

© С.А. Красовський¹, О.С. Ковров¹, І.І. Клімкіна¹

¹ Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

ВПЛИВ БІОЧАРУ НА ФІТОРЕМЕДІАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ *AVENA FATUA* ТА *BROMUS INERMIS LEYSS*

© S. Krasovskyi¹, O. Kovrov¹, I. Klimkina¹

¹ Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

THE EFFECT OF BIOCHAR ON THE PHYTOREMEDIATION PROPERTIES OF *AVENA FATUA* AND *BROMUS INERMIS LEYSS*

Мета: Проаналізувати вплив біоچارу на фізичні показники субстрату з відвалу вуглевидобування ДТЕК ШУ «Павлоградська» та порівняти вплив різної концентрації біоچارу до субстрату на ростові показники досліджуваних рослин – фітоіндикаторів *A.fatua* та *B.Leyss*.

Методика досліджування полягає у визначенні таких фізико-хімічних показників субстрату, як рН та питома електропровідність (ЕС), проаналізувати різний вплив концентрації біоچارу до субстрату (1.субстрат; 2.субстрат+10% біоچارу; 3. субстрат+15% біоچارу; 4. субстрат+20% біоچارу) на зміну фізичних показників отриманого субстрату та на ростові показники досліджуваних рослин *A.fatua* та *B.Leyss*.

Результати дослідження. На основі отриманих результатів було встановлено такі показники субстрату, як рН = 8,78 та значення питомої електропровідності (ЕС), що становить 301,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Різна концентрація субстрату з біоچارом на фінальні фізичні показники не вплинула: рН = [8,78-8,9], а ЕС = [301,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$ -303,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$]. Ростові показники обох досліджуваних рослин показали кращі результати, на досліджуваному субстраті, де було співвідношення субстрат+15% біоچارу. *A.fatua* мав середню довжину надземної частини 16,9 см, а кореневої 9 см, а *B.Leyss* надземної частини 18, 1 см і 9 см-кореневої системи. Даний аналіз дає можливість розглядати дану технологію, для фіторемедіації відвалів вуглевидобування.

Наукова новизна. Встановлено вплив біоچارу на фізичні показники субстрату взятого з відвалу відходу вуглевидобування ДТЕК ШУ «Павлоградська» та ростові показники залежності досліджуваних рослин *A.fatua* та *B.Leyss* від кількості біоچارу в субстраті. Результати дослідження дають змогу використовувати даний метод ремедіації, як початковий етап відновлення забруднених територій від гірничої промисловості.

Практичне значення. Отримані результати дають змогу використовувати даний метод, як ефективний метод для початкового, біологічного етапу фіторемедіації вугільного відвалу.

Ключові слова: біоچار, фізико-хімічні показники, ремедіація вугільних відвалів, фіторемедіація, «рослини-піонери», ростовий тест.

Вступ. В останні роки збільшується використання природних ресурсів, що в свою чергу збільшує антропогенне навантаження на навколишнє середовище. Одним із секторів використання природних ресурсів є видобуток корисних копалин. Вугілля є одним із джерелом електроенергії. Виробництво електроенергії, що базується навколо вугільної промисловості в Україні, сягає 25-30% [1]. Одним із негативних факторів впливу від вугільної промисловості, при видобутку

вугілля складає утворення вугільних відвалів. Вугільний відвал – пуста гірська порода, яка накопичується на спеціально відведених територіях і має негативний вплив на атмосферу, літосферу та гідросферу. Щорічно в Україні накопичується близько 60 млн. тон гірської породи [2]. Вугільні відвали Західного Донбасу характеризуються низькими показниками рН, питомою електропровідністю, низьким вмістом поживних речовин та великою концентрацією важких металів, яка перевищує в декілька разів гранично допустимі концентрації (ГДК) [3]. Для покращення фізико-хімічних властивостей забруднених ґрунтів використовують різні методи ремедіації [4]. Для покращення загальних властивостей субстрату використовують фізичні, хімічні та біологічні методи ремедіації [5]. Одним із методів є використання біочару. Біочар – це твердий продукт піролізу відходів біомаси сільськогосподарського та лісгосподарського виробництва [6]. Застосування біочару було розглянуто як потенціал для посилення довгострокового поглинання вуглецю, так як більшість вуглецю в біочарі має ароматичну структуру і стійкі до навколишнього середовища. Біочар має високі показники рН, високу здатність до катіонного обміну, також може підвищити продуктивність ґрунту [7]. Також, було помічено, що біочар має можливість адсорбувати забруднюючі речовини в ґрунті [8]. В даному дослідженні було розглянуто вплив біочару на фізико-хімічні показники субстрату з вугільного відвалу та його вплив на ростові показники досліджуваних рослин *A.fatua* та *B.Leyss* з подальшим розглядом даного методу-як початкового методу ремедіації вугільних відвалів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одна із головних цілей використання біочару є пониження рівня рН у субстраті. Поверхня біочару, часто негативно заряджена, і тому навряд чи сорбуватиме негативно заряджені іони, такі як фосфат або нітрат. Значення рН біочару при різних температурах піролізу становили від 9,2 до 10,4 і збільшувалися з підвищенням температури піролізу [9]. Під час процесу піролізу змінюється структура і розміри біочару, що в свою чергу дає змогу змінювати фізичну структуру субстрату, що впливає на пористість субстрату при його додаванні [10]. Через негативний поверхневий заряд і відповідну спорідненість до катіонів ґрунту збільшується загальна ємність катіонного обміну. Також було зафіксовано адсорбції катіонів при додаванні біочару [11]. Важливо зазначити, що біочар має певні термінові обмеження. З часом, певні поверхневі групи та хімічний склад можуть бути змінені в результаті старіння, окиснення та мікробної деградації за умов навколишнього середовища, що в свою чергу впливає на сорбційні характеристики біочару [12].

Формулювання цілей статті. Основна мета даного дослідження полягала у визначенні впливу біочару на фізико-хімічні показники досліджуваного субстрату з відвалу вуглевидобування та ростові показники досліджуваних рослин *A.fatua* та *B.Leyss*.

Матеріали та методи. Для субстрату були відібрані проби з ДТЕК ШУ «Павлоградська», а саме червоно-бурої глини, яку використовували для покриття гірської породи. Проби були відібрані із глибини 0-20 см. Проби ґрунтів відбирали згідно ДСТУ 4287:2004 та ДСТУ ISO 10381-2:2004.

Було проведено комплексний аналіз фізико-хімічних показників, таких як: рН, питома електропровідність ґрунту (ЕС). Проби ґрунтів були доведені до повітряно-сухого стану, після чого зробили ґрунтово-водні витяжки у співвідношенні 1:10. рН водної витяжки визначали за ГОСТ 17.5.4.01-84, питому електропровідність – за ДСТУ ISO 11265:2001.

Для біочару було використано звичайний БІОЧАР IDEALE, який пройшов екосетрифікацію і вважається одним із найкращих органічних добрив.

Змішування субстрату з біочаром проводилось у 4 варіантах:

1) Субстрат; 2) субстрат + 10% біочару; 3) субстрат + 15% біочару; 4) субстрат + 20% біочару.

Для експерименту було використано 40 контейнерів для розсади (розмір кожного: висота 10 см, діаметр 9 см), які були заповнені 0,4 кг субстрату та біочару відповідно до плану експерименту (рис. 1). Перший варіант контейнеру складав 0,4 кг субстрату з відвалу вуглевидобування. Другий варіант складав 0,36 кг субстрату і 0,04 кг біочару. Третій варіант мав 0,34 кг субстрату і 0,06 кг біочару. Четвертий контейнер складався із 0,32 кг субстрату і 0,08 кг біочару. Всі експериментальні дослідження склалися з п'яти повторностей.



Рис. 1. Контейнери для розсади з досліджуваним субстратом та біочаром

A.fatua та *B.Leyss* використовувались як рослини фітоіндикатори, які є типовими рудеральними рослинами, для степового регіону Західного Донбасу. Контейнери були розподілені порівну: в 20-ти з них проростали насіння *A.fatua*, в інших 20-ти насіння *B.Leyss* (рис.2). В кожен контейнер було висаджено 20 насінини кожного виду рослин, які попередньо були змочені. Ростовий експеримент проходив в спеціальній камері, де підтримувались наступні умови: (20°C, 600 $\mu\text{M}/\text{m}^2 \text{ s PAR}$) в повністю випадковому порядку. Контейнери щодня змінювали своє місцезнаходження. Ростовий тест тривав 21 день. Рослини щодня поливалися по 10 мл дистильованою водою.



Рис. 2. Контейнери з досліджуваною рослиною *A.fatua*

Після закінчення ростового експерименту рослини були відокремлені від субстрату, та розділені між собою (коренева система від пагонів) і обережно промиті в дистильованій воді. Після цього вони були зважені та висушені при температурі 60°C протягом 48 годин. Статистичну обробку результатів дослідження виконано за допомогою пакетів програм «Statistica 5.0» і «Microsoft Excel 2010».

Результати досліджень. Після проведення експерименту, були встановлені наступні фізико-хімічні показники досліджуваних варіантів субстрату з біочаром, які представлені в табл.

Таблиця

Фізико-хімічні показники досліджуваного субстрату

	Субстрат	Субстрат + 10% біочару	Субстрат + 15% біочару	Субстрат + 20% біочару
pH	8,78	8,81	8,85	8,9
ЕС, $\mu\text{S}/\text{cm}$	301,9	302,5	302,9	303,5

Згідно отриманих результатів, коливання pH та ЕС були незначні. pH змінювалось від [8,78-8,9], а ЕС [301,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$ -303,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$], що в свою чергу дає змогу зробити висновок, що біочар особливо не впливає на такі фізико-хімічні показники, як pH та питомої електропровідності.

Однією з головних цілей даного експерименту, було проведення ростового тесту на досліджуваних рослинах *A.fatua* та *B.Leyss* з метою оцінки впливу біочару на вегетативні показники рослин. Отримані результати представлені на рис. 3 та рис. 4.

Згідно отриманих результатів ростового тесту, можна припустити, що біочар має властивості підвищувати продуктивність ґрунту та адсорбувати забруднюючі речовини. Вегетативний експеримент показав, що при концентрації субстрат+15% біочару, досліджуванні фітоіндикатори *A.fatua* та *B.Leyss* показали найкращі результати. Довжина кореневої системи *A.fatua* складала в середньому $9 \pm 0,2$ см, а надземної частини $16,9 \pm 0,2$ см. У *B.Leyss* $9,5 \pm 0,1$ см, та $18,1 \pm 0,2$ см відповідно.

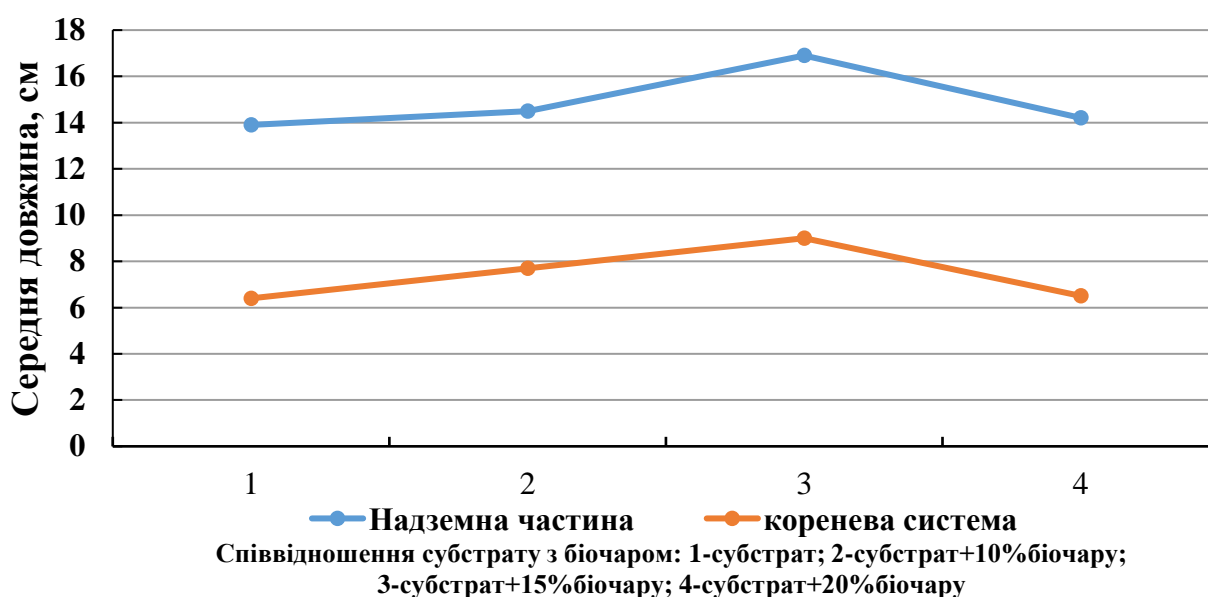
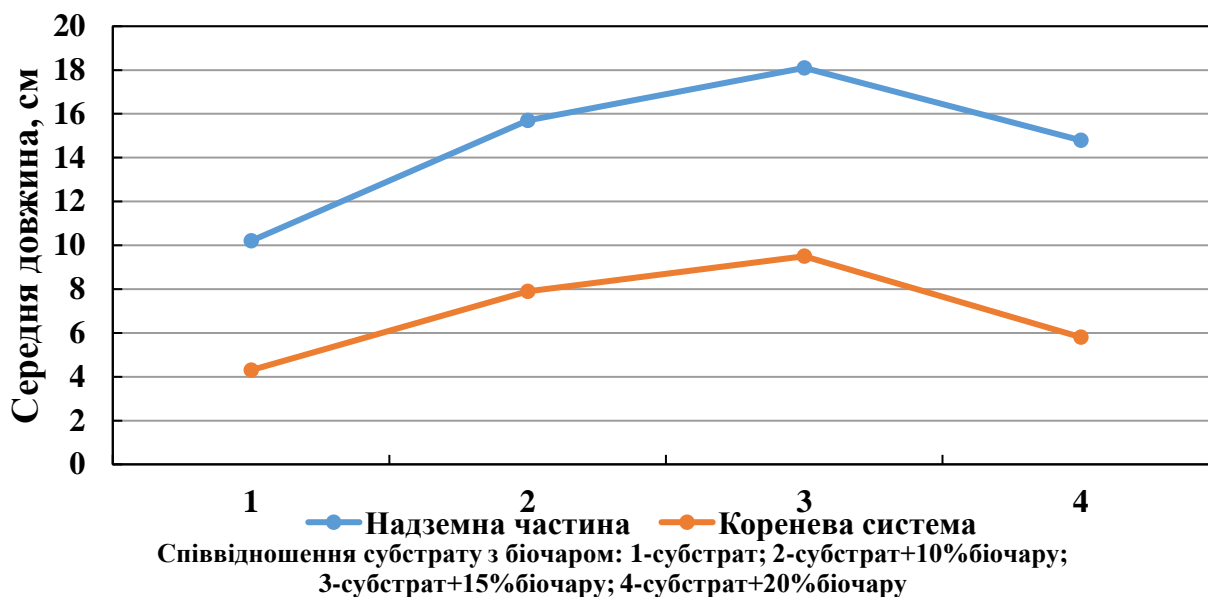


Рис. 3. Ростові показники *A.fatua*

Рис. 4. Ростові показники *V. Leys*

Обговорення отриманих результатів. Згідно проаналізованих раніше дослідів, переваги використання біочару полягали у підвищенні рН, ЕС, органічної складової та іммобілізацію забруднюючих речовин [7;8]. Згідно отриманих результатів можна заявити, що при пропорціях змішування субстрату з біочаром у вигляді (10%;15%;20%) такі показники як рН та ЕС залишились майже не змінними. Щодо органічної складової та іммобілізацію важких металів у майбутньому планується повторити експеримент, і вже при аналізі використовувати метод мас-спектрометрії з індуктивно зв'язаною плазмою (ІЗП-МС). Після отриманих результатів можна буде проаналізувати чи збільшується продуктивність субстрату і чи фізико-хімічні властивості біочару стримують міграцію хімічних елементів у субстраті.

Ростовий тест показав що зі збільшенням концентрації біочару, вегетативні показники досліджуваних рослин збільшуються також, що дає змогу гіпотетично вказувати, що біочар дає позитивний ефект і його можна використовувати для покращення фізико-хімічних параметрів субстрату. У майбутньому планується більш детально розглядати властивості біочару та його вплив на субстрат, з використанням рослин-піонерів, для створення першого біологічного етапу рекултивациі вугільного відвалу.

Висновок. В даному експерименті було проаналізовано вплив біочару на фізико-хімічні показники субстрату з відвалу вуглевидобування ДТЕК ШУ «Павлоградська». Дослід показав, що біочар в концентраціях 10%, 15% і 20% від субстрату немає особливо впливу на такі показники як рН та ЕС, вони були в межах від [8,78-8,9], та ЕС [301,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$ -303,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$] відповідно. Ростовий тест показав, що досліджуванні рослини *A. fatua* та *V. Leys* показали кращі вегетаційні результати при концентрації 15% біочару до субстрату, а саме довжина кореневої системи *A. fatua* складала в середньому $9 \pm 0,2$ см, а надземної частини $16,9 \pm 0,2$ см. У *V. Leys* $9,5 \pm 0,1$ см, та $18,1 \pm 0,2$ см відповідно. Даний дослід дає змогу у

майбутньому розглядати метод біологічної рекультивації вугільного відвалу, шляхом застосування біочару та рослин-піонерів *A.fatua* та *B.Leyss*, які є типовими для степового регіону Західного Донбасу.

Перелік посилань

1. Гайко, Г. І., & Білецький, В. С. (2013). *Історія гірництва. Підручник*. ДонДТУ.
2. *Видобуток і збагачення вугілля* (n.d.). https://energo.dtek.com/business/coal_industry/
3. Красовський, С.А, Ковров, О.С, & Клімкіна, І.І. (2021). Фіторемедіація вугільних відвалів Західного Донбасу. *Збірник наукових праць НГУ*, 65, 170-178. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/65.170>
4. Bolan, N.S., & Duraisamy, D. (2003). Role of soil amendments on the immobilization and bioavailability of metals in soils. *Australian Journal of Soil Research*, 41, 533–555.
5. Mullainathan, L., Arulbalachandran, D., Lakshmanan, G.M.A., & Velu, S. (2007). Phytoremediation: metallophytes an effective tool to remove soil toxic metal. *Plant Archives*, 7, 19–23;
6. Wang, H., Lin, K., Hou, Z., Richardson, B., & Gan, J. (2010). Sorption of the herbicide terbuthylazine in two New Zealand forest soils amended with biosolids and biochars. *Journal of Soils and Sediments*, 10(2), 283–289. <https://doi.org/10.1007/s11368-009-0111-z>
7. Jeffery, S., Verheijen, F. G. A., van der Velde, M., & Bastos, A. C. (2011). A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 144(1), 175–187. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.08.015>
8. Beesley, L., & Marmiroli, M. (2011). The immobilisation and retention of soluble arsenic, cadmium and zinc by biochar. *Environmental Pollution*, 159(2), 474–480. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2010.10.016>
9. Bird, M. I., Wurster, C. M., de Paula Silva, P. H., Bass, A. M., & de Nys, R. (2011). Algal biochar – production and properties. *Bioresource Technology*, 102(2), 1886–1891. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.07.106>
10. Chun, Y., Sheng, G., Chiou, C. T., & Xing, B. (2004). Compositions and Sorptive Properties of Crop Residue-Derived Chars. *Environmental Science & Technology*, 38(17), 4649–4655. <https://doi.org/10.1021/es035034w>
11. Cao, X., Ma, L., Liang, Y., Gao, B., & Harris, W. (2011). Simultaneous Immobilization of Lead and Atrazine in Contaminated Soils Using Dairy-Manure Biochar. *Environmental Science & Technology*, 45(11), 4884–4889. <https://doi.org/10.1021/es103752u>
12. Uchimiya, M., Orlov, A., Ramakrishnan, G., & Sistani, K. (2013). In situ and ex situ spectroscopic monitoring of biochar's surface functional groups. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 102, 53–59. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2013.03.014>

ABSTRACT

Purpose. To analyze the effect of biochar on the physical indicators of the substrate from the coal mining dump of DTEK Pavlogradska. To compare the effect of different concentrations of biochar to the substrate on the growth indicators of the studied plants - phytoindicators *A.fatua* and *B.Leyss*.

Methodology. To consists in determining such physico-chemical indicators of the substrate as pH and electrical conductivity (EC), to analyze the different effects of biochar concentration on the substrate (1. substrate; 2. substrate + 10% biochar; 3. substrate + 15% biochar; 4. substrate +20% biochar) on the change in the physical parameters of the obtained substrate and on the growth parameters of the studied plants *A.fatua* and *B.Leyss*.

Results. Based on the obtained results, such indicators of the substrate as pH = 8.78 and the value of electrical conductivity (EC), which was 301.9 $\mu\text{S}/\text{cm}$, were established. Different concentrations of the substrate with biochar did not affect the final physical parameters: pH = [8.78-8.9], and EC = [301.9 $\mu\text{S}/\text{cm}$ -303.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$]. The growth indicators of both studied plants showed better results on the studied substrate, where there was a ratio of substrate + 15% biochar. *A.fatua* had an average shoots length of 16.9 cm and a roots length of 9 cm, while *B.Leyss* had an average shoots length of 18.1 cm and a 9 cm roots system. This analysis makes it possible to consider this technology for phytoremediation of coal mining dumps.

Originality. The influence of biochar on the physical parameters of the substrate taken from the tailings dump of coal mining DTEK of Pavlogradska and the growth indicators of the dependence of the studied plants *A.fatua* and *B.Leyss* on the amount of biochar in the substrate were determined. The results of the research make it possible to use this method of remediation as the initial stage of restoration of territories polluted by the mining industry.

Practical implications. The obtained results make it possible to use this method as an effective method for the initial, biological stage of phytoremediation of a coal dump.

Keywords: *biochar, physicochemical parameters, remediation of coal dumps, phytoremediation, "pioneer plants", growth test.*