Li, R.; Awasthi, M.K.; Huang, H. *Potential use of lime combined with additives on (im) mobilization and phytoavailability of heavy metals from Pb/Zn smelter contaminated soils. Ecotox. Environ. Safe.* **2017**, 145, 313–323.

4. Kumar, A.; Tsechansky, L.; Lew, B.; Raveh, E.; Frenkel, O.; Graber, E.R. *Biochar alleviates phytotoxicity in Ficus elastica grown in Zn-contaminated soil. Sci. Total Environ.* **2018**, 618, 188–198.

5. Kulikowska, D.; Gusiatin, Z.M.; Bulkowska, K.; Kierklo, K. *Humic substances from sewage sludge compost as washing agent effectively remove Cu and Cd from soil. Chemosphere* **2015**, 136, 42–49.

6. Anae, J.; Ahmad, N.; Kumar, V.; Thakur, V.K.; Gutierrez, T.; Yang, X.J.; Coulon, F. *Recent advances in biochar engineering for soil contaminated with complex chemical mixtures: Remediation strategies and future perspectives. Sci. Total Environ.* **2021**, 767, 144351.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.1443>.

7. Mahar, A.; Wang, P.; Li, R.; Zhang, Z. *Immobilization of lead and cadmium in contaminated soil using amendments: A review. Pedosphere* **2015**, 25, 555–568.

8. Hartley, W.; Lepp, N.W. Remediation of arsenic contaminated soils by iron-oxide application, evaluated in terms of plant productivity, arsenic and phytotoxic metal uptake. *Sci. Total Environ.* **2008**, *390*, 35–44.
9. Naiya, T.K.; Singha, B.; Bhattacharya, A.K.; Das, S.K. Removal of Pb (II) from Aqueous Solutions using Fuller's Earth. *Int. Scholarly. Sci. Res. Innov.* **2012**, *6*, 452–456.
10. Mohammed, S.A.S.; Sanaulla, P.F.; Moghal, A.A.B. Sustainable use of locally available red earth and black cotton soils in retaining Cd²⁺ and Ni²⁺ from aqueous solutions. *Int. J. Civ. Eng. Techno.* **2016**, *14*, 491–505.
11. Park, J.H.; Bolan, N.; At. all. Comparative value of phosphate sources on the immobilization of lead, and leaching of lead and phosphorus in lead contaminated soils. *Sci. Total Environ.* **2011**, *409*, 853–860.
12. Basta, N.T.; McGowen, S.L. Evaluation of chemical immobilization treatments for reducing heavy metal transport in a smelter-contaminated soil. *Environ. Pollut.* **2004**, *127*, 73–82.
13. Cao, X.; Ma, L.Q.; Rhue, D.R.; Appel, C.S. Mechanisms of lead, copper, and zinc retention by phosphate rock. *Environ. Pollut.* **2004**, *131*, 435–444.
14. Figueiredo, C.C.D.; Chagas, J.K.M.; Silva, J.D.; Paz-Ferreiro, J. Short-term effects of a sewage sludge biochar amendment on total and available heavy metal content of a tropical soil. *Geoderma* **2019**, *344*, 31–39.
15. Ahmad, M.O.Y.S.; Rajapaksha, A.U.; Lim, J.E.; Kim, B.Y.; Ahn, J.H.; Lee, Y.H.; Al-Wabel, M.I.; Lee, S.E.; Lee, S.S. Lead and copper immobilization in a shooting range soil using soybean stover-and pine needle-derived biochars: Chemical, microbial and spectroscopic assessments. *J. Hazard. Mater.* **2016**, *301*, 179–186.
16. Mohan, D.; At. all., C.U.J.R. Organic and inorganic contaminants removal from water with biochar, a renewable, low cost and sustainable adsorbent-a critical review. *Bioresour. Technol.* **2014**, *160*, 191–202.
17. Kasozi, G.N.; Zimmerman, A.R.; Nkedi-Kizza, P.; Gao, B. Catechol and humic acid sorption onto a range of laboratory produced black carbons (biochars). *Environ. Sci. Technol.* **2010**, *144*, 6189–6195.
18. Moghal, A.A.B.; Reddy, K.R.; Mohammed, S.A.S.; Al-Shamrani, M.A.; Zahid, W.M. Sorptive response of chromium (Cr⁺⁶) and mercury (Hg⁺²) from aqueous solutions using chemically modified soils. *J. Test Eval.* **2017**, *45*, 105–119.
19. Mahmoud, E.; El-Kader, N.A. Heavy metal immobilization in contaminated soils using phosphogypsum and rice straw compost. *Land Degrad. Dev.* **2015**, *26*, 819–824.
20. Liu, M.; Almatrafi, E.; Zhang, Y.; At. all. A critical review of biochar-based materials for the remediation of heavy metal contaminated environment: Applications and practical evaluations. *Sci. Total Environ.* **2022**, *806*, 150531.
21. Zhang, W.; Song, J.; He, Q.; At. all. Novel pectin based composite hydrogel derived from grapefruit peel for enhanced Cu (II) removal. *J. Hazard. Mater.* **2020**, *384*, 121445.