



Ukrainian Journal of Natural Sciences  
№ 14  
Український журнал природничих наук  
№ 14

ISSN: 2786-6335 print  
ISSN: 2786-6343 online

УДК 556. 532 (477-924-52)

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.14.2025.31>

## ЕКОЛОГО-ТОКСИКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ЯКОСТІ ҐРУНТІВ У МЕЖАХ БЕРЕСТИНСЬКОГО РАЙОНУ ХАРКІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

О. М. Крайнюков<sup>1</sup>, І. А. Кривицька<sup>2</sup>, В. Л. Самохвалова<sup>3</sup>, Б. Ю. Матісько<sup>4</sup>,  
В. М. Філатов<sup>5</sup>

*У роботі представлено результати комплексного дослідження фітотоксичних властивостей ґрунтів на території Берестинського району Харківської області, проведеного у 2025 році. Метою дослідження було встановлення сезонних змін рівня токсичності й визначення впливу антропогенних і техногенних факторів на якість ґрунтового середовища. Для оцінки стану ґрунтів застосовано метод біотестування з використанням тест-об'єкта *Zea mays* L., який дає змогу оцінити реальний біологічний ефект сукупності забруднювачів.*

*Результати експериментів показали, що рівень токсичності ґрунтів має виражену сезонну динаміку. Навесні переважають процеси мобілізації токсичних сполук унаслідок накопичення залишків агрохімікатів та активізації анаеробних процесів після танення снігу. Улітку спостерігається*

<sup>1</sup> доктор географічних наук, професор,  
професор кафедри екології та менеджменту довкілля  
(Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, м. Харків)  
e-mail: [alkraynukov@gmail.com](mailto:alkraynukov@gmail.com)  
ORCID: 0000-0002-5264-3118

<sup>2</sup> кандидат біологічних наук, доцент,  
доцент кафедри екології та менеджменту довкілля  
(Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, м. Харків)  
e-mail: [ivkrivicka@gmail.com](mailto:ivkrivicka@gmail.com)  
ORCID: 0000-0003-4727-794X

<sup>3</sup> кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник,  
старший науковий співробітник відділу охорони ґрунтів  
(Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського»,  
м. Харків)  
e-mail: [v.samokhvalova.com@gmail.com](mailto:v.samokhvalova.com@gmail.com)  
ORCID: 0000-0003-1352-9838

<sup>4</sup> аспірант кафедри екології та менеджменту довкілля  
(Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, м. Харків)  
e-mail: [matisko1998@gmail.com](mailto:matisko1998@gmail.com)  
ORCID: 0009-0001-2672-1813

<sup>5</sup> аспірант кафедри екології та менеджменту довкілля  
(Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, м. Харків)  
e-mail: [filatov@gmail.com](mailto:filatov@gmail.com)  
ORCID: 0009-0004-9102-7686

суттєве покращення якості ґрунтів, що пов'язано зі стабілізацією водного режиму, активним ростом рослин і біохімічною детоксикацією органічних сполук. Восени ґрунти проходять фазу відновлення: завдяки опадам і зростанню мікробіологічної активності відбувається вимивання токсичних речовин, формування нового шару гумусу й вирівнювання хімічного складу.

Виявлено, що на більшості моніторингових ділянок рівень забрудненості зменшується до I-II класу якості (незабруднені або слабо забруднені ґрунти). Водночас у межах с. Крестинище зберігається підвищений рівень токсичності, що пов'язано з діяльністю нафто- та газовидобувних підприємств і накопиченням вуглеводневих сполук.

Отримані результати свідчать, що ґрунти регіону зберігають здатність до самоочищення, біологічної регенерації й екологічної стабілізації, особливо в літньо-осінній період. Доведено ефективність використання біотестування як інструмента оцінки фактичної токсичності ґрунтів і доцільність подальшого впровадження системного моніторингу для забезпечення сталого використання агроєкосистем і зниження ризику накопичення токсичних речовин.

Практичне значення отриманих результатів полягає в можливості використання даних біотестування для екологічного нормування, контролю за станом земельних ресурсів і планування заходів з рекультивации ґрунтів у районах, що зазнали техногенного або військового впливу.

Отримані висновки можуть бути основою для розроблення регіональних програм моніторингу, спрямованих на підвищення екологічної безпеки та збереження родючості ґрунтів у довгостроковій перспективі.

**Ключові слова:** забруднення, ґрунти, тест-об'єкт, фітотоксичні властивості, біотестування.

## ECOTOXICOLOGICAL ASSESSMENT OF SOIL QUALITY IN THE BERESTYNSKYI DISTRICT, KHARKIV REGION

O. M. Krainiukov, I. A. Kryvytska, V. L. Samokhvalova, B. Yu. Matisko,  
V. M. Filatov

*The study presents the results of a comprehensive assessment of the phytotoxic properties of soils in the Berestynskyi district of the Kharkiv region, conducted in 2025. The main objective was to determine seasonal variations in soil toxicity and to evaluate the influence of anthropogenic and technogenic factors on soil quality. The bioassay method using Zea mays L. as a test organism was applied to assess the actual biological effects of complex soil contamination.*

*The results revealed a distinct seasonal dynamic in soil toxicity. In spring, the mobilization of toxic compounds dominates due to the accumulation of residual agrochemicals and activation of anaerobic processes following snowmelt. During summer, a significant improvement in soil quality occurs, associated with the stabilization of the water regime, active plant growth, and biochemical detoxification of organic pollutants. In autumn, soils undergo a recovery phase: rainfall and increased microbial activity promote the leaching of toxic substances, the formation of a new humus layer, and stabilization of the chemical balance.*

*Most monitoring sites showed a decrease in contamination levels to Class I-II (uncontaminated or slightly contaminated soils). However, elevated toxicity levels persisted in the Krestyshche area, likely due to oil and gas extraction activities and the accumulation of hydrocarbon compounds.*

*The findings indicate that the region's soils maintain the capacity for self-purification, biological regeneration, and ecological stabilization, particularly during the summer-autumn period. The study confirms the effectiveness of bioassay methods for assessing the actual toxicity of soils and supports the necessity of systematic monitoring to ensure sustainable agricultural land use and minimize the risk of toxic substance accumulation.*

*The practical significance of the research lies in the potential application of bioassay data for environmental regulation, soil quality control, and the planning of reclamation measures in areas affected by technogenic or military impacts. The results can serve as a scientific basis for developing regional soil monitoring programs aimed at enhancing ecological safety and preserving soil fertility in the long term.*

**Key words:** pollution, soils, test object, phytotoxic properties, biotesting.

### Вступ

Ґрунтовий покрив можна визначити як динамічну суміш частинок гірських порід, органічної речовини, повітря та води, і він є фундаментальним компонентом екосис-

теми й важливим ресурсом для людської діяльності.

Ґрунти виконують різні важливі функції для підтримки життя на планеті: він забезпечує рослини та сільськогосподарські куль-

тури водою та поживними речовинами, а також впливає на міграцію речовин, що потрапляють у навколишнє середовище (зберігання, фільтрація та буферизація) (Vogel et al., 2019; Szopka et al., 2021).

Ґрунт є невідновлюваним ресурсом, і необхідність запобігання його деградації стає все більш нагальною з кожним днем. Європейська комісія включила захист ґрунтів до пріоритетів 6-ї Програми дій з охорони навколишнього середовища, розробивши Тематичну стратегію щодо ґрунтів (СТС) у 2002 році (Комісія Європейських Співтовариств, 2002) і пропозицію щодо рамкової програми захисту ґрунтів у 2006 році (Комісія Європейських Співтовариств, 2006).

Хімічне забруднення є одним із основних факторів деградації ґрунту, і воно може бути прямим результатом застосування пестицидів, шламів і ґрунтових поліпшувачів, а також наслідком вологого або сухого осадження забруднювачів повітря з природних та антропогенних джерел. Присутність органічних і неорганічних ксенобіотиків у ґрунті викликає широке занепокоєння, оскільки ці агенти можуть впливати на здоров'я людини та навколишнього середовища (Arellano et al., 2015; Okerefor et al., 2020).

Потенційний вплив забруднюючих речовин на здоров'я людини та навколишнього середовища оцінюється за допомогою оцінки ризику на основі вмісту хімічних речовин або біологічних підходів. Ці різні методи часто застосовуються в інтегрованій стратегії моніторингу для підвищення її достовірності: хімічна характеристика надає інформацію про рівні конкретних ксенобіотиків, тоді як біологічні дослідження використовують моделі *in vitro* (клітини людини, тварин і бактерій) та *in vivo* (наприклад, вищі рослини, дощові черв'яки) для оцінки реакцій, викликаних взаємодією потенційних рецепторів із забрудненим ґрунтом, ураховуючи біодоступність забруднювачів, шлях впливу та надходження.

Використання біологічних аналізів є цінним інструментом для оцінки якості ґрунту. Ці аналізи базуються на застосуванні репрезентативних моделей *in vitro* й *in vivo*, які надають інформацію про потенційні небезпеки для здоров'я людини та навколишнього середовища. Дослідження токсичних властивостей забруднених ґрунтів описані в роботах із використанням кількох модельних організмів, таких як дощові черв'яки (Resende et al., 2018; Li et al., 2020), рослини (Loureiro et al., 2006; Massa et al., 2018)

або клітинні лінії, причому останні піддавалися впливу екстрактів забруднюючих речовин, отриманих безпосередньо з ґрунтів (Baderna et al., 2013, 2014; Husejnovic et al., 2018). Окрім забруднених ґрунтів, ці аналізи також виявилися відповідним підходом для вивчення токсичності ґрунтів сміттєзвалищ (Alimba et al., 2016; Swati et al., 2017), а також інших забруднених субстратів, таких як осади (Pinto et al., 2014).

Метою роботи було дослідження токсичних властивостей ґрунтів на території Берестинського району Харківської області за допомогою методу біотестування.

### Матеріал і методи

У навчально-дослідній лабораторії еколого-токсикологічних досліджень навчально-наукового інституту екології, зеленої енергетики та сталого розвитку Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна проведено серію експериментальних досліджень щодо встановлення фітотоксичних властивостей ґрунтів і їх впливу на ростові показники коренів і паростків тест-об'єкта *Zea mays* L. із 6 моніторингових площадок (ділянок).

Під час визначення придатності насіння вищих рослин для біологічного тестування встановлювали концентрацію еталонної речовини, яка спричиняє зниження довжини коренів і/або паростків на 20% протягом 120 год біотестування (ЕК<sub>(20-120)</sub>) (Кривицька, 2020).

Як еталонну речовину використовували фенол (C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>OH) кваліфікації ч. д. а. Вихідний розчин готували в концентрації 1 г/дм<sup>3</sup>, використовуючи дистильовану воду. Із цього розчину готували серію робочих розчинів із концентрацією від 100 до 200 мг/дм<sup>3</sup> C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>OH з інтервалом 25 мг/дм<sup>3</sup>, застосовуючи дехлоровану водопровідну воду. Біотестування тривало 120 годин, після чого за експериментальними даними розраховували значення ЕК<sub>(20-120)</sub> (Кривицька, 2020). Критерієм токсичності визначали зменшення довжини паростків і коренів відносно контролю протягом 120 год після експозиції (контроль – зволоження дехлорованою відстоюною водою). На підставі вимірювання довжини коренів і паростків у контрольних і дослідних варіантах розраховували середні арифметичні значення, за якими визначали відхилення за формулою (1):

$$A = ((X_k - X_d) / X_k) * 100 \%, \quad (1)$$

де: A – зменшення довжини коренів (паростків) у досліді відносно контролю, %; X<sub>k</sub> –

середня довжина коренів (паростків) у контролі, мм;  $X_d$  – середня довжина коренів (паростків) у досліді, мм.

Розчини вважали фітотоксичними, якщо будь-який із наведених показників суттєво відрізнявся від контрольного значення.

Для оцінювання рівня забруднення ґрунтів застосовували показник ступеня забрудненості ґрунтів, що визначався за рівнем пригнічення ростових процесів. Його кількісним вираженням слугував коефіцієнт забрудненості ґрунтів ( $K_{зг}$ ), який диференціювали відповідно до градацій пригнічення росту (Кривицька, 2020).

У таблиці 1 наведено класифікацію якості ґрунтів за ступенем забрудненості.

Відбір зразків ґрунтів на моніторингових площадках проведено в березні, червні та жовтні 2025 року.

На рисунку 1 і таблиці 2 наведено територію дослідження й моніторингові площадки на території Берестинського району Харківської області.

### Результати

Відповідно до проведених у березні 2025 року експериментальних досліджень, отримано такі результати (рис. 2): найбільший ступінь забрудненості ґрунтів визначено в селищах Крестище, Оленівка та Раківка, де рівень забрудненості ґрунтів дорівнював III класу якості – ґрунти помірно забруднені (табл. 1), що може свідчити про наявність надмірного впливу токсичних речовин, які перебувають у ґрунтах у різних фізико-хімічних формах. З огляду на те що відбір зразків проводився в межах сільськогосподарських угідь, тобто на територіях, які ми вважали найменш забруд-

Таблиця 1

Класифікація якості ґрунтів за ступенем забрудненості

| Клас якості ґрунтів | Рівень забрудненості ґрунтів | Рівні пригнічення ростових процесів (фітотоксичний ефект), % | Ступінь забрудненості ґрунтів, $K_{зг}$ |
|---------------------|------------------------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| I                   | Незабруднені                 | 0–20                                                         | 1,1                                     |
| II                  | Слабко забруднені            | 20,1–40                                                      | 1,2                                     |
| III                 | Помірно забруднені           | 40,1–60                                                      | 1,3                                     |
| IV                  | Брудні                       | 60,1–80                                                      | 1,4                                     |
| V                   | Дуже брудні                  | 80,1–100                                                     | 1,5                                     |



– моніторингові площадки.

Рис. 1. Розташування моніторингових площадок на території дослідження

Таблиця 2

Місця розташування моніторингових площадок

| № з/п | Моніторингові площадки | Координати           |
|-------|------------------------|----------------------|
| 1     | с. Українка            | 49.579099, 35.538966 |
| 2     | с. Крестище            | 49.548950, 35.497064 |
| 3     | с. Оленівка            | 49.590828, 35.534207 |
| 4     | с. Раківка             | 49.564540, 35.601939 |
| 5     | с. Мирне               | 49.548858, 35.478772 |
| 6     | с. Світле              | 49.541927, 35.546183 |

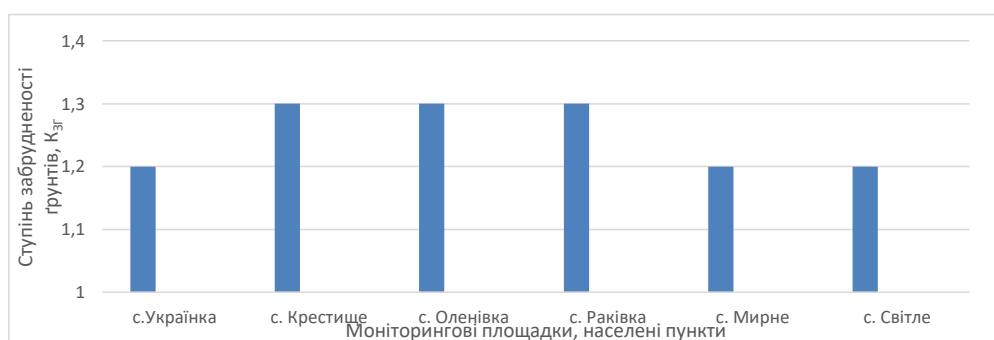


Рис. 2. Результати визначення фітотоксичних властивостей ґрунтів на моніторингових площадках Берестинського району Харківської області, які були відібрані в березні 2025 року

ними, виявлений рівень забруднення виглядає особливо показовим. Імовірно, такі показники є наслідком потрапляння до ґрунту різноманітних хімічних токсичних сполук, що утворилися або були розсіяні внаслідок того, що після осінньо-зимового періоду в ґрунті можуть накопичуватися залишки мінеральних добрив, гербіцидів, інсектицидів або фунгіцидів, унесених попереднього сезону. Під час танення снігу й підвищення вологості ці речовини можуть переходити в більш доступну форму, створюючи токсичне середовище для рослин і мікроорганізмів. На інших моніторингових площадках фітотоксичні властивості ґрунтів знаходилися на меншому рівні – II клас (ґрунти слабо забруднені) – селища Українка, Мирне та Світле. Також варто відмітити, що після зимового періоду, коли ґрунт відтає, починається активне розкладання органічних залишків. Якщо в ґрунті багато органіки або він погано аерується, можуть утворюватися токсичні гази (аміак, сірководень, метан) та органічні кислоти, що тимчасово може підвищувати рівень забрудненості ґрунтів.

У червні 2025 року проведено другий етап спостережень, у результаті яких отри-

мано такі результати (рис. 3): на моніторингових ділянках у с. Українка та с. Світле не визначено токсичних властивостей ґрунтів – I клас якості ґрунтів (незабруднені); на моніторингових площадках у межах селищ Оленівка, Раківка та Мирне в зразках ґрунтів було визначено II клас якості ґрунтів (слабко забруднені); у зразку ґрунту із с. Крестище встановлено III клас якості (помірно забруднені). Покращення якості ґрунтів у більшості моніторингових площадок можна пояснити декількома причинами:

- після весняного надлишку води, коли талі води вимивають токсичні сполуки, улітку ґрунт досягає більш стабільного водного режиму. Менше застою води означає менше анаеробних (гнильних) процесів, які часто спричиняють накопичення токсичних сполук;

- рослини активно ростуть і поглинають частину шкідливих елементів із ґрунту, зокрема важкі метали, нітрати, залишки пестицидів. Коренева система покращує структуру ґрунту, а фотосинтез сприяє стабілізації екосистеми;

- у сухих, прогрітих ґрунтах покращується аерація. Це сприяє окисненню токсичних сполук, зокрема відновлених форм

металів (наприклад,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ), які переходять у менш токсичні;

– багато пестицидів та органічних токсикантів нестійкі при високих температурах і під дією ультрафіолету. Улітку відбувається їх розклад і детоксикація, тому загальний рівень хімічного навантаження на ґрунт зменшується.

Рівень забрудненості ґрунтів у с. Крестище залишився на тому ж рівні, щой навесні. На думку авторів, це може бути наслідком діяльності великої кількості нафтогазовидобувних ділянок, що призводить до забруднення ґрунтів надлишковими концентраціями вуглеводнів фітотоксичної дії: вони ушкоджують кореневу систему, пригнічують проростання насіння, порушують фотосинтез. Рослини втрачають здатність засвоювати поживні речовини, жовтіють, відмирають або накопичують токсичні сполуки у тканинах. Під дією мікроорганізмів або сонячного випромінювання вуглеводні можуть частково окислюватися, утворюючи альдегіди, кетони, органічні кислоти, які часто ще токсичніші за початкові сполуки.

Як видно з отриманих у жовтні 2025 року експериментальних даних з моніторингових площадок на території Берестинського району Харківської області, рівень забрудненості ґрунтів залишився на «літньому» рівні, а на моніторинговій ділянці в с. Крестище навіть зменшився (рис. 4). На моніторингових ділянках у с. Українка та с. Світле не визначено токсичних властивостей ґрунтів – I клас якості ґрунтів (незабруднені). На моніторингових ділянках у межах селищ Оленівка, Раківка, Мирне та Крестище у зразках ґрунтів визначено II клас якості ґрунтів (слабко забруднені).

На думку авторів, восени ґрунт проходить фазу відновлення й саморегуляції: після літньої спеки приходять дощі, що сприяє вимиванню надлишкових солей, нітратів, залишків добрив і пестицидів з верхнього шару. У результаті концентрація токсичних речовин на поверхні знижується, а хімічний склад ґрунту вирівнюється; мікрофлора знову активна; формується новий шар органічної речовини. Тому показники якості (структура, вологість, хімічна рівновага, біологічна активність) можуть бути кращі, ніж улітку, коли домінують стресові фактори: спека, дефіцит вологи й надлишок агрохімії, і це може сприяти усуненню токсичних властивостей ґрунтів.

### Обговорення

Результати експериментальних досліджень показали, що рівень токсичності ґрунтів має виражену сезонну динаміку з чітко окресленими фазами активізації та відновлення. Навесні спостерігається підвищення токсичності внаслідок мобілізації забруднювальних речовин, накопичених за зиму, зокрема залишків агрохімікатів і продуктів анаеробного розкладу органічних речовин після танення снігу. У літній період під впливом стабілізації водного режиму, активної рослинності й біохімічної детоксикації якість ґрунтів суттєво поліпшується. Восени ґрунти переходять у фазу природного відновлення, що супроводжується активізацією мікробіологічних процесів, вимиванням токсикантів атмосферними опадами, накопиченням гумусу та вирівнюванням хімічного складу.

На більшості моніторингових ділянок зафіксовано зниження рівня забрудненості до I–II класу якості, що свідчить про

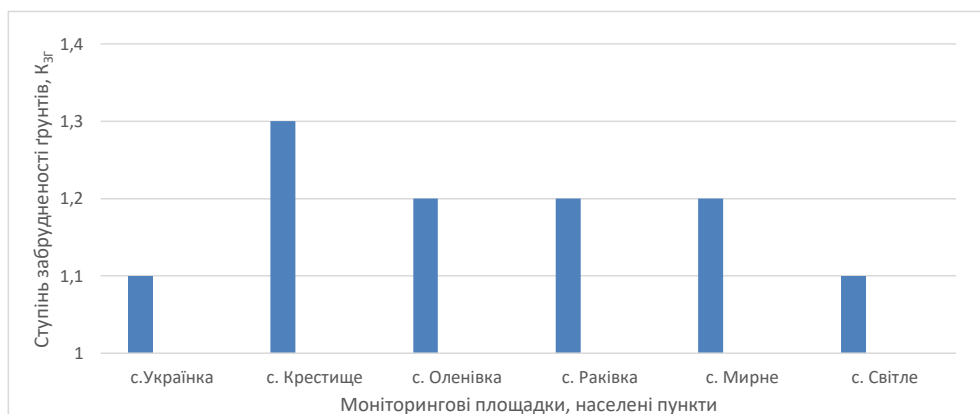


Рис. 3. Результати визначення фітотоксичних властивостей ґрунтів на моніторингових площадках Берестинського району Харківської області, які відібрані в червні 2025 року

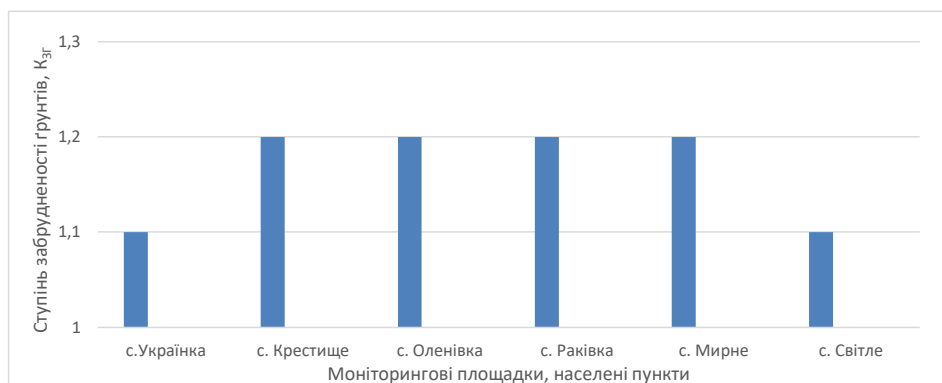


Рис. 4. Результати визначення фітотоксичних властивостей ґрунтів на моніторингових площадках Берестинського району Харківської області, які відібрані в жовтні 2025 року

незначне або слабе забруднення ґрунтів. Водночас у межах с. Крестине спостерігається збереження підвищеної токсичності, що пояснюється техногенним навантаженням від нафтовидобувних і газових підприємств і накопиченням вуглеводневих сполук у верхніх горизонтах ґрунту.

Отримані результати підтверджують здатність ґрунтів регіону до самоочищення, біологічної регенерації та екологічної стабілізації, особливо в літньо-осінній період. Використання методу біотестування продемонструвало свою ефективність як інструмент комплексної оцінки фактичної токсичності ґрунтів, що дає змогу враховувати інтегральний вплив сумішей забруднювачів. Це підкреслює доцільність упровадження системного екологічного моніторингу для своєчасного виявлення тенденцій деградації та підвищення екологічної безпеки агроєкосистем.

Порівняльний аналіз із результатами інших вітчизняних і зарубіжних досліджень показує, що отримані закономірності відповідають загальним тенденціям для помірного кліматичного поясу. Так, за даними досліджень у Полтавській, Чернігівській і Сумській областях, сезонні коливання токсичності мають подібний характер: підвищення навесні, часткове відновлення влітку й стабілізація восени (Тригуб і Домусчи, 2020). Аналогічні результати наведено в роботах польських екологів, які також відзначають ключову роль біотичних процесів у детоксикації органічних забруднювачів і здатність ґрунтів до природної регенерації (Musilová et al., 2021). Це свідчить, що спостережені в дослідженні процеси мають універсальний екологічний характер і відображають загальні закономірності функціонування ґрунтових систем у посттехногенних регіонах.

Практичне значення отриманих результатів полягає в можливості використання даних біотестування для екологічного нормування, моніторингу стану земельних ресурсів і планування рекультиваційних заходів у районах, що зазнали техногенного чи військового впливу (Heise et al., 2020). Отримані висновки можуть стати науковим підґрунтям для розроблення регіональних програм екологічного моніторингу, спрямованих на збереження родючості ґрунтів, підвищення екологічної безпеки й забезпечення сталого функціонування агроєкосистем у довгостроковій перспективі.

#### Висновки

Загалом результати досліджень свідчать, що стан і токсичні властивості ґрунтів мають динамічний характер, який визначається поєднанням сезонних природних чинників, рівнем антропогенного навантаження та локальними техногенними впливами. Зміна температурного режиму, вологості, біологічної активності й інтенсивності агротехнічних робіт протягом року безпосередньо впливає на процеси акумуляції, трансформації та детоксикації хімічних сполук у ґрунтового середовищі. Навесні домінують процеси мобілізації токсичних речовин, улітку – їх біохімічна трансформація й часткове знешкодження, а восени – стабілізація ґрунтової системи та формування умов для природного відновлення. Отримані результати підтверджують, що за сприятливих природно-кліматичних умов і дотримання раціональних агротехнічних заходів ґрунти здатні до самоочищення, біологічної регенерації та поступового зниження токсичного навантаження. Це особливо важливо для територій, які зазнали впливу техногенних або військових чинників, оскільки демонструє потенціал екологічної стійкості й відно-

вної здатності агроландшафтів. Разом із тим результати дослідження підкреслюють необхідність системного моніторингу фітотоксичності ґрунтів, застосування біотестування як надійного індикатора їх екологіч-

ного стану та розроблення довгострокових стратегій управління родючістю, спрямованих на мінімізацію ризиків накопичення токсичних речовин і забезпечення сталого розвитку агроєкосистем.

### Список використаної літератури

- Кривицька І.А. Діагностика та моніторинг забруднення ґрунтів важкими металами в урбанізованих ландшафтах Приазов'я : дис. ... канд. біол. наук : 03.00.18. Харків, 2020. 187 с.
- Тригуб В.І., Домусчи С.В. Біотестування як метод дослідження токсичності ґрунтів. *Вісник Одеського національного університету. Серія «Географічні та геологічні науки»*. 2020. Вип. 25(2(37)). С. 112–127. [https://doi.org/10.18524/2303-9914.2020.2\(37\).216565](https://doi.org/10.18524/2303-9914.2020.2(37).216565).
- Alimba C.G., Gandhi D., Sivanesan S., Bhanarkar M.D., Naoghare P.K., Bakare A.A., Krishnamurthi K. Chemical characterization of simulated landfill soil leachates from Nigeria and India and their cytotoxicity and DNA damage inductions on three human cell lines. *Chemosphere*. 2016. Vol. 164. P. 469–479. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.08.093>.
- Arellano P., Tansey K., Balzter H., Boyd D.S. Detecting the effects of hydrocarbon pollution in the Amazon forest using hyperspectral satellite images. *Environ. Pollut.* 2015. Vol. 205. P. 225–239. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.05.041>.
- Baderna D., Colombo A., Romeo M., Cambria F., Teoldi F., Lodi M., Diomede L., Benfenati E. Soil quality in the Lomellina area using in vitro models and ecotoxicological assays. *Environ. Res.* 2014. Vol. 133. P. 220–231. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2014.05.030>.
- Heise S., Babut M., Casado C. Ecotoxicological testing of sediments and dredged material: an overlooked opportunity? *J Soils Sediments*. 2020. Vol. 20. P. 4218–4228. <https://doi.org/10.1007/s11368-020-02798-7>.
- Husejnovic M.S., Bergant M., Jankovic S., Zizek S., Smajlovic A., Softic A., Music O., Antonijevic B. Assessment of Pb, Cd and Hg soil contamination and its potential to cause cytotoxic and genotoxic effects in human cell lines (CaCo-2 and HaCaT). *Environ. Geochem. Health*. 2018. Vol. 40. P. 1557–1572. <https://doi.org/10.1007/s10653-018-0071-6>.
- Li X., Wang M., Jiang R., Zheng L., Chen W. Evaluation of joint toxicity of heavy metals and herbicide mixtures in soils to earthworms (*Eisenia fetida*). *J. Environ. Sci. (China)*. 2020. Vol. 94. P. 137–146. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2020.03.055>.
- Loureiro S., Santos C., Pinto G., Costa A., Monteiro M., Nogueira A.J.A., Soares A.M.V.M. Toxicity assessment of two soils from Jales mine (Portugal) using plants: growth and biochemical parameters. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 2006. Vol. 50. P. 182–190. <https://doi.org/10.1007/s00244-004-0261-3>.
- Massa N., Cesaro P., Todeschini V., Bona E., Cantamessa S., Berta G. Evaluation of soil toxicity using different biotests on *Pisum sativum*: a case study. *Plant Biosyst. An Int. J. Deal. with all Asp. Plant Biol.* 2018. Vol. 152. P. 1191–1198. <https://doi.org/10.1080/11263504.2018.1435570>.
- Musilová J., Harangozo L., Lidiková J., Franková H. Hygienic quality of soil in the Gemer region (Slovakia) and ecological risk assessment. *Scientific Reports*. 2021. Vol. 11. P. 13639. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-93587-w>.
- Okereafor U., Makhatha M., Mekuto L., Uche-Okereafor N., Sebola T., Mavumengwana V. Toxic metal implications on agricultural soils, plants, animals, aquatic life and human health. *Int. J. Environ. Res. Publ. Health*. 2020. Vol. 17. P. 2204. <https://doi.org/10.3390/ijerph17072204>.
- Pinto M., Costa P.M., Louro H., Costa M.H., Lavinha J., Caeiro S., Silva M.J. Determining oxidative and non-oxidative genotoxic effects driven by estuarine sediment contaminants on a human hepatoma cell line. *Sci. Total Environ.* 2014. Vol. 478. P. 25–35. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.01.084>.
- Resende A.P.O., Santos V.S.V., Campos C.F., de Moraes C.R., de Campos Júnior E.O., de Oliveira A.M.M., Pereira B.B. Ecotoxicological risk assessment of contaminated soil from a complex of ceramic industries using earthworm *Eisenia fetida*. *J. Toxicol. Environ. Health Part A Curr. Issues*. 2018. Vol. 81. P. 1058–1065. <https://doi.org/10.1080/15287394.2018.1528572>.
- Swati A., Ghosh P., Thakur I.S. An integrated approach to study the risk from landfill soil of Delhi: chemical analyses, in vitro assays and human risk assessment. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2017. Vol. 143. P. 120–128. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.05.019>.

Szopka K., Gruss I., Gruszka D., Karczewska A., Gediga K., Gałka B., Dradrach A. The Effects of forest litter and water logging on the ecotoxicity of soils strongly enriched in arsenic in a historical mining site. *Forests*. 2021. Vol. 12. P. 355. <https://doi.org/10.3390/f12030355>.

Vogel H.J., Eberhardt E., Franko U., Lang B., Ließ M., Weller U., Wiesmeier M., Wollschläger U. Quantitative evaluation of soil functions: potential and state. *Front. Environ. Sci.* 2019. Vol. 7. P. 164. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00164>.

## References

Kryvytska, I.A. (2020). Diahnostyka ta monitorynh zabrudnennia gruntiv vazhkymy metalamy v urbanizovanykh landshaftakh Pryazovia [Diagnosis and monitoring of soil pollution by heavy metals in urbanized landscapes of the Azov region]: dys. ... kand. biol. nauk : 03.00.18. Kharkiv, 187 p. [in Ukrainian].

Trygub, V.I., & Domuschy, S.V. (2020). Biotestuvannya yak metod doslidzhennya toksychnosti gruntiv. [Biotesting as a method for studying soil toxicity] *Visnyk ONU. Series: Heohrafichni i heolohichni nauky [Bulletin of Odessa National University. Geographical and Geological Sciences]*, 25(2(37)), 112–125. [https://doi.org/10.18524/2303-9914.2020.2\(37\).216565](https://doi.org/10.18524/2303-9914.2020.2(37).216565) [in Ukrainian].

Alimba, C.G., Gandhi, D., Sivanesan, S., Bhanarkar, M.D., Naoghare, P.K., Bakare, A.A., Krishnamurthi, K. (2016). Chemical characterization of simulated landfill soil leachates from Nigeria and India and their cytotoxicity and DNA damage inductions on three human cell lines. *Chemosphere*, 164, 469–479. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.08.093> [in English].

Arellano, P., Tansey, K., Balzter, H., Boyd, D.S. (2015). Detecting the effects of hydrocarbon pollution in the Amazon forest using hyperspectral satellite images. *Environ. Pollut.*, 205, 225–239. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.05.041> [in English].

Baderna, D., Colombo, A., Romeo, M., Cambria, F., Teoldi, F., Lodi, M., Diomede, L., Benfenati, E. (2014). Soil quality in the Lomellina area using in vitro models and ecotoxicological assays. *Environ. Res.*, 133, 220–231. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2014.05.030> [in English].

Heise, S., Babut, M., Casado, C. (2020). Ecotoxicological testing of sediments and dredged material: an overlooked opportunity? *J Soils Sediments*, 20, 4218–4228. <https://doi.org/10.1007/s11368-020-02798-7> [in English].

Husejnovic, M.S., Bergant, M., Jankovic, S., Zizek, S., Smajlovic, A., Softic, A., Music, O., Antonijevic, B. (2018). Assessment of Pb, Cd and Hg soil contamination and its potential to cause cytotoxic and genotoxic effects in human cell lines (CaCo-2 and HaCaT). *Environ. Geochem. Health*, 40, 1557–1572. <https://doi.org/10.1007/s10653-018-0071-6> [in English].

Li, X., Wang, M., Jiang, R., Zheng, L., Chen, W. (2020). Evaluation of joint toxicity of heavy metals and herbicide mixtures in soils to earthworms (*Eisenia fetida*). *J. Environ. Sci. (China)*, 94, 137–146. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2020.03.055> [in English].

Loureiro, S., Santos, C., Pinto, G., Costa, A., Monteiro, M., Nogueira, A.J.A., Soares, A.M.V.M. (2006). Toxicity assessment of two soils from Jales mine (Portugal) using plants: growth and biochemical parameters. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 50, 182–190. <https://doi.org/10.1007/s00244-004-0261-3> [in English].

Massa, N., Cesaro, P., Todeschini, V., Bona, E., Cantamessa, S., Berta, G. (2018). Evaluation of soil toxicity using different biotests on *Pisum sativum*: a case study. *Plant Biosyst. An Int. J. Deal. with all Asp. Plant Biol.*, 152, 1191–1198. <https://doi.org/10.1080/11263504.2018.1435570> [in English].

Musilová, J., Harangozo, L., Lidiková, J., Franková, H. (2021). Hygienic quality of soil in the Gemer region (Slovakia) and ecological risk assessment. *Scientific Reports*, 11, 13639. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-93587-w> [in English].

Okerefor, U., Makhatha, M., Mekuto, L., Uche-Okerefor, N., Sebola, T., Mavumengwana, V. (2020). Toxic metal implications on agricultural soils, plants, animals, aquatic life and human health. *Int. J. Environ. Res. Publ. Health*, 17, 2204. <https://doi.org/10.3390/ijerph17072204> [in English].

Pinto, M., Costa, P.M., Louro, H., Costa, M.H., Lavinha, J., Caeiro, S., Silva, M.J. (2014). Determining oxidative and non-oxidative genotoxic effects driven by estuarine sediment contaminants on a human hepatoma cell line. *Sci. Total Environ.*, 478, 25–35. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.01.084> [in English].

Resende, A.P.O., Santos, V.S.V., Campos, C.F., de Moraes, C.R., de Campos Júnior, E.O., de Oliveira, A.M.M., Pereira, B.B. (2018). Ecotoxicological risk assessment of contaminated soil from

a complex of ceramic industries using earthworm *Eisenia fetida*. *J. Toxicol. Environ. Health Part A Curr. Issues*, 81, 1058–1065. <https://doi.org/10.1080/15287394.2018.1528572> [in English].

Swati, A., Ghosh, P., Thakur, I.S. (2017). An integrated approach to study the risk from landfill soil of Delhi: chemical analyses, in vitro assays and human risk assessment. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 143, 120–128. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.05.019> [in English].

Szopka, K., Gruss, I., Gruszka, D., Karczewska, A., Gediga, K., Gałka, B., Dradrach, A. (2021). The Effects of forest litter and water logging on the ecotoxicity of soils strongly enriched in arsenic in a historical mining site. *Forests*, 12, 355. <https://doi.org/10.3390/f12030355> [in English].

Vogel, H.J., Eberhardt, E., Franko, U., Lang, B., Liefß, M., Weller, U., Wiesmeier, M., Wollschläger, U. (2019). Quantitative evaluation of soil functions: potential and state. *Front. Environ. Sci.*, 7, 164. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00164> [in English].

Отримано: 28.10.2025

Прийнято: 02.12.2025

Опубліковано: 30.12.2025

