

ОСНОВНІ ПІДХОДИ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЇ ОЦІНКИ ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТІВ ВНАСЛІДОК ВІЙСЬКОВИХ ДІЙ

Хижняк С.В., Корнієнко В.І., Самкова О.П., Мідик С.В., Коверсун І.В., Войцицький В.М.
Національний університет біоресурсів і природокористування України
вул. Героїв Оборони, 15, 03041, м. Київ
khs2014@ukr.net

Акцентується увага на тому, що глобальною екологічною проблемою внаслідок військових дій, є забруднення довкілля, зокрема ґрунтів, які є основою наземних екосистем і критично важливим ресурсом для сільськогосподарської діяльності. При комплексній оцінці екологічних наслідків впливу військових дій на ґрунти використовуються аналітичні методи для встановлення основних забрудників. Поряд з цим, необхідне використання методів біотестування для виявлення екологічної токсичності ґрунтів, що необхідно для створення адекватної стратегії відновлення уражених територій.

Представлено результати досліджень забруднення та зміни еколого-токсикологічного стану ґрунту внаслідок військових дій (територія Снігурівської ОТГ, Миколаївська обл.). В зоні влучання артилерійських снарядів встановлено деградацію та дегуміфікацію ґрунту та його забруднення на ділянках, що знаходяться на відстані 5 та 10 м від центру вибуху. Встановлено 2-3 разове зростання валового вмісту кадмію, свинцю, миш'яку, ртуті та бору у ґрунті на відстані 5 м від центру вибуху. На забруднених ділянках ґрунту виявлено в 2-3 рази перевищення ГДК для миш'яку та сірки. Проведений скринінг вмісту нітроароматичних сполук свідчить про перевищення у ґрунті вмісту 4-аміно-2,6-динітротолуолу. Методом біотестування за використання ґрунтових черв'як *Eisenia fetida* показана надзвичайна екотоксичність забрудненого ґрунту, що передбачає необхідність подальших досліджень можливого вмісту інших забруднювачів у ґрунті. Отримані результати свідчать, що наслідком військових дій може бути дегуміфікація та забруднення ґрунтового покриву. Комплексне забруднення ґрунтів впливає на екологічну стабільність, оскільки сукупний вплив може посилити тяжкість забруднення довкілля, включаючи токсичність та руйнування екосистеми. *Ключові слова:* військові дії, деградація ґрунту, забруднення ґрунту, важкі метали, біотестування.

Basic approaches for comprehensive assessment of soil pollution resulting from military actions. Khyznyak S., Kornienko V., Samkova O., Midyk S., Koversun I., Voitsitskiy V.

It is emphasized that a global environmental problem resulting from military actions is environmental pollution, particularly of soils, which form the basis of terrestrial ecosystems and a critical resource for agricultural activities. A comprehensive assessment of the environmental impacts of military actions on soils uses analytical methods to identify key pollutants. Bioassay methods are also necessary to determine the ecological toxicity of soils, which is necessary to create an adequate strategy for the restoration of affected areas.

The results of studies on soil pollution and changes in the ecological and toxicological state of soil as a result of military actions (territory of Snihurivka Territorial Community, Mykolaiv region) are presented. In the area where artillery shells hit, soil degradation and dehumification, as well as contamination, were observed in areas located 5 and 10 m from the center of the explosion. A 2-3-fold increase in the total content of cadmium, lead, arsenic, mercury and boron in the soil was detected at a distance of 5 m from the center of the explosion. In contaminated soil areas, arsenic and sulfur levels exceeding the maximum permissible concentration by 2-3 times were detected. Screening for nitroaromatic compounds indicates an excess of 4-amino-2,6-dinitrotoluene in the soil. Biotesting using earthworms *Eisenia fetida* demonstrated the extreme ecotoxicity of the contaminated soil, suggesting the need for further research into the possible content of other contaminants in the soil. The obtained results indicate that military actions may result in dehumification and contamination of the soil surface.

Complex soil contamination affects ecological stability, since the cumulative impact can increase the severity of environmental pollution, including toxicity and destruction of the ecosystem. *Key words:* military actions, soil degradation, soil contamination, heavy metals, biotesting.

Постановка проблеми. Повномасштабні бойові дії, які тривають на території України з 24 лютого 2022 р., спричиняють значний вплив на екологічний стан довкілля, зокрема ґрунти, що є основою наземних екосистем і критично важливим ресурсом для сільськогосподарської діяльності. На сьогодні, зони військових дій вважають одним із основних джерел забруднення наземних екосистем, що потребує моніторингових досліджень для розроблення заходів ремедіації [1, 2].

Застосування зброї різного виду, чисельні вибухи артилерійських снарядів та ракет, пожежі призводять до потрапляння у навколишнє природне сере-

довище різноманітних хімічних сполук та газів, металевих фрагментів снарядів. Утворення кратерів або вирв від бомб та артилерійських снарядів змінюють структуру ґрунту. Крім того, внаслідок вибухів пошкодженню піддається сільськогосподарська техніка, різноманітні складські приміщення, що є додатковим джерелом забруднення довкілля, зокрема сільськогосподарських угідь. Комплексна оцінка екологічних наслідків впливу військових дій на ґрунти із використанням аналітичних методів досліджень застосовується для встановлення основних забрудників. Крім того, необхідне використання методів біотестування для виявлення екологічної токсично-

сті, що необхідно для створення адекватної стратегії відновлення уражених територій.

Актуальність дослідження. Грунт відіграє ключову роль в природних та агроєкосистемах. Однак йому все більше загрожують такі забруднювачі, як промислові та міські стічні води, тверді відходи, пестициди, добрива тощо [3]. Найбільш поширеним та небезпечним є хімічне забруднення ґрунтів: токсичними сполуками, важкими металами чи продуктами горіння. Зміна хімічного складу ґрунту, зокрема, складнює його використання у сільськогосподарській практиці.

Військові дії спричиняють значні руйнування екосистем, що мають довгострокові наслідки для сільського господарства та водних ресурсів. Під час військових дій відбувається механічне та фізичне руйнування ґрунтів. Хімічне забруднення ґрунтів внаслідок військових дій характеризується забрудненням вибуховими речовинами, токсичними елементами (важкими металами) та іншими. Серед вибухових речовин переважають нітроароматичні сполуки, які зазвичай достатньо стабільні у ґрунті через стійкість до випаровування, гідролізу та біодеградації [4].

Забруднювачі ґрунтів – це хімічні речовини, які присутні у вищих кількостях, ніж у будь-якій іншій частині навколишнього середовища. Проведення аналізу щодо вмісту токсичних забруднювачів у ґрунті повинно супроводжуватись оцінкою їх еко-токсичності для встановлення біологічної спроможності ґрунту.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Глобальною екологічною проблемою є забруднення екосистем токсичними речовинами, особливо внаслідок військових дій. Дослідження з визначення забрудників ґрунтового покриву, оцінки його екологічного стану унаслідок війни є важливим з наукової та практичної точки зору, що дає можливість оцінити безпечність використання ґрунту для людини.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Збройна агресія російської федерації призвела до широкомасштабного пошкодження ґрунту на великих територіях України [5]. Вибух та детонація боєприпасів призводять до утворення токсичних продуктів, які потрапляють у ґрунт. Використання військової техніки ще більше посилює забруднення території, зокрема продуктами від руйнування та горіння важкої техніки, розливів палива, технічних мастил, що створює небезпеку для здоров'я людини і біоти [6].

Забруднення важкими металами внаслідок антропогенної діяльності, є основною причиною забруднення довкілля, головним чином через функціонування різних галузей промисловості (різноманітні підприємства металургійної, хімічної, електротехнічної та інших промисловостей, видобування корисних копалин тощо), викиди і скиди транспортного

комплексу, спалювання викопних джерел енергії (вугілля, нафти, газу, торфу). Використання важких металів у сільськогосподарській галузі є вторинним джерелом забруднення важкими металами [7].

Важкі метали – класичні забруднювачі довкілля. Відповідно до державних стандартів токсичні хімічні елементи розділені за класами гігієнічної небезпеки [3]: 1-ший, найбільш небезпечні: миш'як (As), берилій (Be), ртуть (Hg), селен (Sn), кадмій (Cd), свинець (Pb), цинк (Zn), фтор (F); 2-гий, високо небезпечні: хром (Cr), кобальт (Co), бор (B), молібден (Mn), нікель (Ni), мідь (Cu), сурма (Sb); 3-тій, помірно небезпечні: барій (Ba), ванадій (V), вольфрам (W), марганець (Mn), стронцій (Sr).

Повномасштабна війна російської федерації проти України спричинила екоцид. Усі наслідки військових дій неможливо усвідомити до їхнього закінчення, а прогнози можливі тільки в узагальненому вигляді [8, 9]. Вже зараз повністю або майже повністю зруйновані десятки міст, селищ, сіл, тисячі будівель житлового, комунального інфраструктурного фонду, підприємств тощо. Наразі вже згоріло тисячі гектарів лісів, забруднено вже більше 5 млн. гектарів земель сільськогосподарського призначення, в тому числі важкими металами. В місцях бойових дій вміст важких металів в ґрунті подекуди перевищує фонові значення в 30 разів. На місцях обстрілів у 10–18 разів визначено перевищення вмісту Hg, Zn та Cd, а також зафіксовано високий вміст Cu, Pb, P, S і Ba [10]. Причому, враховуючи, що важкі метали не піддаються мікробному чи хімічному розкладу, навіть при незначному збільшенні їх вмісту, вони залишаються в ґрунті тривалий час та можуть потрапляти у харчовий ланцюг [11].

Дедалі більше результатів досліджень підтверджує потенційні джерела викидів різних забруднювачів у довкілля, пов'язаних із військовою діяльністю. Показано, що ґрунти на території військових об'єктів упродовж багатьох років залишаються забрудненими токсичними сполуками [12]. Переважна більшість цих сполук є стійкими до біологічного розкладання, а, отже, залишаються в біосфері. Вони стають джерелом забруднення, потенційно шкідливим для довкілля та здоров'я людини через їх можливий токсичний вплив.

На сьогодні, дослідження з визначення забрудників ґрунтового покриву, оцінки його екологічного стану унаслідок війни проводяться в різних регіонах України на територіях де велися активні бойові дії, а також і на постраждалих унаслідок ракетних атак [13, 14].

Враховуючи, що поведінка більшості забрудників у ґрунтах України вивчена недостатньо, це потребує подальших досліджень в цьому напрямі.

Новизна. У роботі представлені дослідження впливу військових дій на забруднення ґрунту біля с. Киселівка Миколаївської області та його еколого-токсикологічний стан.

Викладення основного матеріалу. Зразки ґрунту відібрано у квітні та червні 2025 р. біля с. Киселівка, Снігурівська ОТГ, Миколаївська обл., де наявне пошкодження ґрунтового покриву від артилерійських та мінометних обстрілів та виявлено залишки сільськогосподарських будівель (рис. 1).

Відбір зразків ґрунту проведено відповідно чинних стандартів [15, 16]. Зразки ґрунту на Ділянці № 1 (розташована на відстані 5 м від центру вибуху) та Ділянці № 2 (розташована на відстані 10 м від центру вибуху) відбирали на глибині 0–20 см. Формували змішаний зразок із 10-ти проб ґрунту з кожної ділянок відбору.

Визначали валовий вміст важких металів (елементів) [17] та вміст нітроароматичних сполук у ґрунті [18].

Результати експериментальних досліджень були проаналізовані за використання програмного пакета Microsoft Excel.

Ґрунт у зоні проведення досліджень (с. Киселівка, Снігурівська ОТГ, Миколаївська обл.) представлений переважно чорноземом південним важкосуглинковим. Він характеризується рН близьким до нейтральних (рН 7,4) та дуже високим вмістом органічної речовини (табл. 1). Визначення показників якості ґрунту дослідних ділянок (табл. 1) свідчить про значне зниження вмісту органічної речовини (приблизно в 2.3 та 6.5 рази для Ділянки 1 та 2 відповідно), що дозволяє віднести його до деградованих та дегуміфікованих.

Валовий вміст важких металів розглядають як індикатори воєнно-техногенного навантаження [19]. В Таблиці 2 представлено результати вмісту елементів в забрудненому ґрунті (Ділянка 1 та 2). Слід відмітити, що виявлений низький вміст органічної речовини у забрудненому ґрунті підвищує рухомість важких металів та їх міграцію у нижчі шари.



Рис. 1. Вид ділянок ґрунтового покриву внаслідок військових дій (Миколаївська обл., с. Киселівка, червень 2025 р.)

Таблиця 1

Показники якості фонового ґрунту (контроль) та у ґрунті в зоні влучання артилерійських снарядів (Миколаївська обл., с. Киселівка), ($\bar{x} \pm SD$)

Найменування показників, одиниці вимірювань	Ґрунт фоновий (контроль)	Ділянка 1	Ділянка 2
pH водної витяжки, одиниці pH	8,3±0,1	8,1±0,1	8,2±0,1
pH сольової витяжки, одиниці pH	7,4±0,1	7,6±0,1	7,7±0,1
Органічна речовина (гумус), %	5,2±0,5	0,8±0,1	1,8±0,1

Примітка: тут та далі: Ділянка № 1 розташована на відстані 5 м, а Ділянка № 2 – на відстані 10 м від центру вибуху (Миколаївська обл., с. Киселівка).

Таблиця 2

Вміст елементів (валові форми) у ґрунті в зоні влучання артилерійських снарядів, 0–20 см, мг/кг ґрунту (Миколаївська обл., с. Киселівка). Результати подано на повітряно-суху речовину

Найменування показників, мг/кг ґрунту	Ділянка 1	Ділянка 2	ГДК у ґрунті, мг/кг ^(20,21)
Масова частка загального алюмінію (Al)	17,89±1,31	22,21±1,58	не нормується
Масова частка загального бору (B)	25,30±4,98	8,86±2,04	30,0
Масова частка загального барію (Ba)	84,16±13,82	121,04±18,81	200,0
Масова частка загального берилію (Be)	-	0,86±0,28	не нормується
Масова частка загального вісмуту (Bi)	<0,10	0,19±0,03	не нормується
Масова частка загального кадмію (Cd)	1,89±0,45	0,99±0,22	3,0
Масова частка загального кобальту (Co)	12,91±2,81	12,52±2,74	не нормується
Масова частка загального хрому (Cr)	23,09±4,61	27,44±5,33	не нормується
Масова частка загального міді (Cu)	11,77±2,60	13,29±2,88	не нормується
Масова частка загального заліза (Fe)	17 000±126	20 650±148	не нормується
Масова частка загального літію (Li)	15,96±3,36	21,73±4,37	не нормується
Масова частка загального магнію (Mg)	5 350±470	6 000±520	не нормується
Масова частка загального марганцю (Mn)	387,79±50,59	460,38±58,53	1500,0
Масова частка загального нікелю (Ni)	29,80±5,72	31,93±6,06	50
Масова частка загального свинцю (Pb)	16,90±2,53	9,19±2,11	32
Масова частка загального стронцію (Sr)	87,33±14,26	112,72±17,71	не нормується
Масова частка загальної сірки (S)	-	397,00±51,61	160,0
Масова частка загального цинку (Zn)	83,47±13,72	67,99±11,53	не нормується
Масова частка загального миш'яку (As)	7,6±1,2	5,90±0,90	2,0
Масова частка загальної ртуті (Hg)	2,0±0,6	0,30±0,05	2,1

Визначений валовий вміст елементів свідчить про відмінності у їх накопиченні на Ділянках 1 та 2, зокрема, вміст таких небезпечних елементів як кадмій, свинець, миш'як, ртуть та бор у 2–3 рази більше на Ділянці 1. Крім того, на Ділянках 1 та 2 виявлено в 2–3 рази перевищення ГДК для миш'яку та сірки.

Миш'як, ртуть та кадмій відносяться до I класу небезпеки, характеризуються надзвичайною токсичністю навіть у незначних концентраціях. Їх накопичення у ґрунті погіршує його стан, призводить до хімічного пошкодження. Ці речовини легко мігрують у ґрунтах, швидко засвоюються і накопичуються у рослинах. Через забруднені продукти харчування рослинного та тваринного походження вони потрапляють до організму людини.

Використання нітроароматичних сполук у різних сферах промисловості призводить до їхнього негативного впливу на довкілля [22]. При нинішній ситуації в Україні накопичення цих сполук в об'єктах довкілля значно зростає, оскільки нітроз'єднання є продуктами використання вибухових речовин внаслідок активного ведення бойових дій. Проведений скринінг вмісту нітроароматичних сполук у досліджуваних ґрунтах свідчить про перевищення вмісту 4-аміно-2,6-динітротолуолу, що становить 0,242±0,012 мг/кг.

Екотоксичність забрудненого ґрунту (Ділянка 1 та Ділянка 2) оцінювали за використання ґрунтових організмів – ґрунтові черви *Eisenia fetida*, які є типовими представниками ґрунтових безхребетних.

Таблиця 3

Оцінка екотоксичності ґрунту у контролі (фоновий ґрунт) та у зоні влучання артилерійських снарядів (Миколаївська обл., с. Киселівка) за використання черв'я *Eisenia fetida*, ($\bar{x} \pm SD$, $n=30$ по варіанту)

Показники, одиниці вимірювань	Контроль (штучний ґрунт)	Контроль (фоновий ґрунт)	Ділянка 1		Ділянка 2	
Загальна вага ґрунту, г	500	500	500	250 + 250 (штучний ґрунт)	500	250 + 250 (штучний ґрунт)
Біомаса черв'я: початок досліджу – 14 діб –	5,28±0,21 5,06±0,19	4,88±0,30 4,53±0,29	4,52±0,25 –	4,32±0,15 1,52±0,15	4,18±0,14 –	4,92±0,41 2,12±0,11
Середня втрата ваги, %	4.2	7.2	-	65	–	57
Смертність 14 діб, %	0	0	100	70	100	50

Відіграючи важливу роль у ґрунтоутворюючих процесах, ці організми є чутливими індикаторами змін екологічного стану середовища існування, що дозволяє використовувати їх в якості тест-об'єкта при проведенні біотестування [23]. При встановленні токсичності досліджуваних ґрунтів використовували тест на гостру токсичність (14-ти добова експозиція) [24]. Контролем слугував штучний ґрунт наступного складу: тонко розмелений торф (10 %), каолінова глина (20 %), кварцовий пісок (70 %) вмісту на суху масу.

Згідно отриманих результатів (табл. 3) встановлено, що за період експозиції (14 діб) не спостерігалось смертності ґрунтових черв'я *Eisenia fetida* у контролі (штучний ґрунт) та контролі (фоновий ґрунт). Однак, за використання ґрунту Ділянка 1 та 2 спостерігалась 100 % смертність особин. Причому при змішування забрудненого ґрунту із контрольним (50:50), тобто при наявності 1/2 ґрунту Ділянки 1 смертність становила – 70 %, а 1/2 ґрунту Ділянки 2 смертність становила – 50 %. Середня втрата біомаси черв'яків у контролі (штучний ґрунт) становить 4,2 %. Тобто, отримані результати є достовірними по критерію середньої втрати біомаси, яка не перевищувала 20 %. Для фонового ґрунту втрата біомаси черв'яків становила 7,2 %, а при 1/2 ґрунту Ділянки 1 та 2 – 65 та 57 % відповідно (табл. 3). Спостереження за поведінковими реакціями *Eisenia fetida* на 14 добу досліджу свідчать, що у варіантах контролю (штучний ґрунт) та фоновий ґрунт тест-об'єкти були рухливі та реагували як на світлове,

так і на механічне подразнення. За використання ґрунту з Ділянки 1 та 2 (1/2 досліджуваного ґрунту) тест-об'єкти м'яко реагували як на світлове, так і на механічне подразнення, та дуже повільно рухались. Таким чином, забруднені ґрунти Ділянок 1 та 2 проявляють високу токсичність щодо ґрунтових черв'я *Eisenia fetida*.

Аналізуючи отримані результати слід підкреслити необхідність подальших досліджень щодо вмісту інших забрудників ґрунту (Ділянка 1 та Ділянка 2), враховуючи їх надзвичайну екотоксичність.

Головні висновки та перспективи використання результатів дослідження. Внаслідок військових дій (територія Снігурівської ОТГ, Миколаївська обл.) в зоні влучання артилерійських снарядів встановлено деградацію та дегуміфікацію ґрунту та його забруднення у шарі 0–20 см, а також погіршення еколого-токсикологічного стану. Зафіксовано у 2–3 разове зростання валового вмісту кадмію, свинцю, миш'яку, ртуті та бору у ґрунті на відстані 5 м від центру вибуху. На забруднених ділянках виявлено в 2–3 рази перевищення ГДК для миш'яку та сірки, а також вмісту 4-аміно-2,6-динітротолуолу. Методом біотестування за використання ґрунтових черв'я *Eisenia fetida* показана надзвичайна екотоксичність забрудненого ґрунту. Подальші дослідження мають бути спрямовані на встановленні вмісту інших можливих забруднювачів у ґрунті, оскільки їх сукупний вплив може мати різні екологічні наслідки, включаючи токсичність та руйнування екосистеми.

Література

- Fayiga A.O. Remediation of inorganic and organic contaminants in military ranges. *Environ. Chem.* 2019; 16: 81–91.
- Герасимчук Л. О. Військові дії як чинник утворення відходів. *Таврійський науковий вісник*. 2023; 133: 305 – 312. DOI: <https://doi.org/10.32782/226-0099.2023.133.41>.
- Глобальне здоров'я. Якість і безпека життя. Довідник-монографія. В 3-х томах / В.М. Войціцький та ін. Київ: ЦК «Компринт». 2019; 1-3: 640 с.

4. Certini G., Scalenghe R., Woods W.I. The impact of warfare on the soil environment. *Earth-Science Reviews*. 2013; 127: 1–15. DOI: 10.1016/j.earscirev.2013.08.009
5. Dmytrukha N.M., Kozlov K.P., Herasimova O.V. Soil contamination with heavy metals: a hygienic concern. *Ukrainian Journal of Occupational Health*. 2024; 20 (1): 66–75. <https://doi.org/10.33573/ujoh2024.01.066>].
6. Дмитренко О.В., Дем'янюк О.С., Погоріла Л.П., Свидинюк Н.Л., Рожа В.В., Кирилюк П.М., Романенко В.М. Екотоксикологічна оцінка дерново-підзолистого ґрунту за впливу бойових дій. *Агроекологічний журнал*. 2023; 4: 89-96. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2023.293758>
7. Безпека. Методи контролю важких металів у довкіллі та сільськогосподарській продукції: навчальний посібник / В. М. Войціцький та ін. Київ: ТОВ «Прінтеко». 2022. 252 с.
8. Військова токсикологія, радіологія та медичний захист / Ю. М. Скалецький та ін. Тернопіль: Укрмедкнига. 2003; 362 с.
9. Войціцький В.М., Хижняк С.В., Коверсун І.В. Основні загрози в сфері екологічної безпеки за військових дій. Інформаційно-комунікаційні технології та сталий розвиток: колективна монографія. Київ: «Юстан». 2022:154 – 157.
10. Матеріали круглого стола Укрінформ 25.01.2024 р. в м. Києві на тему «Екологічна безпека України: національний та міжнародний вимір».
11. Sodhi K.K., Mishra L.C., Singh C.K., Kumar M. Perspective on the heavy metal pollution and recent remediation strategies. *Current Research in Microbial Sciences*. 2022; 2: 100166.
12. Shukla S., Mbingwa G., Khanna S. et al. Environment and health hazards due to military metal pollution: A review. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*. 2023; 20: 100857.
13. Bonchkovskiy O.S., Ostapenko P.O., Shvaiko V.M., 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; 32(3): 474–487.
14. Зайцев Ю.О., Грищенко О.М., Романова С.А., Зайцева І.О. Вплив бойових дій на вміст валових форм важких металів у ґрунтах Сумського та Охтирського районів Сумської обл. *Агроекологічний журнал*. 2022; 3: 136–149.
15. ДСТУ ISO 10381-1:2004 Якість ґрунту. Відбирання проб. Частина 1. Настанови щодо складання програм відбирання проб (ISO 10381-1:2002, IDT).
16. ДСТУ ISO 10381-2:2004 Якість ґрунту. Відбирання проб. Частина 2. Настанови з методів відбирання проб (ISO 10381-2:2002, IDT).
17. ISO/TS 16965:2013 Soil quality, Determination of trace elements using inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS).
18. Визначення вмісту нітроароматичних сполук та нітроамінів у ґрунті та у воді методом високоефективної рідинної хроматографії (METHOD 8330A).
19. 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.
20. Гігієнічний регламент допустимого вмісту хімічних речовин у ґрунті затверджений наказом МОЗ України № 1595 від 14.07.2020 (<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0722-20#Text>)
21. Гранично допустимі концентрації небезпечних речовин згідно з Нормативами гранично допустимих концентрацій небезпечних речовин у ґрунтах, а також перелік таких речовин затверджений Постановою Кабінету
22. Міністрів України від 15 грудня 2021 № 1325.
23. Зульфигаров А.О., Артамонов М.С., Зульфигаров О.С. Хімія вибухових речовин: біорозкладання нітроароматичних сполук. *Єдине здоров'я та проблеми харчування України*. 2023; 2: 48-61.
24. Хижняк С.В., Баранов Ю.С., Демченко В.Ф., Войціцький В. М. Пестициди та їх еколого-токсикологічна оцінка. Київ: РВВ НУБіП України. 2019. 226 с.
25. ДСТУ ISO 11268-1: 2003 Якість ґрунту. Вплив забрудників на земляних черв'яків (*Eisenia fetida*). Частина 1. Визначення гострої токсичності з використанням штучного субстрату (ISO 11268-1:1993, IDT).

Дата першого надходження рукопису до видання: 22.10.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 28.11.2025

Дата публікації: 15.12.2025