ЕКОЛОГІЯ ЗЕМЕЛЬНИХ РЕСУРСІВ

УДК 631.46:504.5:711.4
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2026.eco.5-68.24

ДЕГРАДАЦІЯ БІОТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ МІСЬКИХ ҐРУНТІВ В УМОВАХ ХРОНІЧНОГО АНТРОПОГЕННОГО ПРЕСИНГУ

Вовк М.А. (orcid.org/0009-0008-2145-0744)
Уманський національний університет
вул. Інститутська, 1, 20301, м. Умань
Vovknikolay12@gmail.com

У науковій статті здійснено комплексний аналіз, присвячений обґрунтуванню теоретико-методологічних засад та практичних аспектів застосування інноваційного біоцентричного підходу до інтегральної оцінки екологічного стану й «здоров'я» міських ґрунтів (урбоедафотопів) Центральної України, які функціонують в умовах синергетичного впливу глобальної кліматичної аридизації та хронічного багатовекторного антропогенного пресингу. Критично переосмислено традиційну парадигму моніторингу урболандшафтів та науково доведено суттєву перевагу використання живих біологічних індикаторів – зокрема обсягу мікробної біомаси, базального дихання, ензиматичної активності ключових ферментів каталази й дегідрогенази – порівняно з інертним класичним геохімічним моніторингом фізико-хімічних констант.

Окреслено головні наукові виклики на шляху розробки об'єктивних критеріїв деградації урбоедафотопів, серед яких: висока просторово-часова динамічність біотичних показників, відсутність єдиного консенсусу щодо регіональних еталонів «екологічної норми» та недостатня адаптація існуючих систем контролю до умов стрімких кліматичних змін. Крізь призму міжнародної концепції «якості ґрунтів» (*Soil Quality*) виокремлено специфіку міського середовища, де деструктивні процеси є значно глибшими й різноплановішими порівняно з аграрним сектором. Доведено, що в умовах хронічного антропогенного тиску повністю блокуються природні механізми самовідновлення та буферності урбоедафотопів, що зумовлює прогресуюче виснаження й деградацію їхнього біотичного потенціалу, зосередженого в мікробіомі та мезофауні.

На основі узагальнення офіційних даних НААН та Держгеокадастру автором укладено порівняльну матрицю масштабів деградаційних процесів ґрунтового покриву України, яка охоплює показники водно-вітрової ерозії, вторинної кислотності, засолення, а також сучасного військового техногенезу. На тлі цих глобальних викликів виокремлено специфіку міського середовища, де запечатування ядер міст сягає 80% і накладається на ефект «міського острова тепла». На основі отриманих експериментальних даних запропоновано прикладні біотехнологічні рішення для біоремедіації едафотопів задля оптимізації екологічного управління та забезпечення сталого розвитку сучасних міських агломерацій. *Ключові слова:* урбоедафотопи, біотичний потенціал, біоцентричний підхід, мікробіом ґрунту, ензиматична активність, едафічна мезофауна, екологічна стійкість, біоремедіація, антропогенний пресинг, здоров'я ґрунту.

Degradation of the Biotic Potential of Urboedaphotopes in Central Ukraine Under Chronic Anthropogenic Pressure. Vovk M.

In the scientific article, a comprehensive analysis is carried out to substantiate the theoretical and methodological foundations and practical aspects of applying an innovative biocentric approach to the integral assessment of the ecological condition and "health" of urban soils (urboedaphotopes) of Central Ukraine, functioning under the synergistic influence of global climatic aridization and chronic multivector anthropogenic pressure. The traditional paradigm of urban landscape monitoring is critically reinterpreted, and the significant advantage of using living biological indicators–particularly microbial biomass volume, basal respiration, and enzymatic activity of key enzymes such as catalase and dehydrogenase–over inert classical geochemical monitoring of physicochemical constants is scientifically proven.

The main scientific challenges in developing objective criteria for urboedaphotope degradation are outlined, including high spatiotemporal variability of biotic indicators, lack of consensus regarding regional "ecological norm" standards, and insufficient adaptation of existing control systems to the conditions of rapid climate change. Through the prism of the international "Soil Quality" concept, the specificity of the urban environment is highlighted, where destructive processes are much deeper and more diverse compared to the agricultural sector. It is proven that under chronic anthropogenic pressure, the natural mechanisms of self-recovery and buffering of urboedaphotopes are completely blocked, leading to progressive depletion and degradation of their biotic potential concentrated in the microbiome and mesofauna.

Based on the generalization of official data from NAAS and the State Geocadastre, the author compiled a comparative matrix of the scale of degradation processes in Ukraine's soil cover, encompassing indicators of water and wind erosion, secondary acidity, salinization, and modern military technogenesis. Against the backdrop of these global challenges, the specificity of the urban environment is emphasized, where city core sealing reaches 80% and overlaps with the "urban heat island" effect. Based on the obtained experimental data, applied biotechnological solutions for edaphotope bioremediation are proposed to optimize ecological management and ensure sustainable development of modern urban agglomerations. *Key words:* urboedaphotopes, biotic potential, biocentric approach, soil microbiome, enzymatic activity, edaphic mesofauna, ecological stability, bioremediation, anthropogenic pressure, soil health.

© Вовк М.А., 2026
Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

Постановка проблеми. Сучасний етап розвитку біосфери характеризується синергетичним впливом глобальних кліматичних змін та інтенсивного антропогенезу, що призводить до масштабної трансформації та деградації ґрунтового покриву. Кліматична аридизація, температурний стрес, нерівномірний розподіл опадів та активізація ерозійних процесів суттєво послаблюють природну стійкість екосистем. Для України, яка традиційно володіє потужним аграрно-ресурсним потенціалом, ці виклики вже набули загрозливих масштабів. За сучасними оцінками, понад половину території країни уражено водно-вітровою ерозією, значна частина земель зазнає вторинного підкислення та засолення. Додатковим деструктивним чинником останніх років став безпрецедентний військовий техногенез – механічне руйнування профілю ґрунтів важкою технікою, хімічне забруднення токсикантами внаслідок обстрілів, що супроводжується різким пригніченням функціонування ґрунтової мікробіоти та деструкцією її біомаси.

Водночас, якщо в аграрному секторі процеси деградації контролюються відносно стабільними моніторинговими інструментами, то в умовах міських ландшафтів (урбоедафотопів) ситуація є значно складнішою. На відміну від природних чи сільськогосподарських угідь, урбоедафотопи Центральної України функціонують в умовах хронічного антропогенного пресингу. Тут кліматичні аномалії накладаються на ефект «міського острова тепла», хронічне запечатування (асфальтування) територій, ущільнення та вилучення органіки (опалого листя). Як наслідок, відбувається прогресуюча деградація їхнього біотичного потенціалу – здатності саморегулюватися, підтримувати біорізноманіття та здійснювати детоксикацію забруднювачів.

У сучасному ґрунтознавстві існує очевидний методологічний розрив між теоретичним обґрунтуванням біологічних індикаторів та їхнім практичним застосуванням для оцінки стану таких трансформованих ґрунтів. Показники мікробної біомаси, базального дихання та базальної активності ключових ензимів (каталази, дегідрогенази, фосфатази) визнані у світовій практиці найбільш чутливими маркерами «здоров'я ґрунту». Проте їхня системна інтеграція у національні моніторингові програми залишається обмеженою [1].

Головним науковим викликом є висока просторово-часова динамічність біотичних показників, відсутність єдиного консенсусу щодо базових регіональних еталонів («норми») та недостатня адаптація існуючих систем контролю до умов стрімких кліматичних змін в урбоурбанізованих екосистемах. Окреслена проблема зумовлює необхідність детального дослідження біотичного потенціалу урбоедафотопів Центральної України з метою розробки об'єктивних критеріїв їхньої деградації.

Актуальність дослідження. Масштаби деградації ґрунтового покриву України та прогресуюче погіршення його фундаментальних екологічних властивостей набули критичного значення в останні десятиліття. Цей процес багато в чому синхронізувався з тривалим перехідним періодом до ринкових умов, що зумовило споживацьке, екстенсивне використання земельних ресурсів, орієнтоване на виснаження природного капіталу без належної компенсації та рекультиваційних заходів. Проте, якщо в аграрному секторі цей пресинг має переважно монофункціональний характер, то в межах міських агломерацій деструктивні процеси є значно глибшими й різноплановішими.

Сучасна концепція «якості ґрунтів» (*Soil Quality*), погоджена на міжнародному рівні (зокрема на спеціалізованих засіданнях НАТО з питань екологічно стійкого розвитку та екологічної безпеки), трактує якість як базову здатність ґрунту функціонувати в межах екосистеми, підтримувати біологічну продуктивність, забезпечувати належну якість навколишнього середовища та здоров'я живих організмів упродовж тривалого часу. В умовах міського середовища ця здатність безпосередньо залежить від екологічної стійкості урбоедафотопів, яка є інтегральною сумою їхньої функціональної біотичної продуктивності та динамічної екологічної рівноваги.

Стійкість міського ґрунту визначається його буферністю та регенераційним потенціалом – спроможністю автономно відновлювати свій структурно-функціональний стан після деструктивних збурень, викликаних комплексом зовнішніх та внутрішніх чинників. В умовах хронічного антропогенного пресингу (інтенсивне запечатування, механічне перемішування, забруднення важкими металами й нафтопродуктами, дефіцит природного опаду) механізми самовідновлення урбоедафотопів блокуються.

Головним рушієм екологічної стійкості та «здоров'я» будь-якого ґрунту є його біотичний потенціал, зосереджений у мікробіомі та мезофауні. Саме біота забезпечує замкненість геохімічних циклів та детоксикаційну функцію. Проте в урбанізованому середовищі Центральної України, де природні чорноземні ґрунти трансформуються в урбаноземи й техноземи, спостерігається хронічне виснаження та деградація цього потенціалу. З огляду на це, оцінка глибини деградації біотичного потенціалу міських ґрунтів є критично актуальною. Вона дає змогу не лише встановити поточний рівень екологічної безпеки урболандшафтів, а й визначити граничні межі їхньої стійкості, що є безальтернативною основою для розробки стратегій сталого розвитку сучасних міст [2].

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. У сучасній екологічній та ґрунтознавчій літературі прискіплива увага приділяється пошуку експрес-індикаторів, здатних оперативно відображати деструктивні зміни в екосистемах. Традиційний підхід, що базу-

ється суто на моніторингу фізико-хімічних властивостей ґрунту, часто виявляється інертним, оскільки фіксує порушення на етапі глибокої, важковідновлюваної деградації. На противагу цьому, дослідження біологічних індикаторів базується на вимірюванні структурно-функціональних характеристик живих компонентів едафону, які виступають у ролі «чутливих маркерів» ранніх екологічних змін [3].

В умовах України напрям наукових пошуків останніх років змістився у бік оцінки стійкості ґрунтової мікрофлори до екстремальних антропогенних чинників. Якщо у відносно стабільний період динаміка мікробіоценозів оцінювалася переважно крізь призму агротехнічних маніпуляцій, мінерального живлення та бактеріальної інокуляції [4], то сьогодні на перший план виходять деструктивні чинники воєнного та промислового походження. Новітні дослідження, проведені у різних регіонах України, що зазнали інтенсивного військового техногенезу, фіксують катастрофічне пригнічення біотичних процесів у зонах бойових дій. Механічне руйнування архітектоніки ґрунту та токсикація продуктами вибухів призводять до деструкції мікробної біомаси та падіння ключових біотичних показників у два і більше разів порівняно з умовним контролем.

Таким чином, сучасний стан розробки проблеми засвідчує, що біологічні тест-системи реагують на екологічний пресинг значно швидше та достовірніше, ніж стандартні фізико-хімічні матриці. В умовах хронічної антропогенної нестабільності, притаманної урбоедафотопам Центральної України, саме ці параметри спроможні виступати надійною системою раннього попередження про початок незворотної деградації біотичного потенціалу міських екосистем.

Невирішені частини загальної проблеми. Попри глибоку теоретичну базу у сфері загального біомоніторингу ґрунтів, поза увагою дослідників залишається низка аспектів, пов'язаних із функціонуванням саме специфічних урбоекосистем. Досі не з'ясовано характер поєднаного впливу кліматичної аридизації та хронічного ущільнення міського субстрату на кінетику ґрунтових ферментів і міграцію трофічних груп мезофауни. Більшість існуючих робіт фокусуються на вивченні сільськогосподарських угідь, тоді як закономірності деградації біотичного потенціалу урбоедафотопів Центральної України в градієнті різних типів міського функціонального зонування (транспортна, селітебна, рекреаційна зони) залишаються фрагментарними й потребують системного теоретичного та експериментального узагальнення.

Новизна. Наукова новизна роботи полягає в детальному аналізі, як саме руйнується живе середовище урбоедафотопів у Центральній Україні під впливом антропогенного пресингу.

Методологічне або загальнонаукове значення. Методологічне та загальнонаукове значення результатів дослідження полягає у зміні концептуальних підходів до оцінки екологічного стану міських екосистем.

Робота закладає методичну основу для розробки в майбутньому нових регіональних шкал деградації ґрунтів Центральної України. Адже визначення чутливості різних груп організмів до міського стресу дає вченим та практикам готовий методологічний інструментарій для раннього моделювання екологічного стану міст, що є безальтернативним кроком для переходу до сталого урбаністичного розвитку сучасних міст України.

Виклад основного матеріалу. Для об'єктивної оцінки ступеня деструкції біотичного потенціалу міських ґрунтів Центральної України необхідно розглядати їхнє функціонування на тлі глобальних та загальнонаціональних тенденцій ґрунтодеградації. Сучасні урбоедафотопи формуються не в ізольованому просторі; вони успадковують зональні генетичні ознаки (переважно чорноземів типових), проте зазнають специфічного хронічного пресингу [5].

Якщо в аграрному секторі деградація має чітко виражений монофункціональний характер і спрямована на виснаження поживних речовин, то в межах міських агломерацій руйнування едафону відбувається за синергетичним типом. Тут фізичне руйнування профілю та хімічний токсикоз миттєво блокують біологічні функції живих компонентів ґрунту.

Для систематизації масштабів цієї проблеми, оцінки її впливу на екосистеми та визначення стратегічних шляхів відновлення нами було розроблено узагальнюючу матрицю екологічного стану ґрунтового покриву (табл. 1).

Представлені у таблиці кількісні параметри площ ураження земельного фонду України (зокрема 57 % для еродованих, 18 % для кислих та 6 % для засолених земель) були узагальнені та запозичені автором з офіційних звітів Національної академії аграрних наук (НААН) України [6], Державної служби України з питань геодезії картографії та кадастру [7], а також матеріалів загальнодержавного екологічного моніторингу [8-9]. Ці загальнонаціональні показники використані у роботі як фундаментальне аналітичне тло для порівняння масштабів глобальної деградації з локальними змінами у штучних ландшафтах. Аналіз наведених даних крізь призму біоцентричної методології свідчить, що ключовим індикатором небезпеки є не сам факт наявності деградаційного процесу, а швидкість руйнування біотичних зв'язків, які забезпечують самоочищення ґрунту.

Наочніше уявлення про масштаби деградаційних процесів ґрунтового покриву та урбоедафотопів в Україні відображено на рисунку 1 у вигляді стовпчастих діаграм.

Головна закономірність аналізу полягає в тому, що масштабні фізико-хімічні порушення (ерозія, кислотність, засолення) виступають лише первинним тригером деструкції. Натомість остаточна втрата ґрунтом

Таблиця 1.

Основні деградаційні процеси в ґрунтах України, їхні наслідки для довкілля та заходи з поліпшення

Деградаційні процеси ґрунтів і площа ураження	Негативні наслідки для довкілля	Заходи поліпшення
Водно-вітрова ерозія *(~57 % території України)*	Руйнування родючого шару, вимивання гумусу, пилові бурі, замулення водойм. В умовах міст – оголення кореневих систем зелених насаджень.	Терасування схилів, створення захисних лісосмуг, фітомеліорація, залуження відкритих ділянок в урболандшафтах.
Вторинна кислотність *(~18 % земель)*	Погіршення рухливості поживних елементів, пригнічення азотфіксуючих бактерій, посилення міграції важких металів у підземні води.	Вапнування ґрунтів, внесення кальцієвмісних меліорантів, підбір стійких видів міських рослин-ацидофілів.
Вторинне засолення *(~6 % земель)*	Підвищення осмотичного тиску ґрунтового розчину, фізіологічна сухість для рослин, руйнування структури ґрунту, солонець.	Промивні режими, дренаж, гіпсування, мінімізація використання технічної солі під час зимового утримання міських доріг.
Хронічний антропогенний пресинг та запечатування *(локально, до 80 % в ядрах міст)*	Повне блокування газообміну та інфільтрації вологи, формування «міського острова тепла», «випадіння» чутливих груп мезофауни.	Збільшення площі відкритих газонів, використання екобруківки (перфорованого покриття), вертикальне озеленення.
Військовий техногенез та масовані обстріли *(зони бойових дій та прилеглі регіони)*	Перемішування генетичних горизонтів, хімічний шок (залишки вибухових речовин, мазут), падіння біотичних показників у 2 і більше разів.	Техногенна рекультивація, хімічна детоксикація, біоремедіація із застосуванням спеціалізованих штамів мікроорганізмів.

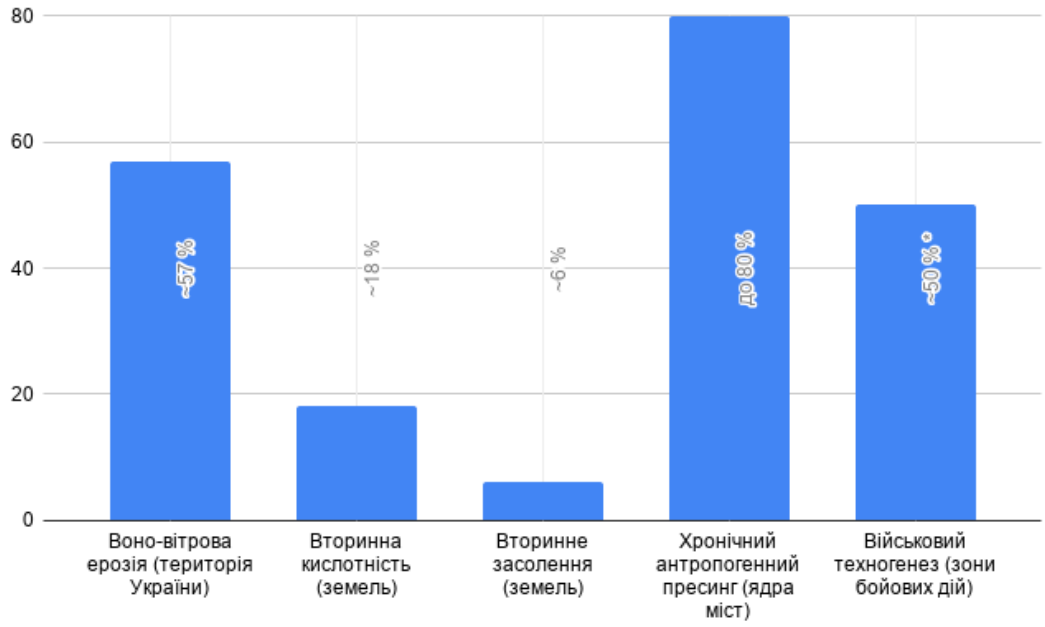


Рис. 1. Порівняльна характеристика масштабів деградаційних процесів ґрунтового покриву та урбоедафотопів в Україні за площею ураження (%)

статусу «живого тіла» та руйнування його екологічних сервісів відбуваються тоді, коли хронічний антропогенний пресинг докорінно змінює архітектоніку едафону. В урбоедафотопах Центральної України цей ефект простежується найбільш рельєфно, оскільки через постійне рекреаційне та транспортне ущільнення субстрату повністю припиняється природне надходження свіжого рослинного опаду й органіки, що запускає незворотну ланцюгову деструкцію всієї підземної екосистеми [10].

Першим етапом цього руйнування є катастрофічна трансформація макро- та мезофауни, внаслідок якої з міських субстратів майже повністю зникають найчутливіші сапрофаги-гумусоутворювачі, насамперед дощові черв'яки (*Lumbricidae*), які біологічно не здатні функціонувати в переущільненому, сухому

та позбавленому кисню ґрунті. Наступним етапом стає процес екологічного заміщення, коли вивільнені екологічні ніші заселяють дрібні, екологічно пластичні види нематод і комах. Вони володіють високою витривалістю до токсикантів, проте мають мінімальну функціональну активність і не здатні підтримувати процеси гумусоутворення. Наслідком цієї сукцесії є глибокий мікробіологічний стрес: за відсутності макро-трансформаторів органіки різко знижується мікробна біомаса, пригнічується базальне дихання та зупиняється робота найважливіших ферментів ґрунту (каталази та дегідрогенази), через що урбоедафотоп остаточно втрачає свою життєву силу й здатність до самовідновлення.

Висновки. Проведене дослідження масиву даних екологічного стану та біотичного потенціалу урбоедафотопів Центральної України дозволяє переосмислити традиційну геохімічну парадигму моніторингу та констатувати глибоку системну кризу міських ґрунтових екосистем. На тлі загальнонаціональних деградаційних викликів – водно-вітрової ерозії, вторинного підкислення й новітнього воєнного техногенезу – міське середовище формує специфічний, сукупний синергетичний стрес. Деградація біотичного потенціалу міських ґрунтів в умовах хронічного антропогенного пресингу призводить до каскадного руйнування підземного едафону, через що урбоедафотопи втрачають фундаментальні функції самоочищення та життєву силу. Збереження їхнього «здоров'я» вимагає термінового переходу від простої фіксації хімічного забруднення до біоцентричного моніторингу та відновлення живих компонентів міського субстрату.

Перспективи використання результатів дослідження. Перспективи використання отриманих результатів мають комплексний характер і охоплюють як фундаментальну науку, так і прикладні сфери міського управління. У науково-теоретичній сфері розроблений біоцентричний підхід слугує основою для створення нових регіональних екологічних шкал і матриць «здоров'я ґрунту» для міст Центральної України з урахуванням кліматичних змін. У практиці міського господарства ця система біомаркерів дає змогу комунальним службам проводити оперативне екологічне зонування територій, оптимізувати витрати на озеленення та скоригувати правила догляду за парками, зокрема впровадити заборону на повне вилучення опалого листя в рекреаційних зонах [11].

У сфері екологічного відновлення результати роботи обґрунтовують відмову від суто інженерних методів на користь біотехнологічних рішень. Вони є перспективними для розробки програм рекультивації урбаноземів шляхом штучного моделювання мікробіоценозів (внесення штамів бактерій-деструкторів, біогумусу) та впровадження екобруківки для відновлення газообміну й інфільтрації вологи. Крім того, матеріали дослідження мають високу цінність для освітнього процесу й можуть бути інтегровані у профільні курси ВНЗ з «Урбоекології», «Моніторингу навколишнього середовища» та «Ґрунтознавства».

Література

1. Мельник-Шамрай В. В., Кравчук-Ободзінська Т. В., Алпатова О. М., Сікач Т. І. Біологічні індикатори деградації ґрунтів у контексті глобальних кліматичних змін. *Аграрні інновації*. 2025. № 33. С. 187–191. URL: https://www.agrarian-innovations.izpr.ks.ua/index.php/agrarian/article/view/946 (дата звернення: 10.07.2026).
2. Деградаційні процеси в ґрунтах України та їх негативні наслідки для довкілля. *Biological Systems Theory and Innovation*. 2022. Vol. 13, No. 3-4. P. 96–109. URL: https://bioscience.com.ua/web/uploads/pdf/Biological%20Systems%20Theory%20and%20Innovation,%202022,%20Vol.%2013,%20No.%203-4-96-109.pdf (дата звернення: 12.07.2026).
3. Soil Degradation and Contamination Due to Armed Conflict in Ukraine / M. Solokha, O. Demyanyuk, L. Symochko et al. *Land*. 2024. Vol. 13, Iss. 10. Art. 1614. DOI: https://doi.org/10.3390/land13101614.
4. Даниленко А. С. *Основні напрями удосконалення земельних відносин та їх роль у формуванні стратегії національної продовольчої безпеки України у XXI столітті*. Київ : ІАЕ, 2002. 244 с.
5. Лазарєва О. В. Парадигма розвитку землеустрою в системі управління землекористуванням. *Економіка АПК*. 2006. № 10. С. 59–63.
6. Державна служба України з питань геодезії, картографії та кадастру : офіційний вебсайт. URL: https://land.gov.ua/ (дата звернення: 12.07.2026).
7. Екологічний моніторинг довкілля / Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України : офіційний вебсайт. URL: https://mepr.gov.ua/diyalnist/napryamky/ekologichnyj-monitoryng/ekologichnyj-monitoryng-dovkillya/ (дата звернення: 12.07.2026).
8. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України (Міндовкілля) / Український кліматичний офіс : вебсайт. URL: https://ukrainian-climate-office.org/stakeholder/ministerstvo-zakhystu-dovkillia-ta-pryrodnykh-resursiv-ukrayiny-mindovkillia/ (дата звернення: 12.07.2026).
9. Національна академія аграрних наук України : офіційний вебсайт. URL: https://naas.gov.ua/ (дата звернення: 12.07.2026).
10. Русан В. М. *Економіка раціонального сільськогосподарського землекористування* : монографія. Київ : ННЦ ІАЕ, 2009. 200 с.
11. Горлачук В. В. *Управління землекористуванням* : монографія. Київ : Ліон, 2006. 376 с.

Дата першого надходження статті до видання: 16.07.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 18.09.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 09.11.2026