

---

# ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

---

УДК 504.05(477.42)

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.1-40.11>

## БІОІНДИКАЦІЙНА ОЦІНКА СТАНУ ЗАБРУДНЕННЯ ЕКОСИСТЕМ ҐРУНТУ ВЗДОВЖ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

Алпатова О.М., Пацева І.Г.

Державний університет «Житомирська політехніка»  
вул. Чуднівська, 103, 10005, м. Житомир  
[alpatova-o@ukr.net](mailto:alpatova-o@ukr.net), [chaszmingmail.com](mailto:chaszmingmail.com)

Забруднення навколишнього середовища важкими металами викликає тривогу, тому що воно багатопланово знижує продуктивність рослин, порушує фітоценози, що природно склалися, асиміляційний потенціал фітомаси, погіршує якість довкілля людини, включаючи якість продукції і продуктів харчування. Особливо піддаються забрудненню викидами автотранспорту (свинцем, хромом, нікелем та іншими) землі вздовж доріг.

Перевагою біоіндикаційної оцінки є те, що спостерігається реакція конкретного біоценозу на зміни у навколишньому середовищі. В якості тест-об'єктів використовували черепашкові амеби, які є домінуючим компонентом ґрунтової фауни та чутливими організмами до техногенного забруднення середовища.

У ґрунтах досліджуваних ділянок було виявлено 34 види черепашкових амеб, які належать до 10 родів. Черепашкові амеби родів *Plagiopyxis*, *Centropyxis*, *Cyclopyxis* є найбільш стійкими, а черепашкові амеби родів *Diffugia*, *Corythion*, *Trinema*, *Nebela*, *Hyalosphenia*, *Euglypha* є чутливими до забруднення важкими металами. Стійкість родів *Plagiopyxis*, *Centropyxis*, *Cyclopyxis*, ймовірно, обумовлена будовою черепашки, а саме наявністю другої камери, формування якої посилює ізоляцію цитоплазми відносно зовнішнього середовища. При порівнянні угруповань тестачей фонового та найбільш порушених антропогенним впливом ділянок відзначено значне зниження чисельності та видової різноманітності цих протист. У ґрунтах першої, другої та третьої ділянок домінують представники родів *Plagiopyxis*, *Centropyxis*, *Cyclopyxis*.

Встановлено, що найбільш інформативним показником екологічного стану забруднених ґрунтів є зниження абсолютної чисельності та зміна співвідношення груп тестачей. Дані біоіндикації можна ефективно використовувати для прогнозування екологічних наслідків господарської діяльності людини. *Ключові слова*: черепашкові амеби, біоіндикація, важкі метали, забруднення.

### **Bioindication assessment of the state of soil ecosystem contamination along the highways. Alpatova O., Pazeva I.**

The environmental pollution caused by heavy metals is a cause for great concern as it reduces the plant productivity, disrupts the natural processes of the phytocenoses and phytomass assimilation, and worsens the quality of the human environment, including the quality of products and food. Particularly susceptible to contamination by vehicle emissions (lead, chromium, nickel, etc.) are areas along the highways.

The advantage of bioindication assessment is a response of a particular biocenosis to changes in the environment. Testate amoebae were used as test objects as they are the dominant component of soil fauna and are sensitive to man-made environmental contaminants.

During comparing the groupings of background and most anthropogenic affected areas, a significant decrease in the number and species diversity of these protists was noted. 34 species of testate amoebae belonging to 10 genera were found in the soils of the studied areas. Testate amoebas of the genera *Plagiopyxis*, *Centropyxis*, *Cyclopyxis* are the most resistant, and shell amoebas of the genera *Diffugia*, *Corythion*, *Trinema*, *Nebela*, *Hyalosphenia*, *Euglypha* are sensitive to heavy metals. The stability of the genera *Plagiopyxis*, *Centropyxis*, *Cyclopyxis* is probably due to the structure of the shell, namely the presence of a second chamber, the formation of which enhances the isolation of the cytoplasm relative to the environment.

The most significant decrease in the abundance and species diversity was observed during comparing analyses of testace groups from the most disturbed areas by anthropogenic influence. The soils of the first, second and third samples are dominated by representatives of the genera *Plagiopyxis*, *Centropyxis*, *Cyclopyxis*.

As a result of research it was found that the most informative indicator of the ecological condition of contaminated soils is a decrease in the absolute number and change in the ratio of groups of testacea. Bioindication data can be effectively used to predict the environmental consequences of human economic activity. *Key words*: testate amoebae, bioindication, contamination, heavy metals.

**Постановка проблеми.** До серйозних екологічних проблем сучасного людства належить проблема неухильного зростання вмісту сполук важких металів у ґрунті, воді та атмосфері індустріально розвинутих країн і міст. Обсяги викидів автотранспорту в атмосферу щороку зростають. Склад та кількість

викидів автотранспорту залежать від різних факторів: загального стану та режимів роботи двигуна; палива і мастил; умов й інтенсивності руху та ін. Ситуація зі сталим забрудненням довкілля, що склалася у великих містах, має загрозовий стан. Найбільш забрудненими є ділянки вздовж автомагістралей та на великих

перехрестях, де спостерігається перевищення ГДК двоокису азоту, бенз(а)пірену, свинцю та інших речовин. Внаслідок кількісного зростання автомобільного транспорту екологічна ситуація з кожним роком значно погіршується, лише за останні 15 років їх кількість зросла у декілька разів. Особливо піддаються забрудненню викидами автотранспорту (свинцем, хромом, нікелем та іншими) землі вздовж доріг. За різними даними їх вміст у пробах ґрунту, відібраних на відстані 50-200 м від осі автошляху може перевищувати ГДК у кілька разів.

**Актуальність дослідження.** Ґрунт, що є потужним сорбційним бар'єром, здатен до акумуляції великої кількості важких металів. У містах на незначній площі сконцентровано велику кількість джерел забруднення різної природи, що визначає високу інтенсивність та неоднорідність складу ґрунтових забруднень. Ґрунт – початкова і кінцева ланка трофічних ланцюгів, місце існування організмів, сполучна ланка біологічного і геологічного кругообігів. Він виконує найважливіші функції із захисту літосфери, а також рослинності від забруднення. Тому значення ґрунту для збереження екологічної рівноваги довкілля всього живого на планеті першочергове. Для ґрунтів міста характерним є забруднення важкими металами, як один із негативних наслідків урбанізаційного процесу.

Таким чином, вивчення екологічного стану трансформованого ґрунтового покриву міст становить не лише теоретичний інтерес, а й важливе практичне завдання з погляду моніторингу та визначення шляхів оздоровлення екологічної обстановки урбанізованих територій.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та науково-практичними завданнями.**

Забруднення навколишнього середовища важкими металами викликає тривогу, тому що воно багатопланово знижує продуктивність рослин, порушує фітоценози, що природно склалися, асиміляційний потенціал фітомаси, погіршує якість довкілля людини, включаючи якість продукції і продуктів харчування. Беззаперечною перевагою біоіндикаційної оцінки є те, що спостерігається реакція конкретного біоценозу на зміни у навколишньому середовищі.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Широке коло наслідків, що випливають з хімічного забруднення елементів довкілля, призводять до того, що стандартні хімічні методи аналізу є недостатніми, щоб повністю оцінити вплив на навколишнє середовище. Обмеженість хімічних методів аналізу щодо якості педосфери, наприклад, полягає у не врахуванні синергізму забруднювачів, абсорбцію ґрунтовими колоїдами та взаємодію із гуміновими кислотами. Останні фактори є об'єктивною реальністю, відтак, потребують врахування, більше того, ґрунтового вивчення і точного визначення. У цьому контексті використання методів біоіндикації з використанням біоіндикаторів є доцільним і ефективним.

У зв'язку з цим відбувається широке впровадження методів біоіндикації та інтенсивний розвиток їх методологічного забезпечення. Біоіндикація є досить ефективною при оцінці якості довкілля, оскільки живі системи дуже чутливі до змін зовнішнього середовища і мають властивість реагувати швидше, ніж ці зміни стануть очевидними. Перевагою біоіндикації є те, що організми-біоіндикатори підсумовують всі біологічно важливі відомості про навколишнє середовище і відображають його стан в цілому; усувають необхідність застосування дорогих методів дослідження; уможливають реєстрування залпових і короточасних викидів токсикантів; вказують шляхи та місця скупчення в екосистемах різного роду забруднень; дозволяють судити про ступінь шкідливості речовин для живої природи.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття, та новизна досліджень.** Нині дедалі більшого значення набуває розробка методів оцінки антропогенного впливу на ґрунт. У практиці моніторингу ґрунтів найпоширенішим підходом залишається аналіз рівнів концентрацій токсичних сполук із використанням фізико-хімічних методів. Проте з такими оцінками асоційовано дуже багато невизначеностей, зокрема, він не враховує можливості виникнення синергічних та антагоністичних ефектів за одночасного впливу кількох несприятливих факторів.

Проблеми, пов'язані з необхідністю контролю реальної ситуації з антропогенним забрудненням ґрунтів, змушують поряд з хімічним аналізом впроваджувати нові підходи до контролю небезпеки токсикантів з оцінкою інтегральної токсичності ґрунту, що відображає вплив на неї всього комплексу факторів. До таких відносяться біоіндикаційні методи, що дозволяють оцінити стан середовища зміни стану живих істот.

**Методологічне або загальнонаукове значення.** Для досліджень використовували статистичний, польовий моніторинг, лабораторний методи. У серпні 2020 року відбирали проби ґрунтів вздовж автомобільних шляхів М06 (поблизу с. Глибочиця), М20 (поблизу с. Тетерівка), Р10 (в районі с. Станишівка), Е40 (поблизу с. Сонячне) та у гідропарку (околиці м. Житомира) на квадратній ділянці розміром 10\*10 метрів методом «конверта» [1]. У кожній з п'яти точок «конверта» відбирають 1 кг ґрунту на глибині до 25 см. З відібраних зразків готували середню пробу масою 1 кг. Проби ґрунтів відбирали у поліетиленові пакети.

В якості тест-об'єктів використовували черепашкові амеби, які є домінуючим компонентом ґрунтової фауни. Тестації – цінні біоіндикатори різноманітних ґрунтових умов [2; 3]. Це найпростіші із уповільненим метаболізмом, які відіграють важливу роль у кругообігу речовин у ґрунті та є одними з небагатьох первинних деструкторів целюлози та лігніну,



Рис. 1. План-схема пунктів збору проб ґрунту на досліджуваних ділянках

а також, завдяки складу своїх черепашок, накопичують мінеральні речовини у підстилці та у верхньому гумусові горизонті ґрунту. Тестації швидко реагують на зміни вологості, а також на зміни багатьох інших умов навколишнього середовища (кислотність, трофність та ін.). При цьому їх черепашки стійкі до розкладання та зберігаються в торф'яних і донних відкладеннях боліт й водойм. Завдяки поєднанню цих властивостей черепашкові амеби представляють цінний об'єкт для біоіндикації та палеорекострукції, який може значно доповнити існуючі уявлення про динаміку навколишнього середовища та еволюції екосистем [4; 5; 6].

Тестації відіграють значну роль як регулятори чисельності та життєдіяльності бактерій, актиноміцетів та грибів, у тому числі і фітопатогенних, оскільки знаходяться з ними в одному трофічному ланцюгу.

Підрахунок чисельності здійснювали прямим мікроскопуванням в чашках Петрі водної ґрунтової суспензії.

Водну суспензію мікроскопували при збільшенні  $\times 600$ . Каплю суспензії, нанесену на предметне скло, проглядали в 3 повторностях. Число черепашок перераховували на 1 г абсолютно сухого ґрунту.

Вміст важких металів (Zn, Cd, Pb, Cu) у ґрунті визначали методом інверсійної вольтамперометрії. Найбільший вміст цинку, кадмію та свинцю було відзначено на першій ділянці.

**Виклад основного матеріалу.** У ґрунтах досліджуваних ділянок було виявлено 34 види черепашкових амеб, які належать до 10 родів. Видовий склад черепашкових амеб представлено у таблиці 1.

Нами відслідковано динаміку зміни чисельності черепашкових амеб у зоні безпосереднього забруднення від автотранспорту та фоновій ділянці. З аналізу даних встановлено, що черепашкові амеби реагують на забруднення ґрунтів. Так, на ділянці 1, видовий склад представлений лише 7 видами, на ділянці 2 – 11 видами, на ділянці 3 – 9 видами, на ділянці 4 – 17 видам тестацій. Найбільша кількість видів черепашкових амеб було знайдено на фоновій ділянці 5 – 34 види (табл. 2).

На забруднених ділянках переважали тестації родів *Plagiopyxis*, *Centropyxis*, *Cyclopyxis*. Отже, за результатами дослідження можна стверджувати, що черепашкові амеби родів *Plagiopyxis*, *Centropyxis*, *Cyclopyxis* є найбільш стійкими, а черепашкові амеби родів *Diffugia*, *Corythion*, *Trinema*, *Nebela*, *Hyalosphenia*, *Euglypha* є чутливими до забруднення важкими металами. Стійкість родів *Plagiopyxis*, *Centropyxis*, *Cyclopyxis*, ймовірно, обумовлена будовою черепашки, а саме наявністю другої камери, формування якої посилює ізоляцію цитоплазми відносно зовнішнього середовища [7].

У виявленій фауні черепашкових амеб чітко виділяється домінуючий комплекс (до 74% чисельності), що складається з чотирьох масових родів тестацій: *Centropyxis*, *Cyclopyxis*, *Plagiopyxis*, *Diffugia*,

**Видовий склад угруповань черепашкових амеб у досліджуваних ділянках ґрунтів  
(1 - М06, 2 - М20, 3 - Р10, 4 - Е40, 5 - гідропарк)**

Види	Ділянки				
	1	2	3	4	5
Рід <i>Centropyxis</i> Stein, 1857					
<i>Centropyxis aculeata</i> Stein, 1857	-	+	-	+	+
<i>C. elongata</i> (Penard, 1890) Thomas, 1959	+	-	+	+	+
<i>C. spinosa</i> Deflandre, 1929	-	+	+	+	+
<i>C. orbicularis</i> Deflandre, 1929	-	-	-	+	+
<i>C. platystoma</i> Penard, 1890	-	+	-	-	+
<i>C. aerophila</i> Deflandre, 1929	-	+	-	+	+
<i>C. ecornis</i> Ehrenberg, 1838	+	+	+	+	+
Рід <i>Corythion</i> Taranek, 1881					
<i>Corythion dubium</i> Taranek, 1881	-	-	-	+	+
<i>Coth. orbicularis</i> (Penard, 1910) Iudina, 1996	-	-	-	-	+
Рід <i>Cyclopyxis</i> Deflandre, 1929					
<i>Cyclopyxis eurystoma</i> Deflandre, 1929	+	+	+	+	+
<i>C. kahli</i> Deflandre, 1929	+	+	+	+	+
<i>C. penardi</i> Deflandre, 1929	-	+	-	+	+
Рід <i>Diffflugia</i> Leclerc, 1815					
<i>Diffflugia compressa</i> (Leidy, 1879) Gauthier-Lievre et Thomas, 1958	-	-	-	+	+
<i>D. globulosa</i> Dujardin, 1837	-	-	-	-	+
<i>D. lithophila</i> (Penard, 1902) Gauthier-Lievre et Thomas, 1958	-	-	-	+	+
<i>D. lobostoma</i> Leidy, 1879	-	-	-	-	+
<i>D. oblonga</i> Ehrenberg, 1838	-	-	-	-	+
<i>D. parva</i> (Thomas, 1954) Ogden, 1983	-	-	-	-	+
<i>D. pyriformis</i> Perty, 1834	-	-	-	-	+
<i>D. urceolata</i> Carter, 1864	-	-	+	-	+
Рід <i>Euglypha</i> Dujardin, 1841					
<i>Euglypha ciliata</i> (Ehrenberg, 1848) Leidy, 1878	-	-	-	-	+
<i>E. laevis</i> (Ehrenberg, 1832) Perty, 1849	-	-	-	+	+
<i>E. rotunda</i> Wailes, 1915	-	-	-	+	+
Рід <i>Heleopera</i> Leidy, 1879					
<i>Heleopera petricola</i> Leidy, 1879	-	-	-	-	+
<i>H. sylvatica</i> Penard, 1890	-	-	-	-	+
Рід <i>Hyalosphenia</i> (Stein, 1857) Schulze, 1877					
<i>Hyalosphenia elegans</i> Leidy, 1879	-	-	-	-	+
<i>H. papilio</i> Leidy, 1879	-	-	-	-	+
Рід <i>Nebela</i> Leidy, 1874					
<i>Nebela collaris</i> (Ehrenberg, 1848) Leidy, 1879	-	-	-	-	+
<i>N. tubulosa</i> Penard, 1902	-	-	-	-	+
<i>Plagiopyxis</i> Penard, 1910					
<i>Plagiopyxis declivis</i> Thomas, 1958	+	+	+	+	+
<i>Pl. penardi</i> Penard, 1910	+	+	+	+	+
Рід <i>Trinema</i> Djurandin, 1841					
<i>Trinema encheles</i> (Ehrenberg, 1838) Leidy, 1879	-	-	-	-	+
<i>Tr. lineare</i> Penard, 1890	-	-	-	-	+
<i>Tr. complanatum</i> Penard, 1890	-	-	-	-	+

який можна вважати власне едафічним комплексом. Склад та розподіл едафічного комплексу спільноти черепашкових амеб представлені на рис. 2.

Уздовж ґрунтового профілю відбувається певна зміна видів і форм черепашкових амеб, тому за цією групою найпростіших можна дізнатися про

## Інтегральні характеристики угруповань черепашкових амеб

Показник	Ділянки				
	1	2	3	4	5
Кількість видів	7	11	9	17	34
Чисельність, тис. екз/г сухого ґрунту	0,3	1,2	1,7	2,8	12,6
Індекс видового різноманіття Шеннона	0,75	0,67	1,52	0,63	1,59

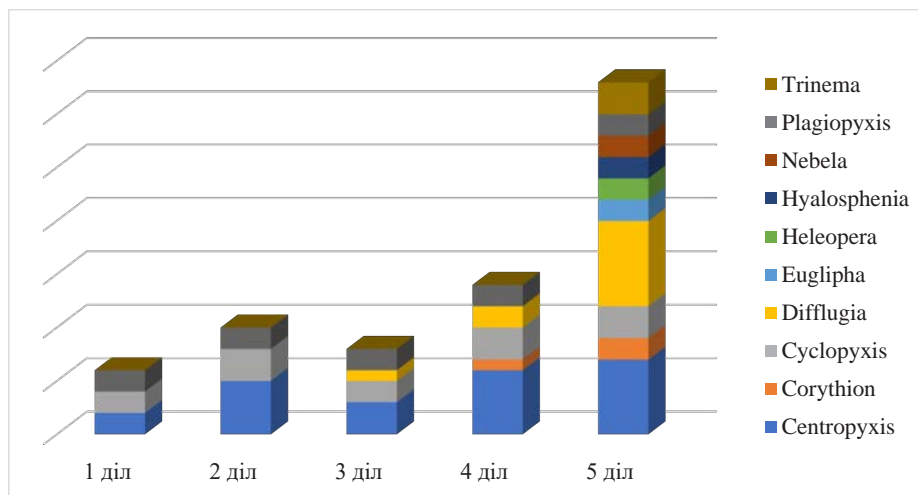


Рис. 2. Структура домінуючого комплексу черепашкових амеб на досліджуваних ділянках

зміни багатьох біотичних і абіотичних чинників. Встановлено, що чим жорсткіші вимоги висуває середовище, тим чіткішими стають адаптації до нього і тим менша кількість форм відповідає цим вимогам [7].

При порівнянні угруповань тестачей фонового та найбільш порушених антропогенним впливом ділянок відзначено значне зниження чисельності та видової різноманітності цих протист (табл. 2). У ґрунтах першої, другої та третьої ділянок домінують представники родів *Plagiopyxis*, *Centropyxis*, *Cyclopyxis*.

**Головні висновки.** Черепашкові амеби є організмами, чутливими до техногенного забруднення середовища. Проведені дослідження виявили зміни у структурі їхніх угруповань, що дозволяє вико-

ристовувати черепашкових амеб як біоіндикаторів для оцінки стану антропогенно-порушених ґрунтів з різним вмістом важких металів.

В структурі угруповань черепашкових амеб формуються групи стійких і нестійких до забруднення важкими металами тестачей. Найбільш стійкими є представники родів *Plagiopyxis*, *Centropyxis*, *Cyclopyxis*, менш стійкими – *Diffflugia*, *Corythion*, *Trinema*, *Nebela*, *Hyalosphenia*, *Euglipha*.

В результаті досліджень було встановлено, що найбільш інформативним показником екологічного стану забруднених ґрунтів є зниження абсолютної чисельності та зміна співвідношення груп тестачей. Дані біоіндикації можна ефективно використовувати для прогнозування екологічних наслідків господарської діяльності людини.

## Література

1. ДСТУ 4287:2004. Якість ґрунту. Відбирання проб. [Чинний від 2005- 07-01]. Київ, Держспоживстандарт України, 2005. 10 с. (Нац. стандарт України).
2. Foissner W. Soil Protozoa: fundamental problems, ecological significance, adaptations in ciliates and testaceans, bioindicators, and guide to the literature. *Progr. Protistology*. 1987. Vol. 2. P. 69–212.
3. Foissner W. Soil Protozoa as bioindicators: pros and cons, methods, diversity, representative examples. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 1999. Vol. 74. P. 95–112.
4. Mitchell E.A.D., Charman D.J., Warner B.G. Testate amoebae analysis in ecological and paleoecological studies of wetlands: past, present and future. *Biodiversity and Conservation*. 2008. V. 17. P. 2115–2137.
5. Booth R.K. Ecology of testate amoebae (Protozoa) in two lake superior coastal wetlands: Implications for paleoecology and environmental monitoring. *Wetlands*. 2001. V. 21. P. 564–576.
6. Michell Edward A.D. Response of testate amoebae (Protozoa) to N and P fertilization in an Arctic wet sedge tundra. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*. 2004. V. 36, N 1. C. 78–83.
7. Корганова Г. А. Адаптивные морфологические структуры и эволюция почвенных раковинных амеб (Protista, Testacea). *Зоологический журнал*. Т. 82. Вып. 2. С. 197-214.