

## ПІСЛЯДІЯ ВНЕСЕННЯ ОСАДУ СТІЧНИХ ВОД НА РОДЮЧІСТЬ ТЕХНОЗЕМУ ТА ЯКІСТЬ БІОСИРОВИНИ МІСКАНТУСУ І ТОПОЛІ

Харитонов М.М.<sup>1</sup>, Бабенко М.Г.<sup>1</sup>, Клімкіна І.І., Мартинова Н.В.<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара  
пр. Гагаріна, 72, 49010, м. Дніпро  
kharytonov.m.m@dsau.dp.ua

Найбільш поширеними чинниками гальмування проблеми використання осаду стічних вод в Україні є відсутність регіональних комплексних рішень з поводження з відходами, розроблених схем їх використання у сільському господарстві, для рекультивативі полігонів та порушених гірничими розробками земель, відсутність коштів для придбання сучасного обладнання та флокулянтів для зневоднення, відсутність розвитку проектів з утилізації та повторного використання ресурсів, високі витрати на транспортування та стабілізацію осаду. Разом з тим застосування осадів комунальних підприємств як ґрунтової домішки на маргінальних землях для вирощування енергетичних культур досі лишається оптимальним рішенням, оскільки дозволяє найбільш раціональне використання матеріалу, що містить значну кількість органічного вуглецю і біогенних елементів. У статті викладено результати вегетативних та мікропольових дослідів чотирирічних досліджень з міскантусом та тополею шляхом вивчення реакції доза – ефект на процеси формування родючості технозему після стартового внесення флокульованого осаду стічних вод (ФОСВ) у кількості 20, 40 та 60 т/га. Модельні польові досліді за вирощування міскантусом та тополею на фітомеліорованому лесоподібному суглинку були проведені у 2020–2023 роках в умовах Покровської навчально-дослідної станції рекультивативі земель ДДАЕУ з стартовим внесенням флокульованого осаду стічних вод у 2020-му році. Вегетативні досліді з високо вимогливою до родючості ґрунту культурою ячмінь були проведені для встановлення чотирирічної післядії внесення домішки ОСВ. Внесення осаду стічних вод сприяло збільшенню мікроелементів в біомасі міскантусу та в листі тополі. Цинк в біомасі міскантусу зріс у 2,8 раз в той час як вміст міді в 1,8 раз за внесення за внесення ОСВ+Ф60. Застосування осаду у цій дозі стічних вод сприяло збільшенню вмісту кобальту, та нікелю у біомасі в 1,1–2,3 рази. Внесення осаду стічних вод суттєво не вплинуло на вміст кобальту і нікелю у листках тополі. Ефективність післядії внесення стартових доз флокульованого осаду стічних вод зазначилася на міскантусі у більшому ступені. *Ключові слова:* технозем, осад стічних вод, важкі метали, міскантус, тополя.

**The aftereffect of sewage sludge on the fertility of technosol and the quality of biofeedstuffs of miscanthus and poplar.**  
Kharytonov M., Babenko M., Klimkina I., Martynova N.

The most common factors inhibiting the use of sewage sludge in Ukraine are the lack of regional comprehensive solutions for waste management, developed schemes for their use in agriculture for the reclamation of landfills and post-mining lands, the lack of funds for the purchase of modern equipment and flocculants for dehydration, the lack of development of resource utilization and reuse projects, high costs for sewage sludge transportation and stabilization. At the same time, the use of sludge from communal enterprises as soil amendment on marginal lands for growing energy crops still remains the optimal solution, as it allows the most rational use of material containing a significant amount of organic carbon and biogenic elements. The article presents the results of pot and microfield experiments of a four-year study of the dose-effect response on the processes of technosol fertility formation after the initial introduction of flocculated sewage sludge (FSS) in the amount of 20, 40, and 60 t/ha. Model field experiments for growing miscanthus and poplar on phytomeliorated loess-like loam were carried out in 2020–2023 in the conditions of the Pokrov educational and research station of land reclamation of DSAEU with the starting application of flocculated sewage sludge in 2020. Pot experiments with barley crop, which is highly demanding on soil fertility, were carried out to establish the four-year aftereffect of applying the SS amendment. The introduction of sewage sludge contributed to the increase of trace elements in the biomass of miscanthus and in poplar leaves. Zinc in the biomass of miscanthus increased by 2.8 times, while the copper content increased by 1.8 times per application with SS+F60 application. The use of soil amendment in this dose of sewage sludge contributed to an increase in the content of cobalt and nickel in the biomass by 1.1–2.3 times. The introduction of sewage sludge did not significantly affect the content of cobalt and nickel in poplar leaves. The effectiveness of the after-effect of introducing starting doses of flocculated sewage sludge was noted on miscanthus to a greater extent. *Key words:* technosol, sewage sludge, miscanthus, poplar.

**Постановка проблеми.** В останні роки підвищена увага приділяється потенціалу техноземів для вирощування культур другого покоління в якості біопалива. Швидкорослі багаторічні культури (міскантус, тополя), можуть бути першим вибором для вирощування на рекультивованих землях в гірничовидобувних регіонах з можливістю використання біосировини у якості пел-

лет та брикетів у місцевих котельнях. Висока продуктивність енергетичних насаджень може бути забезпечена за рахунок використання осаду стічних вод (ОСВ). Метою роботи було вивчення післядії внесення осаду стічних вод на ріст міскантусу і тополі на техноземі.

**Актуальність дослідження.** Існуюча ситуація з виробництвом ОСВ, здебільшого, зумовлена відсут-

ністю економічних та ефективних технологій зневоднення та обробки осаду. Відповідно до нормативів, для подальшого виробництва органо-мінерального добрива, сушіння, складування або іншої переробки, вміст вологи у кеку не має перевищувати 65–75%. Серед інших проблем найбільш поширеними є відсутність регіональних комплексних рішень з поводження з відходами, або розроблених схем їх використання у сільському господарстві, для рекультивації полігонів, відсутність розвитку проектів з утилізації та повторного використання ресурсів, високі витрати на транспортування та стабілізацію осаду. Гігієнічна небезпека і високий вміст важких металів в осаді стічних вод є основними причинами його обмеженого використання в сільському господарстві. Ось чому найбільш перспективним шляхом вважається використання ОСВ як нетрадиційного добрива під технічні культури для виробництва біопалива.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Різноманітні групи «молодих» ґрунтів (техноземів) сформувалися з різних техногенних відкладень, у тому числі в процесі гірничодобувних та днопоглиблювальних робіт [1]. Там, де природний профіль ґрунту було втрачено, оголивши необроблений або забруднений вихідний ґрунтовий матеріал, землю можна використовувати для вирощування швидкозростаючої сировини для виробництва пеллет та брикетів.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Не достатньо дослідженим є ефект післядії стартового внесення осаду стічних вод під міскантус і тополлю на техноземі на формування родючості технозему під цими культурами.

**Новизна.** В наших дослідженнях був використаний осад стічних вод після обробки полімерним флокулянтном ДАМЕТ за технологією ТОВ «ВАО Виробництво» на південній станції аерації Дніпровського водоканалу. У роботі вперше визначено ефект післядії стартового внесення флокульованого осаду стічних вод в дозах 20, 40 та 60 т/га на ріст міскантусу і тополі на техноземі.

**Методологічне або загальнонаукове значення.** В умовах Покровської навчально-дослідної станції рекультивації земель ДДАЕУ з 2020-го по 2023-й роки були проведені модельні польові дослідження з міскантусом та тополлю на техноземі з внесенням флокульованого осаду стічних вод. Вегетативні дослідження з високою вимогливістю до родючості ґрунту культурою ячмінь були проведені у 2024 році для встановлення чотирирічної післядії внесення домішки ОСВ.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Міскантус, особливо міскантус гігантський (*Miscanthus × giganteus*), це цінна енергетична культура, що останніми роками набуває все більшого поширення. Біомаса міскантусу може бути використаною для виготовлення різноманітних пеллет, біостанолу або біогазу [2] на вис-

нажених і важких ґрунтах, схильних до ерозії схилах і зонах захисту ґрунтових вод [3–5]. Результати застосування фіторе mediaційної технології свідчать, що міскантус добре переносить забруднення ґрунту важкими металами [6–7]. Доволі мала врожайність міскантусу в перші роки вирощування є обмеженням [8], але застосування осаду стічних вод швидко оптимізує живлення рослин [9]. Польові експерименти з міскантусом у Польщі показали, що поглинання макроелементів збільшується разом із збільшенням дози осаду стічних вод у діапазоні 10–20 т/га. Поглинання важких металів також було вищим за більшої дози осаду [10]. Серед енергетичних деревних культур тополя є однією з традиційних, що найчастіше вирощується як джерело біомаси для виробництва енергії, зокрема у формі деревної тріски або пелет [11–12]. Виведені клони енергетичної тополі характеризуються швидким ростом та здатністю рости в різноманітних умовах. Деревина тополі має відносно низький вміст вологи, що робить її ефективним джерелом палива. Крім енергетичних якостей, тополі також мають переваги для навколишнього середовища. Вони можуть сприяти поглинанню та поглинанню вуглекислого газу з атмосфери, а їх коренева система може допомогти запобігти ерозії ґрунту та покращити якість ґрунту. Крім того, ці дерева активно беруть участь у поглинанні та секвестрації вуглекислого газу, що є ключовою функцією зниження рівня CO<sub>2</sub> в атмосфері [13]. Останнім часом не тільки деревина, але і листя енергетичних дерев розглядається як потенційна біомаса, яку можна використовувати як альтернативне джерело енергії для виробництва продуктів з доданою вартістю [14–15].

**Методи дослідження.** Методика дослідження передбачала визначення реакції міскантусу і тополі на внесення у поверхневий шар технозему у якості ґрунтової домішки обробленого флокулянтном ДАМЕТ осаду стічних вод, який був завезений з південної станції очистки стічних вод Дніпровського водоканалу. Досліди з міскантусом і тополлю були закладені у 2020 році на фітомеліорованому лесоподібному суглинку в умовах Покровської навчально-дослідної станції ДДАЕУ. Вміст гумусу у техноземі становив 1,3%.

Флокульований осад стічних вод був внесений в дозах 20, 40 і 60 т/га. Вміст важких металів у біомасі рослин був визначений із застосуванням методу атомно-абсорбційної спектроскопії. Весною 2024 року із зазначених дослідних ділянок був відібраний ґрунт для закладення касетного дослідження з ячменем для визначення чотирирічної післядії стартового внесення ґрунтової домішки.

**Виклад основного матеріалу.** Дані з вмісту цинку, міді, кобальту та нікелю у надземній масі міскантусу наведені на рисунках 1 та 2. Цинк зріс у 2,8 раз в той час як вміст міді в 1,8 раз за внесення за внесення ОСВ+Ф60. Застосування осаду у цій дозі стічних вод сприяло збільшенню вмісту кобальту, та нікелю у біомасі в 1,1–2,3 рази

Визначення вмісту мікроелементів в листках тополі показало, що додавання осаду стічних вод у дозах 20, 40 та 60 т/га сприяє підвищенню концентрації марганцю, цинку та міді у листяній біомасі (рис. 3).

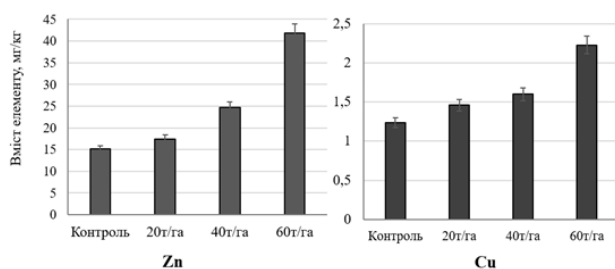


Рис. 1. Вміст цинку та міді у біомасі міскантусу за різних доз внесення осаду стічних вод

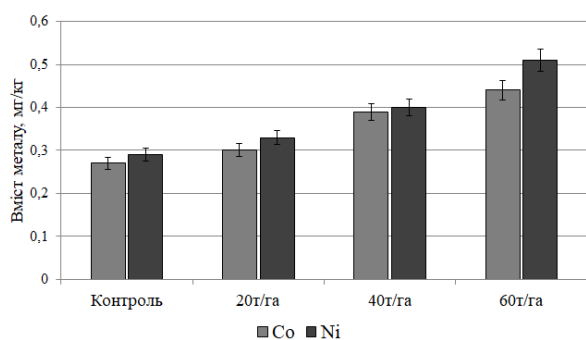


Рис. 2. Вміст кобальту та нікелю у біомасі міскантусу за різних доз внесення осаду стічних вод

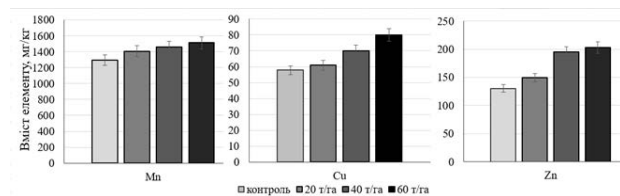


Рис. 3. Вміст есенціальних мікроелементів в листках саджанців енергетичної тополі за різних умов внесення осаду стічних вод

Внесення осаду стічних вод суттєво не вплинуло на вміст кобальту і нікелю у листках тополі (рис. 4)

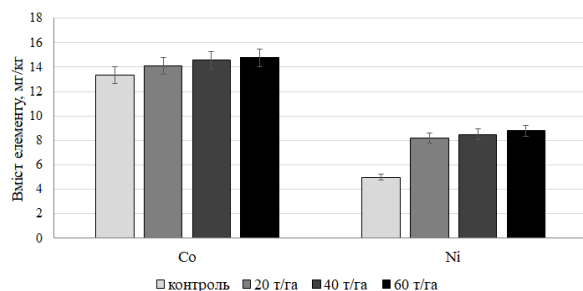


Рис. 4. Вміст важких металів в листках саджанців енергетичної тополі за різних умов внесення осаду стічних вод

Результати визначення біопродуктивності ячменю, як вимогливої до родючості ґрунту рослини, отримані у касетних дослідах наведені на рисунках 5 та 6 відповідно до варіантів доз внесення ОСВ у технозем під міскантус і тополлю.

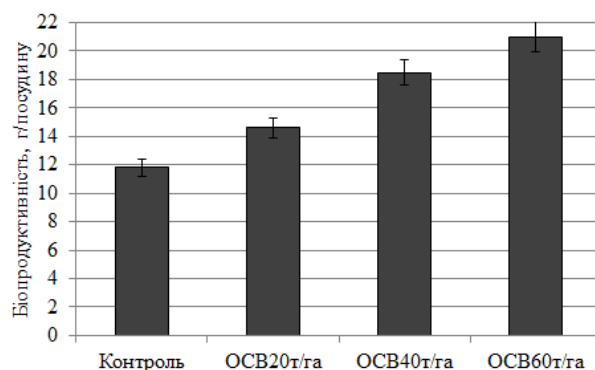


Рис. 5. Біопродуктивність ячменю, вирощеному на техноземі (чотирирічний дослід з міскантусом)

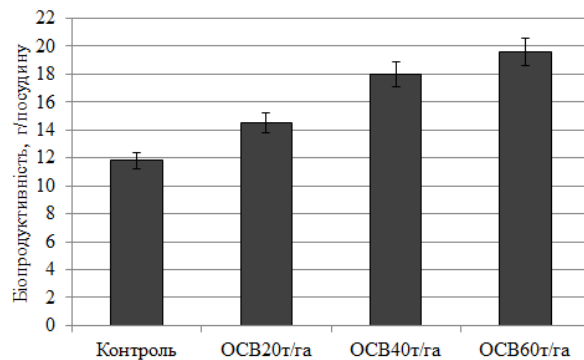


Рис. 6. Біопродуктивність ячменю, вирощеному на техноземі (чотирирічний дослід з тополлю)

З оглядом на отримані результати, можна зробити висновок, що ефективність післядії внесення стартових доз флокульованого осаду стічних вод зазначилася на міскантусі у більшому ступені.

**Головні висновки.** Внесення осаду стічних вод сприяло збільшенню мікроелементів в біомасі міскантусу та в листі тополі. Цинк в біомасі міскантусу зріс у 2,8 раз в той час як вміст міді в 1,8 раз за внесення за внесення ОСВ+Ф60. Застосування осаду у цій дозі стічних вод сприяло збільшенню вмісту кобальту, та нікелю у біомасі в 1,1–2,3 рази. Внесення осаду стічних вод суттєво не вплинуло на вміст кобальту і нікелю у листках тополі.

З оглядом на отримані результати, можна зробити висновок, що ефективність післядії внесення стартових доз флокульованого осаду стічних вод зазначилася на міскантусі у більшому ступені.

**Перспективи використання результатів досліджень.** У подальшому матеріали досліджень можуть бути використані при розробці технологій вирощування міскантусу і тополі для забезпечення постійного постачання біосировини для виробництва пеллет та брикетів для міні котельні.

**Disclaimer / Дисклеймер**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them.

Фінансується Європейським Союзом. Однак висловлені погляди та думки належать лише авторам і не обов'язково відображають погляди Європейського Союзу чи Європейського виконавчого агентства з освіти та культури (ЕАСЕА). Ні Європейський Союз, ні орган, що надає гранти, не можуть нести за них відповідальності.

**Література**

1. Velichka, R., Rimkevichene M., Martsinkyavichene A. Changes in the properties of a loamy Gleyic Cambisol as related to the saturation of crop rotations with rape. *Eurasian Soil Science*. 2006. Vol. 39(9). P. 1002-1010. doi:10.1134/S1064229306090109
2. Heaton E.A., Dohleman F.G., Long S.P. Meeting US biofuel goals with less land: the potential of *Miscanthus*. *Global Change Biology*. 2008. Vol. 14. P. 2000-2014. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01662.x>
3. Potential of *Miscanthus x giganteus* grown on highly contaminated Technosols/ Wanat N., Austruy A., Joussem E., and others. *Journal of Geochemical Exploration*. 2013. Vol. 126-127. P. 78-84.
4. Nitrogen and phosphorus fertilizer effects on establishment of giant miscanthus/ Haines S.A., Gehl R.J., Havlin J.L., Ranney T.G. *Bioenergy Research*. 2015. Vol. 8. P. 17-27. <https://doi.org/10.1007/s12155-014-9499-4>
5. Implementing miscanthus into farming systems: A review of agronomic practices, capital and labour demand/ Winkler B., Mangold A., von Cossel M. and others. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2020. Vol. 132. 110053 <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110053>
6. Phytoremediation as an effective method to remove heavy metals from contaminated area – TG/FT-IR analysis results of the gasification of heavy metal contaminated energy crops/ Werle S., Bisorca D., Katelbach-Wozniak A. and others. *Journal of the Energy Institute*. 2016. Vol. 90. P. 408-417. doi: 10.1016/j.joei.2016.04.002
7. Kocoń A., Jurga B. The evaluation of growth and phytoextraction potential of *Miscanthus x giganteus* and *Sida hermaphrodita* on soil contaminated simultaneously with Cd, Cu, Ni, Pb, and Zn. *Environmental Science and Pollution Research*. 2017. Vol. 24(5). P. 4990-5000. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-8241-5>
8. How to generate yield in the first year – A three-year experiment on *Miscanthus (Miscanthus x giganteus* Greef et Deuter). Establishment under Maize (*Zea mays* L.)/ von Cossel, M., Mangold, A., Iqbal, Y., and others. 2019. *Agronomy* Vol. 9. 237. <https://doi.org/10.3390/agronomy9050237>
9. Kołodziej B., Antonkiewicz J., Sugier D. *Miscanthus giganteus* as a biomass feedstock grown on municipal sewage sludge. *Industrial Crops and Products*. 2016. Vol. 81. P. 72-82. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.11.052>
10. Antonkiewicz J., Kołodziej B., Bielińska E.J. The use of reed canary grass and giant miscanthus in the phytoremediation of municipal sewage sludge. *Environmental Science and Pollution Research*. 2016. Vol. 23. P. 9505-9517. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-6175-6>
11. Manzone M., Airoidi G., Balsari P. Energetic and economic evaluation of a poplar cultivation for the biomass production in Italy. *Biomass and bioenergy*. 2009. Vol. 33(9). P. 1258-1264. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2009.05.024>
12. Productivity and biomass characteristics of selected poplar (*Populus* spp.) cultivars under the climatic conditions of northern Poland/ *Biomass and Bioenergy*. 2018. Vol. 111. P. 46-51. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2018.02.002>
13. Energetic poplars and their importance for the environment/ Vornicu L., Okros A., Şmuleac L., Paşcalău R., Petcov A., Zoican Ş., Jigau R., Zoican C. *Research Journal of Agricultural Science*. 2023. Vol. 55(2), P. 220-230.
14. Thermal analytical characteristics by TGA-DTA-DSC analysis of *Carica papaya* leaves from Kachchh/ Ram V.R., Ram P.N., Khatri T.T., Vyas S.J., Dave P.N. *International Letters of Natural Sciences*. 2014. Vol. 26, P. 12-20. doi:10.56431/p-14tuu2
15. Winaya I.N.S., Ghurri A., Wirawan I.K.G. Pyrolysis study of coconut leaf's biomass using thermogravimetric analysis. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 2019. Vol. 539, 012017. doi:10.1088/1757-899X/539/1/012017