

УДК 661:606
DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2025.4.1/28>

Мітіна Н.Б.

Український державний університет науки і технологій

Мініна Ю.О.

Український державний університет науки і технологій

Овчаренко С.В.

Український державний університет науки і технологій

ДІАГНОСТИКА СТАНУ ҐРУНТІВ, ЩО ЗАЗНАЛИ ВПЛИВУ БОЙОВИХ ДІЙ

У статті проаналізовано наукові праці останніх років де відзначено порушення ґрунтового профілю, зниження біологічної активності та мікробного різноманіття. Опрацювання літературних джерел свідчить, що воєнні дії мають комплексний негативний вплив на ґрунти: руйнування структури ґрунту, ущільнення орного шару, деградація гумусового горизонту та забруднення важкими металами і залишками вибухових речовин. В роботі авторами досліджено ґрунти з території бойових дій (північного степу Східної України м. Костянтинівка); вплив біологічного препарату (біогумусу), одержаного шляхом вермікультивування на відновлення родючості ґрунтів, що зазнали впливу бойових дій. Вивчений мікроскопічно тип дослідних зразків ґрунтів показав їх розвинену структуру за гранулометричним складом, що забезпечуватиме добру водоутримуючу здатність, помірну аерацію і стійкість до пересихання. Визначено підвищений радіаційний фон у зразках із зони бойових дій (БД-1, БД-2), що є локальним радіонуклідним навантаженням внаслідок воєнних дій, техногенних викидів. Вміст важких металів у зразках з бойових дій перевищує гранично допустиму концентрацію за свинцем у 3,75 рази БД-1, у 2,5 рази БД-2. У зразках БД-1, БД-2 зменшення електропровідності майже в 7,8 разів показує на зміну хімічного складу ґрунту внаслідок бойових дій. Визначено, що зразки з міста бойових дій мають зруйновану структуру, зниження мікробіологічної активності, втрату органічної речовини, включаючи гумус. Результати діагностики зразків ґрунтів БД-1, БД-2 вказують на локальний характер забруднення, що корелює з інтенсивністю військових дій. Досліджено біогумус, як відновлювальний біопрепарат для пошкоджених ґрунтів бойовими діями. Оптимальна концентрація біогумусу становила 10% за масою для стимуляції росту пагонів та кореневої системи тест-культури вівса. Результати дослідження показали, що біогумус, отриманий шляхом вермікультивування, є цінним органічним добривом, який не лише покращить агрохімічні властивості ґрунту, але й створюватиме сприятливі умови для розвитку корисної мікрофлори.

Ключові слова: ґрунт, родючість ґрунту, біогумус, біопрепарат, вермікультивування, гумус, важкі метали, бойові дії.

Постановка проблеми. Повномасштабна збройна агресія росії проти України спричинила не лише масштабні людські втрати та руйнування інфраструктури, але й суттєві екологічні наслідки. Одним із найбільш вразливих компонентів довкілля є ґрунтовий покрив, що зазнає фізичної, хімічної та біологічної деградації внаслідок обстрілів, вибухів, пересування важкої техніки та забруднення боєприпасами. Зокрема, територія м. Костянтинівка Донецької області, що підпадає в зону активних бойових дій, є прикладом регіону, де традиційно переважають родючі чорноземні

ґрунти, придатні для ведення сільського господарства. Тому постає актуальна потреба в розробці методів діагностики стану ґрунтів, що зазнали впливу бойових дій. Особливого значення набуває вивчення гранулометричного складу, фізико-хімічних показників та ефективність біологічних методів реабілітації зазначених ґрунтів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Унаслідок збройних конфліктів ґрунти зазнають значного техногенного навантаження (забруднення важкими металами, паливно-мастильними матеріалами, залишками боєприпасів,

зміна структури ґрунтового профілю, деградація мікрофлори). В умовах воєнних дій актуальним стає питання розробки біотехнологічних підходів до ремедіації та відновлення родючості уражених територій. Так, авторами [1] вивчено вплив воєнних дій на стан ґрунтів, встановлено підвищення концентрації Pb, Zn, Cd у поверхневих горизонтах ґрунту на ділянках після обстрілів, зниження вмісту гумусу та деградація структури. У зоні вибухів рівень важких металів перевищував фоновий у 5 разів, активність мікроорганізмів нижча в 2–3 рази. Ефективність рослин гіперакумуляторів у вилученні Pb, Cd, Zn з ґрунту [2] показав, що *Brassica juncea* вибирає до 1,2 кг Pb/Га за сезон; *Helianthus annuus* до 2 кг Zn/Га; вивчено здатність вівса та гірчиці з вилучення важких металів [3]. Лабораторні дослідження показали ефективність фіторемедіаційних культур для очищення ґрунтів з Донеччини: овес акумулював до 28 мгZn/кг сухої маси, гірчиця до 19 мгPb/кг. Вивчення мікробіологічного аналізу ґрунтів [4] показало значне зменшення чисельності сапрофітної мікрофлори в 2,5–4 рази та ферментативної активності через забруднення важкими металами та вибухівкою. Проведено вивчення вирв із деградованим профілем та підвищенням вмістом токсикантів у ґрунтах після вибухів, пожеж і руху важкої техніки [5], зокрема у 60% ділянок ураження зафіксовано ущільнення ґрунту та втрата 30–50% біологічної активності. Дослідження науковцями [6] біопрепаратів з азотфіксувальними бактеріями сприяли частковому відновленню мікрофлори за 6 місяців, а саме кількість фосфатмобілізаторів збільшилась у 1,8–2,4 рази, стрептоміцетів у 10–12 разів. Для оцінки фітотоксичності автори [7] використовували овес і гірчицю: розвиток пагонів і коренів у забрудненому ґрунті була вдвічі меншою, а схожість насіння знижена на 40%. Наведено кейси застосування мікробіологічних препаратів на ділянках з бойовими ушкодженнями [8], відновлення структури ґрунту, підвищення вологості та покращення проростання культур відмічене через 3 місяці. Досліджено ефективність біогумусу у відновленні структури і родючості ґрунтів [9] в забруднених зонах. Вміст гумусу зріс на 0,5–1,2%, покращилась структура і водопроникність на 25–30%. Викладено [10], що компост і сапропель позитивно вплинули на фізико-хімічні параметри та врожайність вівса до 40%, відновлення мікрофлори від 30% до 70% залежно від препарату. Аналіз досліджень демонструють ефективність застосування біогумусу, мікробних

препаратів, органічних добрив у процесі екологічної реабілітації постраждалих ґрунтів. Але більшість відновлювальних технологій перебувають на етапі лабораторних випробувань, тому у даному дослідженні було обрано підхід, що поєднує діагностику та біотестування ґрунтів, що зазнали вплив бойових дій з використанням біопрепаратів одержаних шляхом вермікультування (біогумус, біогумат).

Постановка завдання. Метою статті є аналіз стану ґрунтів північного степу Східної України, що зазнали впливу бойових дій.

Виклад основного матеріалу. Об'єктом дослідження є зразки ґрунтів з міста бойових дій м. Костянтинівка Донецької області, ґрунт з м. Дніпро без впливу бойових дій; біопрепарат для відновлення родючості ґрунту (біогумус). Використовували у якості поліпшувача біогумус, одержаний вермікультуванням на основі модифікованого соняшникового лушпиння [11]. Для діагностики стану ґрунтових зразків проведено: мікроскопічний аналіз оптичним пристроєм Digital Microscope MM-2288-5X-BN при збільшенні у 100 разів, ціна поділки окулярної шкали становила 0,020 мм; зважування на торсійних вагах WT-500; кислотність, електропровідність та температуру визначали приладом Hanna HI991300, потужність експозиційної дози приладом MASTER-1, вміст важких металів атомно-абсорбційним спектрофотометром Thermo Scientific Solaar S4. Дослідження проводили у п'яти повтореннях, похибка $P \leq 0,5$.

Основним ґрунтоутворюючим типом м. Костянтинівки розташованого у межах північного степу Східної України є звичайний вилужений чорнозем, інколи середньо-суглинковий, із високим вмістом гумусу 4–6% у верхньому горизонті. Ґрунти формувалися на лісових породах за участі степової рослинності й мають потужний гумусовий профіль 60–100 см [12]. Відбір ґрунтових зразків для досліджень проводився з місця безпосереднього вибуху у верхніх горизонтах ґрунту, геолокація (рис. 1): БД-1 48.493578, 37.731980, БД-2 48.493498, 37.732063.

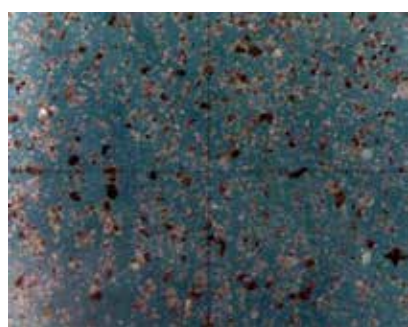
Для експериментів підготовлено зразки: БД-1, БД-2 (ґрунт, відібраний з ділянок, уражених бойовими діями), К контрольний зразок (ґрунт без військового впливу м. Дніпро), Б зразки з внесенням біогумусу. Структура та вміст органіки є критичними чинниками, що найсильніше страждають у наслідок бомбардувань [13]. Мікроскопічний аналіз структури та дисперсності дослідних зразків ґрунтів наведено на рисунку 2.



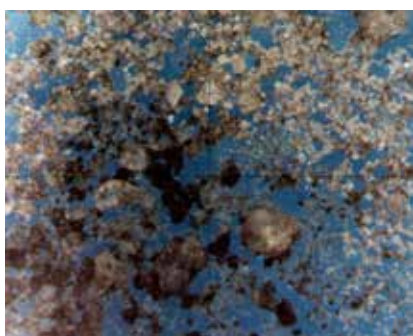
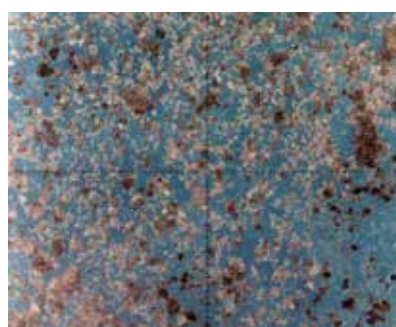
Рис. 1. Геолокація місця відбору зразків ґрунтів

Оцінка особливості структури та гранулометричний склад зразків вивчений за мікроскопічним аналізом зведено до таблиці 1.

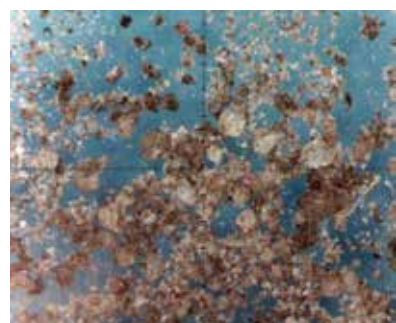
Мікроскопічний аналіз структури та дисперсності ґрунтових зразків (рис. 2) показує, що зразок ґрунту БД-1 здебільшого належить до середньосуглинкових і має у складі до 50% піску з частками 2–0,05 мм. Зразок БД-2 має щільнішу, агреговану структуру з більшою кількістю дрібних фракцій піску 0,05–0,005 мм, глини з частками менше 0,005 мм та ознаками гумусного збагачення. Зразок К має більш однорідну структуру, з рівномірно розподіленими агрегатами пилуватих часток мулу, які складають 30–40%. Частка піску у К менша в два рази, ніж у зразку БД-1, але має більше структурованих агрегатів, ніж зразок ґрунту БД-2. Вивчений тип зразків ґрунтів показує їх розвинену структуру за гранулометричним складом, що забезпечуватиме добру водоутри-



БД-1



БД-2



К

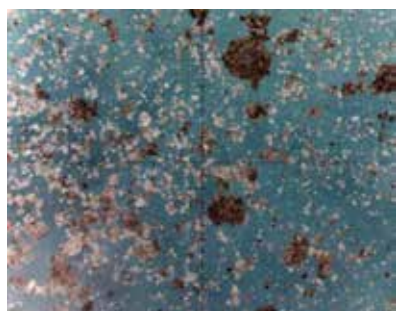


Рис. 2. Мікроскопічний аналіз структури та дисперсності дослідних зразків ґрунтів: БД-1, БД-2 – відібрані з ділянок після вибуху, К – контрольний зразок

Таблиця 1

Характеристика зразків ґрунту за гранулометричним складом

Показник	Оцінка за зображенням	Примітка
Зразок ДБ-1		
Гранулометричний склад	Переважає пісок, дрібніші частки пил та глина	Візуальна оцінка розмірів і розподілу частинок
Тип ґрунту	Супіщаний або легкосуглинковий	Визначено за співвідношенням частинок
Структура ґрунту	Зерниста, агрегована	Видно з наявності скупчень частинок різної величини
Кількість піску	45–50%	Темні, крупні включення
Зразок ДБ-2		
Гранулометричний склад	Значна частка пилуватих та глинистих частинок, частково пісок	Багато дрібних і середніх агрегатів; крупний пісок зустрічається рідше.
Тип ґрунту	Суглинковий або важко-суглинковий	Зменшення кількості піску, більше глинистих агрегатів
Структура ґрунту	Агрегована, грудкувата	Чітко помітні агрегації структури, які утворюються при збагаченні гумусом
Кількість піску	20–30%	Світлі крупні включення
К		
Гранулометричний склад	Переважають дрібні частинки та поодинокі грубі агрегати	Добре виражене поєднання пилу та глини, менше крупного піску
Тип ґрунту	Суглинковий або легкосуглинковий	Висока частка мілко-дисперсних включень і злипання частинок
Структура ґрунту	Помірно агрегована	Спостерігаються округлі агрегації різного розміру, зв'язані органікою
Кількість піску	25–35%	Світлі включення трапляються рідше, ніж у зразку ДБ1, ДБ2

Таблиця 2

Фізико-хімічні характеристики дослідних зразків ґрунту

Найменування зразків	рН	Електропровідність, мкСм/см	Вміст важких металів / мг/кг			Радіаційний фон, мР/год
			Pb	Zn	Cu	
БД1	7,50	331	120	135	60	0,023
БД2	7,53	200	80	110	55	0,024
К	8,50	228	30	50	15	0,011
Б	7,50	1561	-	-	-	-

муючу здатність, помірну аерацію і стійкість до пересихання.

Важкі метали негативно впливають на ґрунтову мікрофлору, призводять до зниження врожайності і якості сільськогосподарської продукції. Тому, після бойових дій ґрунти доцільно діагностувати на радіаційний фон, вміст важких металів. Комплексна оцінка фізико-хімічних і радіаційних властивостей дослідних зразків ґрунтів та біогумусу наведено в таблиці 2.

Значення радіаційного фону в усіх досліджених зразках знаходяться в межах природного фону та не перевищують гранично допустимих рівнів (ГДР) для населення України, які становлять 0,30 мР/год відповідно до державних санітарних норм [14]. Водночас, у зразках із зон бойових дій

(БД-1, БД-2) радіаційний фон є вищим порівняно з контрольним зразком із м. Дніпро в 2 рази. Це може свідчити про локальне радіонуклідне навантаження внаслідок воєнних дій або техногенних викидів. Вміст важких металів у зразках з бойових дій перевищує гранично допустиму концентрацію за свинцем у 3,75 рази БД-1, у 2,5 рази БД-2 [15]. Показники рН у зразках БД-1, БД-2 та біогумусу близькі до нейтральних, у контролі середньо лужне середовище. Лужне середовище у ґрунті пригнічує розвиток більшість мікроорганізмів, а рН 8,5 для деяких штамів може бути менш оптимальним.

Ознаки високої електропровідності біогумусу свідчать про багатий склад на мінеральні елементи (кальцій, магній, калій, нітрати, фосфати та

інші розчинні солі), продукти розкладу органіки. У зразках БД-1, БД-2 зменшення електропровідності майже в 7,8 разів показує на зміну хімічного складу ґрунту внаслідок бойових дій. В подальших дослідженнях доцільно врахувати рН, вміст органічної речовини, наявність конкурентної мікрофлори для відновлення родючості ґрунтів. Таким чином, результати дослідження показують, що біогумус, отриманий шляхом вермікультивування, є цінним органічним добривом, який не лише покращить агрохімічні властивості ґрунту, але й створюватиме сприятливі умови для розвитку корисної мікрофлори.

Для визначення гумінових і фульвокислот використовували класичну методику лужної екстракції з подальшим осадженням кислотами [16, 17]. Результати досліджень на вміст гумусу у зразках зображено на діаграмі (рис. 3).

У порівнянні з біогумусом у зразках БД-1, БД-2 загальний вміст гумусових речовин нижчий на 60–68%. Гумусу у контрольному зразку в 1,68 разів менше, чим у біогумусі, одержаного вермікультивуванням. Зразки БД-1, БД-2 відносяться до дуже низьких за вмістом гумусу.

Для якісної оцінки органічної речовини та ступінь її перетворення на стабільні форми гумусу обчислили індекс гуміфікації (рис. 4).

Данні діаграми зазначають, що у всіх зразках гумусові речовини мають достатній ступінь стабільності. Контроль має індекс 2,4, що свідчить про стабільний добре гуміфікований гумус. Зразки БД-1 та БД-2 мають індекс гуміфікації 2, але нижчий вміст гумусу (0,8% – 1%). У біогумусі індекс гуміфікації ГК/ФК становить 2,08, загальний вміст гумусу 2,5%, що показує добру якість органічної речовини. Вибухи та вогонь

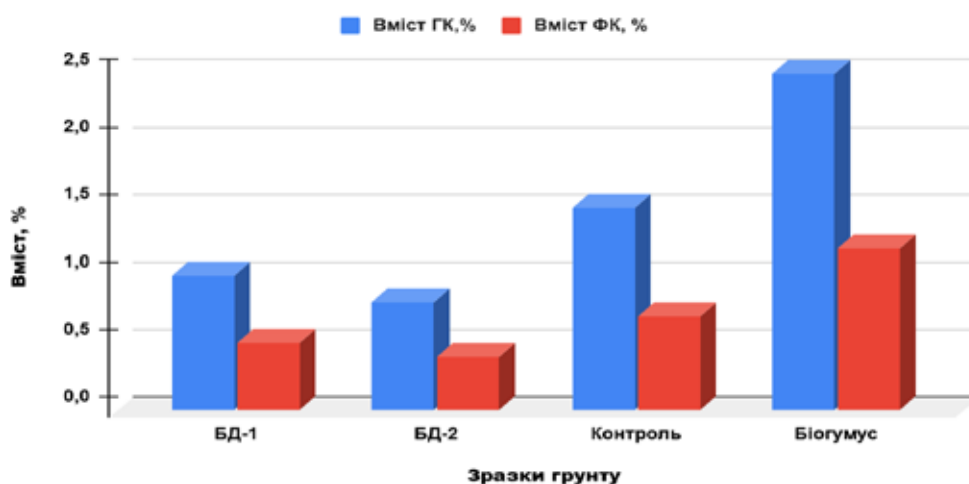


Рис. 3. Вміст гумінових та фульвокислот у дослідних зразках ґрунту

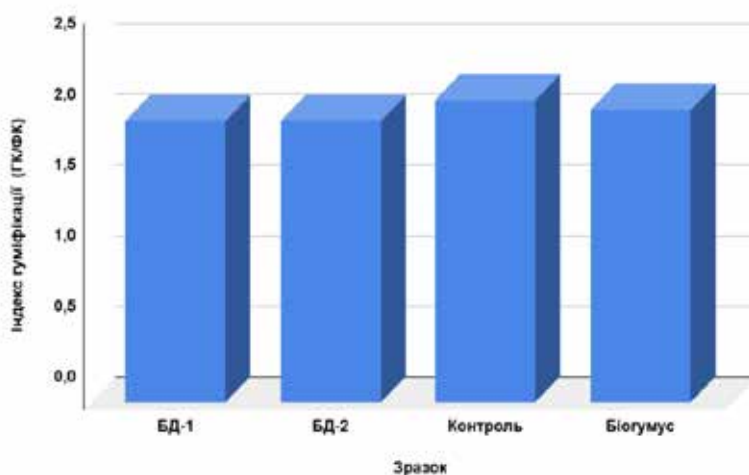


Рис. 4. Індекс гуміфікації у дослідних зразках ґрунту

призводять до часткового вигорання гумінових речовин. Тому, зразки ґрунтів з бойових дій мають зруйновану структуру, зниження мікробіологічної активності, втрату органічної речовини, включаючи гумус.

Отже, індекс гуміфікації біогумусу, загальний вміст гумінових і фульвокислот є суттєво вищими дослідних зразків. Це свідчить про високу ступінь органічного збагачення і наявність як стабільних, так і біологічно активних форм органіки, що важливо для запуску процесів ґрунтоутворення на порушених територіях.

Для оцінки агроекологічної ефективності біогумусу до зразків ґрунтів, що зазнали впливу бойових дій використовували метод фітотестування [18–21]. До дослідних зразків (БД1, БД2) додавали біопрепарат у концентраціях (5%, 10%, 20% за масою). У кожен зразок висівали тест-культури вівса, які досліджували в однакових умовах вологості, освітлення й температури. Спостерігали за динамікою росту пагонів протягом 10 діб, фіксували біометричні показники: кількість пророслих насінин, довжину пагонів. Результати вимірювання росту пагонів в залежності від концентрації біогумусу представлені на діаграмі (рис. 5).

Зразок БД-1 із бойових дій без додавання біогумусу мав ріст пагонів вівса менший у 1,86 рази, БД-2 у 1,41 рази порівняно з контролем. З діаграми бачимо, що середня висота пагонів у зразках БД-2 з додаванням 10% біогумусу на 10-й день становила 7,3 см, що майже вдвічі перевищує контроль та у 3,3 рази переважає за показники БД-1 та БД-2. Це підтверджує, що біогумус може бути ефективним відновлювальним агентом для пошкоджених

ґрунтів бойовими діями. Концентрація біогумусу 30% у всіх дослідних зразках не дає значного приросту вівса, що свідчить про перенасичення поживними речовинами. Оптимальна концентрація біогумусу для стимуляції росту пагонів становила 10% за масою. Динаміка росту коренів вівса на 10-й день фітотестування в залежності від типу ґрунту та концентрації біогумусу наведена на рисунку 6.

При додаванні 10% біогумусу до БД-1 довжина кореня зросла у 1,45 рази, БД-1 у 1,55 рази порівняно з контролем. Таким чином, додавання 10% біогумусу є найбільш ефективною концентрацією для стимулювання росту кореневої системи. Через 60 діб в зразках БД-1, БД-2 з додаванням біогумусу визначено підвищення до 3,7% загального гумусу. Отже, біогумус може ефективно використовуватись для відновлювання родючості ґрунтів що зазнали впливу бойових дій.

Висновки. Встановлено, що ґрунти, які зазнали впливу бойових дій, мають порушену фізико-хімічну структуру (зниження вмісту гумусу та загального органічного вуглецю), низьке значення індексу гуміфікації свідчить про деградацію органічної речовини та зменшення її стабільності. Тип дослідних зразків ґрунтів показав їх розвинену структуру за гранулометричним складом, що забезпечуватиме добру водоутримуючу здатність, помірну аерацію і стійкість до пересихання. Визначено підвищений радіаційний фон у зразках із зони бойових дій, вміст важких металів у верхніх горизонтах ґрунтів значно перевищує фонові рівні, особливо високими є концентрації свинцю, що є екотоксикологічно небезпечним та ство-

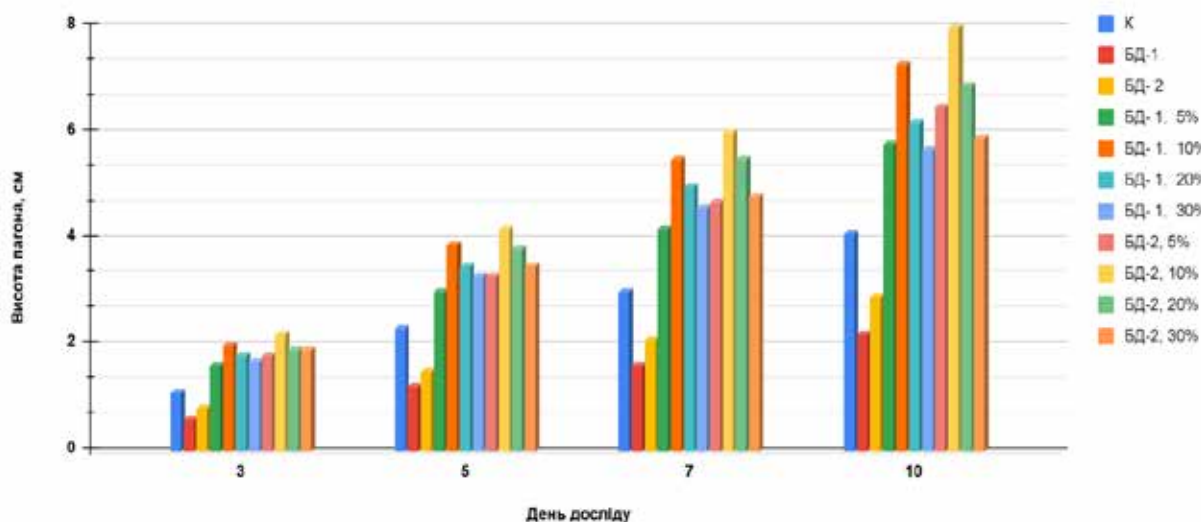


Рис. 5. Динаміка проростання вівса у процесі фітотестування дослідних зразків

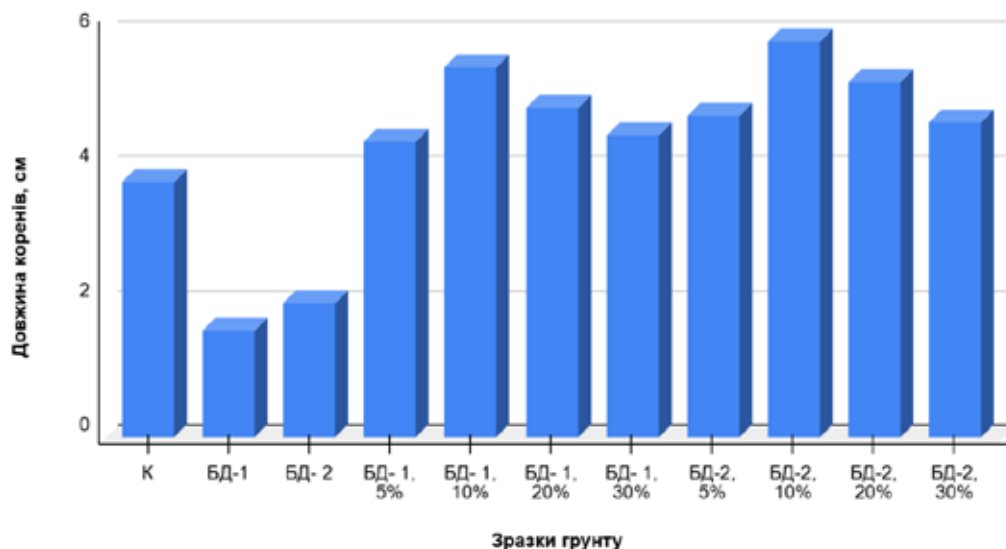


Рис. 6. Динаміка росту коренів вівса дослідних зразків

рює потенційні ризики для довкілля та здоров'я населення. Результати досліджень вказують на локальний характер забруднення, що корелює з інтенсивністю військових дій. Визначений індекс гуміфікації біогумусу, загальний вміст гумінових і фульвокислот показує високу ступінь органічного збагачення і наявність як стабільних, так

і біологічно активних форм органіки, що важливо для запуску процесів ґрунтоутворення. Досліджено біотестуванням, що біогумус, отриманий шляхом вермікультивування, є цінним органічним добривом, який не лише покращить агрохімічні властивості ґрунту, але й створюватиме сприятливі умови для розвитку корисної мікрофлори.

Список літератури:

1. Карабут Г. В., Книш І. Я. Аналіз забруднення ґрунтів внаслідок бойових дій. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2023. № 2. С. 45–52.
2. Allamin, Ibrahim. Phytoremediation of Heavy Metals in Contaminated Soils: A Review. *Journal of Biochemistry, Microbiology and Biotechnology*. 2021. № 9. Р. 7–14.
3. Melnychenko, V. Phytoremediation of soils contaminated as a result of military and anthropogenic impact. *Scientific Reports of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*. 2024. Vol. 20. № 4. Р. 72–84.
4. Solokha, M., Demyanyuk, O., Symochko, L., Mazur, S., Vynokurova, N., Sementsova, K., Mariychuk, R. Soil Degradation and Contamination Due to Armed Conflict in Ukraine. *Land*. 2024. Vol. 2013. № 13. Р. 1–23.
5. Вплив війни на родючість ґрунтів: аналіз, загрози та відновлення: звіт по проєкту. Краматорськ: ГО ВЕО До чистих джерел. 2023. 23 с.
6. Волкогон В. В. Мікробіологічні аспекти відтворення родючості ґрунтів. *Вісник аграрної науки*. 2011. № 9. С. 9–14.
7. Петросян А. Г., Дятлов С.Є., Тарасенко А. О., Дятлова О.С. Біотестування як метод експрес-оцінки токсичності ґрунтів. *Вісник Одеського національного університету*. 2022. Т. 7. № 1. С. 139–145.
8. Що криється за модним словом біоремедіація, або як біотехнологи БТУ-ЦЕНТР розробляли способи відновлення ґрунтів, порушених воєнними діями. Київ, 2024. Дата звернення (16 лютого 2024). URL <https://latifundist.com/blog/read/3060>
9. Чайка Т. О., Короткова І. В. Відновлення родючості ґрунту в Україні після воєнних дій. Захист і відновлення екологічної рівноваги та забезпечення самовідновлення екосистем : колективна монографія / за заг. ред. Т. О. Чайки. Полтава : Видавництво ПП «Астрая», 2023. С. 232–281.
10. Skamarokhova Alexand, Yurin Denis, Svistunov Andrey, Nikoghosyan Flora. The influence of a new organic fertilizer based on spropel on the results of germination of seeds of wheat, oats and mung bean. *E3S Web of Conferences*. 2023. Р. 395.
11. Мініна Ю.О., Мітіна Н.Б., Третьяков А.О. Дослідження умов біодеградації полімер-полімерних сумішей в процесі вермікультивування. *Науковий журнал «Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки»*. Том 35 (74) № 1. 2024. С. 113–117.

12. Грунти України: властивості, генезис, менеджмент родючості: ред. В. І. Купчик. 2010. 412 с.
13. ДСТУ 4730:2007. Грунти. Визначення гранулометричного (механічного) складу методом піпетування. Київ, 2007. 12 с.
14. ДСЕПІН 6. 6.1. – 079 /211.3.9 001-02 Державні санітарно-екологічні правила і норми з радіаційної безпеки при проведенні операцій з металобрухтом. Київ, 2022. 10 с.
15. ДСТУ 7832:2015. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук свинцю в одонормальній солянокислій витяжці методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. Київ, 2016. 8 с.
16. Lamar R.T., Monda H. Quantification of Humic and Fulvic Acids in Humate Ores, DOC, Humified Materials and Humic Substance-Containing Commercial Products. *Journal of Visualized Experiments*. 2022. № 181. DOI 10.3791/61233
17. Петрова Ж. О. Дослідження режимів екстрагування гумусових та гумінових речовин. Наукові праці [Одеської національної академії харчових технологій]. 2015. Вип. 47. № 2. С. 190–194.
18. Тригуб В.І., Домусчи С.В. Біотестування як метод дослідження токсичності ґрунтів. *Вісник Одеського національного університету*. 2020. С. 112–127.
19. Буцяк А.А. Використання біогумусу для підвищення родючості ґрунту і одержання екологічно-безпечної продукції. Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій ім. Гжицького. 2012. Т. 14, № 2(3). С. 33–36.
20. Дудкіна, А. П. Залучення вермідобрив при вирощуванні кукурудзи на рекультивованих ландшафтах. *Таврійський науковий вісник*. Херсон, 2019. Вип.105. С. 67–73.
21. Abbas Haider, Salman Ahmad, Al-Budeiri Muntadher, Ajib Yahya, Al-shaabani Ehab. Effect of Vermicompost Production on some Soil Properties and Nutrients in Plants. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2023. P. 2–8. DOI:10.1088/1755-1315/1214/1/012006

Mitina N.B., Minina Yu.O., Ovcharenko S.V. DIAGNOSIS OF THE CONDITION OF SOILS AFFECTED BY COMBAT ACTIONS

The article analyzes recent scientific works that note soil profile disturbances, decreased biological activity, and microbial diversity. A review of the literature shows that military actions have a complex negative impact on soils: destruction of soil structure, compaction of the arable layer, degradation of the humus horizon, and contamination with heavy metals and explosive residues. In this work, the authors studied soils from the combat zone (the northern steppe of eastern Ukraine, Kostyantynivka); the effect of a biological preparation (biohumus) obtained by vermiculture on the restoration of soil fertility affected by combat operations. Microscopic examination of the experimental soil samples revealed their developed structure in terms of granulometric composition, which will ensure good water retention capacity, moderate aeration, and resistance to drying out. An increased radiation background was determined in samples from the combat zone (BD-1, BD-2), which is a local radionuclide load due to military actions and man-made emissions. The heavy metal content in samples from the combat zone exceeds the maximum permissible concentration for lead by 3.75 times in BD-1 and 2.5 times in BD-2. In samples BD-1 and BD-2, a decrease in electrical conductivity by almost 7.8 times indicates a change in the chemical composition of the soil due to military operations. It has been determined that samples from the city of combat operations have a destroyed structure, reduced microbiological activity, and loss of organic matter, including humus. The results of the diagnosis of soil samples BD-1 and BD-2 indicate the local nature of the contamination, which correlates with the intensity of military operations. Biohumus was studied as a restorative biological product for soils damaged by military operations. The optimal concentration of biohumus was 10% by weight to stimulate the growth of shoots and the root system of the test culture of oats. The results of the experiment showed that vermicompost obtained by vermiculture is a valuable organic fertilizer that will not only improve the agrochemical properties of the soil but also create favorable conditions for the development of beneficial microflora.

Key words: soil, soil fertility, biohumus, biological preparation, vermiculture, humus, heavy metals, combat operations.

Дата надходження статті: 16.07.2025

Дата прийняття статті: 23.07.2025

Опубліковано: 27.10.2025