

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ АГРОЕКОЛОГІЧНИХ ЗАХОДІВ ПРИШВИДШЕННЯ БІОЛОГІЧНОЇ РЕКУЛЬТИВАЦІЇ ТЕХНОЗЕМІВ

Харитонов М.М.¹, Бабенко М.Г.¹, Лемішко С.М.¹, Мартинова Н.В.²

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

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

Біологічна рекультивация розкривних гірських порід після кар'єрної розробки марганцевої руди потребує пошуку кращих рішень, пов'язаних з пришвидшенням темпів формування родючості техноземів. У статті викладено результати трирічних досліджень вивчення реакції доза – ефект деяких високо вимогливих до родючості ґрунту сільськогосподарських культур з подальшою утилізацією надземної біомаси як «зеленого добрива» в поверхневий шар фітомеліорованого лесоподібного суглинку. Модельні польові досліди за вирощування соняшника, кукурудзи і цукрового сорго на фітомеліорованому лесоподібному суглинку були проведені у 2021–2023 роках в умовах Покровської навчально-дослідної станції ДДАЕУ. Найбільший приріст біомаси сорго цукрового від додавання ґрунтових домішок отриманій за норми 80 т/га. Ефект від внесення осаду стічних вод та біодигестату мав майже однаковий ефект на підвищення врожайності зерна соняшнику відповідно доз 40 та 80 т/га. Разом з тим відносна прибавка урожаю зерна соняшнику від внесення ОСВ у дозах 40 і 80 т/га була більше на 7,8 та 10,8% порівняно з показниками кукурудзи. Внесення дигестату у дозі 80т/га дало трохи більшу прибавку врожайності зерна кукурудзи ніж аналогічна доза осаду стічних вод. Між тим, ефект післядії осаду стічних вод на продуктивність біомаси сорго на третій рік польового дослідження виявився більшим ніж ефект від біодигестату. Врожайність біомаси сорго у варіантах 40 та 80 т/га була на 19,7 і 36,5% вище на ділянках з попереднім перемішуванням з поверхневим шаром ґрунту бадилля соняшнику, ніж в аналогічних варіантах з кукурудзою (8,2% і 12,3%). Результати дослідження можуть бути використані при розробці технологій пришвидшеної біологічної рекультивации техноземів за рахунок скорочення терміну фітомеліорації вивезених на земну поверхню розкривних гірських порід злаково-бобовою сумішшю багаторічних трав. *Ключові слова:* технозем, ґрунтові домішки, зелене добриво, врожайність.

Assessment of the efficiency of agro-ecological measures for accelerating of the biological reclamation of technosols. Kharytonov M., Babenko M., Lemishko S., Martynova N.

The biological reclamation of overburden rocks after the open-pit mining of manganese ore requires the search for better solutions related to the acceleration of the rate of formation of the fertility of technosols. The results of three-year field experiments related to the study of the dose-effect response for some highly demanding on soil fertility crops with the subsequent utilization of above-ground biomass as “green fertilizer” in the topsoil of phytomeliorated loess-like loam are presented in the article. Model field experiments for the cultivation of sunflower, maize and sugar sorghum on phytomeliorated loess-like loam were conducted in 2021–2023 at the Pokrov educational and research station of DSAEU. The greatest increase in the biomass of sweet sorghum from the addition of soil amendments was obtained at the rate of 80 t/ha. The effect of applying sewage sludge and bio – digestate had almost the same effect on increasing the yield of sunflower seeds, respectively, at doses of 40 and 80 t/ha. At the same time, the relative increase in sunflower grain yield from the application of sewage sludge in doses of 40 and 80 t/ha was 7.8 and 10.8% more compared to maize. Application of bio – digestate at a rate of 80 t/ha gave a slightly greater increase in maize grain yield than a similar dose of sewage sludge. Meanwhile, the effect of sewage sludge on productivity of sweet sorghum biomass in the third year of the field experiment was greater than the effect of bio – digestate. The biomass yield of sorghum in the treatments of 40 and 80 t/ha was 19.7 and 36.5% higher in the plots with preliminary mixing with the topsoil of the sunflower tops than in the similar variants with maize (8.2% and 12.3%). The results of the study can be used in the development of technologies for accelerated biological reclamation of technosols due to shortening the period of phytomelioration of overburden rocks brought to the surface of the earth with a cereal-legume mixture of perennial grasses. *Key words:* technosol, soil amendments, green manure, yield.

Постановка проблеми. Останні десятиріччя біологічна рекультивация порушених гірничими розробками земель пов'язана з довготривалою фітомеліорацією розкривних гірських порід (літоземів) та їх перетворенням в техноземи [1–3]. Відомо, що в муніципальних відходах станцій аерації стічних вод та біогазових комплексів тваринницьких господарств міститься велика кількість поживних речовин, які потенційно можуть бути використані як органо-мінеральні добрива.

Вирішення проблеми утилізації цих відходів як ґрунтових домішок потребує організації модельних польових дослідів для розробки агроекологічних заходів покращення родючості рекультивованих земель. Метою роботи було вивчення реакції доза – ефект деяких високо вимогливих до родючості ґрунту сільськогосподарських культур з подальшою утилізацією надземної біомаси як «зеленого добрива» в поверхневий шар фітомеліорованого лесоподібного суглинку.

Актуальність дослідження. Наразі в Україні накопичені великі поклади осаду стічних вод (ОСВ). Для переважної кількості існуючих очисних споруд в Україні проведення стадій стабілізації осаду, кондиціонування, зневоднення, термічної сушки та санації в останні роки стає проблемним. Зазвичай, вся утилізація осаду обмежується розміщенням на сушильних площадках без якої-небудь попередньої обробки, де осад зберігається протягом 2–7 років, а видалення осаду з території станції аерації іноді відбувається способом, який не відповідає існуючим нормативним вимогам з охорони навколишнього середовища та поводження з відходами. Переробка пташиного посліду на підприємствах іде двома шляхами: а) з використанням різних технологій висушування або інших варіантів термообробки; б) після анаеробного зброджування з біомасою силосу з кукурудзи або цукрового сорго отримують рідку та тверду фракції біодигестату. Розробка економічно та енергоефективних рішень стосовно утилізації муніципального осаду стічних вод та біодигестату може стимулювати сталий розвиток приміських і сільськогосподарських територій.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Ріст населення в усьому світі призвів і до різкого збільшення обсягу стічних вод та відходів підприємств АПК. Політика щодо управління стічними водами в Європейському Союзі базується на Директиві щодо очищення міських стічних вод [4]. Поживні речовини, що містяться в осаді стічних вод можуть зменшити залежність від мінеральних добрив. Це крок до політики замкнутої економіки, спрямованої на екологічно безпечне та ресурсоефективне суспільство шляхом повторного використання, переробки речовин та створення замкнутої системи. Основна гіпотеза дослідження ґрунтується на тому, що деякі джерела поживних речовин (осад стічних вод, відходи тваринництва та харчопереробної галузі) можуть бути утилізовані шляхом залучення в життєвий цикл вирощування сільськогосподарських культур на малородючих землях після відповідної переробки (біоконверсії) або сумісного використання біодигестату з рештками надземної біомаси соняшнику та кукурудзи за допомогою агротехнічних заходів (дискування).

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Не достатньо дослідженим є ефект від сумісного використання осаду стічних вод та біодигестату з рештками сільськогосподарських культур для покращення родючості техноземів.

Новизна. У роботі вперше здійснено порівняльний аналіз впливу флокульованого осаду стічних вод та твердої фракції пташиного біодигестату в дозах 40 та 80 т/га за вирощування соняшнику та кукурудзи на фітомеліорованому лесоподібному суглинку в умовах модельного досліду.

Визначений ефект від сумісного використання ОСВ та біодигестату з рештками надземної біомаси соняшнику та кукурудзи залежно від варіантів досліду.

Методологічне або загальнонаукове значення. В умовах Покровської навчально-дослідної станції рекультивації земель ДДАЕУ у 2021–2023 роках були закладені модельні польові досліди за вирощування соняшника, кукурудзи і цукрового сорго на фітомеліорованому лесоподібному суглинку. Цукрове сорго було використане також для біотестування ефекту від сумісного використання шляхом подрібнення та перемішування з поверхневим шаром ґрунту решток соняшнику та кукурудзи на фоні попередньо внесених ОСВ та біодигестату в дозах 40 та 80 т/га. Згідно з ТУ У 20.1-24426809-002:2015 та ТУ У 20.1-36572744-001:2021 встановлено, що за показниками санітарно-хімічних, токсикологічних, санітарно-мікробіологічних, гельмінтологічних досліджень і гігієнічного аналізу відходи органічна біомаса тверда після анаеробного ферментування суміші на основі курячого посліду та флокульований осад з мулових майданчиків Південної станції аерації КП «Дніпроводоканал» за ступенем небезпеки для навколишнього середовища класифікуються як малонебезпечні відходи –IV-й клас небезпеки відповідно ГОСТ 12.1.007.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Осад стічних вод містить поживні сполуки (органічні речовини, азот, фосфор, калій і невеликі кількості кальцію, сірки, магнію), забруднювачі, такі як важкі метали, токсичні органічні речовини та патогени [5]. Осад стічних вод багатий на аліфатичні та ароматичні кислоти, полісахариди, білковий матеріал і органічні сульфонати [6]. Щоб підвищити рН осаду стічних вод і уникнути зниження рН орних ґрунтів завдаються до його обробки сумішшю кальциту та доломіту. Такі країни, як Франція, Бельгія, Данія, Ірландія, Великобританія та Швеція, використовують від 35 до 60% зібраного осаду стічних вод безпосередньо на сільськогосподарських угіддях [7–9]. Було продемонстровано, що доза 25 т/га внесення осаду стічних вод забезпечує найвищу продуктивність посівів пшениці, тоді як рівні концентрацій Cd і Pb у ґрунті та зерні пшениці були нижчими за максимально дозволених нормативом значень [10]. Максимальний урожай зерна кукурудзи було отримано при внесенні осаду стічних вод в ґрунт в дозі 60 т/га [11]. За пропозицією турецьких вчених для забезпечення сталої врожайності кукурудзи на низькородючому ґрунті рекомендовано вносити зневоднений оксидом кальцію осад стічних вод в дозі 37,5 т/га кожні два роки [12]. Необхідно прийняти до уваги, що 5, 10 і 20% органічного азоту стічних вод мінералізується в перший, другий і третій роки, відповідно [13]. Було також показано, що внесення осаду стічних вод у дозі 80 т/га давало навіть більший урожай, ніж отриманий з еквівалентною нор-

мою НРК, застосованою як мінеральне добриво [14]. Між тим, рекомендована норма становить 40 т/га, щоб уникнути можливого ризику поглинання та накопичення металів у ґрунті. Великі обсяги внесення гною безпосередньо в ґрунт в якості добрива призводять до виділення запаху та забруднення ґрунту патогенами [15–16]. За оцінками, у період з 2016 по 2019 рік у країнах ЄС-27 щорічно вироблялося до 1,0 мільярда тонн гною великої рогатої худоби, а також свиней і курей [17]. Ось чому обмеження в 170 кг/га на рік N з органічного гною було встановлено Директивою про нітрати, щоб зробити для фермерів виняток, якщо утилізація гною не шкодить екосистемам. Дигестат є побічним продуктом, який залишається після анаеробного зброджування [18]. Внесення органічних речовин і поживних речовин з дигестатом в ґрунт вважається недорогим засобом утилізації та відновлення поживних речовин для сільськогосподарських систем [19]. Використання дигестату як органічного добрива порівняно з гранульованим курячим послідом призвело до позитивних результатів [20].

Методи дослідження. Методика дослідження передбачала визначення реакції кукурудзи (гібрид Дункан), соняшнику (сорт СУР) та цукрового сорго (гібрид Медовий) на застосування у якості ґрунтових домішок флокульованого осаду стічних вод та твердої фракції біодигестату в дозах 40 і 80 т/га. Досліди були закладені на фітомеліорованому лесоподібному суглинку в умовах Покровської навчально-дослідної станції ДДАЕУ. Вміст гумусу в чорноземах становив 3%, у фітомеліорованих лесоподібних суглинках – 1,3%. Після визначення показників урожайності зернових культур надземна біомаса кукурудзи та соняшнику була задискована в ґрунт восени 2021 року. Три дискування ґрунту дослідних ділянок були проведені

в 2022 році для забезпечення повноти проходження мікробіологічних процесів утилізації поживних речовин з «зелених добрив» перемішуванням з верхнім шаром лесоподібного суглинку. Весною 2023 року на зазначених дослідних ділянках був закладений польовий дослід з сорго цукровим (гібрид Зубр) для визначення ефекту біоконверсії решток бадилля соняшнику та кукурудзи на родючість технозему. Оброблений флокулянт ДАМЕТ осад стічних вод був завезений з південної станції очистки стічних вод Дніпровського водоканалу. Тверда фракція пташиного біодигестату була завезена з МХП Оріль Лідер.

Виклад основного матеріалу. Облікові дані польових дослідів, отриманих на ділянках із фітомеліорованим лесоподібним суглинком для визначення впливу внесення осаду стічних вод та біодигестату (у нормах 40 та 80 т/га) на урожайність цукрового сорго, наведено на рис. 1.

Найбільший ефект збільшення біомаси сорго цукрового від додавання осаду стічних вод та твердої фракції біодигестату отримано за норми 80 т/га. Така реакція стала дотацією на внесення поживних речовин у «молодий» ґрунт [21]. Результати визначення впливу внесення двох доз ОСВ та біодигестату на урожай зерна соняшнику та кукурудзи наведено на рисунках 2 та 3.

Внесення осаду стічних вод у дозах 40 і 80 т/га призвело до підвищення врожайності зерна кукурудзи на 18,6 і 31,1%, соняшнику – на 26,4% і 41,9%. Додаткова прибавка врожаю на внесення відповідних доз твердої фракції біодигестату склала для зерна кукурудзи на 19,7 і 48,8%, соняшнику – на 28,6% і 43,4%. Реакція гібриду цукрового сорго Зубр на післядію біоконверсії решток бадилля соняшнику та кукурудзи у досліді на фітомеліорованому лесоподібному суглинку наведена на рисунку 4.

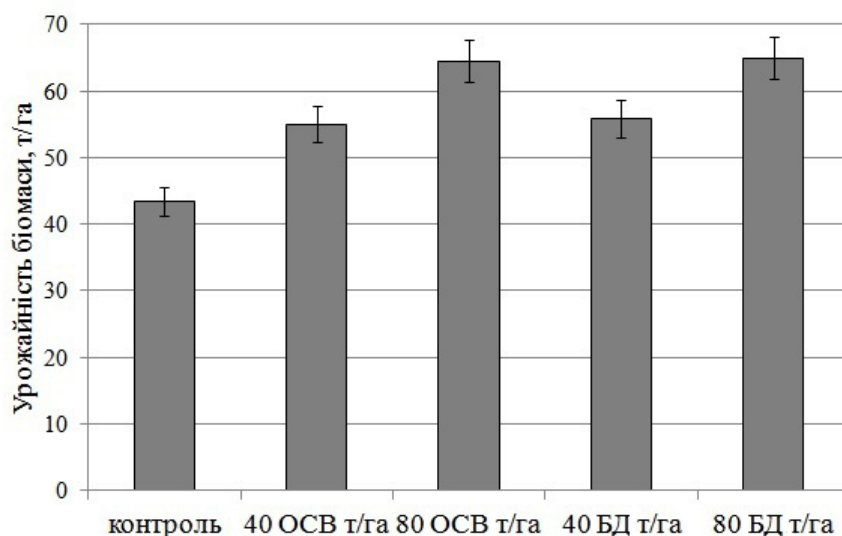


Рис. 1. Урожайність біомаси гібриду цукрового сорго Медовий в досліді з осадом стічних вод та біодигестатом на фітомеліорованому лесоподібному суглинку

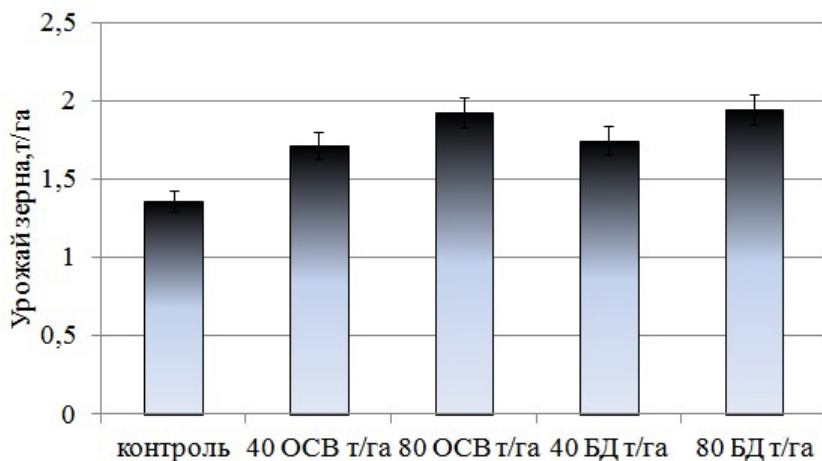


Рис. 2. Урожайність зерна соняшнику в досліді з осадам стічних вод та біодигестатом на фітомеліорованому лесоподібному суглинку

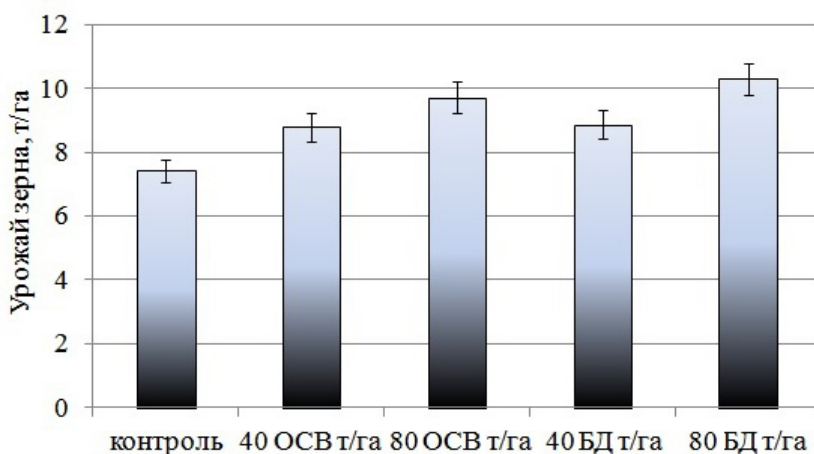


Рис. 3. Урожайність зерна кукурудзи в досліді з осадам стічних вод та біодигестатом на фітомеліорованому лесоподібному суглинку

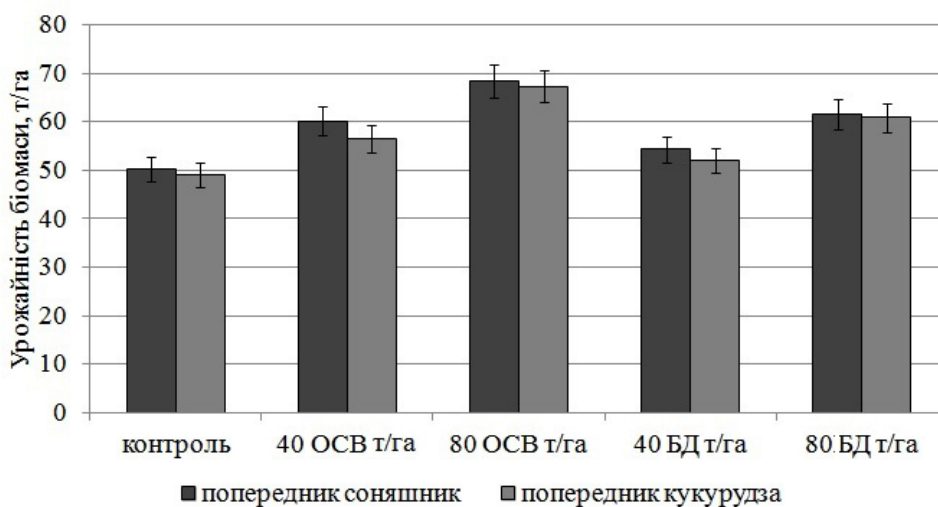


Рис. 4. Урожайність біомаси гібриду цукрового сорго Зубр в досліді з попереднім закладенням у технозем надземної маси соняшнику та кукурудзи на фоні внесення двох доз ґрунтових домішок

Ефект післядії зазначених доз 40 і 80 т/га осаду стічних вод на фоні закладення в технозем надземної маси кукурудзи призвів до підвищення врожайності біомаси цукрового сорго на 13,5 і 35,1%, а біодигестату – на 7,4% і 13,2%. Ефект післядії зазначених доз 40 і 80 т/га осаду стічних вод на фоні попереднього закладення в технозем надземної маси соняшнику призвів до дещо більшого підвищення врожайності біомаси цукрового сорго на 19,7 і 36,5%, а біодигестату – на 8,2% і 12,3%.

Головні висновки. Найбільший приріст біомаси сорго цукрового від додавання ґрунтових домішок отриманий за норми 80 т/га. Ефект від внесення осаду стічних вод та біодигестату під соняшник та кукурудзу підвищився пропорційно до доз 40 та 80 т/га: зерна кукурудзи на 18,6 і 31,1%, соняшнику – на 26,4% і 41,9%.

Додаткова прибавка врожаю на внесення відповідних доз твердої фракції біодигестату теж була

пропорційною до внесених доз 40 і 80 т/га і склала для зерна кукурудзи 19,7 і 48,8%, а соняшнику – 28,6% і 43,4%.

Ефект післядії осаду стічних вод на продуктивність біомаси сорго виявився більшим ніж ефект від біодигестату. За однакових умов внесення ґрунтових домішок, на ділянках з попереднім перемішуванням з поверхневим шаром ґрунту бадилля соняшнику, врожайність біомаси сорго була дещо вище ніж в аналогічних варіантах з кукурудзою.

Перспективи використання результатів досліджень. У подальшому матеріали досліджень можуть бути використані при розробці технологій пришвидшеної біологічної рекультивациі техноземів за рахунок скорочення терміну фітомеліорації винесених на земну поверхню розкритих гірських порід злаково-бобовою сумішню багаторічних трав.

Література

1. The suitability of physical and chemical properties of rocks for land reclamation in different subzones of the Ukrainian Steppe / Navryushenko O., Mytsyk O., Kharytonov M., Honchar N., Babenko M., Pashova V., Tkalic Y. // *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 2022. Vol. 31, № 2. P. 251–259. <https://doi.org/https://doi.org/10.15421/112223>.
2. Стеревська, Л.В., Момот Г.Ф., Лехцієр Л.В. Рекультивовані ґрунти підходи до класифікації і систематики. *Ґрунтознавство*. 2008. Вип. 9, № 3–4. С. 147–150.
3. Стеревська, Л.В., Момот Г.Ф., Канащ А.П. Класифікація рекультивованих ґрунтів, систематика та генетико-виробнича діагностика. Харків, 2012: Міськдрук, 68 с.
4. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 Establishing a European Commission. *Council Directive of 21 May 1991 concerning urban waste water treatment*. Off. J. Eur. Communities. 1991. Vol. 135. P. 40–52.
5. Optimal Solutions for the Use of Sewage Sludge on Agricultural Lands/ Iticescu, C., Georgescu, P.-L., Arseni, M., Rosu, A., Timofti, M., Carp, G., Cioca, L.-I. // *Water*, 2021. Vol. 13, 585. <https://doi.org/10.3390/w13050585>
6. Structural study of humic acids during composting of activated sludge-green waste: Elemental analysis, FTIR and ¹³C NMR // Amir S., Jouraiphy A., Meddich A., El Gharous M., Winterton P., Hafidi M. *J. Hazard. Mater.* 2010. Vol. 177. P. 524–529.
7. Impact on crops, plants and soils of metal trace elements transfer and flux, after spreading of fertilizers and biosolids/ Maisonnave V., Montrejeud-Vignoles M., Bonnin C., Revel J.C. // *Water Sci. Technol.* 2002. Vol. 46. P. 217–224.
8. Ekane N., Barquet K., Rosemarin A. Resources and Risks: Perceptions on the Application of Sewage Sludge on Agricultural Land in Sweden, a Case Study. *Front. Sustain. Food Syst.* 2021. Vol. 5.647780. doi: 10.3389/fsufs.2021.647780
9. Bondarczuk K., Markowicz A., Piotrowska-Seget Z. The urgent need for risk assessment on the antibiotic resistance spread via sewage sludge land application. *Environ. Int.* 2016. Vol. 87. P. 49–55.
10. Cocarta D.M., Subtirelu V.R., Badea A. Effect of sewage sludge application on wheat crop productivity and heavy metal accumulation in soil and wheat grain. *Environmental Engineering and Management Journal*. 2017. Vol. 16, № 5. P. 1093–1100. <http://omicron.ch.tuiasi.ro/EEMJ/>
11. Effect of Sewage Sludge Compost Usage on Corn and Faba Bean Growth, Carbon and Nitrogen Forms in Plants and Soil/ Elsalam H.E.A., El Sharnouby M.E., Mohamed A.E., Raafat B.M., El-Gamal E.H. // *Agronomy*, 2021. Vol. 11, 628. <https://doi.org/10.3390/agronomy11040628>
12. Delibacak S., Ongun A. R. Influence of treated sewage sludge applications on corn and succeeding wheat yield and on some properties of sandy clay soil. *Turkish Journal Of Field Crops*, 2016. 21, № 1. P. 1–9. DOI: 10.17557/tjfc.88475
13. Gilmour J.T., Skinner V. Predicting Plant Available Nitrogen in Land-Applied Biosolids. *Journal of Environmental Quality*. 1999. Vol. 28, № 4. P. 1122–1126. <https://doi.org/10.2134/jeq1999.00472425002800040010x>
14. Effects of un-treated sewage sludge on wheat yield, metal uptake by grain and accumulation in the soil/Khan, M.A., Kazi, T.G., Ansari, R. *et al.* // *Pak. J. Bot.*, 2007. Vol. 39, № 7. P. 2511–2517.
15. Ogunwande G., Ogunjimi L., Fafiyebi J. Effects of turning frequency on composting of chicken litter in turned windrow piles. *Int. Agrophys.*, 2008. Vol. 22, № 2. P. 159–165.
16. Potential use of a poultry manure digestate as a biofertiliser: Evaluation of soil properties and *Lactuca sativa* growth/ Mortola N., Romaniuk R., Cosentino V., Eiza M., Carfagno P., Rizzo P., Bres P., Riera N., Roba M., Butti M., Sainz D., Brutti L. // *Pedosphere*. 2019. Vol. 29, № 1. P. 60–69.
17. Digestate Management and Processing Practices: A Review/ Kovacic D., Loncaric Z., Jovic J., Samac D., Popovic B., Tisma M. // *Appl. Sci.* 2022. Vol. 12, 9216. <https://doi.org/10.3390/app12189216>
18. Simon T., Kunzova E., Friedlova M. The effect of digestate, cattle slurry and mineral fertilization on the winter wheat yield and soil quality parameters. *Plant Soil Environ.* 2015. Vol. 61, № 11. P. 522–527. doi: 10.17221/530/2015-PSE

- Agricultural use of digestate for horticultural crop production and improvement of soil properties/ Alburquerque J.A., de la Fuente C., Campoy M., Carrasco L., Nájera I., Baixauli C., Caravaca F., Roldán A., Cegarra J., Bernal M.P. // *Eur. J. Agron.* 2012. Vol. 43. P. 119–128.
19. Study of the Use of Chicken Manure Digestate as Organic Fertilizer in Comparison with Fresh Chicken Manure/ Soleymani M., Mirzaii A., Bahrami H., Masir M.N. // *Biomechanism and Bioenergy Research*. 2022. Vol. 1, № 1, 47–54.
20. Yield response of barley to the application of mineral fertilizers containing major nutrients on Cambisols and Vertisols in Ethiopia/ Shewangizaw B, Gurumu G, Agegnehu G, et al.// *Experimental Agriculture*, 2022. Vol. 58, E1. doi:10.1017/S0014479721000223