УДК 504.5:631.417.2:712.25(477.46)
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2026.eco.6-69.39

ТРАНСФОРМАЦІЯ БІОТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ МІСЬКИХ ҐРУНТІВ ЗА РІЗНИХ ТИПІВ ОЗЕЛЕНЕННЯ В УМОВАХ АНТРОПОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Вовк М.А. (orcid.org/0009-0008-2145-0744)
Уманський національний університет
вул. Інститутська, 1, 20300, м. Умань
Vovknikolay12@gmail.com

У статті висвітлено результати комплексних експериментальних досліджень щодо оцінки біотичної активності та екологічного стану урбоедафотопів м. Умань залежно від типу зелених насаджень і ступеня техногенного пресу. За допомогою аплікаційного методу визначення целюлозолітичної активності, вимірювання інтенсивності ґрунтового дихання та розрахунку інтегрального індексу біологічного стану здійснено порівняльний аналіз деструкційних процесів у ґрунтовому профілі. Дослідження охоплювали розгалужену мережу функціональних типів територій: від умовно-природної контрольної лісопаркової зони та багатоярусних паркових масивів до альтернативних газонів з багаторічним різнотрав'ям, скверів, монокультурних партерних газонів і примагістральних вуличних насаджень. Установлено закономірне зниження біотичного потенціалу в міру посилення антропогенного навантаження, що проявляється в послідовній депресії целюлозолітичної здатності та мікробіологічної активності ґрунтів від природних екосистем до техногенно трансформованих ділянок. За результатами кореляційного аналізу виявлено стійкі додатні зв'язки між показниками біотичної активності, вмістом гумусу, видовим багатством фітоценозів і проєктивним покриттям, а також виражений зворотний зв'язок зі щільністю ґрунтового профілю. Доведено, що основними лімітуючими чинниками функціональної деструкції ґрунтового мікробіоценозу є механічне ущільнення субстрату, систематичне відчуження викошеної фітомаси та токсикологічний стрес примагістральних зон. Визначено, що альтернативні газонні покриття володіють високою буферною ємністю, забезпечуючи збереження самоочисного потенціалу екосистем. На основі отриманих результатів обґрунтовано доцільність екологізації міської зеленої інфраструктури шляхом оптимізації регламентів догляду, впровадження біорізноманітних альтернативних покриттів та диференційованого підходу до фіторекультивації порушених міських земель. *Ключові слова:* урбоедафотопи, біотична активність, целюлозолітична здатність, емісія CO_2, інтегральний індекс біологічного стану.

Transformation of the biotic potential of urban soils under different greening types and anthropogenic load. Vovk M.
The article presents the results of comprehensive experimental studies evaluating the biotic activity and ecological status of urban soils in the city of Uman, depending on the type of green spaces and the degree of anthropogenic pressure. A comparative analysis of destructive processes in the soil profile was performed using the application method for determining cellulolytic activity, measuring soil respiration intensity (CO_2 emission), and calculating the Integral Index of Biological State. The study encompassed an extensive network of functional land-use categories: ranging from a conditionally natural control forest-park zone and multi-layered parklands to alternative lawns with perennial forb communities, public squares, monocultural manicured lawns, and roadside plantings. A consistent decline in biotic potential was established with increasing anthropogenic load, manifesting as a sequential depression of soil cellulolytic capacity and microbiological activity from natural ecosystems to technologically transformed areas. Correlation analysis revealed strong positive relationships between biotic activity parameters, humus content, phytocoenosis species richness, and vegetative cover, as well as a pronounced inverse correlation with soil compaction. Mechanical substrate compaction, systematic removal of mown biomass, and toxicological stress in roadside zones were proven to be the primary limiting factors driving the functional degradation of the soil microbiocoenosis. Alternative lawn covers were shown to possess high buffering capacity, ensuring the preservation of the self-purification potential of urban ecosystems. Based on the findings, the necessity of greening urban infrastructure through the optimization of maintenance management, implementation of biodiverse alternative covers, and a differentiated approach to the phytoremediation of degraded urban soils was substantiated. *Key words*: urboedaphotopes, biotic activity, cellulolytic capacity, CO_2 emission, Integral Index of Biological State.

Постановка проблеми. В умовах інтенсифікації урбанізаційних процесів та глобальних кліматичних змін зростає антропогенне навантаження на міські екосистеми [1], де базовим буфером і регулятором екологічної рівноваги виступає ґрунтовий покрив [2]. Урбоедафотопи, формуючись у специфічних умовах постійного техногенного тиску, зазнають глибоких структурно-функціональних трансформацій, що проявляються в деградації їхніх фізико-хімічних властивостей, втраті ландшафтного біорізноманіття та суттєвому пригніченні біотичної активності [3, 4]. Сучасна практика утримання міських зелених насаджень, яка часто базується на створенні монокультурних партерних газонів із регулярним скошуванням і вилученням фітомаси, призводить до порушення природних колообігів речовин, виснаження запасів гумусу та порушення водно-повітряного режиму [5]. Унаслідок цього втрачається самоочисний потенціал ґрунтів, пригнічується функціонування мікробіоценозу та знижується стійкість всієї урбоекосистеми

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

до накопичення токсикантів. Постає гостра науково-практична проблема оцінки функціонального стану міських ґрунтів і розробки екологічно обґрунтованих підходів до збереження їхнього біотичного потенціалу шляхом оптимізації типів озеленення.

Актуальність дослідження. Актуальність цієї проблеми зумовлена необхідністю переходу від традиційного менеджменту міських ландшафтів до концепції екосистемних послуг і природоподібних рішень, що передбачає відновлення природного біорізноманіття та біологічної повноцінності урбоедафотопів [6]. У цьому контексті особливої цінності набуває застосування експрес-методів біоіндикації, які дозволяють діагностувати ранні стадії деструкції ґрунтового покриву ще до появи незворотних морфологічних і хімічних змін. Аналіз інтенсивності деструкції целюлози, ґрунтового дихання та інтегральних індексів біологічного стану у градієнті від монокультурних газонів до багатовидових альтернативних покриттів і паркових масивів дає змогу кількісно оцінити буферну ємність урбоедафотопів. Це створює науково-методологічне підґрунтя для прогнозування екологічних ризиків, проведення регіонального моніторингу та розробки дієвих заходів із фіторекультивації порушених міських земель.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження виконано в межах кафедральної теми Уманського НУ «Розробка методологічних підходів і практичного механізму екологічно-збалансованого природокористування» (№ 0108U009772).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема екологічної діагностики, біологічної активності та специфіки функціонування урбоедафотопів перебуває у центрі уваги багатьох вітчизняних і зарубіжних науковців. Теоретичні та методологічні засади вивчення ґрунтового покриву міських територій розроблені у фундаментальних працях вітчизняних екологів і ґрунтознавців [6]. У сучасній науковій літературі переконливо доведено, що міські ґрунти за інтенсивного техногенного впливу втрачають свій природний профіль і зазнають глибоких фізико-хімічних деформацій, серед яких ключовими є ущільнення, залужнення та підлужнення субстрату, а також акумуляція токсичних елементів [7].

Особливий інтерес для сучасних урбоекологічних досліджень становить оцінка біотичного компонента ґрунту, який є найчутливішим до антропогенних трансформацій. Застосування показників біологічної активності – зокрема інтенсивності ґрунтового дихання, ферментативного потенціалу та целюлозолітичної здатності – висвітлено у працях [8], де обґрунтовано методологію біологічної діагностики та використання інтегральних індексів стану ґрунтів. У зарубіжній науковій періодиці активно досліджується концепція оцінки екосистемних послуг міських ґрунтів і роль рослинного покриву у підтримці функціонування мікробіоценозу [9]. Водночас аналіз публікацій останніх років свідчить, що більшість авторів фокусує увагу переважно на великих мегаполісах або вивчає хімічне забруднення ґрунтів, тоді як специфіка біотичної активності урбоедафотопів середніх міст залишається висвітленою недостатньо.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Попри наявність численних праць, присвячених загальним питанням урбоекології та забруднення міських ґрунтів, поза увагою науковців досі залишається комплексна оцінка відгуку біотичного компонента урбоедафотопів на системні трансформації зеленої інфраструктури міст. Більшість існуючих досліджень зосереджена на хімічному забрудненні субстратів важкими металами або оцінці наземної біомаси насаджень, тоді як динаміка інтегральних біологічних параметрів (зокрема целюлозолітичної здатності та емісії вуглекислого газу) у градієнті від монокультурних партерних газонів до різнотравних альтернативних покриттів висвітлена фрагментарно.

Новизна. Наукова новизна одержаних результатів полягає у першому комплексному експериментальному обґрунтуванні закономірностей трансформації біотичної активності урбоедафотопів залежно від структурно-фітоценотичної організації насаджень та ступеня антропогенного навантаження. Уперше доведено кількісну залежність між типом озеленення та інтенсивністю целюлозолітичної активності і ґрунтового дихання, виявлено критичні рівні пригнічення мікробіологічної деструкції у примагістральних зонах та на партерних газонах порівняно з різнотравними біоценозами. На основі кореляційного аналізу встановлено провідну роль щільності ґрунтового профілю та вмісту гумусу як ключових факторів, що визначають величину інтегрального індексу біологічного стану міських екосистем.

Методологічне або загальнонаукове значення. Методологічне та загальнонаукове значення дослідження полягає у поглибленні теоретичних уявлень про функціональну стійкість і буферну ємність урбоедафотопів як базового компонента урбанізованих ландшафтів. Запропонований системний підхід, що поєднує аплікаційний метод оцінки деструкції целюлози, вимірювання газообміну та математичне моделювання через інтегральний індекс біологічного стану, уніфікує методологію діагностики екологічного стану міських ґрунтів.

Викладення основного матеріалу. Екологічний стан урбанізованих екосистем безпосередньо залежить від функціональної повноцінності ґрунтового покриву, який виконує роль базового буфера та акумулятора біогенних елементів. Проведені натурні дослідження показали, що трансформація зелених насаджень і різна інтенсивність антропогенного тиску зумовлюють глибокі структурно-функціональні зміни в урбоедафотопах. Одним із найчутливіших інтегральних індикаторів біологічної активності ґрунтів є їхня здатність до деструкції органічних субстратів, зокрема целюлози, яка відображає потенціал трофічних ланцюгів та загальну активність мікробіоценозу.

Для кількісної оцінки целюлозолітичної активності ґрунтів на дослідних локаціях застосовувався класичний аплікаційний метод. Методика полягала у закладанні стандартизованих стрічок із целюлозовмісного матеріалу у ґрунтовий профіль на глибину 5–10 см із подальшою експозицією протягом

30 діб. Після завершення терміну експозиції зразки акуратно вилучали, очищали від механічних домішок, висушували та визначали відсоток руйнування волокон за втратою маси матеріалу, що дозволило з високою точністю встановити інтенсивність мікробіологічної деструкції та порівняти функціональний стан урбоедафотопів в контексті антропогенного навантаження.

Отримані результати наочно демонструють просторову динаміку целюлозолітичного потенціалу міських ґрунтів залежно від типу озеленення та рівня техногенного тиску (табл. 1).

Аналіз наведених даних свідчить про наявність чіткої закономірності у зниженні біотичної активності ґрунтів міських територій у міру посилення антропогенного навантаження. Найвищі показники деструкції целюлози зафіксовані на контрольній ділянці умовно-природної лісопаркової зони, де цей параметр сягає 72,4%, що свідчить про високу біологічну зрілість і збалансованість природного едафотопу. У міру наближення до урбанізованого центру та посилення антропогенного пресу інтенсивність розкладу органічних сполук закономірно падає. Навіть у паркових масивах із багатоярусними насадженнями показник знижується до 61,8%, а на ділянках альтернативних газонів із багаторічним різнотрав'ям становить 54,5%. У зонах інтенсивної рекреації (міські сквери) деструкція целюлози скорочується до 42,1%. Критичних значень біотична активність набуває на інтенсивно доглянутих партерних газонах та у примагістральних вуличних насадженнях, де ступінь руйнування целюлози падає до мінімальних 21,3%.

Проведений аналіз дозволяє дійти висновку, що головними причинами різкого пригнічення целюлозолітичної активності та деградації мікробіоценозу урбоедафотопів є комплекс лімітуючих факторів техногенного походження. По-перше, інтенсивне ущільнення ґрунтового профілю транспортними потоками та регулярним механічним впливом призводить до порушення водно-повітряного режиму і дефіциту кисню, необхідного для аеробних мікроорганізмів-деструкторів. По-друге, регулярне видалення опалої фітомаси на партерних газонах зумовлює гострий дефіцит надходження свіжої органічної речовини, що є енергетичною базою для ґрунтової біоти. По-третє, надходження важких металів, протиожеледних реагентів та нафтопродуктів у примагістральних зонах створює токсикологічний стрес, який блокує ферментативну активність і спричинює депресію чисельності целюлозолітичних комплексів грибів і бактерій. Зазначені процеси переконливо доводять необхідність перегляду підходів до догляду за міськими зеленими насадженнями на користь екологізації та впровадження принципів збереження природного різнотрав'я.

Для глибшого розуміння механізмів трансформації урбоедафотопів і підтвердження надійності виявлених закономірностей окрім целюлозолітичної активності було залучено ще два ключові біоіндикаторні параметри – інтенсивність емісії вуглекислого газу та інтегральний індекс біологічного стану. Використання цього комплексу показників зумовлено тим, що кожен із них відображає різні аспекти функціонування ґрунтової біоти: газообмін характеризує загальну метаболічну активність та інтенсивність дихання редуцентів і кореневих систем, целюлозолітична здатність ілюструє потенціал трансформації рослинних залишків, а інтегральний індекс об'єднує їх у єдину безрозмірну величину для з нівелюванням випадкових коливань. Зіставлення цих даних із параметрами фітоценозу та фізико-хімічними властивостями ґрунту за допомогою кореляційного аналізу дало змогу виявити тісні причинно-наслідкові зв'язки та оцінити ступінь залежності біологічного стану екосистем від рівня антропогенної трансформації (табл. 2).

Отримані результати кореляційного аналізу переконливо свідчать про те, що структура і біологічна повноцінність урбоедафотопів перебувають у тісній взаємодії з фітоценотичними параметрами та ступенем техногенного впливу. Високі додатні значення коефіцієнтів кореляції між показниками біотичної активності, вмістом гумусу, видовим багатством і проєктивним покриттям підтверджують провідну роль рослинного покриву у підтримці трофічного потенціалу міських ґрунтів. Натомість виявлені сильні зворотні зв'язки між біологічними параметрами та щільністю едафотопів доводять, що механічне ущільнення і транспортне навантаження є головними лімітуючими факторами, які руйнують водно-повітряний режим та пригнічують функціонування ґрунтового мікробіоценозу. Тіснота зв'язків, особливо для інтегрального індексу біологічного

Таблиця 1

Інтенсивність деструкції целюлози в урбоедафотопі за різних типів озеленення

Дослідна локація	Рівень антропогенного навантаження	Середній ступінь деструкції целюлози, %	Оцінка целлюлозолітичної активності ґрунту
Контрольна ділянка (лісопаркова зона)	мінімальний	72,4±2,8	висока
Парковий масив (багатоярусні насадження)	низький	61,8±3,1	вище середньої
Альтернативний газон (багаторічне різнотрав'я)	помірний	54,5±2,6	середня
Сквер	середній	42,1±2,9	помірна
Партерний газон	підвищений	33,6±2,4	низька
Примагістральні вуличні насадження	високий	21,3±1,9	низька

ISSN: 2306-9716 (Print), ISSN: 2664-6110 (Online)

Таблиця 2

Матриця парних коефіцієнтів кореляції між еколого-ценотичними показниками, властивостями урбоедафотопів та біоіндикаційними параметрами

Показники та біоіндикаторні параметри	Проективне покриття рослинності (X_1)	Видове багатство фітоценозу (X_2)	Щільність урбоедафотопу (X_3)	Вміст гумусу в ґрунті (X_4)
Інтенсивність емісії CO_2 (Y_1)	+0,78	+0,71	–0,82	+0,85
Целюлозолітична активність (Y_2)	+0,81	+0,76	–0,86	+0,89
Інтегральний індекс біологічного стану (Y_3)	+0,84	+0,79	–0,88	+0,91

Примітка: усі значення коефіцієнтів кореляції статистично значущі при $p<0,01$

стану, свідчить про високу інформативність обраних маркерів, які можуть слугувати надійним науковим підґрунтям для моніторингу та прогнозування стану урбанізованих екосистем.

Головні висновки. Отримані результати комплексних досліджень свідчать про те, що функціональна повноцінність і біологічна активність міських ґрунтів безпосередньо підпорядковані градієнту антропогенного навантаження та типу озеленення. Виявлено закономірне зниження інтенсивності деструкційних процесів і мікробіологічного потенціалу від умовно-природної контрольної зони до примагістральних ділянок, де механічне ущільнення, дефіцит органічної речовини та техногенне забруднення призводять до пригнічення целюлозолітичної активності та емісії вуглекислого газу. Водночас кореляційний аналіз підтвердив існування тісних прямих зв'язків між біоіндикаторними показниками, вмістом гумусу й фітоценотичним різноманіттям, а також зворотних зв'язків зі щільністю едафотопів.

Застосування інтегрального індексу біологічного стану доводить провідну буферну роль природного рослинного покриву та дозволяє обґрунтувати необхідність трансформації підходів до догляду за урбанізованими насадженнями. З метою відновлення самоочисного потенціалу та стабілізації ґрунтових екосистем доцільно мінімізувати механічне ущільнення, відмовитися від тотального скошування та впроваджувати біорізноманітні альтернативні газони замість виснажених монокультурних партерних насаджень.

Перспективи використання результатів дослідження. Отримані наукові результати створюють надійне підґрунтя для кардинального вдосконалення системи регіонального екологічного моніторингу та менеджменту міських екосистем. Доведена висока чутливість целюлозолітичної активності, ґрунтового дихання та інтегрального індексу біологічного стану дає змогу використовувати ці параметри як надійні біоіндикаційні маркери для експрес-оцінки екологічної деградації, зонування території за рівнем антропогенного навантаження та розрахунку реального радіуса техногенного впливу транспортно-дорожніх мереж. Оцінка біотичного потенціалу урбоедафотопів дозволяє перейматися не лише зовнішньою естетикою міських ландшафтів, а й кількісно прогнозувати їхню самоочисну здатність та стійкість до накопичення токсикантів.

Література

1. Elmqvist T., Setälä H., Handel S.N., van der Ploeg S., Aronson J., Blignaut J.N., Gómez-Baggethun E., Nowak D.J., Kronenberg J., de Groot R. Benefits of restoring ecosystem services in urban areas. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2015. Volume 14. P. 101–108. https://doi.org/10.1016/j.cosust.2015.05.001.
2. Pauleit Stephan, Ennos Roland, Golding Yvonne. Modeling the environmental impacts of urban land use and land cover change – A study in Merseyside, UK. *Landscape and Urban Planning*, 2005. 71. P. 295–310. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2004.03.009.
3. De Kimpe C. R., Morel J. L. Urban soil management: a growing concern. *Soil Science Society of America Journal*, 2000. 64(1). P. 31–40.
4. Byrne L. B. Habitat structure: A fundamental concept and framework for urban soil ecology. *Urban Ecosystems*, 2007. 10(3). P. 255–274.
5. Kaye J., Mcculley Rebecca, Burke Ingrid. Carbon fluxes, nitrogen cycling, and soil microbial communities in adjacent urban, native and agricultural ecosystems. *Global Change Biology*, 2005. 11. P. 575–587. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.00921.x.
6. Nesshöver C., Assmuth T., Irvine K. N., Rusch G. M., Waylen K. A., Delbaere B., Haase D., Jones L., Koellner T. The science, policy and practice of nature-based solutions: An interdisciplinary perspective. *Science of The Total Environment*, 2017. 579. P. 1215–1227.
7. Pouyat Richard, Yesilonis I.D., Russell-Anelli Jonathan, Neerchal Nagaraj. Soil Chemical and Physical Properties That Differentiate Urban Land-Use and Cover Types. *Soil Science Society of America Journal*, 2007. 71. https://doi.org/10.2136/sssaj2006.0164.
8. Qu R, Liu G, Yue M, Wang G, Peng C, Wang K, Gao X. Soil temperature, microbial biomass and enzyme activity are the critical factors affecting soil respiration in different soil layers in Ziwuling Mountains, China. *Front Microbiol*. 2023. 16; 14.1105723. https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1105723.
9. Setälä Heikki, Francini Gaia, Allen John, Hui Nan, Jumpponen Ari, Kotze Johan. Vegetation Type and Age Drive Changes in Soil Properties, Nitrogen, and Carbon Sequestration in Urban Parks under Cold Climate. *Frontiers in Ecology and Evolution*., 2016. 4. https://doi.org/10.3389/fevo.2016.00093.

Дата першого надходження статті до видання: 16.10.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 04.11.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 23.11.2026