
РОДЮЧІСТЬ І ОХОРОНА ҐРУНТІВ

УДК 504.054: 581.132.1: 351.777.6

ЗАЛЕЖНІСТЬ БІОЛОГІЧНОЇ АКТИВНОСТІ ҐРУНТУ ВІД ЗАБРУДНЕНОСТІ ЕКОТОПІВ ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ

С.Г. Корсун¹, Н.І. Довбаш¹, В.П. Оліферчук²

¹ Національний науковий центр «Інститут землеробства НААН»

² Національний лісотехнічний університет України

*Дослідження проведено на базі тривалого дрібноділянкового досліду на сірому лісовому легкосуглинковому ґрунті екотопів, що підлягали тривалому систематичному забрудненню свинцем, кадмієм, цинком. Установлено зміну активності мікробного ценозу ґрунту в умовах забруднення екотопів полютантами. За зростання концентрації свинцю, кадмію, цинку в ґрунті відбулось зниження активності целюлозолітичних мікроорганізмів, пригнічення інтенсивності респірації ґрунту, спостерігалась тенденція до активізування мікроорганізмів-нітрифікаторів. Обґрунтовано, що порушення природної концентрації важких металів у сірому лісовому ґрунті супроводжувалось змінами у видовому складі мікроміцетів. Перевищення природного фону екотоксикантів спричиняло додаткове збільшення кількості патогенних видів роду *Fuzarium*, родини *Zygomycetes*, зокрема видів роду *Rizopus*, та появу ефекту «меланізації ґрунту».*

Ключові слова: мікробіоценоз ґрунту, біологічна активність ґрунту, кукурудза, важкі метали, екотоп.

Оцінювання екосистеми ґрунту в умовах техногенного забруднення потребує з'ясування стану мікробного ценозу як одного із чутливих діагностичних критеріїв його родючості [1]. Згідно із думкою вчених, мікроорганізми є індикаторами родючості ґрунтів, їх екологічного стану [1, 2]. Адже мікробні групи формуються відповідно до агрофону, і будь-яке техногенне навантаження на ґрунт може супроводжуватися змінами структурно-функціональних особливостей мікробного ценозу [3].

Зростання антропогенного впливу на ґрунт порушує умови існування ґрунтової мікрофлори, відбуваються зміни в комплексі ґрунтових мікроорганізмів: знижується видове багатство і різноманіття, збільшується кількість толерантних до забруднення мікроорганізмів, процеси самоочищення ґрунту сповільнюються [4]. Але роботи дослідників демонструють різні результати щодо впливу свинцю, цинку, кадмію на активність целюлозоруйнівних

мікроорганізмів, нітрифікаторів, зміни в інтенсивності респірації ґрунту залежно від особливостей абіотичних умов середовища [5–7]. Тому стан ґрунтів екотопів, забруднених важкими металами (ВМ), потребує додаткового дослідження.

Метою роботи було виявлення зміни показників біологічної активності ґрунту екотопів, що підлягали тривалому систематичному забрудненню свинцем, кадмієм, цинком.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Наукові експерименти проводили в умовах тривалого польового досліду «Вплив цинку, свинцю, кадмію на продуктивність сільськогосподарських культур та екотоксикологічні характеристики сірого лісового ґрунту», закладеного 1999 р. у дослідному господарстві «Чабани» ННЦ «Інститут землеробства НААН» (Київська обл.). Ґрунт — сірий лісовий легкосуглинковий. У досліді передбачено варіанти зі штучно створеними фонами свинцю, кадмію, цинку: 1 — природний фон цинку, свинцю і

кадмію (контроль); 2 — перевищення природного фону металів у 10 разів, 3 — у 100 і 4 — у 5 разів. Агроценоз представлено беззмінними упродовж 2012–2014 рр. посівами кукурудзи (гібрид Здвиж МВ). Сівбу проводили широкорядним способом. Зважаючи на легкий гранулометричний склад ґрунту, добрива на усіх ділянках вносили навесні під час передпосівного обробітку, в дозі $N_{120}P_{90}K_{120}$. Повторність дослідів — чотириразова. Як екологічний контроль використовували ділянку з дикорослими рослинами площею 1 га, виведену з обробітку у 1987 р. (переліг).

У дослідженнях застосували два підходи: проводили лабораторні експерименти у квазістаціонарних умовах зі сталою температурою і вологістю та польові експерименти з природною флуктуацією температури повітря і опадів у літні місяці. У лабораторних умовах визначали інтенсивність виділення ґрунтом CO_2 [8], нітрифікаційну здатність ґрунту [9], зміни пулу мікроміцетів [10]. Методом лляних тканин у польових умовах визначали активність целюлозоруйнівних мікроорганізмів [11]. Для оцінки целюлолітичної активності ґрунту використовували шкалу, запропоновану Д.Г. Звягінцевим [12]: 10% — дуже слабка, 10–30 — слабка, 30–50 — середня, 50–80 — сильна, понад 80% — дуже сильна.

Статистичну обробку даних виконували з використанням стандартних комп'ютерних програм Microsoft Office Excel 2003 і Statistica.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

У агроценозі, залежно від навантаження екоотопів ВМ, целюлозоруйнівна активність змінювалась у межах 31,40–43,90%, досягнувши середнього рівня за шкалою Звягінцева (рис. 1). Найбільший розклад тканини спостерігався у контрольованому варіанті. Загалом, підвищення кількості ВМ у ґрунті знижувало целюлозоруйнівну активність мікробного ценозу. Але попри підвищення у досліді забрудненості ґрунту ВМ до 100 разів, коефіцієнт варіювання целюлозоруйнівної активності у варіантах дослідів

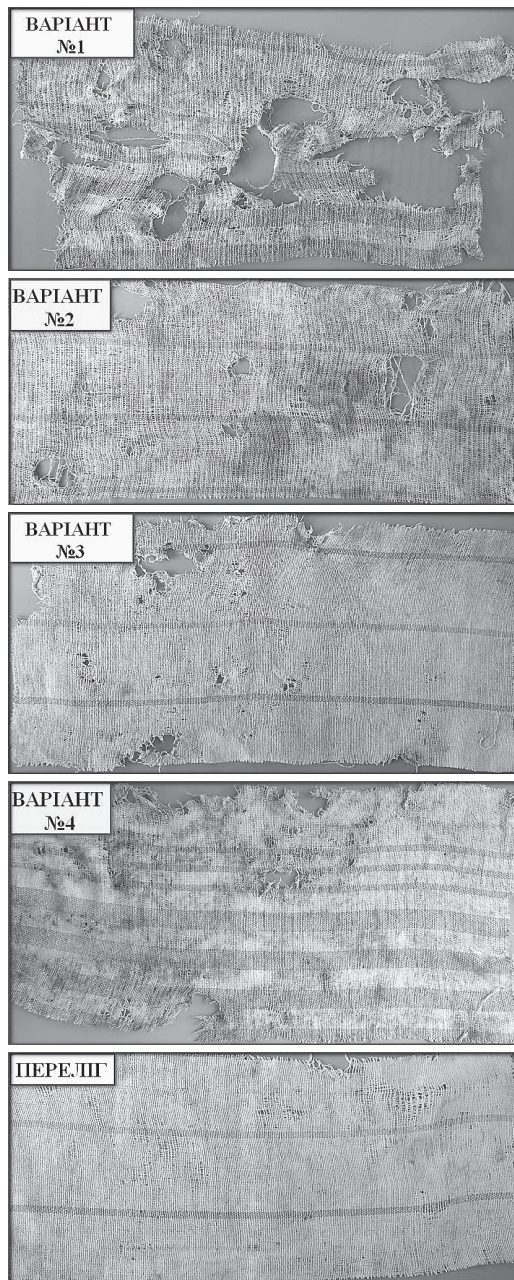


Рис. 1. Трансформація лляних полотен целюлозоруйнівними мікроорганізмами в польових умовах, середнє за 2012–2014 рр. (варіанти): № 1 — контроль (природний фон важких металів), № 2, 3, 4 — перевищення природного фону ВМ у 10, 100 та 5 разів відповідно, переліг

досягав лише середнього рівня ($V = 14,3\%$). Достовірну відмінність показника ($12,5\%$) виявлено лише у варіанті з максимальним забрудненням ВМ (при $НІР_{05} = 10,9\%$).

Найнижчою була частка розкладу тканини за компостування на перелозі — $24,92\%$ (слабка целюлозоруйнівна активність). Науковці вважають, що біологічна активність ґрунту найбільше визначається абіотичними чинниками, такими як ступінь окультуреності ґрунту, погодні умови, вологість і температура ґрунтового середовища [13]. Систематичний обробіток ґрунту та застосування мінеральних добрив у агроценозі кукурудзи сприяли поліпшенню режиму аерації, забезпеченості вологою та поживними елементами, а отже, формуванню пулу ґрунтових мікроорганізмів, які в польових умовах інтенсивніше, порівняно з перелогом, мінералізували органічні речовини, основою яких є целюлоза.

Окрім польових досліджень, нами було проведено серію лабораторних експериментів, у яких визначали інтенсивність респірації ґрунту, адже внаслідок деструкції органічної речовини, що здійснюють ґрунтові мікроорганізми, відбувається вивільнення двооксиду вуглецю. Активність продукування CO_2 свідчить про швидкість проходження мінералізаційних процесів у ґрунті і вважається універсальною характеристикою його загальної біологічної активності.

Як свідчать отримані дані, інтенсивність респірації була найвищою на ділянці перелогу — $86,3$ мг/кг ґрунту за добу, що підтверджує еволюційну гармонійність мікробного ценозу, сформованого в природному екотопі. Тривале використання ґрунту для вирощування сільськогосподарських культур різко знизило цей показник, і у варіантах агроценозів кукурудзи він був у межах $28,6$ – $35,5$ мг/кг ґрунту за добу. Виявлено, що за 5- і 10-разового підвищення фону ВМ у ґрунті спостерігалось зниження інтенсивності респірації, відповідно — на $2,75$ та $6,86$ мг/кг порівняно з незабрудненим варіантом. Математичний аналіз отриманих результатів з використанням $НІР_{05}$ свідчить про дос-

товірне відхилення від контролю лише у варіанті з 10-разовим перевищенням фону ($НІР_{05} = 6,01$). Загалом, мінливість ознаки інтенсивності респірації у варіантах агроценозу кукурудзи відзначалась низькою варіабельністю ($V = 9,3\%$).

На ділянках із 100-разовим забрудненням екотопу сільськогосподарські рослини розвивались значно гірше, ніж у інших варіантах, що сприяло накопиченню в орному шарі ґрунту біогенних елементів, не використаних на формування врожаю. У квазістаціонарних умовах досліді, які передбачали оптимальні умови для розвитку мікроорганізмів ґрунту, це особливо сприяло активізуванню діяльності аеробної мікрофлори, і показник інтенсивності респірації у цьому варіанті був близьким до контролю, тобто становив $34,65$ (контроль — $35,48$ мг CO_2 на кг ґрунту за добу), перевищуючи інші забруднені ділянки.

Для з'ясування впливу ВМ на нітрифікаційну здатність сірого лісового ґрунту нами було проведено серію лабораторних дослідів у сталях гідротермічних умовах.

Виявлено, що активність нітрифікації, згідно із ДСТУ 4362:2004, була дуже низькою в усіх варіантах досліді [14]. Найінтенсивніше нітрифікаційні процеси відбувалися у варіанті з перевищенням природного фону ВМ у 100 разів — $8,4$ мг/кг ґрунту, а найнижчу інтенсивність зафіксовано у ґрунті контрольного варіанта — $7,4$ мг/кг. Загалом, виявлено тенденцію до підвищення нітрифікаційної здатності на ділянках, забруднених ВМ. Але це не суперечить загальноновизнаній закономірності щодо зниження кількості мікроорганізмів-нітрифікаторів та їхньої активності у разі забруднення ґрунту ВМ. Адже наші дослідження проведено в особливих умовах — за однакового рівня удобрення у всіх варіантах досліді. Оскільки на забруднених ділянках сільськогосподарські рослини розвивались гірше, ніж за природного фону ВМ (на контролі), то в орному шарі цих ділянок відбувалось накопичення біогенних елементів, не використаних на формування врожаю. У квазістаціонарних умовах лабораторного досліді це сприяло

активізуванню діяльності нітрифікаторів. Утім зміни показника мали лише тенденційний характер. Це підтверджено даними статистичного аналізу: коефіцієнт варіації в досліді відповідав низькому рівню – 4,2%, а достовірне відхилення від контролю (при $НІР_{05} = 0,64$) виявлено лише у варіанті із 100-разовим перевищенням фону – за максимального накопичення поживних елементів.

Поряд із бактеріями важливу роль у процесах перетворення органічних сполук ґрунту відіграють гриби. Порушення природної концентрації ВМ у сірому лісовому ґрунті супроводжувалось змінами у видовому складі мікроміцетів (рис. 2). Якщо для сірого лісового ґрунту перелогу характерною була наявність видів родів *Penicillium*, *Aspergillus*, *Rhizopus*, а видовий склад та чисельність видів були біднішими, ніж на орних землях, то ґрунт агробіогеоценозу кукурудзи мав характерний для цієї культури видовий склад мікроміцетів. У ньому були виявлені такі види: *Fuzarium oxysporum* (3%), *Penicillium cyclopium* (3), *P. mar-tensii* (12), *Trichoderma harzianum* (11), *Aspergillus flavus* (12), *A. niger* (23), *Rhizopus nigricans* (26). За забруднення ґрунту ВМ спостерігалось збільшення чисельності видів, які здатні спричиняти захворювання рослин: *Aspergillus niger* (22%), *A. flavus* (24), *Fuzarium oxysporum* (25), *Rhizopus nigricans* (26). Підвищення фону ВМ у 100 разів супроводжувалось додатковим збільшенням кількості патогенних видів роду *Fuzarium*, які спричиняють виникнення кореневої гнилі, фузаріозу листя, плодів та насіння, а також збільшення кількості видів родини *Zygomycetes*, зокрема видів роду *Rizopus*. Особливістю ґрунту з ділянок, забруднених ВМ, була поява ефекту «меланізації ґрунту». У другому варіанті (10 фонів ВМ)

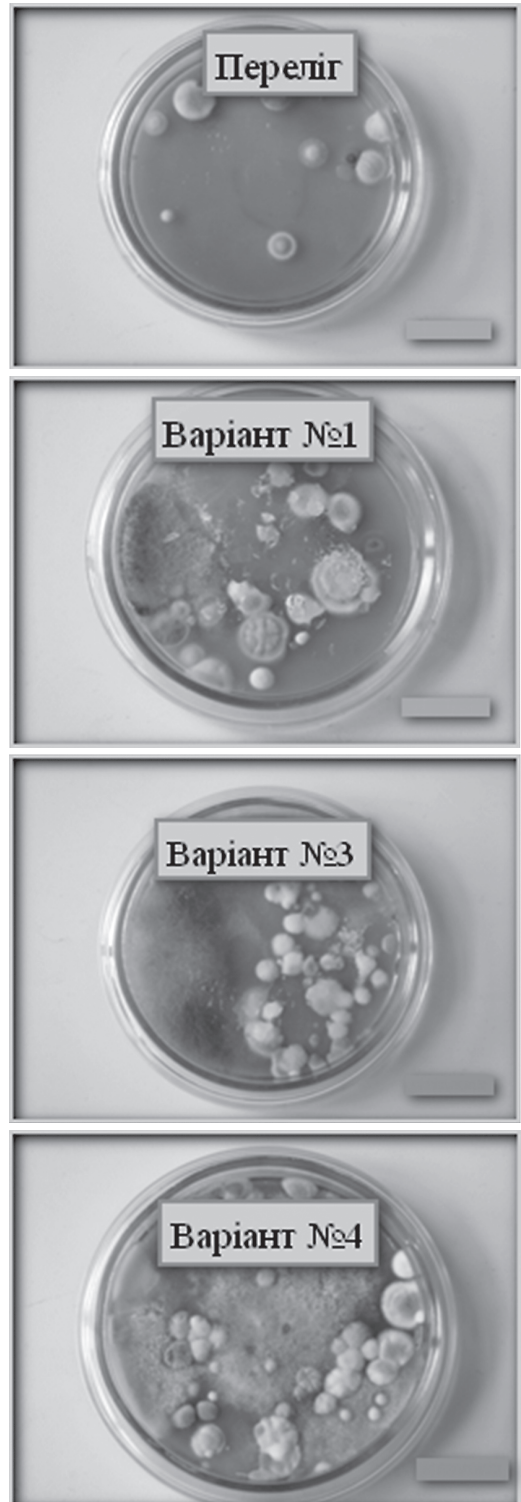


Рис. 2. Зміни пулу мікроміцетів за різного забруднення екотопів поліютантами, середне за 2012–2014 рр. (варіанти): переліг, № 1 — контроль (природний фон важких металів), № 3, 4 — перевищення природного фону ВМ у 100 та у 5 разів відповідно

спостерігалось 90% заселення видом *Aureobasidium pullulans*, що містить меланін.

Результати аналізу біологічної активності ґрунту свідчать, що тривалий вплив ВМ на екосистему ґрунту (1999–2014 рр.) вніс певні корективи у співвідношення мікроорганізмів *R*- і *K*-стратегії та їхню активність. Згідно із твердженнями науковців-мікробіологів, в умовах тривалого забруднення ґрунту ВМ деякі види мікробної спільноти втрачають активність, а інші є толерантними до конкретних полютантів, і рівень їхньої активності не знижується. Існування у ґрунті серед представників мікробного пулу *K*-стратегії таких, що є толерантними до конкретних абіотичних умов, дає змогу ґрунту і надалі виконувати його екологічні функції, у т.ч. трансформацію та мінералізацію органічних решток целюлозоруйнівними мікроорганізмами та перетворення сполук азоту нітрифікаторами.

У нашому досліді середній та низький рівні варіювання активності мікроорганізмів-нітрифікаторів, а також мікроорганізмів-аеробів, активність яких визначалась за інтенсивністю респірації ґрунту та деградації лляної тканини ($V = 4,2\text{--}14,3\%$), зумовлені тим, що ВМ є такою самою при-

родною складовою педосфери планети, як і мікробна спільнота. Саме тому, навіть за перевищення гранично-допустимих концентрацій ВМ, екосистема ґрунту завжди має високі потенційні можливості природних біотичних важелів до подолання токсичних відхилень такого характеру.

ВИСНОВКИ

Установлено, що в умовах забруднення агроекотопів свинцем, кадмієм, цинком активність мікробного ценозу ґрунту змінювалась у межах середнього та низького рівнів варіювання ($V = 4,2\text{--}14,3\%$). За зростання концентрації свинцю, кадмію, цинку у ґрунті відбулось зниження активності целюлозоруйнівних мікроорганізмів ($V = 9,3\%$), пригнічення інтенсивності респірації ґрунту ($V = 14,3\%$), спостерігалась тенденція до активізування мікроорганізмів-нітрифікаторів ($V = 4,2\%$).

Порушення фонові концентрації ВМ у сірому лісовому ґрунті супроводжувалось змінами у видовому складі мікроміцетів. Перевищення природного фону ВМ спричиняло додаткове збільшення кількості патогенних видів роду *Fuzarium*, родини *Zygomycetes*, зокрема видів роду *Rizopus*, та появу ефекту «меланізації ґрунту».

ЛІТЕРАТУРА

1. Іутинська Г.О. Ґрунтова мікробіологія: навчальний посібник / Г.О. Іутинська. — К.: Арістей, 2006. — 284 с.
2. Пати́ка Н.В. Сучасні проблеми біорізноманіття / Н.В. Пати́ка, В.Ф. Пати́ка // Корми і кормовиробництво. — 2013. — Вип. 76. — С. 10–109.
3. Андре́юк Е.Н. Почвенные микроорганизмы и интенсивность землепользования / Е.Н. Андре́юк, Г.А. Иутинская, А.Н. Дульгеров. — К.: Наукова думка, 1988. — 192 с.
4. Марфе́нина О.Е. Антропогенная экология почвенных грибов / О.Е. Марфе́нина. — М.: Медицина для всех, 2005. — 196 с.
5. Ledin M. Microorganisms as metal sorbents: comparison with other soil constituents in multi-compartment systems / M. Ledin, C.A. Krantz-Rulker, B. Uard // Soil Biol. Biochem. — 1999. — Vol. 31. — P. 1639–1645.
6. Rajapaksha R.M. Metal toxicity affects fungal and bacterial activities in soil differently / R.M. Rajapaksha, M.A. Tobor-Kaplan, E. Baath // Appl. Environ. Microbiol. — 2004. — Vol. 70. — P. 2966–2973.
7. Малино́вська І.М. Мікробіологічні процеси у забрудненому іонами важких металів сірому лісовому ґрунті / І.М. Малино́вська, І.В. Домбровська, Ю.І. Літвін // Агроєкологічний журнал. — 2013. — № 2. — С. 29–34.
8. Пат. 81031 Україна, МПК G01N 33/24. Спосіб визначення екологічної стійкості ґрунту у агроландшафтах / С.Г. Корсун, В.І. Гамалей; заявник і власник Інститут землеробства УААН. — № а200510614; заявл. 10.11.05; опуб. 26.11.07, Бюл. № 19.
9. Якість ґрунту. Біологічні методи. Визначення мінералізації азоту і нітрифікації в ґрунтах та впливу хімічних речовин на ці процеси (ISO 14238:1997, IDT): ДСТУ ISO 4238:2003. — [Чинний від 2003-11-06]. — К.: Держспоживстандарт України, 2004. — 12 с. — (Національний стандарт України).
10. Методы экспериментальной микологии / Под ред. В.И. Билай. — К.: Наукова думка, 1982. — 550 с.
11. Практикум по земледелию / Под ред. С.А. Воробьева. — 3-е изд. доп. и перераб. — М.: Колос, 1967. — 319 с.

12. Звягинцев Д.Г. Основные принципы функционирования комплекса почвенных микробов / Д.Г. Звягинцев // Сборник науч. трудов (Проблемы почвоведения). — М.: Наука, 1986. — С. 97–102.
13. Грунтозахисні, енерго-, ресурсо- і вологозберігаючі технології вирощування культур / М.К. Шикун, А.Д. Балаєв, О.Л. Тонха та ін. // Біологічні науки і проблеми рослинництва. — Умань, 2003. — С. 784–791.
14. Якість ґрунту. Показники родючості ґрунтів: ДСТУ 4362:2004. — [Чинний від 2004-12-09]. — К.: Держспоживстандарт України, 2006. — 19 с. — (Національний стандарт України).

REFERENCES

1. Iutynska H.O. (2006). *Gruntova mikrobiolohiia: navchalnyi posibnyk* [Soil microbiology: a tutorial]. Kyiv: Aristei Publ., 284 p. (in Ukrainian).
2. Patyka N.V., Patyka V.F. (2013). *Suchasni problemy bioriznomanittia* [Modern problems of biodiversity]. *Kormy i kormovyrobnytstvo* [Feed and fodder]. Iss. 76, pp. 10–109 (in Ukrainian).
3. Andreyuk Ye.N., Iutinskaya G.A., Dulgerov A.N., (1988). *Pochvennye mikroorganizmy i intensivnost zemlepolzovaniya* [Soil microorganisms and intensity of land use]. Kiev: Naukova dumka Publ. 192 p. (in Russian).
4. Marfenina O.Ye. (2005). *Antropogennaya ekologiya pochvennykh grivov* [Anthropogenic soil fungi ecology]. Moskva: Meditsina dlya vsekh Publ., 196 p. (in Russian).
5. Ledin M., Krantz-Rulker C.A., Uard B. (1999). Microorganisms as metal sorbents: comparison with other soil constituents in multi-compartment systems // *Soil Biol. Biochem.* Vol. 31, pp. 1639–1645 (in English).
6. Rajapaksha R.M., Tobor-Kaplan M.A., Baath E. (2004). Metal toxicity affects fungal and bacterial activities in soil differently, *Appl. Environ. Microbiol.* Vol. 70, pp. 2966–2973 (in English).
7. Malynovska I.M., Dombrovska I.V., Litvin Yu.I. (2013). *Mikrobiolohichni protsesy u zabrudnenomu ionamy vazhkykh metaliv siromu lisovomu grunti* [Microbiological processes in polluted heavy metal ions gray forest soils]. *Ahroekolohichnyi zhurnal* [Agroecological journal]. Iss. 2, pp. 29–34 (in Ukrainian).
8. Korsun S.H., Hamaliei V.I. *Sposib vyznachennia ekolohichnoi stiikosti gruntu u ahrolandshtafakh* [Method of determining the environmental sustainability of soil in agricultural landscapes]. Ukrainian patent, no. 81031, 2007 (in Ukrainian).
9. DSTU ISO 4238:2003. *Yakist gruntu. Biolohichni metody. Vyznachennia mineralizatsii azotu i nitryfikatsii v gruntakh ta vplyvu khimichnykh rechovyv na tsi protsesy* [State Standart ISO 14238:1997. The quality of the soil. Biological methods. Determination of nitrogen mineralization and nitrification in soils and effects of chemicals on these processes]. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2004, 12 p. (in Ukrainian).
10. Bilay V.I. (1982). *Metody eksperimentalnoy mikologii* [Methods of Experimental Mycology]. Kiev: Naukova dumka Publ., 550 p. (in Russian).
11. Vorobeva S.A. (1967). *Praktikum po zemledeliyu* [Workshop on agriculture]. Moskva: Kolos Publ., 319 p. (in Russian).
12. Zvyagintsev D.G. (1986). *Osnovnye printsipy funktsionirovaniya kompleksa pochvennykh mikrobov* [The basic principles of operation of the complex of soil microbes]. *Sbornik nauchnykh trudov (Problemy pochvovedeniya)* [Collection of scientific works (soil science problems)]. Moskva: Nauka Publ., pp. 97–102 (in Russian).
13. Shykula M.K., Balaiev A.D., Tonkha O.L., Striuk L.I., Senchuk S.M., Maistrenko V.H. (2003). *Gruntozakhysni, enerho-, resurso- i volohozberihayuchi tekhnolohii vyroshchuvannia kultur* [Of soil, energy, resource and technology volohozberihayuchi cultivation]. *Biolohichni nauky i problemy roslinnytstva* [Biological science and crop problems]. Uman, pp. 784–791 (in Ukrainian).
14. DSTU 4362:2004 *Yakist gruntu. Pokaznyky rodiihosti gruntiv* [State Standart ISO 4362:2004 The quality of the soil. Indicators of soil fertility]. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2006, 19 p. (Natsionalnyi standart Ukrainy) (in Ukrainian).