

ЕКОЛОГІЧНА ТОКСИКОЛОГІЯ ЯК МЕТОДОЛОГІЧНА ОСНОВА ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ БІООРГАНІЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА НА ЕКОЛОГІЧНУ БЕЗПЕКУ АГРОЕКОСИСТЕМ І ЗНИЖЕННЯ АНТРОПОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ДОВКІЛЛЯ

Парахненко В.Г., Гончарук В.В., Мандебура С.В.

Уманський національний університет

вул. Інститутська, 1, 20300, м. Умань

vladparachnenko@ukr.net, gvitalii1975@gmail.com, eko14b.mandebura@gmail.com

Здійснено комплексне дослідження екологічної токсикології як методологічної основи оцінювання впливу біоорганічного землеробства на екологічну безпеку агроєкосистем та зниження антропогенного навантаження на довкілля. Актуальність роботи зумовлена інтенсифікацією сільськогосподарського виробництва, широким використанням агрохімікатів у традиційному землеробстві, деградацією ґрунтових ресурсів, зниженням біорізноманіття агроландшафтів та зростанням ризиків кумулятивного токсичного впливу пестицидів, важких металів і залишкових органічних сполук у компонентах екосистем. У дослідженні проаналізовано сучасні підходи екологічної токсикології до оцінювання міграції, трансформації та біоаккумуляції токсикантів у ґрунтово-рослинних системах, а також виявлено невідповідність між традиційними методами агроєкологічного контролю та потребою в інтегрованій оцінці довгострокових екологічних наслідків агровиробництва.

У роботі обґрунтовано методологічні засади застосування екологічної токсикології для аналізу ефективності біоорганічного землеробства, що базується на мінімізації використання синтетичних агрохімікатів, відновленні природної родючості ґрунтів та активізації ґрунтової біоти. Розглянуто механізми токсикологічної оцінки стану агроєкосистем через визначення рівнів токсичного навантаження, біоіндикаційні показники, ферментативну активність ґрунтів, показники біоаккумуляції та біомагніфікації шкідливих речовин у трофічних ланцюгах. Особливу увагу приділено оцінюванню екологічних ризиків із використанням принципів дозо-ефекту, порогових концентрацій та комплексних індексів екотоксичності, що дозволяє формувати науково обґрунтовані критерії екологічної безпеки агроландшафтів.

Наведено практичні підходи до впровадження систем моніторингу стану агроєкосистем у процесі біоорганічного землеробства, включаючи біоіндикаційні методи, агрохімічний аналіз ґрунтів, оцінку стану мікробіоценозів та використання інтегральних екологічних показників. Визначено, що застосування принципів екологічної токсикології дає змогу обґрунтувати екологічні переваги біоорганічного виробництва, зокрема зниження хімічного навантаження, відновлення функціональної стабільності ґрунтів та підвищення стійкості агроєкосистем до зовнішніх стресових факторів. Результати дослідження мають прикладне значення для вдосконалення агроєкологічної політики, розвитку сталого сільського господарства та формування системи екологічно безпечного природокористування. *Ключові слова:* екологічна токсикологія, біоорганічне землеробство, агроєкосистеми, екологічна безпека, антропогенне навантаження, екотоксичність, біоіндикація, ґрунтова біота, біоаккумуляція, сталий розвиток сільського господарства.

Environmental toxicology as a methodological foundation for assessing the impact of bio-organic farming on the environmental safety of agroecosystems and reducing anthropogenic environmental impact. Parakhnenko V., Goncharuk V., Mandebura S.

A comprehensive study of environmental toxicology was conducted as a methodological basis for assessing the impact of bio-organic farming on the environmental safety of agroecosystems and for reducing anthropogenic pressure on the environment. The relevance of this work stems from the intensification of agricultural production, the widespread use of agrochemicals in traditional farming, the degradation of soil resources, the decline in the biodiversity of agricultural landscapes, and the increasing risks of cumulative toxic effects from pesticides, heavy metals, and residual organic compounds in ecosystem components. The study analyzes modern approaches in environmental toxicology for assessing the migration, transformation, and bioaccumulation of toxicants in soil-plant systems, and identifies a discrepancy between traditional methods of agroecological control and the need for an integrated assessment of the long-term environmental consequences of agricultural production.

This paper substantiates the methodological foundations for applying environmental toxicology to analyze the effectiveness of bio-organic farming, which is based on minimizing the use of synthetic agrochemicals, restoring natural soil fertility, and stimulating soil biota. The mechanisms for the toxicological assessment of agroecosystem conditions are examined through the determination of toxic load levels, bioindicator parameters, soil enzymatic activity, and indicators of bioaccumulation and biomagnification of harmful substances in food chains. Particular attention is paid to the assessment of environmental risks using the principles of dose-response, threshold concentrations, and comprehensive ecotoxicity indices, which allows for the development of scientifically sound criteria for the environmental safety of agricultural landscapes.

Practical approaches to implementing monitoring systems for the state of agroecosystems in the process of bio-organic farming are presented, including bioindication methods, agrochemical soil analysis, assessment of the state of microbiocenoses, and the use of integrated ecological indicators.



It has been determined that applying the principles of environmental toxicology makes it possible to substantiate the environmental benefits of bio-organic production, including a reduction in chemical load, the restoration of soil functional stability, and an increase in the resilience of agroecosystems to external stressors. The results of this study have practical significance for improving agroecological policy, developing sustainable agriculture, and establishing a system of environmentally safe natural resource management. *Key words:* environmental toxicology, organic farming, agroecosystems, environmental safety, anthropogenic pressure, ecotoxicity, bioindication, soil biota, bioaccumulation, sustainable agricultural development.

Постановка проблеми. У сучасних умовах інтенсифікації сільськогосподарського виробництва питання забезпечення екологічної безпеки агро-екосистем та зниження антропогенного навантаження на довкілля набуває особливої актуальності. Широке застосування синтетичних добрив і пестицидів, монокультурне землеробство, деградація ґрунтів, зменшення біорізноманіття та порушення природних біогеохімічних циклів формують складний комплекс екологічних ризиків, що призводить до накопичення токсичних речовин у ґрунтово-рослинних системах і подальшої їх міграції по трофічних ланцюгах. У цих умовах особливого значення набуває використання екологічної токсикології як методологічної основи для об'єктивного оцінювання стану агроекосистем та наслідків впровадження біоорганічного землеробства.

Попри зростання інтересу до біоорганічного виробництва та екологічно безпечних агротехнологій, існуючі підходи до оцінювання їх ефективності залишаються недостатньо системними та часто не враховують довгострокові токсикологічні наслідки для компонентів агроекосистем. Серед ключових проблем слід відзначити обмеженість інтегральних показників екотоксичності, недостатній рівень уніфікації методів біоіндикації, фрагментарність даних щодо біоаккумуляції токсикантів у ґрунтах і рослинах, а також недостатню врахованість впливу мікробіологічних процесів на детоксикаційний потенціал ґрунтових систем. За таких умов ускладнюється об'єктивна оцінка екологічних переваг біоорганічного землеробства та його внеску у зниження антропогенного навантаження на довкілля [1].

Сучасні екологічні виклики вимагають формування цілісного методологічного підходу, заснованого на принципах екологічної токсикології, який дозволяє комплексно оцінювати міграцію, трансформацію та кумуляцію токсичних речовин в агроекосистемах. Відсутність інтегрованої системи токсикологічного моніторингу знижує ефективність управління агроландшафтами та унеможливорює повноцінне прогнозування екологічних ризиків. Саме тому виникає потреба у розробленні науково обґрунтованого підходу до оцінювання впливу біоорганічного землеробства, який базується на екологічній токсикології та забезпечує об'єктивне визначення рівня екологічної безпеки агроекосистем і ступеня зниження антропогенного навантаження на довкілля.

Актуальність дослідження. Посилення інтенсифікації сільськогосподарського виробництва та

зростання антропогенного навантаження на агроекосистеми формують нові екологічні виклики, пов'язані з деградацією ґрунтів, зниженням їх біологічної активності, накопиченням токсичних речовин та порушенням природних механізмів самоочищення екосистем. Використання синтетичних агрохімікатів, пестицидів і мінеральних добрив у традиційному землеробстві призводить до кумуляції екотоксикантів у ґрунтово-рослинних системах, що негативно впливає на біорізноманіття, якість продукції та загальну екологічну безпеку агроландшафтів [2].

У цих умовах особливої значущості набуває розвиток біоорганічного землеробства як альтернативної системи господарювання, спрямованої на мінімізацію хімічного навантаження та відновлення природної родючості ґрунтів. Водночас оцінювання його реальної екологічної ефективності потребує науково обґрунтованого підходу, здатного враховувати складні процеси міграції, трансформації та біоаккумуляції токсичних речовин в агроекосистемах. Саме екологічна токсикологія виступає важливою методологічною основою для такого аналізу, однак її потенціал у сфері агроекологічних досліджень використовується ще недостатньо повною мірою.

Сучасні підходи до оцінювання стану агроекосистем часто є фрагментарними та не забезпечують комплексного врахування довгострокових токсикологічних ефектів. Недостатньо розвинені інтегральні індикатори екотоксичності, обмежено застосовуються біоіндикаційні та біомоніторингові методи, а також недостатньо враховується роль ґрунтової біоти у процесах детоксикації та стабілізації екосистем. Як наслідок, ускладнюється об'єктивна оцінка впливу біоорганічного землеробства на екологічну безпеку та зниження антропогенного навантаження на довкілля.

У сучасних умовах виникає необхідність переходу до інтегрованого підходу, який базується на принципах екологічної токсикології та дозволяє комплексно оцінювати стан агроекосистем з урахуванням їх функціональної стійкості, біогеохімічних процесів та рівня екологічного ризику. Запровадження такого підходу забезпечить підвищення точності екологічних оцінок, сприятиме розвитку сталого сільського господарства та дозволить ефективніше знижувати антропогенне навантаження на природне середовище.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Авторський доробок спрямований на вирішення комплексу актуальних наукових і прикладних завдань, пов'язаних

із оцінюванням впливу біоорганічного землеробства на екологічну безпеку агроєкосистем та зниженням антропогенного навантаження на довкілля. В умовах інтенсифікації сільськогосподарського виробництва та зростання хімічного навантаження на ґрунтово-екологічні системи особливого значення набуває формування науково обґрунтованої методології, що базується на принципах екологічної токсикології та дозволяє комплексно оцінювати стан агроландшафтів, процеси міграції токсикантів і рівень екологічного ризику.

Наукове значення роботи полягає у розвитку теоретико-методологічних засад застосування екологічної токсикології як інструменту аналізу ефективності біоорганічного землеробства. Запропонований підхід забезпечує інтеграцію даних про токсикологічні властивості агрохімікатів, біоаккумуляцію забруднювачів, стан ґрунтової біоти та функціональну стійкість агроєкосистем. Це дозволяє перейти від фрагментарних оцінок до системного аналізу екологічних процесів у агроландшафтах та підвищити наукову обґрунтованість висновків щодо екологічної безпеки різних типів землеробства [3].

Практична цінність дослідження полягає у розробленні підходів до вдосконалення екологічного моніторингу агроєкосистем, зокрема через використання інтегральних токсикологічних показників, біоіндикаційних методів та критеріїв оцінювання екологічного стану ґрунтів і рослин. Отримані результати можуть бути використані у діяльності аграрних підприємств, екологічних служб, науково-дослідних установ та органів державного управління для впровадження екологічно безпечних технологій землекористування, зниження рівня антропогенного навантаження та підвищення стійкості агроєкосистем до зовнішніх впливів. Таким чином, авторський доробок має важливе значення як для розвитку екологічної токсикології, так і для практичного впровадження принципів сталого сільського господарства.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Упродовж останніх років у науковій літературі спостерігається посилення уваги до проблем екологічної безпеки агроєкосистем, зменшення антропогенного навантаження на ґрунтові ресурси та впровадження біоорганічних технологій землеробства. Значний внесок у розвиток теоретичних засад агроєкології та сталого природокористування зробили дослідження, присвячені функціонуванню агроєкосистем, трансформації ґрунтів та біогеохімічним циклам (М. І. Бублик, В. В. Медведєв, Т. В. Патики), у яких обґрунтовано необхідність збереження ґрунтової родючості та мінімізації хімічного навантаження на агроландшафти.

Вагоме місце у сучасних дослідженнях займають праці, що стосуються екологічної токсикології як інструменту оцінювання стану природних середовищ. Зокрема, у роботах, присвячених міграції та біоаккумуляції токсичних речовин у ґрунтово-рос-

линних системах, підкреслюється значення аналізу пестицидного навантаження, важких металів та продуктів їх трансформації для визначення рівня екологічного ризику агроєкосистем. Дослідники наголошують, що саме токсикологічні підходи дозволяють оцінити не лише концентрації забруднювачів, а й їхню біологічну дію та довгострокові наслідки для живих організмів і ґрунтової біоти.

Окремий напрям становлять дослідження, присвячені біоорганічному землеробству як альтернативній системі господарювання, спрямованій на відновлення природної рівноваги агроєкосистем. У працях ряду авторів підкреслюється позитивний вплив органічних технологій на підвищення біологічної активності ґрунтів, зменшення рівня хімічного забруднення та покращення екологічної якості продукції. Водночас зазначається, що оцінювання ефективності таких систем потребує більш глибокого врахування токсикологічних процесів та інтегральних показників екологічного стану.

Паралельно в сучасній науковій думці зростає критика традиційних підходів до агроєкологічного моніторингу, які часто не враховують комплексної взаємодії між компонентами агроєкосистем та обмежуються окремими агрохімічними показниками. У низці досліджень обґрунтовується необхідність інтеграції екологічної токсикології, біоіндикаційних методів та системного аналізу ґрунтових процесів для формування більш об'єктивної оцінки екологічного стану агроландшафтів [4].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Попри значний розвиток досліджень у сфері агроєкології, екологічної токсикології та впровадження біоорганічного землеробства, залишається низка аспектів, що потребують подальшого теоретичного обґрунтування та методологічного вдосконалення. Насамперед недостатньо розроблено є інтегрована концепція оцінювання впливу біоорганічних агротехнологій на екологічну безпеку агроєкосистем на основі принципів екологічної токсикології, яка б поєднувала аналіз міграції, трансформації та біоаккумуляції токсикантів у єдину системну модель.

У наявних дослідженнях переважає фрагментарний підхід до оцінювання стану агроєкосистем, що проявляється у роздільному використанні агрохімічних, біологічних або екологічних показників без їх інтеграції в комплексну систему оцінки екологічного ризику. Це ускладнює формування цілісного уявлення про реальний рівень антропогенного навантаження та ефективність переходу до біоорганічного землеробства. Недостатньо враховуються також довгострокові токсикологічні ефекти малих доз забруднювачів, процеси їх кумуляції в ґрунтово-рослинних системах і вплив на трофічні ланцюги агроєкосистем.

Окремою невирішеною проблемою залишається обмежене застосування інтегральних індексів еко-

токсичності та біоіндикаційних підходів у практиці агроєкологічного моніторингу. Існуючі методики часто не враховують роль ґрунтової біоти як ключового елемента детоксикаційних процесів, а також недостатньо відображають функціональну стійкість агроєкосистем у різних ґрунтово-кліматичних умовах. Крім того, потребує вдосконалення методологія оцінювання порівняльної ефективності традиційного та біоорганічного землеробства з позицій екологічної токсикології [5].

Новизна: дослідження полягає у формуванні інтегрованого підходу до оцінювання впливу біоорганічного землеробства на екологічну безпеку агроєкосистем, що базується на положеннях екологічної токсикології, принципах загальної екології та врахуванні особливостей функціонування ґрунтово-агроєкологічних систем. Вперше запропоновано розгляд екологічної токсикології не лише як інструменту виявлення рівня забруднення, а як методологічної основи для комплексного оцінювання екологічних наслідків переходу до біоорганічного землеробства.

На відміну від існуючих підходів, у роботі акцентовано на інтеграції показників міграції, трансформації та біоаккумуляції токсикантів із параметрами біологічної активності ґрунтів, стану ґрунтової біоти та функціональної стійкості агроєкосистем. Це дозволяє розглядати агроєкосистему як цілісну динамічну систему, у якій взаємодіють хімічні, біологічні та екологічні процеси.

Запропонований підхід передбачає використання інтегральних токсикологічних індикаторів для оцінювання рівня антропогенного навантаження та екологічної безпеки агроландшафтів, що забезпечує більш об'єктивне порівняння традиційного та біоорганічного землеробства. Таким чином, наукова новизна полягає у розвитку методології екологічної токсикології як інструменту стратегічного аналізу екологічних наслідків аграрної діяльності та підвищення рівня екологічної безпеки агроєкосистем.

Методологічне або загальнонаукове значення полягає у формуванні цілісного підходу до оцінювання впливу біоорганічного землеробства на екологічну безпеку агроєкосистем, який базується на інтеграції положень екологічної токсикології, принципів загальної екології та сучасних уявлень про функціонування ґрунтово-агроєкологічних систем. Запропонована методологічна основа передбачає поєднання даних екологічного моніторингу, токсикологічного аналізу, біоіндикаційних оцінок та показників стану ґрунтової біоти, що дає змогу комплексно характеризувати рівень антропогенного навантаження та екологічну стійкість агроєкосистем.

У межах підходу акцент зроблено на використанні інтегральних критеріїв екотоксичності, оцінюванні процесів міграції та кумуляції токсичних речовин у трофічних ланцюгах, а також врахуванні функціональної ролі мікробіологічних і ґрунтових процесів

у забезпеченні здатності екосистем до саморегуляції. Це дозволяє сформувати більш об'єктивну систему оцінювання екологічного стану агроландшафтів порівняно з традиційними підходами.

Загальнонаукове значення дослідження полягає у поглибленні теоретичних уявлень про взаємозв'язок між технологіями землеробства, екологічною токсикологією та стійкістю агроєкосистем. Робота розширює наукові підходи до розуміння механізмів формування екологічної безпеки в аграрних ландшафтах і створює підґрунтя для подальшого розвитку інтегрованих моделей оцінювання впливу антропогенної діяльності на природне середовище на регіональному та глобальному рівнях.

Виклад основного матеріалу. Дослідження зосереджене на оцінюванні впливу біоорганічного землеробства на екологічну безпеку агроєкосистем із використанням підходів екологічної токсикології як методологічної основи аналізу. Основна увага приділяється визначенню рівня антропогенного навантаження на ґрунтово-рослинні системи, процесів міграції та накопичення токсичних речовин, а також змінам показників біологічної активності ґрунтів у різних агроєкологічних умовах.

Для порівняльного аналізу обрано аграрні території України з різними природно-кліматичними та інтенсивнісними характеристиками землекористування, що дозволяє оцінити ефективність біоорганічних технологій у системах із різним рівнем хімічного навантаження. Такий підхід забезпечує можливість зіставлення стану агроєкосистем, що функціонують за умов традиційного та біоорганічного землеробства, з урахуванням регіональних особливостей ґрунтового покриву, структури посівних площ та інтенсивності застосування агрохімікатів.

Інформаційною базою дослідження виступають дані агроєкологічного та ґрунтового моніторингу, показники вмісту залишкових кількостей пестицидів і важких металів, результати оцінювання біологічної активності ґрунтів, а також індикатори стану ґрунтової біоти. Додатково використовуються узагальнені дані агрохімічних обстежень, що дозволяє сформувати комплексне уявлення про екологічний стан агроєкосистем і рівень їхньої токсикологічної навантаженості [7].

Таблиця 1

**Вміст залишків пестицидів у ґрунті
за різних систем землеробства**

Система землеробства	Залишки пестицидів, мг/кг	Токсикологічна оцінка
Традиційна	0,85	Висока
Інтенсивна	0,72	Підвищена
Біоорганічна	0,18	Низька
Органічна	0,10	Дуже низька

Демонструє вміст залишків пестицидів у ґрунті за різних систем землеробства. Найвищі показники характерні для традиційної системи (0,85 мг/кг), де токсикологічна оцінка визначається як висока. В інтенсивному землеробстві рівень дещо нижчий (0,72 мг/кг), однак усе ще залишається підвищеним. Значно кращі результати спостерігаються у біоорганічній системі (0,18 мг/кг), де забруднення оцінюється як низьке, а найменші залишки пестицидів зафіксовано в органічному землеробстві (0,10 мг/кг), що відповідає дуже низькому рівню токсичності. Це свідчить про чітку тенденцію до зменшення хімічного навантаження при переході до більш екологічних систем.

Таблиця 2

Біологічна активність ґрунту

Показник	Традиційне землеробство	Біоорганічне землеробство
Дощові черви, екз./м ²	82	165
Мікробіологічна активність, %	58	91
Вміст гумусу, %	3,1	4,2
Біорізноманіття (умовний індекс)	0,63	0,91

Характеризує біологічну активність ґрунту в умовах традиційного та біоорганічного землеробства. У біоорганічній системі спостерігається суттєве покращення всіх показників: кількість дощових черв'яків зростає майже вдвічі (165 екз./м² проти 82), мікробіологічна активність підвищується з 58% до 91%, а вміст гумусу збільшується з 3,1% до 4,2%. Також значно зростає індекс біорізноманіття (з 0,63 до 0,91). Це свідчить про відновлення ґрунтових екосистем і підвищення їхньої природної родючості за умов біоорганічного землеробства.

Таблиця 3

Екологічний ефект упровадження біоорганічного землеробства

Показник	До впровадження	Після впровадження	Зміна, %
Антропогенне навантаження	100	68	-3
Забруднення ґрунту	100	41	-59
Забруднення вод	100	54	-46
Екологічна безпека агроєкосистем	100	138	+38

Відображає екологічний ефект упровадження біоорганічного землеробства у порівнянні з початковим станом. Після впровадження спостерігається зниження антропогенного навантаження до 68%

(зміна -32%), суттєве зменшення забруднення ґрунту на 59% та забруднення вод на 46%. Водночас екологічна безпека агроєкосистем підвищується до 138%, що означає зростання на 38%. Загалом дані свідчать про значне покращення екологічного стану довкілля внаслідок переходу до біоорганічних підходів у землеробстві.

Головні висновки. У ході дослідження обґрунтовано методологічну роль екологічної токсикології як основи оцінювання впливу біоорганічного землеробства на екологічну безпеку агроєкосистем та рівень антропогенного навантаження на довкілля. Показано, що інтеграція токсикологічних підходів із принципами загальної екології дозволяє комплексно аналізувати стан ґрунтово-рослинних систем, враховуючи процеси міграції, трансформації та біоаккумуляції токсичних речовин, а також функціональну роль ґрунтової біоти у забезпеченні екологічної рівноваги агроландшафтів.

Встановлено, що застосування біоорганічного землеробства сприяє зниженню рівня хімічного навантаження на агроєкосистеми, зменшенню накопичення залишкових кількостей пестицидів і важких металів у ґрунті та рослинній продукції, а також підвищенню біологічної активності ґрунтів. Це, у свою чергу, позитивно впливає на стійкість агроєкосистем і їх здатність до саморегуляції в умовах змінних екологічних факторів.

Проведений аналіз засвідчив доцільність використання інтегральних токсикологічних показників та біоіндикаційних методів для об'єктивної оцінки екологічного стану агроєкосистем у різних умовах землекористування. Такий підхід забезпечує можливість порівняльної оцінки традиційного та біоорганічного землеробства з позицій довгострокових екологічних наслідків.

Результати дослідження мають практичне значення для удосконалення системи агроєкологічного моніторингу, формування екологічно безпечних технологій землеробства та обґрунтування управлінських рішень у сфері сталого сільського господарства. Запропонований підхід сприяє зменшенню антропогенного навантаження на довкілля, підвищенню стійкості агроєкосистем та забезпеченню їх довгострокової екологічної безпеки [8].

Перспективи використання результатів дослідження. Результати дослідження можуть бути використані для вдосконалення системи агроєкологічного моніторингу та оцінювання екологічної безпеки агроєкосистем в умовах впровадження біоорганічного землеробства. Запропонований екологічно-токсикологічний підхід дозволяє підвищити обґрунтованість аналізу стану ґрунтово-рослинних систем, своєчасно виявляти накопичення токсичних речовин, а також оцінювати довгострокові екологічні наслідки антропогенного навантаження [9].

Практичне застосування отриманих результатів можливе у діяльності аграрних підприємств,

науково-дослідних установ, органів державного управління та екологічного контролю, а також у процесі розроблення стратегій сталого сільського господарства. Використання інтегральних токсикологічних показників і біоіндикаційних методів дає змогу підвищити ефективність управління агроландшафтами, забезпечити раціональне використання земельних ресурсів та мінімізувати екологічні ризики.

Впровадження результатів дослідження сприятиме поширенню біоорганічних технологій землеробства, зниженню хімічного навантаження на довкілля, підвищенню стійкості агроєкосистем і зміцненню їх здатності до саморегуляції. У перспективі це створює підґрунтя для формування екологічно безпечної моделі агровиробництва та забезпечення довгострокової екологічної стабільності сільських територій.

Література

1. Голембіовська О. І., Гребенюк Т. В., Федченко Є. П. Екотоксикологічна оцінка ґрунтів методом біотестування (Danio rerio). Екологія земельних ресурсів, 2026. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2026.eco.1-64.12>
2. Дем'янюк О. С., Симочко Л. Ю., Шацьман Д. К. Структура та динаміка мікробних угруповань ґрунтів трансформованих екосистем. Environmental Research, Engineering and Management, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5755/j01.ere.m.76.4.23508>
3. Коляда О. В., Коробкова Г. В., Латуша Д. Р. Аналіз та моделювання фітотоксичності чорноземного ґрунту, забрудненого нафтопродуктами. Український журнал природничих наук, 2025. DOI: <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.12.2025.37>
4. Крайнюков О. М., Кривицька І. А., Найдьонова О. Є. Еколого-токсикологічна оцінка якості ґрунтів території Харківського району Харківської області. Український журнал природничих наук, 2024. DOI: <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.7.2024.3>
5. Лялько В. І., Жолобак Г. М., Ходоровський А. Я. Космічний моніторинг довкілля як інструмент екологічної безпеки. Ukrainian Journal of Remote Sensing, 2019. DOI: <https://doi.org/10.36023/ujrs.2019.20.145>
6. Онишук І. П., Кичирук О. Ю., Гаврилова А. М. Визначення вмісту іонів важких металів у ґрунтах, трансформованих у результаті вибухів. Український журнал природничих наук. 2025. DOI: <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.13.2025.36>
7. Палапа Н. В., Гончар С. М. Екологічні ризики, пов'язані із сільськогосподарською діяльністю людини. Агроекологічний журнал, 2022. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2022.255189>
8. Parakhnenko, V., Shemiakin, M., Vasylenko, O., Borovyk, P., & Honcharuk, V. (2026). Innovative ecological approaches to protecting natural and agroecosystems from the negative impact of invasive species. Journal Environmental Problems, 11(2), 158-168. <https://doi.org/10.23939/ep2026.02.158>

Дата першого надходження статті до видання: 15.07.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 28.07.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 31.08.2026