

ТРАНСЛОКАЦІЯ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У СИСТЕМІ «ГРУНТ — РОСЛИНА» ЗА ВАПНУВАННЯ ТА ВПЛИВУ БІОЛОГІЧНИХ ПРЕПАРАТІВ

С.Г. Корсун¹, І.І. Клименко¹, В.А. Болоховська², В.В. Болоховський²

¹ ННЦ «Інститут землеробства НААН»

² ПП «БТУ-Центр»

Встановлено, що застосування вапнування та комплексу біопрепаратів Граундфікс[®], Органік-баланс[®] та Липосам[®] є вагомими чинниками впливу на рухомість свинцю, кадмію, цинку у сірому лісовому ґрунті та їх транслокацію в системі «ґрунт — рослина» за різних рівнів забрудненості ґрунту поліюантами. Проведення вапнування сірого лісового ґрунту забезпечило зниження коефіцієнта рухомості свинцю від 14,0–52,3 до 13,2–43,3%, кадмію — від 14,2–78,6 до 7,7–76,0, цинку — від 9,2–38,0 до 4,9–36,1%. Внесення біопрепаратів Граундфікс[®], Органік-баланс[®] та Липосам[®] за нейтральної реакції ґрунтового середовища (на провапнованих фонах) знижувало темпи транслокації свинцю, кадмію і цинку в системі «ґрунт — рослина» на 1,0–4,3; 0,1–0,4; 1,6–138 мг/кг сухої речовини вегетативної маси відповідно та забезпечувало додаткове накопичення сухих речовин рослинами кукурудзи у фазі 3–5 листків на 5–18%, залежно від фону забрудненості важкими металами.

Ключові слова: агрохімічні показники родючості ґрунту, біологічні препарати, вапнування, ґрунт, забруднення, кадмій, свинець, транслокація, фітоценоз, цинк.

Підвищення інтенсивності антропогенного чинника впродовж останніх десятиліть спричиняє подальше порушення екологічної рівноваги агроєкосистем, що супроводжується накопиченням токсичних речовин, у т.ч. сполук важких металів у ґрунтах, рослинницькій продукції, вирощеній за таких умов. Важкі метали (ВМ) є полівалентними, добре сорбуються ґрунтами, утворюють важкорозчинні сполуки з фосфатами й гідроксидами, що сприяє їх поступовому нагромадженню в ґрунтовому середовищі [1, 2]. Це спричиняє підвищення токсичного потенціалу ґрунту та зниження родючості угідь. Загалом, така ситуація потребує невідкладного пошуку альтернативних джерел постачання необхідних елементів живлення та шляхів стабілізації і наступного розширеного відтворення родючості ґрунтів.

З огляду на це, сучасні технології вирощування сільськогосподарських культур передбачають використання біологічних препаратів, які відіграють значну роль у процесі формування врожайності. З літературних джерел відомо, що інтродуковані в ґрунти агроценозів агрономічно корисні мікроорганізми активно впливають на формування кореневої системи культурних рослин, істотно збільшуючи її абсорбувальну, поглинальну здатність і, відповідно, асиміляцію сполук біогенних елементів, але немає даних стосовно їх впливу на транслокацію ВМ у системі «ґрунт — рослина» [3–7].

Мета досліджень — виявлення впливу біологічних препаратів на транслокацію свинцю, кадмію, цинку у системі «ґрунт — рослина» на тлі вапнування сірого лісового ґрунту, забрудненого важкими металами; розкрити вплив вапнування на зміну рухомості ВМ у сірому лісовому ґрунті; встановити вплив ґрунтового мікробіологічно-

го добрива Граундфікс® та передпосівної обробки насіння біопрепаратом Органік-баланс® з біоприпливувачем Липосам® на стан рослин кукурудзи в умовах забруднення ґрунту ВМ; виявити ефективність дії біологічних препаратів залежно від фізико-хімічних і агрохімічних властивостей сірого лісового ґрунту.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження проводили у лабораторно-модельному досліді, в якому використали сірий лісовий ґрунт, відібраний з екотопів польового досліді «Вплив цинку, свинцю, кадмію на продуктивність сільськогосподарських культур, агрохімічні та екоотоксикологічні характеристики сірого лісового легкосуглинкового ґрунту» із штучно створеними фонами важких металів, закладеному в 1999 р. у межах дослідного поля ННЦ «Інститут землеробства НААН» (сmt Чабани, Києво-Святошинський р-н, Київська обл.). Були випробувані такі варіанти: 1 — контроль, природний фон цинку, свинцю та кадмію (5, 10, та 0,2 мг/кг ґрунту відповідно); 2–4 — перевищення природного фону ВМ: у 5, 10 та 100 разів відповідно. У 2015 р. проведено вапнування ґрунту за повною нормою гідролітичної кислотності і внесено у ґрунт післязливну побічну продукцію (подрібнені стебла кукурудзи, оброблені біодеструктором Екостерн®) як органічне добриво. З 2012 р. у досліді беззмінно вирощували кукурудзу на зерно за

щорічного внесення мінеральних добрив ($N_{120}P_{90}K_{120}$).

Перший блок лабораторно-модельного досліді проводили з ґрунтом, відібраним у 2015 р. до внесення меліоранту, другий блок — відібраним у 2016 р., тобто через 1 рік після вапнування та внесення подрібненої побічної продукції (табл. 1). Ґрунт розміщували у полімерних контейнерах (120×210×40 мм) шаром 40 мм. Як тестову культуру використовували кукурудзу (гібрид Здвиж МВ). Тривалість досліді — 40 діб. Повторність — чотириразова.

Досліджували ефективність біологічних препаратів виробника ПП «БТУ-Центр» [8]: Граундфікс®, Органік-баланс® та Липосам®. Згідно з характеристикою виробника, ґрунтовий препарат Граундфікс® поряд із підвищенням доступності ґрунтових запасів азоту, фосфору і калію поліпшує засвоєння елементів живлення рослинами. Ризосферний біопрепарат Органік-баланс®, сприяючи збагаченню корисною мікрофлорою прикореневого шару ґрунту, забезпечує більшу доступність елементів живлення для рослин (зокрема калію і фосфору), прискорює схожість насіння, посилює імунітет рослини до широкого спектра хвороб і поліпшує родючість ґрунту. Для оптимального контакту препарату з насінням додавали природний біоприпливувач Липосам®. Дози біопрепаратів застосовували відповідно до рекомендацій виробника з розрахунку на вказану площу

Таблиця 1

Схема лабораторно-модельного досліді

Варіант	Ґрунт до вапнування (2015 р.)		Ґрунт після вапнування (2016 р.)	
Природний фон ВМ (контроль)	без застосування біопрепаратів	із застосуванням біопрепаратів: внесення у ґрунт Граундфіксу®, 4 л/га + Липосаму®, 0,7 л/га; обробка насіння — Органік-балансом®, 2 л/т + Липосамом®, 0,4 л/т	без застосування біопрепаратів	із застосуванням біопрепаратів: внесення у ґрунт Граундфіксу®, 4 л/га + Липосаму®, 0,7 л/га; обробка насіння — Органік-балансом®, 2 л/т + Липосамом®, 0,4 л/т
Перевищення фону ВМ: у 5 разів				
у 10 разів				
у 100 разів				

кожного контейнера та кількість висіяних насінин тест-культури.

Дослід завершено на етапі розвитку рослин кукурудзи у фазі 3–5 листків. Після завершення експерименту в сухій масі рослин визначали вміст ВМ методом атомної спектрофотометрії після термообробки та кислотної деструкції рослинного матеріалу.

Виконання хімічних аналізів ґрунту і рослинного матеріалу проводили у лабораторії відділу агроекології і аналітичних досліджень ННЦ «Інститут землеробства НААН» (Свідоцтво про атестацію № А14-053 від 28.03.2014 р., видано Українським державним центром стандартизації та сертифікації «Укргостандартсертифікація») згідно із нормативною базою України.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Результати аналізу засвідчили, що ґрунти, використані для закладання лабораторно-модельного дослідження, відрізнялись за фізико-хімічними і агрохімічними показниками. Внесення у ґрунт повної норми за гідролітичною кислотністю карбонату кальцію сприяло зміні кислотності ґрунтів від групи середньокислих до нейтральних, кількість обмінного кальцію зросла від 4,2–5,1 до 7,8–11,2 м-екв/100 г ґрунту. Завдяки вапнуванню кальцій і магній не лише змінюють кислотно-основний баланс

у ґрунті, а й виступають антагоністами ВМ у біохімічних процесах [9].

Під дією вапнування та внесення органічних добрив (подрібнена побічна продукція) відбулись зміни в поживному режимі ґрунту: зросла забезпеченість рухомими формами фосфору і калію від підвищеного і високого рівня до дуже високого. Слід зауважити, що як до вапнування, так і після внесення вапна ґрунт усіх варіантів дослідження за фізико-хімічними та агрохімічними властивостями був придатним для вирощування сільськогосподарських рослин, але дуже різнився за вмістом цинку, свинцю та кадмію. Відмінність за цими показниками, насамперед, є умовою дослідження, де передбачено чотири рівні забруднення ґрунту ВМ. Але вже в перший рік після вапнування спостерігалася чітка тенденція до зниження рухомості свинцю, кадмію, цинку у ґрунті всіх варіантів (табл. 2). Уміст рухомих форм свинцю знизився на 17–24%, кадмію – на 19–50, цинку – на 5–46%. Закономірно, що з підвищенням забрудненості фону частка впливу вапнування знижувалась.

Розрахунок коефіцієнта рухомості (K_p) ВМ додатково унаочнює виявлену тенденцію до зниження вмісту свинцю, кадмію, цинку у ацетатно-амонійній витяжці з ґрунту після вапнування порівняно з вихідними пробами. Цей показник характеризує

Таблиця 2

Концентрація рухомих форм свинцю, кадмію, цинку у сірому лісовому ґрунті за змодельованих рівнів забруднення й використання меліоранту, мг/кг

Варіант	Pb	Cd	Zn	Pb	Cd	Zn
	ґрунт до вапнування (2015 р.)			післядія вапнування (1-й рік, 2016 р.)		
Природний фон ВМ (контроль)	1,7	0,2	1,3	1,6	0,1	0,7
Перевищення фону ВМ: у 10 разів	32,3	1,0	10,0	32,0	0,7	9,1
у 100 разів	419,7	8,1	189,5	347,4	6,6	180,0
у 5 разів	12,7	0,8	4,4	10,2	0,6	4,0
ГДК [10]	2,0	0,7	23	2,0	0,7	23
Фон [11]	0,5	0,1	5,0	0,5	0,1	5,0

співвідношення кількості рухомої форми хімічного елемента у ґрунті ($C_{рух.}$) та його валового вмісту ($C_{вал.}$) і розраховується як: $K_p = C_{рух.}/C_{вал.} \times 100\%$. Зниження коефіцієнта рухомості на всіх провапнованих ділянках, незалежно від забруднення, підтвердило перехід частини запасу металів у нерухому форму. Так, коефіцієнт рухомості свинцю знизився від 14,0–52,3 до 13,2–43,3%, кадмію — від 14,2–78,6 до 7,7–76,0, цинку — від 9,2–38,0 до 4,9–36,1% залежно від забрудненості фону.

Ступінь нагромадження рухомих форм ВМ у ґрунті є одним із чинників, що визначає токсичність цих елементів для рослин. У цьому аспекті виявлення впливу біологічних препаратів на розвиток рослин кукурудзи і накопичення ними ВМ в умовах вапнування набуває особливого значення.

Результати експерименту продемонстрували, що комплексна обробка насіння кукурудзи біопрепаратами Органік-баланс® + Липосам® на фоні внесення ґрунтового мікробіологічного добрива Граундфікс® позитивно вплинула на його проростання, забезпечивши однорідні і дружні сходи. Різниця між варіантами стала добре помітною у фазі 3–5 листків. У цей період візуально виявлено збільшення висоти рослин кукурудзи, які вирощували на за-

брудненому ВМ і провапнованому ґрунті дослідних варіантів, порівняно з рослинами, вирощеними на ґрунті до вапнування; кількість сухих речовин (у розрахунку на 1 рослину) зросла на 8–9%.

Виявлено, що ефективність дії біопрепаратів на фітоценоз також залежить від кислотності ґрунту. Їх застосування на фоні без вапнування не сприяло росту і розвитку рослин кукурудзи у фазу 3–5 листків у всіх варіантах, що підтверджено як фенологічними спостереженнями, так і зменшенням маси сухої речовини на 2–10%, розрахованої у середньому на 1 рослину (рис. 1-А). Натомість завдяки вапнуванню дія біологічних препаратів мала беззаперечну ефективність. Так, накопичення сухої речовини, створення ґрунтових умов та взаємодія рослин з біопрепаратами за умов вапнування повністю нівелювали токсичність ВМ стосовно рослин на цьому етапі розвитку, і навіть за 100-разового перевищення природного фону ВМ результати були близькими до природного фону. Інтенсивність накопичення сухої речовини під впливом біологічних препаратів на провапнованих фонах підвищилась на 5–18% (рис. 1-Б).

Отже, в умовах сірого лісового легкосуглинкового ґрунту для розкриття

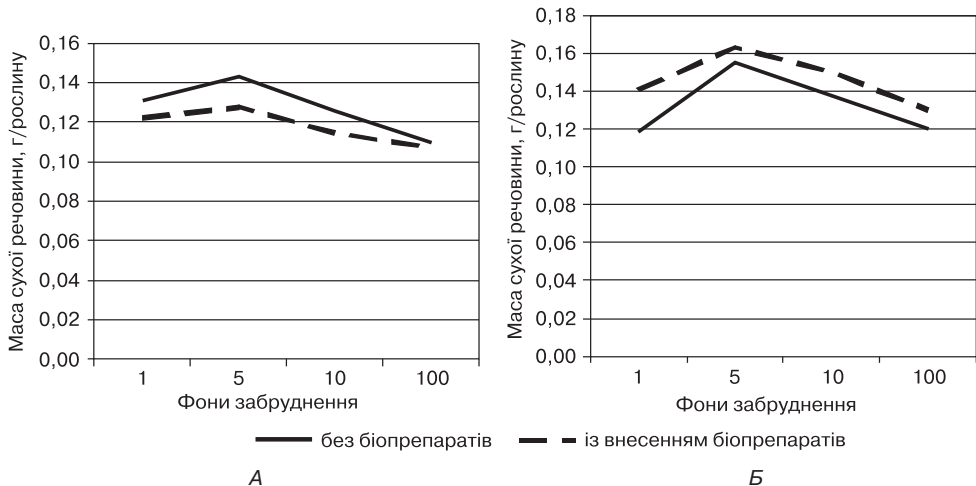


Рис. 1. Зміна ефективності впливу біологічних препаратів на накопичення сухої речовини рослинами кукурудзи залежно від вапнування в умовах забруднення ґрунту ВМ: А — до вапнування; Б — після вапнування

потенціалу дії комплексу біопрепаратів необхідно враховувати фізико-хімічні властивості ґрунтового середовища. Так, частка підвищення ефективності біопрепаратів завдяки вапнуванню, що визначено за сухою речовиною рослин кукурудзи, становить 13–20% залежно від варіанта дослідів (рис. 2). Найбільшу ефективність виявлено за 5- і 10-разового перевищення фону забруднення ґрунту ВМ — 22–24%.

В умовах лабораторно-модельного дослідів рослини вирощували до появи п'ятого листка. Тобто до періоду початку інтенсивного росту, коли рослина потребує значної кількості нутрієнтів, і їх нестача є критичною для розвитку фітоценозу кукурудзи, а присутність рухомих форм токсичних сполук є особливо небезпечною.

Унаслідок вапнування кардинально змінилися фізико-хімічні і агрохімічні властивості ґрунту, що безсумнівно знизило його токсичність і, загалом, забезпечило кращі умови для розвитку рослин. У цьому аспекті результати наших досліджень узгоджуються з даними інших науковців, що свідчить про ефективність вапнування як одного із методів зниження рухомості ВМ на кислих ґрунтах і їх транслокації до рослинного організму. Це відбувається завдяки розширенню ємності катіонного

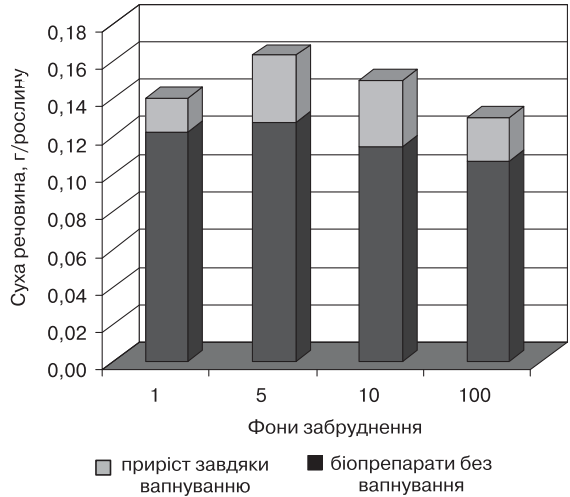


Рис. 2. Зміна впливу вапнування на ефективність біологічних препаратів за накопиченням сухої речовини рослинами кукурудзи залежно від рівня забруднення ґрунту свинцем, кадмієм, цинком

обміну ґрунту, що своєю чергою стримує надходження ВМ до рослини [9, 12]. Нами встановлено, що за внесення біологічних препаратів без вапнування ґрунту, поряд з пригніченням росту рослин кукурудзи, посилилась транслокація кадмію і цинку до надземних органів у всіх варіантах дослідів: Pb — на 1,2–4,1 мг/кг, Cd — на 0,1–2,4, Zn — на 2,2–79,7 мг/кг сухої речовини (табл. 3). Натомість застосування біопрепа-

Таблиця 3

Вплив біопрепаратів на зміну вмісту свинцю, кадмію, цинку у вегетативній масі рослин кукурудзи в умовах лабораторно-модельного дослідів, фаза 3–5 листків

Варіант	Збільшення вмісту ВМ за застосування біопрепаратів, мг/кг сухої речовини					
	Ґрунт до вапнування			Ґрунт після вапнування		
	Pb	Cd	Zn	Pb	Cd	Zn
Природний фон ВМ (контроль)	+1,4	+0,1	+3,9	-1,0	-0,1	-1,6
Перевищення ВМ: у 5 разів	+1,2	+0,1	+3,1	-0,8	-0,4	-1,8
у 10 разів	+1,4	+0,3	+2,2	-1,0	-0,1	-3,2
у 100 разів	+4,1	+2,4	+79,7	-4,3	-0,1	-138

ратів на фоні вапнування мало зворотний ефект: темпи транслокації ВМ знизилась поряд зі збільшенням накопичення сухої речовини. Уміст свинцю знизився на 1,0–4,3 мг/кг, кадмію – на 0,1–0,4, цинку – на 1,6–138 мг/кг сухої речовини вегетативної маси рослини.

ВИСНОВКИ

Застосування методу вапнування та комплексу біопрепаратів Граундфікс[®], Органік-баланс[®] та Липосам[®] є вагомими чинниками впливу на рухомість свинцю, кадмію, цинку у сірому лісовому ґрунті та їх транслокацію у системі «ґрунт – рослина» за різних рівнів забрудненості ґрунту цими поліотантами.

Проведення вапнування сірого лісового ґрунту забезпечило зниження коефіцієнта рухомості свинцю від 14,0–52,3 до 13,2–43,3%, кадмію – від 14,2–78,6 до 7,7–76,0, цинку – від 9,2–38,0 до 4,9–36,1% залежно від рівня забрудненості фону.

Виявлено, що застосування біологічних препаратів Граундфікс[®], Органік-баланс[®] та Липосам[®] у фітоценозі кукурудзи за середньокислої реакції ґрунтового середовища та забрудненості ґрунту ВМ не сприяло поліпшенню стану рослин, а у фазі 3–5 листків навіть спричинило зменшення кількості сухих речовин на 2–10% та підвищення інтенсивності транслокації свинцю, кадмію і цинку до надземних органів кукурудзи на 1,2–4,1, 0,1–2,4, 2,2–79,7 мг/кг сухої речовини відповідно.

Внесення біопрепаратів Граундфікс[®], Органік-баланс[®] та Липосам[®] за нейтральної реакції ґрунтового середовища (на провапнованих фонах) знижувало темпи транслокації свинцю, кадмію і цинку в системі «ґрунт – рослина» на 1,0–4,3, 0,1–0,4, 1,6–138 мг/кг сухої речовини вегетативної маси відповідно та забезпечувало додаткове накопичення сухих речовин рослинами кукурудзи на 5–18 % залежно від рівня фону забрудненості ВМ.

ЛІТЕРАТУРА

1. Овчаренко М.М. Факторы почвенного плодородия и загрязнения продукции тяжелыми металлами / М.М. Овчаренко, В.В. Бабкин, Н.А. Кирпичников // *Агробиохимический вестник*. – 1998. – № 3. – С. 31–34.
2. Сокаев К.Е. Проблема техногенного загрязнения почв сельскохозяйственного использования / К.Е. Сокаев // *Вестник международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности (МАНЭБ)*. – 2007. – Т. 13, № 3. – С. 102–106.
3. Методологія і практика використання мікробних препаратів у технологіях вирощування сільськогосподарських культур / [за ред. В.В. Волкогон]. – К.: Аграрна наука, 2011. – 156 с.
4. Мілютенко Т.Б. Міграція біогенних елементів з ґрунту за різних систем удобрення / Т.Б. Мілютенко, О.А. Демидов, О.В. Шерстобоева // *Агро-екологічний журнал*. – 2014. – № 1. – С. 60–64.
5. Мікробні препарати у землеробстві. Теорія і практика: монографія / [В.В. Волкогон, О.В. Надкернична, Т.М. Ковалевська та ін.]. – К.: Аграрна наука, 2006. – 312 с.
6. Effects of long-term heavy metals contamination on soil microbial characteristics in calcareous agricultural lands (Saiss plain, North Morocco) / A. Kouchou, N. Rais, F. Elsass et al. // *Journal of materials and Environmental Sciences (JMES)*. – 2017. – Vol. 8, Issue 2. – P. 691–695.
7. A comparison of technologies for remediation of heavy metal contaminated soils / S. Khalid, M. Shahid, N.Kh. Niazi et al. // *Journal of Geochemical Exploration (JGE)*, Elsevier. – 2016. – Vol. 182. – P. 247–268.
8. Каталог продукції компанії «БТУ-Центр». Технології майбутнього. Мікробні препарати. – К., 2015. – 70 с.
9. Черных Н.А. Приемы снижения фитотоксичности тяжелых металлов / Н.А. Черных, М.М. Овчаренко, Л.Л. Поповичева // *Агробиохимия*. – 1995. – № 9. – С. 101–107.
10. Агроекологічний моніторинг та паспортизація сільськогосподарських земель / за ред. В.П. Патики. – К.: Фітосоціоцентр, 2002. – 296 с.
11. Методичні рекомендації з встановлення допустимих концентрацій шкідливих речовин в агрохімікатах / за ред. д-ра с.-г. наук Н.А. Макаренко. – К., 2007. – 16 с.
12. Методика суцільного ґрунтового-агрохімічного моніторингу сільськогосподарських угідь України / [за ред. О.О. Созінова, Б.С. Прістера]. – К., 1994. – 162 с.
13. Миграция кадмия, цинка, свинца и стронция из корнеобитаемого слоя дерново-подзолистых почв / И.А. Шильников, М.М. Овчаренко, М.В. Никифоров, Н.И. Аканова // *Агробиохимический вестник*. – 1998. – № 5–6. – С. 43–44.

REFERENCES

- Ovcharenko, M.M., Babkin, V.V., & Kirpichnikov, N.A. (1998). Faktory pochvennogo plodorodiya i zagryazneniya produktii tyazhelyimi metallami [Factors of soil fertility and contamination of products with heavy metals]. *Agrohimicheskii vestnik — Agrochemical messenger*, 3, 31–34 [in Russian].
- Sokaev, K.E. (2007). Problema tehnogenogo zagryazneniya pochv selskohozyaystvennogo ispolzovaniya [The problem of technogenic pollution of soils of agricultural use]. *Vestnik mezhdunarodnoy akademii nauk ekologii i bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti (MANEB) — Bulletin of the International Academy of Ecology and Life Safety* 3, 102–106 [in Russian].
- Volkoghon, V.V. (Ed.). (2011). *Metodologhija i praktyka vykorystannja mikrobynykh preparaty u tekhnologhijakh vyroshhuvannja sil'skokhospodarskykh kul'tur [Methodology and practice of microbial drugs use in crop growing technologies]*. Kyiv: Ahrarna nauka [in Ukrainian].
- Miljutenko, T.B., Demydov, O.A., & Sherstobojeva, O.V. (2014). Mighracija biohennykh elementiv z gruntu za riznykh system udobrennja [Migration of nutrients from soil in different fertilizer systems]. *Ahroekologhichnyj zhurnal — Agroecological journal*, 1, 60–64 [in Ukrainian].
- Volkoghon, V.V., Nadkernychna, O.V., Kovalevska, T.M., & Tokmakova, L.M. et al. (2006). *Mikrobni preparaty u zemlerobstvi. Teoriia i praktyka [Microbial drugs in agriculture. Theory and practice]*. Kyiv: Ahrarna nauka [in Ukrainian].
- Kouchou, A., Rais, N., Elsass, F., Duplay, J., Fahli, N., & Ghachtouli, N. EL. (2017). Effects of long-term heavy metals contamination on soil microbial characteristics in calcareous agricultural lands (Saiss plain, North Morocco). *Journal of materials and Environmental Sciences (JMES)*, 8 (2), 691–695 [in English].
- Khalid, S., Shahid, M., Niazi, N.Kh., Murtaza, B., & Bibi, I. et al. (2016). A comparison of technologies for remediation of heavy metal contaminated soils. *Journal of Geochemical Exploration (JGE), Elsevier*, 182, 247–268 [in English].
- Katalogh produkci kompanii «BTU-Centr». Tekhnologhii maibutnoho. Mikrobni preparaty [Catalog of products of BTU-Center company. Technologies of the future. Microbial drugs]*. (2015). Kyiv [in Ukrainian].
- Chernyh, N.A., Ovcharenko, M.M., & Popovicheva, L.L. (1995). Priemy snizheniya fitotoksichnosti tyazhelykh metalliv [Techniques to reduce the phytotoxicity of heavy metals]. *Ahrokhimiya — Agrochemistry*, 9, 101–107 [in Russian].
- Patyka, V.P. (Ed.). (2002). *Ahroekologhichni monitorynh ta pasportyzacia sil'skokhospodarskykh zemel [Agroecological monitoring and certification of agricultural land]*. Kyiv: Fitosociocentr [in Ukrainian].
- Makarenko, N.A. (Ed.). (2007). *Metodychni rekomendacii z vstanovlennia dopustymykh koncentracii shkidlycykh rechovyh v ahrokhimikatakh [Methodical recommendations on the establishment of permissible concentrations of harmful substances in agrochemicals]*. Kyiv [in Ukrainian].
- Sozinov, O.O. & Prister, B.S. (1994). *Metodyka suchilnogho gruntovogho-ahrokhimichnoho monitorynhu sil'skokhospodarskykh ughid Ukrainy [Method of solid ground-agrochemical monitoring of agricultural lands in Ukraine]*. Kyiv [in Ukrainian].
- Shilnikov, I.A., Ovcharenko, M.M., Nikiforov, M.V., & Akanova, N.I. (1998). Migratsia kadmia, tsinka, svintsa i strontsia iz korneobitaemoho sloya derno-vo-podzolistykh pochv [Migration of cadmium, zinc, lead and strontium from the root zone of sod-podzolic soils]. *Agrohimicheskii vestnik — Agrochemical Bulletin*, 5–6, 43–44 [in Russian].

Отримано 24.01.2019