

УДК 631.453:631.427.1(477.54)

Оцінка фітотоксичності орних ґрунтів Валківської громади за різними методичними підходами ¹

Ф. Ф. Коваль

Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського», Харків, Україна

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 18.11.2025 Отримано після доопрацювання 08.12.2025 Затверджено до видання 26.12.2025 Доступно онлайн 30.12.2025	У статті обґрунтовано актуальність біотестування в оцінюванні екологічного стану ґрунту, зокрема шляхом визначення його фітотоксичності, як одного з найбільш чутливих та інформативних інтегрованих показників наявності токсичних компонентів у ґрунтового середовищі. Завдяки індикаторній функції цей показник використовують як для виявлення локальних осередків забруднення, так і для комплексного оцінювання загального рівня антропогенного навантаження на територію. Дослідженням охоплено два типи ґрунту — чорноземи типові (Haplic Chernozems) і чорноземи опідзолені (Chernic Phaeozems). Представлено результати визначення рівня фітотоксичності орних ґрунтів на території Валківської громади Харківської області з використанням двох методичних підходів — методу визначення ступеня забрудненості ґрунтів за способом Крайнюкова–Кривецької та інтегрованої методики фітотестування за Мірошніченком. Проби ґрунтів для тестування відбирали з орного шару (0–30 см). Для біотестування використовували насіння дводольних і однодольних рослин, яке пророщували впродовж 72 годин у водних витяжках із досліджуваних ґрунтів, а контрольний варіант — у дистильованій воді. Біоіндикаційні параметри визначали за морфометричними показниками проростків — довжиною пагонів та коренів, після чого розраховували різницю між довжиною у досліджуваних і контрольному варіантах, індекс пригнічення росту (I) та значення комплексних інтегрованих показників, передбачених обома методичними підходами. Шляхом порівняння ефективності двох методів, які відрізняються за принципами інтерпретації біоіндикаційних параметрів, визначено, що обидва підходи є подібними за характеристикою стану ґрунту. У підсумку зазначено, що поєднання двох методик дозволяє отримати більш повну та багатоконпонентну екологічну оцінку: спосіб Крайнюкова і Кривецької є придатним для швидкого експрес-аналізу та оперативної ідентифікації потенційно небезпечних ділянок, тоді як інтегрована методика фітотестування за Мірошніченком, завдяки більш широкому діапазону показників, забезпечує більш детальну характеристику фітотоксичності ґрунту. У сукупності дані свідчать про загалом задовільний стан ґрунтів Валківської громади з окремими проявами помірної фітотоксичності, що потребує регулярного моніторингу та подальшого аналізу можливих джерел впливу. За класифікацією ступеню токсичності у методі Крайнюкова–Кривецької більшість ґрунтів оцінено низьким або помірним рівнем токсичності, що свідчить про відсутність різко виражених локальних техногенних навантажень. За методикою Мірошніченка виявлено більш широкий діапазон варіацій параметрів інтегрованих індексів, що відображає реакцію рослин на комплексну дію факторів середовища, зокрема на загальну фітотоксичність. Зафіксовано відмінності між результатами оцінювання з використанням дводольних і однодольних культур, що підтверджує різну чутливість рослин до окремих типів токсикантів. Вказано на доцільність використання кількох тест-культур для більш об'єктивної оцінки стану ґрунтового середовища.
Ключові слова: фітотоксичність; фітотестування; індекс пригнічення росту; одnodольні; дводольні; Валківська громада; екологічний стан ґрунту.	

✉ kowalfdr@gmail.com

ORCID: 0009-0009-3667-2275

Форма цитування: Коваль Ф. Ф. Оцінка фітотоксичності орних ґрунтів Валківської громади за різними методичними підходами *Агрохімія і ґрунтознавство* : міжвідом. темат. наук. зб. / ННЦ «ІА ім. О. Н. Соколовського». Харків: 2025. Вип. 99. С. 70–82.
doi: 10.31073/acss99-08

1. Вступ

Збереження родючості ґрунтів є одним із ключових чинників сталого функціонування аграрного виробництва [1]. Стан ґрунтового покриву безпосередньо впливає на продуктивність агроєкосистем, а його деградація може призвести до зниження врожайності та викликати екологічний дисбаланс. Надмірне накопичення у ґрунтах залишків пестицидів, важких металів та інших токсикантів може зумовити істотне зниження врожайності, погіршення якості сільськогосподарської продукції й опосередковано загрожувати здоров'ю населення через трофічні ланцюги [2].

¹ Науковий керівник — д-р біол. наук, ст. н. сп. М. М. Мірошніченко

Одним із надійних біоіндикаторів екологічного стану ґрунту є його фітотоксичність — здатність завдавати шкоду стану рослин через наявність токсичних елементів або сполук [3] та з інших причин. Визначення рівня фітотоксичності ґрунту дозволяє оцінити не лише ступінь його забруднення, але й міру біологічної доступності токсикантів для рослин [4].

За даними сучасних досліджень, фітотоксичність ґрунту вважають інтегрованим показником екологічного стану ґрунтового середовища, що відображає сумарну дію антропогенних і природних факторів на біологічні об'єкти [5].

Особливості генетики та систематики ґрунтів також враховувалися у виборі тест-рослин та інтерпретації результатів фітотоксичності, що підвищує обґрунтованість порівняльної оцінки фітотоксичності за різними методичними підходами з урахуванням природних властивостей ґрунтів [6]. Порівняльний аналіз урбоземів і техногенних ґрунтів під час біотестування дає змогу оцінити антропогенний вплив на токсичність ґрунтів і розрізнити природні та штучні фактори [7]. Результати порівняльних досліджень стану ґрунтів у різних регіонах України підкреслюють необхідність регулярного моніторингу фітотоксичності для своєчасного виявлення деградаційних процесів [8].

Методичні підходи до оцінювання фітотоксичності ґрунту базуються на використанні тест-рослин для вирощування на досліджуваному ґрунті з подальшим вимірюванням фізичних параметрів проростків, визначенням їхньої біомаси та морфологічних змін [9]. Визначення фітотоксичності із використанням однодольних і дводольних рослин є доцільним, оскільки ці дві групи відрізняються морфологічними та фізіолого-біохімічними особливостями, що зумовлює різну чутливість до токсичних речовин. Дводольні рослини, характерні більш розгалуженою кореневою системою та широкою листковою пластинкою, ефективно виявляють ґрунтову та контактну токсичність, тоді як однодольні, із мичкуватою кореневою системою та високими темпами проростання, дозволяють швидко фіксувати гострий токсичний ефект і реагують на інший спектр забруднювачів. Поєднання цих тест-об'єктів забезпечує комплексність та репрезентативність оцінки, дозволяє врахувати селективність дії токсикантів і підвищує достовірність біотестування, що відповідає сучасним вимогам ґрунтово-біологічних досліджень [4].

Водночас низка дослідників наголошує на доцільності поєднання фітотестування з хімічним аналізом, що підвищує точність діагностики екотоксикологічного стану ґрунту [10]. За даними сучасних досліджень, рівень фітотоксичності визначають як інтегрований показник стану ґрунтового середовища, що відображає сумарну дію антропогенних і природних чинників [3].

Аналіз наявних методик фітотестування показує, що вони різняться за вибором тест-рослин, тривалістю експозиції, показниками оцінювання та критеріями інтерпретації результатів [11]. Так, різні види рослин мають неоднакову толерантність до конкретних токсикантів, що ускладнює зіставлення результатів і унеможливорює створення універсальної шкали токсичності [4]. З наведеного випливає, що метод визначення фітотоксичності ґрунту є перспективним, проте потребує адаптації до конкретних умов і комбінування з іншими методами оцінювання [12].

Мета статті — висвітлення результатів експерименту з визначення рівня фітотоксичності ґрунтів на землях сільськогосподарського призначення Валківської територіальної громади у Харківській області за різними методичними підходами.

2. Методи дослідження

Було застосовано два різних методичних підходи. Перший підхід (А) ґрунтується на способі визначення ступеня забрудненості ґрунтів, запропонованому О. Крайнюковим та І. Кривицькою [2]. За цією методикою оцінювання фітотоксичності ґрунту проводиться шляхом визначення ступеня пригніченості росту тест-рослин у дослідному варіанті, як процент зниження довжини рослини відносно контролю, що дозволяє оцінити рівень токсичного навантаження на ґрунтове середовище.

Другий підхід (Б) розроблено відповідно до методики, описаної у науково-методичному виданні за редакцією М. Мірошніченка [3]. Метод базується на застосуванні двох типів тест-рослин — однодольних і дводольних — що дозволяє виявити видові відмінності у чутливості до токсикантів.

Основні характеристики обох застосовуваних методів аналітичного оцінювання ступеню фітотоксичності ґрунту коротко представлено в таблиці 1.

Таблиця 1

Порівняльна характеристика застосованих методів визначення фітотоксичності ґрунту

Назва методу	Базовий принцип	Спосіб	Індикатор фітотоксичності
А Визначення ступеня забрудненості ґрунтів [2]	Визначення міри пригніченості (%) росту тест-рослин у дослідному варіанті відносно контролю	Насіння тест-рослин пророщують упродовж 72 годин у водній витяжці з досліджуваного ґрунту, а в контрольному варіанті — у дистильованій воді	Коефіцієнт токсичності ґрунту ($K_{гр}$), розрахований за різницею (%) довжини пагонів і коренів проростків порівняно з контролем
Б Визначення фітотоксичності ґрунту [3]	Інтегрована оцінка чутливості рослини за кількома морфометричними параметрами з використанням одно- і дводольних рослин		Інтегрований показник фітотоксичності (ІПФ), розрахований за 4-ма індексами (І) — схожості, енергії проростання, довжини кореня, довжини пагонів

Примітка: у цьому досліді індекси схожості та енергії проростання не враховували

Дослідженням охоплено два типи ґрунту — чорноземи типові (Haplic Chernozems) і чорноземи опідзолені (Chernic Phaeozems). У структурі ґрунтового покриву сільськогосподарських угідь Валківської громади Харківської області домінують чорноземи типові, які формують основну частку орних земель і визначають високий природний потенціал території. Чорноземи опідзолені трапляються значно рідше, утворюючи меншу частку ґрунтового масиву, переважно на ділянках із підвищеною зволоженістю та проявами слабого підзолистого процесу. Таке співвідношення узгоджується із структурою ґрунтового покриву Харківщини, де чорноземи типові становлять найбільшу частину ґрунтового покриву, а опідзолені — займають обмежені площі.

Проби ґрунту відбирали з орного шару (0–30 см) на 30-ти сільськогосподарських полях (об'єктах) території Валківської громади восени 2024 року, і на 4-х (31–34) — влітку 2025 р. Для відбирання використовували ручну лопату, що забезпечувала точне виділення ґрунту без порушення структури шару та дозволяла отримати репрезентативні проби для подальшого аналізу.

Схема відбирання проб була організована таким чином, щоб зібраний матеріал репрезентував різні типи агроєкосистем та відображав градації інтенсивності їх господарського використання: тип поля; історія його обробітку; вирощувана культура. Відбирання і підготовку проб до аналізування за обома методами здійснювали

відповідно до стандартів ДСТУ ГОСТ 17.4.3.01:2019² та ДСТУ ГОСТ 17.4.4.02:2019³, у яких регламентовано ці операції. Дотримання стандартних вимог гарантує репрезентативність проб і порівнянність результатів подальших біотестів. У процесі біотестування дотримувалися використання однорідного насіння, стандартних умов інкубації (пророщування) та порівняння результатів із контролем для кількісного визначення ступеня токсичності.

Біотестування за обома методами здійснювали із застосуванням насіння дводольної культури Гірчиця біла (*Sinapis alba*), яка характеризується високою чутливістю до токсичних елементів, та однодольної — ячменю (*Hordeum vulgare*). Насіння рослин пророщували у водних витяжках із ґрунтових проб, а в контрольному варіанті — у дистильованій воді, протягом 72 годин. Після інкубації вимірювали довжину пагонів і довжину кореневої системи. Основними тест-показниками виступають різниці між довжиною пагонів і коренів на тестовому і контрольному варіантах.

Ступінь фітотоксичності ґрунту у методі «А» визначали за коефіцієнтом забрудненості (токсичності) ґрунту (K_z), величину якого встановлювали відповідно до шкали оцінювання ступеня забрудненості через ступінь пригніченості росту, тобто, за різницею (%) довжини пагонів і коренів дослідних проростків порівняно з контролем [2]. Формула розрахунку виглядає так:

$$L = ((X_k - X_d)/X_k) \cdot 100,$$

де L — відношення довжини коренів/пагонів у досліді до контролю, %;

X_k — середнє арифметичне довжини коренів/пагонів у контролі, мм;

X_d — середнє арифметичне довжини коренів/пагонів у досліді, мм.

K_z визначали за шкалою оцінки якості ґрунту щодо забруднення (Табл. 2), де коефіцієнт «1,1» відповідає незабрудненому або екологічно безпечному ґрунту, у якому пригніченість ростових процесів не перевищує 20 %. Зі зростанням фітотоксичного ефекту величина коефіцієнта підвищується, що відображає погіршення екологічного стану ґрунтового середовища.

Таблиця 2

Класифікація якості ґрунту за ступенем забрудненості у методі А [2]

Клас якості ґрунту	Стан ґрунту за рівнем забрудненості	Рівень пригніченості ростових процесів (фітотоксичний ефект), L %	Ступінь забрудненості ґрунту, K_z
I	Незабруднений	0-20,0	1,1
II	Слабо забруднений	20,1-40,0	1,2
III	Помірно забруднений	40,1-60,0	1,3
IV	Брудний	60,1-80,0	1,4
V	Дуже брудний	80,1-100	1,5

У методі «Б» ступінь фітотоксичності ґрунту визначають за інтегрованим показником фітотоксичності (ІПФ), який інтегрує морфологічні та біофізіологічні показники росту рослин у єдиний критерій оцінки токсичності ґрунту. Формула для розрахунку ІПФ:

$$ІПФ = \sqrt[4]{I_c \times I_{en} \times I_k \times I_n}$$

де I_c — індекс схожості — відношення схожості насінин у дослідних варіантах до схожості у контрольному варіанті. Схожість — частка пророслих насінин (на 72-гу годину) від загальної кількості, %;

² ДСТУ ГОСТ 17.4.3.01:2019 (ГОСТ 17.4.3.01-2017, IDT) Охорона довкілля. Якість ґрунту. Загальні вимоги до відбирання проб. — [Втратив чинність з 01.01.2026]. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019. 8 с. с.

³ ДСТУ ГОСТ 17.4.4.02:2019 Методи відбирання та підготування проб ґрунту для хімічного, бактеріологічного, гельмінтологічного аналізу [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/gost_17_4_3_01_2019/5-1-0-1845

I_{ep} — індекс енергії проростання — відношення енергії проростання насінин у дослідних варіантах до енергії проростання у контрольному варіанті. Енергія проростання — частка пророслих насінин (на 3-ю добу) від загальної кількості, %;

I_k — індекс довжини кореня — відношення довжини кореня (мм) у дослідних варіантах до довжини у контрольному варіанті;

I_p — індекс довжини пагона — відношення довжини пагона (мм) у дослідних варіантах до довжини у контрольному варіанті.

Однак, у нашому досліді індекси токсичності за показниками схожості та енергії проростання не враховано, оскільки їхній вплив на кінцевий результат було попередньо визначено статистично незначущим.

Градації ІПФ, що пропонуються методикою для визначення ступеню фітотоксичності ґрунту, наведено у табл. 3.

Таблиця 3

Градації ступеню забруднення ґрунтів за інтегрованим показником фітотоксичності у методі Б [3]

Ступінь загальної фітотоксичності ґрунту	Інтегрований показник фітотоксичності, ІПФ
Фітотоксичність відсутня	>0,90
Слабкий	0,90-0,71
Середній	0,70-0,51
Сильний	0,50-0,31
Дуже сильний	0,30-0,16
Катастрофічний	<0,16

Таким чином, обидва методичні підходи спираються на єдину, біоіндикаційну основу — використання тест-рослин для оцінки токсичності ґрунтів, але різняться за принципами узагальнення результатів: перший орієнтується на відсоткове пригнічення росту, тоді як другий — на інтегровану оцінку чутливості за декількома морфометричними параметрами.

Визначення фітотоксичності проводили у відділі агрохімії імені акад. НААН Б. С. Носка ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського».

3. Результати та їх обговорення

3.1. Визначення фітотоксичності ґрунтів за методом А

Перед проведенням інтегрованої оцінки впливу ґрунтового середовища на тест-рослини було визначено фітотоксичність відібраних зразків за методом А, який базується на порівнянні морфометричних показників проростків у досліді та контролі. Для аналізу використовували дві групи тест-організмів — однодольні та дводольні рослини, що дало можливість комплексно оцінити чутливість різних типів культур до можливого токсичного впливу ґрунтів. У таблиці 4 наведено результати вимірювань довжини коренів і пагонів та розраховані коефіцієнти загальної фітотоксичності ($K_{зг}$) для кожного об'єкта дослідження.

Однодольні рослини. Біотестування, де як тест-культури використали однодольні рослини, показало, що у більшості досліджених проб (29 із 30) значення коефіцієнта фітотоксичності ($K_{зг}$) становили в середньому 1,1, що за класифікацією рівнів забрудненості за методом А (див. табл. 2) відноситься до категорії «незабруднений ґрунт» (різниця з контролем не перевищує 20 %). Це свідчить про відносно стабільний стан ґрунтового середовища та відсутність суттєвого негативного впливу на ріст і розвиток однодольних культур. Ці дані частково вже опубліковано раніше [13].

Таблиця 4

Показники фітотоксичності ґрунтів за методом А для однодольних і дводольних тест-рослин

№	Місце відбирання проб ґрунту (об'єкт)	Однодольні		Кзг'	Дводольні		Кзг'
		L, %			L, %		
		корені	пагони		корені	пагони	
1	ПСП "Маяк", поле 1	4,56	-10,79	1,1	-28,49	5,84	1,1
2	ПСП "Маяк", поле 2	4,45	5,62	1,1	-50,90	-31,43	1,1
3	ПСП "Маяк", поле 3	-26,29	-11,92	1,1	-51,01	-20,32	1,1
4	ФГ "Велес-В", поле 1	39,11	-10,06	1,2	-38,94	-37,94	1,1
5	ФГ "Велес-В", поле 2	36,58	3,92	1,2	-50,63	-46,77	1,1
6	ФГ "Марінда"	-20,92	-6,71	1,1	-29,48	-26,59	1,1
7	СВК "Дружба"	5,33	-14,86	1,1	-65,26	-25,78	1,1
8	ФГ "Колосок плюс"	-24,50	-0,71	1,1	-27,37	-53,14	1,1
9	С(Ф)Г "Пчелка", поле 1	-63,90	-14,74	1,1	-47,16	-24,13	1,1
10	С(Ф)Г "Пчелка", поле 2	17,15	5,17	1,1	-45,77	-49,81	1,1
11	Одноосібник	-12,06	-4,23	1,1	-34,89	1,11	1,1
12	ФОП "Коляда", поле 1	22,49	-2,05	1,2	-77,61	-77,73	1,1
13	ФОП "Коляда", поле 2	-80,55	-19,73	1,1	-52,79	-47,80	1,1
14	ФГ "Дорід"	-27,71	-13,92	1,1	-9,83	-44,87	1,1
15	ТОВ "Агрохол"	-38,23	-11,29	1,1	-10,77	-27,70	1,1
16	ФГ "Прогрес", поле 1	-73,74	-8,71	1,1	-65,35	-34,00	1,1
17	ФГ "Прогрес", поле 2	5,21	11,86	1,1	-21,74	-44,95	1,1
18	ПСП "Шарівка", поле 1	-23,70	-17,91	1,1	-55,23	-29,52	1,1
19	ПСП "Шарівка", поле 2	-16,94	-22,27	1,1	-47,80	-49,43	1,1
20	ТОВ "Омбілік", поле 1	-31,46	4,84	1,1	-34,17	-17,65	1,1
21	ТОВ "Омбілік", поле 2	-3,88	2,22	1,1	-9,76	-29,81	1,1
22	ТОВ "Омбілік", поле 3	33,73	15,47	1,2	-68,88	-37,90	1,1
23	ФГ "Кристина", поле 1	33,15	23,51	1,2	50,40	-28,38	1,3
24	ФГ "Кристина", поле 2	-52,79	-12,74	1,1	-61,00	-35,70	1,1
25	ФГ "Коваль"	0,89	-19,80	1,1	-29,40	-54,37	1,1
26	Одноосібник с. Литвинівка, поле 1	-49,88	-16,46	1,1	-53,42	-35,35	1,1
27	Одноосібник с. Литвинівка, поле 2	-28,22	-6,55	1,1	-18,70	-45,86	1,1
28	ФГ "Панасенко", поле 1	-12,15	9,40	1,1	-52,49	-44,27	1,1
29	ФГ "Панасенко", поле 2	29,30	15,96	1,2	-36,26	-54,74	1,1
30	ФГ "Панасенко", поле 3	5,20	5,56	1,1	-53,46	-35,65	1,1
31	Бараново	-43,06	-16,68	1,1			
32	Дружба, поле 1	-74,53	-0,10	1,1			
33	Дружба, поле 2	4,621	-4,623	1,1			
34	Огульчанське	-32,53	-18,04	1,1			

Примітка: L – відношення довжини коренів/пагонів у досліді до контролю, %;
Кзг' – коефіцієнт забруднення (фітотоксичності) ґрунту

Примітка: L – відношення довжини коренів/пагонів у досліді до контролю, %;

Кзг' – коефіцієнт забруднення (фітотоксичності) ґрунту

Виятком стала проба з об'єкта № 23 (поле №1 фермерського господарства «Кристина»), де спостерігали критично високий рівень фітотоксичності — 1,3, за якого довжина коренів проростків становила лише 50,4 % від контрольних значень. Такий рівень пригнічення розвитку рослин свідчить про наявність у ґрунті токсичних речовин у концентраціях, здатних значно впливати на рослинний покрив. Ймовірними джерелами локального забруднення є важкі метали, залишки агрохімікатів або пестицидів.

Дводольні рослини. Аналогічна оцінка для дводольних рослин показала, що більшість зразків ґрунту відповідали нормативам і відносилися до категорії «незабруднений ґрунт». Це свідчить про стабільний стан ґрунтового середовища на більшості обстежених територій та відсутність істотного негативного впливу землекористування на ріст і розвиток культурних рослин.

Разом із тим у шести пробах виявлено коефіцієнти фітотоксичності на рівні 1,2, що відповідає другому ступеню забруднення — «слабке забруднення» [2]. Це означає, що в окремих точках спостерігається концентрація токсичних компонентів, що перевищує природний фон, проте ще не створює критичної загрози для рослин. Такі ділянки потребують додаткового контролю та подальшого аналізу для встановлення джерел локального забруднення й запобігання його поширенню.

Висновки по результатах біотестування за методом А: порівняльний аналіз результатів для однодольних і дводольних культур засвідчив, що переважна більшість досліджених об'єктів у громаді знаходиться у безпечному для росту рослин стані, із переважно низьким рівнем фітотоксичності. Виявлені локальні зони підвищеного токсичного впливу потребують більш детального вивчення для визначення конкретних чинників забруднення та розробки заходів із відновлення й стабілізації стану ґрунтового середовища.

Для уточнення результатів біотестування за методом А та перевірки наявності статистично достовірних відмінностей між контрольними і дослідними варіантами було проведено статистичну обробку морфометричних даних із застосуванням критеріїв t-Ст'юдента та F-Фішера. Такий підхід дозволив оцінити не лише напрям і величину змін ростових параметрів, а й коректність їх порівняння з огляду на однорідність дисперсій.

У групі однодольних рослин (30 об'єктів) статистично достовірне зменшення або збільшення довжини коренів ($|t_{\text{факт}}| > 1,995$) встановлено у 30,0 % досліджених зразків, тоді як для паростка — у 33,3 % об'єктів. Водночас аналіз однорідності дисперсій показав, що нестабільність варіації довжини коренів ($F > 2,0$) спостерігалася у 6,7 % випадків, а паростків — у 10,0 %. Це свідчить, що в переважній більшості досліджень порівняння між контролем і дослідом було статистично коректним, а виявлені відмінності можна вважати надійними.

У дводольних рослин (34 об'єкти) статистично достовірну зміну довжини коренів виявлено у 58,8 % досліджених зразків, тоді як для паростків — у 26,5 % випадків. Однорідність дисперсій коренів ($F \leq 2,0$), що забезпечує коректність статистичного порівняння, встановлено у 52,9 % об'єктів. Разом із тим нестабільність дисперсій паростків ($F > 2,0$) зафіксовано у 17,6 % досліджених дводольних рослин, що потребує обережного трактування відповідних результатів.

Таким чином, статистичний аналіз даних, отриманих за методом А, показав, що в переважній частині досліджених ґрунтових зразків зміни ростових параметрів тест-рослин є достовірними. У випадках, де виявлено неоднорідність дисперсій ($F > 2,0$), отримані відмінності між контролем і дослідом слід інтерпретувати з урахуванням підвищеної мінливості показників, що може відображати нестабільний або просторово неоднорідний стан ґрунтового середовища.

3.2. Визначення фітотоксичності ґрунтів за методом Б

Далі ми здійснили розрахунки фітотоксичності ґрунтів за допомогою інтегрованої методики визначення забруднення ґрунту (Б) та методики фітотестування. У розрахунку інтегрованого показника фітотоксичності (ІПФ) не враховували множники «Іс» – схожість та «Іеп» – енергія проростання», оскільки в умовах досліду вони істотно не впливали на кінцевий результат, а також для того, щоб забезпечити більш наочне та коректне відображення даних на шкалі діаграм (Рис. 1, Рис. 2), де ключовим критерієм є ступінь забрудненості ґрунтів, $K_{зг'}$ із методу А. Результати біотестування для дводольних і однодольних рослин за методом Б наведено в таблиці 5.

Результати для однодольних рослин із використанням насіння ячменю (*Hordeum vulgare*). За отриманими даними індекс пригнічення росту (І) в основному не перевищував одиницю, що свідчить, згідно з методикою визначення ІПФ (розділ, де наведено формулу порівняння показників росту рослин у досліді та контролі), про відсутність фітотоксичності ґрунту на більшості досліджених ділянок. Це узгоджується з інтерпретацією індекса пригнічення росту (І), відповідно до якої: $I < 1$ — показники росту в досліді нижчі, ніж у контролі, що свідчить про пригнічення розвитку та наявність фітотоксичності; $I = 1$ — показники однакові, що відображає відсутність впливу (норму); $I > 1$ — показники вищі за контроль, що вказує на стимуляцію проростання або росту, часто короточасну чи компенсаторну.

Таблиця 5

Результати біотестування фітотоксичності ґрунтів за методом Б для однодольних і дводольних тест-рослин

№	Місце відбирання проб ґрунту (об'єкт)	Однодольні			Дводольні		
		Ік	Іп	ІПФ	Ік	Іп	ІПФ
1	ПСП "Маяк", поле 1	1,28	0,94	1,10	0,95	1,11	1,03
2	ПСП "Маяк", поле 2	1,51	1,31	1,41	0,96	0,94	0,95
3	ПСП "Маяк", поле 3	1,51	1,20	1,35	1,26	1,12	1,19
4	ФГ "Велес-В", поле 1	1,39	1,38	1,38	0,61	1,10	0,82
5	ФГ "Велес-В", поле 2	1,51	1,47	1,49	0,63	0,96	0,78
6	ФГ "Марінда"	1,29	1,27	1,28	1,21	1,07	1,14
7	СВК "Дружба"	1,65	1,26	1,44	0,95	1,15	1,04
8	ФГ "Колосок плюс"	1,27	1,53	1,40	1,25	1,01	1,12
9	С(Ф)Г "Пчелка", поле 1	1,47	1,24	1,35	1,64	1,15	1,37
10	С(Ф)Г "Пчелка", поле 2	1,46	1,50	1,48	0,83	0,95	0,89
11	Одноосібник	1,35	0,99	1,15	1,12	1,04	1,08
12	ФОП "Коляда", поле 1	1,78	1,78	1,78	0,78	1,02	0,89
13	ФОП "Коляда", поле 2	1,53	1,48	1,50	1,81	1,20	1,47
14	ФГ "Дорід"	1,10	1,45	1,26	1,28	1,14	1,21
15	ТОВ "Агрохол"	1,11	1,28	1,19	1,38	1,11	1,24
16	ФГ "Прогрес", поле 1	1,65	1,34	1,49	1,74	1,09	1,37
17	ФГ "Прогрес", поле 2	1,22	1,45	1,33	0,95	0,88	0,91
18	ПСП "Шарівка", поле 1	1,55	1,30	1,42	1,24	1,18	1,21
19	ПСП "Шарівка", поле 2	1,48	1,49	1,49	1,17	1,22	1,20
20	ТОВ "Омбілік", поле 1	1,34	1,18	1,26	1,31	0,95	1,12
21	ТОВ "Омбілік", поле 2	1,10	1,30	1,19	1,04	0,98	1,01
22	ТОВ "Омбілік", поле 3	1,69	1,38	1,53	0,66	0,85	0,75
23	ФГ "Кристина", поле 1	0,50	1,21	0,80	0,67	0,76	0,72
24	ФГ "Кристина", поле 2	1,61	1,36	1,48	1,53	1,13	1,31
25	ФГ "Коваль"	1,29	1,54	1,41	0,99	1,20	1,09
26	Одноосібник с Литвинівка, поле 1	1,53	1,35	1,44	1,50	1,16	1,32
27	Одноосібник с. Литвинівка, поле 2	1,19	1,46	1,32	1,28	1,07	1,17
28	ФГ "Панасенко", поле 1	1,52	1,44	1,48	1,12	0,91	1,01
29	ФГ "Панасенко", поле 2	1,36	1,55	1,45	0,71	0,84	0,77
30	ФГ "Панасенко", поле 3	1,53	1,36	1,44	0,95	0,94	0,95
31	Бараново	—	—	—	1,43	1,17	1,29
32	Дружба, поле 1	—	—	—	1,75	1,00	1,32
33	Дружба, поле 2	—	—	—	0,95	1,05	1,00
34	Огульчанське	—	—	—	1,33	1,18	1,25

Примітка: Ік, Іп – індекси довжини коренів і пагонів; ІПФ – інтегрований показник фітотоксичності

Однак у кількох випадках спостерігалися локальні прояви фітотоксичності. Зокрема, на об'єкті №1 (ПСП «Маяк», поле 1) відмічено зниження довжини пагонів порівняно з контрольними рослинами. Подібна тенденція простежувалася й на об'єкті №11 (Одноосібник), де також спостерігалось ослаблення росту пагонів. Найбільш виражене пригнічення розвитку виявлено на об'єкті №23 (ФГ «Кристина», поле 1), для якого характерне істотне зменшення довжини кореневої системи, а інтегрований показник свідчить про наявність помірного токсичного впливу ґрунтового середовища на проростки.

Інтегрований показник фітотоксичності (ІПФ) загалом вказує на переважно сприятливий екологічний стан ґрунтів, де значення ІПФ для більшості проб становило 0,91–1,00. Це свідчить про відсутність токсичності, і такі ґрунти можна вважати безпечними для росту культурних рослин. Проте, проба з об'єкту № 23 має помірний рівень фітотоксичності, що може пригнічувати розвиток чутливих рослин на ранніх етапах росту. У таких випадках рекомендується використовувати більш стійкі рослини або проводити фіторемедіацію, наприклад, висівати гірчицю білу чи фацелію, що допоможе зменшити токсичність ґрунту.

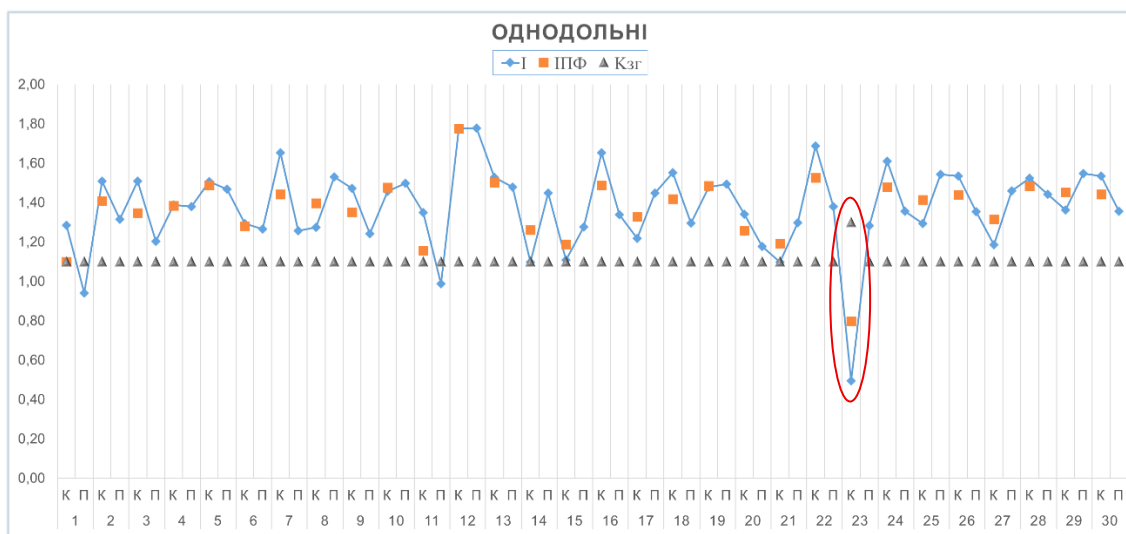
Результати для дводольних рослин із використанням насіння гірчиці білої (*Sinapis alba*) також показали, що більшість проб мають значення ІПФ в межах 0,91–

1,00, що підтверджує відсутність фітотоксичності й характеризує ґрунт як безпечний для агроєкосистем. Водночас у поодиноких випадках спостерігалось зниження індексу токсичності, що, згідно з градаціями значень ІПФ, показаними у таблиці 2, свідчить про слабкий рівень фітотоксичності ґрунту.

3.3. Порівняння двох методик

Результати визначення фітотоксичності ґрунту за двома методами для однодольних тест-рослин візуалізовано на рисунку 1 (слід зазначити, що дані для однодольних рослин вже опубліковані автором раніше [13]). Порівняння двох методик засвідчили загальну відповідність оцінок фітотоксичності, що підтверджує надійність отриманих даних. Зокрема, це свідчить про те, що обидві методики адекватно відображають вплив токсикантів на розвиток кореневої системи та пагонів однодольних рослин, забезпечуючи комплексну оцінку стану ґрунтового середовища.

Натомість за результатами аналізу проби на об'єкті № 23 інтегрованою методикою спостерігалось зниження індексу за коренями (Ik) та одночасне підвищення індексу за пагонами (Ip), що в сумі визначило інтегрований показник ІПФ на рівні, який вказує на слабкий рівень токсичності. Це свідчить про переважно несуттєвий вплив стресових факторів на проростки однодольних рослин. Такий результат підкреслює високу чутливість інтегрованого підходу до комплексного впливу різних факторів, оскільки методика одночасно враховує і розвиток кореневої системи і довжину пагонів, що забезпечує більш тонку та диференційовану оцінку стану рослин.



Позначення:

Показники оцінювання: І — індекс пригнічення росту (Ik та Ip у методі Б); ІПФ — інтегрований показник токсичності (метод Б); Кзг — коефіцієнт забрудненості ґрунту (метод А);

На вертикальній осі: значення показників оцінювання

На горизонтальній осі: К — корені; П — пагони; 1–30 — номери об'єктів

Рис. 1. Графічна візуалізація фітотоксичності ґрунтів за двома методиками. Тест-рослина — ячмінь (одnodольні).

Таким чином, на одному рисунку наочно порівнюються результати двох методів визначення фітотоксичності, де кожний метод оцінював реакцію рослин через корені і пагони проростків, що дозволяє визначити, чи спостерігаються відмінності в реакції окремих органів тест-рослини на забруднення ґрунту.

Незважаючи на відмінності у числових діапазонах та градаціях обох систем оцінювання, встановлено їхню екологічну узгодженість: обидві методики

демонструють схожу якісну характеристику стану ґрунту — слабу або помірну токсичність, без вираженого пригнічення росту. Це дозволяє зробити висновок, що наявні відхилення у розвитку однодольних культур є локальними і несуттєвими для агроєкосистеми загалом, а також свідчить про стабільність ґрунтового середовища та відсутність критичних концентрацій токсикантів.

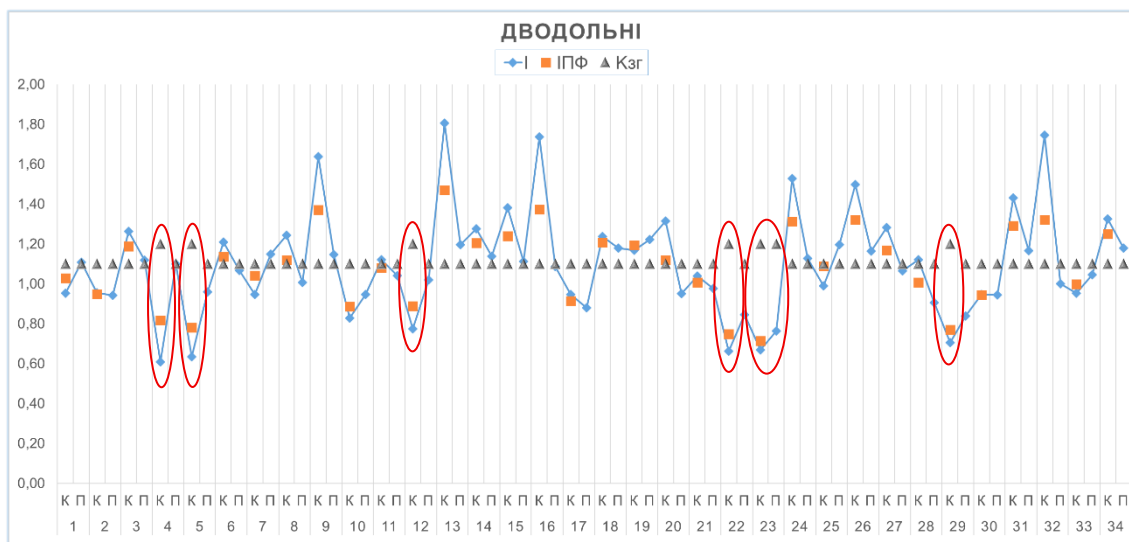
Порівняльний аналіз результатів також демонструє, що інтегровані показники дозволяють раннє виявлення потенційних стресових ділянок, що може бути корисним для оперативного коригування системи удобрення та заходів із захисту рослин.

Порівняння результатів для дводольних культур (Рис. 2) на прикладі досліджуваних полів також підтвердило узгодженість висновків між двома методиками. Таке порівняння дозволяє оцінити не лише загальний рівень токсичності, а й просторову варіабельність проявів фітотоксичності, що є важливим для локалізації потенційних проблемних зон.

Так, у господарстві «Велес-В», поле 1 (об'єкт № 4) за обома підходами засвідчили слабе забруднення, $I_k = 0,61$, $ІПФ = 0,82$, $Кзг' = 1,2$, що, згідно з табл. 2, відповідає слабкому рівню токсичності. Ці дані свідчать про мінімальний вплив стресових агентів на проростки дводольних культур, що дозволяє очікувати нормальне формування кореневої системи та пагонів у польових умовах.

Для поля 2 (об'єкт № 5) цього ж господарства $I_k = 0,63$, $ІПФ = 0,78$ — значення відповідають межовому стану між слабкою та незначною токсичністю. Така невелика різниця між інтегрованим індексом і $ІПФ$ відображає локальні варіації у властивостях ґрунту, які можуть бути пов'язані з неоднорідним внесенням добрив, залишками агрохімікатів або природними особливостями верхнього горизонту.

На об'єкті № 12 (ФОП «Коляда», поле 1) отримано $I_k = 0,78$ та $ІПФ = 0,89$, що свідчить про узгоджений результат із діагностикою слабкої токсичності. Це означає, що дводольні культури на цьому полі відчують помірний стрес, який не має критичного впливу на їх проростання та розвиток.



Позначення:

Показники оцінювання: І — індекс пригнічення росту (I_k та I_p у методі Б); ІПФ — інтегрований показник токсичності (метод Б); Кзг' — коефіцієнт забрудненості ґрунту (метод А).

На вертикальній осі: значення показників оцінювання.

На горизонтальній осі: К — корені; П — пагони; 1–34 — номери проб ґрунту.

Рис. 2. Графічна візуалізація фітотоксичності ґрунтів за двома методиками: А і Б. Тест-рослина – гірчиця (дводольні).

Подібною виглядає реакція проростків на стан ґрунту на об'єктах № 22, № 23 і № 29, де низькі значення індексів пригнічення росту (метод Б) узгоджуються з більш високими значеннями $Кзг'$ (метод А).

Збіг загальної тенденції дозволяє вважати результати аналізування за двома методиками як взаємодоповнювальні, що підвищує достовірність екологічної оцінки ґрунтового середовища. Комплексне використання обох методик дає змогу не лише оцінити середній рівень токсичності, а й виявити ділянки з потенційним ризиком для розвитку рослин, що є критично важливим для раціонального землекористування та прийняття управлінських рішень у сільському господарстві.

Здобуті результати засвідчили, що за класифікацією способу оцінювання токсичності ґрунтів за методом Крайнюкова і Кривицької більшість ґрунтових зразків характеризувалися низьким або помірним рівнем токсичності, тобто відсутністю різко виражених локальних техногенних навантажень. Водночас фітотестування за інтегрованою методикою Мірошніченка продемонструвало більш широкий діапазон варіацій інтегрованих індексів, що відображає реакцію рослин на комплексну дію факторів середовища, зокрема на загальну фітотоксичність. У ряді випадків зафіксовано відмінності між результатами дводольних і однодольних культур, що підтверджує їхню різну чутливість до окремих типів токсикантів і підкреслює доцільність використання кількох тест-об'єктів для більш об'єктивної оцінки стану ґрунтового середовища.

Висновки

Обидві застосовані методики показали узгоджені результати щодо оцінки рівня фітотоксичності орних ґрунтів Валківської громади.

Згідно з методикою визначення ступеня забрудненості ґрунтів, розробленою Крайнюковим та Кривицькою, фітотоксичність визначається за відсотковим пригніченням росту проростків відносно контролю, що дозволяє оперативно виявити локальні осередки забруднення. Такий підхід особливо корисний для первинного моніторингу, оскільки дозволяє швидко визначити окремі ділянки з підвищеною токсичністю, навіть якщо забруднення незначне або має нерівномірний характер.

Методика фітотестування, розроблена під керівництвом М. Мірошніченка, базується на інтегрованій оцінці фітотоксичного впливу з урахуванням динаміки росту та морфологічних змін різних видів тест-рослин (одnodольних і дводольних) упродовж періоду пророщування. Цей підхід дозволяє більш детально вивчити реакцію рослин на токсиканти, враховуючи не лише відсоткове пригнічення росту, а й комплекс морфологічних змін, що виникають під дією стресових факторів. Завдяки цьому методика дає змогу оцінити потенційні адаптаційні можливості рослин і агрофітоценозів та передбачити їхню стійкість до майбутніх впливів.

Порівняльний аналіз результатів, отриманих за двома методами, свідчить, що методи є взаємодоповнювальними: перший — чутливий до локальних забруднень і характеризується простотою виконання, другий — більш універсальний, оскільки інтегрує кілька біологічних параметрів у єдиний індекс, що підвищує точність екотоксикологічної оцінки. Поєднання цих методів дає змогу отримати комплексну картину екологічного стану ґрунту: виявити осередки підвищеної токсичності, одночасно оцінити загальний рівень стресу для рослин і передбачити можливі наслідки для агроєкосистем.

Для більшості ділянок, досліджених за обома методами, зафіксовано слабкий або помірний рівень токсичності, що свідчить про загалом задовільний екологічний стан орних ґрунтів громади. Такі результати вказують на стабільність ґрунтового середовища та відсутність критичних концентрацій токсикантів, що дозволяє планувати безпечне ведення сільськогосподарських культур.

Водночас окремі локальні відхилення можуть бути пов'язані з інтенсивним застосуванням агрохімікатів або нерівномірністю їх розподілу в агроландшафті.

Це підкреслює необхідність регулярного моніторингу та врахування просторової неоднорідності у процесі внесення добрив та використання засобів захисту рослин.

Отже, комплексне використання обох методів забезпечує більш достовірну оцінку екоотоксикологічного стану ґрунтів та може бути рекомендованим для моніторингу агроєкосистем у подальших дослідженнях. Застосування методик Крайнюкова та Кривицької паралельно з методикою Мірошніченка дозволяє не лише швидко виявляти осередки підвищеної фітотоксичності орних ґрунтів, а й прогнозувати потенційний вплив стресових факторів на ріст і розвиток сільськогосподарських культур, що є важливим для прийняття рішень у системі сталого управління ґрунтовими ресурсами.

Список використаних джерел

1. Балюк С. А., Медведєв В. В., Мірошніченко М. М., Скрильник Є. В., Тимченко Д. О., Фатєєв А. І., Христенко А. О., Цапко Ю. Л. Екологічний стан ґрунтів України // *Український географічний журнал*. 2012. № 2. С. 38–42. URL: <https://ukrgeojournal.org.ua/uk/node/331> <https://doi.org/10.15407/ugz>
2. Крайнюков О. М., Кривицька І. А. Спосіб визначення ступеня забрудненості ґрунтів : пат. на корисну модель № 113560 Україна. № u2016 11123; заявл. 10.11.2016; опубл. 10.02.2017, Бюл. № 3. 3 с.
3. Визначення забруднення ґрунту і води гербіцидами сім-тріазинової групи за допомогою хлорели звичайної та методики фітотестування (методичні рекомендації) / за ред. чл.-кор. НААН М. Мірошніченка. Харків: Стильна типографія, 2024. 34 с.
4. Яковичина Т. С. Система біотестування токсичності ґрунту, забрудненого важкими металами. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Агрономія і біологія»*. 2014. Вип. 3 (27). С. 70–73. URL: http://visnyk.snau.edu.ua/sample/files/snau_2014_3_27_agronom/JRN/17.pdf
5. Alengebawy A., Abdelkhalek S. T., Qureshi S. R., & Wang M. Q. Heavy metals and pesticides toxicity in agricultural soil and plants: ecological risks and human health implications. *Toxics*. 2021. Vol. 9. Is. 3. P. 42. <https://doi.org/10.3390/toxics9030042>
6. Хохрякова А. І., Михайлюк В. І. Ґрунти міста Одеси : монографія. Одеса: Видавничий дім «Гельветика», 2021. 146 с.
7. Lehmann A., Stahr K. Nature and significance of anthropogenic urban soils. *J. Soils Sediments*. 2007. Vol. 7. P. 247–260. <https://doi.org/10.1065/jss2007.06.235>
8. Trigub V., Adabovska M., Domuschy S. Features of an ecological condition of a soil cover of the city of Odessa (Ukraine) / *Proceedings of the XV International Conference on Quality Strategy in Industry and Education* (pp. 177–182). Dnipro-Varna., 2019. URL: <https://crust.ust.edu.ua/bitstreams/1cec7a9a-2229-4324-96b2-14465e7e6dec/download>
9. Khokhryakova, A. Determination of the level of toxicity of the soils of recreational areas of Odessa city by biotesting methods. *ScienceRise: Biological Science*. 2020. № 3(24). P. 4–23. <https://doi.org/10.15587/2519-8025.2020.211556>
10. Цветкова Н. М., Клименко Т. К. Техногенні аномалії важких металів у ґрунтах урболандшафтів степового Придніпров'я (на прикладі м. Дніпродзержинська). *Ґрунтознавство*. 2005. Т. 6, № 1-2. С. 45-52. URL: http://www.ussj.cv.ua/2005_t6_1-2/Tsvetkova_45-52.pdf
11. Lado L. R., Hengl T., Reuter H. Heavy metals in European soils: A geostatistical analysis of the FOREGS Geochemical database. *Geoderma*. 2008. Vol.148. Is. 2. P. 189-199. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.09.020>
12. Палапа Н. В., Гончар С. М. Екологічні ризики, пов'язані із сільськогосподарською діяльністю людини. *Агроекологічний журнал*. 2022. № 1. С. 68-80. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2022.255189>
13. Коваль Ф. Оцінка фітотоксичності як індикатора здоров'я ґрунтів у Валківській громаді Харківської області. *Внесок молодих учених у розвиток ґрунтознавчо-агрохімічної науки та забезпечення сталого розвитку аграрної сфери* : зб. тез Міжнар. наук.-практ. конф. (Харків, 29 трав. 2025). [Електронне видання] / Харків: ННЦ «ІГА ім. О. Н. Соколовського», 2025. С. 37–39. URL: <http://www.issar.com.ua/uk/vydannya>

UDC 631.453:631.427.1(477.54)

Assessment of phytotoxicity of arable soils of Valkivska community according to different methodological approaches

F. F. Koval

National Scientific Center "Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O. N. Sokolovsky",
Kharkiv, Ukraine

✉ kowalfdr@gmail.com

ORCID: 0009-0009-3667-2275

Received 18.11.2025; Revised 08.12.2025; Accepted 26.12.2025; Available online 30.12.2025

Abstract. The article substantiates the relevance of biotesting in assessing the ecological state of the soil, in particular by determining its phytotoxicity, as one of the most sensitive and informative integrated indicators of the presence of toxic components in the soil environment. Due to its indicator function, the soil phytotoxicity index is used both to identify local sources of pollution and for a comprehensive assessment of the overall level of anthropogenic load on the studied area. The study was conducted on two types of soil — typical chernozems (Haplic Chernozems) and podzolized chernozems

(Chernic Phaeozems). To determine the level of phytotoxicity of arable soils in the territory of the Valkivska community of the Kharkiv region, two methodological approaches used: (i) determining the degree of soil contamination according to the Krainyukov–Kryvytska method and (ii) integrated phytotesting methodology according to Miroshnychenko. Soil samples for testing taken from the arable layer (0–30 cm). Seeds of dicotyledonous and monocotyledonous plants used for biotesting. Seeds germinated for 72 hours in water extracts from the studied soils, and the control variant — in distilled water. Bioindicative parameters were determined by morphometric indicators of seedlings — the length of shoots and roots. After that, the difference between the length in the studied and control variants, the growth inhibition index (I) and the values of complex integrated indicators predicted by both methodological approaches were calculated. By comparing the effectiveness of two methods that differ in the principles of interpretation of bioindication parameters, it was determined that both approaches are similar in terms of soil condition characteristics. As a result, it was noted that the combination of the two methods allows for a more complete and multi-component ecological assessment. The method of Krainyukov and Kryvytska is suitable for rapid express analysis and operational identification of potentially dangerous areas. The integrated phytotesting method according to Miroshnychenko, due to a wider range of indicators, provides a deeper and more detailed characterization of soil phytotoxicity. Together, the data indicate a generally satisfactory condition of the soils of the Valkivska community with individual manifestations of moderate phytotoxicity, which requires regular monitoring and further analysis of possible sources of influence. According to the classification of the degree of toxicity in the Krainyukov–Kryvytska method, most soils assessed as having a low or moderate level of toxicity, which indicates the absence of pronounced local technogenic loads. According to the Miroshnychenko method, a wider range of variations of the parameters of integrated indices revealed, which reflects the reaction of plants to the complex effect of environmental factors, in particular to general phytotoxicity. Differences recorded between the results of the assessment using dicotyledonous and monocotyledonous crops, which confirms the different sensitivity of plants to individual types of toxicants. The feasibility of using several test crops for a more objective assessment of the state of the soil environment indicated.

Keywords: phytotoxicity; phytotesting; growth inhibition index; monocotyledons; dicotyledons; Valkivska community; ecological state of the soil.

Citing: Koval F. F. (2025). Assessment of phytotoxicity of arable soils of Valkivska community according to different methodological approaches. *AgroChemistry and Soil Science*, 99, 70-82. doi:10.31073/acss99-08

References

1. Baliuk, S., Medvedev, V., Miroshnychenko, M., Skrylnik, Ye., Timchenko, D., Fatiev, A., Khristenko, A., & Tsapko, Yu. (2012). Environmental state of soils in Ukraine. *Ukrainian Geographical Journal*, 2, 38–42. Retrieved from <https://ukrgeojournal.org.ua/uk/node/331> <https://doi.org/10.15407/ugz> [in Ukrainian].
2. Krainyukov, O. M., & Kryvytska, I. A. (2017). Method for determining the degree of soil contamination : patent for utility model No. 113560 Ukraine. No. u2016 11123; appl. 10.11.2016; publ. 10.02.2017, Bull. No. 3. [in Ukrainian].
3. Miroshnychenko, M. (Ed.). (2017). *Determination of soil and water contamination by herbicides of the seven-triazine group using chlorella vulgaris and phytotesting methods (methodological recommendations)*. Kharkiv: Styl'na Typography. [in Ukrainian].
4. Yakovyshyna, T. F. (2014). Biotesting system of the toxicity of the soil contaminated by the heavy metals. *Bulletin of Sumy National Agrarian University Series "Agronomy and Biology"*, 3(27), 70–73. Retrieved from http://visnyk.snau.edu.ua/sample/files/snau_2014_3_27_agronom/JRN/17.pdf [in Ukrainian].
5. Alengebawy, A., Abdelkhalek, S. T., Qureshi, S. R., & Wang, M. Q. (2021). Heavy metals and pesticides toxicity in agricultural soil and plants: ecological risks and human health implications. *Toxics*, 9(3), 42. <https://doi.org/10.3390/toxics9030042>
6. Khokhryakova, A. I., & Mykhailiuk, V. I. (2021). *Soils of the City of Odesa : monograph*. Odesa: Helvetica Publishing House [in Ukrainian].
7. Lehmann, A., & Stahr, K. (2007). Nature and significance of anthropogenic urban soils. *J. Soils Sediments*, 7(4), 247–260. <https://doi.org/10.1065/jss2007.06.235>
8. Trigub, V., Adabovska, M., & Domuschy, S. (2019). Features of an ecological condition of a soil cover of the city of Odesa (Ukraine). In *Proceedings of the XV International Conference on Quality Strategy in Industry and Education* (pp. 177-182). Dnipro-Varna. Retrieved from <https://crust.ust.edu.ua/bitstreams/1cec7a9a-2229-4324-96b2-14465e7e6dec/download>
9. Khokhryakova, A. (2020). Determination of the level of toxicity of the soils of recreational areas of Odesa city by biotesting methods. *ScienceRise: Biological Science*, 3(24), 4–23. <https://doi.org/10.15587/2519-8025.2020.211556>
10. Tsvetkova, N. N., & Klimenko, T. K. (2005). Technogenic anomalies of heavy metals in the soils of urban landscape of steppe Pridneprovye (with examples of Dneprodzerzhinsk). *Ґрунтознавство* [Soil Science], 6(1-2), 45-52. Retrieved from http://www.ussj.cv.ua/2005_t6_1-2/Tsvetkova_45-52.pdf [in Ukrainian].
11. Lado, L. R., Hengl, T., & Reuter, H. I. (2008). Heavy metals in European soils: a geostatistical analysis of the FOREGS Geochemical database. *Geoderma*, 148(2), 189-199. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.09.020>
12. Palapa, N., & Honchar, S. (2022). Environmental risks associated with human agricultural activity. *Agroecological Journal*, 1, 68-80. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2022.255189> [in Ukrainian].
13. Koval, F. (2025). Assessment of phytotoxicity as an indicator of soil health in the Valky Community of Kharkiv region / Contribution of young scientists to the development of Soil Science and Agrochemistry and ensuring sustainable development of the agrarian sector : collection of abstracts of the International scientific & practical conference (Kharkiv, May 29, 2025). [Electronic edition] Kharkiv: NSC ISSAR, 2025. Retrieved from <http://www.issar.com.ua/uk/vydannya> [in Ukrainian].