

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-43-13>

УДК UDC): 504 : 631.4

I. I. САРАНЕНКО, канд. біол. наук, доц.
доцент кафедри географії та екології
e-mail: saranenkoinna@gmail.com ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-6152-7290>
Херсонський державний університет,
вул. Шевченка, 14, м. Івано-Франківськ, 76018, Україна

ОЦІНЮВАННЯ ФІТОТОКСИЧНОСТІ ҐРУНТІВ З РІЗНИМИ ВИДАМИ АНТРОПОГЕННОГО ЗАБРУДНЕННЯ

Мета. Визначення фітотоксичності ґрунтів, відібраних на різних ділянках шляхом біотестування з використанням насіння капусти білоголової (*Brassica oleracea* L.), перцю солодкого (*Capsicum annuum* L.) та редису посівного (*Raphanus sativus* L.).

Методи. Аналітичний, польових досліджень, біотестування, статистичний.

Результати. Визначено, що пробна ділянка поблизу сміттєзвалища значно забруднена: фітотоксичний ефект (ФЕ) сягає 69,6%, що свідчить про істотне пригнічення росту, рН ґрунтового розчину – 4,9. Ґрунт на узбіччі автомобільної дороги забруднений вище середнього рівня, спостерігається максимальний ФЕ – 53,4 % для проростання насіння перцю солодкого, рН – 4,9. Зразок ґрунту з сільськогосподарського поля виявив середню фітотоксичну дію, рН – 5,4. Контрольна ділянка показала високий відсоток проростання насіння без ознак фітотоксичності, рН – 4,9. На всіх забруднених ділянках у шарі 0–20 см сформувалося кисле ґрунтове середовище рН 4,5–5,4. При таких показниках більшість поживних елементів стають важкодоступними для рослин. Спостерігаються характерні морфологічні ознаки токсичного стресу: скручування листя, побіління країв, деформація кореня. Найбільшу чутливість до забруднення проявило насіння перцю солодкого (*Capsicum annuum* L.).

Висновки: Визначено, що техногенно навантажені ґрунти чинять негативний вплив на проростання насіння та його подальший розвиток. Біотестування виявилось ефективним методом первинного біоіндикаційного моніторингу стану ґрунтів і може бути рекомендоване для використання у громадах та закладах освіти для виявлення прихованих екологічних загроз.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: біотестування, капуста городня, перець солодкий, редис посівний, морфологічні параметри паростків, рН ґрунтового розчину, фітотоксичний ефект

Як цитувати: Сараненко І. І. Оцінювання фітотоксичності ґрунтів з різними видами антропогенного забруднення. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2025. Вип. 43. С. 166–177. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-43-13>

In cites: Saranenko, I. I. (2025). Soil phytotoxicity assessment with different types of anthropogenic pollution. *Man and Environment. Issues of Neoeology*, (43), 166-177. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-43-13> (in Ukrainian)

Вступ

Стан ґрунтів у сучасних екологічних умовах України викликає значне занепокоєння через зростання антропогенного навантаження, зокрема внаслідок інтенсивної діяльності промислових підприємств, автомобільного транспорту та накопичення твердих побутових відходів. Вінницька область, як один з промислово розвинених регіонів, також стикається з проблемою деградації ґрунтового покриву внаслідок забруднення

важкими металами, нафтопродуктами, залишками агрохімікатів та іншими токсичними речовинами. Проведення досліджень особливо актуально на територіях, де наявні потенційні джерела забруднення: сміттєзвалища, транспортні магістралі, сільськогосподарські підприємства з інтенсивною агрохімією та промислові об'єкти. Біотестування за допомогою пророщування насіння чутливих рослин дозволяє оперативнo та наочно

© Сараненко І. І., 2025



This is an open access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

оцінити рівень токсичності ґрунту, виявити приховані загрози для агроекосистем і здоров'я населення.

Історія використання рослин для визначення якості довкілля розпочалася у 1866 році, коли видатний дослідник – Вільгельм Нюландер, фінський ліхенолог, який працював у Франції, вперше застосував лишайники як біоіндикатори стану атмосферного повітря. Він примітив, що деякі види лишайників зникають у міських районах з високим рівнем забруднення, особливо сірчистими сполуками. Це поклало початок розвитку лехіноіндикації, яка й сьогодні є надійним методом оцінки якості повітря. Насіння, як індикатор шкідливих речовин у довкіллі, почали використовувати пізніше. Перші задокументовані дослідження з використанням насіння рослин для біоіндикації забруднення ґрунту та води проведені в США у 1960-х роках. Дослідники Агенції з охорони довкілля США (EPA) застосували насіння люцерни (*Medicago sativa* L.), редиски (*Raphanus sativus* L.), огірка (*Cucumis sativus* L.) для виявлення токсичної дії важких металів (Cd, Zn, Pb) у ґрунті та воді [1].

У результаті тривалого періоду використання насіння рослин, як індикаторів забруднення довкілля, визначено, що важливе значення має правильний вибір тест-об'єкта, тому що різні види рослин виявляють специфічну чутливість до певних пелютантів (табл. 1).

Упродовж останнього десятиліття біоіндикація ґрунтів активно розвивалася як напрям прикладної екології. Українські вчені розробили низку методик, спрямованих на оцінку стану ґрунтового середовища за допомогою рослин, мікроорганізмів та інших біологічних об'єктів. Паралельно з цим, міжнародні дослідження акцентують увагу на інтегрованих системах біомоніторингу та індикаторах сталості ґрунтів.

Досліджено у 2016 році [2] потенціал фітоіндикації для оцінки родючості ґрунтів Центрального Лісостепу України з використанням рослинних індикаторів для визначення змін у складі та структурі ґрунтів тваринницьких комплексів, наголосивши на зниженні їх якості.

У 2017 році узагальнено сучасні методи біоіндикації та біотестування, приділяючи особливу увагу мікроорганізмам [3]. Дослідження висвітлює комплексний підхід до оцінювання деградації ґрунтів, що є особливо

важливим для моніторингу екосистем Карпатського регіону.

Того ж року в роботі [4] зосереджено увагу на обґрунтуванні вибору рослинних тест-систем для ґрунтів, забруднених унаслідок діяльності гранітних кар'єрів. Застосування методу аналізу ієрархій дозволило вченим встановити найінформативніші тест-об'єкти для діагностики фітотоксичності.

Притула Н.М. [5] узагальнив теоретичні та практичні засади використання рослин і мікроорганізмів у біоіндикації ґрунтів поблизу несанкціонованих сміттєзвалищ у Карпатах. Дослідження [6] у 2020 році застосували фітоіндикаційні і мікробіологічні методи та підтвердили зниження екологічної якості ґрунтів на даній території.

У 2023 році в роботі [7] вивчали фітотоксичність примігистральних ґрунтів, використовуючи рослинні тест-системи. Дослідження підтвердили вплив автомобільного транспорту на забруднення ґрунтів у Прикарпатському регіоні.

Питанням фітоіндикації та фітомоніторингу, де наведені польові і лабораторні методики, що базуються на спостереженні за змінами фізіологічного стану рослин, зокрема хлорофіл-флуоресценції, морфометрії та індексів життєздатності надано в роботі [8].

На міжнародному рівні дослідження в галузі біоіндикації є мультидисциплінарними та охоплюють ґрунтознавство, мікробіологію, біоремедіацію. Агентство з охорони навколишнього середовища США (EPA) регулярно публікує результати досліджень з використанням біоіндикаторів для оцінки якості ґрунтів в контексті забруднення важкими металами, пестицидами та нафтопродуктами. Матеріали EPA слугують базовим джерелом для екологічної політики США та міжнародного екологічного моніторингу [1].

У розділі монографії [9] запропоновано класифікацію біоіндикаторів за типами організмів (бактерії, гриби, рослини, безхребетні) та рівнями організації живої матерії (клітинний, популяційний, екосистемний). Зазначено про важливість моніторингу ґрунтового середовища в умовах змін клімату та зростаючого техногенного навантаження.

Дослідження [10] присвячене ґрунтовим мікроорганізмам як «екосенсорам» забруднення. Автори розглядають біоіндикатори як інтегративні інструменти для виявлення порушень у мікробіомі ґрунтів, що є ранніми маркерами змін у структурі екосистем. Дослідження має високу прикладну цінність у галузі

Таблиця 1

Застосування насіння рослин для біоіндикації різних типів забруднення

Table 1

Application of plant seeds for bioindication of different types of pollution

№	Вид рослин/ Growing species	Типи забруднення/ Types of pollution	Рекомендації до застосування/ Recommendations for use
1.	Соняшник звичайний (<i>Helianthus annuus</i> L.)	Радіонукліди, важкі метали / Radionuclides, heavy metals	Акумуляує важкі метали та радіонукліди; рекомендовано для зон після аварійного забруднення / Accumulates heavy metals and radionuclides; recommended for areas after accidental contamination.
2.	Гірчиця сарпетська (<i>Brassica juncea</i> L.)	Важкі метали (Hg, Cr, Pb), радіонукліди / Heavy metals (Hg, Cr, Pb), radionuclides	Підходить для фітореMediaції та виявлення радіаційного забруднення / Suitable for phytoremediation and detection of radiation contamination.
3.	Капуста білоголова (<i>Brassica oleracea</i> L.)	Важкі метали / Heavy metals (W, Pb, Cd)	Висока накопичувальна здатність, рекомендовано для складного важкого забруднення / High accumulation capacity, recommended for complex heavy contamination.
4.	Квасоля звичайна (<i>Phasoleus vulgaris</i> L.)	Важкі метали (Cu, Zn, Pb), феноли / Heavy metals (Cu, Zn, Pb), phenols	Застосовується в лабораторних тестах для виявлення токсичності фенолів та міді / Used in laboratory tests for detecting phenol and copper toxicity.
5.	Ріпа кормова (<i>Brassica rapa</i> L.)	Гербициди, солі важких металів / Herbicides, heavy metal salts	Чутливий до гербицидного навантаження; швидке зростання дозволяє провести оперативне оцінювання / Sensitive to herbicide load; rapid growth allows for prompt assessment.
6.	Гарбуз звичайний (<i>Cucurbita pepo</i> L.)	Органічні забруднювачі, пестициди / Organic pollutants, pesticides	Чутливий до органічних пестицидів; застосовується у фітотестах з довгим циклом проростання / Sensitive to organic pesticides; used in phytotests with long germination cycle.
7.	Хрениця сійна, крес-салат (<i>Lepidium sativum</i> L.)	Важкі метали / Heavy metals (Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Zn, As)	Ідеальний для виявлення легкого хімічного забруднення; дуже швидке проростання / Ideal for detecting light chemical pollution; very rapid germination.
8.	Редис посівний (<i>Raphanus sativus</i> L.)	Нафтопродукти, гербициди, важкі метали / Petroleum products, herbicides, heavy metals	Підходить для оцінки нафтохімічного забруднення; швидка реакція / Suitable for assessing petrochemical pollution; quick response.
9.	Перець солодкий (<i>Capsicum annuum</i> L.)	Пестициди, важкі метали, промислові відходи / Pesticides, heavy metals, industrial waste	Чутливий до легких токсикантів; підходить для забруднення органічними сполуками / Sensitive to light toxicants; suitable for organic compound contamination.
10.	Люцерна посівна (<i>Medicago sativa</i> L.)	Cd, Cu, хлороорганічні сполуки / Cd, Cu, organochlorine compounds	Показник загального стану ґрунтового біоценозу; висока толерантність / Indicator of general soil biocenosis condition; high tolerance.
11.	Овес посівний (<i>Avena sativa</i> L.)	Важкі метали, бензол, розчинники / Heavy metals, benzene, solvents	Рекомендований для промислових зон; добре виявляє токсичність розчинників / Recommended for industrial zones; effective in detecting solvent toxicity.
12.	Щириця звичайна (<i>Amaranthus retroflexus</i> L.)	Нітрати, фосфати, промислові відходи / Nitrates, phosphates, industrial waste	Біомасу використовують для аналізу накопичення шкідливих речовин; перспективний для моніторингу аграрного навантаження / Biomass used for analyzing harmful substance accumulation; promising for agricultural load monitoring.

Продовження таблиці 1/ Continuation of table 1			
13.	Маршанція мінлива (<i>Marchantia polymorpha</i> L.)	Важкі метали (Pb, Al, Zn), радіація / Heavy metals (Pb, Al, Zn), radiation	Надзвичайно чутливий до свинцю; використовується у біомоніторингу міських ландшафтів./ Extremely sensitive to lead; used in biomonitoring of urban landscapes.
14.	Чина весняна (<i>Lathyrus vernus</i> L.)	As, Sb, Cr, сірчисті сполуки / As, Sb, Cr, sulfur compounds	Рідкісний індикатор для елементів-металоїдів; рекомендований для гірничопромислових районів./ Rare indicator for metalloid elements; recommended for mining areas.

біомоніторингу урбанізованих та деградованих територій.

Як українські, так і зарубіжні джерела демонструють високий рівень розвитку підходів до біоіндикації та біотестування [11]. Вітчизняні вчені переважно зосереджені на фітоіндикації, аналізі ґрунтів агроландшафтів та промислово-забруднених зон, тоді як зарубіжні дослідники доповнюють методіку мікробіологічними та молекулярними підходами. Важливим трендом є комплексна інтеграція методів для підвищення достовірності результатів екологічного моніторингу. Усі дослідження підтверджують ефективність такого підходу як недорогого, швидкого й екологічно орієнтованого інструменту оцінювання стану ґрунтів.

З погляду нормативного регулювання, у практиці біоіндикації застосовується низка міжнародних підходів. Стандарт ISO 18512:2007 [12] містить керівництво з визначення біологічної активності в ґрунтах, а ASTM E1963-09 (оновлений у 2014) забезпечує чіткий алгоритм оцінки. Методики, рекомендовані OSED, передбачають використання тестів на проростання насіння та інших рослинних реакцій як стандартних у визначенні токсичності: "OECD Guidelines for the Testing of Chemicals. Section 2: Effects on Biotic Systems Test 208 Terrestrial Plant Test: Seedling Emergence and Seedling Growth Test. OECD Publishing" (2006).

Українські методичні підходи адаптовано до вимог європейських екостандартів, що дозволяє інтегрувати вітчизняні дослідження у глобальне середовище наукових даних.

Дослідження на території з різними типами забруднювачів має важливе значення для моніторингу стану навколишнього середовища; розробки заходів щодо рекультивациі та охорони ґрунтів; забезпечення екологічної безпеки регіону; підвищення обізнаності громади про реальний стан довкілля. Використання насіння капусти городньої (*Brassica oleracea* L.), перцю солодкого (*Capsicum*

annuum L.) та редису посівного (*Raphanus sativus* L.) як тест-об'єктів є обґрунтованим вибором, оскільки ці культури мають високу біочутливість до різних видів забруднення і швидко реагують на несприятливі зміни у навколишньому середовищі. Дослідження морфологічних параметрів проростків (довжини кореня, пагону, маси, відсотка проростання) дозволить не лише якісно виявити забруднення, а й кількісно оцінити ступінь його впливу.

Метою дослідження є визначення фітотоксичного ефекту ґрунту на земельних ділянках з різними видами антропогенного забруднення (сміттєзвалище, узбіччя дороги, поле сільськогосподарського підприємства з інтенсивною агрохімією) методом пророщування насіння капусти, перцю та редису з порівнянням результатів із зразками контрольної присадибної ділянки.

Завдання дослідження:

- відбирання ґрунтових зразків чорнозему глибокого малогумусного з території поблизу сміттєзвалища, узбіччя дороги, сільськогосподарського підприємства та контрольної присадибної ділянки;

- визначення рН ґрунтового розчину;

- підготовка насіння капусти, перцю та редису і забезпечення однакових умов пророщування;

- визначення кількісних показників: кількості пророслого насіння; довжини кореня та пагонів; маси проростків;

- виявлення морфологічних змін проростків, характерних для кожної ділянки;

- аналіз отриманих результатів з метою виявлення ступеня токсичності ґрунтів;

- надання рекомендацій щодо використання методів біотестування щодо оцінювання екологічного стану ґрунтів села Стадниця Вінницької міської територіальної громади.

Передбачається зниження показників: рН ґрунтового розчину; рівня проростання насіння; довжини кореня, пагону та маси

проростків капусти, перцю і редису на грунтах, відібраних поблизу сміттєзвалища, узбіччя дороги та сільськогосподарського підприємства з інтенсивною агрохімією, у порівнянні з контрольним ґрунтом присадибної ділянки.

Об'єкти та методи дослідження

Об'єктом дослідження є чорнозем глибокий малогумусний села Стадниця Вінницької міської територіальної громади. Для виконання поставленої задачі закладено чотири пробні ділянки, які знаходяться поблизу джерел різного антропогенного впливу (рис. 1) та визначено рН водного розчину з використанням вимірника кислотності Venetech GM765.

1. Стадницький полігон твердих побутових відходів (ПД1) – джерело органічного та змішаного хімічного забруднення,

Також очікується, що рослини продемонструють характерні морфологічні ознаки токсичного стресу (скручування листя, побіління країв, деформація кореня) на забруднених ділянках.

розташований на території Стадницької сільської ради (7-й кілометр Турбівського шосе у Вінницькому районі) за межами населеного пункту. Значення рН ґрунтового розчину – 4,9.

2. Сільськогосподарське поле з інтенсивною агрохімією (ПД2) розташоване на сході Стадницької сільської ради; використовується для вирощування с/г культур із застосуванням мінеральних добрив та пестицидів. Значення рН ґрунтового розчину – 5,4.



Рис. 1 – Місця відбору проб ґрунту (растр публічної кадастрової карти; QGIS)

КД – agricultural land plot; ПД 1 – Stadiytsya solid waste landfill;
ПД 2 – agricultural field with intensive agrochemicals; ПД 3 – agricultural land. Roadside of the road

Fig. 1 – Soil sampling locations (raster of the public cadastral map; QGIS)

3. Узбіччя автомобільної дороги (ПД3) – ділянка вздовж траси Стадниця – Вінниця, зона впливу транспортної магістралі (свинець, бензол, сажа, залишки паливно-

мастильних матеріалів). Значення рН ґрунтового розчину – 4,5.

4. Контрольна ділянка (КД) – умовно чиста присадибна територія, віддалена від

основних джерел техногенного навантаження. Значення рН ґрунтового розчину – 6,8.

Для визначення фітотоксичного ефекту чорнозему глибокого малогумусного застосовано метод біотестування з використанням пророщеного насіння 20 штук на кожен зразок у п'яти повтореннях в лабораторних умовах [13–14]. Обрані рослини характеризуються чутливістю до широкого спектра забруднювачів (табл. 1):

1. Капуста білоголова (*Brassica oleracea* L.) ефективно реагує на Pb, Cd та інші важкі метали;

2. Перець солодкий (*Capsicum annuum* L.) – чутливий до пестицидів, важких металів, органічних сполук;

3. Редис посівний (*Raphanus sativus* L.) швидко реагує на гербіциди, нафтохімічні забруднювачі, важкі метали. Зразки ґрунтів відбиралися з верхнього горизонту (0–20 см) [13] у період з травня по вересень 2024 року. Висушені зразки використовувалися для постановки лабораторного дослідження: на

попередньо зволожений шар ґрунту висівалося 20 насінин кожного виду рослин у п'яти повтореннях на кожному зразку [14, 15]. Паралельно висівалося насіння на контрольний ґрунт з присадибної ділянки. Через 7 діб оцінювали наступні показники:

- кількість пророслих насінин;
- довжина кореня та підземної частини;
- візуальні зміни у формі проростків (аномалії, затримка росту);
- фітотоксичний ефект [14,].

Оцінку токсичності субстратів проведено за п'ятибальною шкалою (табл. 2)

Для підвищення об'єктивності результатів проведено статистичну обробку даних з використанням t-критерію Стьюдента ($p < 0,05$) та коефіцієнтів варіації [17–19].

Дані результатів зіставлялися між контрольним і дослідними зразками для виявлення токсичності ґрунту [20]. Інтегральний фітотоксичний ефект розраховано як середнє арифметичне показників для насіння рослин всіх видів на кожній ділянці [21].

Таблиця 2

Шкала рівнів токсичності ґрунтів [14]

Table 2

Soil toxicity level scale [14]

Рівні пригнічення ростових процесів (фітотоксичний ефект),% / Levels of growth inhibition (phytotoxic effect),%.	Рівень токсичності / Toxicity level
0–20	Відсутність або слабкий рівень (I) / Absence or low level (I)
20,1–40	Середній рівень (II) / Medium level (II)
40,1 – 60	Вище середнього рівня (III) / Above medium level (III)
60,1–80	Високий рівень (IV) / High level (IV)
80,1–100	Максимальний рівень (V) / Maximum level (V)

Результати досліджень

Чорнозем глибокий малогумусний – це підтип чорноземів, що формується переважно в умовах недостатнього зволоження, вміст гумусу (3–4%), рН зазвичай нейтральний або слаболужний: 6,8–7,2. Зниження показників рН ґрунтового розчину свідчить про погіршення фізико – хімічних властивостей [16, 17, 22].

Для виконання поставленої задачі відібрано насіння капусти білоголової, перцю солодкого і редису посівного та визначений фітотоксичний ефект ґрунтів, зібраних поблизу сміттєзвалища, сільськогосподарського поля з інтенсивною агрохімією, узбіччя автомобільної дороги (табл. 3–5).

Ґрунт біля сміттєзвалища виявив високий фітотоксичний ефект для всіх культур (табл. 3): ФЕ для капусти: 61,5–65,5 %, для перцю: 61,7–69,6 % (особливо сильне пригнічення росту кореня), для редису ФЕ понад 61,4–63,3 % за довжиною кореня та паростка, це свідчить про забруднення важкими металами, органікою, мікропластиком. Інтегральний ФЕ ґрунтів ПДІ – вище середнього рівня (III).

Ґрунт із сільськогосподарського поля (табл. 4) показав, в основному, середній рівень фітотоксичності: 29,9–35,9%. Найбільшу чутливість виявлено у коріння та паростків перцю солодкого, фітотоксичний

Таблиця 3

Результати біотестування ґрунтів Стадницького полігону твердих побутових відходів

Table 3

Results of biotesting of soils of the Stadnytskyi solid household waste landfill

Назва виду (ПД1) / Species name (TS1)	Фітотоксичний ефект (ФЕ) / Phytotoxic effect (PE), %; $\Delta \pm 1,76\%$				
	Проростання/ Germination	Довжина кореня / Root length	Довжина паростка / Sprout length	Маса паростка / Shoot mass	Інтегральний ФЕ / Integral PE
	Рівень токсичності/ Level of toxicity				
Капуста білоголова (<i>Brassica oleracea</i> L.)	47,4 III	61,5 IV	65,5 IV	53,1 III	56,9 III
Перець солодкий (<i>Capsicum annuum</i> L.)	44,4 III	69,6 IV	61,7 IV	60,7 IV	59,1 III
Редис посівний (<i>Raphanus sativus</i> L.)	43,9 III	61,4 IV	63,3 IV	51,4 III	55,0 III

Таблиця 4

Результати біотестування ґрунтів сільськогосподарського поля з інтенсивною агрохімією

Table 4

Results of biotesting of soils of an agricultural field with intensive agrochemistry

Назва виду (ПД1) / Species name (TS2)	Фітотоксичний ефект (ФЕ) / Phytotoxic effect (PE), %; $\Delta \pm 1,76\%$				
	Проростання/ Germination	Довжина кореня / Root length	Довжина паростка/ Sprout length	Маса паростка/ Shoot mass	Інтегральний ФЕ / Integral PE
	Рівень токсичності/ Level of toxicity				
Капуста білоголова (<i>Brassica oleracea</i> L.)	21,0 II	38,4 II	39,6 II	31,3 II	32,6 II
Перець солодкий (<i>Capsicum annuum</i> L.)	22,2 II	42,3 III	46,8 III	32,2 II	35,9 II
Редис посівний (<i>Raphanus sativus</i> L.)	18,4 II	35,7 II	36,7 II	28,6 II	29,9 II

Таблиця 5

Результати біотестування ґрунтів узбіччя автомобільної дороги

Table 5

Results of biotesting of soils of a roadside of a highway

Назва виду (ПД1) / Species name (TS3)	Фітотоксичний ефект (ФЕ) / Phytotoxic effect (PE), %; $\Delta \pm 1,76\%$				
	Проростання/ Germination	Довжина кореня / Root length	Довжина паростка/ Sprout length	Маса паростка/ Shoot mass	Інтегральний ФЕ / Integral PE
	Рівень токсичності/ Level of toxicity				
Капуста білоголова (<i>Brassica oleracea</i> L.)	36,8 II	50,8 III	53,4 III	48,8 III	47,5 III
Перець солодкий (<i>Capsicum annuum</i> L.)	55,6 III	51,9 III	53,2 III	50,0 III	52,7 III
Редис посівний (<i>Raphanus sativus</i> L.)	33,7 II	50,0 III	51,7 III	42,9 III	44,6 III

ефект вище середнього. Найменш пригнічено проростання редису посівного – 81,6%, але подальше зростання паростка й кореня сповільнено, що вказує на залишки пестицидів, гербіцидів, надмірне удобрення або мінеральне виснаження ґрунту. Інтегральний ФЕ ПД2 – середній (II).

Ґрунт біля узбіччя дороги (табл. 5) має фітотоксичний ефект вище середнього (III). Імовірна причина – накопичення солей важких металів та паливно-мастильних речовин від автотранспорту. Найбільш стійким виявився редис з динамікою проростання 66,3%. Інтегральний ФЕ ґрунтів ПДЗ – вище середнього (III).

Контрольна проба підтвердила відсутність фітотоксичної дії: проростання на рівні 90,0–98,0%, морфометричні показники відповідають видовим особливостям рос-

лин. Такий ґрунт можна вважати безпечним для вирощування с/г культур.

Візуальні зміни у формі паростків наявні на всіх забруднених ділянках (табл. 6). Найбільшу чутливість до забруднення проявили коріння та паростки пророщеного насіння перцю солодкого, тому можна рекомендувати для визначення стану ґрунту території.

Розраховані середні значення фітотоксичного ефекту показали забрудненість, в основному, вище середнього рівня, тому землі поблизу сміттєзвалища не потрібно використовувати для вирощування харчових продуктів до проведення повної рекультивациі та хімічного аналізу. Вздовж доріг висаджувати лише нехарчові культури (декоративні, технічні), застосовувати зелені насадження між дорогою та земельними ділянками під городництвом, контролювати вміст

Таблиця 6

Візуальні зміни у формі паростків

Table 6

Visual changes in the shape of seedlings

Назва виду/ Type of plant	Контрольна ділянка/ Control plot	Сміттєзвалище/ Landfill	С/Г поле/ Agricultural field	Узбіччя дороги/ Roadside
Капуста білоголова (<i>Brassica oleracea</i> L.)	Високий відсоток проростання, рівне зелене листя, довгий корінь/ High germination rate, uniformly green leaves, long root	Затримка проростання, корінь укорочений, побіління країв листків / Delayed germination, shortened root, leaf edge whitening	Проростання уповільнене, листя блідо-зелене, корінь деформований / Slowed germination, pale green leaves, deformed root	Затримка росту, листя скручене, поява темних плям / Growth delay, curled leaves, appearance of dark spots
Перець солодкий (<i>Capsicum annuum</i> L.)	Достатньо високий відсоток проростання, міцні паростки/ Fairly high germination rate, strong seedlings	Низький відсоток проростання, потоншення кореня, жовтувате листя / Low germination rate, root thinning, yellowish leaves	Помірна затримка росту, скручування листків/ Moderate growth delay, leaf curling	Значне пригнічення росту, майже повна відсутність вторинних коренів / Significant growth suppression, almost complete absence of secondary roots
Редис посівний (<i>Raphanus sativus</i> L.)	Швидке проростання, зелений колір листів/ Rapid germination, green leaf color	Низький відсоток проростання, карликові паростки, деформація кореня/ Low germination rate, dwarf seedlings, root deformation	Нерівномірний ріст, зменшення товщини стебла, листя з білими плямами / Uneven growth, reduced stem thickness, leaves with white spots	Затримка росту, листя закручене / Growth delay, twisted leaves

важких металів Cd, Pb, Zn. Сільськогосподарські поля потребують аналізу залишкової

кількості пестицидів, періодичне оновлення сівозмін, використання сидератів,

застосування біологічних засобів захисту рослин. Отримані результати можна використовувати для моніторингу ґрунтів у межах

громади, у школах в якості екологічної освіти як спосіб залучення учнів до екологічних досліджень.

Висновки

Здійснено оцінку фітотоксичності ґрунтів, відібраних з чотирьох ділянок з різними видами антропогенного забруднення: контрольної (присадибної), поблизу сміттєзвалища, сільськогосподарського поля, узбіччя автомобільної дороги. Випробування проводилися з використанням насіння капусти білоголової (*Brassica oleracea* L.), перцю солодкого (*Capsicum annuum* L.), редису посівного (*Raphanus sativus* L.), що дало змогу простежити зміни біометричних показників рослин у відповідь на різні види забруднення.

Усі дослідні зразки продемонстрували певну ступінь пригнічення росту, вираженого у зменшенні довжини коренів і паростків, їх маси та зниженні відсотка проростання насіння. Найвищу фітотоксичність за всіма показниками зафіксовано для ґрунту відібраного поблизу сміттєзвалища (ФЕ – 69,6%), що свідчить про сильне пригнічення розвитку рослин. Такі результати можуть бути зумовлені наявністю важких металів, органічних забруднювачів та токсичних сполук, що характерно для сміттєвих полігонів.

Помірне пригнічення росту рослин спостерігається у зразках з сільськогосподарського поля. Незважаючи на відносно високу кількість пророслого насіння (79,0–81,6%), подальше зростання проростків та їхня маса поступалися контрольним зразкам, що може свідчити про забруднення пестицидами, гербіцидами або про надмірне внесення мінеральних добрив.

Ґрунт біля узбіччя автомобільної дороги з фітотоксичним ефектом вище середнього. Ймовірною причиною пригнічення є

накопичення важких металів, які потрапляють з вихлопними газами.

Контрольний зразок, відібраний на присадибній ділянці, продемонстрував стабільні біологічні показники, високе проростання насіння (90,0–98,0%) та розвинену морфологію паростків, що свідчить про сприятливі умови для росту та відсутність токсичних речовин.

За показником інтегрального ФЕ ґрунти пробних ділянок щодо забруднення складають низхідний ряд: Стадницький полігон твердих побутових відходів → узбіччя автомобільної дороги → сільськогосподарське поле з інтенсивною агрохімією.

Потрібно зазначити, що на всіх забруднених ділянках у шарі 0–20 см сформувався кисле ґрунтове середовище рН 4,5–5,4. При таких показниках більшість поживних елементів стають важкодоступними для рослин. Найбільшу чутливість до забруднення проявило насіння перцю солодкого (*Capsicum annuum* L.).

Таким чином, результати дослідження підтвердили, що біотестування є ефективним методом первинного екологічного моніторингу. Ґрунти поблизу сміттєзвалища та автомобільних доріг потребують рекультивациі, обмеження у сільськогосподарському використанні або впровадження буферних захисних зон. Ґрунти сільськогосподарського поля – екологічно нестабільні та потребують перегляду агрохімічної практики. Метод може бути рекомендований для систематичного застосування як у наукових цілях так і для потреб громади та закладів освіти.

Конфлікт інтересів

Дослідження виконано за завданням ІНДР №0124U005186.

Автор заявляє, що конфлікту інтересів щодо публікації цього рукопису немає. Крім того, автор повністю дотримувався етичних норм, включаючи плагіат, фальсифікацію даних та подвійну публікацію.

Список використаної літератури

1. Дослідження Агентства з охорони навколишнього середовища США. EPA. URL: <https://www.epa.gov/research/research-topics> (дата звернення: 25.04.2025).
2. Кукурудзяк К.В., Бригас О.П., Тертична О.В. Біоіндикація родючості ґрунтів Центрального Лісостепу. *Агроекологічний журнал*. 2016. №4. С. 44–50. doi.org/10.33730/2077-4893.4.2016.271224

3. Симочко Л.Ю., Симочко В.В., Дем'янюк О.С. Біоіндикація і біотестування ґрунтів – сучасні методичні підходи. *Науковий вісник Ужгородського університету*. Серія: Біологія. 2017. Вип.42. С. 77–8. URL: <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/20524>.
4. Тверда О.Я., Косяк І.В. Обґрунтування вибору рослинних тест-систем для оцінки токсичності ґрунтів прилеглих територій гранітних кар'єрів. *Вісник НТУУ «КПІ»*. Серія: Гірництво. 2017. №33. С. 79–85. doi.org/10.20535/2079-5688.2017.33.101742
5. Притула Н.М. Біоіндикація. Запоріжжя: ЗНУ, 2020. 141 с. URL: <https://dspace.znu.edu.ua/jspui/handle/12345/3296> (дата звернення: 16.04.2025).
6. Симочко Л.Ю., Дем'янюк О.С. Біоіндикація ґрунту несанкціонованих сміттєзвалищ у Карпатському регіоні. *Агроекологічний журнал*. 2020. №1. С. 55–60. URL: <https://journalagroeco.org.ua/article/view/234453> (дата звернення: 16.04.2025).
7. Боднрюк Р.М., Шкоба Ж.В., Савула М.М. Біоіндикація примагістрального ґрунту рослинними тест-системами. Актуальні проблеми біологічних та агроекологічних досліджень у Карпатському регіоні: матеріали VII міжнар. наук. конф. молодих учених та студентів, 26–27 жовтня 2023 р. Ужгород: УжНГУ, 2023. С. 75–76. URL: <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/57093> (дата звернення: 17.04.2025).
8. Бессонова В.П. Фітоіндикація та фітомоніторинг. Навчальний посібник. Дніпровський державний аграрно-економічний університет. Дніпро: Герда, 2024. 206 с. URL: <https://surl.li/xihilo> (дата звернення: 18.04.2025).
9. Dahiya, U.R., Das, J., Bano, S. (2022). Biological Indicators of Soil Health and Biomonitoring. In: Malik, J.A. (eds) *Advances in Bioremediation and Phytoremediation for Sustainable Soil Management*. Springer, Cham. pp 327–347. doi.org/10.1007/978-3-030-89984-4_21
10. Dervash, M.A., Yousuf, A., Bhat, M.A., Ozturk, M. (2024). Bioindicators: The Eco-sensors for Detecting Soil Pollution. In: *Soil Organisms. SpringerBriefs in Microbiology*. Springer, Cham. pp 47–62. doi.org/10.1007/978-3-031-66293-5_5
11. Сараненко І.І., Шадура К.О. Вплив вихлопних газів автотранспорту на генеративні органи представників роду *Acer L.* *Екологічні науки*. К.: ДЕА, 2021. №6 (39). С. 122–126. doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.6-39.20
12. ДСТУ ISO 18512:2014. Якість ґрунту. Настанови щодо довго- та короткострокового зберігання зразків ґрунту (ISO 18512:2007, IDT). Дата початку дії: 01.07.2015. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=110863 (дата звернення: 21.04.2025).
13. ДСТУ ISO 10381-6:2015. Якість ґрунту. Відбирання проб. Частина 6. Настанови з відбирання, оброблення та зберігання ґрунту в аеробних умовах для лабораторного оцінювання мікробіологічних процесів, біомаси та різноманіття (ISO 10381-6:2009, IDT). Дата початку дії: 01.04.2016. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=73209 (дата звернення: 23.04.2025).
14. EN ISO 18763:2020 (Main) Soil quality - Determination of the toxic effects of pollutants on germination and early growth of higher plants (ISO 18763:2016. *Standards.iteh.ai*. URL: <https://surl.lu/eqorlj> (дата звернення: 24.04.2025).
15. ISO 16198:2015 Soil quality — Plant-based test to assess the environmental bioavailability of trace elements to plants. *Iso.org*. URL: <https://www.iso.org/obp/ui/ru/#iso:std:iso:16198:ed-1:v1:en> (дата звернення: 24.04.2025).
16. Притула Н.М. Біоіндикація: методичні рекомендації до лабораторних робіт для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності «Екологія» освітньо-професійної програми «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування». Запоріжжя: ЗНУ, 2019. 71 с.
17. Біоіндикація та біотестування: методичні вказівки до проведення контроль-коловіуму для студентів з галузі знань 10 Природничі науки за спеціальністю 101 «Екологія» / уклад. О.М. Крайнюков, І.А. Кривицька. Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2023. 24 с. URL: <https://ekhnuir.karazin.ua/server/api/core/bitstreams/65716ed7-ee09-4846-ac26-43e5e80c6ffb/content> (дата звернення: 23.04.2025).
18. Критерій Стюдента в Microsoft Excel. *DAAD.org.ua*. URL: <https://daad.org.ua/8181-rozrakhunok-kriteriyu-styudenta-v-excel.html> (дата звернення: 23.04.2025).
19. Розрахунок коефіцієнта варіації в Microsoft Excel. *DAAD.org.ua*. URL: <https://daad.org.ua/8112-yak-rozrakhuvati-koefitsiyent-variatsiyi-v-excel.html> (дата звернення: 23.04.2025).
20. Seyhan M., Yuzbasioglu E., Dalyan E., Akpinar I., Unal M. Genotoxicity and antioxidant enzyme activities induced by the captan fungicide in the root of bell pepper (*Capsicum annuum L. var. grossum L. cv. Kandil*). *Trakya University Journal of Natural Sciences*, 20(2): 97–103, 2019. <https://doi.org/10.23902/trkjnat.546647>
21. Біотестування токсичності ґрунтів НПП «Кам'янська Січ» з використанням рослинних тест-систем. *Екологія. Право. Людина*. 2024. URL: <https://surl.lu/tssoor> (дата звернення: 24.04.2025).

22. Методичні рекомендації до виконання практичних робіт з курсу «Ґрунтознавство»: для здобувачів вищої освіти спеціальності 205 «Лісове господарство» / укл. М. Салюк. Ужгород: ДВНЗ "УжНУ", 2022. 60 с. URL: <https://surl.lj/balfvz> (дата звернення: 25.04.2025)

Стаття надійшла до редакції 22.04.2025

Стаття рекомендована до друку 29.05.2025

I. I. SARANENKO, PhD (Biology), Associate Prof.
Associate Professor of the Department of Geography and Ecology
e-mail: saranenkoinna@gmail.com ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-6152-7290>
Kherson State University,
14, Shevchenka Str., Ivano-Frankivsk, 76018, Ukraine

SOIL PHYTOTOXICITY ASSESSMENT WITH DIFFERENT TYPES OF ANTHROPOGENIC POLLUTION

Purpose. Determination of soil phytotoxicity in various sites through bioassay using seeds of garden cabbage (*Brassica oleracea* L.), common bell pepper (*Capsicum annuum* L.), and garden radish (*Raphanus sativus* L.).

Methods. Analytical, field research, biotesting, statistical.

Results. It was found that the test site near the landfill is heavily polluted: the phytotoxic effect (PE) reaches 69,6%, indicating significant growth suppression, with soil solution pH of 4,9. The soil along the roadside is polluted above the average level, showing a maximum PE of 53,4% for sweet pepper seed germination, with a pH of 4,9. The sample from the agricultural field showed a moderate phytotoxic effect, with a pH of 5,4. The control site showed a high germination rate without signs of phytotoxicity, with a pH of 4,9. In all contaminated areas, an acidic soil environment with pH 4,5–5,4 was formed in the 0–20 cm layer. At such values, most nutrients become poorly available to plants. Characteristic morphological signs of toxic stress are observed: leaf curling, edge whitening, and root deformation. The greatest sensitivity to contamination was shown by sweet pepper seeds (*Capsicum annuum* L.).

Conclusions: It were indicated that technogenically loaded soils have a negative impact on seed germination and further development. Biotesting proved to be an effective method of preliminary bioindicative monitoring of soil conditions and can be recommended for use in communities and educational institutions to identify hidden environmental threats.

KEYWORDS: biotesting, cabbage, capsicum, radish, morphological parameters of sprouts, pH of soil solution, phytotoxic effect

Conflict of interest

The study was carried out under the research work No. 0124U005186.

The author declares no conflict of interest regarding the publication of this manuscript. Furthermore, the author has fully adhered to ethical norms, including avoiding plagiarism, data falsification, and duplicate publication.

References

1. United States Environmental Protection Agency (EPA). (n.d.). *Research topics*. Retrieved April 25, 2025, from <https://www.epa.gov/research/research-topics>
2. Kukurdziak, K. V., Bryhas, O. P., & Tertychna, O. V. (2016). Bioindication of soil fertility in the Central Forest-Steppe. *Agroecological Journal*, (4), 44–50. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2016.271224> (in Ukrainian).
3. Symochko, L. Yu., Symochko, V. V., & Dem'ianiuk, O. S. (2017). Bioindication and biotesting of soils – modern methodological approaches. *Scientific Bulletin of Uzhhorod University. Series: Biology*, (42), 77–78. Retrieved from <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/20524> (in Ukrainian).
4. Tverda, O. Ya., & Kosiak, I. V. (2017). Justification for the selection of plant test systems to assess the toxicity of soils of granite quarry surroundings. *Bulletin of NTUU "KPI". Series: Mining*, (33), 79–85. <https://doi.org/10.20535/2079-5688.2017.33.101742> (in Ukrainian).
5. Prytula, N. M. (2020). *Bioindication: A textbook*. Zaporizhzhia: ZNU. Retrieved from <https://dspace.znu.edu.ua/jspui/handle/12345/3296> (in Ukrainian).

6. Symochko, L. Yu., & Dem'ianiuk, O. S. (2020). Bioindication of soil of unauthorized landfills in the Carpathian region. *Agroecological Journal*, (1), 55–60. Retrieved from <https://journalagroeco.org.ua/article/view/234453> (in Ukrainian).
7. Bodnriuk, R. M., Shkoba, Zh. V., & Savula, M. M. (2023). Bioindication of roadside soil by plant test systems. In *Current Issues of Biological and Agroecological Research in the Carpathian Region: Proceedings of the 7th International Scientific Conference of Young Scientists and Students, October 26–27, 2023* (pp. 75–76). Uzhhorod: UzhNU. Retrieved from <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/57093> (in Ukrainian).
8. Bessonova, V. P. (2024). *Phytoindication and phytomonitoring: A textbook*. Dnipro: Herda. Retrieved from <https://surl.li/xihilo> (in Ukrainian).
9. Dahiya, U. R., Das, J., & Bano, S. (2022). Biological indicators of soil health and biomonitoring. In J. A. Malik (Ed.), *Advances in bioremediation and phytoremediation for sustainable soil management* (pp. 327–347). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-89984-4_21
10. Dervash, M. A., Yousuf, A., Bhat, M. A., & Ozturk, M. (2024). Bioindicators: The eco-sensors for detecting soil pollution. In *Soil Organisms* (pp. 47–62). SpringerBriefs in Microbiology. https://doi.org/10.1007/978-3-031-66293-5_5
11. Saranenko, I. I., & Shadura, K. O. (2021). The effect of vehicle exhaust gases on the generative organs of Acer L. species. *Ecological Sciences*, (6)39, 122–126. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.6-39.20> (in Ukrainian).
12. DSTU ISO 18512:2014. (2015). *Soil quality. Guidance on long and short term storage of soil samples (ISO 18512:2007, IDT)*. Retrieved April 21, 2025, from https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=110863 (in Ukrainian).
13. DSTU ISO 10381-6:2015. (2016). *Soil quality. Sampling. Part 6. Guidance on the collection, handling and storage of soil under aerobic conditions for the assessment of microbiological processes, biomass and diversity (ISO 10381-6:2009, IDT)*. Retrieved April 23, 2025, from https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=73209 (in Ukrainian).
14. EN ISO 18763:2020 (Main) Soil quality – Determination of the toxic effects of pollutants on germination and early growth of higher plants (ISO 18763:2016. *Standards.iteh.ai*. Retrieved from <https://surl.lu/eqorlj>
15. ISO 16198:2015 Soil quality – Plant-based test to assess the environmental bioavailability of trace elements to plants. *Iso.org*. Retrieved from <https://www.iso.org/obp/ui/ru/#iso:std:iso:16198:ed-1:v1:en>
16. Prytula, N. M. (2019). Bioindication. Zaporizhzhia: ZNU. (in Ukrainian).
17. Krainiukov, O. M., & Kryvytska, I. A. (2023). Bioindication and biotesting. Kharkiv: V.N. Karazin Kharkiv National University. Retrieved from <https://surl.li/jxpoj1> (in Ukrainian).
18. DAAD.org.ua. (2023). Student's t-test in Microsoft Excel. Retrieved from <https://daad.org.ua/8181-roz-rakhunok-kriteriyu-styudenta-v-excel.html> (in Ukrainian).
19. DAAD.org.ua. (2023). Calculation of the coefficient of variation in Microsoft Excel. Retrieved from <https://daad.org.ua/8112-yak-rozrakhuvati-koefitsiyent-variatsiyi-v-excel.html> (in Ukrainian).
20. Seyhan, M., Yuzbasioglu, E., Dalyan, E., Akpinar, I., & Unal, M. (2019). Genotoxicity and antioxidant enzyme activities induced by the captan fungicide in the root of bell pepper (*Capsicum annuum* L. var. grossum L. cv. Kandil). *Trakya University Journal of Natural Sciences*, 20(2), 97–103. <https://doi.org/10.23902/trkjnat.546647>
21. Ecology. Law. Human. (2024). Biotesting of soil toxicity in Kamianska Sich National Nature Park using plant test systems. Retrieved from <https://surl.lu/tssoor> (in Ukrainian).
22. Saliuk, M. (Ed.). (2022). Methodical recommendations for practical works in Soil Science course for higher education students majoring in 205 Forestry. Uzhhorod: UzhNU. Retrieved from <https://surl.lu/balfvz> (in Ukrainian).

The article was received by the editors 22.04.2025

The article is recommended for printing 29.05.2025