

ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ЗАСТОСУВАННЯ БІОВУГІЛЛЯ ЯК ДОМІШКИ У ВЕРХНІЙ ШАР ҐРУНТУ ШТУЧНОГО РЕКУЛЬТИВОВАНОГО ПРОФІЛЮ

Харитонов М.М.¹, Клімкіна І.І.²

¹Дніпровський державний аграрно-економічний університет
вул. Сергія Єфремова, 25, 49600, м. Дніпро

²Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»
пр. Дмитра Яворницького, 19, 49005, м. Дніпро

Три енергетичні однорічні культури (кукурудзу, суданську траву та цукрове сорго) вирощували в модельному експерименті у вегетаційних посудинах з двома типами ґрунтів: насипному шарі чорнозему (НШЧ) та червоно-бурої глини (ЧБГ). Схожість насіння кукурудзи та цукрового сорго підвищилася на 8–15%. Висота проростків суданської трави була на 13% вищою у варіанті НШЧ + біовугілля і на 30% нижчою у варіанті ЧБГ + біовугілля. Сходи сорго цукрового, навпаки, були нижчими у варіанті НШЧ + біовугілля та трохи вищими у варіанті ЧБГ + біовугілля. Найбільш виражений ефект від додавання біовугілля спостерігався на червоно-бурій глині для рослин цукрового сорго. Для суданської трави значне збільшення біомаси відмічено лише на чорноземах – 36–48%, тоді як на червоно-бурих глинах воно становило лише 4–9%. Приріст біомаси кукурудзи не перевищував 10% на чорноземах і 30% на червоно-бурих глинах. Додавання біовугілля в субстрати у найбільшому ступені впливало на зростання кореневої біомаси цукрового сорго. Серед досліджуваних енергетичних культур найменшу здатність накопичувати важкі метали мала кукурудза. У кукурудзи, вирощеної на чорноземі, накопичення важких металів після додавання біовугілля зменшилося в середньому на 13–24,5%. Найбільший ефект від додавання біовугілля спостерігався для цинку (42,7%). Не було виявлено жодного впливу на засвоєння заліза. Інтенсивність накопичення марганцю у суданської трави, вирощеної на чорноземі знизилася більше, ніж інших металів (на 31,4%). Водночас на червоно-бурій глині цей ефект не спостерігався. В експерименті з цукровим сорго найбільший ефект від додавання біовугілля спостерігався для міді. Накопичення цього металу на чорноземі зменшилось на 44,1%, на червоно-бурій глині – на 42,4%. Також на на червоно-бурій глині відзначено значне зниження вмісту цинку (33,3%). *Ключові слова:* біовугілля, ґрунт, гірська порода, енергетичні культури, важкі метали.

Ecological assessment of the application of biochar as an amendment in the top soil of artificial reclaimed profile. Kharytonov M., Klimkina I.

Three energy annual crops (maize, sudan grass and sweet sorghum) were grown in a model pot experiment with two types of soils: bulk layer of black soil (BS) and red-brown clay (RBC). The similarity of corn and sweet sorghum seeds increased by 8–15%. The height of the seedlings of sudan grass was 13% higher in the BS + biochar treatment and 30% lower in the RBC + biochar treatment. Sweet sorghum seedlings, on the contrary, were lower in the BS + biochar treatment and slightly higher in the RBC + biochar variant. The most pronounced effect of adding biochar was observed on red-brown clay for sugar sorghum plants. For sudan grass, a significant increase in biomass was noted only on chernozems – 36–48%, while on red-brown clays it was only 4–9%. The increase in the biomass of corn did not exceed 10% on chernozem and 30% on red-brown clay. The addition of biochar to the substrates had the greatest effect on the growth of root biomass of sweet sorghum. Among the studied energy crops, corn had the least ability to accumulate heavy metals. In corn grown on chernozem, the accumulation of heavy metals after the addition of biochar decreased on average by 13–24,5%. The greatest effect of adding biochar was observed for zinc (42,7%). No effect on iron absorption was found. The intensity of manganese accumulation in Sudanese grass grown on chernozem decreased more than other metals (by 31,4%). At the same time, this effect was not observed on red-brown clay. The greatest effect of adding biochar was observed for copper in the experiment with sweet sorghum. The accumulation of this metal on chernozem decreased by 44,1%, on red-brown clay by 42,4%. Also, a significant decrease in the zinc content (33,3%) was noted on the red-brown clay. *Key words:* biochar, soil, rock, energy crops, heavy metals.

Постановка проблеми. Активна техногенна діяльність людини сприяє швидкому збільшенню кількості малопродуктивних земель, що характеризуються низькою родючістю, високим ступенем ерозії, високою кислотністю або лужністю, засоленням, а також забрудненням важкими металами та іншими токсичними елементами. Зазвичай, такі ґрунти не придатні для вирощування сільськогосподарських культур. Тому технологічно порушені землі все частіше розглядаються як потенційні території для вирощування енергетичних культур для переробки біомаси на біоетанол та пелети. Одним із шляхів

вирішення проблеми отримання стабільних економічно вигідних врожаїв на маргінальних землях є використання різноманітних ґрунтополіпшувачів, які підвищують продуктивність і знижують токсичність ґрунту.

Метою роботи є: визначення впливу від внесення біовугілля як домішки у техногенно забруднений ґрунт на схожість трьох видів однорічних культур, їх біометричні показники та вміст важких металів в наземній та кореневій біомасі.

Актуальність дослідження. Існує багато доказів успішного вирощування різних швидкоростучих

рослин на маргінальних землях [1–3]. Одним із шляхів вирішення цього завдання є використання різноманітних ґрунтополіпшувачів, які підвищують продуктивність і знижують токсичність ґрунту [4–5].

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Зазвичай проблема фіксації важких металів у прикореневому шарі ґрунту вирішувалася за рахунок контролю рН ґрунту, внесення вапна чи гіпсу, додаванням різних мінералів сорбентів. Але цей шлях пов'язаний із використанням не відновлюваних джерел викопної сировини тобто з їхнім видобутком. Застосування біовугілля як сорбента пов'язано із сучасними науковими напрямками, які відповідають вимогам європейської регенеративної економіки і дають можливість реалізації безвідходних технологій виробництва біосировини. Додатковою перевагою використання біовугілля на техногенне забруднених землях є перспектива утилізації вуглецю тим самим зменшуючи вихід парникових газів.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Не зовсім дослідженими є вплив нових форм ґрунтових домішок на доступність важких металів у рослини, які вирощують на техногенне забруднених ґрунтах.

Новизна. У роботі вперше здійснено порівняння впливу від додавання біовугілля у два різні за буферною ємністю субстрати, які були використані як складові штучного профілю рекультивації шахтних відвалів.

Методологічне або загальнонаукове значення. В умовах Павлоградського стаціонару порушених земель ДДАЕУ у були закладені вегетаційні досліди по вивченню впливу домішки біовугілля на основні біометричні показники біоенергетичних рослин та вміст важких металів у надземній та підземній біомасі суданки, кукурудзи та цукрового сорго.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Біовугілля, отримане в результаті карбонізації органічних відходів, можна розглядати як альтернативну домішку, яка може не тільки впливати на поглинання вуглецю ґрунтом, але й покращувати його продуктивні властивості [6–7]. Є різні дані про вплив біовугілля на стан та родючість ґрунту [8]. Залежно від умов вирощування, методів застосування та фізико-хімічних властивостей біовугілля врожайність може збільшуватися, залишатися незмінною або навіть знижуватися. Все більшої актуальності набуває питання використання екологічно чистих природних сполук для детоксикації забруднених ґрунтів. Згідно з багатьма дослідженнями, біовугілля може знизити концентрацію важких металів у пагонах рослин, залежно від норми внесення, типу ґрунту та виду металу, від 17% до 60% [9–12].

Методи дослідження. Зразки забрудненого важкими металами ґрунту для цього дослідження були відібрані у двох місцях біля шахт «Павлоградська»

та «Благодатна» у вугледобувному регіоні Західного Донбасу. Основу рекультивованих ділянок становили відвали з шахтних порід (ШП) потужністю 8–10 м, перекриті різними шарами чорнозему або червоно-бурої глини шляхом створення двох типів штучних профілів рекультивованих відвалів рекультивації з внесенням 30 см чорнозему (30 см НШЧ + ШП) і 50 см червоно-бурої глини (50см ЧБГ+ ШП). Дослідні зразки ґрунту чи червоно-бурої глини змішували з біовугіллям у кількості 3,0% (мас./мас.). Біовугілля, застосоване в цьому дослідженні, було отримано шляхом піролізу горіхової шкаралупи. Зразки чорнозему та червоно-бурої глини (0,5 кг) необробленого та обробленого біовугіллям з помішали в посудини. П'ять насінин кукурудзи, суданської трави та цукрового сорго були висаджені в кожную посудину, а потім проріджувалися до 3 рослин після проростання. Усі горщики щодня доводили до вмісту води 75% польової ємності за вагою. Схожість і показники росту досліджували біометричними методами. Визначено вміст важких металів у надземній біомасі. Через 45 днів після посадки пагони кукурудзи, суданської трави та рослин цукрового сорго зрізали на поверхні ґрунту та промивали дистильованою водою. Пагони та коріння сушили в сушильній шафі та зважували на вихід сухої речовини. Біомасу пагонів масою 2 г кожна спалювали в муфельній печі при 450 °С, а потім розчиняли в 5 мл 6 н. соляної кислоти спектральної чистоти. Зольні витяжки доводили дистильованою водою до об'єму 50 мл. Підготовлені розчини були проаналізовані на Fe, Mn, Zn, Cu та Pb на атомно-абсорбційному спектрофотометрі Varian Cary-50. Отримані дані являли собою середнє арифметичне трьох повторень кожного зразка, їх діапазони та значення стандартних відхилень.

Виклад основного матеріалу. Серед досліджуваних рослин найбільший ефект відзначено для кукурудзи та сорго цукрового. Схожість покращилася на 8–15% (рис. 1). Водночас відмінності у схожості суданської трави були незначними.

При додаванні біовугілля до субстратів з кукурудзою відбулося збільшення росту. Висота проростків суданської трави була на 13% вищою у варіанті НШЧ + біовугілля і на 30% нижчою у варіанті ЧБГ+ біовугілля. Сходи сорго цукрового, навпаки, були нижчими у варіанті НШЧ + біовугілля та трохи вищими у варіанті ЧБГ+ біовугілля (рис. 2).

Незважаючи на деякий ефект, який пригнічує вертикальний ріст досліджуваних рослин, додавання біовугілля сприяло збільшенню надземної та кореневої біомаси (рис. 3 та 4).

Найбільш виражений ефект спостерігався на червоно-бурій глині для рослин сорго цукрового. Для суданської трави значне збільшення біомаси відмічено лише на чорноземах – 36–48%, тоді як на червоно-бурих глинах воно становило лише 4–9%. Приріст біомаси кукурудзи не перевищував 10% на чорноземах і 30% на червоно-бурій глині.

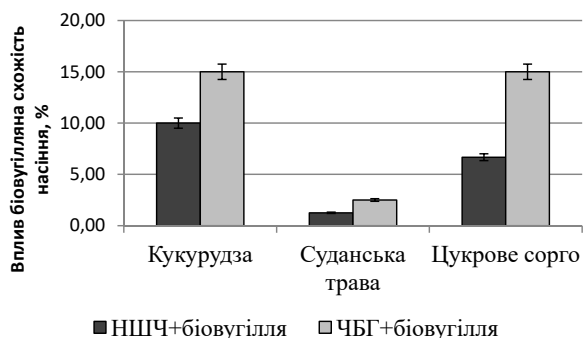


Рис. 1. Вплив біовугілля на проростання насіння

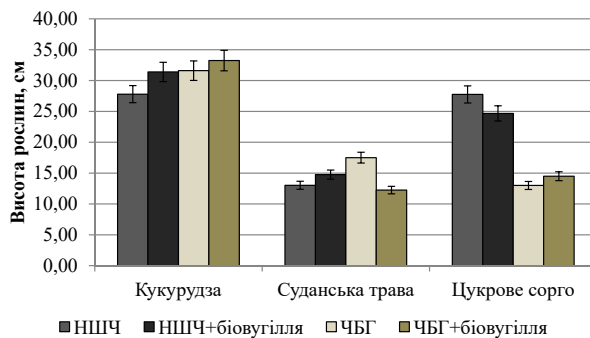


Рис. 2. Висота досліджуваних рослин, см

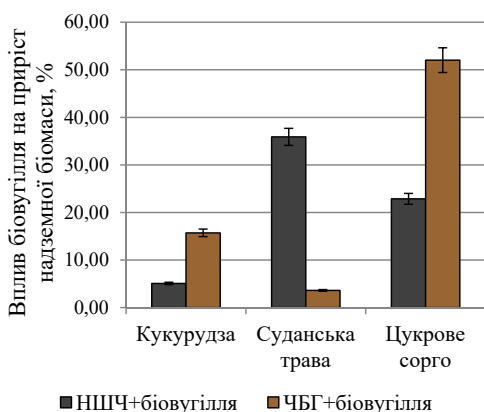


Рис. 3. Вплив біовугілля на приріст надземної біомаси, %

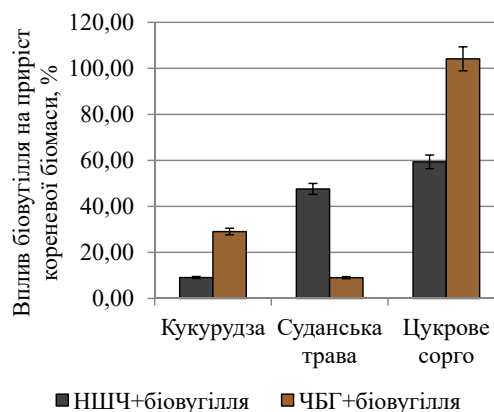


Рис. 4. Вплив біовугілля на ріст біомаси коренів, %

Виявлено, що співвідношення надземної та підземної біомаси зменшується під впливом біовугілля (рис. 5).

Це свідчить про те, що додавання біовугілля в субстрати більшою мірою впливає на зростання кореневої біомаси, ніж надземної.

Серед досліджуваних енергетичних культур найменшу здатність накопичувати важкі метали має кукурудза (табл. 1). Винятком був лише марганець, вміст якого в біомасі суданської трави був дещо нижчим. Сорго цукрове було активним накопичувачем марганцю та міді як на субстратах, так і свинцю на чорноземі. При цьому суданська трава інтенсивно акумулювала залізо на обох субстратах, цинк на чорноземі та свинець на червоно-бурій глині. Під час експерименту знайшло підтвердження, що біовугілля сприяє зниженню вмісту важких металів у рослинній біомасі. Однак рослини по-різному відреагували на внесення біовугілля. У кукурудзи, вирощеної на чорноземі, накопичення важких металів зменшилося в середньому на 13–24,5%. Найбільший ефект спостерігався для цинку (42,7%). Не було виявлено жодного впливу на засвоєння заліза. У біомасі, вирощеній на червоно-бурій глині, додавання біовугілля найбільше вплинуло на накопичення цинку та свинцю, знизивши їх вміст на 36,8% та 37,2% відповідно.

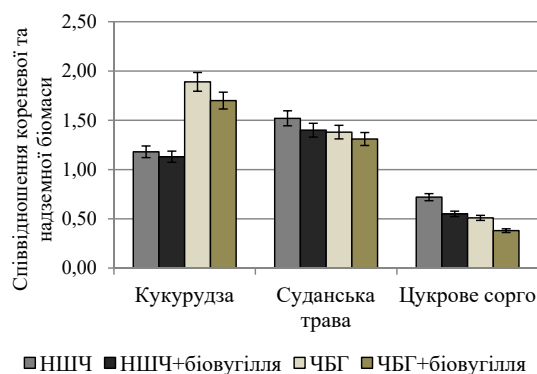


Рис. 5. Співвідношення надземна біомаса/коренева біомаса

Вміст заліза зменшився на 27,4%, міді – на 17,4%, марганцю – на 10,2%. Інтенсивність накопичення марганцю у суданської трави, вирощеної на чорноземі знизилася більше, ніж інших металів (на 31,4%). Водночас на червоно-бурій глині цей ефект не спостерігався. Дещо зменшився вміст заліза та міді, відповідно на 13,8% та 17,3%. Найбільший вплив відзначено для свинцю (30,9%) і цинку (37,8%). В експерименті з цукровим сорго найбільший ефект від додавання біовугілля спостерігався для міді. Накопичення цього металу на чорноземі зменши-

Таблиця 1

Накопичення важких металів енергетичними культурами

Рослина	Варіанти дослідів	Уміст важких металів, мг/кг				
		Mn	Fe	Zn	Cu	Pb
Кукурудза	НШЧ	152,3±0,48	431,2±1,07	37,5±0,24	7,5±0,10	15,1±0,11
	НШЧ + біовугілля	115,0±0,90	412,5±0,75	21,5±0,15	6,5±0,07	12,5±0,10
	ЧБГ	166,7±0,72	460,5±1,27	37,8±0,30	11,5±0,14	32,5±0,15
	ЧБГ + біовугілля	149,7±0,54	334,4±0,84	23,9±0,12	9,5±0,12	20,4±0,16
Суданська трава	НШЧ	143,3±0,44	750,0±1,19	51,3±0,26	7,7±0,10	22,7±0,16
	НШЧ + біовугілля	98,3±0,32	560,0±0,93	37,7±0,23	6,7±0,08	18,3±0,14
	ЧБГ	89,3±0,44	1032,0±1,49	61,4±0,35	20,2±0,16	42,0±0,22
	ЧБГ + біовугілля	82,1±0,49	889,3±1,61	38,2±0,14	16,7±0,12	29,0±0,15
Цукрове сорго	НШЧ	212,5±0,40	708,3±1,16	49,6±0,39	25,4±0,18	32,1±0,17
	НШЧ + біовугілля	189,6±0,64	615,4±1,34	45,0±0,18	14,2±0,15	29,2±0,15
	ЧБГ	182,1±0,47	991,7±0,88	62,5±0,26	30,4±0,21	35,0±0,18
	ЧБГ + біовугілля	164,2±0,36	766,7±0,69	41,7±0,18	17,5±0,15	33,3±0,17

лось на 44,1%, на червоно-бурій глині – на 42,4%. Також на на червоно-бурій глині відзначено значне зниження вмісту цинку (33,3%).

Головні висновки. Додавання біовугілля дещо покращує схожість насіння суданської трави – від 1,5% до 2,5%. Для кукурудзи та цукрового сорго цей показник вищий – від 8% до 15%. Під впливом біовугілля також посилюється приріст як надземної, так і кореневої біомаси. Для рослин кукурудзи та сорго цукрового найбільш виражений ефект виявляється на червоно-бурій глині, а для суданської трави – на чорноземі. Досліджувані рослини не є гіперакумуляторами важких металів. Серед досліджуваних видів кукурудза має найменшу поглинальну здатність. Біовугілля опосередковано впливає на інтен-

сивність накопичення важких металів, знижуючи їх рухливість і доступність для рослин. Тип субстрату і вид рослини також мають значення. В обох варіантах дослідів з кукурудзою найбільше на накопичення цинку вплинуло внесення біовугілля. У досліді з суданкою на чорноземі найбільший ефект спостерігався за марганцем, а на червоно-бурій глині – за цинком і свинцем. У досліді з цукровим сорго найбільш виражена реакція пройшла на мідь на обох субстратах, а на цинк лише на червоно-бурій глині.

Перспективи використання результатів досліджень. У подальшому матеріали досліджень можуть бути використані при розробці технологій підвищення буферної ємності техногенно забрудненого ґрунту.

Література

- Zhuang D., Jiang D., Liu L., Huang Y. 2011. Assessment of bioenergy potential on marginal land in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(2), 1050–1056. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.11.041>.
- Stoof, C.R., Richards, B.K., Woodbury, P.B. et al. 2015. Untapped Potential: Opportunities and Challenges for Sustainable Bioenergy Production from Marginal Lands in the Northeast USA. *Bioenerg. Res.*, 8, 482–501. <https://doi.org/10.1007/s12155-014-9515-8>
- Mehmood M.A., Ibrahim M., Rashid U., Nawaz M., Ali S., Hussain A., Gull M. 2017. Biomass production for bioenergy using marginal lands. *Sustainable Production and Consumption*, 9, 3–21. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2016.08.003>.
- Lehmann J., Rillig M.C., Thies J., Masiello C.A., Hockaday W.C., Crowley D. 2011. Biochar effects on soil biota – A review. *Soil Biology and Biochemistry*, 43(9), 1812–1836. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.04.022>.
- Schulz H., Dunst G., Glaser B. 2013. Positive effects of composted biochar on plant growth and soil fertility. *Agron. Sustain. Dev.*, 33, 817–827. <https://doi.org/10.1007/s13593-013-0150-0>
- Chan, K.Y., Zwieten, L.V., Meszaros, I., Downie, A., Joseph, S., 2007. Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. *Aust. J. Soil Res.* 45, 629–634.
- Mašek O., Brownsort P., Cross A., Sohi S. 2013. Influence of production conditions on the yield and environmental stability of biochar. *Fuel*, 103, 151–155. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2011.08.044>
- Ippolito J.A., Laird D.A., Busscher W.J. 2012. Environmental Benefits of Biochar. *Journal of Environmental Quality*, 41(4), 967–972. <https://doi.org/10.2134/jeq2012.0151>
- Al-Wabel M.I., Usman A.R.A., El-Naggar A.H., Aly A.A., Ibrahim H.M., Elmaghraby S., Al-Omran A. 2015. Conocarpus biochar as a soil amendment for reducing heavy metal availability and uptake by maize plants. *Saudi Journal of Biological Sciences*. Vol. 22. P. 503–511.
- Kim, H.S., Kim, K.R., Kim, H.J. Yoon J.H., Yang J.E., Ok Y.S., Owens G., Kim K.H. 2015. Effect of biochar on heavy metal immobilization and uptake by lettuce (*Lactuca sativa* L.) in agricultural soil. *Environ. Earth Sci.*, 74, 1249–1259. <https://doi.org/10.1007/s12665-015-4116-1>

11. Chen D., Liu X., Bian R., Cheng K., Zhang X., Zheng J., Joseph S., Crowley D., Pan G., Li L. 2018. Effects of biochar on availability and plant uptake of heavy metals – A meta-analysis. *Journal of Environmental Management*, 222, 76–85. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.05.004>.
12. Wang Y., Liu Y., Zhan W., Zheng K., Wang J., Zhang C., Chen R. 2020. Stabilization of heavy metal-contaminated soils by biochar: Challenges and recommendations. *Science of the Total Environment*, 729, 139060. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139060>.