УДК 574.5:581.526.4:504.064(477.46)
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2026.eco.6-69.55

ОЦІНКА СТРУКТУРНО-ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ ФІТОЦЕНОЗІВ У ЗОНІ ВПЛИВУ ПОЛІГОНУ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

Гурський І.М. (orcid.org/0000-0002-3822-3889),
Парубок В.О. (orcid.org/0009-0007-5350-3823)
Уманський національний університет
вул. Інститутська, 1, 20300, м. Умань
gurskyivet@gmail.com, PARUBOKVIT@ukr.net

У статті досліджено закономірності просторової трансформації та деструкції рослинного покриву під впливом тривалого функціонування регіонального об'єкта накопичення відходів на прикладі полігону твердих побутових відходів міста Умань. На основі комплексних геоботанічних і екологічних досліджень, виконаних уздовж трансекти від джерела забруднення до контрольної фонової ділянки, встановлено особливості перебігу сукцесійних процесів та характер антропогенного впливу на прилеглі наземні екосистеми. Виявлено, що ближня п'ятдесятиметрова зона зазнає тотальної рудералізації, де питома вага агресивних синантропних та інвазивних видів сягає 79 відсотків, що супроводжується критичним зниженням видового різноманіття та вирівненості через токсичний вплив фільтратів і руйнування ґрунтового покриву. За допомогою регресійного аналізу доведено тісний зв'язок між відстанню від джерела забруднення та поступовим відновленням структурної організації фітоценозів, що підтверджується високими коефіцієнтами детермінації для видового багатства, індексу Шеннона та частки рудералів. У міру віддалення до контрольної зони інтенсивність техногенного тиску закономірно зменшується, частка рудеральної компоненти скорочується до 10 відсотків, а показники ценотичного різноманіття стабілізуються, що свідчить про відновлення природного конкурентного середовища та автогенної динаміки рослинності. Установлені біоіндикаційні маркери дають змогу чітко розмежувати зони критичної деструкції та відносного ценотичного комфорту екосистем. Отримані математичні моделі та кількісні критерії просторової деформації архітектоніки фітоценозів є науковим підґрунтям для розрахунку реального радіуса техногенного впливу, оптимізації меж санітарно-захисних зон, вдосконалення регіонального екологічного моніторингу та розробки практичних рекомендацій щодо фіторекультивації порушених земель у Центральному Лісостепу України. *Ключові слова:* полігон ТПВ, фітоценоз, рудералізація, індекс Шеннона, індекс Пієлу, техногенний градієнт, екологічний моніторинг.

Assessment of the Structural and Functional Transformation of Phytocenoses in the Impact Zone of a Municipal Solid Waste Landfill. Hurskyi I., Parubok V.

The article investigates the patterns of spatial transformation and degradation of vegetation cover under the long-term operation of a regional waste accumulation facility, using the municipal solid waste landfill of Uman as a case study. Based on comprehensive geobotanical and ecological research conducted along a transect from the pollution source to a control background plot, the features of successional processes and the nature of anthropogenic impact on adjacent terrestrial ecosystems were established. It was revealed that the nearest fifty-meter zone undergoes total ruderalization, where the proportion of aggressive synanthropic and invasive species reaches 79 percent, accompanied by a critical decline in species diversity and evenness due to the toxic effect of leachates and soil cover destruction. Regression analysis proved a close relationship between the distance from the pollution source and the gradual recovery of the structural organization of phytocenoses, which is confirmed by high coefficients of determination for species richness, the Shannon index, and the proportion of ruderal species. As the distance to the control zone increases, the intensity of technogenic pressure naturally decreases, the share of the ruderal component drops to 10 percent, and indicators of diversity stabilize, indicating the restoration of the natural competitive environment and autogenic vegetation dynamics. The established bioindication markers make it possible to clearly demarcate the zones of critical degradation and relative coenotic comfort of ecosystems. The obtained mathematical models and quantitative criteria for the spatial deformation of phytocenosis architectonics serve as a scientific basis for calculating the actual radius of technogenic impact, optimizing the boundaries of sanitary protection zones, improving regional environmental monitoring, and developing practical recommendations for the phytoremediation of disturbed lands in the Central Forest-Steppe of Ukraine. *Key words:* landfill, phytocenosis, ruderalization, Shannon index, Pielou index, technogenic gradient, environmental monitoring.

Постановка проблеми. Швидке зростання обсягів утворення твердих побутових відходів та неналежна експлуатація місць їх видалення призводять до виникнення осередків інтенсивного техногенного тиску на навколишнє середовище [1]. Полігони твердих побутових відходів є складними багаторівневими джерелами екологічної небезпеки, що здійснюють комплексний токсичний, хімічний та механічний вплив на прилеглі території [2, 3]. Найбільш вразливою ланкою наземних екосистем у зонах впливу таких об'єктів є рослинний покрив, який першим зазнає структурно-функціональних трансформацій. Постійний деструктивний вплив фільтрату та занесення відходів спричиняють деградацію природних фітоценозів, втрату видового багатства та масову рудералізацію флори [4]. У цьому контексті ключо-

© Гурський І.М., Парубок В.О., 2026
Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

вою проблемою є брак комплексних кількісних критеріїв для оцінки просторової деформації внутрішньої архітектоніки рослинних угруповань у міру віддалення від полігону, що ускладнює визначення реальних меж зонального впливу сміттєзвалищ та обґрунтування природоохоронних заходів.

Актуальність дослідження. Актуальність теми зумовлена необхідністю розробки науково обґрунтованого підходу до оцінки та мінімізації екологічних ризиків, пов'язаних із тривалою експлуатацією полігонів твердих побутових відходів у межах аграрно-індустріальних регіонів України, зокрема центральної її частини. Уманський полігон твердих побутових відходів є типовим прикладом регіонального об'єкта накопичення відходів, тривалий вплив якого на прилеглі фітоценози потребує детального геоботанічного та екологічного аналізу. Використання математично обґрунтованих показників структурного різноманіття та аналіз рівнів рудералізації дозволяють встановити закономірності самовідновлення екосистем і встановити об'єктивні межі зони деструкції. Отримані дані є необхідним підґрунтям для вдосконалення системи регіонального екологічного моніторингу, оптимізації меж санітарно-захисних зон та розробки практичних рекомендацій щодо фіторекультивації й екологічного відновлення порушених земель.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Роботу підготовлено з межах наукових досліджень кафедри екології Уманського національного університету у рамках виконання НДР «Розробка методологічних підходів і практичного механізму екологічно-збалансованого природокористування» (№ держреєстрації 0108U009772).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема деструкції та синантропізації рослинного покриву в зонах впливу локальних джерел техногенного навантаження – і, зокрема, полігонів твердих побутових відходів – посідає чільне місце в сучасних дослідженнях з геоботаніки та фітоекології. У вітчизняній науковій традиції дослідженням синантропізації та рудералізації рослинності присвячено фундаментальні праці Я. П. Дідуха [5], В. В. Протопопової та М. В. Шевери [6]. Наявні у їхніх працях концептуальні положення свідчать, що антропогенний прес руйнує природні екологічні ніші, формуючи екстремальний екотоп, у якому перевагу отримують експлеренти та високоадаптивні види-інвазори. Безпосередньо вивченням закономірностей естественной сукцесії та фіторекультиваційного потенціалу на об'єктах захоронення відходів Західного Лісостепу та Полісся займалися В. В. Попович [7] та інші автори [8].

У зарубіжній науковій спільноті концепція аналізу техногенного градієнта за допомогою математичних індексів біорізноманіття розробляється вельми активно. Праці M. Vaverková та ін. [9, 10], присвячені моніторингу муніципальних полігонів у Центральній та Східній Європі, переконують, що хімічне забруднення ґрунтів і фільтрат створюють ізольовані зональні «плями» деструкції. Зарубіжні автори підкреслюють, що біоіндикаційні показники є більш чутливими маркерами екотопічного стресу, ніж проста видова насиченість. Зокрема, дослідження впливу звалищ на прилеглу флору доводять, що локальні порушення та просторове розташування (інтервал відстаней) виступають головними драйверами витіснення аборигенних видів інвазивними синантропами [11].

Незважаючи на наявний пласт наукових праць, розрізненими залишаються дані щодо математичного співвідношення між коефіцієнтами математичної детермінації просторового згасання рудералізації та динамікою структурних індексів фітоценозів. Більшість існуючих праць [12, 13] аналізують сукцесію або безпосередньо на локальному середовищі полігону, або вивчають загальне забруднення без побудови трансектних математичних моделей лінійного чи експоненційного відновлення видового багатства у просторовому вимірі.

Таким чином, брак комплексних порівняльних праць, які б поєднували кількісний математично-статистичний аналіз ценотичних індексів із якісними показниками частки рудеральної компоненти вздовж трансекти від 50 до 3500 м у специфічних умовах Центрального Лісостепу України, зумовлює високу актуальність та науково-практичну цінність даного дослідження.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Попри значну кількість праць, присвячених вивченню екологічних наслідків функціонування об'єктів захоронення відходів, невирішеною частиною загальної проблеми залишається брак комплексних кількісних оцінок просторової деформації внутрішньої архітектоніки та ценотичної структури рослинного покриву у міру віддалення від джерела техногенного впливу.

Новизна. Наукова новизна отриманих результатів полягає у тому, що вперше для умов центральної частини України здійснено комплексну кількісну та якісну оцінку трансформації структурної організації фітоценозів уздовж зони впливу забруднення, встановлено математичні залежності між відстанню від джерела забруднення та коефіцієнтами видового різноманіття (індекс Шеннона) й вирівненості (індекс Піелу), а також математично обґрунтовано просторові межі тотальної рудералізації прилеглих екосистем і радіус відносної стабілізації їхнього ценотичного стану.

Методологічне або загальнонаукове значення. Методологічне та загальнонаукове значення отриманих результатів полягає у формалізації та верифікації універсальних закономірностей деструкції та самовідновлення фітоценозів уздовж зони розповсюдження забруднення, що розширює теоретичні уявлення сучасної прикладної екології про межі стійкості й буферну ємність наземних екосистем

у зонах впливу джерел інтенсивного антропогенного навантаження.

Викладення основного матеріалу. Проведені натурні дослідження просторового розподілу антропогенного навантаження в зоні впливу полігону твердих побутових відходів (ТПВ) міста Умані засвідчили наявність глибоких трансформацій у прилеглих екосистемах, які мають чітко виражений градієнтний характер залежно від відстані до джерела забруднення.

Оцінка трансформації фітоценозів у зоні впливу полігону твердих побутових відходів м. Умань здійснювалася за загальноприйнятими геоботанічними та екологічними методами уздовж техногенного градієнта. Польові дослідження базувалися на закладанні трансект від межі полігону вглиб прилеглих екосистем на фіксованих відстанях (50, 150, 300, 500, 750, 1000, 2000 та 3500 м, остання з яких приймалася за контрольну фонову ділянку). Для кількісної оцінки ступеня дестабілізації угруповань обчислювалися екологічні індекси: індекс видового різноманіття Шеннона та індекс вирівненості Піелу, що дозволило комплексно охарактеризувати рівень антропогенної трансформації рослинного покриву (рис. 1).

Графічний аналіз просторового розподілу екологічних параметрів чітко демонструє закономірне відновлення структурної організації фітоценозів у міру віддалення від джерела техногенного впливу. Отримана лінійна модель із високим коефіцієнтом детермінації (R^2=0,7318) підтверджує тісний зв'язок між відстанню від джерела забруднення та ступенем відновлення рослинного покриву.

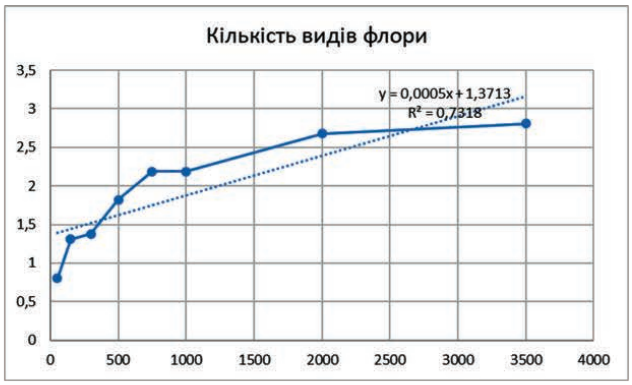


Рис. 1. Залежність кількості видів флори в фітоценозах залежно від віддаленості від полігону твердих побутових відходів

Якщо попередній графік демонстрував загальне зростання видового багатства у міру віддалення від полігону, то динаміка частки рудеральних і синантропних видів розкриває якісний бік цієї трансформації (рис. 2). На графіку чітко простежується зворотна тенденція: зі збільшенням відстані від джерела забруднення питома вага рудеральної компоненти стрімко знижується, що описується лінійною регресією із помірним коефіцієнтом детермінації (R^2 = 0,5524), який відображає поступове згасання антропогенного впливу на фітоценози.

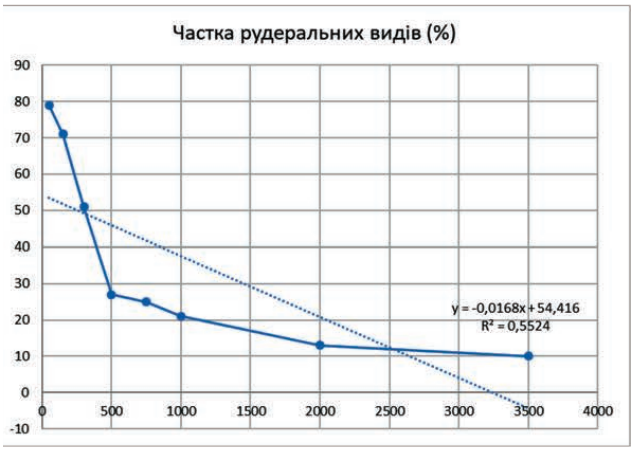
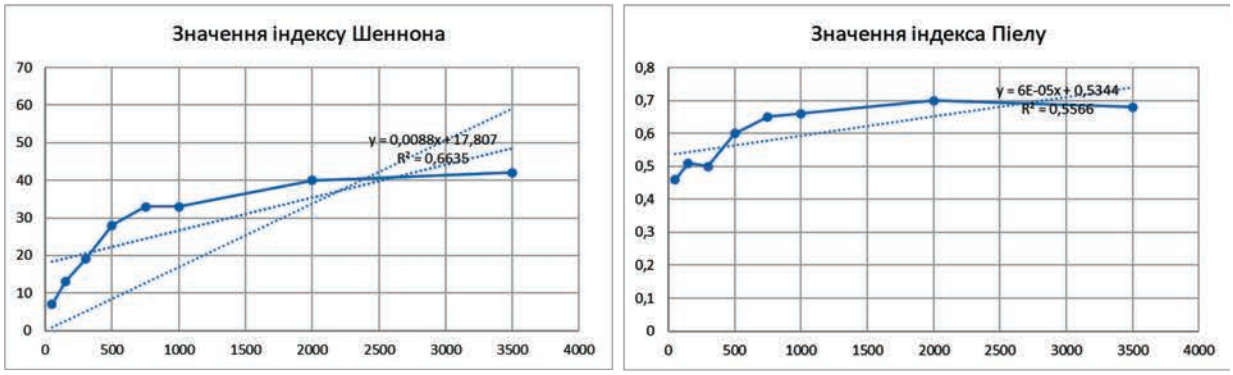


Рис. 2. Просторовий розподіл частки рудеральних видів у фітоценозах прилеглих до полігону ТПВ територій

Отримані дані свідчать про те, що екологічний простір навколо уманського полігону ТПВ у радіусі ближньої зони зазнає тотальної рудералізації, де частка агресивних синантропних та інвазивних видів сягає 79% за мінімальної відстані (50 м). Причинами цього є постійне надходження поживних речовин і токсикантів із фільтратами, механічне порушення ґрунтового покриву та занесення насіння легкими фракціями відходів, що створює сприятливі виключно для рудералів умови і повністю пригнічує чутливу аборигенну флору.

У міру віддалення до контрольної зони (3500 м) питома вага рудеральних видів закономірно скорочується до 10%, поступаючись місцем збалансованим лучним угрупованням. Зменшення частки бур'янів пояснюється розсіюванням забруднюючих речовин у довкіллі та відновленням природного конкурентного середовища, за якого типові багаторічні трави витісняють стійкі екоситемні деструктори, підтверджуючи необхідність екологічної реабілітації прилеглих територій.

Для глибшої оцінки структурної організації рослинного покриву вздовж техногенного градієнта було проаналізовано динаміку показників екологічного різноманіття та рівномірності розподілу видів (рис. 3). На першому графіку (А) наведено просторовий розподіл індексу Шеннона, тренд якого апроксимується регресійною моделлю із коефіцієнтом детермінації R^2=0,6635, що підтверджує стійке зростання складності фітоценозів у міру віддалення від джерела забруднення. На другому графіку (Б) відображено динаміку індексу вирівненості Піелу (R^2=0,5566), яка демонструє послідовне вирівнювання чисельності компонентів угруповання та зменшення ступеня надмірного домінування окремих видів.



А *Б*

Рис. 3. Зміна структурної організації рослинного покриву (індекси Шеннона і Пієлу) залежно від віддаленості від полігону ТПВ

Отримані значення індексу Шеннона (від критично низьких 0,84 у 50-метровій зоні до 2,81 на контрольній ділянці) та індексу Пієлу (від 0,46 до 0,68 відповідно) переконливо свідчать про глибоку деструкцію ценотичної структури біля полігону ТПВ м. Умань. Головною причиною такого зниження різноманітності та вирівненості є потужний токсичний вплив фільтратів і повітряного забруднення, що створює екстремальні умови для існування більшості аборигенних видів і призводить до повного домінування кількох стійких рудеральних супердомінантів.

У міру віддалення від сміттєзвалища інтенсивність техногенного навантаження суттєво зменшується, що дозволяє відновитися природній конкурентній рівновазі між видами та формувати стабільні, збалансовані фітоценози з високою структурною складністю. Це доводить, що антропогенний вплив полігону дестабілізує не лише видовий склад, а й внутрішню архітектоніку прилеглих екосистем, вимагаючи впровадження жорстких захисних заходів і рекультивації.

Головні висновки. Дослідження просторового розподілу антропогенного навантаження в зоні впливу полігону твердих побутових відходів м. Умані засвідчили наявність чітко вираженого техногенного градієнта, що спричиняє глибокі трансформації прилеглих екосистем: у ближній 50-метровій зоні під дією фільтратів і механічних порушень відбувається тотальна рудералізація рослинного покриву (частка синантропних видів досягає 79%) з критичним падінням видового різноманіття та вирівненості (індекси Шеннона та Пієлу становлюють 0,84 і 0,46 відповідно), тоді як у міру віддалення до контрольної ділянки (3500 м) інтенсивність техногенного тиску послаблюється, забезпечуючи відновлення природного конкурентного середовища, зниження частки рудералів до 10% та формування стабільних, структурно складних і вирівняних угруповань, що обґрунтовує необхідність впровадження комплексних заходів з екологічної реабілітації прилеглих територій.

Перспективи використання результатів дослідження. Практичне значення та перспективи використання отриманих результатів полягають у науковому обґрунтуванні меж санітарно-захисної зони полігону ТПВ м. Умань, розробці ефективних програм фіторекультивації порушених земель із доборо стійкого асортименту аборигенних видів рослин, а також у використанні встановлених індикаторних показників як біоіндикаційного інструменту для проведення систематичного екологічного моніторингу прилеглих екосистем та прийняття обґрунтованих управлінських рішень.

Література

1. Seyyed Mahdi Hosseini Beinabaj, Hossein Heydariyan, Hamed Mohammad Aleii, Ali Hosseinzadeh. Concentration of heavy metals in leachate, soil, and plants in Tehran's landfill: Investigation of the effect of landfill age on the intensity of pollution. *Heliyon*, 2023. Volume 9, Issue 1. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13017
2. Плаксіна А. О. Березуцький В.В. Вплив полігонів ТПВ на навколишнє середовище. *Безпека людини в сучасних умовах*: матеріали доп. 7-ї Міжнар. наук.-метод. конф. та 105 Міжнар. конф. Європейської асоціації безпеки (EAS), 3-4 груд. 2015 р. Харків: НТУ «ХПІ», 2015. С. 246–251.
3. Munirah Hussein, Kenichi Yoneda, Zuhaida Mohd-Zaki, Amnorzahira Amir, NorÁzizi Othman. Heavy metals in leachate, impacted soils and natural soils of different landfills in Malaysia: An alarming threat. *Chemosphere*, 2021. Volume 267. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128874
4. Іваненко Дмитро, Трембіцький Дмитро, Цейтлін Мусій, Сакун Антоніна. Комплексний аналіз екологічного впливу полігонів твердих відходів на природні системи. *Природнича освіта та наука*, 2025. С. 100–104. https://doi.org/10.32782/NSER/2025-2.16.

5. Дідух Я. П. Оцінка стійкості та ризиків втрати екосистем. *Наукові записки НаУКМА*, 2014. Т. 158: Біологія та екологія. С. 54–60.
6. Протопопова В.В., Мосякін С.Л., Шевера М.В. Фітоінвазії в Україні як загроза біорізноманіттю: сучасний стан і завдання на майбутнє. Київ: Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України. 2002. 28 с.
7. Попович В. В. Екологічна небезпека фільтрату сміттєзвалищ. *Екологічна безпека як основа сталого розвитку суспільства. Європейський досвід і перспективи*: ІІ Міжнародна науково-практична конференція, 4–6 листопада 2015 р., Львів. С. 165–166.
8. Сагдєєва О. А., Крусір Г. В.,. Цикало А. Л. Оцінка рівня екологічної небезпеки звалищ твердих муніципальних відходів. *Екологічна безпека*, 2018. № 1. С. 75–83.
9. Vaverková Magdalena, Adamcová Dana, Zloch Jan, Radziemska Maja, Berg Agnieszka, Voběrková Stanislava, Maxianová Alžbeta. Impact of Municipal Solid Waste Landfill on Environment – a Case Study. *Journal of Ecological Engineering*, 2018. 19. P. 55–68. https://doi.org/10.12911/22998993/89664.
10. Vaverková M.D., Paleologos E.K., Adamcová D., Podlasek A., Pasternak G., Červenková J., Skutnik Z., Koda E., Winkler J. Municipal solid waste landfill: Evidence of the effect of applied landfill management on vegetation composition. *Waste Manag. Res*., 2022. 40. P. 1402–1411. https://doi.org/10.1177/0734242X221079304
11. Mora Mieles V., Herrera I., Panchana K., Dillon I., Vargas A., Espinoza-Maticurena A., López-Pujol J. Plant Community Composition and Species Richness Along Disturbance Gradients in a Municipal Open-Air Rubbish Dump in Coastal Ecuador. *Diversity*, 2026. 18. 492. https://doi.org/10.3390/d18080492.
12. Winkler J., Vaverková M.D., Koda E. Waste-derived ecosystems: Vegetation responses and sustainability challenges. *Environ. Conserv*., 2026. 53. P. 51–56. https://doi.org/10.1017/S0376892926100320
13. Pyšek P., Jarošík V., Hájek M., Wild J. Diversity of native and alien plant species on rubbish dumps: Effects of dump age, environmental factors and toxicity. *Divers. Distrib*., 2003. 9. P. 177–189.

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