

АГРОЕКОЛОГІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ МЕЛІОРАТИВНИХ ЧИННИКІВ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ҐРУНТІВ, ПОРУШЕНИХ ВОЄННИМИ ДІЯМИ

С.Г. Корсун¹, В.А. Болоховська², В.В. Болоховський², Т.О. Хоменко^{2,3},
Ю.П. Борко¹, О.С. Дем'янюк⁴, Т.П. Костина⁴

¹ТОВ «Інститут прикладної біотехнології» (м. Київ, Україна)

e-mail: korsuns@i.ua; ORCID: 0000-0001-8753-9356

e-mail: yulia_borko@ukr.net; ORCID: 0000-0002-6277-8980

²ТОВ «БТУ-ЦЕНТР» (м. Ладижин, Вінницька обл., Україна)

e-mail: valent2006@ukr.net; ORCID: 0009-0005-2728-4589

e-mail: vlad@btu-center.com; ORCID: 0009-0007-0074-6362

³Національний університет біоресурсів і природокористування України
(м. Київ, Україна)

e-mail: volyata@gmail.com; ORCID: 0000-0003-4095-3706

⁴Інститут агроєкології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)

e-mail: demolena@ukr.net; ORCID: 0000-0002-4134-9853

e-mail: kostyna.taras@gmail.com; ORCID: 0009-0007-4009-5576

Збройна агресія РФ призвела до руйнації рівноваги в агроєкосистемах України. Метою роботи було з'ясувати агроєкологічні наслідки порушення ґрунту агроценозу внаслідок вибуху боеприпасів та обґрунтувати застосування меліоративних чинників для відновлення родючості ґрунту. Для розв'язання поставлених завдань проведено вегетаційні дослідження на базі ТОВ «Інститут прикладної біотехнології». Зразки ґрунту для експерименту відібрано на звільнених територіях Харківської обл., що постраждали від воєнних дій. Експертиза ґрунту, порушеного вибухом боеприпасів, виявила зміни агрохімічних, біологічних і токсикологічних показників порівняно з контрольною ділянкою агроценозу. Кількість гумусу зменшилась на 39–46%, гідролізного азоту — на 30–38, мінерального азоту — 36–48, натомість забезпеченість рухомих калієм зростає на 115–139%. Виявлено в ґрунті значні перевищення за вмістом важких металів: уміст Купруму підвищився втричі, Плюмбуму — 1,5 рази, Ніколу — 2,7 рази, Кадмію — 2,5 рази. Мікробіологічні процеси характеризувались зростанням коефіцієнтів мінералізації–імобілізації, оліготрофності, педотрофності та зниженням показника трансформації органічної речовини. Відповідно до змін, що сталися, було запропоновано меліоративні чинники, вплив яких скеровано на відновлення родючості ґрунту. Застосування як меліорантів: азотно-фосфорного мінерального добрива, соломи пшениці озимої як органічного добрива та біологічного препарату Екостерн detox сприяло поліпшенню агрохімічних властивостей ґрунту та оптимізувало спрямованість мікробіологічних процесів, але не мало системного впливу на зміну кількості рухомих форм важких металів. Позитивна дія меліорації на ґрунтове середовище підтверджена біотестом. За комбінування досліджуваних чинників меліорації висота рослин кукурудзи на стадії ВВСН 14 зростала на 14,3–18,1%, надземна маса — на 24–46,2, маса коренів — 13,3–14,3% порівняно з контролем. Найвищий приріст у розвитку фотосинтетичного апарату та кореневої системи було за застосування всього комплексу меліорантів. Отримані результати узгоджуються з результатами аналізу ґрунту, оскільки за суцільного внесення біопрепарату Екостерн detox, мінеральних добрив і соломи відбулось істотне поліпшення як агрохімічних, так і біологічних показників ґрунту, порівняно з контролем та іншими варіантами дослідів.

Ключові слова: біопрепарат, мінеральні добрива, солома, агрохімічні показники, мікробіологічні процеси, важкі метали, біометричні показники, інтенсивність флуоресценції хлорофілу.

ВСТУП

Світова спільнота визначає вплив наслідків військових дій на навколишнє природне середовище як актуальну проблему сучасності, яка не має кордонів. Повномасштабні бойові дії, які тривають в Україні з лютого 2022 р., завдають непомірної шкоди життю людей, загрожують вагомими порушеннями в екосистемах та мають не прогнозовані наслідки. Вразливим компонентом екосистеми є верхня оболонка педосфери — ґрунт, який будучи продуктом тривалого педогенезу має особливу історичну пам'ять щодо антропогенних впливів. Саме ґрунт є базисом та основою функціонування для агроєкосистем, його стан перспективно визначає взаємозв'язок між біотичною і абіотичною компонентами.

Варто зважати, що воєнні дії спричиняють порушення ґрунтів та зміну як фізичних і хімічних параметрів, так і біологічних властивостей. Зміни фізичного стану відбуваються за механічного і пірогенного впливів, пов'язаних із деформацією рельєфу, зміною гідрологічного режиму тощо. Хімічні властивості змінюються через надходження до ґрунту неорганічних сполук, зокрема важких металів, та органічних, що найчастіше представлені вибуховими речовинами.

Інтегральним показником для оцінювання реальних порушень ґрунтового покриву в агроєкосистемах, спричинених воєнними діями, крім фізико-хімічних і еколого-токсикологічних показників є стан сільськогосподарських рослин, вирощених на цих ґрунтах. Тому дослідження в агроєкосистемах, що зазнали впливу воєнних дій, мають поєднувати спостереження за змінами характеристик ґрунтового покриву, рослинності та прогнозуванні заходів із відновлення рівня екологічної рівноваги та її наближення до природного стану.

Мета роботи — з'ясувати агроєкологічні наслідки порушення ґрунту агроценозу внаслідок вибуху боеприпасів та обґрунтувати застосування меліоративних чинників для відновлення родючості ґрунту.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Навколишнє середовище вважають основною рушійною силою будь-якої екосистеми. Функції агроєкосистеми безпосередньо залежать від біофізичних та біохімічних реакцій на межі поділу ґрунт – мікроорганізми – рослини [1]. Зміна властивостей одного з цих компонентів викликає порушення рівноваги у всій системі. Такі зміни найчастіше є результатом підвищення антропогенного навантаження.

Одним із найпотужніших видів впливу на компоненти природних і аграрних екосистеми є ведення військових дій. Проблема впливу військових дій на навколишнє природне середовище України та екологічний стан набула особливої актуальності з початком російської збройної агресії [2]. За прогнозами закордонних науковців це загрожує біорізноманіттю України в довгостроковій перспективі та призведе до зниження екосистемних послуг [3; 4]. У роботах вітчизняних науковців переважають два основних аспекти: перший — встановлення і обговорення екосистемних змін, унаслідок погіршення стану навколишнього природного середовища в умовах війни [5; 6], а другий — розробка конкретних рішень для подолання проблем, що виникли під час війни та існуватимуть у повоєнний період [7; 8].

У сучасних наукових роботах зауважують, що воєнні дії спричиняють низку механічних, фізичних та хімічних впливів на ґрунтовий покрив і це призводить до зміни структури й функцій ґрунтової екосистеми [9]. За таких умов водночас відбувається фізична, хімічна, фізико-хімічна і біологічна деградація ґрунтів [7]. Так, у зоні бомботрубації порушення ґрунту виражається у перевідкладенні, переміщенні, ущільненні, деформації та забрудненні [10]. А зміна хімічного статусу ґрунту є незмінним наслідком порушень, пов'язаних із вибухом. Структура зміни включає як зміщення акцентів у поживному режимі, кислотно-основному потенціалі, так і забрудненні низкою токсичних сполук, які містяться в боеприпасах [11–13]. Серед та-

ких незмінним компонентом є важкі метали [14; 15]. Це підтверджено низкою комплексних досліджень ґрунтів 2022–2023 рр. у Сумській, Харківській, Львівській, Київській обл. [16].

Порушення верхнього шару педосфери внаслідок бомботрубації вносить корективи в структуру і чисельність мікробного пулу ґрунту. Це поглиблює деградаційний процес, оскільки саме ґрунтові мікроорганізми забезпечують певні етапи кругообігу біогенних елементів та підтримку гомеостазу біогеоценозу [8; 17].

Однією з найважливіших функцій ґрунту в агроекосистемах є здатність забезпечити оптимальні умови для росту і розвитку рослин, їх фотосинтетичного апарату та формування продуктивності. Втім, вище зазначені деградаційні процеси в агроекосистемах і безпосередньо в ґрунті не забезпечують повною мірою виконання цих важливих функцій. Порушення ґрунтового середовища внаслідок воєнних дій змінюють умови розвитку фітоценозу [18]. Території, що постраждали від збройної агресії, потребують рекультивації, меліорації та ремедіації ґрунтів.

Науковці зазначають, що серед найдієвіших заходів меліорації ґрунтів в агроценозах є відновлення реакції середовища за допомогою вапнування чи гіпсування; використання мінеральних та органічних добрив для забезпечення генетично обґрунтованого поживного режиму й частки органічної речовини в ґрунті; корегування мікробного ценозу шляхом внесення відповідних біопрепаратів [7; 8; 17]. Це буде сприяти розвитку кореневої системи та формуванню фотосинтетичного апарату рослин, поліпшенню фітосанітарного стану ґрунту. Успішне функціонування біотичної складової в агроекосистемі буде поштовхом до відновлення верхнього шару педосфери, відповідно умов навколишнього природного середовища.

Отже, аналіз низки наукових джерел свідчить, що для відновлення функцій агроекосистем, порушених унаслідок воєнних дій, насамперед необхідно забезпечити відтворення природних агрохімічних ха-

рактеристик ґрунту, його біологічних властивостей та екотоксикологічного статусу, що може бути досягнуто застосуванням відповідного комплексу меліоративних заходів.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для розв'язання поставлених завдань було проведено вегетаційні дослідження на базі ТОВ «Інститут прикладної біотехнології» (ТОВ «ІПБ»). Ґрунти для експерименту було відібрано на звільнених територіях Харківської обл., що постраждали від воєнних дій. Відбирання та доставку зразків ґрунтів із агроценозів у ТОВ «ІПБ» здійснено за співробітництва з науковцями ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського». Досліджували ґрунти з локації, де ґрунт був порушений вибухом боєприпасів і утворилась вирва. Проби брали з шару 0–20 см на трьох площадках: на краю вирви — «край вирви», на дні заглибини — «центр вирви» і ділянка на відстані близько 20 м від краю вирви — «контрольна ділянка».

У *табл. 1 і 2* представлено результати аналізу зразків ґрунту до початку експерименту.

На контрольній ділянці ґрунт мав високий уміст гумусу, дуже низьку забезпеченість гідролізним і низьку мінеральним нітрогеном, середню за фосфором і підвищену за калієм. Після вибуху відбулось зрушення генетичних горизонтів і найродючіший верхній шар змішався з нижніми горизонтами. Тому на краю вирви та в центрі кількість гумусу зменшилась на 2%, гідролізованого Нітрогену — на 20–30 мг/кг, мінерального — на 8–10 мг/кг ґрунту. Глибші горизонти ґрунту цього агроландшафту були збагаченими на рухомі сполуки Фосфору і Калію, тому кількість рухомих фосфатів на поверхні не знизилась, а в центрі вирви навіть підвищилась на 10 мг/кг. Уміст Калію на порушених ділянках зріс більше ніж удвічі, порівняно з ґрунтом агроценозу, а також відмічено чітку тенденцію до зростання кількості рухомих форм важких металів, які визначали в досліді.

Таблиця 1. Стан агрохімічних показників родючості ґрунту на ділянках, визначених для дослідження

Місце відбору проби ґрунту	рН _{сол.}	Гумус, %	Вміст					
			Нітрогену				рухомих сполук	
			гідролізованого	нітратного	амонійного	мінерального	Фосфору	Калію
			мг/кг ґрунту					
«Край вирви»	7,4	2,73	53,9	9,8	3,8	13,6	26,0	537,0
«Центр вирви»	7,4	2,42	47,6	8,3	2,7	11,0	35,0	598,0
«Контрольна ділянка»	7,4	4,47	77,0	18,2	3,1	21,3	25,0	250,0

Таблиця 2. Вміст важких металів та мікроелементів у ґрунтах дослідних ділянок

Місце відбору проби ґрунту	Важкі метали та мікроелементи						
	Cu	Zn	Cd	Ni	Cd	Mn	Fe
	ацетатно-амонійна витяжка, мг на кг ґрунту						
«Край вирви»	0,42	1,0	3,3	2,7	0,27	11,6	2,9
«Центр вирви»	0,45	1,0	3,5	2,4	0,32	12,2	3,4
«Контрольна ділянка»	0,14	0,9	2,2	1,0	0,11	10,3	1,1
ГДК	3	23	6	4	0,7	140	—

Зважаючи на зміну агрохімічний стану та очевидне зростання важких металів у порушеному ґрунті, було запропоновано варіанти для меліорації ґрунтів та поступового відновлення їхнього потенціалу родючості (табл. 3). У досліді використано солому пшениці озимої еквівалентно кількості 2 т/га, як мінеральне добриво — сіль $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ у нормі внесення 275 кг/га, що відповідало P_2O_5 близько 150 кг/га і N — 60 кг/га, біологічний препарат мікробного походження Екостерн detox — 1,5 л/га.

Стратегія підбору меліорантів передбачала позитивний вплив соломи на підвищення в ґрунті гумусу та відповідне розширення ґрунтового вбирного комплексу, що зменшить рухомість важких металів. Азотно-фосфорне добриво призначено сприяти відновленню втраченого Нітрогену і підвищенню вмісту фосфатів, здатних зв'язувати важкі метали у нерозчинні сполуки, сприяти розвитку кореневої системи і фотосинтетичного апарату рослин. Біопрепарат Екостерн detox збагачує ґрунт агрономічно-корисною мікробіотою, що

поліпшує фітосанітарний стан ґрунту, пришвидшує руйнування токсинів органічної природи та ефективне перетворення рослинних решток.

Ґрунт із меліорантами компостували впродовж 90 діб у лабораторних умовах за температури 20–22°C та повної польової вологості. Як тестову культуру використано кукурудзу (гібрид ДКС-3711). Рослини вилучили з ґрунту на 14 стадії за ВВСН.

У ґрунті після завершення експерименту визначали агрохімічні показники, вміст важких металів, зміни у структурі мікробіому і спрямованість мікробіологічних процесів. Рослинний матеріал аналізували за основними біометричними показниками та оцінювали активність хлоропластів, визначаючи інтенсивність флуоресценції хлорофілу за використання приладу «Флоратест». За результатами вимірів було побудовано криві Каутського та розраховано низку показників, зміст яких є таким:

F_0 — фоновая флуоресценція — залежить від втрат енергії збудження під час міграції

пигментною матрицею, а також від вмісту молекул хлорофілу, які не мають функціонального зв'язку з реакційними центрами;

F_{\max} — характеризує *найвищий рівень флуоресценції хлорофілу*, що рееструється у вигляді максимуму на індукційній кривій (крива Каутського);

F_{st} — *стаціонарний рівень флуоресценції* (рівень — steady-state), який характеризується динамічною рівновагою між процесами, які зумовлюють збільшення флуоресценції та процесами, які призводять до її зменшення;

F_v — *варіабельна флуоресценція* ($F_{\max} - F_0$). Параметр оцінювання індукції флуоресценції хлорофілоносних тканин;

F_v/F_{\max} — відображає *потенційну квантову ефективність ФС2*, використовують як індикатор продуктивності фотосинтезу. Оптимальним для більшості видів рослин, за умов насичуючої інтенсивності збуджуючого світла, є значення, що не перевищує 0,83;

$(F_{\max} - F_{\text{st}})F_{\text{st}}$ — за параметром оцінюють *ефективність циклу Кальвіна*;

F_{st}/F_0 — *показник ефективності перетворення поглиненої енергії світла* рослиною в хімічну енергію за допомогою фотосинтезу.

Усі хіміко-аналітичні дослідження проведено за методиками, що відповідають нормативній базі України: рН — за ДСТУ ISO10390:1994, вміст гумусу — ДСТУ 4289:2004, гідролізованого азоту — ДСТУ 7863:2015, мінерального азоту — ДСТУ 4229-1:2007, рухомих сполук фосфору і калію (за Мачигінім) — ДСТУ 4114:2002. Уміст у ґрунті рухомих форм важких металів та мікроелементів визначали у співпраці з ННЦ «Із НААН» за ДСТУ 4770.6:2007, ДСТУ 4770.2:2007, ДСТУ 4770.7:2007, ДСТУ 4770.8:2007, ДСТУ 4770.3:2007, ДСТУ 4770.9:2007 у буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектроскопометрії.

Визначення чисельності мікроорганізмів у ґрунті проводили загальноприйнятими методами в ґрунтовій мікробіології.

Спрямованість мікробіологічних процесів у ґрунті характеризували за відповідними коефіцієнтами: мінералізації ($K_{\text{м-і}}$), оліготрофності ($K_{\text{ол}}$), педотрофності ($K_{\text{п}}$) і трансформації органічної речовини ($K_{\text{тор}}$) [19].

Статистичну обробку отриманих експериментальних даних здійснено згідно з В.О. Єщенко [20].

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Застосування меліоративних заходів спрямовано на поліпшення стану ґрунту. Тому на першому етапі наших досліджень визначали зміни агрохімічних властивостей ґрунту за застосування біопрепарату Екостерн detox як окремо, так і в поєднанні з органічними і мінеральними добривами. Встановлено, що застосування лише біопрепарату Екостерн detox на ґрунтах із різних ділянок не поліпшило забезпеченість рослин мінеральним азотом, а вміст рухомих сполук Фосфору і Калію змінювався в незначних межах, порівняно з контролем (див. *табл. 3*).

Натомість, відмічено чітку тенденцію до зростання вмісту гумусу, а в ґрунті «центр вирви» і «контрольна ділянка» — підвищення гідролізованого азоту. Накопичення азоту в амідній формі (гідролізований азот) підтверджує позитивні зміни у мікробному ценозі, що сприяють ефективній трансформації відмерлих органічних решток, зростанню вмісту лабільних гумусових речовин в ґрунті.

Це підтверджено результатами мікробіологічних досліджень. Адже, згідно з одержаних результатів, у варіантах із внесенням Екостерн detox, зросла біогенність, ґрунту знизилась напруженість мінералізаційних процесів ($K_{\text{м-і}}$), оптимізувались процеси перетворення гумусових речовин ($K_{\text{п}}$), підвищилась трансформація органічних речовин ($K_{\text{тор}}$) порівняно з контролем (*табл. 4*).

За посилення інтенсивності меліоративних заходів шляхом внесення до ґрунту азотно-фосфорного добрива сумісно з Екостерн detox поживний режим ґрунту

Таблиця 3. Агрохімічні властивості ґрунтів за використання чинників меліорації

Місце відбору проби ґрунту	Варіант досліджу	Гумус, %	Гідролізований азот	Мінеральний азот	Рухомий Фосфор	Рухомий Калій
			мг/кг ґрунту			
«Край вирви»	Контроль	2,75	56,0	7,5	28,0	493,0
	Екостерн detox	2,78	53,9	6,3	25,0	508,0
	Екостерн detox + $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	2,90	52,5	12,1	69,0	478,0
	Екостерн detox + $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ + солома	2,82	62,3	10,5	82,0	513,0
«Центр вирви»	Контроль	2,44	46,9	8,7	38,0	576,0
	Екостерн detox	2,56	53,2	7,4	38,0	568,0
	Екостерн detox + $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	2,54	51,8	32,9	80,8	556,0
	Екостерн detox + $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ + солома	2,53	53,2	16,5	98,0	513,0
«Контрольна ділянка»	Контроль	4,50	75,6	10,9	25,0	236,0
	Екостерн detox	4,51	77,0	10,3	28,0	234,0
	Екостерн detox + $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	4,52	72,8	36,2	33,0	232,0
	Екостерн detox + $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ + солома	4,57	73,5	17,7	46,5	234,0
НІР ₀₅		0,83	9,8	8,9	23,4	131,0

різко поліпшився. Кількість мінерального азоту збільшилась двічі — у чотири рази, рухомого Фосфору — до 33,0–80,8 мг/кг за 25–38 мг/кг ґрунту у контролі.

Забезпеченість рухомими сполуками Калію мала тенденцію до зниження, що є наслідком іммобілізації цього макроелемента біотичною компонентою ґрунту, активність якої підвищилась за збагачення живлення азотно-фосфорними сполуками. В цих трьох варіантах досліджу також простежується тенденція підвищення вмісту гумусу, але кількість гідролітичних форм азоту зростала лише у варіанті ґрунту «центр вирви». Отримані результати узгоджуються з спрямуванням мікробіологічних процесів, які характеризуються зміною коефіцієнтів мінералізації – іммобілізації, оліготрофності, педотрофності, трансформації органічної речовини. За даними *табл. 4* сумісне

застосування мінерального добрива і препарату Екостерн detox дещо поліпшувало стан мікробного ценозу та ефективність трансформації органічних речовин у ґрунтах, відібраних із трьох експериментальних ділянок, порівняно з контролем. Втім, доповнення біопрепарату внесенням мінеральних нутрієнтів значно посилює напруженість мінералізаційних процесів (K_{M-i}) на порушених ґрунтах, порівняно з варіантами, де внесено лише Екостерн detox. Закономірно, що і ефективність трансформації органічних речовин у цих варіантах знизилась, що підтверджується зменшенням значень K_{top} із 50,4 і 26,3 за внесення Екостерн detox до 21,5 і 17,1 (відповідно) за доповнення біологічного компонента мінеральним удобренням.

За гіпотезою нашого експерименту найдоцільнішим під час відновлення родючості

Таблиця 4. Спрямованість мікробіологічних процесів у ґрунтах, порушених воєнними діями, за використання чинників меліорації

Місце відбору проби ґрунту	Варіант досліджу	Біогенність ґрунту	Коефіцієнти			
			мінералізації – іммобілізації (K_{m-i})	оліготрофності (K_{ol})	педотрофності (K_p)	трансформації органічної речовини (K_{top})
«Край вирви»	Контроль	142,1	1,77	3,37	2,57	17,5
	Екостерн detox	164,2	0,74	1,94	1,77	50,4
	Екостерн detox + $(NH_4)_2HPO_4$	143,8	1,28	2,72	2,75	21,5
	Екостерн detox + $(NH_4)_2HPO_4$ + солома	149,0	0,75	1,77	1,70	44,2
«Центр вирви»	Контроль	114,1	2,36	2,70	2,33	12,0
	Екостерн detox	123,7	1,07	2,86	1,26	26,3
	Екостерн detox + $(NH_4)_2HPO_4$	122,1	1,80	3,44	1,90	17,1
	Екостерн detox + $(NH_4)_2HPO_4$ + солома	144,8	1,20	2,60	1,45	28,6
«Контрольна ділянка»	Контроль	86,5	0,94	1,48	1,21	25,9
	Екостерн detox	112,6	0,94	1,08	1,15	35,5
	Екостерн detox + $(NH_4)_2HPO_4$	94,7	0,94	1,50	1,22	29,2
	Екостерн detox + $(NH_4)_2HPO_4$ + солома	106,4	0,95	1,14	1,23	30,4

ґрунтів, що постраждали від вибухів, є застосування комплексного меліоративного заходу, що передбачає внесення органічних і мінеральних добрив, а також біологічних препаратів. У варіантах із сумісним внесенням соломи, азотно-фосфорного добрива і Екостерн detox спостерігали підвищення рівня забезпеченості ґрунту мінеральним азотом, рухомими сполуками Фосфору порівняно з контролем, а у ґрунті з ділянки «край вирви» – навіть рухомими сполуками Калію. Втім, темпи накопичення азоту за додавання соломи до мінеральних нутрієнтів і біопрепарату знизались, оскільки, очевидно, частина мінерального азоту була іммобілізована мікробіотою, яка різко підвищила свою активність за достатньої кількості джерела Карбону –

соломи. Непрямим доказом такої активності є вищий, ніж у інших варіантах рівень вмісту рухомих сполук Фосфору. Адже продукти життєдіяльності більшості мікроорганізмів попереджують процеси ретроградації Фосфору і вміст доступних сполук зростає. Варіанти із застосуванням усього комплексу меліоративних засобів відзначались тенденцією до накопичення гумусу, а в ґрунтах із ділянок «край вирви» і «центр вирви» відмічено зростання гідролізного азоту. Про збалансованість процесів деструкції і синтезу органічних речовин свідчить підвищення біогенності ґрунту та оптимізація коефіцієнтів мінералізації – іммобілізації, оліготрофності, педотрофності, трансформації органічної речовини не лише відносно до контролю,

а й до варіантів із унесенням мінеральних нутрієнтів без соломи.

Після завершення експерименту було визначено кількість важких металів та мікроелементів у ґрунті (табл. 5).

Встановлено, що вміст у ґрунті Купруму, Цинку, Плюмбуму, Ніколу, Кадмію, Магнуму як ділянки агроценозу непорушеної вибухом, так і тих ділянок, що постраждали від вибуху, не перевищував гранично допустимої концентрації цих металів, передбаченої нормативними документами України. Однак у зразках ґрунту з ділянок «край вирви» і «центр вирви» виявлено перевищення Купруму в 2,1–2,7 рази, Цинку – в 1,7–2,7, Плюмбуму – в 1,7–2,8, Ніколу – в 2,4–3,6, Кадмію – в 1,5–2,3, Магнуму – 1,5–2,0 рази порівняно з контролем. Внесення біологічного препарату Екостерн detox, мінерального добрива і соломи не мало системного впливу на змі-

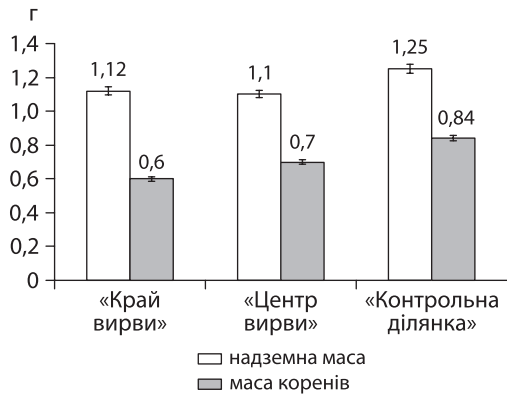
ну кількості рухомих форм важких металів у ґрунтах.

Інтегральним показником якості ґрунту є стан рослин, вирощених на ньому. В наших дослідженнях для тестування ґрунтового середовища використано кукурудзу. Потребу у залученні меліоративних заходів на ґрунтах, порушених вибухом було підтверджено тестовою культурою. Рослини, які виростили на ґрунтах із ділянок «край вирви» і «центр вирви» без застосування чинників поліпшення ґрунту (ґрунти контролю у досліді), мали гірший на 10–12% розвиток фотосинтетичного апарату та на 17–29% коренів, порівняно з непорушеною ділянкою (рис.).

Водночас встановлено, що як окреме, так і сумісне застосування меліорантів для поліпшення ґрунту, відібраного на ділянці «край вирви», є ефективним вже на перших етапах росту і розвитку рослин куку-

Таблиця 5. Вміст важких металів та мікроелементів у ґрунтах, порушених воєнними діями, за використання чинників меліорації

Варіанти дослідів	Рухомі форми, мг/кг						
	Cu	Zn	Pb	Ni	Cd	Mn	Fe
<i>«Краї вирви»</i>							
Контроль	0,39	0,5	3,8	1,3	0,24	11,0	3,5
Екостерн detox	0,37	0,8	3,0	1,4	0,18	14,2	3,9
Екостерн detox + (NH ₄) ₂ HPO ₄	0,42	0,8	3,4	1,2	0,21	11,5	3,3
Екостерн detox + (NH ₄) ₂ HPO ₄ + солома	0,37	0,6	3,1	1,2	0,26	11,0	3,6
<i>«Центр вирви»</i>							
Контроль	0,44	0,6	4,4	1,5	0,25	15,8	4,5
Екостерн detox	0,47	0,6	4,3	1,6	0,24	16,0	4,3
Екостерн detox + (NH ₄) ₂ HPO ₄	0,43	0,5	4,4	1,6	0,26	13,6	3,6
Екостерн detox + (NH ₄) ₂ HPO ₄ + солома	0,48	0,5	5,0	1,8	0,27	17,7	3,6
<i>«Непорушений ґрунт»</i>							
Контроль	0,18	0,3	1,8	0,5	0,12	8,9	1,3
Екостерн detox	0,17	0,4	1,6	0,4	0,11	8,1	1,7
Екостерн detox + (NH ₄) ₂ HPO ₄	0,15	0,3	1,8	0,5	0,11	8,8	1,4
Екостерн detox + (NH ₄) ₂ HPO ₄ + солома	0,19	0,4	1,7	0,6	0,11	8,8	1,7
ГДК	3,0	23,0	6,0	4,0	0,7	140,0	–



Біомаса рослин кукурудзи, отримана на ґрунтах, порушених воєнними діями, без застосування меліорантів, г/росл.

рудзи (табл. 6). Рослини на стадії ВВСН 13–14 переважали контроль за висотою на 5–22% та ВВСН 14 – на 10–18%, а за накопиченою надземною масою – на 7–24%. Найвищий приріст у розвитку фотосинтетичного апарату та кореневої системи було досягнуто у варіанті із застосуванням усього комплексу меліорантів. Отримані результати узгоджуються з результатами аналізу ґрунту. Адже саме за сумісного внесення Екостерн detox, мінеральних добрив та соломи відбулось істотне поліпшення як агрохімічних, так і біологічних показників ґрунту, порівняно з контролем та іншими варіантами дослідів.

Рослини, вирощені на ґрунті, відібраному в центрі вирви, позитивно реагували на застосування меліоративних заходів. Вже на стадії розвитку ВВСН 12 приріст

Таблиця 6. Біометричні показники рослин кукурудзи за використання чинників меліорації на ґрунтах, порушених воєнними діями

Місце відбору проби ґрунту	Варіант дослідів	Висота рослин, см			Маса рослини, г, ВВСН 14	
		ВВСН 12	ВВСН 13–14	ВВСН 14	надземна	коренів
«Край вирви»	1 – Контроль	13,3	18,7	20,5	1,12	0,6
	2 – Екостерн detox	12,8	20,5	22,6	1,20	0,49
	3 – Екостерн detox + $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	12,9	22,0	24,2	1,26	0,66
	4 – Екостерн detox + $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ + солома	13,6	22,9	24,2	1,39	0,68
«Центр вирви»	5 – Контроль	10,7	17,6	19,2	1,10	0,70
	6 – Екостерн detox	12,0	18,8	20,5	1,20	0,73
	7 – Екостерн detox + $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	11,4	19,7	21,3	1,27	0,61
	8 – Екостерн detox + $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ + солома	12,5	20,1	22,0	1,61	0,80
«Контрольна ділянка»	9 – Контроль	12,2	19,1	21,6	1,25	0,84
	10 – Екостерн detox	12,2	18,7	20,3	1,18	0,72
	11 – Екостерн detox + $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	11,3	19,5	22,0	1,31	0,67
	12 – Екостерн detox + $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ + солома	11,2	19,7	21,9	1,16	0,70
НІР ₀₅		0,52	0,73	0,72	0,06	0,08

висоти до контролю становив 6–13%, на стадії ВВСН 13–14 – 7–12% і ВВСН 14 – 14–17%, а надземна маса зросла на 9–46%. У варіанті з унесенням Екостерн detox виявлено краще стимулювання ростових процесів (13–17% приросту), але найвищу потужність розвитку фотосинтетичного апарату (46% приросту) та кореневої системи (14% приросту) відмічено у варіанті із застосуванням усіх засобів меліорації. З огляду на те, що за внесення мінеральних нутрієнтів сумісно з біологічним препаратом отримано вдвічі кращу забезпеченість мінеральним азотом за схожих рівнів фосфорно-калійного живлення, оптимальніші умови для розвитку рослин ку-

курудзи було виявлено саме за доповнення комплексу меліорантів соломою. Отже, внесення в ґрунт із центру вирви повного комплексу меліорантів, запропонованих у досліді, сприяло екологічно доцільнішій взаємодії між біотичною і абіотичною компонентами ґрунту, що підтверджено результатами мікробіологічного аналізу та розвитком рослин.

Важливо відмітити, що за вирощування рослин кукурудзи на ґрунті, не порушеному вибухами, ефективність застосованих чинників меліорації була значно нижчою, ніж на ґрунтах із ділянок «край вирви» і «центр вирви». Тенденцію до стимулювання росту рослин виявлено на стадії ВВСН

Таблиця 7. Інтенсивність флуоресценції хлорофілу кукурудзи за використання чинників меліорації ґрунту, порушеного воєнними діями

Варіанти дослідів	Параметри інтенсивності флуоресценції хлорофілу						
	F_0	F_{\max}	F_{st}	F_v	F_v/F_{\max}	$(\frac{F_{\max}}{F_{st}} - F_{st})$	F_{st}/F_0
	умовні одиниці (у.о.)						
<i>«Край вирви»</i>							
1 – Контроль	123	1307	597	1184	0,91	1,19	4,87
2 – Екостерн detox	149	1573	597	1424	0,91	1,63	4,00
3 – Екостерн detox + $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	128	1429	624	1301	0,91	1,29	4,88
4 – Екостерн detox + $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ + солома	144	1461	496	1317	0,9	1,95	3,44
<i>«Центр вирви»</i>							
1 – Контроль	128	1547	619	1419	0,92	1,5	4,83
2 – Екостерн detox	128	1440	581	1312	0,91	1,48	4,45
3 – Екостерн detox + $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	149	1547	517	1397	0,9	1,99	3,46
4 – Екостерн detox + $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ + солома	144	1397	528	1253	0,9	1,65	3,67
<i>«Непорушений ґрунт»</i>							
1 – Контроль	133	1387	581	1253	0,9	1,39	4,36
2 – Екостерн detox	128	1547	608	1419	0,92	1,54	4,75
3 – Екостерн detox + $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	144	1573	517	1429	0,91	2,04	3,59
4 – Екостерн detox + $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ + солома	128	1403	571	1275	0,91	1,46	4,46

13–14 і ВВСН 14 у варіантах із внесенням мінеральних нутрієнтів і комбінування мінеральних нутрієнтів із соломою на фоні застосування біологічного препарату. Приріст до контролю становив 2,2%; 3,2 та 1,6; 1,3%, відповідно. Розвиток фотосинтетичного апарату рослин переважав контроль лише у варіанті поєднання Екостерн detox із мінеральними нутрієнтами, приріст сягав 4,6%. Серед причин, що нівелювали дію чинників меліорації на розвиток фітоценозу варто вказати на загалом меншу за безпеченість ґрунту з «контрольної ділянки» рухомими сполуками Фосфору, Калію, мікроелементами і мали нижчу біогенність ґрунту, порівняно з порушеним ґрунтом.

Активність фотосинтетичної системи у рослин кукурудзи визначали за параметрами інтенсивності флуоресценції хлорофілу (ІФХ) на стадії ВВСН 12–13, тобто на самому початку розвитку рослин. Результати вимірів – криві Каутського, покладено в основу розрахунку параметрів ІФК, наведених у *табл. 7*.

Установлено, що рослини, культивовані без внесення меліорантів на ґрунтах «край вирви» і «центр вирви» мали вищий рівень стресу, порівняно з «контрольною ділянкою», що визначено тенденцією до зростання показника F_0 і свідчить про потребу у проведенні меліоративних заходів. Утім, на цьому етапі розвитку застосування біологічних і мінеральних добрив додатково підвищувало стрес у рослин на ґрунті «край вирви». На ґрунті «центр вирви» рослини не відчували стресу за внесення біопрепарату Екостерн detox, а на ґрунті з «контрольної ділянки» у рослин знижувався стрес за внесення лише препарату Екостерн detox і за використання всього комплексу меліорантів.

Збільшення значень показників F_{\max} і F_v за застосування чинників меліорації у варіантах «край вирви» і «контрольної ділянки» показує підвищення активності хлорофілу в листках кукурудзи.

За параметром $(F_{\max} - F_{st})/F_{st}$ оцінюють ефективність циклу Кальвіна, тобто про-

дуктивне використання поглинутих квантів енергії. Застосування досліджуваних чинників меліорації на всіх ґрунтах, незалежно від рівня їх порушеності, сприяло підвищенню ефективності циклу Кальвіна, порівняно з варіантами без внесення добрив і біопрепарату Екостерн detox. Однак параметр (F_{st}/F_0) , що є показником того, наскільки ефективно рослина перетворює поглинену енергію світла в хімічну енергію за допомогою фотосинтезу, у деяких випадках свідчить про невикористані резерви процесу.

Показник F_v/F_{\max} , який залежить від ефективності фотохімічних реакцій ФС2 і відображає потенційну квантову ефективність ФС2, знаходився в межах 0,9–0,92 у.о., що є близьким до оптимуму (0,8–0,83 у.о.) у всіх варіантах досліджу.

ВИСНОВКИ

Агрохімічні і екотоксикологічні дослідження ґрунту, порушеного внаслідок вибуху боеприпасів на території Харківської обл., виявили істотні зміни його показників порівняно з контрольною ділянкою агроценозу: зменшення вмісту гумусу на 39–46%, гідролізного азоту – на 30–38%, мінерального азоту – 36–48%, та збільшення вмісту рухомих сполук Калію на 115–139%, Купруму – в 3 рази, Плюмбуму – в 1,5 рази, Ніколу – в 2,7 рази, Кадмію – в 2,5 рази.

Застосування як меліоранта азотно-фосфорного мінерального добрива, соломи як органічного добрива та біологічного препарату Екостерн detox сприяло поліпшенню агрохімічних властивостей ґрунту та оптимізувало спрямованість мікробіологічних процесів, але не мало системного впливу на зміну вмісту рухомих форм важких металів.

Позитивну дію меліорації на ґрунтове середовище підтверджено біотестом. За комбінування досліджуваних чинників меліорації висота рослин кукурудзи зростала на 14,3–18,1%, надземна маса рослин – на 24–46,2, маса коренів – на 13,3–14,3%.

ЛІТЕРАТУРА

- Aqeel M., Ran J., Hu W. et al. Plant-soil-microbe interactions in maintaining ecosystem stability and coordinated turnover under changing environmental conditions. *Chemosphere*. 2023. Vol. 318. P.137924. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.137924>.
- Fedenko V.S. Transformation of vegetation under the conditions of the impact of military actions on the natural environment in Ukraine: A review. *Ecology and Noospherology*. 2023. Vol. 34 (2). P. 101–107. DOI: <https://doi.org/10.15421/032315>.
- Rawtani D., Gupta G., Khatri N. et al. Environmental damages due to war in Ukraine: A perspective. *Sci Total Environ*. 2022. Vol. 850. P. 157932. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157932>.
- Costa J.P., Silva A.L., Barcelo D. et al. Threats to sustainability in face of post-pandemic scenarios and the war in Ukraine. *Sci Total Environ*. 2023. Vol. 892. P. 164509. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164509>.
- Балюк С.А., Кучер А.В., Солоха М.О., Соловей В.Б. Оцінювання впливу збройної агресії РФ на ґрунтовий покрив України. *Український географічний журнал*. 2024. № 1. С. 7–18. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2024.01.007>.
- Кучер А. Методика оцінювання збитків, завданих збройною агресією земельному фонду та ґрунтам: проблеми та напрями вдосконалення. *Journal of Innovations and Sustainability*. 2022. Вип. 6. № 2. Р. 10. DOI: <https://doi.org/10.51599/is.2022.06.02.10>.
- Балюк С.А., Кучер А.В., Солоха М.О. та ін. Вплив збройної агресії та воєнних дій на сучасний стан ґрунтового покриву, оцінка шкоди та збитків, заходи з відновлення: наукова доповідь. Харків: ФОП Бровін О.В., 2022. 102 с.
- Захист і відновлення екологічної рівноваги та забезпечення самовідновлення екосистем: кол. моногр. / за ред. Т.О. Чайки. Полтава: ПП Астроя, 2023. 308 с.
- Сплодитель А., Голубцов О., Чумаченко С., Сорокіна Л. Вплив війни росії проти України на стан українських ґрунтів. Результати аналізу. Київ: ГО Центр екологічних ініціатив «Екодія», 2023. 32 с.
- Bonchkovskiy O.S., Ostapenko P.O., Shvaiko V.M. and Bonchkovskiy A.S. Remote sensing as a key tool for assessing war-induced damage to soil cover in Ukraine (the case study of Kyivska territorial hromada). *Journal of Geology Geography and Geoecology*. 2023. Vol. 32(3). P. 474–487. DOI: <https://doi.org/10.15421/112342>.
- Broomandi P., Guney M., Kim J.R. and Karaca F. Soil Contamination in Areas Impacted by Military Activities: A Critical Review. *Sustainability*. 2020. Vol. 12(21). P. 9002. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12219002>.
- Pichtel J. Distribution and Fate of Military Explosives and Propellants in Soil: A Review. *Appl. Environ. Soil Sci*. 2016. Vol. 2012. 617236.
- Fayiga A.O. Remediation of inorganic and organic contaminants in military ranges. *Environ. Chem*. 2019. Vol. 16. P. 81–91.
- Solokha M., Pereira P., Symochko L. et al. Russian-Ukrainian war impacts on the environment. Evidences from the field and remote sensing. *Science of the Total Environment*. 2023. Vol. 902. P. 166122. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166122>.
- Солоха М.О., Смірнова К.Б., Винокурова Н.В., Семенцова К.О. Варіабельність геохімічного та гранулометричного складу ґрунтів Лісостепу України під впливом бойових дій. *Аграрні інновації*. 2022. Вип. 14. С. 109–116.
- Дмитренко О.В., Дем'янюк О.С., Погоріла Л.П. та ін. Екотоксикологічна оцінка дерново-підзолистого ґрунту за впливу бойових дій. *Агроєкологічний журнал*. 2023. № 4. С. 89–96. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2023.293758>.
- Шерстобоева О.В., Дем'янюк О.С., Чабанюк Я.В. Біодіагностика і біобезпека ґрунтів агроєкосистем. *Агроєкологічний журнал*. 2017. № 2. С. 142–148. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2017.220170>.
- Побережна Л.Я., Станецький А.І. Оцінка потенційних екологічних ризиків внаслідок проведення антитерористичної операції. *Техногенно-екологічна безпека*. 2017. Вип. 2. С. 45–52.
- Волкогон В.В., Надкернична О.В., Токмакова Л.М. та ін. Експериментальна ґрунтова мікробіологія: моногр. / за ред. В.В. Волкогона. Київ: Аграрна наука, 2010. 464 с.
- Основи наукових досліджень в агрономії / за ред. В.О. Єщенко. Київ: Дія, 2005. 286 с.

REFERENCES

- Aqeel, M., Ran, J., Hu, W. et al. (2023). Plant-soil-microbe interactions in maintaining ecosystem stability and coordinated turnover under changing environmental conditions. *Chemosphere*, 318, 137924. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.137924> [in English].
- Fedenko, V.S. (2023). Transformation of vegetation under the conditions of the impact of military actions on the natural environment in Ukraine: A review. *Ecology and Noospherology*, 34 (2), 101–107. DOI: <https://doi.org/10.15421/032315> [in English].
- Rawtani, D., Gupta, G., Khatri, N. et al. (2022). Environmental damages due to war in Ukraine: A perspective. *Sci Total Environ.*, 850, 157932. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157932> [in English].
- Costa, J.P., Silva, A.L., Barcelo, D. et al. (2023). Threats to sustainability in face of post-pandemic scenarios and the war in Ukraine. *Sci Total Environ.*, 892, 164509. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164509> [in English].
- Baliuk, S.A., Kucher, A.V., Solokha, M.O. & Solo-

- vei, V.B. (2024). Otsiniuvannia vplyvu zbroinoi ahresii rf na gruntovyi pokryv Ukrainy [Assessment of the impact of armed aggression of the RF on the soil cover of Ukraine]. *Ukrainskyi heohrafichnyi zhurnal — Ukrainian Geographical Journal*, 1, 7–18. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2024.01.007> [in Ukrainian].
6. Kucher, A. (2022). Metodyka otsiniuvannia zbytkiv, zavdanykh zbroinoiu ahresieiu zemelnomu fondu ta gruntam: problemy ta napriamy vdoskonalennia [Methodology for assessing damages and losses caused by the armed aggression to the land fund and soils: problems and directions of improvement]. *Journal of Innovations and Sustainability*, 6 (2), 10. DOI: <https://doi.org/10.51599/is.2022.06.02.10> [in Ukrainian].
 7. Baliuk, S.A., Kucher, A.V., Solokha, M.O. et al. (2022). Vplyv zbroinoi ahresii ta voiennykh dii na suchasnyi stan gruntovoho pokryvu, otsinka shkody ta zbytkiv, zakhody z vidnovlennia: naukova dopovid [Impact of armed aggression and hostilities on the current state of the soil cover, assessment of damage and losses, restoration measures: scientific report]. Kharkiv: Brovin [in Ukrainian].
 8. Chaika, T.O. (Ed). (2023). *Zakhyst i vidnovlennia ekolohichnoi rovnovahy ta zabezpechennia samovidnovlennia ekosystem: kolektyvna monohrafiia [Protecting and restoring ecological balance and ensuring self-renewal of ecosystems: a collective monograph]*. Poltava: PP Astraia [in Ukrainian].
 9. Splodytel, A., Holubtsov, O., Chumachenko, S. & Sorokina, L. (2023). Vplyv viiny rosii proty Ukrainy na stan ukraïnskykh gruntiv [The impact of Russia's war against Ukraine on the state of Ukrainian soils]. Kyiv [in Ukrainian].
 10. Bonchkovskiy, O.S., Ostapenko, P.O., Shvaiko, V.M. & Bonchkovskiy, A.S. (2023). Remote sensing as a key tool for assessing war-induced damage to soil cover in Ukraine (the case study of Kyivska territorial hromada). *Journal of Geology Geography and Geoecology*, 32 (3), 474–487. DOI: <https://doi.org/10.15421/112342> [in English].
 11. Broomandi, P., Guney, M., Kim, J.R. & Karaca, F. (2020). Soil Contamination in Areas Impacted by Military Activities: A Critical Review. *Sustainability*, 12 (21), 9002. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12219002> [in English].
 12. Pichtel, J. (2016). Distribution and Fate of Military Explosives and Propellants in Soil: A Review. *Appl. Environ. Soil Sci*, 2012, 617236 [in English].
 13. Fayiga, A.O. (2019). Remediation of inorganic and organic contaminants in military ranges. *Environ. Chem*, 16, 81–91 [in English].
 14. Solokha, M., Pereira, P., Symochko, L. et al. (2023). Russian-Ukrainian war impacts on the environment. Evidences from the field and remote sensing. *Science of the Total Environment*, 902, 166122. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166122> [in English].
 15. Solokha, M.O., Smirnova, K.B., Vynokurova, N.V. & Sementsova, K.O. (2022). Variabelnist heokhimichnoho ta hranulometrychnoho skladu gruntiv liostepu Ukrainy pid vplyvom boiovykh dii [Variability of the geochemical and granulometric composition of the soils of the forest steppe of Ukraine under the influence of combat actions]. *Ahrarni innovatsii — Agrarian innovations*, 14, 109–116 [in Ukrainian].
 16. Dmytrenko, O., Demyanyuk, O., Pohorila, L. et al. (2023). Ekotoksikolohichna otsinka dernovo-pidzolystoho gruntu za vplyvu boyovykh diy [Ecotoxicological assessment of soddy-podzolic soil under the influence of hostilities]. *Ahroekolohichnyy zhurnal — Agroecological journal*, 4, 89–96. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2023.293758> [in Ukrainian].
 17. Sherstoboyeva, O.V., Demyanyuk, O.S. & Chabanyuk, Y.V. (2017). Biodiagnostyka i biobezpeka gruntiv ahroekosystem [Biodiagnosis and biosafety of soils of agroecosystems]. *Ahroekolohichnyy zhurnal — Agroecological journal*, 2, 142–148. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2017.220170> [in Ukrainian].
 18. Poberezhna, L. & Stanetsky, A. (2017). Otsinka potentsiinykh ekolohichnykh ryzykiv vnaslidok provedennia antyterrorystychnoi operatsii [Assessment of potential environmental risk from the antiterrorist operation]. *Tekhnohenko-ekolohichna bezpeka — Technogenic and ecological safety*, 2, 45–52 [in Ukrainian].
 19. Volkohon, V.V. (Ed.), Nadkernychna, O.V., Tokmakova, L.M. et al. (2010). *Eksperymentalna gruntova mikrobiolohiia [Experimental soil microbiology]*. Kyiv: Agrarian Science [in Ukrainian].
 20. Yeshchenko, V.O. (Ed). (2005). *Osnovy naukovykh doslidzhen v ahronomii [Basics of scientific research in agronomy]*. Kyiv: Diya [in Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції журналу 24.04.2024