

ОЦІНЮВАННЯ ФІТОТОКСИЧНОСТІ ДЕЗІНФІКУВАЛЬНИХ ЗАСОБІВ, ЯКІ ЗАСТОСОВУЮТЬ ДЛЯ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ГНОЮ

Є.М. Кривохижа, В.О. Пінчук, О.В. Тертична

Інститут агроєкології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)

e-mail: ye.kryvokhyzha@ukr.net; ORCID: 0000-0001-7270-6529

e-mail: pinchuk_vo@ukr.net; ORCID: 0000-0003-0646-1580

e-mail: olyater@ukr.net; ORCID: 0000-0002-9514-2858

*Для знезараження побічної продукції тваринного походження хімічним методом використовується велика кількість дезінфікувальних засобів, які потенційно небезпечні для навколишнього природного середовища, що пов'язано з вмістом у їх складі ксенобіотиків, зокрема альдегідів, хлору, фенолів тощо. Висвітлено результати біотестування ґрунтів, які забруднені дезінфікувальними засобами, що використовують для знезараження побічної продукції тваринного походження, зокрема, біоетанол, Новохлор-Екстра (діючі речовини — неорганічні сполуки хлору і луґ) та Дезактін (органічні сполуки хлору, аніонні ПАР і триполіфосфат натрію). Оцінювання здійснено в лабораторних умовах шляхом біотестування із використанням ячменю ярого (*Hordeum vulgare L.*). Встановлено, що після 5-денного вирощування насіння ячменю у ґрунтах зі вмістом 1,0 мг/кг, 10,0 і 100,0 мг/кг засобів: біоетанол, Новохлор-Екстра та Дезактін відбувалося поступове зменшення маси стебла — до 11,8% порівняно з контролем. За вмісту в ґрунтах 1,0 мг/кг, 10,0 та 100,0 мг/кг досліджуваних дезінфікувальних засобів спостерігалось поступове зменшення довжини стебла ячменю, в середньому, на 12,2%. При забрудненні ґрунту досліджуваними засобами у кількості 1,0 мг/кг, 10,0 і 100,0 мг/кг спостерігалось незначне збільшення довжини найдовшого кореня, в середньому, на 7,8%, що свідчить про стимулювальний вплив на ріст кореневої системи та відсутність фітотоксичності. За вмісту в ґрунтах дезінфікувальних засобів біоетанол і Новохлор-Екстра у кількості 1000 мг/кг відбувається зменшення маси, довжини стебла і найдовшого кореня, у середньому — на 19,1%, 30,5 та 16,8% відповідно. За забруднення ґрунту на рівні 1000 мг/кг засобом Дезактін спостерігається зниження маси стебла до 61,8%, його довжини на 72,0% і найдовшого кореня — 67,4%, що свідчить про фітотоксичний вплив. За потрапляння дезінфікувальних засобів із знезараженою побічною продукцією тваринного походження у ґрунти у кількості ≥ 1000 мг/кг можна прогнозувати негативний вплив на морфометричні показники рослини, що вірогідно спричинить погіршення їх розвитку.*

Ключові слова: *побічна продукція тваринного походження, ксенобіотики, біотестування ґрунтів, ячмінь ярий.*

ВСТУП

Розвиток тваринництва та утримання великої кількості тварин на обмеженій території зумовлюють до утворення значних обсягів побічної продукції тваринного походження, яка може становити загрозу для окремих об'єктів навколишнього природного середовища. З огляду на це, у системі протиепізоотичних, санітарно-епідеміологічних та природоохоронних заходів велику увагу приділяють організації та використанню раціональних та ефектив-

них технологічних рішень щодо переробки органічних відходів тваринництва [1].

Гній як органічне добриво у практиці сільського господарства дозволяється використовувати лише у тому випадку, якщо у ньому немає патогенних мікроорганізмів. За виявлення у гною та посліди збудників інфекційних захворювань здійснюється його знезараження. Вибір способу знезараження здійснюється за вказівкою ветеринарної служби з урахуванням небезпеки епізоотичної ситуації, що виникла, виду збудника захворювання, наявності та виду

хімічних реагентів та технічних засобів [2; 3].

Для знезараження побічної продукції тваринного походження хімічним методом використовується велика кількість дезінфікувальних засобів, які потенційно небезпечні для навколишнього природного середовища, що пов'язано зі вмістом у їх складі ксенобіотиків, зокрема альдегідів, хлору, фенолів тощо [2; 4–6].

Проблему нешкідливості для ґрунтів цих речовин до кінця не розв'язано. Не проведено аналіз безпечності діючих речовин дезінфікувальних засобів при застосуванні для знезараження побічної продукції тваринного походження. Не визначено їх рівень фітотоксичності за попадання у ґрунти.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Питання, що пов'язані з екологічною безпекою дезінфікувальних засобів [7–9], оцінкою їх екотоксичності [10–15] та визначенням фітотоксичності важких металів [16–18], висвітлено в дослідженнях низки вчених. Однак у науковій літературі відсутні дані щодо фітотоксичності ґрунтів, які забруднені дезінфікувальними засобами, що використовують для знезараження побічної продукції тваринного походження.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Роботу виконано у лабораторії екології тваринництва Інституту агроєкології і природокористування НААН. Визначення фітотоксичної дії дезінфікувальних засобів, що використовують для знезараження побічної продукції тваринного походження здійснювали згідно із ISO 11269-1:2012 [19]. Для вирощування ячменю ярого (*Hordeum vulgare* L.) сорту Водограй використовували циліндричні горщики діаметром близько 8 см і заввишки 11 см. Для вирощування використовували контрольний сирій лісовий ґрунт. У ґрунт вносили 1 мг/кг; 10; 100; 1000 мг/кг розчинених у невеликій кількості води дезінфікувальних засобів та ретельно перемішували [19].

Дослідження кожного засобу здійснювали у 10-разовому повторенні.

Зерна ячменю пророщували 48 год за температури 20°C і висаджували їх по 6 насінин у ґрунт на глибину 10 мм. Вирощували за температури 20±2°C; освітленості – 25000 лн/м² упродовж 14 год; вологості повітря – 60±5% та вологості ґрунту – 70±5% упродовж 5 діб.

Під час досліджень впливу рівня забруднення ґрунтів дезінфікувальними засобами на ріст ячменю використовували найбільш поширені на ринку України засоби, зокрема, біоетанол, Новохлор-Екстра (діючі речовини – гіпохлорит натрію 7,0–9,0), Дезактін (триполіфосфат натрію – 9,0–12,0, аніонні ПАР – 3,2–5,0, дихлорантин і 5,5-диметил-гідантоїн – 33,4–39,4).

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Визначено фітотоксичну дію окремих дезінфікувальних засобів, що використовують для знезараження побічної продукції тваринного походження. Доведено, що при забрудненні ґрунтів у кількості 1,0 мг/кг, 10,0 і 100,0 мг/кг засобами: біоетанол, Новохлор-Екстра та Дезактін відбувалося поступове зменшення маси стебла ячменю в середньому на 11,8% порівняно з контролем (*табл. 1*).

Після 5-денного вирощування насіння ячменю, у ґрунтах зі вмістом 1000 мг/кг засобу Дезактін спостерігалось зменшення маси стебла на 61,8%. Менше зниження цього морфометричного показника в середньому на 19,1% було за внесення у ґрунти 1000 мг/кг біоетанолу і засобу Новохлор-Екстра.

Визначено вплив ґрунтів, які містять дезінфікувальні засоби, що використовують для знезараження побічної продукції тваринного походження на довжину стебла ячменю (*табл. 2*).

У контролі довжина стебла була, в середньому, 8,2 см. За вмісту в ґрунтах 1,0 мг/кг, 10,0 та 100,0 мг/кг досліджуваних дезінфікувальних засобів спостерігалось поступове зменшення довжини стебла ячменю в середньому на 12,2%. Забруд-

Таблиця 1. Середні показники маси стебла ячменю (*Hordeum vulgare* L.) за впливу окремих дезінфікувальних засобів, що використовують для знезараження побічної продукції тваринного походження, г ($M \pm m$, $n=10$)

Назва засобу	Вміст засобів у ґрунті, мг/кг				
	1,0	10,0	100,0	1000,0	контроль
Біоетанол	0,65±0,06	0,69±0,09	0,67±0,07	0,61±0,05*	0,72±0,13
Новохлор-Екстра	0,58±0,08	0,51±0,05	0,56±0,06	0,49±0,04*	0,64±0,09
Дезактін	0,54±0,04	0,63±0,10	0,59±0,05	0,26±0,02*	0,68±0,11

Примітка: * $P \leq 0,001$ – вірогідність змін щодо контролю.

Таблиця 2. Середні показники довжини стебла ячменю (*Hordeum vulgare* L.) за впливу дезінфікувальних засобів, що використовують для знезараження побічної продукції тваринного походження, см ($M \pm m$, $n=10$)

Назва засобу	Вміст засобів у ґрунті, мг/кг				
	1,0	10,0	100,0	1000,0	контроль
Біоетанол	7,2±0,8	7,9±0,9	8,1±1,2	5,8±0,5*	8,3±0,7
Новохлор-Екстра	7,4±0,8	6,1±0,5	6,7±0,6	5,5±0,4*	7,6±1,1
Дезактін	7,9±0,6	8,4±0,8	5,6±0,5	2,3±0,2*	8,7±0,8

Примітка: * $P \leq 0,001$ – вірогідність змін щодо контролю.

нення ґрунту засобом Новохлор-Екстра і біоетанолом у кількості 1000,0 мг/кг спричиняло зниження довжини стебла ячменю на 32,9% та 29,3% відповідно. Найбільше зниження довжини стебла на 72,0% було за вмісту в ґрунті 1000,0 мг/кг засобу Дезактін.

Визначено вплив ґрунтів, які забруднені дезінфікувальними засобами, що використовують для знезараження побічної продукції тваринного походження

на довжину найдовшого кореня ячменю (табл. 3).

Довжина найдовшого кореня ячменю, який вирощували у ґрунті за відсутності хімічних діючих речовин дезінфікувальних засобів була в середньому 9,5 см. При забрудненні ґрунту досліджуваними засобами у кількості 1,0 мг/кг, 10,0 та 100,0 мг/кг спостерігалось незначне збільшення цього морфометричного показника в середньому на 7,8%, що свідчить про стимулювальний

Таблиця 3. Середні показники довжини найдовшого кореня ячменю (*Hordeum vulgare* L.) за впливу дезінфікувальних засобів, що використовують для знезараження побічної продукції тваринного походження, см ($M \pm m$, $n=10$)

Назва засобу	Вміст засобів у ґрунті, мг/кг				
	1,0	10,0	100,0	1000,0	контроль
Біоетанол	9,9±0,6	10,2±0,8	10,9±1,2	8,3±0,4*	9,2±0,5
Новохлор-Екстра	10,7±1,1	10,4±0,7	9,4±0,5	7,5±0,3*	9,5±0,7
Дезактін	10,1±0,7	11,6±1,4	9,6±0,4	3,1±0,2*	9,8±0,9

Примітка: * $P \leq 0,001$ – вірогідність змін щодо контролю.

вплив на ріст кореневої системи та відсутність фітотоксичності.

Забруднення ґрунтів біоетанолом і засобом Новохлор-Екстра — 1000,0 мг/кг спричинило зниження довжини найдовшого кореня у середньому на 16,8%. За вмісту в ґрунті 1000,0 мг/кг засобу Дезактін довжина найдовшого кореня знижувалася на 67,4%, що пов'язано з токсичною дією.

Отже, за вмісту у ґрунтах досліджуваних засобів у кількості 1,0 мг/кг, 10,0 і 100,0 мг/кг відбувається неістотне зниження рівня маси стебла на 11,8%, його довжини — 12,2% та незначне збільшення довжини кореня до 7,8% порівняно з контролем. Це вказує на те, що за такої кількості засобів у ґрунтах відсутнє їх забруднення, відповідно, немає токсичного впливу на сільськогосподарські рослини (*Hordeum vulgare* L.). При забрудненні ґрунтів досліджуваними засобами у кількості 1000,0 мг/кг проявляється різного рівня токсичний вплив на сільськогосподарські рослини (*Hordeum vulgare* L.) залежно від діючих речовин, які у них містяться, зокрема, знижується маса стебла — у межах 15,2–61,8%, його довжина — 30,1–73,6% та довжина кореня — 9,8–68,4% порівняно з контролем. Низький рівень токсичності щодо сільськогосподарських рослин (*Hordeum vulgare* L.) проявляє біоетанол. Більш токсичними є хлорвмістні засоби, зокрема Новохлор-Екстра і Дезактін.

ВИСНОВКИ

Метод визначення забруднення ґрунтів за затримкою росту кореня рослин є інформативним експрес-методом для екологічного оцінювання за вмісту у них дезінфікувальних засобів, які застосовують для знезараження побічної продукції тваринного походження.

За внесення в ґрунти засобу Новохлор-Екстра у кількості 1000 мг/кг відбувається зменшення маси та довжини стебла і найдовшого кореня — на 21,4%, 27,6 і 21,1% відповідно. Під час забруднення ґрунтів Дезактином у кількості 1000 мг/кг маса й довжина стебла і найдовшого кореня знижуються на 57,0%, 73,6 та 68,4%. За потрапляння цих засобів з органічними добривами у ґрунти у кількості ≥ 1000 мг/кг можна спрогнозувати негативний вплив на морфометричні показники рослини, що вірогідно спричинить погіршення їх розвитку.

За потрапляння у ґрунти біоетанолу в кількості 1000 мг/кг відбувається зменшення маси та довжини стебла і найдовшого кореня на 15,3%, 30,1 і 9,8%, що свідчить про його найнижчий рівень фітотоксичності порівняно з іншими досліджуваними засобами. А це дає підстави вважати, що біоетанол є перспективним екобезпечним засобом для знезараження побічної продукції тваринного походження.

ЛІТЕРАТУРА

1. Тюрин В.Г., Мысова Г.А., Бирюков К.Н. и др. Обоснование режимов обеззараживания органических отходов животноводства при их термической сушки в вакууме. *Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии*. 2019. № 1. С. 68–73.
2. Cliver D.O. Disinfection of animal manures, food safety and policy. *Bioresource Technology*. 2009. Vol. 100. Iss. 22. P. 5392–5394.
3. Теучеж А.А., Смирнова Д.Г. Микробиологические, биохимические и технологические основы использования отходов животноводства. *Экологический Вестник Северного Кавказа*. 2017. Т. 13. № 2. С. 60–66.
4. Вербицкий П.И., Достоевский П.П., Бусол В.О. та ін. Довідник лікаря ветеринарної медицини / за ред. П.И. Вербицкого, П.П. Достоевського. Київ: Урожай, 2004. 1280 с.
5. Корчан Л.М., Писаренко П.В., Корчан М.І. Спосіб знезараження гною і отримання з нього високоякісного добрива. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2019. № 1. С. 154–160.
6. Venglovsky J., Martinez J., Placha I. Hygienic and ecological risks connected with utilization of animal manures and biosolids in agriculture. *Livestock Science*. 2006. Vol. 102. Iss. 3. P. 197–203.
7. Tong C., Hu H., Chen G. et al. Chlorine disinfectants promote microbial resistance in *Pseudomonas* sp. *Environmental Research*. 2021. Vol. 199. Article 111296. P. 1–8. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111296>.
8. Luan X., Liu X., Fang C. et al. Ecotoxicological effects of disinfected wastewater effluents: a short review of in vivo toxicity bioassays on aquatic organisms. *Environmental Science: Water Research and Technology*. 2020. Vol. 6. Iss. 9. P. 2275–2286.

9. DeLeo P.C., Huynh C., Pattanayek M. et al. Assessment of ecological hazards and environmental fate of disinfectant quaternary ammonium compounds. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2020. Vol. 206. Article 111116. P. 1–10. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111116>.
10. Elerseck T., Zenko M., Filipič M. Ecotoxicity of disinfectant benzalkonium chloride and its mixture with antineoplastic drug 5-fluorouracil towards alga *Pseudokirchneriella subcapitata*. *Peer J*. 2018. Vol. 6. Article e4986. DOI: <https://doi.org/10.7717/peerj.4986>.
11. Gheorghe S., Stoica C., Lucaciu I. et al. Ecotoxicity of biocides (chemical disinfectants) – lethal and sublethal effects on non-target organisms. *Revista de Chimie*. 2019. Vol. 70. Iss. 1. P. 307–312.
12. Chhetri R.K., Baun A., Andersen H.R. Acute toxicity and risk evaluation of the CSO disinfectants performic acid, peracetic acid, chlorine dioxide and their by-products hydrogen peroxide and chlorite. *Science of the Total Environment*. 2019. Vol. 677. P. 1–8. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.350>.
13. Yang Y., Dong R., Zhang S. et al. A microfluidic system for viability determination of microalgae upon disinfectant treatment under continuous flow. *Science of the Total Environment*. 2022. Vol. 816. Article 151615. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151615>.
14. Chhetri R.K., Gaetano S.Di, Turolla A. et al. Ecotoxicity evaluation of pure peracetic acid (PAA) after eliminating hydrogen peroxide from commercial PAA. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020. Vol. 17. Iss. 14. Article 5031. P. 1–9. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph17145031>.
15. Affek K., Muszyński A., Doskocz N. et al. Ecotoxicological effects of disinfection of treated wastewater. *Desalination and Water Treatment*. 2021. Vol. 233. P. 190–198.
16. Рыженко Н.О., Кавецкий В.Н. Оценка фитотоксичности Cd, Zn, Cu, Pb, Co, Ni по полярности их дитизонатов и показателю LD₅₀. *Агроэкологічний журнал*. 2015. № 3. С. 52–59.
17. Заблоцька О.С., Опанащук Н.М. Реакція проростків пшениці озимої на дію мікроелементів (Cu²⁺, Zn²⁺, Ni²⁺) в умовах водної культури. *Агроэкологічний журнал*. 2015. № 4. С. 90–96.
18. Кузьменко Є.І., Кузьменко А.С. Оцінка фітотоксичності важких металів в умовах моно- і поліелементного забруднення ґрунту. *Агроэкологічний журнал*. 2013. № 1. С. 33–35.
19. ISO 11269-1:2012. Soil quality – determination of the effects of pollutants on soil flora. Part 1. Method for the measurement of inhibition of root growth. [Publication date 2012-03]. The official version. Geneva: International Organization for Standardization. 2012. 16 p.

REFERENCES

1. Tyrin, V.G., Mysova, G.A. & Biryukov, K.N. (2019). Obosnovanie rezhimov obezrazhivaniya organicheskikh othodov zhivotnovodstva pri ih termicheskoy sushki v vakuume [Justification of destruction modes of organic livestock at thermal drying in vacuum]. *Problemy veterinarnoy sanitarii, gigieny i jekologii – Problems of Veterinary Sanitation, Hygiene and Ecology*, 1, 68–73 [in Russian].
2. Cliver, D.O. (2009). Disinfection of animal manures, food safety and policy. *Bioresource Technology*, 100, 22, 5392–5394 [in English].
3. Teuchezh, A.A. & Smirnova, D.G. (2017). Mikrobiologicheskie, biohimicheskie i tehnologicheskie osnovy ispol'zovaniya othodov zhivotnovodstva [Microbiological, biochemical and technological bases of use of animal wastes]. *Jekologicheskij Vestnik Severnogo Kavkaza – The North Caucasus Ecological Herald*, 13, 2, 60–66 [in Russian].
4. Verbytskyi, P.I., Dostoievskiy, P.P. (Eds.), Busol, V.O. et al. (2004). *Dovidnyk likaria veterynarnoi medyt-syny [Handbook of doctor of veterinary medicine]*. Kyiv: Urozhai [in Ukrainian].
5. Korchan, L.M., Pysarenko, P.V. & Korchan, M.I. (2019). Sposib znezarazhennia hnoiu i otrymannia z noho vysokoiakisnoho dobrova [The method of manure decontaminating and obtaining high-quality fertilizer from it]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahramoi akademii – Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*, 1, 154–160 [in Ukrainian].
6. Venglovsky, J., Martinez, J. & Placha, I. (2006). Hygienic and ecological risks connected with utilization of animal manures and biosolids in agriculture. *Livestock Science*, 102, 3, 197–203 [in English].
7. Tong, C., Hu, H., Chen, G. et al. (2021). Chlorine disinfectants promote microbial resistance in *Pseudomonas* sp. *Environmental Research*, 199, 111296, 1–8. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111296> [in English].
8. Luan, X., Liu, X., Fang, C. et al. (2020). Ecotoxicological effects of disinfected wastewater effluents: a short review of in vivo toxicity bioassays on aquatic organisms. *Environmental Science: Water Research and Technology*, 6, 9, 2275–2286 [in English].
9. DeLeo, P.C., Huynh, C., Pattanayek, M. et al. (2020). Assessment of ecological hazards and environmental fate of disinfectant quaternary ammonium compounds. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 206, 111116, 1–10. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111116> [in English].
10. Elerseck, T., Zenko, M. & Filipič, M. (2018). Ecotoxicity of disinfectant benzalkonium chloride and its mixture with antineoplastic drug 5-fluorouracil towards alga *Pseudokirchneriella subcapitata*. *Peer J*, 6, e4986. DOI: <https://doi.org/10.7717/peerj.4986> [in English].
11. Gheorghe, S., Stoica, C., Lucaciu, I. et al. (2019). Ecotoxicity of biocides (chemical disinfectants) –

- lethal and sublethal effects on non-target organisms. *Revista de Chimie*, 70, 1, 307–312 [in English].
12. Chhetri, R.K., Baun, A. & Andersen, H.R. (2019). Acute toxicity and risk evaluation of the CSO disinfectants performic acid, peracetic acid, chlorine dioxide and their by-products hydrogen peroxide and chlorite. *Science of the Total Environment*, 677, 1–8. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.350> [in English].
 13. Yang, Y., Dong, R., Zhang, S. et al. (2022). A microfluidic system for viability determination of microalgae upon disinfectant treatment under continuous flow. *Science of the Total Environment*, 816, 151615. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151615> [in English].
 14. Chhetri, R.K., Gaetano, S.Di, Turolla, A. et al. (2020). Ecotoxicity evaluation of pure peracetic acid (PAA) after eliminating hydrogen peroxide from commercial PAA. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17, 14, 5031, 1–9. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph17145031> [in English].
 15. Affek, K., Muszyński, A., Duskocz, N. et al. (2021). Ecotoxicological effects of disinfection of treated wastewater. *Desalination and Water Treatment*, 233, 190–198 [in English].
 16. Ryzhenko, N.O. & Kavetskiy, V.N. (2015). Otsenka fitotoksichnosti Cd, Zn, Cu, Pb, Co, Ni po polyarnosti ikh ditzonatotv i pokazatelyu LD₅₀ [Evaluation of Cd, Zn, Cu, Pb, Co, Ni phytotoxicity by the polarity of their dithizonates and the indicator LD₅₀]. *Ahroekolohichniy zhurnal – Agroecological journal*, 3, 52–59 [in Ukrainian].
 17. Zablotska, O.S. & Opanashchuk, N.M. (2015). Reaktsiia prorostkiv pshenytsi ozymoi na diiu mikroelementiv (Cu²⁺, Zn²⁺, Ni²⁺) v umovakh vodnoi kultury [Reaction of winter wheat seedlings on the effect of trace elements (Cu²⁺, Zn²⁺, Ni²⁺) in terms of water culture]. *Ahroekolohichniy zhurnal – Agroecological journal*, 4, 90–96 [in Ukrainian].
 18. Kuzmenko, Ye.I., Kuzmenko, A.S. (2013). Otsinka fitotoksichnosti vazhkykh metaliv v umovakh mono- i polielementnoho zabrudnennia gruntu [Assessment of phytotoxicity of heavy metals under conditions of mono- and polyelement soil contamination]. *Ahroekolohichniy zhurnal – Agroecological journal*, 1, 33–35 [in Ukrainian].
 19. Soil quality – determination of the effects of pollutants on soil flora. Part 1. Method for the measurement of inhibition of root growth. (2012). *ISO 11269-1:2012*. Geneva: International Organization for Standardization [in English].

Стаття надійшла до редакції журналу 17.03.2022