

# Scientific and technical journal «Technogenic and Ecological Safety»

RESEARCH ARTICLE  
OPEN ACCESS

## ВПЛИВ СОЛЕЙ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ Pb ТА Cd НА ВЕГЕТАТИВНІ ПОКАЗНИКИ *TRITICUM AESTIVUM*

С. А. Красовський<sup>1</sup>, О. С. Ковров<sup>1</sup><sup>1</sup>Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

УДК 628.544

DOI: 10.52363/2522-1892.2022.2.4

Отримано: 12 серпня 2022

Прийнято: 25 листопада 2022

Cite as: Krasovskiy S., Kovrov O. (2022). Influence of salts of heavy metals Pb and Cd on the vegetative indicators of *Triticum aestivum*. Technogenic and ecological safety, 12(2/2022), 32–36. doi: 10.52363/2522-1892.2022.2.4

### Анотація

Український енергетично-паливний сектор, має високу залежність від видобутку корисних копалин. Кам'яне вугілля займає 25-30% від видобутку корисних копалин в Україні. Всі процеси починаючи від видобутку вугілля до його використання для отримання енергії несуть негативний вплив на навколишнє природне середовище. Одним із таких впливів є накопичення пустої гірничої породи на промислового об'єкті, що має назву вугільний відвал. Дані відвали несуть негативний вплив на всі сфери навколишнього природного середовища. Вугільні відвали, які знаходяться на Західному Донбасі, характеризуються низьким рівнем рН, малим рівнем питомої електропровідності ґрунту, низьким рівнем поживних речовин та високою концентрацією важких металів. Серед основних небезпечних токсичних елементів є Pb та Cd, концентрація яких перевищує більш ніж в 2 рази гранично-допустиму концентрацію. За результатами проведеного дослідження встановлено, що *Triticum aestivum* зарекомендував себе як рослина-фіторемедіатор, стійкий до таких важких металів, як Pb та Cd, що дає можливість в подальшому використовувати його для засадження забруднених територій вугільних відвалів.

**Ключові слова:** вугільні відвали, важкі метали, гранично-допустима концентрація, фіторемедіація, *Triticum aestivum*.

### 1. Постановка проблеми

Видобуток вугілля, відіграє і буде відігравати важливу роль в економічному розвитку і в виробництві енергії найближчим часом. Світові запаси перевищують 860 мільйонів тон і за оцінками експертів існує достатня кількість відомих родовищ, для забезпечення потреб на найближчі 100 років при поточних нормах споживання [1]. Із продовженням видобутку вугілля, буде зростати вплив вугільної промисловості на навколишнє природне середовище. Одним із негативних факторів вуглевидобувної промисловості є вугільні відвали, які створюють навантаження на літосферу, також паралельно забруднюючи атмосферу і гідросферу, з перспективою зменшення біорізноманіття прилеглих територій [2]. Потрібно розуміти, що видобуток корисних копалин-це тимчасовий процес, який диктує дотримання екологічного сталого розвитку [3]. Однією із головних цілей сталого розвитку вугільної галузі є повернення використаних земель до початкового етапу, або як мінімум до прийняттого екологічного стану. Виникає потреба у розробці ефективних методів стабілізації антропогенного навантаження. Одним із них є ремедіація вугільних відвалів [4]. Одним із варіантів ремедіації вугільних відвалів є використання субстрату для поверхневої засипки забрудненої території, але даний метод має високу собівартість. Альтернативою цього методу можуть слугувати біоремедіація або фіторемедіація [5]. Дуже важливо під час фіторемедіації обрати правильний вид рослин, які будуть невибагливі до умов навколишнього природного середовища та

матимуть здатність стабілізувати хімічний склад забрудненого важкими металами субстрату.

Відвали відходів вуглевидобування мають низькі значення показника рН, питомої електропровідності ґрунту (ЕП), низький вміст органічних речовин та високу концентрацію важких металів, яка значно перевищує норми гранично-допустимої концентрації (ГДК) [6-7]. На основі фізико-хімічного аналізу відвалів шахти «Павлоградська» і «Героїв Космосу» було помічено, що концентрація таких металів, як Pb та Cd, перевищувала майже в два рази норми ГДК [6-7]. При великій концентрації кадмію в рослинах порушується структура ферменту та замінюються основні метали в пігментах. При потраплянні в організм людини, сполуки кадмію завдають шкоду травній та дихальній системам, а також вражають нервову систему [8]. В свою чергу при потраплянні в організм свинець взаємозамінюється з атомами кальцію, що призводить до крихкості кісток та розвитку ракових захворювань. Також виникають ризики серцево-судинних захворювань [9].

Метою даної роботи було проаналізувати фіторемедіаційні властивості *T.aestivum* у вигляді ростового тесту, з подальшою можливістю використання даної рослини у якості фітостабілізатора на субстратах, забруднених важкими металами. Для цього потрібно проаналізувати ростові можливості досліджуваної рослини і зробити висновок на результаті отриманих даних щодо можливості використання даної рослини у вигляді фіторемедіатора.

## 2. Аналіз останніх досліджень і публікацій

Видобуток вугілля має серйозний негативний вплив на навколишнє природне середовище. Це зміна кількості і якості підземних вод, просідання землі, зміна водного балансу поверхневих вод, вплив на землекористування прилеглих територій, розміщення промислових відходів, створення геологічних небезпек та естетичний дисбаланс [10]. Через великий сектор впливу всіх гірничо-видобувних процесів на навколишнє природне середовище утилізація гірничого виробництва отримує відносно менше уваги, що у майбутньому може мати великий негативний вплив, якщо цю проблему не вирішити своєчасно [10]. Основною причиною небезпеки відвалів є наявність в них багатьох потенційно небезпечних елементів, таких як: Cd, Cr, As, Pb, Hg, Ni, Se, та ще й з високою концентрацією [11]. Вугільні відвали при забрудненні літосфери, атмосфери та гідросфери токсичними елементами мають потенційну небезпеку для здоров'я людини. Вони можуть викликати онкологічні захворювання, захворювання серцево-судинної системи, подразнення шкіри та респіраторні захворювання у людей, які проживають на прилеглих територіях [12]. Саме тому існує велика потреба у виборі правильного шляху відновлення відходів відвалів вуглевидобування.

У цьому випадку фітореMediaція є найбільш прийнятним, економічно ефективним, екологічно чистим, застосовним до великих площ і стійким підходом, який використовується для видалення забруднюючих речовин з ґрунту та водних систем [13]. Існують деякі обмежувальні фактори, які впливають на ефективність фітореMediaції, наприклад, здатність рослин поглинати забруднюючі речовини, виживання на забруднених землях і низька біодоступність забруднюючих речовин [14]. Існують багато видів економічних рослин, що мають високу здатність переносити токсичні речовини із забруднених територій, тому такий вид фітореMediaції має назву «комерційна» [13]. Одним із нових векторів розвитку фітореMediaції є стабілізація забрудненого субстрату за допомогою вирощування енергетичних культур, з метою досягнення низької собівартості реMediaції відвалу та виробництва біопалива [15]. Таким чином, вирощування енергетичних плантацій на звалищах відходів для виготовлення біопалива як джерела відновлюваної енергії без впливу на сільськогосподарські угіддя має нагальний пріоритет. Енергетичні плантації на вугільних відвалах є одним із найбільш економічних і екологічних способів використання сонячної енергії за допомогою процесу фотосинтезу. Окрім забезпечення доступності енергії біопалива зі звалищ відходів, це також може покращити родючість відвалів.

Оскільки фітореMediaція, як правило, є повільним процесом, а видобуток металів обмежений через їх низьку доступність в забруднених ділянках, в останні роки мікроби використовувалися в якості хелатних агентів для посилення процесу фітоекстракції важких металів [16]. Хоча ефективність цієї технології значною

мірою залежить від вибору відповідних видів рослин, які можуть швидко й ефективно накопичувати метали із забруднених ґрунтів, обрані мікроби можуть сприяти поглинанню металів із забруднених ґрунтів і, таким чином, посилювати процес фітоекстракції. Було помічено посилену фітоекстракцію Cr і Pb із забруднених сільськогосподарських ґрунтів шляхом біоаугментації бактерій, що утворюють сидерофори [17]. Було зафіксовано, що ризосферні бактерії можуть екстрагувати метал до рослин, хоча механізм взаємодії мікробів і металу ще недостатньо вивчений. Знайдено стійкий до важких металів вид мікроорганізмів *Burkholderia sp.*, які можуть просувати ріст рослин, а також накопичувати важкі метали [18].

Однією з рекомендацій, що реалізується перед початком повномасштабного процесу фітореMediaції, є засадження субстрату рослинами-піонерами, які повинні бути типовими для даного кліматичного регіону і невибагливими до факторів навколишнього природного середовища. Такі властивості були помічені в рослинах *Typha angustifolia*, *Miscanthus sinensis*, *Pennisetum purpureum* та *Sorghum sudanense* під час досліду на одній із шахт в Китаї [19]. Невисоку вибагливість до фізико-хімічних показників субстрату показав *Sphagnum mosses*. Дана рослина зарекомендувала себе чудовим «піонером», якому не потрібна висока концентрація рН, а високий вміст органічних речовин та висока концентрація важких металів не вплинули на вегетативні показники даної рослини [20]. Незважаючи на несприятливі фізико-хімічні показники субстратів промислових об'єктів, на їх ділянках можна зустріти такі рослини, як бавовник, береза та *Polytrichum mosses* [20].

В даній роботі було проаналізовано вплив важких металів Pb та Cd на вегетативні показники *Triticum aestivum* з подальшим розглядом досліджуваної рослини в якості фітореMediaтора вугільного відвалу.

## 3. Постановка завдання та його вирішення

Метою даної роботи було з'ясувати вплив важких металів Pb та Cd на ростові показники *Triticum aestivum*. *T.aestivum* використовувалась як рослина-фітоіндикатор, яка є типовою для степового регіону Західного Донбасу. Для експерименту було використано скляну рамку, яка була розподілена поролоновою прокладкою на 12 рівних частин (розмір кожної частини: висота 50 см, діаметр 4 см), які були заповнені 0,15 кг стерильного піску кожна, як показано на рисунку 1.

Перші п'ять рейок поливалися розчином солі із різною концентрацією свинцю в діапазоні від 1 до 8 ГДК. Інші п'ять рейок поливалися розчином солей кадмію від 1 до 8 ГДК згідно плану експерименту. Були приготовлені розчини з наступними концентраціями (1 ГДК, 2 ГДК, 4 ГДК, 6 ГДК і 8 ГДК) відповідно до загальної санітарних норм [21]. В кожен рейку було висаджено 10 насінин досліджуваної рослини, які попередньо були змочені.

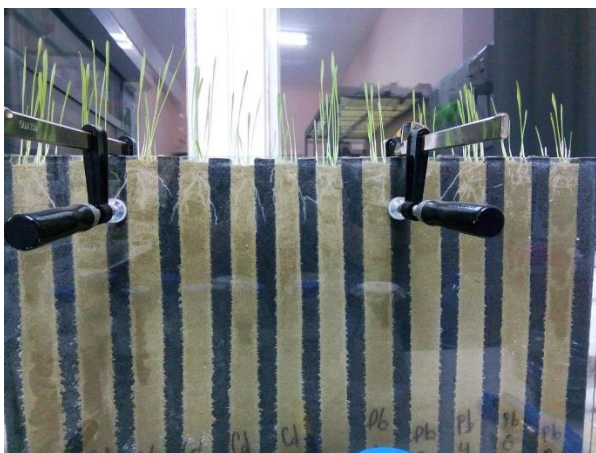


Рисунок 1 – Скляна рамка для проведення ростового експерименту з *T.aestivum*

Ростовий експеримент проходив за наступних умов: (20°C, 600 μM/m<sup>2</sup> s PAR). Також дві рейки поливали дистильованою водою (по 10 мл щодня). Рівень вологості у субстраті підтримували на рівні 70 % під час всього експерименту.

Для створення розчину з солями важких металів були використані наступні солі: Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> та CdCl<sub>2</sub>·2,5H<sub>2</sub>O. Була розрахована молярна маса кожної солі, що в подальшому дало змогу розрахувати необхідну кількість важкого металу, для отримання його концентрації на рівні 1, 2, 4, 6 та 8 ГДК, на один літр дистильованої води. Рослини

поливали даними розчинами протягом наступного 21 дня, щодня по 10 мл.

Після закінчення ростового експерименту рослини були відокремлені від субстрату, розділені на частини (коренева система відокремлена від пагонів) і обережно промиті в дистильованій воді. Після цього вони були зважені та висушені при температурі 60°C протягом 48 годин.

Результати ростового тесту представлені на рисунках 2 і 3.

Під час ростового тесту були отримані наступні результати. При додаванні солей свинцю, вегетативні властивості *T.aestivum* не були пригнічені у порівнянні з поливом дистилату. Середня довжина кореневої системи коливалась від 8,5±0,1 до 20±0,1 см, а надземної частини від 11±0,1 до 21,7±0,1 см. Найкращі ростові показники досліджувана рослина показала при додаванні 6 ГДК розчину солі свинцю, що дає змогу розглядати дану рослину як стійку до цього важкого металу.

При поливі *T.aestivum* солями кадмію не було помічено ефекту пригнічення рослини. Середня довжина кореневої системи коливалась від 12,3±0,1 до 17,3±0,1 см, а надземної частини від 14,9±0,1 до 20,6±0,1 см.

Під час досліду було зафіксовано, що *T.aestivum* є стійким до таких важких металів як Pb та Cd та може бути застосований як «рослина-піонер» для фітореMediaції відвалів відходів вуглеводобування.

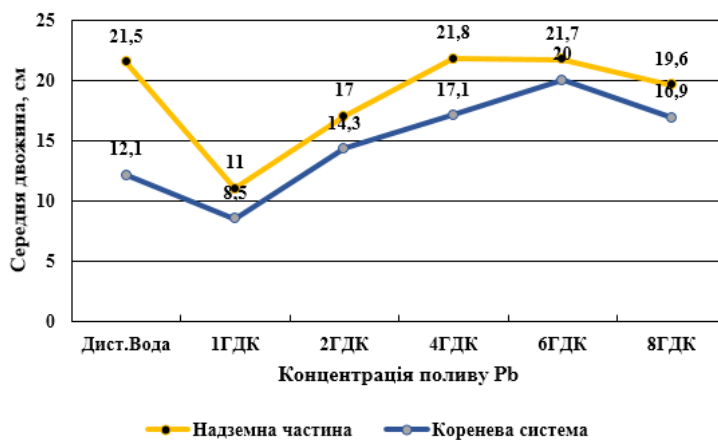


Рисунок 2 – Результати ростового тесту *T.aestivum* при додаванні солей Pb

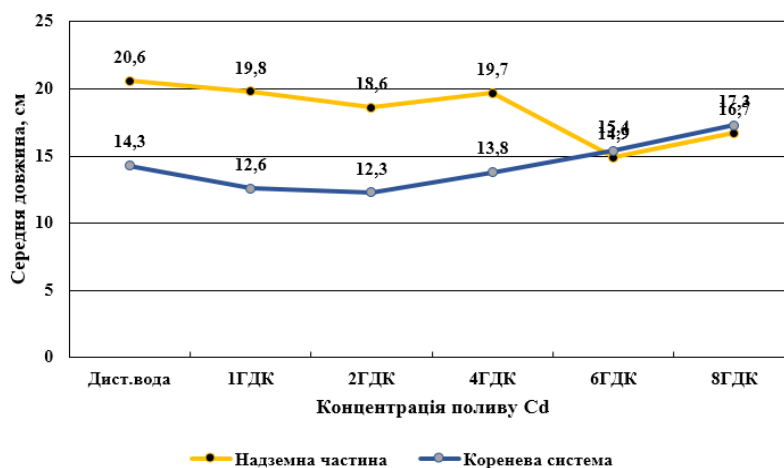


Рисунок 3 – Результати ростового тесту *T.aestivum* при додаванні солей Cd

**Висновки**

Згідно отриманих результатів *T.aestivum* зарекомендував себе як рослина-фіторемедіатор, стійкий до таких важких металів, як Pb та Cd, що дає можливість в подальшому використовувати його

для засадження забруднених територій. Надалі планується розглядати вплив інших важких металів на досліджувану рослину та аналіз міграції важких металів у системі «субстрат-рослина».

**ЛІТЕРАТУРА**

1. BP statistical review of world energy. BP Global Group, 2012. 48 p. URL: [http://www.bp.com/assets/bp\\_internet/globalbp/globalbp\\_uk\\_english/reports\\_and\\_publications/statistical\\_energy\\_review\\_2011/STAGING/local\\_assets/pdf/statistical\\_review\\_of\\_world\\_energy\\_full\\_report\\_2012.pdf](http://www.bp.com/assets/bp_internet/globalbp/globalbp_uk_english/reports_and_publications/statistical_energy_review_2011/STAGING/local_assets/pdf/statistical_review_of_world_energy_full_report_2012.pdf).
2. Sun H., Li M., Li D. The vegetation classification in coal mine overburden dump using canopy spectral reflectance. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2011. Vol. 75. P. 176–180.
3. Cao X. Regulating mine land reclamation in developing countries: the case of China. *Land Use Policy*. 2007. Vol. 24. P. 472–483.
4. Environmental issues from coal mining and their solutions / Zhengfu B. et al. *Mining Science and Technology*. 2010. Vol. 20. P. 0215–0223.
5. Phytoremediation: A novel strategy for removal of toxic metals from the environment using plants / Salt D. E. et al. *Biotechnology*. 1995. Vol. 13. P. 468–474.
6. Красовський С. А., Ковров О. С., Клімкіна І. І. Фіторемедіація вугільних відвалів Західного Донбасу. *Збірник наукових праць НГУ*. 2021. № 65. С. 170–178.
7. Красовський С. А., Ковров О. С., Клімкіна І. І. Визначення фізико-хімічних параметрів вугільного відвалу ДТЕК ШУ «Героїв Космосу». *Екологічні Науки*. 2021. № 6(39). С. 137–140. DOI: 10.32846/2306-9716/2021.eco.6-39.23.
8. Uncommon Heavy Metals, Metalloids and Their Plant Toxicity: A Review, Organic Farming, Pest Control and Remediation / Petr B. et al. *Environmental Chemistry Letters*. 2009. Vol. 6(4). P. 189–213.
9. Bioremediation of Heavy Metals from Soil and Aquatic Environment: An Overview of Principles and Criteria of Fundamental Processes / Dixit R. et al. *Sustainability*. 2015. Vol 7(2). P. 2189–2212. DOI: 10.3390/su7022189.
10. Sengupta M. Environmental impacts of mining – monitoring, restoration and control. London: Lewis. 1993. P. 1–31.
11. Pandey V. C., Singh K. Is *Vigna radiata* suitable for the revegetation of fly ash landfills? *Ecological Engineering*. 2011. Vol. 37. P. 2105–2106.
12. Nath S. Ecosystem approach for mined land rehabilitation and present rehabilitation scenario in Jharkhand coal mines. In: Chaubey O. P., Bahadur V., Shukla P. K. (eds). *Sustainable rehabilitation of degraded ecosystems*. Jaipur: Aavishkar Publishers Distributors, 2009. P. 46–66.
13. Pandey V. C., Pandey D. N., Singh N. Sustainable phytoremediation based on naturally colonizing and economically valuable plants. *Journal of Cleaner Production*. 2015. Vol 86. P.37–39.
14. Chirakkara R., Reddy K. Plant species identification for phytoremediation of mixed contaminated soils. *Journal of Hazardous, Toxic and Radioactive Waste*. 2015. Vol. 19(4). DOI: 10.1061/(ASCE)JHZ.2153-5515.0000282.
15. Pandey V. C., Bajpai O., Singh N. Energy crops in sustainable phytoremediation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016. Vol. 54. P. 58–73.
16. Höflich G., Metz R. Interactions of plant-microorganism associations in heavy metal containing soils from sewage farms. *Bodenkultur*. 1997. Vol. 48. P. 239–247.
17. Rhizosphere bacteria affect growth and metal uptake of heavy metal accumulating willows / Kuffner M. et al. *Plant Soil*. 2008. Vol. 304. P. 35–44.
18. Isolation and characterization of heavy metal resistant *Burkholderia sp.* from heavy metal contaminated paddy field soil and its potential in promoting plant growth and heavy metal accumulation in metal polluted soil / Jiang C. Y., Sheng X. F., Qian M., Wang Q. Y. *Chemosphere*. 2008. Vol. 72. P. 157–164.
19. Yang X., Gao L. A study on re-vegetation in mining wasteland of Dexing copper mine, China. *Acta Ecologica Sinica*. 2001. Vol. 21(11). P. 1932–1940.
20. The dynamics of a cotton-grass (*Eriophorum vaginatum L.*) cover expansion in a vacuum-mined peatland, southern Quebec / Lavoie C., Marcoux K., Saint-Louis A., Price J. S. *Canada Wetlands*. 2005. Vol. 25. P. 64–75.
21. Про затвердження Гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних речовин у ґрунті: наказ М-ва охорони здоров'я України від 14 лип. 2020 р. № 1595. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0722-20#Text> (дата звернення: 10.10.2022).

**Krasovsky S., Kovrov O.****INFLUENCE OF SALTS OF HEAVY METALS Pb AND Cd ON THE VEGETATIVE INDICATORS OF TRITICUM AESTIVUM**

The Ukrainian energy and fuel sector is highly dependent on mineral extraction. Hard coal accounts for 25-30% of mineral production in Ukraine. All processes, from coal mining to its use for energy, have a negative impact on the environment. One of these impacts is the accumulation of waste rock at an industrial facility, known as a coal dump. These dumps have a negative impact on all spheres of the environment. Coal dumps located in Western Donbas are characterized by a low pH level, a low level of specific electrical conductivity of the soil, a low level of nutrients and a high concentration of heavy metals. Among the main dangerous toxic elements are Pb and Cd, the concentration of which exceeds more than 2 times the maximum permissible concentration. According to the results of the study, it was established that *Triticum aestivum* has shown itself as a phytoremediator plant resistant to heavy metals such as Pb and Cd, which makes it available to further use for planting contaminated areas of coal dumps.

**Key words:** coal dumps, heavy metals, maximum permissible concentration, phytoremediation, *Triticum aestivum*.

## REFERENCES

1. BP Global Group. (2012). BP statistical review of world energy, 48 p. URL: [http://www.bp.com/assets/bp\\_internet/globalbp/globalbp\\_uk\\_english/reports\\_and\\_publications/statistical\\_energy\\_review\\_2011/STAGING/local\\_assets/pdf/statistical\\_review\\_of\\_world\\_energy\\_full\\_report\\_2012.pdf](http://www.bp.com/assets/bp_internet/globalbp/globalbp_uk_english/reports_and_publications/statistical_energy_review_2011/STAGING/local_assets/pdf/statistical_review_of_world_energy_full_report_2012.pdf).
2. Sun, H., Li, M., & Li, D. (2011). The vegetation classification in coal mine overburden dump using canopy spectral reflectance. *Computers and Electronics in Agriculture*, 75, 176–180.
3. Cao, X. (2007). Regulating mine land reclamation in developing countries: the case of China. *Land Use Policy*, 24, 472–483.
4. Zhengfu, B., Hilary, I., John, D., Frank, O., & Sue, S. (2010). Environmental issues from coal mining and their solutions. *Mining Science and Technology*, 20, 0215–0223.
5. Salt, D. E., Blaylock, M., Kumar, P. B. A. N., Dushenkov, V., Enseley, D. D., Chet, I., & Raskin, I. (1995). Phytoremediation: A novel strategy for removal of toxic metals from the environment using plants. *Biotechnology*, 13, 468–474.
6. Krasovskiy, S. A., Kovrov, O. O., & Klimkina, I. I. (2021). *Fitoremediacija vugil'nyh vidvaliv Zahidnogo Donbasu [Phytoremediation of coal dumps of Western Donbass]*. *Zbirnyk naukovykh prac' NGU*, 65, 170–178. [in Ukrainian].
7. Krasovskiy, S. A., Kovrov, O. O., & Klimkina, I. I. (2021). Vyznachennja fizyko-himichnyh parametriv vugil'nogo vidvalu DTEK ShU “Heroiv kosmosu” [Determination of physico-chemical characteristics of the coal dump “Heroiv Kosmosy”]. *Ecological Sciences*, 6(39), 137–140. DOI: 10.32846/2306-9716/2021.eco.6-39.23. [in Ukrainian].
8. Petr, B., Vojtech, A., Radka, O., Josef, Z., Ladislav, H., & Rene, K. (2009). Uncommon Heavy Metals, Metalloids and Their Plant Toxicity: A Review, Organic Farming, Pest Control and Remediation. *Environmental Chemistry Letters*, 6(4), 189–213.
9. Dixit, R., Wasiullah, Malaviya, D., Pandiyan, K., Singh, U. B., Sahu, A., Shukla, R., Singh, B. P., Rai, J. P., Sharma, P. K., Lade, H., & Paul, D. (2015). Bioremediation of heavy metals from soil and aquatic environment: An overview of principles and criteria of fundamental processes, *Sustainability*, 7, 2189–2212. DOI: 10.3390/su7022189.
10. Sengupta, M. (1993). *Environmental impacts of mining – monitoring, restoration and control*. London: Lewis. 1993. P. 1–31.
11. Pandey, V. C., & Singh, K. (2011). Is *Vigna radiata* suitable for the revegetation of fly ash landfills? *Ecological Engineering*, 37, 2105–2106.
12. Nath, S. (2009). Ecosystem approach for mined land rehabilitation and present rehabilitation scenario in Jharkhand coal mines. In: Chaubey, O. P., Bahadur, V., & Shukla, P. K. (eds). *Sustainable rehabilitation of degraded ecosystems*. Jaipur: Aavishkar Publishers Distributors, 2009, 46–66.
13. Pandey, V. C., Pandey, D. N., & Singh, N. (2015). Sustainable phytoremediation based on naturally colonizing and economically valuable plants. *Journal of Cleaner Production*, 86, 37–39.
14. Chirakkara R., & Reddy K. (2015). Plant species identification for phytoremediation of mixed contaminated soils. *Journal of Hazardous, Toxic and Radioactive Waste*, 19(4). DOI: 10.1061/(ASCE)HZ.2153-5515.0000282.
15. Pandey, V. C., Bajpai, O., & Singh, N. (2016). Energy crops in sustainable phytoremediation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 58–73.
16. Höflich, G., & Metz, R. (1997). Interactions of plant-microorganism associations in heavy metal containing soils from sewage farms. *Bodenkultur*, 48, 239–247.
17. Kuffner, M., Puschenreiter, M., Wieshammer, G., Gorfer, M., & Sessitsch, A. (2008). Rhizosphere bacteria affect growth and metal uptake of heavy metal accumulating willows. *Plant Soil*, 304, 35–44.
18. Jiang, C. Y., Sheng, X. F., Qian, M., & Wang, Q. Y. (2008). Isolation and characterization of heavy metal resistant *Burkholderia sp.* from heavy metal contaminated paddy field soil and its potential in promoting plant growth and heavy metal accumulation in metal polluted soil. *Chemosphere*, 72, 157–164.
19. Yang, X., & Gao, L. (2001). A study on re-vegetation in mining wasteland of Dexing copper mine, China. *Acta Ecologica Sinica*, 21(11), 1932–1940.
20. Lavoie, C., Marcoux, K., Saint-Louis, A., & Price, J. S. (2005). The dynamics of a cotton-grass (*Eriophorum vaginatum L.*) cover expansion in a vacuum-mined peatland, southern Quebec. *Canada Wetlands*, 25, 64–75.
21. *Pro zatverdzhennja Gigijeniichnyh reglamentiv dopustymogo vmistu himichnyh rehovyn u g'runti [On approval of Hygienic regulations for the permissible content of chemicals in the soil]*, 1000 Order of the Ministry of Health of Ukraine (2020). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0722-20#Text>. [in Ukrainian].