

# The structure of earthworm communities in urbanised biotopes of the Central Polissia

Oleksandr Harbar<sup>1</sup>, Viktoriia Moroz<sup>1</sup>, Diana Harbar<sup>1</sup>,  
Lyubov Voronchuk<sup>2</sup>, Nadia Danylovska<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Zhytomyr Ivan Franko State University (Zhytomyr, Ukraine)

<sup>2</sup> Cherniakhiv Lyceum No. 1 (Chernyakhiv, Ukraine)

## article info

### key words

Lumbricidae, biodiversity, urbanisation, biotope, remote sensing.

### correspondence to

Oleksandr Harbar; Zhytomyr Ivan Franko State University, 40 Velyka Berdychivska Street, Zhytomyr, 10008 Ukraine;  
Email: o.v.harbar@gmail.com;  
orcid: 0000-0003-4357-4525

### article history

Submitted: 21.02.2023. Revised: 21.06.2023. Accepted: 30.06.2023

### cite as

Harbar, O., V. Moroz, D. Harbar, L. Voronchuk, N. Danylovska. 2023. The structure of earthworm communities in urbanised biotopes of the Central Polissia. *GEO&BIO*, 24: 173–182. [In Ukrainian, with English summary]

## abstract

The article describes the results of the impact of urbanisation on the quantitative and qualitative structure of earthworm communities, since urbanisation is currently one of the main threats to biodiversity. Earthworms, as the most common representatives of the edaphic mesofauna, react sensitively to the level of environmental pollution. On the example of the city of Cherniakhiv, it has been established that the lumbricide fauna of the studied area includes eight species: *Aporrectodea caliginosa* (Savigny, 1826), *A. rosea* (Savigny, 1826), *A. trapezoides* (Duges, 1828), *Lumbricus terrestris* (Linnaeus, 1758), *L. castaneus* (Savigny, 1826), *Octolasion lacteum* (Örley, 1885), *Eisenia fetida* (Savigny, 1826), and *Dendrobaena octaedra* (Savigny, 1826). All detected worms are rather unevenly represented in the analysed samples. Background species in the study area are *A. caliginosa*, *A. rosea*, and *L. terrestris*. According to the analysis of the relative abundance in the samples, *A. caliginosa* is dominant, whereas *A. rosea* and *O. lacteum* are less common. According to the results of the spatial distribution of earthworms, a clear dominance of one species was noted in agrocoenoses and in areas with a significant recreational load, whereas in a less anthropogenically transformed zone a higher number and species diversity of lumbricides was noted. Using cluster analysis of k-means according to biodiversity estimates, two clusters of samples were selected. At the same time, such parameters as the number of species, the number of individuals in the sample, and the Brillouin index make the greatest contribution to the differentiation of clusters. A reliable correlation was found between the number of individuals in the sample and the reflectivity in the B8 band range, as well as between the indicator of the evenness of the grouping structure and the reflectivity in the B4, B5, B11, and B12 bands of the Sentinel-2 space image and the value of the NDVI vegetation index. These spectral characteristics were used to model the spatial distribution of the absolute number of lumbricides and the evenness of their groups. The model of the spatial distribution of the number of earthworms has a mosaic character: individual cells with a high number of lumbricides are replaced by areas where they are less abundant. There is a certain relationship between individual estimates of earthworm biodiversity and land cover spectral characteristics.

© 2023 The Author(s); Published by the National Museum of Natural History, NAS of Ukraine on behalf of GEO&BIO. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY-SA 4.0), which permits unrestricted reuse, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

# Структура угруповань дощових червів в урбанізованих біотопах Центрального Полісся

Олександр Гарбар, Вікторія Мороз, Діана Гарбар,  
Любов Ворончук, Надія Даниловська

**Резюме.** У статті описано результати впливу урбанізації на кількісну та якісну структуру комплексів дощових червів, оскільки урбанізація на теперішній час є основною загрозою для біорізноманіття. Дощові черви, як найпоширеніші представники едафічної мезофауни, чутливо реагують на рівень забруднення середовища. На прикладі смт Черняхова встановлено, що фауна лямбріцид досліджуваної території налічує вісім видів: *Aporrectodea caliginosa* (Savigny, 1826), *A. rosea* (Savigny, 1826), *A. trapezoides* (Duges, 1828), *Lumbricus terrestris* (Linnaeus, 1758), *L. castaneus* (Savigny, 1826), *Octolasion lacteum* (Örley, 1885), *Eisenia fetida* (Savigny, 1826) та *Dendrobaena octaedra* (Savigny, 1826). Усі виявлені черви досить нерівномірно представлені у проаналізованих вибірках. Фоновими видами на досліджуваній території є *A. caliginosa*, *A. rosea* та *L. terrestris*. За аналізом відносної чисельності у вибірках домінантом є *A. caliginosa*, рідше — *A. rosea* та *O. lacteum*. За результатами просторового розподілу дощових червів відмічено явне домінування одного виду в агроценозах та на ділянках зі значним рекреаційним навантаженням, у менш антропогенно-трансформованій зоні — вища чисельність і видова різноманітність лямбріцид. У результаті кластерного аналізу к-середніх за оцінками біорізноманіття виділено два кластери вибірок. При цьому найбільший внесок у диференціацію кластерів роблять такі параметри як число видів, число особин у вибірці та індекс Бріллуїна. Виявлено достовірну кореляцію між числом особин у вибірці та відбивною здатністю у діапазоні смуги В8, а також між показником вирівненості структури угруповань та відбивною здатністю у діапазонах смуг В4, В5, В11, В12 космічного знімка Sentinel-2 та значенням вегетаційного індексу NDVI. Дані спектральні характеристики використано з метою моделювання просторового розподілу абсолютної чисельності лямбріцид та вирівненості їх угруповань. Модель просторового розподілу чисельності дощових червів має мозаїчний характер — окремі осередки високої чисельності лямбріцид змінюються ділянками зниженої їх чисельності. Існує певний зв'язок між окремими оцінками біорізноманіття дощових червів та спектральними характеристиками земного покриву.

Ключові слова: Lumbricidae, біорізноманіття, урбанізація, біотоп, дистанційне зондування.

Адреса для зв'язку: Олександр Гарбар; Житомирський державний університет імені Івана Франка; вул. Велика Бердичівська 40, Житомир, 10008 Україна; Email: o.v.harbar@gmail.com; orcid: 0000-0003-4357-4525

## Вступ

Протягом останніх десятиліть однією з важливих екологічних проблем є урбанізація, яка негативно впливає на компоненти та комплекси довкілля, змінюючи фізико-хімічні властивості ґрунту та пов'язану з ним біоту [Mirzak 2002]. Урбанізація будучи найпотужнішою та помітною рушійною силою вважається основною причиною вимирання місцевих видів, що широко визнано основною загрозою для біорізноманіття [Alvey 2006; McKinney 2006; Glasstetter 2016].

Через антропогенний вплив під час процесу урбанізації міські ґрунти зазнають більш-менш виражених порушень, включаючи ущільнення, деградацію, постійну зміну ґрунтового покриву та землекористування [Ooms *et al.* 2020]. Усі ці чинники змінюють якість та функції ґрунту, що призводить до деградації середовища проживання педобіонтів [Caruso *et al.* 2017].

Комплекси безхребетних ґрунтової фауни відіграють ключову роль у функціонуванні наземних екосистем. Одними з найпоширеніших компонентів едафону є дощові черви. На теперішній час найбільш вивченою та поширеною є родина Lumbricidae, представники якої особливо чисельні у Палеарктиці [Zhukov *et al.* 2007; Perel 1979]. Лямбріциди відіграють важливу роль у процесах і функціях едафотопу, проте небагато досліджень зосереджені на моделях їх угруповань у антропогенно-трансформованих системах, особливо, у міському середовищі з високим рівнем землекористування [Pouyat *et al.* 2015]. У багатьох дослідженнях показано ключову роль ґрунтових сапрофагів як первинних деструкторів рослинного опаду, а також встановлено тісні зв'язки між функціонуванням населення безхребетних і родючістю ґрунту, продуктивністю і стійкістю екосистем [Stryanova 1980].

Дошові черви, порівняно з іншими безхребетними ґрунтової мезофауни, є найбільш чутливими до рівня забруднення середовища. Причинами цього є постійне перебування у ґрунтовому горизонті, висока проникність покривів тіла для токсичних з'єднань, живлення у середовищі з депонованими важкими металами та збільшений потік токсикантів у організм через низьку ефективність засвоєння поживи [Stryganova 1980; Sternik & Melnyk 2016].

За даними різних авторів [Mezhzherin *et al.* 2010; Yeliseeva & Vlasenko 2015; Caruso *et al.* 2017; Vlasenko *et al.* 2020; Congmou *et al.* 2020], на життєздатність дошових червів у міських екосистемах суттєво впливають властивості ґрунту, тривалість будівництва та якості середовища існування в житлових громадах. Динаміка зменшення біорізноманіття лямбріцид характерна територіям зі значним урбанізованим навантаженням (вплив діяльності промислових підприємств, АЗС, автомобільне завантаження, залізничні колії) [Sternik & Melnyk 2016].

Оскільки щільність, біомаса та різноманіття дошових червів схильні до зменшення з високою інтенсивністю урбанізації у міському середовищі [Smetak *et al.* 2007; Harbar *et al.* 2014; Xie *et al.* 2018], була висунута гіпотеза про те, що вищі значення таких показників можна спостерігати у біотопах з менш інтенсивним порушенням.

Елімінація комплексу педобіонтів приводить до уповільнення швидкості розкладання органічного матеріалу, нагромадження на поверхні ґрунту опадів та порушення циклів біогенів [Vsevolodova-Perel 1988; Maréchal *et al.* 2021]. Вплив урбанізації на угруповання дошових червів і середовища їх існування є актуальним завданням у дослідженнях з метою аналізу та прогнозування функціонування екосистем.

Мета дослідження полягала у вивченні впливу урбанізації на кількісну та якісну структуру комплексів дошових червів Центрального Полісся на прикладі смт. Черняхова Житомирської області.

## Матеріал і методи

Об'єктами дослідження слугували власні збори дошових червів зібрані вручну в умовах польового експерименту у антропогенно-трансформованих біотопах на території смт Черняхова (Житомирська обл.). У якості дослідних ділянок обрано вторинні, слабо порушені ділянки суходільних лучних екосистем з однорідним мікрорельєфом і рослинністю. Збір матеріалу проводили восени 2022 року за методикою [Gilyarov 1975] методом розкопок і ручного розбирання проб ґрунту об'ємом 0,125 м<sup>3</sup>. Даний метод є найбільш універсальним і технічно простим при роботі на ґрунтах з різним механічним складом і ступенем окультуреності. Загалом зібрано та опрацьовано 30 ґрунтових проб. Відбір проб виконувався до нижньої межі, де зустрічалися черви.

Відібраних червів промивали під проточною водою, промокали фільтрувальним папером, підсушували на повітрі та фіксували у 70–80% етиловому спирті і 4% формаліні з урахуванням рекомендацій [Stryganova 1980]. Видову приналежність встановлювали за загальноприйнятою методикою відповідно до рекомендацій [Perel 1979].

Дослідження кількісного та видового складу дошових червів проводилося на базі кафедри екології та географії Житомирського державного університету імені Івана Франка.

Для статистичного аналізу даних використано програмний пакет STATISTICA. Розрахунок оцінок біорізноманіття проведено з використанням програмного пакету PAST. З метою просторового аналізу та картографічного представлення даних застосовано програмні пакети SAGA та Q-GIS.

## Результати та їх обговорення

За отриманими даними встановлено, що фауна дошових червів досліджуваної території налічує вісім видів належних до п'яти родів — *Aporrectodea*, *Lumbricus*, *Octolasion*, *Eisenia* та *Dendrobaena* родини Lumbricidae: *Aporrectodea caliginosa* (Savigny, 1826), *A. rosea* (Savigny, 1826), *A. trapezoides* (Duges, 1828), *Lumbricus terrestris* (Linnaeus, 1758), *L. castaneus* (Savigny, 1826), *Octolasion lacteum* (Örley, 1885), *Eisenia fetida* (Savigny, 1826) та *Dendrobaena octaedra* (Savigny,

1826), які достатньо нерівномірно представлені у проаналізованих вибірках. Кожний із виявлених черв'їв характеризується набором морфологічних пристосувань, які виникли у них до конкретних умов середовищ їх перебування у результаті тривалого природного добору.

Три види — *A. caliginosa*, *A. rosea* та *L. terrestris* є фоновими на досліджуваній території і представлені у більшості вибірок. Домінування в інших урбанізованих біотопах вищеозначених видів підтверджується і дослідженнями [Galko & Onyshchuk 2012; Pakhomov *et al.* 2013; Harbar *et al.* 2014; Sternik & Melnyk 2016; Vlasenko *et al.* 2020]. Це є очевидним, оскільки, за різними даними [Perel 1975; Perel 1979; Vsevolodova-Perel 1988; Zhukov *et al.* 2007], виявлені види є космополітами та мають широкі межі екологічної валентності, тому можуть населяти біоценози з різними умовами існування, включаючи ті, які піддаються урбанізації та антропогенному впливу.

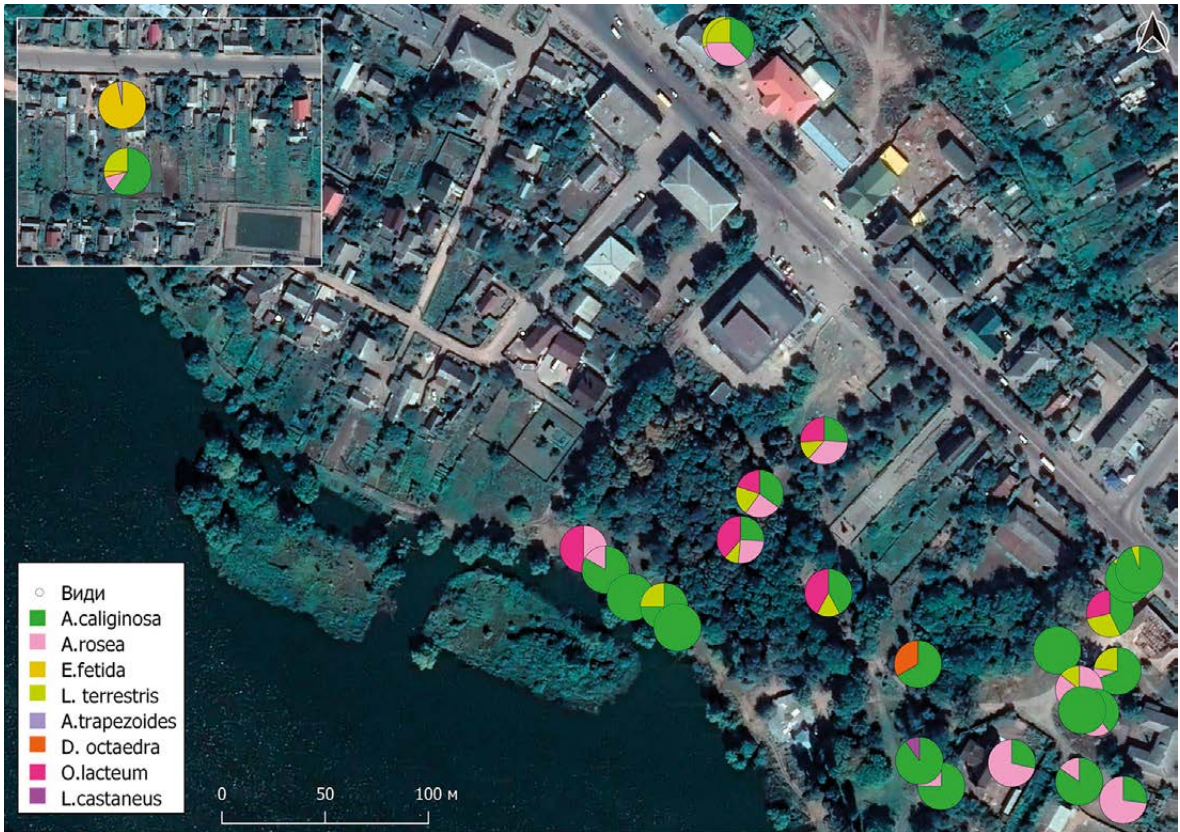
На відміну від інших типів землекористування, біоценози міських парків зазнають антропогенних порушень через систематичний потік відвідувачів, які беззаперечно впливають на стан едафотопу. Тому важливо розуміти, як екологічні чинники у паркових зонах впливають на угруповання люмбрицид для сприяння збереженню едафічної фауни у міських середовищах, що частково відображено у працях [Caruso *et al.* 2017; Zhou & Tian 2018]. За нашими даними, на досліджуваній рекреаційній території парку достатньо чисельним виявився *O. lacteum* (до 12 особин у пробі), однак його популяція приурочена до більш вологих умов центральної частини паркової зони смт. Черняхова. За іншими даними [Pakhomov *et al.* 2013], навпаки, чисельність даного виду у зоні ботанічного саду (паркова зона), порівняно з іншими видами, є незначною. Такі розбіжності можуть бути пов'язані із різним ступенем вологості досліджуваних едафотопів, оскільки *O. lacteum* надає перевагу добре зволоженим ділянкам [Perel 1979].

Вид *E. fetida* виявлено лише у двох крайніх пунктах західної частини досліджуваної території (агроценоз) і тут він досягає досить значної чисельності (до 30 особин у пробі). Види *A. trapezoides*, *D. octaedra* та *L. castaneus* зустрічаються на цій території лише в окремих вибірках і не досягають високої чисельності (одиночні екземпляри). Зокрема, здебільшого, значна чисельність *D. octaedra* та *L. castaneus* у природно-географічній зоні Лісостепу відмічається у зонах мішаних і широколистяних лісів, оскільки вони є космополітами лісових ценозів, що підтверджують дані [Perel 1979; Zhukov *et al.* 2007].

Відомо [Galko & Onyshchuk 2012], що деякі види люмбрицид, для яких умови існування стали несприятливими, зникають в одних біотопах та зберігаються в інших, комплекс абіотичних умов у яких був сприятливішим для їх життєздатності. Це підтверджується і даними [Zhukov *et al.* 2007; Pakhomov *et al.* 2013], які характер динаміки угруповань едафічних тварин пов'язують з їх екологічною структурою, яка є наслідком пристосування до умов середовища існування. Безхребетні, у тому числі люмбрициди, в умовах екологічного оптимуму проявляють високу стабільність чисельності та біомаси, при відхиленні умов — варіабельність відповідно збільшується. Тому зменшення чисельності *A. trapezoides*, *D. octaedra* та *L. castaneus* у досліджуваному агроценозі може бути цьому підтвердженням.

Аналіз відносної чисельності видів дощових черв'їв у вибірках свідчить, що у більшості з них домінантом є *A. caliginosa*. При цьому є низка вибірок, у яких був присутній лише цей вид (у східній та південно-східній частині досліджуваної території). У кількох вибірках зі східної частини парку явним домінантом є *A. rosea* (до 85%), тоді як у центральній — домінує або співдомінує *O. lacteum* (до 50%) (Рис. 1). На відміну від нірників, власне ґрунтові форми якими і є вищеозначені види, характеризуються меншою чутливістю до цілісності ґрунтового покриву [Perel 1979; Zhukov *et al.* 2007].

У природному середовищі існують певні едафічні умови від відносно непорушених ґрунтів (ділянки залишків рослинності та парків) до повністю технічних, для яких характерна відсутність виражених горизонтів, мозаїчне забарвлення та висока щільність [Sternik & Melnyk 2016]. Як вважають [Tóth *et al.* 2020] такі різноманітні умови утворюють мозаїку ґрунтових середовищ існування з більш-менш сприятливими для підземної біоти умовами.



**Рис. 1.** Відносна видова чисельність дощових черв'яків у вибірках (%).  
**Fig. 1.** Relative species abundance of earthworms in the samples (%).

Виявлений просторовий розподіл дощових черв'яків свідчить, що явне домінування одного виду спостерігається в агроценозах та на ділянках зі значним рекреаційним навантаженням (берег ставу). Рекреаційне навантаження на природні екосистеми включає пошкодження підстилки, витоптування рослинного покриву, ущільнення ґрунту, забруднення неорганічними та органічними речовинами. Сукупний вплив таких чинників призводить до рекреаційної дегресії біоценозів [Bezruchko 2009]. Зокрема, на ділянках з деградованою рослинністю відбуваються зміни у щільності населення дощових черв'яків та їх таксономічній структурі [Zhou & Tian 2018]. А враховуючи дані [Lapied *et al.* 2009; Lavelle 1998] структура угруповання люмбрицид у природних екосистемах напряму залежить від гранулометричного складу ґрунтового середовища, кількості поживних речовин у ньому та типу рослинного покриву. Тому можна припустити, що домінування одного виду дощових черв'яків на рекреаційно-завантажених ділянках є наслідком трансформації таких біоценозів унаслідок антропогенного впливу.

У природних умовах черви, ймовірно, піддаються одночасному впливу комбінацій антропогенного пресу, що може призвести до сильних негативних ефектів. Як правило, для таких сильно трансформованих біотопів характерна і низька загальна чисельність люмбрицид.

Проте за [Misyura & Zhukov 1995; Zhukov *et al.* 2007] угруповання педобіонтів мають високі адаптивні можливості для життєдіяльності в умовах трансформованого середовища. Стійкість комплексів мезофауни відображається на підтриманні синекологічних показників на постійному рівні, близькому до природних угруповань. Це дає змогу угрупованням безхребетним едафотопу виконувати свої функції у біогеоценозі навіть при достатньо високому ступені трансформації.

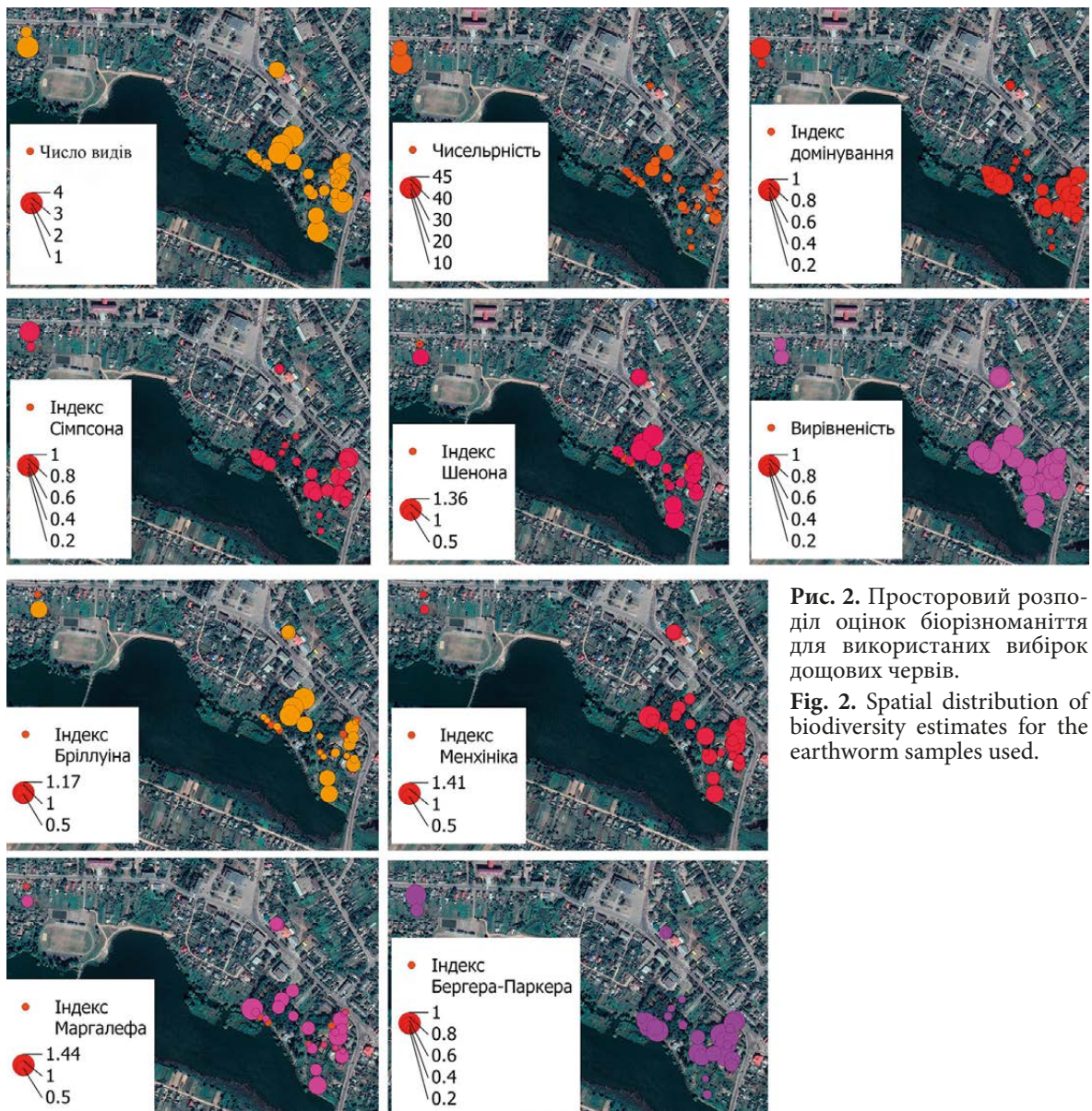


Рис. 2. Просторовий розподіл оцінок біорізноманіття для використаних вибірок дощових червів.

Fig. 2. Spatial distribution of biodiversity estimates for the earthworm samples used.

У менш антропогенно-трансформованій парковій зоні спостерігається вища чисельність (до 45 екз. у пробі) і видова різноманітність (до чотирьох видів у пробі) цих едафічних тварин та більш вирівнена структура угруповань (рис. 2). Будучи важливими місцями для життєдіяльності ґрунтових безхребетних, біоценози міських парків із зеленими насадженнями підтримують угруповання дощових червів [Maréchal 2021]. Зона парку із незначним ступенем антропогенної трансформації за своїми умовами є більш-менш сприятливою для існування дощових червів, порівняно із зоною яка зазнала сильної антропогенної трансформації, тому висока чисельність та різноманітність люмбрицид на такій території є цілком очевидною.

Як видно з просторового розподілу виділених кластерів, до першого увійшли найбільш чисельні вибірки, у більшості випадків зі значною видовою різноманітністю та відносно вирівняною структурою угруповань (рис. 3).

Для групування вибірок за оцінками біорізноманіття використано метод кластерного аналізу к-середніх, у результаті застосування якого виділено два кластери. Отримані результати доводять, що найбільший внесок у диференціацію кластерів роблять такі параметри як число



**Рис. 3.** Просторовий розподіл кластерів вибірок побудованих за оцінками біорізноманіття.  
**Fig. 3.** Spatial distribution of clusters of samples constructed according to biodiversity estimates.

**Таблиця 1.** Оцінки дисперсії показників біорізноманіття для двох кластерів

**Table 1.** Estimates of the dispersion of biodiversity indices for two clusters

Показники	F	P
Число видів	12,21	<b>0,00</b>
Число особин	53,44	<b>0,00</b>
Індекс домінування	2,52	0,12
Індекс Сімпсона	2,52	0,12
Індекс Шеннона	4,30	0,05
Вирівненість	3,02	0,09
Індекс Бріллуїна	8,25	<b>0,01</b>
Індекс Менхінка	1,47	0,23
Індекс Маргалефа	0,48	0,49
Індекс Бергера-Паркера	2,24	0,15

видів (2,93 — кластер 1 та 2,13 — кластер 2), число особин у вибірці (15,00 та 13,75 відповідно) та індекс Бріллуїна (0,72 та 0,34 відповідно). За іншими параметрами достовірних відмінностей дисперсій не спостерігається (табл. 1) і значення середніх практично співпадають.

Для оцінки можливого впливу параметрів середовища на чисельність дощових черв'яків та структуру угруповань використано дані дистанційного зондування Землі (космічний знімок Sentinel-2, 18.08.2022 р.), оскільки різні частини спектру космічного знімка можуть надавати важливу інформацію про характеристики та стан рослинного покриву і біотопів. Усього в аналіз включено сім смуг космічного знімка та вегетаційний індекс NDVI, розрахований за

смугами B4 та B8. Достовірна кореляція спостерігається між числом особин у вибірці та відбивною здатністю у діапазоні смуги знімка B8 а також між показником вирівненості структури угруповань та відбивною здатністю у діапазонах смуг B4, B5, B11, B12 та значенням NDVI (табл. 2). Тому ці спектральні характеристики використано для моделювання просторового розподілу абсолютної чисельності дощових черв'яків та вирівненості їх угруповань (рис. 4).

З моделювання виключено окремі пункти моніторингу, які лежать на значній відстані від основного масиву і можуть негативно впливати на якість отриманої моделі. Моделювання просторового розподілу вирівненості структури угруповань за спектральними характеристиками космічного знімка та за NDVI дає подібні результати (рис. 4, 1–2). У цих двох випадках зона високих значень показника лежить, переважно, у центральній частині досліджуваної території, вкритої деревостаном (менш трансформовані біотопи).

Таблиця 2. Кореляція оцінок біорізноманіття зі спектральною відбивною здатністю використаних смуг космічного знімка Sentinel-2 та вегетаційним індексом NDVI

Table 2. Correlation of biodiversity estimates with the spectral reflectance of the used bands of the Sentinel-2 space image and the vegetation index NDVI

Показники біорізноманіття	Смуги Sentinel-2							NDVI
	B2	B3	B4	B5	B8	B11	B12	
Число видів	0,05	-0,05	0,01	0,02	-0,11	0,19	0,19	-0,04
Число особин	0,10	0,01	0,16	0,04	<b>-0,36</b>	0,11	0,17	-0,22
Індекс домінування	0,04	0,11	0,11	0,07	-0,06	-0,12	-0,09	-0,13
Індекс Сімпсона	-0,04	-0,11	-0,11	-0,07	0,06	0,12	0,09	0,13
Індекс Шеннона	-0,03	-0,12	-0,11	-0,08	0,03	0,10	0,09	0,12
Вирівненість	-0,33	-0,29	<b>-0,39</b>	<b>-0,36</b>	0,32	<b>-0,38</b>	<b>-0,42</b>	<b>0,43</b>
Індекс Бріллуїна	-0,04	-0,14	-0,10	-0,11	-0,04	0,09	0,08	0,09
Індекс Менхініка	-0,01	0,01	-0,09	0,04	0,25	0,16	0,07	0,16
Індекс Маргалефа	0,02	-0,01	-0,07	0,05	0,12	0,15	0,10	0,11
Індекс Бергера-Паркера	0,08	0,13	0,17	0,09	-0,15	-0,06	-0,03	-0,21

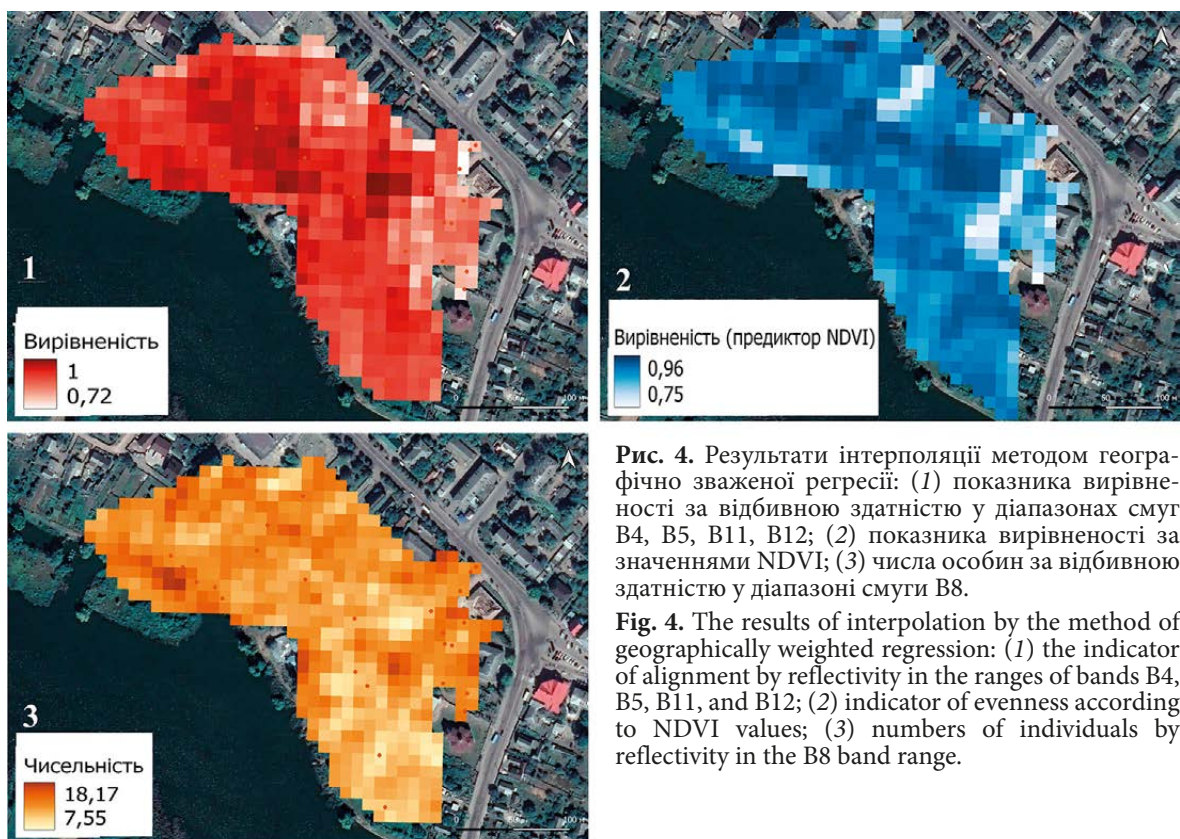


Рис. 4. Результати інтерполяції методом географічно зваженої регресії: (1) показника вирівненості за відбивною здатністю у діапазонах смуг B4, B5, B11, B12; (2) показника вирівненості за значеннями NDVI; (3) числа особин за відбивною здатністю у діапазоні смуги B8.

Fig. 4. The results of interpolation by the method of geographically weighted regression: (1) the indicator of alignment by reflectivity in the ranges of bands B4, B5, B11, and B12; (2) indicator of evenness according to NDVI values; (3) numbers of individuals by reflectivity in the B8 band range.

Моделювання просторового розподілу чисельності дощових черв'як дає більш мозаїчну картину, де окремі осередки високої чисельності цих тварин змінюються ділянками зниженої їх чисельності (рис. 4, 3). Слід відмітити, що на окремих ділянках досліджуваної території дані цих трьох моделей виявляються добре узгодженими. Результати дослідження доводять наявність певного зв'язку між окремими оцінками біорізноманіття дощових черв'як та спектральними характеристиками земного покриву.

Стрімке підвищення рівня трансформації природних екосистем протягом останніх десятирічь закономірно призводить до збіднення видової різноманітності люмбрицид та домінування невеликої кількості їх представників. Залежність чисельності представників люмбрикофауни від стану едафотопу є цілком очевидною, а однією з основних причин збіднення

видового складу дощових черв'їв в урбоекосистемах є трансформація ґрунтів під впливом антропогенної діяльності, що є несприятливим чинником для життєздатності деяких видів черв'їв. Динаміка зміни структури угруповань дощових черв'їв може бути представлена у вигляді послідовно змінюваних стадій трансформації, кожна з яких виділяється за комплексом ознак (щільність і структура угруповань). Такої ж думки дотримуються і інші науковці [Sternik & Melnyk 2016; Stryanova 1980].

## Висновки

Встановлено, що фауна дощових черв'їв досліджуваної території налічує 8 видів: *A. caliginosa* (Savigny, 1826), *A. rosea* (Savigny, 1826), *A. trapezoides* (Duges, 1828), *L. terrestris* (Linnaeus, 1758), *L. castaneus* (Savigny, 1826), *O. lacteum* (Örley, 1885), *E. fetida* (Savigny, 1826) та *D. octaedra* (Savigny, 1826). У більшості вибірок домінантом є *A. caliginosa*, у окремих — *A. rosea* та *O. lacteum*.

У результаті кластерного аналізу к-середніх за оцінками біорізноманіття виділено два кластери вибірок. Найбільший внесок у диференціацію кластерів роблять такі параметри як число видів (2,93 — кластер 1 та 2,13 — кластер 2), число особин у вибірці (15,00 та 13,75 відповідно) та індекс Бріллуїна (0,72 та 0,34 відповідно). При цьому до першого кластера увійшли переважно найбільш чисельні вибірки зі значною видовою різноманітністю та відносно вирівняною структурою угруповань.

Виявлено достовірну кореляцію між числом особин у вибірці та відбивною здатністю у діапазоні смути В8, а також між показником вирівняності структури угруповань та відбивною здатністю у діапазонах смуг В4, В5, В11, В12 космічного знімка Sentinel-2 і значенням вегетаційного індексу NDVI. Моделювання просторового розподілу вирівняності структури угруповань за спектральними характеристиками космічного знімка та за NDVI дає подібні результати: зона високих значень показника лежить переважно у центральній частині досліджуваної території, вкритої деревостаном (менш трансформовані біотопи).

Модель просторового розподілу чисельності дощових черв'їв є мозаїчною — окремі осередки високої чисельності цих тварин змінюються ділянками зниженої чисельності. На окремих ділянках досліджуваної території дані різних моделей є добре узгодженими. Найявний певний зв'язок між окремими оцінками біорізноманіття дощових черв'їв та спектральними характеристиками земного покриття. Тому дані дистанційного зондування Землі можуть розглядатись як предиктори під час моделювання окремих параметрів угруповань люмбрицид та едафічної мезофауни загалом.

## Подяки

Робота виконана у рамках науково-дослідної теми кафедри екології та географії Житомирського державного університету імені Івана Франка «Моніторинг біотичного та оселищного різноманіття з використанням ГІС та даних дистанційного зондування Землі» (Державний реєстраційний номер: 0122U002269).

## References

- Alvey, A. A. 2006. Promoting and preserving biodiversity in the urban forest. *Urban Forestry & Urban Greening*, 5 (4): 195–201.
- Bezruchko, L. 2009. Development of recreational digression in Shatskyi National Natural Park territory. *Bulletin of Lviv University. Geography series*, 36: 23–30. [In Ukrainian]
- Galko, O., I. Onyshchuk. 2012. Use of earthworms (Lumbricidae, Oligochaeta) in soil bioindication. *Biological research — 2012*, 45–47. [In Ukrainian]
- Caruso, T., M. Migliorini, E. Rota, R. Bargagli. 2017. Highly diverse urban soil communities: Does stochasticity play a major role? *Applied Soil Ecology*, 110: 73–78.
- Congmou, Z., Z. Xiaoling, Z. Mengmeng, H. Shan, G. Muye, [et al.]. 2020. Impacts of urbanization and landscape pattern on habitat quality using OLS and GWR models in Hangzhou, China. *Ecological indicators*, 117: 106654.
- Gilyarov, M. S. 1975. Accounting of large soil invertebrates (mesofauna). *Methods of soil and zoological studies*, 12–30. [In Russian]

- Glasstetter, M. 2016. Earthworm diversity in urban habitats of Basel (Northwestern Switzerland). *Zoology in the Middle East*, **58** (4): 95–102.
- Harbar, O. V., D. A. Harbar, O. V. Pavlushkina. 2014. Earthworms of Novohrad-Volynskyi: the structure of groups depending on the level of ecosystem transformation. *Interuniversity scientific and practical conference of students, postgraduates and young scientists "Ecological development of the country within the framework of European integration"*. Zhytomyr, 51–52. [In Ukrainian]
- Maréchal, J., K. Hoeffner, X. Marié, D. Cluzeau. 2021. Response of earthworm communities to soil engineering and soil isolation in urban landscapes. *Ecological engineering*, **169**: 106307.
- McKinney, M. L. 2006. Urbanization as a major cause of biotic homogenization. *Biological Conservation*, **127** (3): 247–260.
- Mezhzherin, S. V., I. Yu. Kotsyuba, E. I. Zhalai, O. V. Harbar. 2010. Genetic structure of populations of the parthenogenetic earthworm *Eiseniella tetraedra* (Savigny, 1826) in natural and urbanized habitat. *Scientific Bulletin of Uzhhorod University. Series Biology*, **28**: 135–138. [In Russian]
- Mirzak, O. V. 2002. *Ecological features of edaphotopes of urbanized territories of the steppe zone of Ukraine*. DNU, Dnipropetrovsk, 1–19. [In Ukrainian]
- Misyura, A. N. A. V. Zhukov. 1995. Some aspects of biochemical testing of animals for monitoring the state of the environment. *Sustainable development: environmental pollution and environmental safety*, **2**: 43–44. [In Russian]
- Lapied, E., J. Nahmani, G. X. Rousseau. 2009. Influence of texture and amendments on soil properties and earthworm communities. *Appl. Soil Ecol.*, **43**: 241–249.
- Lavelle, Ch. 1998. Burrowing activity of *Aporrectodea rosea*. *Pedobiologia*, **42** (2): 97–101.
- Ooms, A., A. T. C. Dias, A. R. van Oosten, J. H. C. Cornelissen, J. Ellers, M. P. Berg. 2020. Species richness and functional diversity of isopod communities vary across an urbanisation gradient, but the direction and strength depend on soil type. *Soil biology & biochemistry*, **148**: 107851.
- Pakhomov, A. E., O. N. Kunakh, A. V. Zhukov, Yu. A. Balyuk. 2013. Spatial organization of the ecological niche of the soil mesofauna of the urbozem. *Visnyk of Dnipropetrovsk University. Biology, ecology*, **21** (1): 51–57. [In Russian]
- Perel, T. S. 1975. Life forms of Lumbricidae. *Journal community biol.*, **36** (2): 189–202. [In Russian]
- Perel, T. S. 1979. *Distribution and distribution patterns of earthworms in the fauna of the USSR*. Nauka, Moscow, 1–272. [In Russian]
- Pouyat, R. V., I. D. Yesilonis, M. Dombos, K. Szlavecz, H. Setälä, [et al.]. 2015. A global comparison of surface soil characteristics across five cities: A test of the urban ecosystem convergence hypothesis. *Soil Science*, **180** (4/5): 136–145.
- Sternik, V. M., V. Y. Melnyk. 2016. The relevance of earthworm research in the bioindication of the state of urboedaphotopes in the city of Rivne. *Collection of scientific works of the Kharkiv National Pedagogical University named after H.S. Friling pans. Biology and valeology*, **18**: 169–180. [In Ukrainian]
- Smetak, K. M., J. L. Johnson-Maynard, J. E. Lloyd. 2007. Earthworm population density and diversity in different-aged urban systems. *Applied Soil Ecology*, **37** (1–2): 161–168.
- Stryganova, B. R. 1980. *Food of soil saprophages*. Nauka, Moscow, 1–243. [In Russian]
- Tóth, Z., K. Szlavecz, D. J. E. Schmidt, E. Hornung, H. Setälä, [et al.]. 2020. Earthworm assemblages in urban habitats across biogeographical regions. *Applied Soil Ecology*, **151**: 103530.
- Vlasenko, R., I. Khomiak, O. Harbar, N. Demchuk. 2020. Lumbricides as a bio-indicators of the influence of electrical transmission line in the conditions of Ukrainian Polissia. *Travaux du Muséum National d'Histoire Naturelle "Grigore Antipa"*, **63** (1): 7–18.
- Vsevolodova-Perel, T. S. 1988. Distribution of earthworms in the north of the Palearctic. *Biology of Soils of Northern Europe*, 84–103. [In Russian]
- Xie, T., M. Wang, W. Chen, H. Uwizeyimana. 2018. Impacts of urbanization and landscape patterns on the earthworm communities in residential areas in Beijing. *Science of the Total Environment*, **626**: 1261–1269.
- Yeliseeva, L. L., R. P. Vlasenko. 2015. The influence of power lines on the structure of communities of earthworms of the family Lumbricidae from the territory of the Transcarpathian region. *Scientific Bulletin of Zhytomyr University. Biology series*, **27**: 12. [In Ukrainian]
- Zhou, D., Yu. Tian. 2018. A spatiotemporal study of the interactive relationship between urbanization and ecosystem services: a practical study of urban agglomeration. *China Ind*, **95**: 152–164.
- Zhukov, O. V., A. E. Pakhomov, O. N. Kunakh. 2007. *Biological diversity of Ukraine. Dnipropetrovsk region. Earthworms (Lumbricidae)*. Publishing House of Dnipropetrovsk National University, Dnipropetrovsk, 1–371. [In Ukrainian]