

Міністерство освіти і науки України
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
Міністерство освіти і науки України
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

ПОХИЛЕНКО АЛЕВТИНА ПАВЛІВНА

УДК 595.61:595.5

КОНСОРТИВНІ ЗВ'ЯЗКИ *ROSSIULUS KESSLERI* (DIPLOPODA, JULIDA)
В ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМАХ СТЕПОВОГО ПРИДНІПРОВ'Я

03.00.16 – екологія
Біологічні науки

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ А. П. Похиленко

Науковий керівник: Пахомов Олександр Євгенійович
доктор біологічних наук, професор

Дніпро – 2021

АНОТАЦІЯ

Похиленко А. П. Консортивні зв'язки *Rossiulus kessleri* (Diplopoda, Julida) в лісових екосистемах степового Придніпров'я. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата біологічних наук за спеціальністю 03.00.16 «Екологія». – Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, 2021.

У дисертації розглянуто особливості розповсюдження диплопод у лісових екосистемах степового Придніпров'я, оцінено особливості трофічних зв'язків та морфологічної мінливості масового виду *R. kessleri*. Установлено форичні здатності *R. kessleri* по відношенню до ґрунтових водоростей.

У роботі застосовано методи комплексних екологічних, геоботанічних, ґрунтово-зоологічних досліджень, методи лабораторного утримування диплопод, морфометричні методи досліджень, методи варіаційної статистики, однофакторного, багатфакторного дисперсійного аналізу, регресійного аналізу.

Дослідження герпетобіонтів природних лісових екосистем відбувалися на 27 пробних ділянках, що відображають умови степового Придніпров'я. Вибір пробних ділянок проводився за типологією О. Л. Бельгарда.

Уперше встановлено особливості розповсюдження *R. kessleri* в урбоекосистемах м. Дніпро (штучних паркових насадженнях, поблизу підприємств). Диплоподи не зареєстровані на ділянках, що знаходяться за дією промислових підприємств (коксохімічне підприємство, завод з виготовлення шинної продукції) та рекреаційних зонах міста (Севастопольський парк, парк імені Писаржевського), але поодинокі екземпляри відмічені поблизу Придніпровської ТЕС у межах житлового масиву у фітоценозі з домінуванням тополі білої *Populus alba* L. Це свідчить про чутливість *R. kessleri* до антропогенного пресу в умовах міста.

За умов моделювання хімічного навантаження (у лінійці концентрацій ZnSO₄ – 0,006; 0,03; 0,15 г на 1 л розчину) на представників двопарноногих багатоніжок встановлено, що в екскреціях *R. kessleri* спостерігається в 1,5 разу менший вміст цинку, ніж у тілі *R. kessleri*, а видова належність запропонованого листяного опаду статистично не впливає на акумуляцію цинку. У разі посилення хімічного навантаження вміст цинку в тілі *R. kessleri* та його екскреціях статистично достовірно збільшується. Таким чином, здатність *R. kessleri* до біонакопичення цинку може бути використана в зоодіагностиці, відображаючи топоконсортивну особливість диплоподи.

Запропоновано лінійну регресійну модель, що описує залежність споживання групою сапрофагів (*R. kessleri*, *Megaphyllum rossicum*, *Porcellio scaber*, *Dendrobaena octaedra*) п'ятикомпонентної суміші опадів (*Acer campestre* L., *Ulmus laevis* Pall., *Quercus robur* L., *Tilia cordata* Mill., *Fraxinus lanceolata* Borkh.). Порівняння коефіцієнтів регресії показує, що листяний опад клена гостролистого та в'яза гладкого споживається в більшій кількості (відповідні коефіцієнти регресії дорівнюють +2,40 і +1,77), ніж опади липи серцелистої, дуба звичайного та ясена звичайного. Зазначені преференції відображають трофоконсортивні особливості сапрофагів, зокрема *R. kessleri*, що може бути використане в зоодіагностиці та в ході конструювання штучних лісових екосистем. Встановлено, що при споживанні диплоподами листя верби (*S. alba* L.) у кишківнику спостерігається переважання кишкової палички (99,7 % від загальної кількості колоній), при цьому кількість грибів є мінімальною, а чисельність найпростіших – найвищою (0,14 % та 0,6 % від загальної чисельності клітин відповідно). Максимальна кількість колонієутворюючих одиниць Enterobacteriaceae sp. (37,0 %) виявлено в кишковій рідині диплопод, які споживали кленову підстилку (*A. platanoides*). У досліді з вивчення мікробного складу кишківника використовувалися диплоподи після живлення однокомпонентною стерильною підстилкою типових для Самарського лісу видів дерев: *Pinus sylvestris* L., *T. cordata* Mill., *S. alba* L., *Ulmus campestris* L., *A. platanoides* L., *F. lanceolata* Borkh., *Q. robur* L. При мікроскопічних

дослідженнях вмісту кишківників ківських, що харчувалися звичайною підстилкою, були виявлені чисельні представники черепашкових амеб: *Arcella arenaria* Decloitre, 1972, *A. multilibata* Golemansky, 1964; *Diffugia longum* Chardez, 1987, *D. lucida* Penard, 1890, *D. obonga* Ehrenberg, 1838, *D. serrata* Ogden et Zivkovik, 1983; *Nebela dentistoma* Wailes, 1913; *Trinema complanatum* Penard, 1890, *T. lineare* Penard, 1890; *Cyclopyxis arcelloides* Penard, 1902, бактерії та рештки грибного міцелію *Aspergillus*.

Проведено спільні зооальгологічні дослідження парків м. Дніпро, результати яких свідчать про сприяння *R. kessleri* в перерозподілі представників ґрунтової альгофлори та їх подальшому розселенню. У кишківнику *R. kessleri* знайдено 7 видів евритопних ґрунтових водоростей (*Stichococcus bacillaris*, *Mychonastes homosphaera*, *Chlorella vulgaris*, *Desmococcus olivaceus*, *Bracteacoccus minor*, *Klebsormidium flaccidum*, *Eustigmatos magnus*) з 14 визначених у змивах з листяного опаду, представлених здебільшого Ch життєвими формами. У такий спосіб ківськи слугують провайдерами підтримувальних екосистемних послуг та утримують форичні та трофічні консортивні зв'язки.

Вперше із залученням системи морфометричних ознак (загальні розміри тіла: довжина та ширина тіла, кількість сегментів, довжина тельсона, довжина коллума, довжина задньої кінцівки; розміри органів дотику: особливості головної капсули – довжина та ширина вусика; розміри елементів гнатохілярію – частини ротового апарату: довжина та ширина гнатохілярію, довжина та ширина язичкових пластин, довжина та ширина проментума) ценопопуляцій *R. kessleri* та *M. sjaelandicum* побудовані кореляційні плеяди, за якими було ідентифіковано рівень сільватизації досліджених лісових екосистем. Потужність плеяд морфометричних ознак диплопод з природних лісових екосистем вища, порівняно з диплоподами зі штучних лісових екосистем (0,64–0,93 та 0,07 відповідно). За результатами промірів особин із ясенєво-пакленової байрачної діброви Новомосковського лісництва (Новомосковський район) статевий диморфізм на вищому рівні значущості ($P < 0,001$) виявлено за

шириною тіла, довжиною вусика, довжиною гнатохілярію, довжиною язичкових пластин, довжиною коллума. Достовірні відмінності між самицями та самцями спостерігаються за розміром гнатохілярію – у самиць він на 8,8 % ширший та на 6,3 % довший. У особин із кленово-ясеневої заплавної діброви Кочерезького лісництва (Павлоградський район) достовірні відмінності спостерігаються за довжиною вусиків при практично однаковій ширині (у самців вусики на 7,6 % довші). За такими ознаками, як довжина тіла, довжина задньої кінцівки, ширина проментума – відмінностей за статтю не спостерігається. В умовах кленового насадження на водорозділі (Юріївський район) за обома основними лінійними промірами тіла відмічено статевий диморфізм (самиці на 23,8 % коротші самців і на 22,5 % товщі) на вищому рівні значущості ($P < 0,001$), в той час як для особин *R. kessleri* із ясенево-пакленової байрачної діброви й кленово-ясеневої заплавної діброви статевий диморфізм характерний тільки для параметра «ширина тіла» ($P < 0,001$).

Набули подальшого розвитку принципи функціональної зоології професорів В. Л. Булахова, О. Є. Пахомова, зокрема консортивні зв'язки в системі «грунтові безхребетні – альгоценоз».

Матеріали дисертації увійшли до складу освітніх програм й використовуються в навчальному процесі при викладенні спецкурсів ДНУ: «Екологічна токсикологія», «Техноекологія». Дані, які отримані в результаті виконання дисертаційної роботи, використано при підготовці проєктів створення 7 об'єктів природно-заповідного фонду (заказники державного та місцевого значення «Сухий Бичок», «Крутоярівський», «Долина р. Бик», «Балка Сухарева», «Балка Лозова», «Іванівський», «Балка Горіхова») Дніпропетровської області.

Ключові слова: диплоподи, *Rossiulus kessleri*, консортивний зв'язок, морфологічна мінливість, лісові екосистеми, ґрунтові водорості.

SUMMARY

Pokhlylenko A. P Consortium connections of *Rossiulus kessleri* (Diplopoda, Julida) in forest ecosystems of the steppe Prydniprovie region. – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Dissertation for the candidate degree of biological sciences, specialty 03.00.16 “Ecology”. – Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, 2021.

The dissertation considers the features of *R. kessleri*'s distribution, trophic preferences and morphometric variability in different forest ecosystems of the steppe Prydniprovie region. The phoric abilities of *R. kessleri* in relation to soil algae were established.

The methods of complex ecological, geobotanical, soil-zoological researches, methods of physical and chemical analysis of soil, methods of laboratory keeping of invertebrates, morphometric methods, methods of variation statistics, regression analysis, analysis of variance and multivariate analysis of variance were applied.

The research of the given features of *R. kessleri* was carried in 27 test plots, which reflect the conditions of various types of forest ecosystems of Prydniprovie region. The selection of test plots was based on the typology of O. L. Belgard.

For the first time, the features of *R. kessleri* distribution in urban ecosystems of Dnipro city (park artificial stalks; stands which are near enterprises) were established. Diplopods were not registered in the test plots of industrial enterprises (byproduct coke-making, tire enterprise) and recreational areas of the city (Sevastopolskii Park, Piszhevskyi Park), but single specimens were observed within *Populus alba* L. phytocenosis, near Prydniprovskya heating plant within the residential area. This indicates the sensitivity of *R. kessleri* to the anthropogenic press in urban areas.

Under conditions of modeling experiment (in the line of concentrations of chemical load ZnSO₄ – 0.006, 0.03, 0.15 mg per 1 liter of solution) it was found that in *R. kessleri* excretions was 1.5 times less zinc than in its body. It was also found that the species affiliation of the proposed leaf litter does not statistically affect the accumulation of zinc. In the case of increased chemical load, the content of zinc in the body of *R. kessleri* and

its excretions increases statistically significantly. Thus, the ability of *R. kessleri* to bioaccumulate zinc can be used in zoodiagnostics, reflecting the topoconsortative feature of diplopods. It was suggested a linear regression model describing the dependence of consumption a five-component leaf litter mixture (*Acer campestre* L., *Ulmus laevis* Pall., *Tilia cordata* Mill., *Fraxinus lanceolata* Borkh.) by a group of saprophages (*R. kessleri*, *Megaphyllum rossicum*, *Porcellio scaber*, *Dendrobaena octaedra*). Comparison of the regression coefficients showed that the litter of maple and elm is consumed in greater quantities (the corresponding regression coefficients are +2,40 and +1,77) than the consumption of linden, oak, and ash. These preferences reflect the trophoconsort features of saprophages, in particular *R. kessleri*, which can be used in zoodiagnostics and in the design of artificial forest ecosystems. It was shown that after consuming willow leaves the predominance of *Escherichia coli* (99,7% of the total number of colonies), the minimal number of fungi, and the highest number of protozoa – (0,14 % and 0,6 % of the total number of cells, respectively) in the intestine of *R. kessleri* is observed. The maximum number of colony-forming units of Enterobacteriaceae sp. (37,0%). found in the intestinal fluid diplopods that consumed maple litter (*A. platanoides*). In the experiment with the intestine microbial composition, the diplopods after feeding on one-component sterile leaf litter (*Pinus sylvestris* L., *T. cordata* Mill., *S. alba* L., *Ulmus campestris* L., *A. platanoides* L., *F. lanceolata* Borkh., *Q. robur* L.) were used. Numerous representatives of shell amoebae were found as contents of intestines of the *R. kessleri* feeding on the given litter: *Arcella arenaria*, *A. multilibata*, *Diffflugia longum*, *D. lucida*, *D. obonga*, *D. serrata*, *Nebela dentistoma*, *Trinema complanatum*, *T. lineare*, *Cyclopyxis arcelloides*, bacteria and remnants of the fungal mycelium *Aspergillus*. Zooalgalogical analysis of Dnipro parks showed that *R. kessleri* promotes the redistribution of soil algae flora and its further resettlement. In the intestine of *R. kessleri* were found 7 species of eurytopic soil algae (*Stichococcus bacillaris*, *Mychonastes homosphaera*, *Chlorella vulgaris*, *Desmococcus olivaceus*, *Bracteacoccus minor*, *Klebsormidium flaccidum*, *Eustigmatos magnus*) among 14 species from leaf litter. In this way, *R. kessleri* serves as a provider of supportive ecosystem services and support foric and trophic consortium connections.

For the first time with the involvement of a morphometric features system (linear characteristics: length and width of the body, number of segments, length of the telson, length of the collum, length of the limb; tactile organs: features of the head capsule – length and width of antennae, characteristics of gnathochilarium elements: length and width of gnathochilarium, length and the width of the promentum) of coenopopulations of *R. kessleri* and *M. sjaelandicum*, correlation pleiades are constructed. Thus, it is possible to identify the level of silvatization of the studied forest ecosystems. The parameter power of pleiades determined from natural forest ecosystems is higher compared to such one from artificial forest ecosystems (0,64–0,93 and 0,07, respectively). According to the results of measurements of individuals from the ash-maple oak-grove from Novomoskovskiy forestry sexual dimorphism is observed by body width, length of antennae, length of gnathochilarium, length of lingular plates. Sexual dimorphism is observed in the size of gnathochilarium – in females, it is 8,8 % wider and 6,3% longer. In individuals from the maple-ash flood plain of Kocherezskiy forestry, significant differences are observed in the length of antennas at almost the same width (males antennas are 7,6 % longer). No differences by sex are observed on such characteristics as body length, limb length, promentum width. In the maple stand sexual dimorphism (females are 23,8 % shorter than males and 22,5 % wider) at the highest level of significance ($P < 0,001$) is observed in both length and width of the body, while for individuals of *R. kessleri* from an ash-maple oak-grove and a maple-ash flood plain, sexual dimorphism is observed for body width ($P < 0,001$) only. The principles of functional zoology formulated by Professors V. L. Bulakhov, O. E. Pakhomov, in particular consortium relations in the system “soil invertebrates – algocenosis”, were taken further.

The materials of the dissertation were introduced into the educational process of Oles Honchar Dnipro National University during the teaching of subjects: “Ecological toxicology”, “Technoecology”. The results of dissertation were used to create new 7 objects of nature reserves of Dnipropetrovsk region.

Key words: diplopoda, *Rossiulus kessleri*, consortium connection, morphological variability, forest ecosystems, soil algae.

**Список публікацій здобувача, в яких опубліковані
основні наукові результати дисертації**

У виданнях, включених до міжнародних наукометричних баз даних

1. Kulbachko, Y., Didur, O., Khromykh, N., **Pokhylenko, A.**, Lykholat, T., Levchenko, B. (2019). Morpho-ecological structure of oribatid mite (Acariformes, Oribatida) communities in the forest litter of recultivated areas. *Biosystems Diversity*, 27(4), 334–341. doi:10.15421/011944 (**Web of Science, Scopus**; *особистий внесок: опрацювання літератури, збирання та часткова обробка фактичного матеріалу, написання статті*).
2. **Pokhylenko, A.**, Lykholat, O., Didur, O., Kulbachko, Y., Lykholat, T. (2019). Morphological variability of *Rossiulus kessleri* (Diplopoda, Julida) from different biotopes within steppe zone of Ukraine. *Ukrainian Journal of Ecology*, 9(1), 176–182. doi:10.15421/2019_24 (**Web of Science**; *особистий внесок: опрацювання літератури, збирання та часткова обробка фактичного матеріалу, написання статті*).
3. Didur, O., Kulbachko, Y., Ovchynnykova, Y., **Pokhylenko, A.**, Lykholat, T. (2019). Zoogenic mechanisms of ecological rehabilitation of urban soils of the park zone of megapolis: Earthworms and Soil Buffer Capacity. *Environmental Research, Engineering and Management*, 75. 10.5755/j01.arem.75.1.21121 (**Scopus**; *особистий внесок: опрацювання літератури, написання статті*).
4. **Pokhylenko, A. P.**, Didur, O. O., Kulbachko, Y. L., Bandura, L. P., Chernykh, S. A. (2020). Influence of saprophages (Isopoda, Diplopoda) on leaf litter decomposition under different levels of humidification and chemical loading. *Biosystems Diversity*, 28(4), 384–389. doi:10.15421/012049 (**Web of Science, Scopus**; *особистий внесок: опрацювання літератури, збирання та часткова обробка фактичного матеріалу, написання статті*).

Публікації у наукових фахових виданнях України

5. Похиленко, А. П., Дідур, О. А. (2018). Дослідження залежностей морфологічних ознак у представників сапрофагів (на прикладі *Rossiulus kessleri* (Lohmander, 1927)). *Ecology and Noospherology*, 29(2), 43–46. doi:10.15421/031820 (особистий внесок: опрацювання літератури, збирання та часткова обробка фактичного матеріалу, написання статті).
6. Похиленко, А. П., Дідур, О. А., Кульбачко, Ю. Л., Федоров, П. Р. (2019). Аккумуляція цинка представителями сапрофагов (Diplopoda, Julidae, *Rossiulus kessleri*) в умовах хімічної навантаження. *Екологічні науки*, 2(25), 177–181. doi:10.32846/2306-9716-2019-2-25-29 (особистий внесок: опрацювання літератури, збирання та часткова обробка фактичного матеріалу, написання статті).
7. Похиленко, А. П. (2014). Оцінка морфологічної мінливості популяцій *Rossiulus kessleri* (Diplopoda, Julida). *Вісник Дніпропетровського університету. Біологія, екологія*. Visn. Dnipropetr. Univ. Ser. Biol. Ecol., 22(1), 88–95. (особистий внесок: опрацювання літератури, збирання та часткова обробка фактичного матеріалу, написання статті).
8. Похиленко, А. П. (2012). Оцінка морфологічної мінливості популяцій *Megaphyllum sjaelandicum* (Diplopoda, Julida). *Екологія та ноосферологія*, 20(3-4), 49–56 (особистий внесок: опрацювання літератури, збирання та часткова обробка фактичного матеріалу, написання статті).
9. Корольов, О. В., Похиленко, А. П. (2009). Трофічні зв'язки *Pterostichus melanarius* (Coleoptera: Carabidae) із домінуючими видами Diplopoda та Isopoda Самарського лісу. *Питання степового лісознавства та лісової рекультивациі земель*, 38, 124–129. (особистий внесок: опрацювання літератури, збирання та часткова обробка фактичного матеріалу, написання статті).
10. Похиленко А. П., Корольов О. В., Шульман М. В. (2009). Особливості формування угруповань нагрунтових безхребетних урбанізованих територій на прикладі м. Дніпропетровськ. *Питання біоіндикації та екології*, 14(1), 121–134.

(особистий внесок: опрацювання літератури, збирання та часткова обробка фактичного матеріалу, написання статті).

11. Похиленко, А. П., Редько, В. В. (2008). Склад мікрофлори кишкової порожнини ківсяка *Rossiulus kessleri* (Diplopoda) в залежності від виду спожитого опаду. *Науковий вісник Чернівецького університету*, 373, 141–149. (особистий внесок: опрацювання літератури, збирання та часткова обробка фактичного матеріалу, написання статті).

12. Похиленко, А. П. (2007). Аналіз впливу чисельності підстилкових сапрофагів на процеси розкладення підстилки. *Питання біоіндикації та екології*, 12(2), 101–107. (особистий внесок: опрацювання літератури, збирання та часткова обробка фактичного матеріалу, написання статті).

13. Пахомов, О. Є., Похиленко, А. П., Фали, Л. І., Гірна, А. Я. (2008). Різноманіття угруповань наґрунтових безхребетних лісових екосистем Присамар'я Дніпровського. *Науковий вісник Ужгородського університету*, 24, 40–47. (особистий внесок: опрацювання літератури, збирання та часткова обробка фактичного матеріалу, написання статті).

14. Похиленко, А. П., Дідур, О. О., Кульбачко, Ю. Л., Овчинникова Ю. Ю. (2019). Трофічна вибірковість підстилкових сапрофагів (Diplopoda, Isopoda) у природних лісах в умовах степу. *Екологія та ноосферологія*, 30(1), 24–28. doi:10.15421/031904 (особистий внесок: опрацювання літератури, збирання та часткова обробка фактичного матеріалу, написання статті).

Публікації в інших наукових виданнях

15. Кульбачко, Ю. Л., Дідур, О. О., Похиленко, А. П. (2019). *Екологічні аспекти зоопертинентної функції ґрунтових сапрофагів: монографія*. Д.: РВВ ДНУ.

16. Kulbachko, Y., Didur, O., Pokhylenko, A., Lykholat, T. (2019). *Zoopertinent function of soil saprophages in current environment management: monogr.* «East West» Association for Advanced Studies and Higher Education GmbH.

Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

17. **Похиленко, А. П.** (2004). Двопарноногі багатоніжки (Diploroda) лісових екосистем Присамар'я Дніпровського. *Екологія.Людина.Суспільство*: VII Міжнародна науково-практична конференція. (С. 56). Київ: НТУУ “КПІ”.
18. **Похиленко, А. П.** (2005). Характеристика підстилкових сапрофагів у заплавах біогеоценозах Присамар'я Дніпровського. *Наука і освіта 2005*: Матеріали VIII міжнародної науково-практичної конференції. (С. 49–50). Дніпропетровськ: Наука і освіта.
19. **Похиленко, А. П.** (2005). Залежність розподілу сапрофагів від хімічних характеристик ґрунту. *Типологія лісів степової зони, їх біорізноманіття та охорона*: Тези доповідей міжнародної конференції. (С. 165–167). Дніпропетровськ: ДНУ.
20. **Похиленко, А. П.** (2005). Роль Diploroda в розкладанні лесного опада в умовах долинно-терасового ландшафту Присамар'я Дніпровського. *Біорізноманіття та роль зооценозу в природних та антропогенних екосистемах*: III Міжнародна конференція. (С. 208). Дніпропетровськ: Адверта.
21. **Похиленко, А. П.** (2005). Підстилкові сапрофаги лісових екосистем придолинно-терасового ландшафту в умовах Присамар'я Дніпровського. *Загальна і прикладна ентомологія в Україні*: Тези доповідей наукової ентомологічної конференції. (С. 171–172). Львів.
22. Brygadyrenko, V., **Pokhylenko, A.** (2007). Features of leaf-litter decomposition in conditions of steppe Prydneprov'ye Region. *Biodiversity. Ecology. Adaptation. Evolution*. Proceedings of the III international young scientists' conference. (P. 106). Odesa: Pechatnyi Dom.
23. **Похиленко, А. П.** (2007). Изменение кишечной микрофлоры *Rossiulus kessleri* (Diploroda) после питания на мхе *Polytrichium* sp. *Современное состояние растительного и животного мира стран евروهгиона “Днепр” их охрана и рациональное использование*: Международная научно-практическая конференция. (С. 235–239). Гомель: [б. и.].

24. Королёв А. В., Шульман М. В., **Похиленко А. П.** (2008). Особенности пищевых предпочтений *Pterostichus melanarius* (Illiger, 1798) в лабораторных условиях. *Принципы и способы сохранения биоразнообразия: Материалы III Всероссийской научной конференции.* (С. 161–162). Йошкар-Ола, Пущино.
25. **Pokhylenko, A. P.**, Korolev, A. V. (2013). Importance of Julida (Diplopoda) trophical and biotopical characteristics for anthropogenic impact estimation of millipede habitat in forest ecosystems of Samarskyi Forest. *Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Science.* (8, P. 18–21). Budapest.
26. **Похиленко, А. П.**, Королёв, А. В. (2013). Морфологическая изменчивость популяций в условиях естественных лесных экосистем Приднепровья. *Найновите постижения на европейската наука – 2013: Материали за IX Международна научна практична конференция.* (15, С. 73–77). София: БЯЛ ГРАД-БГ.
27. Королёв, А. В., **Похиленко, А. П.** (2013). Оценка влияния *Pterostichus melanarius* (Coleoptera, Carabidae) на численность популяций многоножек семейства Julidae. *Матеріали VIII з'їзду Українського ентомологічного товариства.* (С. 75–76). Київ: НУБІП.
28. Дідур, О. О., Кульбачко, Ю. Л., **Похиленко, А. П.**, Левченко, Б. В. (2018). Зоогенні тенденції буферної здатності ґрунтів паркової зони мегаполісу. *Значення та перспективи стаціонарних досліджень для вивчення і збереження біорізноманіття: Матеріали Міжнародної наукової конференції.* (С. 44–46). Львів: Простір-"М"
29. Kulbachko, Y., Didur, O., Ovchynnykova, Y., **Pokhylenko, A.** (2018). Zoogenic tendencies of buffer capacity of urban soils in boundaries of the park zone of industrial megapolis (city Dnipro, Ukraine). *Smart Bio: 2nd International Conference. Abstract Book.* (P. 376). Kaunas, Lithuania.
30. **Похиленко, А. П.**, Дідур, О. О., Кульбачко, Ю. Л., Левченко, Б. В. (2019). Морфологічна інтегрованість *Rossiulus kessleri* (Diplopoda, Julidae) із різних лісових біотопів в умовах семиаридного клімату степової зони України.

Геоботанічні, ґрунтові та екологічні дослідження лісових біогеоценозів степової зони: історія, сучасність, перспективи: Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. (С. 56–58). Дніпро: Ліра.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	17
Перелік посилань.....	23
РОЗДІЛ 1. РОЛЬ <i>R.KESSLERI</i> В КОНСОРЦІЯХ МЕЗОФАУНИ.....	26
1.1. Мезофауна степової зони.....	26
1.2. Стан вивченості двопарноногих багатоніжок (<i>Diplopoda</i>).....	34
1.3. Стан вивченості двопарноногих багатоніжок досліджуваного регіону.....	41
1.4. Консорції та консортивні зв'язки безхребетних.....	44
Перелік посилань.....	47
РОЗДІЛ 2. ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНУ ДОСЛІДЖЕНЬ	66
2.1. Клімат.....	66
2.2. Геоморфологічні та гідрологічні особливості.....	67
2.3. Ґрунти та рослинність.....	69
2.4. Тваринний світ.....	70
Перелік посилань.....	71
РОЗДІЛ 3. ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ	74
3.1. Польові методи дослідження безхребетних	74
3.2. Лабораторні методи дослідження	83
3.3 Методи статистичного аналізу даних	87
Перелік посилань.....	88
РОЗДІЛ 4. СТРУКТУРА УГРУПОВАНЬ <i>DIPLOPODA</i> У ПРИРОДНИХ ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМАХ ТА ДЕРЕВНИХ НАСАДЖЕННЯХ	92
4.1. Угрупування та топічні консортивні зв'язки диплопод у природних лісових екосистемах	92
4.2. Угрупування та топічні консортивні зв'язки диплопод в урбоекосистемах	102
4.3. Морфологічна мінливість особин диплопод (<i>Diplopoda, Julida</i>) в умовах лісових екосистем і урбоекосистем	113

Перелік посилань.....	137
РОЗДІЛ 5. ДЕСТРУКЦІЯ ЛІСОВОЇ ПІДСТИЛКИ <i>R. KESSLERI</i>	148
5.1. Швидкість деструкції лісової підстилки в байрачній лісовій екосистемі..	148
5.2. Швидкість деструкції лісової підстилки залежно від чисельності диплопод	154
5.3. Накопичення цинку в диплоподі <i>R. kessleri</i>	156
5.4. Трофічні пріоритети <i>R. kessleri</i> при споживанні листяного опаду	162
Перелік посилань.....	176
РОЗДІЛ 6. БІОТИЧНІ ЗВ'ЯЗКИ <i>R. KESSLERI</i>	179
6.1. Біоценоз кишківника особин <i>R. kessleri</i> з природних лісових екосистем	176
6.2. Участь особин <i>R. kessleri</i> у формуванні альгоценозу в лісових екосистемах міста.....	179
Перелік посилань.....	189
ВИСНОВКИ.....	190
ДОДАТКИ.....	193

ВСТУП

У біогеоценозах всі компоненти тісно пов'язані між собою – рослинний, тваринний компоненти, світ мікроорганізмів, ґрунт. Безхребетні ліса беруть безпосередню участь у трансформації органічної речовини рослин, перемішують її з мінеральною частиною ґрунту. Подальші дослідження про взаємодію між організмами та їх середовищем існування привели до вчення про консорції (Беклемишев, 1951). *Rossiulus kessleri* (Lohmander, 1927) (Diplopoda, Julida) – ґрунтовий сапрофаг, типовий представник функціональної групи середовищеперетворювальників (екосистемних інженерів). Активність ґрунтових безхребетних визначає швидкість руйнування опаду та кругообігу речовин у лісі. Характер накопичення гумусових речовин корелює з діяльністю сапрофагів: у лісах помірного клімату – це дощові черви, диплоподи, ізоподи та личинки двокрилих. Мешканцям ґрунту присвячені фундаментальні праці М. С. Гілярова (1970), Б. Р. Стриганової (1980), Д. А. Криволицького (1994). Один із головних напрямків ґрунтової зоології – вивчення як природних комплексів ґрунтових безхребетних, так і зв'язків між ними (Bonkowski et al., 1998; Brygadyrenko, 2015; Zhukov et al., 2016; Vlasenko et al., 2020). Подальший успішний розвиток ґрунтової зоології пов'язаний зі станом вивченості ґрунтово-підстилкової фауни та її консортивної структури. Дослідження ґрунтових безхребетних, їх консортивних зв'язків у природних місцеперебуваннях – суттєвий етап у побудові схеми процесів, які йдуть в еталонних комплексах, не порушених людиною (Buckland et al., 2004; Zhukov et al., 2018; Kunakh et al., 2020) та основа для розробки ефективних методів збереження та відтворення біотичного різноманіття на індивідуальному, популяційному та екосистемному рівнях (Й. Царик, І. Царик, 2005). У більшості країн Європи наукова концепція оптимізувального впливу тварин є ланкою національної політики (Німеччина, Франція, Велика Британія тощо).

Актуальність теми. Від активності такого функціонального компоненту біоценозу, як сапрофаги, залежить не тільки характер руйнування підстилки, але й її структура. Поняття процесів деструкції листяної підстилки неповне без з'ясування трофоконсортивних зв'язків, топічних особливостей елементів

герпетобію (Zhou et al., 2020). Відомості відносно участі таких екосистемних інженерів, як Diploroda, у формуванні та підтриманні властивостей різних ґрунтів (урбаноземів, природних) майже відсутні, а сучасні наукові джерела (Lavelle et al., 2016; Jaffuel et al., 2018) дають змогу розширити підхід дослідження ґрунту через зоогенну (топоконсортивну) функцію, котру можна вивчати в системі «зовнішній вплив – рослини, тварини – ґрунт». З'ясування екосистемної ефективності вкладу двопарноногих багатоніжок у таких регуляційних екосистемних сервісах, як підтримання регіонального та місцевого клімату, участь у підтриманні стійкості ґрунту, відтворення біоресурсів дає можливість детального вивчення біології видів та системного підходу до вивчення біогеоценозів. Тому дослідження консортивних зв'язків для розробки ефективних заходів охорони природи є актуальним.

Зв'язок роботи з науковими програмами, темами, планами. Робота виконана згідно з науковими програмами «Функціональна роль тварин в утворенні механізмів гомеостазу в екосистемах промислових регіонів» (№ 0103U000555, замовник – МОН України, 2006–2008 рр.), «Екологічні основи зоопертинентного впливу тварин на процеси оптимізації природних і порушених екосистем в умовах сучасного природокористування» (№ 0117U001207, замовник – МОН України, 2017–2019 рр.), «Біоіндикація як основа оптимізації та охорони долинно-терасових ландшафтів степової зони України за умов антропогенно-кліматичних змін» (№ 0118U003303, замовник – МОН України, 2018–2020 рр.).

Мета та завдання дослідження.

Мета роботи – охарактеризувати консортивні зв'язки (топічні, форичні, трофічні) *R. kessleri* в лісових екосистемах степового Придніпров'я.

Виходячи з поставленої мети визначені *завдання роботи*:

- установити особливості розповсюдження диплопод у природних і штучних лісових екосистемах;

- навести екологічні характеристики двопарноногих багатоніжок в урбанізованих територіях;
- виявити особливості трофічної спеціалізації *R. kessleri* в умовах степового Придніпров'я;
- дослідити особливості накопичення цинку *R. kessleri* за умов хімічного навантаження;
- визначити склад бактерій, грибів та протистів кишківника у особин *R. kessleri* за умов споживання опаду різних видів деревних рослин;
- показати участь *R. kessleri* у розповсюдженні ґрунтових водоростей.

Об'єкт дослідження – ценопопуляції *R. kessleri* як елемент консорцій деревних порід степового Придніпров'я.

Предмет дослідження – трофічні, топічні, форичні зв'язки *R. kessleri* в лісових екосистемах і насадженнях степового Придніпров'я.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в такому:

- уперше встановлено особливості розповсюдження *R. kessleri* в урбоекосистемах м. Дніпро (штучних паркових насадженнях, поблизу підприємств). Диплоподи не зареєстровані на ділянках, що знаходяться за дією промислових підприємств (коксохімічне підприємство, завод з виготовлення шинної продукції) та в рекреаційних зонах міста (Севастопольський парк, парк імені Пісаржевського), але поодинокі екземпляри відмічені поблизу Придніпровської ТЕС у межах житлового масиву у фітоценозі з домінуванням тополі білої *Populus alba* L. Це свідчить про чутливість *R. kessleri* до антропогенного пресу в умовах міста;
- за умов моделювання хімічного навантаження (у лінійці концентрацій $ZnSO_4$ – 0.006, 0.03, 0.15 на 1 л розчину) на представників двопарноногих багатоніжок встановлено, що в екскреціях *R. kessleri* спостерігається в 1,5 разу менший вміст цинку, ніж у тілі *R. kessleri*, а видова належність запропонованого листяного опаду статистично не впливає на акумуляцію цинку. У разі посилення хімічного навантаження вміст цинку в тілі

R. kessleri та його екскреціях статистично достовірно збільшується. Таким чином, здатність *R. kessleri* до накопичення цинку може бути використана в зоодіагностиці, відображаючи топоконсортивну особливість диплоподи;

- запропоновано лінійну регресійну модель, що описує залежність споживання групою сапрофагів (*R. kessleri*, *Megaphyllum rossicum*, *Porcellio scaber*, *Dendrobaena octaedra*) п'ятикомпонентної суміші опадів (*Acer campestre* L., *Ulmus laevis* Pall., *Quercus robur* L., *Tilia cordata* Mill., *Fraxinus lanceolata* Borkh. Порівняння коефіцієнтів регресії показує, що листяний опад клена гостролистого та в'яза гладкого споживається в більшій кількості (відповідні коефіцієнти регресії дорівнюють +2,40 і +1,77), ніж опади липи серцелистої, дуба звичайного та ясена звичайного. Зазначені преференції відображають трофоконсортивні особливості сапрофагів, зокрема *R. kessleri*, і що може бути використано в зоодіагностиці;

- встановлено, що при споживанні диплоподами листя верби (*S. alba* L.) у кишківнику спостерігається переважання кишкової палички (99,7 % від загальної кількості колоній), при цьому кількість грибів є мінімальною, а чисельність найпростіших – найвищою (0,14 % та 0,6 % від загальної чисельності клітин відповідно). Максимальну кількість колонієутворюючих одиниць *Enterobacteriaceae* sp. (37,0 %) виявлено в кишковій рідині диплопод, які споживали кленову підстилку (*A. platanoides* L.);

- проведено спільні зооальгологічні дослідження парків м. Дніпро, результати яких свідчать про сприяння *R. kessleri* в перерозподілі представників ґрунтової альгофлори та їх подальшому розселенню. У кишківнику *R. kessleri* знайдено 7 видів евритопних ґрунтових водоростей (*Stichococcus bacillaris*, *Mychonastes homosphaera*, *Chlorella vulgaris*, *Desmococcus olivaceus*, *Bracteacoccus minor*, *Klebsormidium flaccidum*, *Eustigmatos magnus*) з 14 визначених у змивах з листяного опадів, представлених здебільшого Ch життєвими формами.

- вперше із залученням системи морфометричних ознак (загальні розміри тіла: довжина (L) та ширина (l) тіла, кількість сегментів (S), довжина

тельсона (Т), довжина коллума (С), довжина задньої кінцівки (F); розміри органів дотику: особливості головної капсули – довжина (А) та ширина вусика (а); розміри елементів гнатохілярію – частини ротового апарату: довжина (G) та ширина (g) гнатохілярію, довжина (E) та ширина (e) язичкових пластин, довжина (U) та ширина (u) проментума) ценопопуляцій *R. kessleri* та *M. sjaelandicum* (Mein.) побудовані кореляційні плеяди, за якими було ідентифіковано рівень сільватизації досліджених лісових екосистем. Потужність плеяд морфометричних ознак диплопод з природних лісових екосистем вища, порівняно з диплоподами зі штучних лісових екосистем (0,64–0,93 та 0,07 відповідно).

Набули подальшого розвитку принципи функціональної зоології професорів В. Л. Булахова, О. Є. Пахомова, зокрема консортивні зв'язки в системі «грунтові безхребетні – альгоценоз».

Практичне значення отриманих результатів. Матеріали дисертації увійшли до складу освітніх програм й використовуються в навчальному процесі при викладанні спецкурсів у ДНУ імені Олеся Гончара: «Екологічна токсикологія», «Техноекологія». Дані, які отримані в результаті виконання дисертаційної роботи використано при підготовці проєктів створення 7 об'єктів природно-заповідного фонду (заказники державного та місцевого значення «Сухий Бичок», «Крутоярівський», «Долина р. Бик», «Балка Сухарева», «Балка Лозова», «Іванівський», «Балка Горіхова») Дніпропетровської області. Отримані дані дозволяють оцінити екологічну роль сапрофагів у природі та в урбоекосистемах та є основою для біомоніторингу.

Особиста участь автора в отриманих результатах, які представлені в дисертації. Дисертація є особистою науковою працею, яку виконано автором протягом 2005–2020 рр. у складі Комплексної експедиції з вивчення лісів степової зони України (Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара). Автор особисто збирала польовий матеріал, проводила його камеральну обробку, виконувала лабораторні дослідження, здійснювала

статистичне опрацювання даних, готувала наукові публікації, узагальнювала одержані результати та пропонувала висновки.

Особистий внесок у написання кожної наукової роботи зазначений у «Переліку основних наукових публікацій за темою дисертації».

Апробація результатів дисертації. Матеріали дисертації пройшли апробацію на 14 міжнародних наукових конференціях, а саме: VII міжнародній науково-практичній конференції «Екологія. Людина. Суспільство» (Київ, 2004), наукова ентомологічна конференція «Загальна і прикладна ентомологія в Україні» (Львів, 2005), III міжнародній конференції «Біорізноманіття та роль зооценозу в природних та антропогенних екосистемах» (Дніпропетровськ, 2005), VIII міжнародній науково-практичній конференції «Наука і освіта» (Дніпропетровськ, 2005), міжнародній науково-практичній конференції «Современное состояние растительного и животного мира стран еврорегиона “Днепр” их охрана и рациональное использование» (Гомель, 2007), VII міжнародній конференції «Биоразнообразие и роль животных в экосистемах» (Дніпропетровськ, 2007), III Всероссийской научной конференции «Принципы и способы сохранения биоразнообразия» (Йошкар-Ола, Пушино. – 2008), а IX Международна научна практична конференция (Софія, 2013), Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Science (Budapest, 2013), VIII з'їзді Українського ентомологічного товариства (Київ, 2013), Міжнародній науковій конференції, присвяченій 60-річчю функціонування високогірного біологічного стаціонару «Пожижевська» імені Костянтина Малиновського (Львів, 2018), Міжнародній науково-практичній конференції, присвяченій 90-річчю з дня народження чл.-кор. НАН України, доктора біологічних наук, професора А. П. Травлеєва (Дніпро, 2019).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 30 наукових робіт, з яких: дві монографії, одна іноземною мовою (англійська) видана в зарубіжному видавництві, чотири статті у журналах, що належать до наукометричної бази даних Scopus та Web of Science, десять статей у фахових виданнях України та 14 тез доповідей у збірниках матеріалів наукових конференцій.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, 6 розділів, висновків, списку використаної літератури (340 джерел, з яких 119 іноземною мовою). Повний обсяг дисертації складає 202 сторінки, з них основного тексту – 131 сторінка. Робота містить 19 таблиць, 36 рисунків та додатки.

Перелік посилань:

Беклемишев, В. Н. (1951). О классификации биоценологических (симфизиологических) связей. *Бюлл. Моск. общ. испыт. природы, отд. биол.*, LVI(5), С. 3–30.

Гиляров, М. С. (1970). Беспозвоночные – разрушители подстилки и пути повышения их полезной деятельности. *Экология*, 2, С. 8–21.

Криволицкий, Д. А. (1994). *Почвенная фауна в экологическом контроле*. М.: Наука.

Стриганова, Б. Р. (1980). *Питание почвенных сапрофагов*. М.: Наука.

Царик, Й., Царик, І. (2005). Різноманіття консортів і функціонування екосистем. *Біорізноманіття та роль зооценозу в природних і антропогенних екосистемах*: Матеріали III Міжнародної наукової конференції. (С. 168–170). Д.: Вид-во ДНУ.

Bonkowski, M., Scheu, S., Schaefer, M. (1998). Interactions of earthworms (*Octolasion lacteum*), millipedes (*Glomeris marginata*) and plants (*Hordelymus europaeus*) in a beechwood on a basalt hill: implications for litter decomposition and soil formation. *Applied soil ecology*, 9, 161–166. doi:10.1016/S0929-1393(98)00070-5

Brygadyrenko, V. V. (2015). Community structure of litter invertebrates of forest belt ecosystems in the Ukrainian steppe zone. *International Journal of Environmental Research*, 9(4), 1183-1192.

Buckland, S. T., Newman, K. B., Thomas, L., Koesters, N. B. (2004). State-space models for the dynamics of wild animal populations. *Ecological modeling*, 171, 157–175. doi:10.1016/j.ecolmodel.2003.08.002

Jaffuel, G., Blanco-Perez, R., Hug, A. S., Chiriboga, X., Meuli, R. G., Mascher, F., Turlings, T. C. J., Campos-Herrera R. (2018). The evaluation of entomopathogenic nematode soil food web assemblages across Switzerland reveals major differences among agricultural, grassland and forest ecosystems. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 262, 48–57. doi:10.1016/j.agee.2018.04.008

Kunakh, O., Yorkina, N., Zhukova, Y., Malasay, A. (2020). Environmental impact assessment: possible application of the ecomorphic approach. *Agrology*, 3(3), 133–144. doi:10.32819/020016

Vlasenko, R., Khomiak, I., Harbar, O., Demchuk, N. (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. doi:10.3897/travaux.63.e51640

Zhou, S., Butenschoen, O., Barantal, S., Handa, I. T., Makkonen, M., Vos, V., Aerts, R., Berg, M. P., McKie, B., Van Ruijven, J., Hättenschwiler, S., Scheu, S. (2020). Decomposition of leaf litter mixtures across biomes: The role of litter identity, diversity and soil fauna. *Journal of Ecology*, 108, 2283–2297. doi:10.1111/1365-2745.13452

Zhukov, A. V., Kunah, O. N., Novikova, V. A., Ganzha, D. S. (2016). Phytoindication estimation of soil mesopedobionts communities catena and their ecomorphic organization. *Ukrainian Journal of Ecology*, 6(3), 91–117. doi:10.15421/201676

Zhukov, O., Kunah, O. M., Dubinina, Y., Novikova, V. (2018). The role of edaphic and vegetation factors in structuring beta diversity of the soil macrofauna community of the Dnipro river arena terrage. *Ekologia (Bratislava)*, 37 (3 (48)), 301–327.

Lavelle, P., Spain, A., Blouin, M., Brown, G., Decaëns, T., Grimaldi, M., Jiménez, J. J., McKey, D., Mathieu, J., Velasquez, E., Zangerlé, A. (2016). Ecosystem Engineers in a self-organized soil: A review of concepts and future research questions. *Soil Science*, 181(3/4), 91–109. doi:10.1097/SS.000000000000155

РОЗДІЛ 1

РОЛЬ *R.KESSLERI* В КОНСОРЦІЯХ МЕЗОФАУНИ

1.1. Мезофауна степової зони

Вивчення взаємозв'язків різних блоків екосистем та їх роль у формуванні біогеоценотичних процесів – складова частина в пізнанні організації структурно-функціональних особливостей екосистем. Насамперед це стосується тих компонентів і блоків екосистем, які знаходяться в основі їх організації, це пускові механізми кругообігу речовин та потоку енергії. Саме до таких компонентів належать опадно-підстилковий блок і ґрунтова фауна, які тісно пов'язані між собою у формуванні ґрунтового біорізноманіття (Зонн, 1964). Опадно-підстилковий блок обумовлює важливі біогеоценотичні процеси – обмінні, гумусоутворення, кругообігу речовин, потоку енергії, формування біотичного різноманіття. Як місце локалізації блоку детритної трансформації підстилка – сполучна ланка між екотопом та біоценозом – трансформує енергію. Щорічне її збагачення та звільнення накопиченої енергії створює особливий мікроклімат, що забезпечує екологічні умови багатьом елементам зооценозу (Колосова, 1999). Біорізноманіття обумовлює функціонування зворотних зв'язків (Белова, Травлеев, 1999) і становить необхідну складову при проведенні аналізу структури угруповань тваринного населення біогеоценозу (Емельянов, 1999). Як «варіабельність живих організмів із усіх джерел, що включає наземні, морські та інші водні екосистеми та екологічні комплекси, які є їх частиною», біорізноманіття виконує важливу роль у функціональній стійкості екосистем (стаття 2 Конвенції про біорізноманіття).

М. С. Гіляров (1965) про задачі ґрунтової зоології писав: «Ґрунтова зоологія покликана вирішувати питання, пов'язані з ґрунтознавством (роль тварин у формуванні ґрунтів, використання комплексів тварин як показник ґрунтових умов та ін.), і загальнобіологічні проблеми, успішно висвітлені при

дослідженні організмів, що мешкають у ґрунті (роль ґрунту як середовища у філогенезі тварин, аналіз адаптацій до середовища, особливості структури та розвитку біогеоценозів та ін.). Ґрунтово-зоологічні матеріали дозволяють вирішувати багато питань історичної геоботаніки (характеру історії рослинності по комплексах ґрунтових тварин). Важливі дослідження при рішенні актуальних питань агрономічної практики, при роботах із захисту рослин». Природні неушкоджені ґрунти залишились у вигляді острівків у міських лісах та лісопарках. Більша частина мегаполісів має специфічні ґрунтоподібні тіла – урбоґрунти та урбаземи, які відрізняються від природних ґрунтів структурою, властивостями та функціями (Мірзак, 2001; Тютюнник, 2014; Хохрякова, 2016).

Своєрідність ґрунту як середовища існування призвело до ряду адаптивних змін у живих істот. Подальше формування ґрунту було неможливим без еволюції живих організмів і розвитку наземних екосистем (Гиляров, 1967). У ґрунтових тварин виділяють два аспекти різноманіття – екологічне та біологічне (Криволуцкий, 1994). Екологічне різноманіття пов'язане з адаптацією до умов ґрунту (Гиляров, 1987). Виділяють три головні групи за ступенем зв'язку з ґрунтом:

- 1) геобіонти – у ґрунті проводять усе життя;
- 2) геофіли – частину життєвого циклу проводять у ґрунті;
- 3) геоксени – використовують ґрунт як схованку або якщо потрапили до неї випадково.

Екологічне різноманіття в значному ступені пов'язане з характером живлення (зоофаги, фітофаги, сапрофаги, некрофаги, паразити) та різним відношенням до численних чинників навколишнього середовища (рН, гранулометричний склад, гідрологічний режим і т. д.). Функціонування детритних харчових ланцюгів, що забезпечують біохімічні цикли хімічних елементів, підтримуються різноманітними функціональними групами ґрунтових безхребетних і мікроорганізмів (Покаржевский, 1983). Жоден вид не здатний поодиноці здійснювати повну мінералізацію споживаних органічних речовин. Конвеєрний принцип їх трансформації перетворюється в стратифікацію

підстилки разом з надзвичайно багатим і різноманітним комплексом живих організмів, що її населяють. Стратифікація тварин у підстилці і верхніх шарах ґрунту ускладнюється завдяки їх міграційним здібностям, і може мати індикаторне значення для характеристики особливостей гідротермічного режиму ґрунтового профілю. У міру розкладання органічної речовини поєднуються видовий і екологічний склади організмів, що живуть за його рахунок (Чернова, 1975). На швидкість розкладання підстилки значною мірою впливає її хімічний склад, активність та склад ґрунтових організмів та фізичне мікросередовище (Changing disturbance..., 2016;). Підстилка є особливим компонентом лісового біогеоценозу, вона виконує захисну функцію у збереженні різноманіття ґрунтової фауни безхребетних, що особливо важливо для степових лісів з різним коливанням температур і гідрологічним режимом едафотопу. Це, у свою чергу, обумовлює зоодеструкцію підстилки та прискорення обмінних процесів у кругообігу речовин (Стриганова, 1980, 1970). Мезофауна лісової підстилки – індикатор стану дібров (Солодовникова и др. 1987). Накопичення і розкладання опаду залежить від загальних (зонально-кліматичних) і приватних (регіонально-біотопічних) умов, але в першу чергу визначається інтенсивністю життєдіяльності організмів, що її населяють. Істотна особливість населення лісових підстилок – виняткова видова й екологічна розмаїтість. Друга істотна риса населення підстилки – низький ступінь домінування масових форм, що тісно пов'язано з видовим багатством окремих груп (Чернова, 1977). Залежно від деревної породи, що складає насадження, змінюється не тільки кількість листяного опаду, але й його якісний склад. У тісному взаємозв'язку від якісного складу знаходяться ценози мікроорганізмів і фауни, що населяє листяну підстилку, це призводить до значної різниці у швидкості й продуктах розкладу (Oliveira et al., 2019; Luai et al., 2019; Rossi et al., 2019). Підстилка на довгий час виводить із ґрунтоутворення та біологічного кругообігу величезні маси зольних речовин і біофільних елементів, у листяних лісах вона завжди багатша зольними елементами, відрізняється меншою кислотністю та більшим ступенем насиченості, ніж підстилка у хвойних насадженнях (Brygadyrenko, 2016).

Дослідження науковців трансформації в лісовій екосистемі відмерлої рослинної речовини підтверджують, що розкладання листяних залишків є важливим джерелом реактивних органічних сполук під пологом лісу (Чорнобай, 2000; Isidorov, 2016). Для забезпечення лісової рослинності елементами живлення у формі речовин, що легко засвоюються, має значення хід розкладання лісової підстилки. Істотний вплив на швидкість розкладання опалого листя вказує діяльність ґрунтово-підстилкових тварин – проходячи через шлунковий тракт сапрофагів, доступність підстилкового матеріалу для інших трофічних груп значно зростає. Наприклад, у деяких місцях існування дощові черви використовують «макрофекалії» багатоніжок як харчовий ресурс, і вилучення багатоніжок знижує біомасу червів на 37 % (Bonkowski et al., 1998 цит. по Farfan, 2010). Про це свідчать численні погризи листя, що складають верхній шар лісової підстилки. При порівнянні з опадом виявляється, що в міру розкладання лісової підстилки відбувається збідніння азотом, калієм, фосфором, магнієм і відносно збагачення кремнієм, алюмінієм, залізом, у меншій мірі – кальцієм. Це особливо помітно при переході до шару ферментації, де збідніння калієм виступає найбільш різко (Ремезов, 1961; Чернова, 1977). Для підстилки характерне різноманіття форм живих організмів, що здійснюють одну й ту ж саму функцію, наприклад розкладання целюлози. Це пов'язано зі структурною складністю рослинних тканин і найтоншою спеціалізацією в способах оволодіння енергетичними матеріалами, а також з розходженнями у відношенні до хімічних і фізичних умов середовища (Чернова, 1977; Чорнобай, 2000).

Однією з найважливіших проблем людства стало забруднення навколишнього середовища важкими металами. Для дослідження рівня забруднень застосовуються різні екологічні тести. Безхребетні часто використовуються як тест-об'єкти в екологічному моніторингу стану навколишнього середовища (Hagner et al., 2018). Висока чисельність мокриць, їх повсюдна поширеність, здатність акумулювати важкі метали і реагувати на високі їх концентрації в середовищі зробила цих тварин однією з найбільш зручних груп для досліджень в наземної екотоксикології (Bibic et al., 1997).

У складі промислових викидів нараховують близько 10–20 хімічних елементів. Однак у найбільших кількостях трапляються і завдають найбільшої шкоди 4–6 елементів. Металургійні заводи формують характерні зони забруднення свинцем, цинком, кадмієм, ртуттю, міддю; біля свинцево-плавильних підприємств крім свинцю та цинку головними забруднювачами є кадмій, мідь, ртуть, арсен, селен (Коваль и др., 2012).

За останні 50 років близько 60 % світових екосистемних послуг, 70 % регулівних і культурних послуг підірвані внаслідок антропогенного впливу на навколишнє середовище. Наразі відбувається подальша деградація завдяки кліматичним змінам, зростанню народонаселення Землі, економічній експансії, зміні в землекористуванні (Андреева, Поляничко, 2013; Хом'як та ін., 2021). На сьогодні лісистість України становить 15,9 %, майже половина лісів є штучними, що потребує посиленого догляду. Одним з найважливіших компонентів лісової екосистеми є листяний опад – основа для гуміфікації – з властивостями, запасом і типом якого пов'язаний важливий для цієї екосистеми кругообіг речовин і енергії. Накопичення маси листяного опаду в природних і штучних лісових екосистемах залежить не тільки від видового складу, але й від зімкнутості деревного ярусу та водно-теплогового режиму під пологом лісу. Важлива роль у поліпшенні екологічних властивостей ґрунту серед тваринного населення належить екосистемним інженерам (Eisenhauer, 2010; Kul'bachko et al., 2011, 2015; Grimaldi et al., 2016), які через педурбаніційну та трофічну діяльність беруть участь у формуванні структури ґрунту, у складному біохімічному ґрунтовому процесі – гуміфікації і, як наслідок, – віталізації та натуралізації едафотопів. Такі екосистемні інженери, як сапрофаги, впливають на темпи розкладання відмерлих залишків шляхом їх фрагментації та наступної дисперсії в наземній екосистемі (Sjursen et al., 2005), відтак на швидкість кругообігу речовини і визволення зольних хімічних елементів. Це насамперед такі представники мезофауни – типові сапрофаги, як дощові черви (Lavelle et al., 2007; Berke, 2010; Kitz et al., 2015; Mezhzherin et al., 2021), двопарноногі багатоніжки (Жуков, Кисенко, 2000; Brygadyrenko, 2015), мокриці

(Стриганова, 1980; Hornung, Toth, 2018), а також окремі представники мікрофауни – орибатидні кліщі (Smrž, 2004; Gormsen et al., 2006; Kulbachko et al., 2019). Їх активність пов'язана з наданням таких екосистемних послуг, як підвищення якості ґрунтів, участь у кругообігу речовин. Цінність зазначених сервісів значно зростає для ділянок рекреації сучасних мегаполісів у сучасних умовах зміни клімату (Stott, 2017) у бік посушливості та підвищення температури.

Біосфера в цілому та й окремі екосистеми забезпечують значне різноманіття послуг і товарів (табл. 1 за Тишковым, 2010), а стала екологічна криза гостро ставить питання про необхідність використання ціннісного підходу (через визначення цінності ресурсів) замість затратного (через облік вартості добування ресурсів) (Котко, 2007). Виконання підтримуючих екосистемних сервісів неможливе без функціонування консортивних зв'язків біоти, зокрема в зооценозі.

Таблиця 1. 1

Функції природних екосистем та сучасні екосистемні сервіси степової зони
(Тишков, 2010)

Біосферні функції природних екосистем	Екосистемні послуги природних екосистем степової зони	Позитивний ефект для природи, господарства та населення степової зони
Прямий та опосередкований вплив на глобальну та регіональну кліматичні системи за рахунок альbedo, транспірації, трансформації теплового режиму приземного шару	Підтримання природного кліматичного фону, стійкості глобального, регіонального та місцевого клімату	Забезпечення нормальної (природної) динаміки степової біоти та екосистем, адаптивного до зонального клімату аграрного господарства
Вплив на газову та аерозольну складові нижніх шарів атмосфери за рахунок виділення/поглинання рослинами, тваринами та грибами двоокису вуглецю, кисню, нітрифікації та денітрифікації та ін.,	Стабілізація газових констант атмосфери, що визначають надходження на поверхню Землі сонячної радіації та опадів, зниження запиленості атмосфери та надходження аерозолей; зниження парникового ефекту на планеті	Стабільність клімату, згладжування кліматичних аномалій, нормальна робота природних резервуарів вуглецю, регламентація розвитку природньо-очагових хвороб, адаптивна система забезпечення ресурсами (вода, біоресурси та ін.)

підтримання їх балансу в атмосфері		
Біопродукційна функція рослинного покриву, що лежить в основі майже всіх трофічних ланцюгів та пірамід – формування первинної та вторинної продукції, внесок у глобальний біологічний кругообіг та в міжекосистемний енергетичний та речовинний обмін	Перетворення степовою біотою сонячної енергії та її передача за трофічними ланцюгами, підтримання глобального вуглецевого балансу за рахунок високої продукції, забезпечення різноманіття трофічних груп організмів	Нормальне функціонування природних степових екосистем, їх біогеохімічного кругообігу та енергетичного обміну; забезпечення господарства ресурсами – пасовищними кормами для скота, харчовою, лікарською сировиною, паливом та ін.; перспективи виробництва біопалива; зниження ризику ендемічних захворювань
Формування та регуляція стоку води та якості природних вод, вологообміну між територіями та їх гідрологічного режиму	Водорегулююча та водозберігаюча послуги степових екосистем, що визначають якість води та доступність її споживання для населення	Зберігання природної циклічності в забезпеченні вологою, формування річкового стоку, його якості, консервація екосистемами запасів води та регулювання її випаровування
Забезпечення (у межах природних флуктуацій) стійкості за рахунок згладжування аномальних катастрофічних явищ	Підтримання стійкого стану компонентів біосфери в цілому та на окремих ділянках степової зони	Запобігання завдяки природній рослинності катастрофічних та аномальних природних явищ – посухи, пилових та сільових бурь, повеней та паводків
Захист ґрунтів, головним чином чорноземів, від водної та вітрової ерозії, здійснення первинних і вторинних сукцесій при порушеннях природного екосистемного покриву степу	Протиерозійні, ґрунтозахисні, берегозахисні та схилозахисні послуги	Запобігання водної та вітрової ерозії, виносу вуглецю з річним стоком, збільшення ярів, зниження загрози спонтанних паводків, зсувів; ґрунтозахисний ефект, зниження ризику пасовищної дегресії, зниження рівня респіраторних захворювань у населення
Асиміляція та нейтралізація речовин, що надходять в екосистеми з надлишком, у тому числі забруднюючих,	Підтримання асиміляційних та адсорбційних якостей степових екосистем, їх здатності нейтралізувати забруднення (стійкість степів до атмосферного забруднення	Нейтралізація забруднення, зниження рівня забруднення ґрунту, біоти та продукції сільського господарства, детоксикація, утилізація рідких та твердих відходів, інтенсивна деструкція

токсичних, твердих відходів та ін.	сполуками сірки та азоту вища, ніж лісів)	органічних забруднювачів за рахунок діяльності сапротрофних організмів, покращення якості середовища
Збереження біологічного різноманіття (на генетичному, видовому та екосистемному рівнях); збереження генофонду сільськогосподарських культур і домашньої худоби	Підтримання природного біорізноманіття на внутрішньовидовому, екосистемному рівнях; підтримання оптимального співвідношення трофічних груп організмів та саморегуляції, компенсаційних механізмів; «біотичний контроль» чужерідних видів	Внесок в різноманіття організмів, що освоїли сучасний аграрний ландшафт степу, збереження рідких видів з Червоної Книги; регулювання достатку різних груп рослин і тварин; зниження ризику появи чужерідних видів, розвитку природно-осередкових захворювань, формування осередків катастрофічного розмноження степових видів
Формування біотичних рефугіумів для збереження та відтворення мігруючих видів та резидентних організмів у період міграцій, природних та антропогенних катастрофічних явищ	Збереження системи рефугіумів для мігруючих видів – зимівлі, зупинки в період міграцій та місця розмноження; збереження нерестовищ, колоній птахів та ін.; розвиток степових незручностей для збереження степового біорізноманіття	Відтворення ресурсів мігруючих через степову зону видів тварин, сприяння виконанню обов'язків країн за угодами з охорони мігруючих видів, збереження глобального ресурсу водоплавних птахів, контроль за розповсюдженням деяких природно-осередкових захворювань
Створення генетичного різноманіття, унікальних природних біологічно активних речовин, матеріалів, продуктів молекулярного та біохімічного синтезу	Збереження та підтримання природного генетичного та біохімічного різноманіття степової біоти, селекційного ресурсу та ресурсу організмів, що мають корисні для людини якості	Генетичні ресурси природного різноманіття степової біоти для селекції, отримання лікувальних речовин – для біохімічного синтезу нових речовин, для народної медицини; вигоди від розвитку ринку прав на інтелектуальну власність на генетичні ресурси степової флори, традиційні знання та доступ до них
Відтворення біологічних ресурсів, функція «ландшафту, що годує» для населення	Підтримання біоресурсної складової «екосистемних послуг» (природних ресурсів, що отримує місцеве населення задарма) для збереження традиційного степового господарства, розвитку	Безкоштовне використання степових пасовищ, топлива, продукції природних екосистем, промислової фауни, харчових (ягоди, гриби та ін.) та лікарських рослин, технічної сировини

	степової промислової рекреації; забезпечення відтворення біоресурсів	природного походження, результатів діяльності запилювачів (мед, відтворення природної та культурної рослинності), ресурсів біологічної боротьби з бур'янами та шкідниками, ефект від збереження традиційного степового природовикористання
Підтримання умов для відвідування природи, збереження оздоровчих функцій природних екосистем	Рекреаційні функції степових екосистем, їх рекреаційна ємність, продуктивність для промислової рекреації та здатність до самовідновлення; розвиток аграрного степового туризму	Економічний, соціальний, освітній та оздоровчий ефекти від рекреаційного використання, доходи від екологічного туризму, аматорської риболовлі, охоти, пізнавальних екскурсій та ін.; комерційне використання екосистем
Створення умов для некомерційного використання об'єктів живої природи – природних феноменів, сполучень екосистем, окремих об'єктів	Забезпечення духовних потреб людини, збереження гедонічних цінностей степової біоти та агроландшафту, пейзажів степу та лісостепу	Ефект від сприйняття природи, естетична, художня, меморіальна, освітня, наукова цінність природних екосистем

У більшій частині з наведених функцій *R. kessleri* бере участь опосередковано, слугуючи вагомою ланкою в обміні речовин у наземних екосистемах. У розвинених країнах Європи аналіз екосистемних сервісів використовується при оцінці еколого-економічної ефективності планованого землекористування (Costanza et al., 2014). В умовах України це питання вирішувалось несистемно, тому цей науковий напрям потребує досліджень та висвітлення результатів.

1.2. Стан вивченості двопарноногих багатоніжок (*Diplopoda*)

Диплоподи – найбільш чисельний клас серед багатоніжок (понад 8000 видів). Велика частина з них живе в тропічних регіонах Землі, населяючи верхні шари ґрунту, багаті гумусом. Двопарноногі багатоніжки – мезофільна група

безхребетних. У переважній більшості ківсяки – фітосапрофаги, що відіграють помітну роль у процесах первинного розкладання та мінералізації рослинних залишків. Їхня діяльність – один з істотних факторів, що визначають швидкість круговороту речовин і вивільнення в ґрунті елементів харчування рослин. У результаті їхньої життєдіяльності відбувається не тільки перемішування і перетирання підстилки та збагачення її викидами ківсяків, але й розпушування нижніх шарів ґрунту, чим створюються найбільш сприятливі умови для мікронаселення лісових ґрунтів (Стриганова, 1980; Жуков, 2000; Чернобай, 2000).

На роль диплопод у трансформації лісової підстилки та на швидкість її розкладання вказували багато вчених (Карпачевский, Перель, 1966; Курчева, 1966а, 1966б; Стриганова, 1975; Злотин, 1975; Курчева, 1975; Бызов, 1987; Ганин, 1987; Decomposition of oak..., 2015; Fontana, 2019). Дослідники дійшли висновку про провідну роль ґрунтових мікроорганізмів у трансформації корневих залишків, а також про те, що характер харчування сапрофагів визначається не тільки специфікою тваринного організму, як вважалося раніше, але й кліматичними умовами. Трофічні відносини ґрунтових тварин та їхні зонально-ландшафтні особливості розглянуто в роботах Б. Р. Стриганової та Ю. І. Чернова (1980), К. О. Мороз із співавторами (2011), Svyrydchenko, Brygadyrenko (2014); Ю. Л. Кульбачка із співавторами (2019).

Біоценологічні дослідження степових лісів дозволили сформулювати типологію степових лісів – методичну і наукову основу зооекологічних і біоценологічних досліджень тварин (Барсов, 1981, 1986), що дало можливість виділити закономірності динаміки ґрунтової фауни залежно від змін рослинного покриву. Досліджено розмірні структури і біорізноманіття населення ґрунтових безхребетних тварин (Второв, 1969; Стриганова, 1995). Розроблено та апробовано методи кількісного обліку ґрунтової фауни (Гиляров, 1987), метод сумісного ґрунтово-зоологічного картирування ґрунтової фауни (Лавров, 1971), що дозволяє встановити взаємозв'язок та взаємозалежність між ґрунтовою фауною та іншими тваринними угрупованнями. Зоологічний метод діагностики ґрунтів (Гиляров, 1965) розроблено, зокрема, і для Дніпропетровської області

(Травлєєв, Топчиев, 1969). Вивчено особливості трофічних зв'язків у представників ґрунтової мезофауни (Калюжний, 1987), і розроблено регіональне зоогеографічне районування (Алейникова, 1976).

Мігруючи в харчових ланцюгах біогеоценозу, хімічні елементи концентруються в консументах у трохи інших співвідношеннях, ніж у трофічній базі. Це залежить від потреби організму, біологічного значення елемента, фізіологічного стану організму. Кальцій і магній концентруються в ґрунтових сапрофагах, причому кальцій – завжди в більшій концентрації. Мокриці концентрують кальцій інтенсивніше, ніж магній, а серед ківсяків зустрічалися обидва варіанти. Очевидно, що розходження в концентруванні не можуть бути пояснені з відносного вмісту цих елементів в опаді, й, напевно, обумовлені потребами організмів. Відсутність закономірного більш інтенсивного відносного концентрування одного елемента в порівнянні з іншим свідчить про нерівнозначність цих елементів для різних видів ґрунтових безхребетних (Покаржевский, 1975). На прикладі двопарного *Rhinocricus padbergi* визначено (Fontanetti, 2004), що кальцій у вигляді мілких гранул розподілений по цитоплазмі ооцитів з початку вітеллогенезу. Дослідники вважають, що цей елемент використовується для кальцифікації екзоскелету ембріона. Одержуючи кальцій з їжею, ківсяки виділяють його у вигляді CaCO_3 з екскрементами, в екзувії при линянні та в покривах вмираючи (Бызова, 1969). Вивчалася акумуляція ківсяками важких металів на прикладі ртуті та кадмію (Жулидов, Дубова, 1988). Знання екологічних особливостей видів диплопод та їх ареалів дозволяє використовувати ці дані для характеристики біогеоценологічних умов (Локшина, 1966). Позитивну роль диплопод у процесах ґрунтоутворення як тварин, що допомагають у розкладанні органічної речовини й утворенні гумусових речовин у процесі травлення, відзначено багатьма вченими (Гиляров, 1957; Курчева, 1960; Залеская, Рыбалов, 1982; Somo, Saito, 1983; Walton, 1987).

Відзначено, що серед диплопод Руської (Східно-Європейської) рівнини практично немає ценофільних елементів, тісно пов'язаних з визначеним кліматичним комплексом (Кисенко, Жуков, 2000; цит. за Головач, 1984).

Вважається, що ці багатоніжки скоріше ценофоби, тобто бур'янисті та напівбур'янисті види, що не характеризують якісь визначені стадії екогенетичних сукцесій, або ценофіли в субкліматичних стадіях, де вже розвинутий полог деревної рослинності (Локшина, 1969). С. І. Головач (1981) виділив видові ядра окремих географічних зон та підзон Руської рівнини. І. Е. Локшина (1966а, 1966б; 1969) дослідивши фауну багатоніжок у зональному аспекті (Московська і Вороніжська області, Білорусь, Башкірія, Татарська АРСР) зробила висновок, що у всіх районах диплоподофауна достатньо однорідна та спостерігається домінування невисокої кількості видів. Ю. Л. Тарасевич (1987) приділив увагу дослідженню диплопод західної частини Руської рівнини, детальне вивчення багатоніжок лісостепу проводив М. Г. Чорний (1993).

Ківсяки харчуються листям підстилки, що розкладається. Вони пропускають через свій кишківник великі маси рослинних залишків. Їхні екскременти складаються з тонко роздрібнених рослинних тканин, перемішаних з аморфним детритом, частка якого незначна, тому вагу рослинних рештків, екскрементів можна без істотної помилки прийняти за 100 %. Таким чином, у кишківнику ківсяків відбувається інтенсивне перетравлювання клітковини, причому розкладається більше ніж 80 % целюлози, що утримується в опаді. Зауважено (Стриганова 1987), що й у штучних умовах слід підтримувати оптимальний рівень щільності для кожного виду диплопод. На значення ківсяків в акумуляції кальцію, збагаченні верхніх шарів ґрунту, гуміфікації та мінералізації рослинного опаду й у створенні зернистої структури вперше вказав Д. Ф. Соколов (1955). Г. Ф. Курчева (1974), досліджуючи процес гуміфікації, підтвердила дані Соколова та показала роль мокриць у цьому процесі, відзначивши слабе утворення гумусових речовин у кишківнику ківсяків і мокриць. Це пояснюється неповним перетравленням їжі і тим, що дубовий опад із усіх видів опаду (крім бука) – найменш легкоотравна їжа для сапрофагів підстилки, у тому числі для ківсяків. Трофічні переваги двопарноногих багатоніжок досліджували Б. Р. Стриганова (1980), П. С. Нефедьев (2001), Ю. Л. Кульбачко (2012). На прикладі багатоніжок *Orthoporus ornalus* та *Comanchelus* sp. виявлено, що

перетравлення целюлози та геміцелюлози відбувається завдяки бактеріальним ензимам, що продукуються у кишківнику ківсяків (Б. Р. Тейлор, 1982; цит за: Нефедьев, 2001). Досліджували вплив амінокислот на рост диплопод (Дубова и др., 1987) і показали, що додавання амінокислот у їжу веде до незначного, але достовірного збільшення приросту в популяції, хоча внесення амінокислот сприятливо позначається лише на перших стадіях розвитку (до XII віку не доживає жодна особина).

З водоростями трофічно та/або топічно пов'язані найрізноманітніші групи організмів (Кузяхметов, 1982; Мальцева, 2007; Food choice..., 2007; Гончаров, 2014; Maltsev et al., 2017a). Для багатьох безхребетних водорості є цінним енергетичним ресурсом. Клітини водоростей ґрунтів багаті на жири, вітаміни, вуглеводи (Simultaneous increase .. 2018; Analysis of a new .., 2019; Acid Content..., 2019), які достатньо добре засвоюються, що може призвести до вибіркового поїдання деяких груп водоростей безхребетними (Козловская, Штина, 1987; Штина и др., 1981).

Зазначимо, що розповсюдження альгофагії, трофічні взаємовідносини водоростей та безхребетних залишаються мало дослідженими. Серед питань, які активно обговорюються, це роль водоростей та ціанопрокаріот у раціоні безхребетних, наявність трофічної вибіркості серед консументів, вплив ґрунтових безхребетних на швидкість біологічного кругообігу та мінералізацію органічної речовини водоростей, розповсюдження водоростей безхребетними, особливості біодеградації екскрементів безхребетних, з одного боку, а з іншого – функціонування їх як своєрідних екотопів, які крім редуцентів заселяються водоростями, й біогени, які визволяються, входять у новий кругообіг (Matty, Berg, 2004; Scheu, Folge, 2004; Decomposition of oak..., 2015; Didur et al., 2018a; Didur et al., 2018b).

Як відомо, основна маса водоростей з'їдається ґрунтовими тваринами (Штина и др., 1981). Альгофаги знайдені в різних систематичних групах безхребетних, які мешкають у ґрунті. Такі представники, як кліщі, колемболи, личинки хірономід, поїдають водорості в чистому вигляді, а дощові черви та

енхетреїди отримують їх разом з ґрунтом (Стриганова, 1980; Штина и др., 1981). Ґрунтові водорості можуть складати частину раціону ківсяків, які у свою чергу сприяють розповсюдженню альгофлори в підстилці. Екскреції диплопод є багатим джерелом біогенів і служать субстратом для розвитку водоростей, які пройшли через кишківник і залишилися непетравленими. Крім того, вони можуть заселятися іншими водоростями, що мешкають у лісовій підстилці (Maltsev et al., 2017b; Maltsev, Maltseva, 2018).

Виділення парникових газів (CH_4 , CO_2 , N_2O) із шлунково-кишкового тракту безхребетних мезофауни, зокрема багатоніжок, потребує вивчення через їх потенційний вплив на зміну клімату, а крім того як індикатора мікробних процесів, які трансформують органічну речовину за час проходження через кишківник (Кульбачко та ін., 2007). У лісових біогеоценозах багатоніжки беруть участь у розкладанні листяної підстилки, підтримуючи таким чином ґрунтові трофічні консортивні зв'язки (www.mnhn.fr, www.myriapoda.org). Було досліджено 12 видів диплопод із різних отрядів та встановлено, що всі досліджувані види багатоніжок виділяють вуглекислий газ (CO_2), деякі види – метан (CH_4). Стабільна й значна емісія CH_4 спостерігалась у тропічних отрядах *Spirobolida* та *Spirostreptida*, тільки види родини *Glomeridae* зрідка виділяють сліди N_2O , залежно від умісту нітрогену в кормі. Зазначено, що продукування метану може бути пов'язане з розміром тіла та присутністю комменсалів в організмі тварин, а ці фактори, у свою чергу, взаємодіють між собою та залежать від географічного розповсюдження видів. Споживання чистої целюлози, за спостереженнями авторів, знижувало метаболізм багатоніжок, яких досліджували, та не задовольняло енергетичних потребностей тварин. У лабораторних умовах відмічено, що якість корму (пропонували опад вільхи, дуба й клена та гнилої деревини) та режим годування впливає на емісію метану: викиди CH_4 були значно вищими при поїданні листя вільхи (Release of greenhouse ..., 2020). Досить докладно досліджено дихання сапрофагів у роботах Ю. Ю. Бизової (1973), М. Г. Сизової (1987), Н. М. Мешкової (1987). Автори

встановили інтенсивність дихання самців та самок різних таксономічних груп залежно від їх маси та віку.

Цікавим залишається дослідження «хімічного захисту» диплопод. Установлено фенол-домінуючу секрецію серед представників ряду Callipodida (надряд Juliaformia) – автори пропонують гіпотезу спільного біосинтезу фенолів та бензохінонів («Quinone Millipedes»..., 2016). Зареєстровано секрецію ациклічних кетонів як захисного механізму серед тасманійських представників ряду Polydesmida (The Chemistry of Some..., 2018). Два види антибактеринів визначили (Хуландер et al., 1990) у гемолімфі диплопод та хілопод. Виявлені речовини сприяють пригніченню росту *Enterobacter cloacae*, але відносно *Escherichia coli* інгібіція повністю відсутня.

Досліджуються біолого-екологічні особливості диплопод (Hal'kova et al, 2020; Hornak et al., 2020; Toxic potential of..., 2020; Toth, 2020; Douglas et al., 2019; Chilopoda and Diplopoda..., 2019), виявлено крайовий ефект комплексу диплопод карстового каньйону – місця зі складною топографією (Heterogeneity in millipede..., 2019), відкривають нові види (Su et al., 2020; Vandenspiegel et al, 2020; Wesener, 2019; Reip, 2017). Відомі дані про використання диплопод як тест-об'єкта (Buch et al., 2018) на прикладі забруднення ртуттю.

Відкривають нові види диплопод, що існують у печерах США (Shear et al., 2019) та східної Азії (Китай) (Liu, Wynne, 2019; Wesener, 2019), на території південної Америки (Bouzan et al., 2019), південної та східної Азії (Review of dragon..., 2019a; Nguen et al., 2019). Останнім часом проводять дослідження стосовно комбінації методів відбору проб (грунтових та з поверхні ґрунту) у раніше малодосліджених ландшафтах в різних регіонах світу (Olivera et al., 2019). Давно постали питання щодо збереження біологічного різноманіття на трансформованих територіях, а також шляхи вирішення цих проблем (Израэль, 1984). Розглядаючи ландшафтно-кліматичні особливості різних регіонів у рамках питання біоіндикації та моніторингу (Вайнерт и др., 1988), дослідники дійшли висновку про доцільність введення принципу регіонального вибору тест-об'єктів. Для степу ключовими групами тварин, що становлять

основу спільноти – тест-об'єктами – є прямокрилі, двокрилі, напівтвердокрилі, твердокрилі, які здатні до утилізації незначної кількості органіки. Більша частина органічної речовини ґрунту сконцентрована в його верхньому шарі та підстилці. Гідроксильні, ароматичні карбоксильні хімічні групи зазначених вище біогеогоризонтів здатні до утворення металорганічних комплексів, тому тварини-сапротрофи отримують дози вище середнього рівня, що дозволяє використовувати ці групи для екологічного контролю (Криволуцкий, 1994).

1.3. Стан вивченості двопарноногих багатоніжок досліджуваного регіону

Степове Придніпров'я розташоване в степовій зоні в межах басейну Дніпра. У межах регіону знаходиться Самарський ліс (48°44'00" п. ш. 35°27'00" с. д.) – у Новомосковському та Павлоградському районах Дніпропетровської області. До складу регіону входить урбосистема м. Дніпро (48°28'00" п. ш. 35°01'05" с. д). Урбосистема – результат антропогенної діяльності, функціонування якої спричиняє деградацію (знищення) навколишнього природного середовища з подальшою заміною його на техногенне. У процесі ґрунтоутворення міських ґрунтів провідну роль відіграє антропогенний фактор, який впливає як прямо (руйнування ґрунтового профілю внаслідок будівельної діяльності), так і опосередковано (аерогенне або гідрогенне забруднення ксенобіотиками), і визначається типом господарського використання та історією розвитку території (Яковишина, 2015).

У зв'язку з антропогенним впливом людини на природні угруповання і функціонування природних екосистем питання збереження біорізноманіття, запобігання дезертифікації, деградації ґрунтів набрали чинності в останні роки (Pokarzewskij et al., 1989; Baker, 1998; Kalisz and Powell, 2003; Aurambout et al., 2005; Zaitsev et al., 2014). Для такого індустріалізованого регіону України, як степове Придніпров'я, зазначені явища особливо характерні. Це провокує зміни інтенсивності декомпозиції рослинного опаду ґрунтовими сапрофагами: у деяких випадках вона буде сповільнюватись. Отже, забезпечення ґрунтовими

сапрофагами такої екосистемної послуги як підвищення родючості ґрунту та захист його від ерозії, не буде виконуватися на належному рівні. Навпаки, створення в регіоні дослідження умов, що перешкоджають аридизації (наприклад, лісозахисних насаджень, збереження лісових екосистем), контроль забруднення важкими металами та зниження їх викидів – це ті заходи, які в умовах недостатнього зволоження в степу дозволять тваринам – екосистемним інженерам – виконувати їх екологічні функції (Jones et al., 1994, 1997; Тиунов, 2007; Eisenhauer, 2010; Булахов, Пахомов, 2011; Kul'bachko et al., 2015).

Типовими представниками «екосистемних інженерів» є ґрунтово-підстилкові сапрофаги і такі екосистемні функції, як стабілізація клімату, очищення повітря, формування плодючих ґрунтів, їх захист від ерозії, залежать від біологічного різноманіття підстилкових безхребетних (Kadem et al., 2004; Комаров, Бригадиренко, 2008; Faly, Brygadyrenko, 2018). Дослідження степового Придніпров'я проводиться Комплексною експедицією університету понад 70 років. Мезофауну середнього плину річки Дніпра вивчав О. П. Кришталь (1956). У природних екосистемах Самарського лісу виявлено, що діяльність ссавців, що риють, – це важливий екологічний фактор, який обумовлює формування видової розмаїтості ґрунтової мезофауни, біотопічний розподіл та особливо утворення мікростаціальних співтовариств. При цьому найбільш істотні зміни відбуваються в структурі комплексів за рахунок збільшення видового багатства функціональних груп сапрофагів і зоофагів. Поряд зі зміною видового складу ґрунтової мезофауни в місцях впливу ссавців виявлені істотні зміни чисельності та біомаси безхребетних (Пахомов, 1998, 2003; Пахомов, Жуков, 1998; Пахомов, Кунах, 2005). Доведена значна роль сапрофагів мезофауни для діагностики та характеристики ґрунтів – діяльність сапрофагів визначає характер розкладання й залучення в ґрунт опаду, від чого залежать такі діагностично важливі властивості ґрунту, як додавання, шпаруватість, структура, характер накопичення гумусу, розвиток окремих горизонтів. Вивченням біодіагностики лісових біогеоценозів, ґрунтової фауни байрачних лісів, заплавної екосистем структурно-функціональної організації населення ґрунтових

безхребетних степового Придніпров'я займався ряд дослідників (Пилипенко, 1973; Пилипенко, Фатовенко, 1973; Барсов, Пилипенко, Шимкіна, 1984; Пилипенко, Жуков, 2001; Бригадиренко, 2003, 2005; Солов'єв, Бригадиренко, 2003), вивченням структури та діагностичних можливостей комплексів герпетобіонтів степового Придніпров'я займалися В. В. Бригадиренко із співавторами (2012; 2014; 2016). Опосередковані методи дослідження, що були використані, дозволили оцінити вплив однієї групи тварин на інші, розподіл безхребетних залежно від впливу абіотичних факторів. Екологічна розмаїтість тваринного населення ґрунтів заплавних біогеоценозів р. Самара та урбоєкосистем, їх екоморфічна організація, фітоіндикаційне оцінювання ґрунтової мезофауни проводилися О. В. Жуковим із співавторами (Барсов и др., 1996; Жуков и др., 1997; Жуков, 2000; Жуков, Кисенко, 2000; Жуков, 2009; Кунах, Жуков, Балюк, 2013; Zhukov et al., 2016), О. М. Кунах, О. Є. Пахомовим (2005), Ю Л. Кульбачком (1998, 1999). Показано, що розподіл тварин залежить від умов мешкання, виділено основні компоненти тваринного населення заплавних дібров, дослідили склад і закономірності формування фауни двопарноногих багатоніжок степової зони, зроблено висновок, що структура комплексів диплопод визначається екологічними умовами біотопу і типом ґрунту. Визначено вклад ґрунтових безхребетних, зокрема багатоніжок у процесі мінералізації та гуміфікації (Пилипенко и др., 1983; Пахомов та ін. 2008; Кульбачко та ін., 2012, 2014). Вони беруть активну участь у механізмах реалізації такого екосистемного сервісу, як формування і стабілізація родючості ґрунту за допомогою впливу на його буферну здатність. У синекологічних дослідженнях найбільш суттєвими характеристиками визнають видовий склад (Бельгард, 1950), чисельність та біомасу організмів (Апостолов, 1970; Вrugadyrenko, Komarov, 2008; Кульбачко та ін. 2011), співвідношення функціональних угруповань (Барсов, 1986; Кульбачко, 1998) та екоморфічну структуру населення (Бельгард, 1971; Жуков, 2009; Zhukov, Gadorozhnaya 2013).

Характер накопичення лісової підстилки може бути індикатором антропогенного навантаження на лісовий фітоценоз. Антропогенна дигресія лісового ландшафту починається зі змін лісової підстилки під пологом лісу, її

розподілу за площею. Такі зміни в запасах підстилки призводять до порушення типового для даної лісової екосистеми кругообігу речовин, зокрема на території Присамар'я (Пилипенко, Смирнов, 1984; Пилипенко, Смирнов, 1989; Кульбачко та ін., 2014b). Функція біохімічної трансформації органічної речовини (гуміфікації) ґрунтових сапрофагів не дублюється іншими групами живих організмів і важлива з точки зору збереження та підвищення здоров'я ґрунтів (Пилипенко и др., 1983; Didur et al., 2019). Автори (Кунах та ін., 2013) розглядають трансформацію угруповань ґрунтових тварин за антропогенного пресу на прикладі міського парку, пропонують алгоритм збору та статистичної оцінки матеріалу та оцінку екологічного стану міського середовища за екоморфичною структурою ґрунтової мезофауни. В умовах складної екологічної обстановки Придніпровського регіону продовжуються дослідження механізмів взаємодії ґрунтових безхребетних із факторами оточуючого середовища, особливого значення набувають ті методи моніторингу, які дозволяють дати оцінку стану всіх основних структурних компонентів різних біогеоценозів.

1.4. Консорції та консортивні зв'язки безхребетних

Засновником вчення про консорції визнано В. М. Беклемішева (1951) і розширене воно впродовж ХХ століття багатьма дослідниками, зокрема, В. М. Сукачовим та М. В. Дилісом (Основы лесной..., 1964) та іншими (Воронов, 1963, 1964, 1973, 1974; Емельянов, 1965; Мазинг, 1966; Рафес, 1966; Работнов, 1969, 1970, 1973, 1974; Селиванов, 1968, 1974; Быков, 1970; Дылис, 1973; цит по: Селиванов, 1975,). На рівні консорцій найтісніше проявляються зв'язки між біотичними та абіотичними компонентами біогеоценозу. Консорція складається з організмів різних систематичних груп, які пов'язані між собою трофічними, топічними, фабричними і форичними зв'язками. Ця сукупність організмів існує в певному середовищі (Голубець, Чернобай, 1983). Консорції – структурно-функціональні, динамічні системи, яким притаманний біотичний кругообіг речовин та потік енергії. Під терміном „консорція” розуміють елементарну екосистему, детермінантом (ядром) якої може бути індивідуум (індивідуальна

консорція), популяція (популяційна консорція) (Царик, 1991). Зв'язки в консорції класифікують за характером впливу на фабричні, трофічні, форичні, топічні (Работнов, 1978), за певними ознаками їхнього ядра – на таксономічні, біоморфні, ценотипічні, за структурою – на індивідуальні, клональні, популяційні, регіональні, видові (Мазінг, 1966; Дылис, 1973), за динамікою – на сезонну, флуктуаційну, сукцесійну і еволюційну (Корчагин, 1976); за типом стратегій популяційні консорції можуть бути *r*- та *K*-консорції (Й. Царик, І. Царик, 2007). В. В. Негроров, К. Ф. Хмельов (2000) розробили нові підходи до теорії консорції, які дозволили розробити програму популяційно-консортивного аналізу природних екосистем (1997, 1999: цит. по: Негроров, Хмелев, 2000). Нові підходи автори сформулювали у вигляді трьох концепцій: критеріїв консорції, гетероконцентрального складу, консорційного контініуму.

Особливістю консортів-сапротрофів є відсутність чіткої детермінації субстрату живлення. Кормовою базою для них слугує сукупність мертвої речовини, тому прив'язати їх до ядра однієї консорції неможливо. Обов'язковою умовою існування консортів-сапротрофів є наявність мертвої органічної маси. Оскільки органічні рештки (листяний опад, наприклад) є компонентами неживої природи, сапротрофні консорти мають зв'язок з ядром консорції через середовище існування, тобто топічний.

Негативний вплив забруднення послаблює консортивні зв'язки організмів, порушує передачу інформації за зворотними зв'язками, приводить до порушення лісового середовища, що проявляється або в активізації, або в пригніченні процесів фітофагії, хижацтва, конкуренції, сапрофагії тощо при одночасній зміні облігатних консортів. Через штучні зміни природного середовища відбуваються фундаментальні зміни екосистемних зв'язків та прогресивне руйнування біосфери: деградація ґрунтів, зменшення біорізноманіття та опустелювання (Klymenko et al., 2017). Тваринне населення екосистем змінюється, пристосовуючись до цих змін (Алейникова, Утробина, 1969). Одним із природних механізмів відновлення і сприяння оновленню порушених ґрунтів є відповідна активність сапрофагів у трансформації органічних речовин, таких як

диплоподи – типових представників функціональної групи середовищеперетворювачів, або “екосистемних інженерів” (Барсов та ін., 1996; Кульбачко, 1999; Жуков, 2009; Brygadyenko, 2015b). Формуючи піонерні угруповання, їх представники першими серед ґрунтових безхребетних починають біологічне освоєння субстратів природного та антропо-техногенного походження, впливаючи на хід первинних етапів ґрунтоутворення (Таращук, 2000; Пахомов и др., 2008; Кульбачко та ін., 2014b), вступають у складні взаємовідносини з ґрунтовою мікрофлорою (Посредникова и др., 2009; Kulbachko et al., 2014a), формують структуру ґрунту, запобігають безповоротній втраті гумусу й повній деградації ґрунту. З’являються нові дані про населення кишківнику диплопод – *Pachyiulus krivolutskyi* Golovatch, 1977 (Diplopoda: Julidae) з північно-західного регіону Росії, визначений як незвичний хазяїн для паразита *Gordionus alpestris* (Nematomorpha) (Spiridonov, Schmatko, 2013), *Glomeris connexa* (Diplopoda: Glomeridae), досліджений на околицях м. Київ, вперше вказаний як проміжний хазяїн для паразита *Sobolevitaenia verulamii* (Cestoda Cyclophyllidea) удроздових птахів (Вакаренко, Карнюшин, 2002); для *Riukaria* sp. (Diplopoda: Xystodesmidae) з широколистяних лісів Японії, вперше з використанням молекулярних методів дослідження в цьому напрямку, автори (Kitagami et al., 2019) морфологічно та молекулярно охарактеризували сегментовані нитчасті бактерії (SFB), пов’язані з нематою *Rhigonema* sp., яка мешкає в задньому відділі кишківника згаданої диплоподи. Оновлено відомості про диплопод, як про об’єкт харчування (Ильина и др., 2019): автори припустили, що мухоловки-пеструшки (*Ficedula hypoleuca* (Pallas 1764) володіють ширшою трофічною нішею, маючи резистентність до кантаридину та деяких інших токсинів, які містяться в комах і диплоподах зокрема. Отримані дані дозволяють побудувати екологічний ланцюг живлення.

Гетеротрофно детерміновані консорції безхребетних та сапротрофні консорції вивчено недостатньо. Визначено, що консорція *R. kessleri* належить до *r*-типу. Це більш динамічний за *K*- тип консорцій, який тяжіє до фунгіально-мікроартроподних екосистем (Жуков, 2009).

Дослідники вважають (Голубець, Чернобай, 1983; Й. Царик, І. Царик, 2005), що без достовірних даних щодо специфіки взаємозв'язків, які існують у біоті й між нею та абіотичним середовищем, розробити ефективні методи збереження та відтворення біотичного різноманіття на індивідуальному, популяційному та екосистемному рівнях малоймовірно.

Дослідники консорцій дніпровської школи вивчають просторову структуру фауни хребетних та безхребетних тварин: В. Л. Булахов (1976, 1981, 1996, 2003), О. Л. Пономаренко (1998, 2017; 2018; 2020; 2021), Ю. Л. Кульбачко (1999; 2006, 2007, 2010, 2011, 2014, 2018; 2019), О. М. Кунах (2013; 2020; 2021), О. В. Жуков (1996, 2000, 2009, 2016, 2018; 2021), В. В. Бригадиренко (2014, 2015, 2016, 2020).

Перелік посилань:

Алейникова, М. М. (1976). Почвообитающие беспозвоночные как биологические индикаторы типов пахотных почв. *Биологическая диагностика почв.* (С. 10–11.). М.: Наука.

Андреева, Н. Н., Поляничко, Е. В. (2013). Анализ потенциала и перспектив внедрения платы за экосистемные услуги в рекреационно-туристической сфере Украины. *Економічні інновації: Зб. наук. пр.* 54. (С. 7–18). Одеса: ІПРЕЕД НАН України.

Апостолов, Л. Г. (1970). Вредная энтомофауна лесных биогеоценозов юго-востока Украины. *Автореф. доктор. дисс.* Харьков.

Барсов, В. А. (1981). Типология степных лесов – методическая и научная основа зооэкологических и биогеоценологических исследований животных // *Биогеоценологические исследования степных лесов, их охрана и рациональное использование.* (С. 161–166). Д.: ДГУ.

Барсов, В. А. (1986). Структура и биогеоценотическая роль кронных беспозвоночных животных в лесных биогеоценозах степного Приднепровья. *Вопросы степного лесоведения и лесной рекультивации земель*, 121–126.

Барсов, В. А., Пилипенко, А. Ф., Жуков, А. В., Кульбачко, Ю. Л., Кисенко, Т. И. (1996). Сезонные, годовые и вызванные антропогенными факторами изменения структуры популяций почвенных и наземных беспозвоночных животных в некоторых биогеоценозах центрального степного Приднепровья. *Вестник Днепропетровского университета*, 2, 24–30.

Барсов, В. А., Пилипенко, А. Ф., Шимкина, М. А. (1984). Структура почвенной энтомофауны лесных биогеоценозов степного Приднепровья и её связь с наземными энтомокомплексами. *Проблемы почвенной зоологии: Материалы VIII Всесоюзного совещания*. 1, (С. 31–32). Ашхабад: ТССР.

Беклемишев, В. Н. (1951). О классификации биогеоценологических (симфизиологических) связей. *Бюлл. Моск. общ. испыт. природы, отд. биол.*, LVI(5), С. 3–30.

Белова, Н. А., Травлеев, А. П. (1999). *Естественные леса и степные почвы*. Д.: ДГУ.

Бельгард, А. Л. (1950). *Лесная растительность юго-востока УССР*. Киев.

Бельгард, А. Л. (1971). *Степное лесоведение*. М.: Лесная промышленность.

Бригадиренко, В. В. (2003). Использование топологических спектров в зоологической диагностике почв на примере семейства жуужелиц (Coleoptera, Carabidae). *Экология и ноосферология*, 13(1–2), 119–130.

Бригадиренко, В. В. (2005). Экологические аспекты взаимодействия муравьев (Hymenoptera, Formicidae) с подстилочными беспозвоночными в условиях степных лесов. *Питання степового лісознавства та лісової рекультивації земель*, 9(34), 181–192.

Булахов, В. Л. (1976). Консортивные связи в средообразующей деятельности позвоночных животных в степных лесах УССР. *Значение*

консортивных связей в организации биогеоценозов: Материалы II Всесоюзного совещания по проблеме изучения консорциев. (С. 274–277). Пермь: ПГПИ.

Булахов, В. Л. (1981). Роль птиц в межбиогеоценозных и межпарцеллярных связях в экстразональных лесных экосистемах. *Экология и охрана птиц*: Тезисы докладов 8-й Всесоюзной орнитологической конференции. (С. 34). Кишинев: Штиинца.

Булахов, В. Л., Емельянов, И. Г., Пахомов, А. Е. (2003). Биоразнообразие как функциональная основа экосистем. *Biosystems Diversity*, 1(11), 1.

Булахов, В. Л., Емельянов, И. Г., А. Е. (2003). Биоразнообразие как функциональная основа А. Голубець, М. А., Чернобай, Ю. М. (1983). Консорція як елементарна екологічна система. *Український ботаничний журнал*, 40(6), С. 78–85.

Булахов, В. Л., Пахомов, О. Є. (2011). *Функціональна зоологія*. Д.: ДНУ.

Булахов, В. Л., Пономаренко, О. Л. (1996). Роль фауністичних угруповань в утворенні консортивних зв'язків в екосистемах. *Проблеми фундаментальної екології*: Матеріали міжнародної конференції. (С. 45). Кривий Ріг.

Бызов, Б. А. (1987). Особенности микробного разложения углеводов в системе микроорганизмы – сапротрофные беспозвоночные. *Проблемы почвенной зоологии*: Материалы IX Всесоюзного совещания. (С. 50–51). Тбилиси: Мецниереба.

Вайнерт, Э., Вальтер, Р., Ветцель, Т., Егер, Э., Клаустнитцер, Б. (1988). *Биоиндикация загрязнений наземных экосистем*. М.: Мир.

Ганин, Г. Н. (1987). Роль диплопод в разложении лесного опада на юге Хабаровского края. *Проблемы почвенной зоологии*: Материалы IX Всесоюзного совещания. (С. 66–67). Тбилиси: Мецниереба.

Гиляров, М. С. (1965). *Зоологический метод диагностики почв*. М.: Наука.

Гиляров, М. С. (1967). Беспозвоночные животные и лесные биогеоценозы. *Лесоведение*, 2, 27–35.

Гиляров, М. С. (1987). Учет крупных беспозвоночных (мезофауна). *Количественные методы в почвенной зоологии*. (С. 9–26). М.: Наука.

Емельянов, И. Г. (1999). Роль разнообразия в функциональной устойчивости экосистем. *Екологія та ноосферологія*, 6(1–2), 32–38.

Жуков, А. В. (2000). Экологическое разнообразие животного населения почв пойменных биогеоценозов р. Самара. *Вісник Дніпропетровського університету*, 7, 73–79.

Жуков, А. В., Кисенко, Т. И. (2000). Почвенная мезофауна поймы р. Самара-Днепровская. *Вестник Днепрпетровского университета. Серия Биология и экология*, 7, 62–68.

Жуков, А. В., Пилипенко, А. Ф., Барсов, В. А., Смирнов, Ю. Б., Кульбачко, Ю. Л., Кисенко Т. И. (1997). Зоогеографический анализ почвенной и подстилочной фауны степного Приднепровья. *Вопросы степного лесоведения и лесной рекультивации земель*, 89–92.

Жуков, О. В. (2009). *Екоморфічний аналіз консорцій ґрунтових тварин (Ecomorphic analysis of the soil animal consortia)*. Д.: Свідлер АЛ.

Злотин, Р. И. (1975). Участие сапрофильных организмов в разрушении корней. *Проблемы почвенной зоологии: Материалы V Всесоюзного совещания* (С.158–159). Вильнюс.

Зонн, С. В. (1964). Почвы как компонент лесного биогеоценоза. *Основы биогеоценологии*, 144–172.

Израэль, Ю. А. (1984). *Экология и контроль состояния природной среды*. М.: Гидрометеиздат.

Карпачевский, Л. О., Перель, Т. С. (1966). Роль беспозвоночных в разложении лесного опада. *Проблемы почвенной зоологии: Материалы Всесоюзного совещания*. (С.63–64). М.: Наука.

Коваль, В. В., Наталочка, В. О., Ткаченко, С. К., Міненко, О. В. (2012). Динаміка забруднення вод сільськогосподарського призначення солями важких

металів в умовах Полтавщини. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*, 1, 40–44.

Колосова, И. И. (1999). Опадно-подстилочный блок как показатель интенсивности материально-энергетического обмена биогеоценозов Присамарья. *Питання степового лісознавства та лісової рекультивації земель*, 3, 69–77.

Комаров, О. С., Бригадиренко, В. В. (2008). Особливості формування фауни підстилкових безхребетних аренних лісів ріки Дніпро в умовах Полтавської області. *Екологія та ноосферологія*, 19(1–2), 59–68.

Корольов, О. В., Бригадиренко, В. В. (2012). Трофічні зв'язки *Pterostichus melanarius* (Coleoptera, Carabidae) із домінантними видами безхребетних лісових екосистем степового Придніпров'я. *Вісник Дніпропетровського університету. Біологія. Екологія*. 20(1), 48–54.

Корчагин, А. А. (1976). Строение растительных сообществ. *Полевая геоботаника*. М.; Л.: Наука, 5.

Котко, А. А. (2007). Экономическая ценность функций экосистем. *Автореф. канд. эконом. наук, специальность 08 00 05*. М.

Криволюцкий, Д. А. (1994). *Почвенная фауна в экологическом контроле*. М.: Наука.

Кришталь, О. П. (1956). *Ентомофауна ґрунту та підстилки в долині середньої течії р. Дніпра*. Київ: Вид-во Київ. ун-ту.

Кульбачко, Ю. Л. (1998). Беспозвоночные животные подстилки искусственных белоакациевых насаждений как биоиндикаторы загрязнения окружающей среды выбросами промышленного производства. *Придніпровський науковий вісник*. 113(180), (С. 121–124). Д.: Наука і освіта.

Кульбачко, Ю. Л. (1999). Изменение структуры фауны герпетобионтов искусственных лесных насаждений под влиянием выбросов промышленных предприятий. *Проблемы почвенной зоологии. Биоразнообразие и жизнь*

почвенной системы: Материалы II (XII) всероссийского совещания по почвенной зоологии. (С. 272–273). М.: МГУ.

Кульбачко, Ю. Л. (2006). Влияние весеннего половодья на вертикальное распределение почвенных беспозвоночных в прирусловой пойме р. Самара. *Вісник Дніпропетровського університету. Біологія. Екологія*. 14(1), 96–100.

Кульбачко, Ю. Л., Дидур, О. А., Лоза, И. М. (2007). Оценка влияния представителей двупарноногих многоножек (Diplopoda) на эмиссию углекислого газа модельными почвосмесями при решении проблем рекультивации нарушенных земель. *Проблеми екології та охорони природи техногенного регіону*. 7(С. 93–99). Донецьк: ДонГУ.

Кульбачко, Ю. Л., Дидур, О. А. (2011). Участие дождевых червей (Lumbricidae) в поддержании буферной способности почв на участке лесной рекультивации с насыпкой лессовидного суглинка. *Питання біоіндикації та екології*, 16(1), 170–176.

Кульбачко, Ю. Л., Пахомов, А. Е., Дидур, О. А. (2011). Изменчивость биомассы дождевых червей (Lumbricidae) как отклик биоты на различные экологические условия в модельных экспериментах. *Доповіді НАН України*. 6 (С. 197–202). К.:Академперіодика НАН України.

Кульбачко, Ю. Л., Дидур, О. А. (2012). Трофические предпочтения двупарноногих многоножек (Diplopoda) при восстановлении территорий, нарушенных горнодобывающей промышленностью. *Biosystems Diversity*, 20 (2), 30–37. doi:10.15421/011225

Кульбачко, Ю. Л., Дидур, О. А., Лоза, И. М., Пахомов, А. Е. (2014а). Экологические аспекты влияния трофо-метаболической деятельности дождевых червей (Lumbricidae, Oligochaeta) на рН-буферную способность рекультивиземов в условиях степной зоны Украины. *Поволжский экологический журнал*, 3, 364–372.

Кульбачко, Ю. Л., Дидур, О. А., Пахомов, А. Е., Лоза, И. М. (2014b). Трофометаболическая активность дождевых червей (Lumbricidae) как зоогенный

фактор поддержания устойчивости рекультивированных почв к загрязнению медью. *Biosystems Diversity*, 22(2), 99–104. doi:10.15421/011414

Кульбачко, Ю. Л., Дідур, О. О. (2018). Морфологічна мінливість представників педобіонтів-зоофагів на прикладі *Carabus granulatus* Linnaeus, 1758 (Coleoptera, Carabidae) в умовах техногенного пресу. *Біорізноманіття, екологія та експериментальна біологія*, 19, 51–57.

Кульбачко, Ю. Л., Дідур, О. О., Похиленко, А. П. (2019). *Екологічні аспекти зоопертинентної функції ґрунтових сапрофагів: монографія*. Д.: РВВ ДНУ.

Кунах, О. Н., Жуков, А. В., Балюк, Ю. А. (2013). Пространственная организация сообщества почвенных мезопедобионтов в условиях рекреационной нагрузки в лесопарковом насаждении. *Ukrainian Journal of Ecology*, 3(9), 112–121.

Курчева, Г. Ф. (1966b). Разложение осеннего и весеннего опада дуба. *Проблемы почвенной зоологии: Материалы Всесоюзного совещания*. (С.74–76). М.: Наука.

Курчева, Г. Ф. (1966a). Влияние почвенных беспозвоночных на скорость разложения лесной подстилки. *Проблемы почвенной зоологии: Материалы Всесоюзного совещания*. (С.76–77). М.: Наука.

Курчева, Г. Ф. (1974). *Роль почвенных животных и гумификация растительных остатков*. М.: Наука.

Курчева, Г. Ф. (1975). Сравнение методов исследования роли беспозвоночных в разложении растительных остатков. *Проблемы почвенной зоологии: Материалы V Всесоюзного совещания*. (С.198–199). Вильнюс.

Мазинг, В. В. (1966). Консорции как элементы функциональной структуры биогеоценозов. *Труды МОИП*, 27, 117–126.

Мешкова, Н. М. (1987). Дыхание диплоподы *Glomeris connexa* (С. L. Koch.) в зависимости от температуры. *Проблемы почвенной зоологии: Материалы IX Всесоюзного совещания*. (С.183–185). Тбилиси: Мецниереба.

Мірзак, О. В. (2001). Досвід дослідження ґрунтів великих промислових центрів степової зони (на прикладі м. Дніпропетровська). *Ґрунтознавство*, 1(1–2), 87–92.

Негробов, В. В., Хмелев К. Ф. (2000). Современные концепции консорциологии. *Вестник ВГУ. Серия химия, биология*, 118–121.

Нефедьев, П. С. (2001). О фауне и экологии многоножек (Myriapoda) окрестностей села Смоленского (Алтайский край). *Ландшафты Западной Сибири: проблемы исследований, экологии и рациональное использование*. Материалы межвузовской конференции. (С. 84–86). Бийск.

Основы лесной биогеоценологии / Под ред. В. Н. Сукачёва и Н. В. Дылиса. М., 1964.

Пахомов, А. Е. (1998). *Биогеоценологическая роль млекопитающих в почвообразовательных процессах степных лесов Украины*. Д.: ДГУ.

Пахомов, А. Е. (2003). Формирование почвенной мезофауны под воздействием роющих млекопитающих в байрачных дубравах Присамарья. *Экология*, 1, 41–48.

Пахомов, А. Е., Жуков, А. В. (1998). Формирование почвенной мезофауны под влиянием педотурбационной активности микромаммалий. *Вісник Дніпропетровського університету. Біологія. Екологія*. 113–121.

Пахомов, О. Є., Кульбачко, Ю. Л., Дідур, О. О. (2008). Модель взаємодії штучних ґрунтових сумішей рекультивованих територій і ґрунтових сапрофагів (Diplopoda). *Доповіді НАН України*, 9, 150–155.

Пахомов, О. Є., Кунах, О. М. (2005). *Функціональне різноманіття ґрунтової мезофауни заплавних степових лісів в умовах штучного забруднення середовища*. Д.: ДНУ.

Пилипенко, А. Ф. (1973). Влияние рН почвы и содержания гумуса в ней на распределение почвенной мезофауны. *Вопросы степного лесоведения*, 3, 70–74.

Пилипенко, А. Ф., Ганин, Г. Н., Смирнов, Ю. Б. (1983). О положительном воздействии двупарноногих и литобиоморфных многоножек на процессы

трансформации микроэлементов в системе опад–подстилка–почва. *Исчезающие и редкие растения, животные и ландшафты Днепропетровщины*. (С. 97–102). Д.: ДГУ.

Пилипенко, А. Ф., Жуков, А. В. (2001). Роль трофической структуры почвенной мезофауны для зоологической диагностики почв. *Структура и функциональная роль животного населения в природных и трансформированных экосистемах: Тезисы докладов I Международной научной конференции*. (С. 247). Д.: ДГУ.

Пилипенко, А. Ф., Смирнов, Ю. Б. (1984). Влияние антропогенных факторов на структуру комплексов почвообитающих беспозвоночных в лесных биогеоценозах Присамарья. *Биогеоценологические исследования на Украине*. (С.86–88). Львов: АН УССР.

Пилипенко, А. Ф., Смирнов, Ю. Б. (1989). Экологический мониторинг почвообитающих беспозвоночных степного Приднепровья. *Всесоюзное совещание по проблеме кадастра и учета животного мира*. Ч.4. (С. 223–224). Уфа: Б.И.

Пилипенко, А. Ф., Фатовенко М. А. (1973). Некоторые закономерности динамики численности почвенной мезофауны в лесных биогеоценозах степной зоны Украины. *Вопросы степного лесоведения*, 4, 139–142.

Покаржевский, А. Д. (1983). Популяции кивсяка *Sarmatiulus kessleri* Lohm. в лесостепных ландшафтах Центрально-Черноземного заповедника. *Вид и его продуктивность в ареале: Материалы III Всесоюзного совещания*. (С. 104–115). М.: Наука.

Пономаренко, А. Л., Онуфриев, Р. А. (1998). Биоразнообразие и консортивные связи животных в условиях заповедности как основа изучения функциональной основы экосистем. *Питання біоіндикації та екології: Тези міжнародної конференції*. (С. 150). Запоріжжя: ЗДУ.

Пономаренко, О. Л. (2018). Динаміка функціональної структури угруповань птахів індивідуальних консорцій ясена звичайного під впливом річної динаміки кліматичних факторів. *Екологія та Ноосферологія*, 29(1), 26–30.

Посредникова, А. В., Пахомов, О. Є, Кульбачко, Ю. Л. (2009). Формування угруповань ґрунтових водоростей та ґрунтової мезофауни на ділянках лісової рекультивації м. Жовті води. *Biosystems Diversity*, 17(1), 172–177.

Работнов, Т. А. (1978). *Фитоценология: учебное пособие для биологических факультетов вузов*. М.: МГУ.

Раменский, Л. Г. (1952). О некоторых принципиальных положениях современной геоботаники. *Ботанический журнал*, 37(2), 181–201.

Ремезов, Н. П. (1961). Разложение лесной подстилки и круговорот элементов в дубовом лесу. *Почвоведение*, 7, С. 36–41.

Селиванов, И. А. (1975). Консорции в системе биотических взаимоотношений в биогеоценозах. *Значение консортивных связей в организации биогеоценозов*: Материалы II Всесоюзного совещания по проблеме изучения консорций. (С. 11–17). Пермь: ПГПИ.

Соколов, Д. Ф. (1955). О роли кивсяков в разложении органического вещества в почвах под лесными насаждениями в степи. *Доклады АН СССР*, 100(3), 56–66.

Соловьев, С. В., Бригадиренко, В. В. (2003). Зоологическая индикация пойменного почвообразования в условиях Днепровско-Орельского заповедника. *Роль природно-заповідних територій у підтриманні біорізноманіття*: Матеріали наукової конференції. (С. 332–333). Канів.

Солодовникова, В. С., Климов, А. В., Ключник, О. И., Прудкин, Н. С., Белоконь, А. С. (1987). Мезофауна лесной подстилки как индикатор состояния дубравы на юге левобережной лесостепи Украины. *Проблемы почвенной зоологии*: Материалы IX докладов Всесоюзного совещания. (С. 275–276). Тбилиси: Мецниереба.

Стриганова, Б. Р. (1970). О разложении целлюлозы в кишечнике кивсяков *Pachyiulus foetidissimus* (Mur.) (Juloidea, Diplopoda). *Доклады АН СССР*, 190(3), 703–705.

Стриганова, Б. Р. (1975). Роль почвенных животных в процессах разложения растительных остатков. *Проблемы почвенной зоологии: Материалы V Всесоюзного совещания*. (С.32–35). Вильнюс.

Стриганова, Б. Р. (1980). *Питание почвенных сапрофагов*. М.: Наука.

Таращук, М. В., Безкровна О. В. (2000). Використання синекологічних показників колембол (Collembola, Entognatha) для оцінки ефективності рекультивації ґрунту. *Вісник Дніпропетровського університету. Біологія. Екологія*. 1(8), 49–58.

Тиунов, А. В. (2007). Метабиоз в почвенной системе: влияние дождевых червей на структуру и функционирование почвенной биоты: *Автореф. дисс. ... д-ра биол. наук: 03.00.16 Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцева РАН*. Москва.

Тишков, А. А. (2010). Биосферные функции и экосистемные услуги ландшафтов степной зоны России. *Аридные экосистемы*, 16(41), 5–15.

Травлеев, А. П., Топчиев, А. Г. (1969). О применении зоологического метода в диагностике почв лесов Днепропетровской области. *Проблемы почвенной зоологии: Тезисы докладов Всесоюзного совещания*. (С. 173–174). М.: Наука.

Тютюнник, Ю. Г. (2014). Генезис, різноманіття та екологія міських ґрунтів (на прикладі парку «Феофанія», Київ). *Ґрунтознавство*, 15(3–4), 65–73.

Хом'як, І. В., Костюк, В. С., Гарбар, О. В., Демчук, Н. С., Андрійчук, Т. В., Власенко, Р. П., Гарбар, Д. А., Онищук, І. П., Шпаковська, Л. В., Омельчук, М. О. (2021). Особливості розміщення оселищ із різним ступенем антропогенної трансформації. *Екологічні науки*, 7, 67–71.

Хохрякова, А. І. (2016). Ґрунти міста: особливості генезису, класифікація, діагностика. *Одеський національний університет. Географія та геологія*, 21(1), 110–125.

Царик, И. В. (1991). Ценопопуляционная структура высокогорных сообществ Карпат: *Автореф. ... доктор. дисс.* Днепропетровск.

Царик, Й., Царик, І. (2005). Різноманіття консортів і функціонування екосистем. *Біорізноманіття та роль зооценозу в природних і антропогенних екосистемах*: Матеріали III Міжнародної наукової конференції. (С. 168–170). Д.: ДНУ.

Царик, Й., Царик, І. (2007). Консортивні екосистеми г-К типів. *Біорізноманіття та роль тварин в екосистемах*: IV Міжнародна наукова конференція. (С.46–48). Д.: ДГУ.

Чернова, Н. М. (1975). Почвообразовательный процесс и сукцессии. *Проблемы почвенной зоологии*: Материалы V Всесоюзного совещания. (С.39–41). Вильнюс.

Чернова, Н. М. (1977). *Экологические сукцессии при разложении растительных остатков*. М.: Наука.

Чорнобай, Ю. М. (2000). *Трансформація рослинного детриту у природних екосистемах*. Львів: ДПМ НАН України.

Яковишина, Т. Ф. (2015). Класифікація антропогенно перетворених ґрунтів урбоекосистеми м. Дніпропетровськ. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*, 12(213), 65–70.

Aurambout, J. P., Endress, A. G., Deal, B. M. (2005). A spatial model to estimate habitat fragmentation and its consequences on long-term persistence of animal populations. *Environmental Monitoring and Assessment*, 109, 199–225. doi:10.1007/s10661-005-6266-1

Baker, G. H. (1998). Recognising and responding to the influence of agriculture and other land-use practices in Australia. *Applied soil ecology*, 9, 303–310. doi:10.1016/S0929-1393(98)00081-X

Baranovski, B. A., Ivanko, I. A., Gasso, V. Y., Ponomarenko, O. L., Dubyna, D. V., Roshchyna, N. O., Karmyzova, L. O., Poleva, J. L., Nikolaieva, V. V. (2021). Biodiversity of the Regional Landscape Park Samara Plavni within the first large reservoir in Europe Biodiversity of the Regional Landscape Park Samara Plavni within the first large reservoir in Europe. *Biosystems Diversity*, 29(2), 160–179. doi:10.15421/012121

Berke, S. K. (2010). Functional groups of ecosystem engineers: a proposed classification with comments on current issues. *Integrative and Comparative Biology*, 50(2), 147–157. doi:10.1093/icb/icq077

Bibic, A., Drobne, D., Strus, J., Byrne, A. (1997). Assimilation of zinc by *Porcellio scaber* (Isopoda, Crustacea) exposed to zinc. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 58(5), 814–821. doi:10.1007/s001289900407

Brygadyrenko, V. V. (2014). Influence of soil moisture on litter invertebrate community structure of pine forests of the steppe zone of Ukraine. *Folia Oecologica*, 41(1), 8–16.

Brygadyrenko, V. V. (2015a). Influence of tree crown density and density of the herbaceous layer on the structure of litter macrofauna of the deciduous forests of Ukraine steppe zone. *Visnyk of Dnipropetrovsk University. Biology. Ecology*, 23(2), 134–148. doi:10.15421/011520

Brygadyrenko, V. V. (2015b). Influence of moisture conditions and mineralization of soil solution on structure of litter macrofauna of the deciduous forests of Ukraine steppe zone. *Visnyk of Dnipropetrovsk University. Biology. Ecology*, 23(1), 50–65. doi:10.15421/011509

Brygadyrenko, V. V. (2016). Influence of litter thickness on the structure of litter macrofauna of deciduous forests of Ukraine's steppe zone. *Visnyk of Dnipropetrovsk University. Biology. Ecology*, 24(1), 240–248. doi:10.15421/011630

Brygadyrenko, V. V., Komarov, O. S. (2008). Trophic structure of litter mesofauna: Biomass differentiation between trophic levels. *Visnyk of Dnipropetrovsk University. Biology. Ecology*, 16(2), 111–118. doi:10.15421/010840

Costanza, R., Groot, R., Sutton, P., van der Ploeg, S., Anderson, S. J., Kubiszewski, I., Farber, S., Turner, R. K. (2014). Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change*, 26, 152–158. doi:10.1016/j.gloenvcha.2014.04.002

Didur, O., Kulbachko, Yu., Ovchynnykova, Yu., Pokhylenko, A., Lykholat, T. (2019). Zoogenic mechanisms of ecological rehabilitation of urban soils of the park zone of megapolis: Earthworms and soil buffer capacity. *Environmental Research, Engineering and Management*, 75(1), 24–33. doi:10.5755/j01.erem.75.1.21121

Eisenhauer, N. (2010). The action of an animal ecosystem engineer: Identification of the main mechanisms of earthworm impacts on soil microarthropods. *Pedobiologia*, 53(6), 343–352. doi:10.1016/j.pedobi.2010.04.003

Faly, L. I., Brygadyrenko, V. V. (2018). Influence of the herbaceous layer and litter depth on the spatial distribution of litter macrofauna in a forest plantation. *Biosystems Diversity*, 26(1), 46–51. doi:10.15421/011807

Farfan, M. A. (2010). *Some aspects of the ecology of millipedes*. Thesis for the Degree Master of Science of the Ohio State University.

Fontana, S., Berg, M. P., Moretti, M. (2019). Intraspecific niche partitioning in macrodetritivores enhances mixed leaf litter decomposition. *Functional Ecology*, 33(12), 2391–2401. doi:10.1111/1365-2435.13448

Gormsen, D., Hedlund, K., Huifu, W. (2006). Diversity of soil mite communities when managing plant communities on set-aside arable land. *Applied Soil Ecology*, 31(1–2), 147–158.

Grimaldi, M., Jiménez, J. J., McKey, D., Mathieu, J., Velasquez, E. Zangerlé, A. (2016). Ecosystem engineers in a self-organized soil: A review of concepts and future research questions. *Soil Science*, 181(3/4), 91–109. doi:10.1097/SS.0000000000000155

Hagner, M., Romantschuk, M., Penttinen, O. P., Egfors, A., Marchand, C., Augustsson, A. (2018). Assessing toxicity of metal contaminated soil from glassworks

sites with a battery of biotests. *Science of the total environment*, 613–614, 30–38. doi:10.1016/j.scitotenv.2017.08.121

Hornung, E., Kasler, A., Toth, Z. (2018). The role of urban forest patches in maintaining isopod diversity (Oniscidea). *Zookeys*, 801, 371–388. doi:10.3897/zookeys.801.22829

Isidorov, V., Tyszkiewicz, Z., Piroznikow, E. (2016). Fungal succession in relation to volatile organic compounds emissions from Scots pine and Norway spruce leaf litter-decomposing fungi. *Atmospheric environment*, 131, 301–306. doi:10.1016/j.atmosenv.2016.02.015

Johnstone, J. F., Allen, C. D., Franklin, J. F., Frelich, L. E., Harvey, B. J., Higuera, P. E., Mack, M. C., Meentemeyer, R. K., Metz, M. R., Perry, G. L. W., Schoennagel, T., Turner, M. G. (2016). Changing disturbance regimes, ecological memory, and forest resilience. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 14(7), 369–378. doi:10.1002/fee.1311

Jones, C. G., Lawton, J. H., Shachak, M. (1994). Organisms as ecosystem engineers. *Oikos*, 69, 373–386. doi:10.2307/3545850

Jones, C. G., Lawton, J. H., Shachak, M. (1997). Positive and negative effects of organisms as physical ecosystem engineers. *Ecology*, 78(7), 1946–1957. doi:10.2307/2265935

Kadem, D. E. D., Rached, O., Krika, A., Gheribi-Aoulmi, Z. (2004). Statistical analysis of vegetation incidence on contamination of soils by heavy metals (Pb, Ni and Zn) in the vicinity of an iron steel industrial plant in Algeria. *Environmetrics*, 15(5), 447–462. doi:10.1002/env.673

Kalisz, P. J., Powell, J. E. (2003). Effect of calcareous road dust on land snails (Gastropoda: Pulmonata) and millipedes (Diplopoda) in acid forest soils of the Daniel Boone National Forest of Kentucky, USA. *Forest Ecology and Management*, 186(1–3), 177–183. doi:10.1016/S0378-1127(03)00259-7

Kitz F., Steinwandter M., Traugott, M., Seeber, J. (2015). Increased decomposer diversity accelerates and potentially stabilises litter decomposition. *Soil biology and biochemistry*, 82, 138–141. doi:10.1016/j.soilbio.2015.01.026

Klymenko, G., Kovalenko, I., Lykholat, Y., Khromykh, N., Didur, O., Alekseeva, A. (2017). The integral assessment of the rare plant populations. *Ukrainian Journal of Ecology*, 7(2), 201–209. doi:10.15421/2017_37

Kul'bachko, Y. L., Didur, O. O., Loza, I. M., Pakhomov, O. E., Bezrodnova, O. V. (2015). Environmental aspects of the effect of earthworm (Lumbricidae, Oligochaeta) tropho-metabolic activity on the pH buffering capacity of remediated soil (steppe zone, Ukraine). *Biology Bulletin*, 42(10), 899–904. doi:10.1134/S1062359015100088

Kulbachko, Y. L., Didur, O. O., Pakhomov, O. Y., Loza, I. M. (2014). Trophic-metabolic activity of earthworms (Lumbricidae) as a zoogenic factor of maintaining reclaimed soils' resistance to copper contamination. *Visnyk of Dnipropetrovsk University. Biology. Ecology*, 22(2), 99–104. doi:10.15421/011414

Kulbachko, Y., Didur, O., Ovchynnykova, Y., Khromykh, N., Pokhylenko, A., Levchenko, B. (2019). Morpho-ecological structure of oribatid mites (Acariformes, Oribatida) communities in the forest litter of recultivated areas (Ukraine). *Biosystems Diversity*, 27(4), 334–341. doi:10.15421/011944

Kunakh, O., Yorkina, N., Zhukova, Y., Malasay, A. (2020). Environmental impact assessment: possible application of the ecomorphic approach. *Agrology*, 3(3), 133–144. doi:10.32819/020016

Lavelle, P., Dolédec, S., de Sartre, X. A., Decaëns, T., Gond, V., Grimaldi, M., Oszwald, J., Hubert, B., Ramirez, B., Veiga, I., de Souza, S., de Assis, W.S., Michelotti, F., Martins, M., Feijoo, A., Bommel, P., Castañeda, E., Chacon, P., Desjardins, T., Dubs, F., Gordillo, E., Guevara, E., Fonte, S., de Pilar, Hurtado, M., Lena, Ph., Lima, T., Marichal, R., Mitja, D., Miranda, I., Otero, T., Praxedes, C., Pocard, R., de Robert, P., Rodriguez, G., Sanabria, C., Tselouiko, S., Velasquez, A., Velasquez, E., Velasquez, J. (2016). Unsustainable landscapes of deforested

Amazonia: An analysis of the relationships among landscapes and the social, economic and environmental profiles of farms at different ages following deforestation. *Global Environmental Change*, 40, 137–155. doi:10.1016/j.gloenvcha.2016.04.009

Luai, V. B., Ding, S. B., Wang, D. (2019). The effects of litter quality and living plants on the home-field advantage of aquatic macrophyte decomposition in a eutrophic urban lake, China. *Science of the total environment*, 650(1), 1529–1536. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.09.104.

Mezhzherin, C., Chayka, Ю., Popov, B., Vlasenko, P., Zhalay, O., Harbar, O. (2021). Geographical parthenogenesis of earthworms (Oligochaeta, Lumbricidae) species communities in the situation of open landscapes in Ukraine. *Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine*, 2, 108–114.

Moroz, K. O., Lygun, A. V., Brygadyrenko, V. V. (2011). Litter mesofauna seasonal dynamics of anthropogenically transformed ecosystems in Dniprodzerzhinsk city. *Visnyk of Dnipropetrovsk University. Biology. Ecology*, 19(2), 93–102.

Oliveira, R. A. C., Marques, R., Marques, M. C. M. (2019). Plant diversity and local environmental conditions indirectly affect litter decomposition in a tropical forest. *Applied soil ecology*, 134, 45–53. doi:10.1016/j.apsoil.2018.09.016

Pokarzhevskij, A. D., Zaboev, D. P., Gordienko, S. A., Boháč, J., Gusev, A. A. (1989). Biogenic Turnover of Matter, Soil Biota and Problems of Agroecosystem Development. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 27(1–4), 281–291. doi:10.1016/0167-8809(89)90092-3

Ponomarenko, O. L. (2020). Influence of seasonal climatic factors on the dynamics of birds interactions with linden consortia. *Ecology and Noospherology*, 31(1), 38–45. doi:10.15421/032006

Putchkov A.V., Brygadyrenko V.V., Nikolenko N.Y. (2020). Ecological-faunistic analysis of ground beetles and tiger beetles (Coleoptera: Carabidae, cicindelidae) of metropolises of Ukraine. *Biosystems Diversity*, 28 (2), 163–174. doi:10.15421/012022

Rossi, F., Mallet, C., Portelli, C., Donnadieu, F., Bonnemoy, F., Artigas J. (2019). Stimulation or inhibition: Leaf microbial decomposition in streams subjected to complex chemical contamination. *Science of the total environment*, 648, 1371–1383. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.08.197

Sjursen, H., Michelsen, A., Holmstrup, M. (2005). Effects of freeze–thaw cycles on microarthropods and nutrient availability in a sub-Arctic soil. *Applied Soil Ecology*, 28(1), 79–93. doi:10.1016/j.apsoil.2004.06.003

Smrž, J., Norton, R. A. (2004). Food selection and internal processing in *Archegozetes longisetosus* (Acari: Oribatida). *Pedobiologia*, 48(2), 111–120. doi:10.1016/j.pedrobi.2003.09.003

Stott D. E., Moebius-Clune, N. (2017). Global Soil Security. Progress in Soil Science. In: Field, D. J., Morgan, C. L. S., McBratney, A. B. *Soil Health: Challenges and Opportunitie*. B (Eds.). Springer, Cham, 109–121.

Svyrydchenko, A. O., Brygadyrenko, V. V. (2014). Trophic preferences of *Rossiulus kessleri* (Diplopoda, Julidae) for the litter of various tree species. *Folia Oecologica*, 41(2), 202–212.

Tajovský, K., Šimek, M., Háněl, L., Šantrůčková, H., Frouz, J. (2015). Decomposition of oak leaf litter and millipede faecal pellets in soil under temperate mixed oak forest. *NASA Astrophysics Data System (ADS): EGU General Assembly*. 10(pp. 305–311). Vienna, Austria.

Zaitsev, A. S., Gongalsky, K. B., Nakamori, T., Kaneko, N. (2014). Ionizing radiation effects on soil biota: Application of lessons learned from Chernobyl accident for radioecological monitoring. *Pedobiologia*, 57(1), 5–14. doi:10.1016/j.pedobi.2013.09.005

Zhukov A. V., Kunah O. N., Novikova V. A., Ganzha D. S. (2016). Phytoindication estimation of soil mesopedobionts communities catena and their ecomorphic organization. *Ukrainian Journal of Ecology*, 6(3), 91–117. doi:10.15421/201676

Zhukov A., Gadorozhnaya G. (2016). Spatial heterogeneity of mechanical impedance of atypical chernozem: the ecological approach. *Ekológia (Bratislava)*, 35(3), 263–278.

Zhukov, O., Kunah, O. M., Dubinina, Y., Novikova, V. (2018). The role of edaphic and vegetation factors in structuring beta diversity of the soil macrofauna community of the Dnipro river arena terrage. *Ekologia (Bratislava)*, 37 (3 (48)), 301–327.

Zhukov, O., Yorkina, N., Budakova, V., Kunakh, O. (2021). Terrain and tree stand effect on the spatial variation of the soil penetration resistance in Urban Park. *International Journal of Environmental Studies*, doi:10.1080/00207233.2021.1932368

РОЗДІЛ 2

ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНУ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Клімат

Основну частину північного степового Придніпров'я займає Дніпропетровська область, а Миколаївська, Кіровоградська, Полтавська, Харківська, Донецька, Запорізька області входять до району дослідження лише невеликими частинами. Дніпропетровська область розташована в центральній частині степової зони України в природно-екологічній зоні степів Центрального Правобережжя і за фізико-географічними особливостями є типовим відображенням природи південного сходу України (Горейко, 2000) і знаходиться в підзоні різнотравно-типчаково-ковилового степу (Виноградов, 1950). Для нього характерно панування трав'янистих багаторічних ксерофітів із незначною кількістю мезофітів. Велике різноманіття екосистем на досить обмеженій території створює ріка Самара – один з найбільших притоків Дніпра. Координати крайніх точок на півночі – 49,547060°, 35,490324°, на півдні – 47,284837°, 36,288206°, на заході – 47,588433°, 32,736982°, на сході – 48,233738°, 37,502378°.

Дослідники характеризують клімат наших степів як континентальний, засушливий (річне випаровування значно перевищує кількість опадів: коефіцієнт зволоження 0,6 на півночі та 0,3–0,5 на півдні) (Бельгард, 1971). Характерні потужні вітри, особливо східного напрямку, які часто приносять дуже сухе повітря (з відносною вологістю в теплі дні менше 10 %). Степова зона лежить поза помітною сферою впливу систем вітрів азорського максимуму та ісландського мінімуму. Тут домінують роль відіграють континентальні повітряні маси, які проникають зі східного Сибіру і Центральної Азії під впливом зони високого атмосферного тиску – сибірського максимуму. Територія

знаходиться під активним впливом сухих східних вітрів, що й визначає найбільш характерні риси клімату – його континентальність і сухість (Чугай, 1975).

Температурні амплітуди зростають із заходу на схід. Зовсім вільними від заморозків залишаються червень, липень, серпень. Середньодобова температура становить $+8,3$ °С. Середньомісячна січнева температура становить $-5,6$ °С ($-38\dots+10$ °С), липнева – $+22$ °С ($+8,0\dots+38$ °С). За останні 30 років температура підвищилась на $0,5$ °С (Грицан, 2000).

Середня кількість опадів складає $442\text{--}500$ мм на рік. Найбільша кількість опадів випадає в першій половині літа, мінімальна – на початку весни та осені (Чугай, 1975). Зима помірна, повільна, порівняно суха, супроводжується пізніми заморозками, літо жарке, сухе, осінь тепліша весни. Степове Придніпров'є належить до північного вологого помірно холодного кліматичного району (територія рівнин басейну р. Дніпра та його притоків – Орілі та Самари). Тут знаходиться Самарський ліс та чисельні байраки.

2.2. Геоморфологічні та гідрологічні особливості

Регіон розташований у межах Східно-Європейської платформи. Зі структур першого порядку в межі району входять південно-східна частина Українського кристалічного щита та частина Дніпрово-Донецької впадини (Пасічний, 1992). Найбільші абсолютні відмітки рельєфу досягають $150\text{--}200$ м, а переважають – 100 м. Вони пов'язані з вододілами приток Дніпра та утворюють мезорельєф – складну мережу ярів і балок, щільність яких досягає $0,5\text{--}1,0$ км/км². Основні типи рельєфів району – низовинна рівнина (75 %) і плато (25 %). Геоморфологічний режим долин пов'язаний з особливостями епейрогенічних рухів (Бельгард, 1971).

Таким чином, район степового Придніпров'я характеризується поєднанням різних форм мезо- і мікрорельєфу (Бельгард, 1971; Травлев, 1977):

1. Присамарське крутобережжя з байрачними та пристінними лісами, залишками степової цілини, орними землями, штучними лісовими масивами, де переважає

приводороздільно-балковий ландшафт; 2. Долинно-терасовий ландшафт, що являє собою заплаву, арену, або другу піщану терасу, третю та четверту тераси; 3. Долинно-терасовий ландшафт обумовлює формування ґрунтоутворюючих порід відповідно до кожної тераси.

I тераса – заплава. Переважає гривоподібний рельєф, вершини грив представлені сухуватими (СП₁) і свіжими (СП₂), а в зниженнях – вологими (СП₃), сирими (СП₄) і мокрими (СП₅) місцезростаннями. У центральній і притерасній заплаві зустрічаються ті самі градації зволоження, але представлені глинистими ґрунтами (СГ). Часто тут переважають засолені варіанти (З). Завдяки розмаїтості геоморфологічних умов у заплаві формуються лучні, болотні і, зрідка, засолені ґрунти.

II тераса – арена (або піщана тераса) характеризується горбистим рельєфом, складається з піщаних (П) ґрунтів різних градацій зволоження. Поряд із дерново-лучними ґрунтами вона має вкраплення лугових та болотних ґрунтів.

Помітна риса III тераси – засоленість її вод і ґрунтів. Тут розташоване найбільше озеро області – Солоний лиман. Площа його водяного дзеркала 300 га. Вода в ньому відрізняється підвищеною мінералізацією в порівнянні з іншими озерами області. Крім того, на III терасі знаходиться ряд інших дрібних озер і значна площа солончаків, що впливають на загальний режим мінералізації всіх ґрунтів долини р. Самари. Таким чином, у ґрунтовому покриві спостерігається переплітання та взаємодія чорноземного, лучного, болотного процесів утворення ґрунтів та явищ осолонцювання та осолодіння (Белова, Травлєєв 1999). Слід зазначити, що басейн ріки Самари належить до найбільш багатих за родючістю ґрунтів районів і відрізняється високим рівнем розораності ґрунтів.

Направленість ґрунотвірного процесу зумовлюють ґрунтові води – важливий елемент екотопу (Бельґард, 1971). На плакорі вони знаходяться переважно глибоко (15–30 м) та на зволоження ґрунтів впливають мало. У долинах річок і балок рівень залягання ґрунтових вод знаходиться у межах 0,5–15,0 м. Ґрунтові води в умовах правобережжя р. Самари приурочені до супісків, лесоподібних суглинків делювіального походження (Травлєєв, 1981), у

прибережній частині – алювіального походження. У пристінних ділянках рівень ґрунтових вод на схилах змінюється від 5,0 до 10,0 м. У придолинних рівчаках і балках ґрунтові води виходять на поверхню. На рівнинних ділянках рельєфу глибина залягання ґрунтових вод змінюється в межах 8,0–15,0 м. У байрачних дібровах, окрім ґрунтових вод, характерна наявність верховодів і артезіанських вод, які відрізняються високим рівнем мінералізації. На плакорі рівень ґрунтових вод знаходиться на глибині 28–30 м (Травлеев, 1977). Для ґрунтових вод прируслової частини пойми характерне неглибоке залягання (4,0–6,0 м) та високий вміст солей. У центральній частині пойми глибина їх залягання становить 3,6–4,0 м, іноді за глибиною перевищує позначку рівня в річці, який на арені незначний (1,6–3,9 м) (Котович, 2002).

2.3. Ґрунти та рослинність

Різноманітність геоморфологічного профілю рослинного та тваринного світу обумовила утворення ґрунтів різних типів. У Придніпровському регіоні виділяють 277 видів ґрунтів, які відрізняються за гумусовістю, фізико-хімічними особливостями та механічним складом (Бекаревич та ін., 1996). Чорноземи становлять до 85 % території. Решта території складена лучними, лучно-лісовими, лучно-болотними, солончаковими та іншими типами ґрунтів (Белова, Травлеев, 1999). Створення штучних лісів на території степової зони сприяло розвитку ґрунтів із зональним типом ґрунтоутворення. В умовах степу під лісом формуються лісополіпшені чорноземи (Травлеев, 1977; Новосад, 2001).

Рослинність, що сформувалась в умовах степів, характерна для дереново-злакових багаторізотравних і дерновинно-злакових малорізотравних степів. Вони формуються в межах звичайних чорноземів і характеризуються пануванням вузьколистих злаків (Бельгард, 1950). У балочному ландшафті формуються байрачні діброви. Велику різноманітність у рослинний покрив вносять річкові долини Дніпра, Орілі, Самари, Вовчої та ін. (Бельгард 1958, 1960). Вирішальну роль у формуванні рослинних угруповань у долині річок відіграє в першу чергу тривалість повені. Усі заплавні ліси несуть на собі

відбиток засоленості. Передусім це характерно для малозаплавних лісів (у долині річок Самара, Вовча, Оріль). Безпосередньо до заплави прилягають піщані тераси, де формуються псамофільні степи з характерними дерновинними злаками та різнотрав'ям. У Самарському лісі ділянки псамофільного степу чергуються з сосняками, березняками, вільшаниками. На третій терасі в солонцово–солончакових умовах формується галофїтна рослинність.

Таким чином, деякі геоморфологічні особливості зумовлюють формування екстразонального типу рослинності, поряд із степовим зональним. Найбільше ця особливість відображена в різноманітних типах екосистем Присамар'я (Белова, Травлєєв, 1999).

2.4. Тваринний світ

У регіоні відмічено 12 тис. безхребетних тварин (Червона книга..., 2011). У лісовій підстилці зустрічається до 60 видів найпростіших та 150 видів ґрунтових безхребетних тварин (Пилипенко, 2001).

У регіоні відмічається понад 380 видів хребетних тварин. Іхтіофауна включає близько 50 видів, які представлені в основному лімнофільним комплексом у водосховищах і нижніх частинах малих річок та у верхів'ях річок – переважно реофільним комплексом. Іхтіологічне ядро складають щука, верховодка, лящ, плоскирка, головень, гїрчак, сом звичайний, судак, окунь річковий, бичок-пісочник, бичок-цуцик (Новицкий и др. 2005). Серед земноводних чисельними і звичайними виступають 10 видів: тритон звичайний, гостроморда жаба, трав'яна жаба, озерна жаба, ставкова жаба, жаба часникова, зелена та звичайна ропуха, кумка червоночерева, кроківка звичайна (Булахов та ін., 2009). Плазуни представлені 11 видами. Серед них найбільш поширені ящірка прудка та вуж звичайний, рідше зустрічаються: ящірка живородна та різнокольорова, мідянка та звичайна гадюка, степова гадюка, жовтобрюх, вуж водяний, полоз чотирьохсмугастий. У малих річках та заплавах озерах зустрічається черепаха болотяна (Булахов, 2007). Орнітофауна представлена 252 видами птахів. Розповсюджені у відкритих ландшафтах: жайворонок

польовий, чекан лучний, щеврик польовий, плиска жовта; у лісових угрупованнях – узлісні види: синиця велика, співучий та чорний дрізд, великий пістрявий дятел, вивільга, костогриз, сойка, сорока, сіра гава, грак, звичайний шпак, соловейко східний, яструбина і сіра славки, вівсянка звичайна, зяблик, зеленушка (Булахов та ін., 2009). Теріофауна налічує 62 види і характеризується наявністю таких представників як: ховрах сірий, сліпак звичайний, заєць сірий, лисиця звичайна – у степових системах; кріт європейський, бурозубка звичайна, вечірниця дозірна, вовк, ласка, куниця лісова, тхір лісовий, сарна європейська, кабан дикий, миша жовтогорла, нориця руда – у долинних лісах (Булахов, 2000).

Перелік посилань:

- Бекаревич, Н. Е., Левицина, Н. И., Сонько, М. П. (1996). *Почвы Днепропетровской области и пути их рационального использования*. Д.: Промінь.
- Белова, Н. А., Травлеев, А. П. (1999). *Естественные леса и степные почвы*. Д.: ДГУ.
- Бельгард, А. Л. (1950). *Лесная растительность юго-востока УССР*. К.: Наукова думка.
- Бельгард, А. Л. (1958). О биологическом и экологическом соответствии леса условиям местообитания. *Научные доклады высшей школы*, 2, 13–17.
- Бельгард, А. Л. (1960.). *Введение в типологию искусственных лесов степной зоны. Искусственные леса степной зоны Украины*. Харьков: ХГУ.
- Булахов, В. Л., Губкін, А. А., Пономаренко, О. Л., Пахомов, О. Є. (2009). *Біологічне різноманіття України. Дніпропетровська область. Птахи: Негоробцеподібні (Aves: Non-Passeriformes)*. Д. : Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту.
- Булахов, В. Л. (2000). Стан і перспективи відновлення хребетних тварин в природних та антропогенних екосистемах центрально-степового промислового Придніпров'я. *Вісник ДДУ*, 7, 7–14.

Булахов, В. Л., Гассо, В. Я., Пахомов, О. Є. (2007). *Дніпропетровська область. Земноводні та плазуни (Amphibia et Reptilia) Біорізноманіття України*. Д.: ДДУ.

Виноградов, Б. С. (1950). *Растительность степей. Животный мир СССР*. М.-Л.: АН СССР.

Горейко, В. А. (2000). *Экологическое обоснование создания лесоаграрных комплексов в степной зоне Украины*. Д.: Пороги.

Грицан, Ю. І. (2000). *Екологічні основи перетворюючого впливу лісової рослинності на степове середовище*. Д.: ДДУ.

Котович, А. В. (2002). Мониторинговые исследования уровней химизма грунтовых вод в границах Присамарского биосферного стационара. *Грунтознавство*, 2(1–2), 114–117.

Новицкий, Р. А., Христов, О. А., Кочет, В. Н., Бондарев, Д. Л. (2005). Аннотированный список рыб Днепровского (Запорожского) водохранилища. *Вісник Дніпропетровського університету. Біологія. Екологія*. 13(1), 172–190.

Новосад, К. Б. (2001). Еволюція чорноземів під лісовими фітоценозами. *Грунтознавство*, 1(1–2), 62–75.

Пасічний, Г. В. (1992). *Фізична та економічна географія Дніпропетровської області*. Д.: ДДУ.

Пилипенко, А. Ф., Жуков, А. В. (2001). Роль трофической структуры почвенной мезофауны для зоологической диагностики почв. *Структура и функциональная роль животного населения в природных и трансформированных экосистемах*. (С. 247). Д.: ДГУ.

Травлеев, А. П. (1977). Характеристика почв лесных культур биогеоценозов настоящих степей УССР. *Вопросы степного лесоведения и охраны природы: Труды Комплексной экспедиции ДГУ*. 5(С. 8–21). Д.: ДГУ.

Травлеев, А. П. (1981). Водно-физические свойства и водный режим почвогрунтов пристенных биогеоценозов Присамарья. *Биогеоценологические*

особенности лесов Присамарья и их охрана: Сборник научных трудов Комплексной экспедиции ДГУ. (С. 92–103). Д.: ДГУ.

Червона книга Дніпропетровської області (Тваринний світ) (2011). Д.: Новий Друк, 2011.

Чугай, Н. С. (1975). Климатические ресурсы степной зоны Украины и их использование для сельскохозяйственного производства. *Охрана природных условий и мелиорация среднего Приднепровья*, 100–107.

РОЗДІЛ 3

ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Польові методи дослідження безхребетних

Збір для експерименту підстилкових сапрофагів проводили за допомогою пасток Барбера. Як ємності використовували полістиролові одноразові стаканчики об'ємом 250 мл. Пастки закопували так, щоб їх верхній край знаходився на одному рівні з ґрунтом, і встановлювали одну від одної на відстані 1 м. Пастки перевіряли кожні 4–7 діб протягом сезонів 2005–2008 рр. Безхребетних переносили в садки. У лабораторних умовах визначення груп *Isopoda* та *Diplopoda* проводили за роботами І. Є. Локшиної (1969), Н. Г. Чорного, С. І. Головача (1993).

Облік безхребетних проводили за допомогою ручного розбирання підстилки. На кожній ділянці розбирали три ґрунтові проби розміром 50 x 50 см. Збір мезофауни з горизонтів: підстилка, 0–10 см, 10–20 см, 20–30 см, 30–40 см і так далі до глибини зустрічальності – повного зникнення мезофауни, проводиться на поліетилені розміром 1 м². Усіх тварин пінцетом перекладають у пробірку з 4 %-ним розчином формаліну. Після розбирання кожного горизонту в пробірку клали етикетку з датою збирання, номером ділянки, проби, горизонту. Для зручності вибірки з усіх горизонтів однієї проби розміщували в одній пробірці. Заповнену пробірку щільно закривали ватно-марлевою пробкою. Зберігали пробірки в темному місці, якщо необхідно доливали формалін (Бызова и др., 1987). Запаси підстилки визначалися за методикою Н. І. Базилевич і Л. Є. Родіна (1965) у шестиразовій повторності в байраку «Глибокий».

Структура кожної з лісових ділянок – складна система, яка включає п'ять компонентів (кліматоп, едафотоп, фітоценоз, зооценоз, мікробоценоз), пов'язаних між собою певними взаємозв'язками (Бельгард, 1971). Роль консументів – трансформаторів органіки полягає у посиленні процесів

біологічного кругообігу речовин (Белова, Травлєєв, 1999). Наземно-грунтова фауна на процеси ґрунтоутворення впливає через лісову підстилку. Роль підстилки у збереженні екологічної рівноваги полягає в першу чергу у впливі підстилки на водний баланс, збереження ґрунтового мікроклімату (Гиляров, 1970; Ганин, 1987; Пахомов, 1998; Brygadyrenko, 2014, 2016; Faly, Brygadyrenko, 2018). В умовах промислового та сільськогосподарського забруднення дослідження різноманіття герпетобію на певній території необхідне для проведення моніторингу стану природних екосистем. Зміну біоти можна прослідкувати на видовому, ценотичному або ландшафтному рівні. Важливе значення має використання тих методів моніторингу, які дозволяють дати оцінку всіх структурних компонентів біогеоценозу, що досліджується (Бригадиренко, Жуков, 1997; Бригадиренко, 2004; Кульбачко, 2006; Brygadyrenko, 2015). Дослідження комплексів ґрунтових безхребетних, як обов'язкового компоненту БГЦ, допомагає передбачити зміни ґрунту на стадії, коли інструментальні методи та хімічний аналіз не можуть дати оцінку ступеня стабільності (Гиляров, 1988).

Пробні ділянки обирали та описували згідно з принципами типологічної схеми лісорослинних умов О. Л. Бельгарда (1971). Були досліджені ділянки трьох з п'яти ландшафтів степового Придніпров'я, характерних для степової зони: приводороздільно-балочного (ПД 8, 15-18), долинно-терасового (ПД 3-6, 10-14), придолинно-балочного (ПД 1, 2, 7, 9).

Наведемо короткий опис досліджених пробних ділянок.

ПД 1. *Dn₁₋₂*. Насадження гледичії мертвопокровної на плакорі (48.7720, 35.4484). Вихідний тип посадки – рядовий. Зімкненість крон деревного ярусу становить 15 % (гледичія колюча – 10 %, в'яз гладкий – 5 %). Чагарниковий ярус складається із бузини чорної (15 %). Трав'яний ярус майже відсутній. Підстилка одношарова, трухоподібна, фрагментарна, потужністю 1,5 см (Чорнобай, 2000).

ПД 2. *Dac₁₋₂*. Ксеромезофільне акацієве насадження із тонконогом вузьколистим на плакорі (48.7720, 35.4816). Тип посадки – рядовий. Проективне

покриття деревного ярусу становить 40 %. Трав'яний ярус представлений підмаренником чіпким, подорожником ланцетолистим із домінуванням тонконога вузьколистого (проективне покриття 70 %). Загалом в травостої панують степові, лугові та бур'янисто-польові види. Підстилка двошарова, пухка, потужність – 1 см. Верхній шар складається із напіврозкладеного листя. Нижній шар – трухоподібний, легко відокремлюється від ґрунту.

ПД 3. *AB₁₋₂*. Ксеромезофільний березняк із куничником наземним на арені (48.7522, 35.3860). Зімкненість деревостану – 40 % (береза бородавчаста). Проективне покриття чагарникового ярусу – 15 % (бузина червона). Трав'яний ярус складається із тонконога вузьколистого, куничника наземного (5 %). Підстилка двошарова, потужністю 1,5 см. Верхній шар щільний, із цілим і напіврозкладеним листям. Нижній шар розсипчастий, погано відокремлюється від ґрунту.

ПД 4. *B₁₋₂*. Ксеромезофільний субор із тонконогом вузьколистим на арені (48.7485, 35.3840). Деревний ярус має проективне покриття 55 % і представлений сосною звичайною – 17 %, липою серцелистою (15 %), ясенем ланцетолистим (15 %), берестом (15 %). Чагарниковий ярус складає 10 %, в якому домінують бузина чорна, глід звичайний. Трав'яний ярус представлений тонконогом вузьколистим, зірочником ланцетолистим, медункою темною, кропивою дводомною, грястицею збірною і становить 10 %. Підстилка малопотужна (1,5 см), двошарова. Верхній шар представлений відмерлою сухою травою та опалим листям, нижній – розсипчастий.

ПД 5. *B₁₋₂*. Ксеромезофільний мертвопокривний субор на арені (48.7511, 35.3777). Проективне покриття деревостану становить 40 % (сосна звичайна, дуб звичайний). Чагарниковий ярус представлений підростом дуба звичайного (1 %). Трав'яний ярус майже не розвинений (менше 1 %). Підстилка двошарова, пухка, розсипчаста, потужністю 1,5 см. Границя між шарами майже не виражена.

ПД 6. *B₁₋₂*. Ксеромезофільний бор із куничником наземним на арені (48.7488, 35.3783). Зімкненість крон деревостану складає 10 % (дуб звичайний, сосна звичайна). Чагарниковий ярус погано розвинутий і представлений

підростом дуба звичайного (1,5 %). Трав'яний ярус має проєктивне покриття 30 %. Переважають куничник наземний (30 %), тонконог вузьколистий (3 %), очиток великий (1 %). Підстилка двошарова, потужністю 2,5 см. Верхній шар представлений відмерлою хвоєю, опалим напіврозкладеним листям, удвічі більший за нижній шар. Нижній – трухоподібний, важко відокремлюється від ґрунту.

ПД 7. *Dac'*₂. Короткозаплавна мезофільна липо-ясенева діброва із зірочником ланцетолистим (48.7564, 35.4370). Липово-ясенева діброва розташована в середній третині схилу південної експозиції правого берега р. Самари з крутизною 7-8° (пристін). Тип лісорослинних умов – суглинок свіжий (СГ₂). Тип світлової структури – напівтіньовий, III вікового ступеня. Тип деревостану: (8Яс. зв. 2Д. зв.)/(5К.г. 3К.п. 1В.о. 1Л.д.). Зволоження – атмосферно-транзитне, припливно-відпливне, що характерно для пристінного лісу. Вік діброви 66–75 років. Ґрунт – чорнозем лісовий, декарбонізований, середньогумусовий на делювіальних лесоподібних суглинках (Травлеєв, 1972). Рівень ґрунтових вод на глибині 8–12 м. Деревний ярус трохи зріджений і має проєктивне покриття 65 %, складається з дуба звичайного, липи серцелистої, ясеня ланцетолистого, клена польового. У чагарниковому підліску (20 %) переважає ліщина звичайна, бруслина бородавчаста та європейська, зрідка зустрічається бузина чорна. Домінуючими рослинами трав'яного ярусу є зірочник ланцетолистий, підмаренник чіпкий. Підстилка двошарова, суцільна, щільна, від ґрунту відділяється легко, загальною потужністю 2,5 см.

ПД 8. *D'n*₂. Короткозаплавна мезофільна мертвопокривна бересто-ясенева діброва (48.7605, 35.4257). Зімкненість крон деревостану становить 80 %. Домінантними видами виступають берест (5 %), ясен звичайний (10 %), клен польовий (1 %), в'яз гладкий (0,5 %), бузина чорна (0,5 %). Трав'яний ярус має проєктивне покриття 20 % і складається з кропиви дводомної (1 %), чистотіла великого (0,5 %), бугили лісної (5 %), гравілату міського (5 %), розхідника звичайного (4 %). Підстилка потужністю до 1 см, фрагментарна, майже відсутня.

ПД 9. *Dn*₂. Короткозаплавна мезофільна паклено-ясенева діброва із дібровним різнотрав'ям (48.7735, 35.4667). Ґрунт – чорнозем лісовий, байрачний,

вилужений, багатогумусовий, суглинистий на лесоподібних суглинках (Calcic Chernozem – за класифікацією WRB). Проективне покриття деревного ярусу становить 40 %. У деревному ярусі виділяється: клен гостролистий, дуб звичайний, ясен звичайний. Чагарниковий ярус із загальним покриттям 3 % представлений кленом польовим, бруслиною бородавчастою. Загальне покриття трав'яного ярусу становить 60 %. У травостої панують: грестиця збірна, фіалка запашна, гравілат міський, тонконіг лісовий, підмаренник чіпкий, розхідник звичайний. Лісова підстилка двошарова, щільна, зчеплена, складається з напіврозкладеного і розкладеного листя, потужність 2,5 см.

ПД 10. *Dn₂*. Короткозаплавна мезофільна паклено-ясенева діброва із зірочником (48.7621, 35.4209). Зімкненість деревостану – 40 %: клен гостролистий (15 %), ясен ланцетолистий (10 %), клен польовий (2 %). Чагарниковий ярус та підріст складає 0,5 %: ясен ланцетолистий бруслина європейська. Трав'яний ярус становить 80 % і представлений зірочником ланцетовидним (65 %), копитняком європейським (12 %), розхідником звичайним (3 %), гравілатом міським (0,1 %), медункою темною (0,1 %). Підстилка тришарова, щільна, зчеплена, потужністю 1,5 см.

ПД 11. *Dn'₂*. Короткозаплавна мезофільна паклено-ясенева діброва з бугилою (48.7547, 35.4584). Деревний ярус із загальним покриттям 60 % представлений кленом польовим (42 %), ясенем ланцетолистим (25 %). Зімкненість чагарників клену польового становить 15 %. Трав'яний ярус має проективне покриття 90 % і складається з бугили лісової (65 %), підмаренника чіпкого (30 %), розхідника звичайного (2 %), купини багатоквіткової (0,5 %). Підстилка потужністю в 1 см, щільна, не фрагментарна. Ґрунт – Phaeozem (за класифікацією WRB). Досліджена ділянка розташована на III терасі долинно-терасового ландшафту. Засоленість вод і ґрунтів є визначною рисою даної тераси. Тут є ряд дрібних озер і значна площа солончаків, що впливають на загальний режим мінералізації всіх ґрунтів долини р. Самара (Травлєєв, 1977). Таким чином, у ґрунтового покриві спостерігається взаємодія чорноземного, лучного, болотного процесів утворення ґрунтів і явищ осолонцювання та осолодіння (Белова, Травлєєв, 1999).

ПД 12. *Dn₃*. Короткозаплавна мезогігрофільна паклено-ясенева діброва мертвопокривна (48.7605, 35.4286). Проективне покриття деревного ярусу становить 35 %: клен польовий 30 %, ясен ланцетолистий 5 %. Чагарниковий ярус представлений кленом польовим, в'язом гладким, бруслиною європейською, і складає 20 %. Трав'яний ярус має проективне покриття 3 %, переважають кропива дводомна, розхідник звичайний, гравілат міський. Підстилка тришарова, потужністю 3 см. Верхній шар представлений опалим напіврозкладеним листям. Нижній – трухоподібний, важко відокремлюється від ґрунту.

ПД 13. *B₃*. Короткозаплавний мезогігрофільний івняк з кропивою дводомною (48.7548, 35.4518). Зімкненість крон деревного ярусу складає 43 %: верба біла 43 %, ясен ланцетолистий – 1,5 %. Чагарниковий ярус представлений слабо – ясен ланцетолистий 0,2 %, берест 0,1 %. Покриття трав'яного ярусу становить 90 %: кропива дводомна, хміль. Підстилка двошарова, потужністю до 1 см, щільна.

ПД 14. *B₃*. Короткозаплавний мезогігрофільний мертвопокривний осичник (48.7517, 35.3853). Проективне покриття деревостану складає 35 %. Чагарниковий ярус становить 5 %, і представлений кленом польовим, бруслиною європейською. Трав'яний ярус відсутній. Підстилка двошарова, пухка, потужністю 2 см.

ПД 15. *D'n_{3.4}*. Гігромезофільний березовий ольс із сирим великотрав'ям (48.7476, 35.3717). Зімкненість крон деревостану складає 70 %: вільха клейка (65 %), осика (10 %). Чагарниковий ярус та підріст становлять (2 %) і представлені осикою (15 %), березою бородавчастою (10 %), в'язом гладким (0,1 %), бруслиною європейською (0,1 %), дубом звичайним (0,1 %). Трав'яний ярус з проективним покриттям 3 %: кропива дводомна 0,1 %, зірочник ланцетовидний 0,1 %, хвилівник звичайний 0,1 %. Підстилка двошарова, пухка, потужністю 5,5 см. Верхній шар представлений опалим напіврозкладеним листям. Нижній – дернинний, важко відокремлюється від ґрунту.

ПД 16. *Dn₄*. Короткозаплавний гідрофільний ольс із кропивою дводомною та яглицею (48.7311, 35.4004). Зімкненість крон деревостану складає 30 %. У деревному ярусі переважають вільха клейка 15 %, клен гостролистий 15 %, дуб звичайний 2 %. Чагарниковий ярус представлений ліщиною звичайною (2 %) та кленом гостролистим 3 % і становить 5 %. Трав'яний ярус розвинений слабо (10 %): кропива дводомна (7 %), яглиця звичайна 4 %. Підстилка тришарова, щільна, зчеплена, потужністю 2 см.

ПД 17. *D'n₄*. Гідрофільний короткозаплавний вільшаник із сирим великотрав'ям (48.7462, 35.4051). Деревний ярус має проєктивне покриття 45 % і складається з вільхи клейкої, ясеня ланцетолистого. Чагарниковий ярус розвинутий слабо (1 %): ясеня ланцетолистий, бузина червона, берест. Трав'яний ярус представлений осокою, кропивою дводомною, вовконігом європейським і складає 60 %. Підстилка двошарова, потужністю 1 см. Верхній шар – пухкий, представлений опалим напіврозкладеним листям. Нижній – коренево-мережаний, важко відокремлюється від ґрунту.

ПД 18. *D'n₄*. Гідрофільний короткозаплавний вільшаник із болотним великотрав'ям (48.7308, 35.4060). Зімкненість крон деревного ярусу складає 40 %: вільха клейка, ясеня ланцетолистий, берест. Чагарниковий ярус розвинутий слабо (1 %), представлений берестом та бруслиною європейською. Проєктивне покриття трав'яного ярусу 50 % – осока, кропива дводомна, яглиця звичайна, зірочник ланцетолистий. Підстилка тришарова, щільна, зчеплена, потужністю 2 см.

ПД 19. Насадження ясеня ланцетолистого з розхідником звичайним (СГ₂) на міжріччі р. Дніпра та р. Мокра Сура (48.4751, 34.9703). Пробна ділянка знаходиться поблизу коксохімічного заводу м. Дніпра ПАТ «Evraz – Дніпровський металургійний завод» (коксохімічний завод спеціалізується на виробництві коксу, смоли сульфату амонію і продуктів переробки). Зімкненість крон деревного ярусу складає 60 %: ясеня ланцетолистий – 40 %, робінія звичайна – 30 %. Чагарниковий ярус (20 %) представлений жостером проносним – 12 %, бузиною чорною – 15 %. Трав'яний ярус (80 %) складають розхідник звичайний – 80 %, яглиця звичайна –

2 %, чистотіл великий – 3 %. Підстилка розвинена слабо, потужністю до 1 см, одношарова, пухка, легко відділяється від ґрунту. Обрана ділянка може слугувати місцем для відпочинку мешканців розташованого поблизу житлового масиву «Західний».

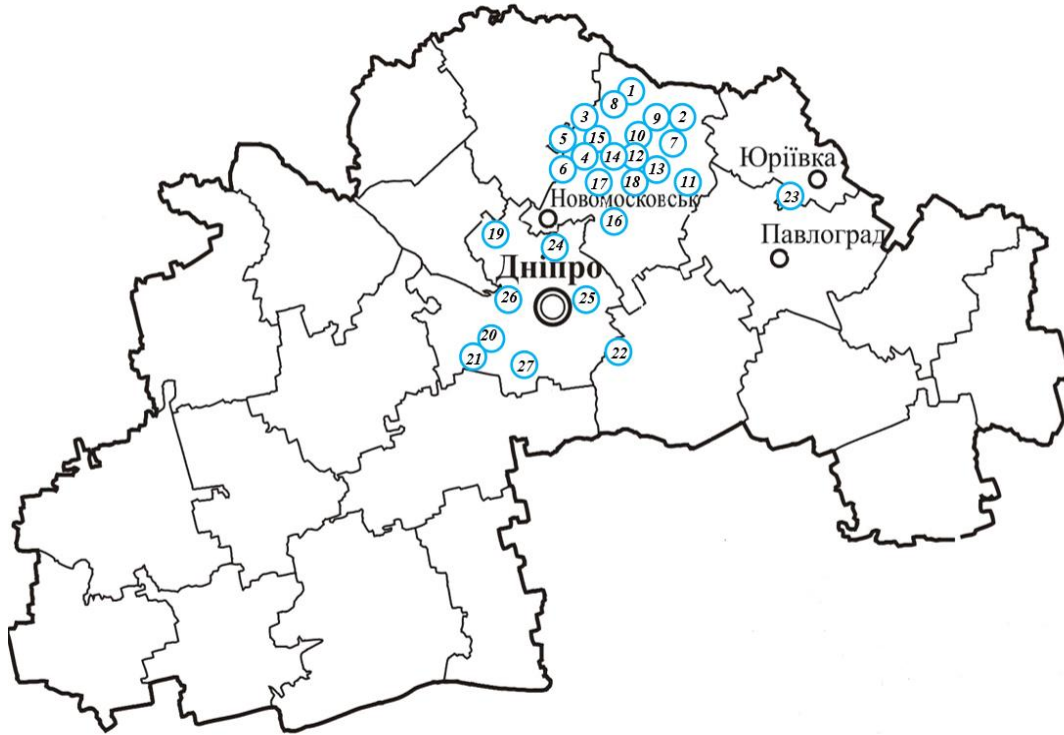



Рис.3.1. Карта-схема території проведення досліджень:  – пробні ділянки. Номери пробних ділянок відповідають наведеним у «Матеріалах і методах досліджень».

ПД 20. Насадження ясеня ланцетолістого (СГ₁) (48.4559, 34.9877). За фізико-географічним положенням це міжріччя р. Дніпра та р. Мокра Сура. Пробна ділянка розташована на відстані 50 м від заводу з виробництва великих шин ВАТ «Дніпрошина». Деревний ярус (35 %) представлений ясенем ланцетолістим. Проективне покриття чагарникового ярусу складає 15 % (клен гостролистий – 8 %, клен татарський – 10 %). Підстилка (1,5 см) фрагментарна, одношарова, щільна. Поблизу обраної ділянки знаходиться автомагістраль з інтенсивним рухом автомобілів різної категорії.

ПД 21. Дубове насадження (СГ₁₋₂) розташоване в межах житлового масиву «Західний» м. Дніпро (48.4540, 34.9321). Деревний ярус представлений дубом звичайним (65 %). Проективне покриття чагарникового ярусу складає 50 % (акація жовта – 45 %, жостір проносний – 5 %, бруслина європейська – 6 %, скупція

звичайна – 3 %, бузина чорна – 10 %). Трав'яний ярус (30 %) представлений копитняком європейським – 25 %, гравілатом міським – 11 %, яглицею звичайною – 3 %, чистотілом великим – 1 %, кропивою жалкою – 1 %. Підстилка потужністю 2 см, двошарова, пухка. Обрана ділянка слугує рекреаційною зоною для мешканців масиву. За класифікацією Н. А. Ємець (2001), розташування підприємств західної промзони міста знаходиться в «небезпечній» зоні забруднення атмосферного повітря.

ПД 22. Ділянка II тераси (арена) р. Дніпра (ВС"5). Пробна ділянка знаходиться поблизу Придніпровської теплоенергетичної станції, у межах житлового масиву «Придніпровськ» (48.4018, 35.1157). Деревний ярус має проєктивне покриття 5 % і представлений тополею білою і в'язом граблистим. Чагарниковий ярус (6 %) складає бересклет бородавчастий. Проєктивне покриття трав'яного ярусу (осока) – 12 %. Моховий ярус складає 60 %. Підстилка малопотужна (до 1 см), одношарова, фрагментарна. Обрана ділянка знаходиться поблизу приватного сектору та головної автомагістралі масиву. За класифікацією Н. А. Ємець (2001), район розміщення Придніпровської ТЕС знаходиться в «помірно небезпечній» зоні забруднення атмосферного повітря (3–5 км).

ПД 23. Територія урочища «Затишне» заказника «Волошанська дача» (48.7412, 36.0085). Матеріал знаходили у штучному кленовому насадженні на водорозділі (Юріївський район). Деревний ярус має проєктивне покриття 60 % – клен гостролистий, клен польовий, клен татарський. Ґрунт – Calcic chernozem (за класифікацією WRB). Лісова підстилка фрагментарна, малопотужна (до 1,5 см).

ПД 24. Лісопарк «Дружби народів» (48.5390, 35.0921) розташований у північній частині м. Дніпро, знаходиться на початку Новомосковського шосе, навпроти смт Слобожанське. Домінантна деревна порода – дуб звичайний. Підстилка двошарова, щільна, зчеплена, складається з напіврозкладеного і розкладеного листя дуба та інших деревно-чагарникових порід (2,5 см). Проби лісової підстилки відбирали на території парку, де практично відсутнє рекреаційне навантаження, тобто відбувається процес натуралізації зелених насаджень. З підстилки відбирали листя клена польового, які в подальшому

використовували в експерименті як кормову базу ківсяка сірого. Ґрунтовий покрив – урбоґрунти.

ПД 25. Парк «Севастопольський» (48.4466, 35.0608) розташований у центральній частині м. Дніпро, у межах приводороздільно-балкового ландшафту правого берега р. Дніпро. Підстилка розсипчаста, одношарова, складається з відмерлого листя ясена звичайного, робінії псевдоакації та дуба звичайного (1 см). Ґрунтовий покрив – урбаноземи.

ПД 26 парк «Зелений гай» (48.4355, 35.0050) знаходиться в межах привододільно-балкового ландшафту правого берега р. Дніпро та охоплює одну з міських балок (Рибальська балка). Загальна площа парку – 40 гектарів. Ґрунтовий покрив парку частково зберіг природну структуру, його відносять до категорії антропогенно поверхнево-перетворених ґрунтів – урбоґрунтів (за Строганова и др., 1998). Основні деревні породи – клен польовий, ясень ланцетолистий, дуб звичайний. Підстилка розсипчаста, двошарова, потужна (2,5–3,0 см).

ПД 27 парк імені Писаржевського (48.4324, 35.0156) знаходиться в межах привододільно-балкового ландшафту правого берега р. Дніпро, розташований на вододілі між двома балками (Рибальська та Червоноповстанська). Загальна площа парку – 7,9 гектару. Площа під зеленими насадженнями – 7 га. Ґрунтовий покрив відносять до категорії глибоко перетворених ґрунтів – урбаноземів (за Строганова и др., 1998). Основні деревні породи – робінія псевдоакація, ясень ланцетолистий, клен польовий. Підстилка розсипчаста, одношарова, малопотужна (до 2 см).

3.2. Лабораторні методи дослідження

З метою встановлення особливостей розподілу сапрофагів досліджували хімічні характеристики ґрунту. Для хімічного аналізу проб ґрунту застосовували методи колориметрії (визначення фосфору за І. М. Гриндель (1982) та азоту), полум'яної фотометрії (визначення калію та натрію), комплексонометричний

(визначення кальцію та магнію) і титрометричний методи з використанням мокрого спалювання для визначення гумусу за Є. В. Аринушкіною (1970).

Нами проведено хімічний аналіз (Похиленко, 2005), який виявив, що ґрунти діброви гумусові (6,6–7,2 %) підкислені (рН водний 4,9–5,2) з високим вмістом обмінних форм кальцію (31–60 мг-екв./100 г ґрунту), магнію (0,4–16,0 мг-екв./100 г ґрунту), рухомих форм фосфору (48,7–69,9 мг/100 г ґрунту) та калію (110–159 мг/100 г ґрунту). Уміст нітратного азоту виявився середнім (1,32–1,81 мг/100 г ґрунту). Ґрунти ольсу притерасної заплави – гумусові (7,8–8,5 %) підкислені (рН водний 5,7–6,2) з вмістом обмінних форм кальцію 11,6–25,6 мг-екв./100 г ґрунту, магнію – 1,59–20,40 мг-екв./100 г ґрунту, рухомого фосфору – 11,6–64,7 мг/100 г ґрунту, калію – 20,8–118,8 мг/100 г ґрунту, вміст нітратного азоту (1,04–2,42 мг/100 г ґрунту) – середній. Ґрунти дослідженого осичника можна охарактеризувати наступним чином: вміст гумусу складає 5,6–6,3 %; кальцію – 17,5 мг-екв./100 г ґрунту; магнію – 1,6–9,2 мг-екв./100 г ґрунту; фосфору – 46,31–59,16 мг/100 г ґрунту; калію – 35,2–67,5 мг/100 г ґрунту; кислотність водного розчину складає 4,7–5,2. Уміст азоту виявився високим – 2,11–2,50 мг/100 г ґрунту.

У лабораторно-польових умовах особин *Diplopoda* утримували в мікрокосмах, базуючись на методиках Б. Р. Стриганової (1980).

Для порівняння морфометричних параметрів обраних представників *Julidae* за статтю та ценопопуляцій між собою, за З. Г. Пришутовою (2001) обрано мінімальний комплекс ознак: *L, l, S, F, T, A, a, G, g, E, e, U, u, C* (які відображають: 1) загальні розміри тіла: довжина (*L*) та ширина (*l*) тіла, кількість сегментів (*S*), довжина тельсона (*T*), довжина коллума (*C*), довжина задньої кінцівки (*F*); 2) розміри органів дотику: особливості головної капсули – довжина (*A*) та ширина вусика (*a*); 3) розміри елементів гнатохілярію – частини ротового апарату: довжина (*G*) та ширина (*g*) гнатохілярію, довжина (*E*) та ширина (*e*) язичкових пластин, довжина (*U*) та ширина (*u*) проментума. Гнатохілярій являє собою складну нижню губу (елемент злиття другої пари максилл), функція якої – підтримування харчових шматочків). Визначені такі співвідношення обраних

ознак: *L/S*, *L/L*, *I/A*, *I/F*, *I/C*, *A/F*. Розміри особин визначали за допомогою окуляр-мікрометра бінокюляра МБС-9. В дослідженні трофічної активності сапрофагів при моделюванні різних умов навколишнього середовища (трофічної бази, хімічного стресу) диплопод *R. kessleri* утримували в садках 18*10*10 см, перфорованих з одного боку. Оскільки опад широколистяних дерев вважається високоякісною трофічною базою і для диплопод також, тваринам було запропоновано цілісну підстилку, у складі якої було листя: *R. pseudoacacia* L., *A. campestre* L., *Q. robur* L. Один раз в 2–3 дні підстилку контейнерів зволожували розпилювачем задля компенсації втрати вологи. Для контролю температури та рівня вологості використовували сенсор Xiaomi Mijia Bluetooth Hygrothermograph LYWSDCGQ/01ZM. У лабораторії контейнери утримували в тіньовому місці. Кількість *R. kessleri* становила по 20 особин у боксі. Кількість тварин у кожному боксі підтримувалась у разі загибелі окремих екземплярів, додаванням особин до заданого числа. В природних умовах у Самарському лісі (Новомосковський, Павлоградський райони Дніпропетровської області), щільність представників *Julidae* – 112 екз./м². Загалом використано 133 особини *R. kessleri*, дослід тривав 21 добу.

Використовувалися методи прямого мікроскопіювання фіксованих препаратів рідини кишкової порожнини, фарбованих фуксином та за Грамом. Проводилося безпосереднє спостереження *in vivo* на препараті «висяча крапля». Кількісний підрахунок бактерій кишківника проводився за методом Коха. Виділення чистих культур відбувалося шляхом висіву рідини кишківника на універсальні поживні середовища МПА та МПБ (HiMedia, India). Ідентифікацію функціональних груп бактерій проводили шляхом пересіву чистих культур на диференціально-діагностичні середовища (Імшенецького (Зенова и др., 2002), енто (HiMedia, India), Гетчинсона (Сеги, 1983)). Визначення бактерій проводили за Берджі (1980). Визначення видів раковинних амеб проводили за Ю. Г. Гельцер із співавторами (Гельцер и др., 1995).

Видовий склад водоростей визначений на основі методів роботи з культурами – використовували модифіковане середовище Болда (BBM)

(Гайсина и др., 2008). Були використані ловильні скельця, розміщені на поверхні підстилки в чашках Петрі. На поверхню агарового середовища поміщали залишки рослин із підстилки і заливали кількома краплями дистильованої води. Культури піддавалися дії системи світлопостачання, що працювала в режимі 12:12. Визначення водоростей проводили за допомогою оптичного мікроскопу «XSP – 128B» зі збільшенням $\times 1000$ разів із використанням масляного занурення. Для таксономічно критичних видів водоростей застосовували метод альгологічних чистих культур з виділенням окремих клітин прожилковим посівом або мікропіпетуванням під інвертованим мікроскопом. При мікроскопічному дослідженні зразки фарбували інтравітально розчином Люголя: у разі дослідження крохмалю 0,1%-ний розчин метиленового синього, а в разі загального контуру та структури слизу 1%-ний розчин чорнила. Мікроскопічне дослідження проводили за допомогою світлового мікроскопа із заглибними лінзами XSM – 20, MBI. Як модельний вид обрано представника диплопод *R. kessleri*, як трофічну базу – листяний опад таких порід дерев: *A. campestre* L., *Populus nigra* L., *R. pseudoacacia* L., плоди *U. laevis* Pall. Для витяжки з підстилки та екскрецій диплопод, змиву з поверхні тіла ківсяків використовували дистильовану воду. Експеримент тривав два тижні. Визначення таксономічного складу альгофлори проведено на кафедрі ботаніки Мелітопольського державного педагогічного університету під керівництвом д-ра біол. наук, проф. І. А. Мальцевої.

Уміст цинку (валова форма) визначали в тілі ківсяків *R. kessleri* та їх екскрементах атомно-адсорбційним методом на спектрофотометрі AAS-30 (Karl Zeiss, Jena, Germany). Зразки спочатку висушували до постійної ваги за температури 105°C і спалювали (сухе озолення), потім аналізували на вміст цинку (Хавезов, Цалев, 1983). Для досліду використовували статевозрілих особин. Багатоніжок тримали в пластикових боксах (12 штук) 0,2*0,1 м² по 10 екземплярів у кожному. Експеримент тривав три тижні, у трикратній повторюваності.

3.3. Методи статистичного аналізу даних

Планування експерименту – це процедура вибору числа умов проведення дослідів, необхідних та достатніх для вирішення поставленого завдання з потрібною точністю. Умови експерименту представляють у вигляді таблиці – матриці планування, де строки відповідають різноманітним дослідом, а стовпчики – значенням факторів (Адлер и др., 1976). Результати експерименту використовуються для побудови математичної моделі об'єкта дослідження – рівняння, яке пов'язує параметр оптимізації та фактори (функція відгуку).

Для виявлення достовірності відмінностей між статями та ценопопуляціями застосовували однофакторний дисперсійний аналіз та методи факторного аналізу (Коросов, 1996). Для порівняння середніх значень морфологічних ознак самиць і самців ківсяка застосовували критерій достовірно значущої різниці групових середніх Тьюкі (Honestly Significant Difference test, або Tukey's HSD test) (Лакин, 1990; Mcdonald, 2014). Цей критерій дозволяє коректно здійснювати множинні парні порівняння середніх. Різниця середніх визнана статистично значущою за довірчою ймовірністю $P \geq 95 \%$. Для встановлення морфологічних взаємозв'язків та з'ясування трофічних преференцій будували рівняння регресії. Розгляд зв'язку і взаємодії між кількома морфометричними характеристиками здійснювали з використанням методів множинної регресії, які дозволили побудову математичної моделі з високою прогнозною здатністю. Для мінімізації кількості незалежних змінних, що входять до запропонованої моделі, можна скористатися покроковою множинною регресією. Така процедура покрокового відбору є одним з критеріїв вибору «найкращої» моделі, а також інструментом для відсіву незначущих ознак (характеристик). В основу вибору тієї або іншої моделі покладено одержання працездатної моделі (в її простій формі) з найменшим числом коефіцієнтів і високим ступенем апроксимації даних. Якщо всі змінні в моделі виражені в порівняних (безрозмірних) одиницях (стандартизованому виді), то їх коефіцієнти показують «вплив» обраних незалежних змінних на залежну змінну.

У живих системах взаємозв'язки між ознаками неоднакові. Групи найбільш коригуючих ознак виділяють у кореляційні плеяди, а для наочності результати групування ознак у плеяди відображають графічно у вигляді окружності – кореляційного циліндру (Терентьев, Ростова, 1977). Таким чином виокремлюють більш стійкі кориговані параметри (ознаки-індикатори). Характеристика кореляційних плеяд включає визначення таких показників: G – потужність плеяди (число ознак, членів плеяди), G/k – відносна потужність (k – загальне число ознак, що досліджують), D – міць плеяди (середня арифметична абсолютних величин коефіцієнтів кореляції всередині плеяди). Цей метод можна використовувати не тільки в ґрунтово-екологічних дослідженнях. Наприклад, його застосовують для виявлення впливу гідрохімічних показників на гомеостазіс деяких представників водної біоти (Klymenko et al., 2018).

Одержані результати щодо вмісту цинку в диплоподах та їх екскреціях опрацьовували статистичними методами (дисперсійний аналіз) (Юденков, 2013). У дослідженні трофічної активності сапрофагів при моделюванні різних умов навколишнього середовища (трофічної бази, градацій вологості, хімічного стресу) проводили статистичну обробку даних – описову статистику (середнє, стандартне відхилення, довірчий інтервал). Статистичне опрацювання даних здійснювали в пакеті програм Microsoft Excell 2000, Statistica 6.0 та Statgraphics Centurion XV Version 15.1.02.

Перелік посилань:

Адлер, Ю. П., Маркова, Е. В., Грановский, Ю. В. (1976). *Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий*. М.: Наука.

Аринушкина, Е. В. (1970). *Руководство по химическому анализу почв*. М.: МГУ.

Белова, Н. А., Травлеев, А. П. (1999). *Естественные леса и степные почвы*. Д.: ДГУ.

Бельгард, А. Л. (1971). *Степное лесоведение*. М.: Лесная промышленность.

Бригадиренко, В. В., Жуков, А. В. (1997). Структура и диагностические возможности комплексов герпетобионтов степного Приднепровья. *Франція та Україна, науково-практичний досвід у контексті діалогу національних культур: Тези доповідей IV міжнародної конференції*. 2(2), С.13–14. Д.: Поліграфіст.

Бригадиренко, В. В. (2004). Закономірності формування комплексів підстилкових безхребетних заплачних лісових екосистем р. Самари Дніпровської. *Природничі науки на межі століть: Матер. науково-практ. конф.* (С. 14–15). Ніжин: НДПУ.

Бызова, Ю. Б., Гиляров, М. С., Дунгер В. (1987). *Количественные методы в почвенной зоологии*. М.: Наука.

Гайсина, Л. А., Фазлутдинова, А. И., Кабиров, Р. Р. (2008). *Современные методы выделения и культивирования водорослей*. Уфа: Изд-во БГПУ.

Ганин, Г. Н. (1987). Роль диплопод в разложении лесного опада на юге Хабаровского края. // *Проблемы почвенной зоологии: Материалы 9 Всесоюзного совещания*. (С. 66–67).

Гельцер, Ю. Г., Корганова Г. А., Алексеев, Д. А. (1995). *Определитель почвообитающих раковинных амёб*. М.: Изд-во МГУ.

Гиляров, М. С. (1970). Беспозвоночные – разрушители подстилки и пути повышения их полезной деятельности. *Экология*, 2, 8–21.

Гиляров, М. С. (1988). Животные и почвообразование. *Биология почв Северной Европы*, 7–16.

Гриндель, И. М. (1982). *Фотометрические методы в почвенном анализе*. М.: МГУ.

Емец, Н. А. (2001). Зонирование территории города Днепропетровска по степени загрязнения атмосферного воздуха. *Екологія кризових регіонів України: Тези доп. міжнар. конф.* (С. 106). Д.: ДНУ.

Залесская, Н. Т., Рыбалов, Л. Б. (1982). *Фауна мокриц (Crustacea, Isopoda, Oniscoidea) Москвы и Московской области. Почвенные беспозвоночные Московской области.* М.: Наука.

Зенова, Г. М., Степанов А. Л., Лихачева А. А., Манучарова, Н. А. (2002). *Практикум по биологии почв.* М.: МГУ.

Коросов, А. В. (1996). *Экологические приложения компонентного анализа.* Петрозаводск: Петрозавод. гос. ун-т.

Краткий определитель бактерий Берджи. (1980). М.: Мир.

Кульбачко, Ю. Л. (2006). Влияние весеннего половодья на вертикальное распределение почвенных беспозвоночных в прирусловой пойме р. Самара. *Вісник Дніпропетровського університету. Біологія. Екологія.* 14(1), 96–100.

Лакин, Г. Ф. (1990). *Биометрия.* М.: Высш. шк.

Локшина, И. Е. (1969). *Определитель двупарноногих многоножек Diploroda равнинной части европейской территории СССР.* М.: Наука.

Пахомов, А. Е., Жуков, А. В. (1998). Формирование почвенной мезофауны под влиянием педурбационной активности микромаммалий. *Вісник Дніпропетровського університету,* 4, 72–77.

Похиленко, А. П. (2005). Залежність розподілу сапрофагів від хімічних характеристик ґрунту. Типологія лісів степової зони, їх біорізноманіття та охорона: Тези доповідей міжнародної конференції. (С. 165–167). Д.: ДНУ.

Пришутова, З. Г. (2001). Морфометрический анализ частей тела и межпопуляционная изменчивость у кивсяка *Rossiulus kessleri (Julidae)*. *Зоологический журнал,* 80(7), 789–796.

Родин, Л. Е., Базилевич, Н. И. (1965). *Динамика органического вещества и биологический круговорот зольных элементов и азота в основных типах растительности Земного шара.* М.-Л.: Наука.

Стриганова, Б. Р. (1980). *Питание почвенных сапрофагов.* М.: Наука.

Строганова, М. Н., Мягкова, А. Д., Прокофьева, Т. В., Скворцова, И. Н. (1998). *Почвы Москвы и экология города.* ПАИМС.

Сэги, Й. (1983). *Методы почвенной микробиологии*. М.: Колос.

Терентьев, П. В., Ростова, Н. С. (1977). *Практикум по биометрии*. Л.: Изд-во Ленинградского ун-та.

Травлеев, А. П., Григоренко, О. С. (1972). Материалы к характеристике грунтовых вод Присамарского стационара. *Вопросы степного лесоведения и охраны природы: Труды Комплексной экспедиции ДГУ*. 2, (С. 22–27) Д.: ДГУ.

Травлеев, А. П. (1977). Условия формирования, глубина залегания и химизм грунтовых вод Присамарья. *Вопросы степного лесоведения и охраны природы: Тр. комплексной экспедиции ДГУ*. 5, (С. 54–63). Д.: ДГУ.

Хавезов, И., Цалев, Д. (1983). *Атомно-абсорбционный анализ*. Л.: Химия.

Чёрный, Н. Г., Головач С. И. (1993). *Двупарноногие многоножки равнинных территорий Украины*. К.: Наукова думка.

Юденков, В. А. (2013). *Дисперсионный анализ*. Минск: Бизнесофсет.

Brygadyrenko, V. V. (2014). Influence of soil moisture on litter invertebrate community structure of pine forests of the steppe zone of Ukraine. *Folia Oecologica*, 41(1), 8–16.

Brygadyrenko, V. V. (2015). Community structure of litter invertebrates of forest belt ecosystems in the Ukrainian Steppe Zone. *International Journal of Environmental Research*, 9(4), 1183–1192.

Brygadyrenko, V. (2016). Effect of canopy density on litter invertebrate community structure in pine forests. *Ekolygia (Bratislava)*, 35(1), 90–102.

Faly, L. I., Brygadyrenko, V. V. (2018). Influence of the herbaceous layer and litter depth on the spatial distribution of litter macrofauna in a forest plantation. *Biosystems Diversity*, 26(13), 46–51.

Klymenko, M. O., Biedunkova, O. O., Klymenko, O. M., Statnyk I. I. (2018). Influence of river water quality on homeostasis characteristics of cypriniform and perciform fish. *Biosystems Diversity*, 26(1), 16–23.

Mcdonald, J. H. (2014). *Handbook of biological statistics*. 3rd edn. Sparky House Publishing, Baltimore, Maryland.

РОЗДІЛ 4

СТРУКТУРА УГРУПОВАНЬ *DIPLOPODA* У ПРИРОДНИХ ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМАХ ТА ДЕРЕВНИХ НАСАДЖЕННЯХ

4.1. Угруповання та топічні консортивні зв'язки диплопод у природних лісових насадженнях

Серед елементів зооценозу до групи чутливих тварин, життєдіяльність яких пригнічується у відповідь на зміну факторів середовища, належить тваринне населення ґрунтового та підстилкового біогеогоризонту (Suding et al., 2005; Кульбачко и др., 2014; Дідур та ін., 2017). Діагностичну цінність безхребетних обумовлює швидка та показова відповідна реакція. Насамперед вид реагує зниженням чисельності, навіть при незначному відхиленні умов існування від оптимуму. Серед різних розмірних груп ґрунтово-підстилкової фауни безхребетних значущими діагностичними властивостями характеризується мезофауна (Гиляров, 1965; Мордкович, 1991).

Дослідниками (Пилипенко, 1973; Негрбов и др., 2004; Shaokui et al., 2004; Kulbachko et al., 2015) показано, що чисельність та різноманіття мезофауни залежить від деяких характеристик ґрунту (вологості, рН, гранулометричного складу, частки органічної речовини) та, можливо, рослинного покриву. Тобто кожен тип ґрунту характеризується певним таксономічним складом, що й використовують для виявлення окремих властивостей ґрунту.

У результаті проведених досліджень за період 2003–2015 рр на території Присамарського міжнародного біосферного стаціонару ім. О.Л. Бельгарда виявлені чотири види мокриць: *Porcellio scaber* (Latreille, 1804) і *Porcellio laevis* (Latreille, 1804), *Armadillidium pulchellum* (Brandt, 1833), *Trachelipus rathkei* (Brandt, 1833) та п'ять видів диплопод: *R. kessleri*, *M. sjaelandicum*, *Megaphyllum rossicum* (Timotheew, 1897), *Julus terrestris* (Lignau, 1903), *Schizoturanus dmitriewi* (Timotheew, 1897) (Похиленко, 2003; 2004; 2005). Перший вид диплопод є домінуючим.

З метою виявлення залежності розподілу окремих груп сапрофагів від хімічних характеристик ґрунту нами були досліджені такі пробні ділянки: паклено-ясенева діброва (байрачний чорнозем – ПД 9), ольси притерасся (заплавні лісово-болотяні та заплавні лучно-лісові – ПД 17, ПД 18), осичник та колок (ПД 3, ПД 14). Кореляційний аналіз розподілу сапрофагів від зазначених хімічних характеристик ґрунту показав такі закономірності розповсюдження цих безхребетних. Залежність коефіцієнтів кореляції між нейтральними значеннями рН та чисельністю *Diplopoda* достовірно позитивна ($r = +0,48...+0,57$) й достовірно негативна для *Isopoda* ($r = -0,34...-0,49$).

Між значеннями вмісту кальцію в ґрунті та чисельністю мокриць родини *Armadillidae* коефіцієнт кореляції достовірно позитивний ($r = +0,41$) й достовірно негативний для таких видів диплопод як *R. kessleri* ($r = -0,46$) та *M. sjaelandicum* ($r = -0,53$).

Залежність між чисельністю мокриць *P. scaber* і вмістом гумусу має достовірно негативне значення коефіцієнту кореляції ($r = -0,37$), у той час як для диплопод *R. kessleri* та *M. sjaelandicum* ці коефіцієнти достовірно позитивні ($r = +0,49$ та $+0,34$ відповідно).

Значення коефіцієнтів кореляції між умістом фосфору та чисельністю всіх досліджених видів сапрофагів достовірно негативні ($r = -0,36...-0,56$).

Достовірно позитивні значення коефіцієнтів кореляції між умістом калію та чисельністю мокриць ($r = +0,66...+0,82$), у той час як для двопарноногих багатоніжок значення коефіцієнтів достовірно негативні ($r = -0,32...-0,67$).

Коефіцієнти кореляції між чисельністю *Armadillidae* та всіма видами диплопод на одній ділянці достовірно негативні ($r = -0,33...-0,60$).

Слід зазначити, що між значеннями індексу Шенона та рН, індексу Пілоу та вмістом азоту спостерігаються достовірно позитивні значення коефіцієнтів кореляції ($r = +0,31$ та $+0,56$ відповідно).

Таким чином, щільність ґрунтової мезофауни знаходиться в прямо пропорційній залежності від умісту гумусу, значення рН також впливають на

формування комплексу ґрунтових безхребетних. Кореляційний аналіз показав залежність розповсюдження сапрофагів від таких хімічних характеристик ґрунту, як рН, уміст гумусу, кальцію, фосфору та калію. Виявлено позитивну залежність між нейтральними значеннями рН та чисельністю диплопод, але негативну – для ізопод. Відмічено достовірно негативні значення коефіцієнтів кореляції між чисельністю мокриць *P. scaber* і вмістом гумусу, а також достовірно позитивні – між чисельністю всіх видів мокриць і вмістом калію, а для двопарноногих багатоніжок – навпаки.

Обстежені 22 (ПД 1 – ПД 22) пробні ділянки залежно від ступеня зволоження можна віднести до шести гігротопів (від ксеромезофільного до гігрофільного) (Бельгард, 1971). Зволоження – найважливіший фактор, що визначає структуру населення ґрунтів степу (Жуков, 2009).

Розподіл підстилкових безхребетних на досліджених ділянках нерівномірний та характеризується домінуванням окремих таксономічних груп залежно від типу зволоження (рис. 4.1). Ряд *Isopoda* (29 %) та представники *Julida* (9 %) переважають на ділянках з ксеромезо- та мезофільним типом зволоження. Це збігається з літературними даними (Нефедьев, 2001), за якими лімітуючим фактором для існування диплопод є надзначне зволоження. Крім вищезгаданих груп, найчисельнішими виявилися таксономічні групи *Hymenoptera* (*Formicidae* – 23 %), *Coleoptera* (*Carabidae*, *Silphidae* – 18 %) та *Aranea* (6 %). Такий склад домінантних таксонів характерний для лісових екосистем півдня степової зони (Бригадиренко, 2006). Сумарна чисельність *Geophila* (4 %), *Opiliones* (2 %), *Polydesmida* (1 %) значно поступається. За видами на всіх ділянках домінують: *R. kessleri*, *M. rossicum* (*Diplopoda*), із ряду полідесмусів виявлено один вид *S. dmitriewi* на досліджених ділянках від ксеромезофільного акацієвого насадження з тонконогом вузьколистим на плакорі (*Dac*₁₋₂) до короткозаплавного гігрофільного ольсу із сирим великотрав'ям (*D'n*₄). Утім, у короткозаплавній мезофільній паклено-ясеневій діброві із дібровним різнотрав'ям (*Dn*₂) спостерігається найбільша його кількість. Із ряду ізопод масовими виявились *P. scaber* та *A. pulchellum*, останній

є одним із домінантних видів короткозапавної мезофільної паклено-ясеневої діброви із дібровним різнотрав'ям (Dn_2), серед представників родини форміцид це – *Formica polyctena* (Foster, 1850), *Formica glauca* (Ruzsky, 1895), *Formica cunicularia* (Latreille, 1798). Для турунів та мертвоїдів наймасовішими видами виявились *Amara communis* (Panzer, 1797), *Amara similata* (Gyllenhal, 1810), *Calosoma inquisitor* (Linnaeus, 1758), *Calathus (Dolichus) halensis* (Schaller, 1783), *Calathus fuscipes* (Goeze, 1777), *Carabus cancellatus* (Illiger, 1798), *Harpalus rufipes* (De Geer, 1774), *Harpalus tardus* (Panzer, 1796), *Pterostichus niger* (Schaller, 1783), *Pterostichus oblongopunctatus* (Fabricius, 1787), *Nicrophorus vespillo* (Linnaeus, 1758), *Silpha carinata* (Herbst, 1783), *Silpha obscura* (Linnaeus, 1758), *Geotrupes stercorarius* (Linnaeus, 1758).

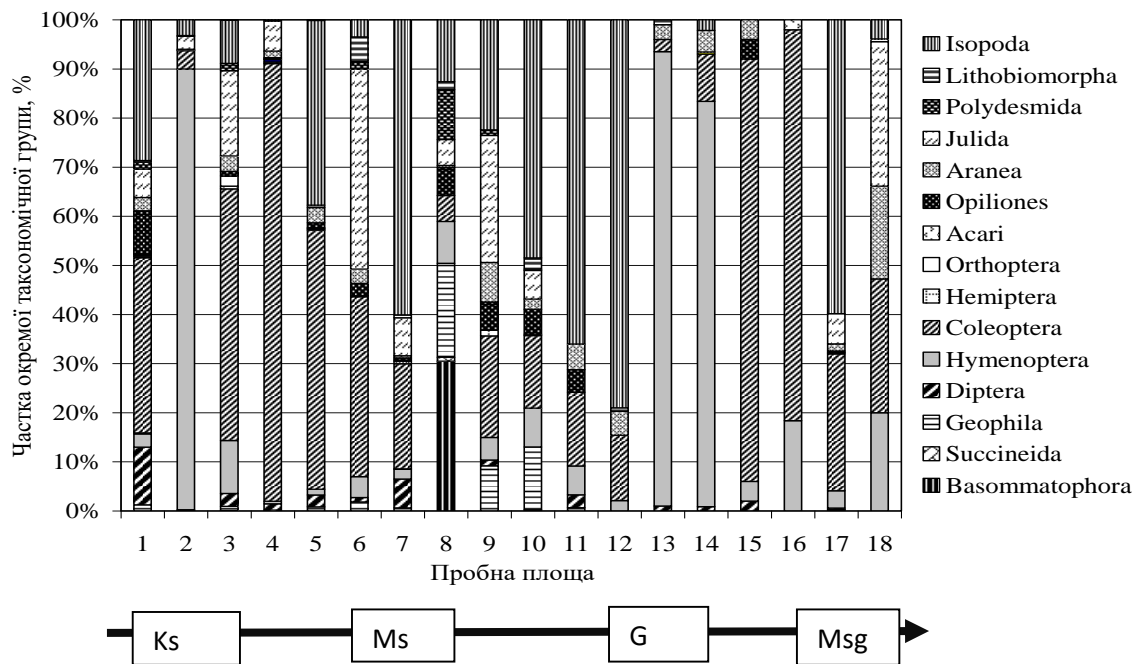


Рис. 4.1. Таксономічна структура герпетобію лісових екосистем північного степового Придніпров'я; номери пробних ділянок відповідають наведеному у «Матеріалах і методах досліджень»

Максимальна щільність підстилкової мезофауни відмічається в короткозапавній мезофільній паклено-ясеневої діброві із дібровним різнотрав'ям (ПД 9) (11,1 особини/10 пастко-діб) (рис. 4.2). Такі високі значення обумовлені домінуванням окремих груп підстилкових сапрофагів – *Isopoda*

(*P. scaber*, *A. pulchellum*), *Julida* – (*R. kessleri*), та *Formicidae* (*F. polycтена*, *F. glauca*, *F. cunicularia*).

Сумарна щільність підстилкової мезофауни в інших типах лісу значно поступається. Відносно високі значення цього показника реєструються в короткозаплавній мезофілній мертвопокровній бересто-ясеневій діброві ($D'n_2$) (4,3 особини/10 пастко-діб) за рахунок поширених рухливих видів стоніг (*P. scaber*, *P. Leavis*), мертвоїдів (*S. carinata*) та окремих видів турунів (*Pterostichus niger* (Shaller, 1783), *P. oblongopunctatus*), що пов'язано з кількісною характеристикою підстилки (малопотужна, фрагментарна).

Мінімум сумарної щільності підстилкової мезофауни (0,41–0,55 особини/10 пастко-діб) спостерігається на ділянках короткозаплавного мезогірофільного івняку із кропивою дводомною (B_3), ксеромезофільного акацієвого насадження з тонконогом вузьколистим на плакорі (Dac_{1-2}), короткозаплавного мезогірофільного мертвопокровного осичника (B_3). На згаданих ділянках в значній кількості присутні представники *Cydnidae*, *Opiliones*, *Curculionidae*, *Grillidae*, *Sepsidae*, *Trochoza*, *Pardosa* (акацієві насадження), *Coleoptera*: *Carabus marginalis* (Fabricius, 1794), *H. rufipes*, *H. tardus*, *Pt. melanarius*, *S. carinata*, *S. obscura*.

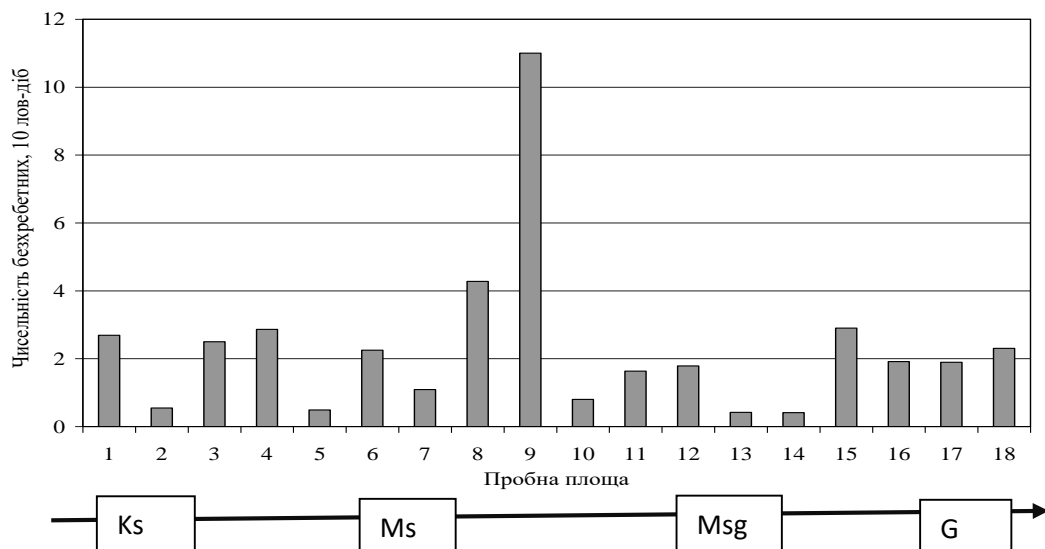


Рис. 4.2. Сумарна чисельність герпетобію лісових біогеоценозів північного степового Придніпров'я; номери пробних ділянок відповідають наведеному у «Матеріалах і методах досліджень»

Кількість видів безхребетних значно коливається залежно від типу лісу. Максимум видового різноманіття спостерігається в штучних лісових біогеоценозах: ксеромезофільному мертвопокровному насадженні гледичії (Dn_{1-2}) та ксеромезофільному акацієвому насадженні із тонконогом на плакорі (Dac_{1-2}) (115, 114 видів відповідно) (рис. 4.3). Розріджена структура деревостану, близькість лучних екосистем обумовлює потрапляння до пасток лісових, еврибіонтних і степових видів безхребетних. Високим різноманіттям підстилкової мезофауни характеризуються також окремі заплавні біогеоценози: короткозаплавна мезофільна паклено-ясенева діброва із зірочником ланцетолистим (Dac'_2) і короткозаплавна мезофільна липово-ясенева діброва із широкотрав'ям (Dn_2) (111, 82 відповідно), де за кількістю видів переважають *Coleoptera* (*Carabidae*, *Staphylinidae*), *Aranea* (*Linyphiidae*, *Lycosidae*, *Theridiidae*, *Thomisidae*) тощо. Мінімальне видове різноманіття відмічається в деяких аренних лісових екосистемах. Наприклад, у ксеромезофільному березняку із куничником наземним (14 видів).

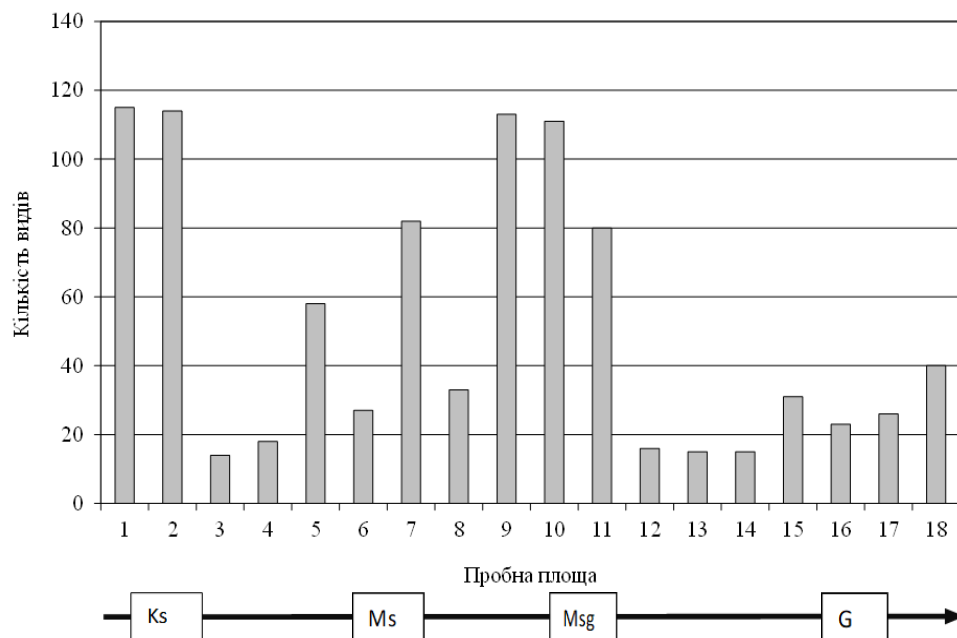


Рис. 4.3 Кількість видів у складі герпетобію лісових біогеоценозів північного степового Придніпров'я; номери пробних ділянок відповідають наведеному у «Матеріалах і методах досліджень»

Кореляційна залежність між індексами біологічного різноманіття та рівнем режимного зволоження не спостерігається (рис. 4.4). При цьому максимальне

значення різноманіття за Шенноном відмічається в ксеромезофільному акацієвому насадженні з тонконогом вузьколистим на плакорі (Dac_{1-2}). Мінімальні значення зафіксовані у ксеромезофільному березняку із куничником наземним на арені (B_{1-2}).

Зауважимо, що максимальне значення інтегрального різноманіття відмічено в короткозаплавній мезофільній паклено-ясеневій діброві із зірочником (Dn_2) та ксеромезофільному борі із куничником наземним на арені (B_{1-2}).

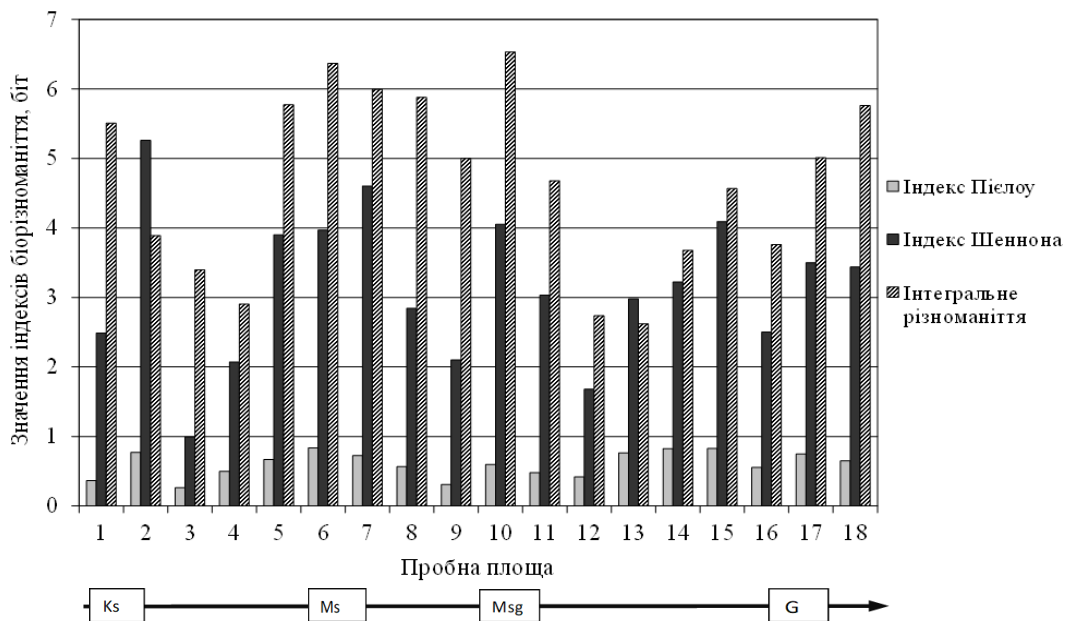


Рис.4. 4. Значення індексів біорізноманіття герпетобію лісових біогеоценозів північного степового Придніпров'я; номери пробних ділянок відповідають наведеному у «Матеріалах і методах досліджень»

За період досліджень для фітофагів відмічено найменшу кількість видів, що потрапили до пасток Барбера. Серед рослиноїдних комах домінували: *Dorcadion holosericus* (Rossi, 1790), *Eurigaster maurus* (Linnaeus, 1758), *Galeruca tanacetii* (Linnaeus, 1758), *Otiorrhynchus sp.*, *Cicadellidae sp.* Домінування сапрофагів над зоофагами спостерігається на всіх досліджених ділянках, крім ксеромезофільного мертвопокровного насадження гледичії на плакорі, де реєструвалась значна кількість фітозоофагів (*A. communis*), *A. similata*, *H. rufipes*, *H. tardus*). Найбільша чисельність сапрофагів (*A. pulchellum*, *P. scaber*, *M. rossicum*, *R. kessleri*) відмічена в короткозаплавній мезофільній паклено-ясеневій діброві із дібровним різнотрав'ям (Dn_2). Їх значна щільність

реєструвалася в мезогігро- та мезофільних типах лісу (Корольов та ін., 2008; Корольов, Похиленко, 2009). Частка пантофагів за рахунок мурах (*F. polyctena*, *F. glauca*), *Lasius fuliginosus* (Latreille, 1798)) досягла максимальної чисельності в паклено-ясеневій діброві з дібровним різнотрав'ям (рис. 4.5).

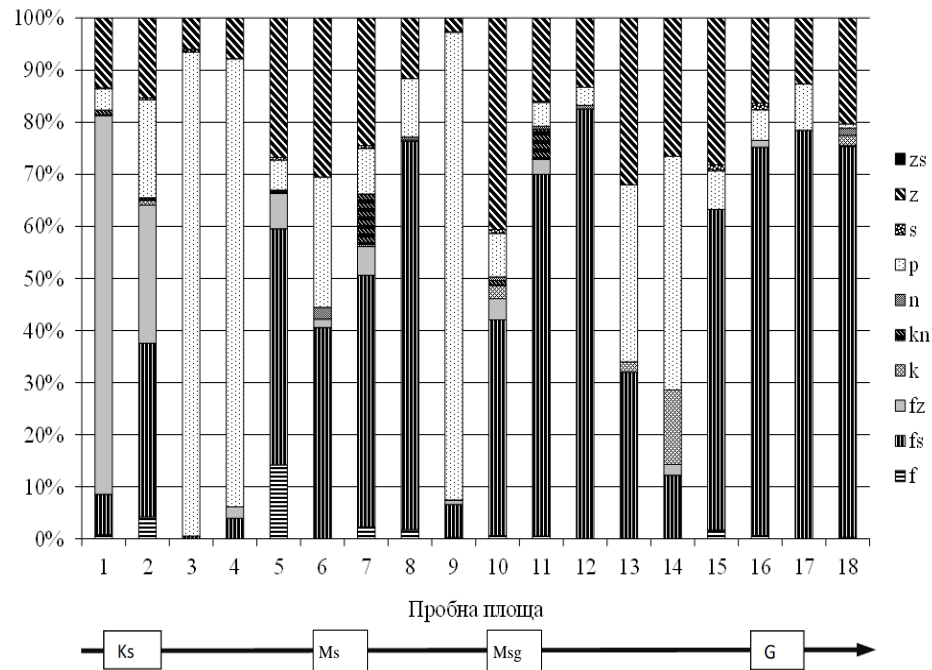


Рис. 4.5. Трофічна структура герпетобіо лісових біогеоценозів північного степового Придніпров'я: zs – зоосапрофаги, z – зоофаги, s – сапрофаги, p – пантофаги, n – некрофаги, kn – копронекрофаги, k – копрофаги, fz – фітозоофаги, fs – фітосапрофаги, f – фітофаги; номери пробних ділянок відповідають наведеному у «Матеріалах і методах досліджень»

Розподіл підстилкової фауни за розмірними характеристиками – важливий критерій оцінки стану екосистеми. Розмір тіла визначає вразливість для хижаків та впливає на відношення часу фуражування до часу, витраченого для запобігання контакту з хижаками. Це відношення визначає, зокрема, шкідливість рослиноїдних комах (Ovadia, Schmitz, 2002). Виразеним домінуванням груп із середніми розмірами (4–16 мм) характеризуються штучні лісові насадження північного степового Придніпров'я. У ксеромезофільному мертвопокривному насадженні гледичії на плакорі (Dn_{1-2}) сумарний відсоток безхребетних розмірної ланки 4–15,9 мм становить 89 %, що пояснюється домінуванням у зазначених типах лісу евтрибонтних видів турунів (*H. rufipes*, *A. communis*,

A. similata). При цьому спостерігається відсутність дрібних форм розміром до 2 мм. Частка великих за розмірами безхребетних (6–7ма групи) представлена окремими видами твердокрилих (*P. melanarius*, *P. niger*, *S. Carinata*) і диплопод (*M. rossicum*, *R. kessleri*), досить незначна і становить 11 %. Невирівняність розмірної структури герпетобію, випадіння окремих груп свідчить про деградацію біогеоценозу, його нестійкий стан, знаходження екосистеми на початкових стадіях сукцесії (Жуков, 1999).

Збільшення частки великих за розмірами безхребетних (за рахунок високої чисельності *Julida*) і відсутність дрібних розмірних груп відмічається в аренних лісових біогеоценозах (рис. 4.6). Нерівномірність розмірної структури герпетобію спостерігається у ксеромезофільному березняку з куничником наземним на арені (AB_{1-2}), де через поширення видів *Formicidae* (*F. polystena*, *F. glauca*, *L. fuliginosus*) і *Staphylinidae* (*Drusilla canaliculata* (Fabricius, 1787)) реєструється супердомінування (96 %) безхребетних із розмірами тіла 4–7,9 мм. Виняток становлять ксеромезофільний бір із куничником наземним (B_{1-2}) і гігромезофільний березовий вільшаник із сирим великотрав'ям ($D'n_{3-4}$) на арені. На згаданих пробних ділянках розмірна структура відносно вирівняна, наявні безхребетні розмірної групи до 1 мм (4 %), збільшений відсоток розмірної групи 2–3,9 мм (13 %) та рівномірно розподілені інші групи.

У заплавлених лісових екосистемах діапазон розмірів герпетобіонтної мезофауни варіює залежно від типу лісу. Відносно рівномірно поширені безхребетні майже всіх розмірних груп у короткозаплавному гідрофільному вільшанику із сирим великотрав'ям. У інших типах заплавлених лісів зберігається тенденція до збільшення відсотка герпетобіонтів середніх і великих розмірів (6–7ма групи), зменшення частки або переважна відсутність дрібних форм.

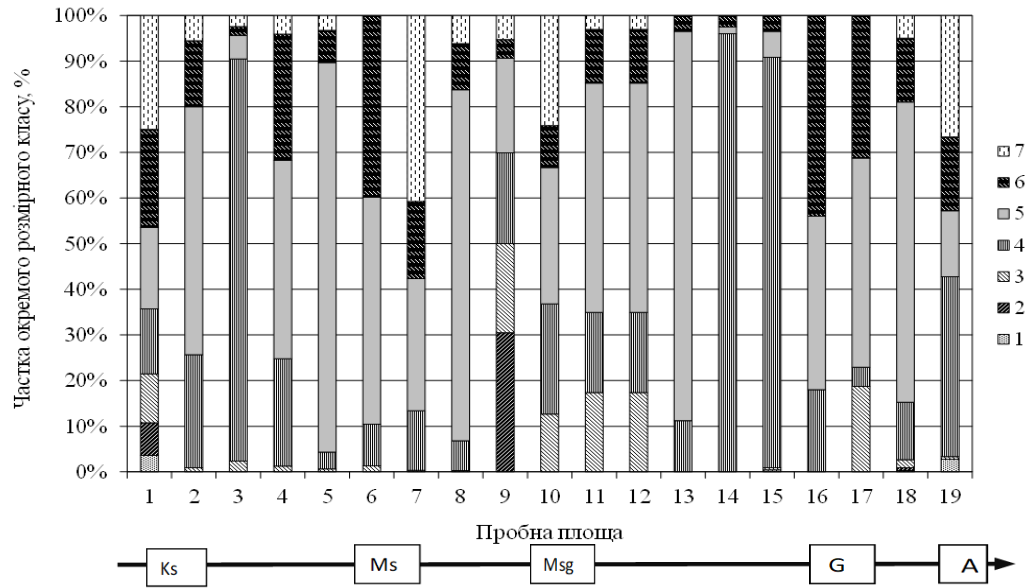


Рис. 4.6. Розмірна структура герпетобію лісових біогеоценозів: 1 – 0–0,9 мм, 2 – 1–1,9 мм, 3 – 2–3,9 мм, 4 – 4–7,9 мм, 5 – 8–15,9 мм, 6 – 16–31,9 мм, 7 – 32–63,9 мм:

Більшість досліджених лісових біогеоценозів Присамар'я характеризується високим видовим різноманіттям герпетобію (рис. 4.7). Сумарна чисельність безхребетних зазнає суттєвих коливань. В окремих типах лісу (ксеромезофільному мертвопокровному насадженні гледичії, ксеромезофільному акацієвому насадженні із тонконогом на плакорі, короткозаплавній мезофільній паклено-ясеневій діброві із зірочником ланцетолістим тощо) кількість видів досягає 100–115.

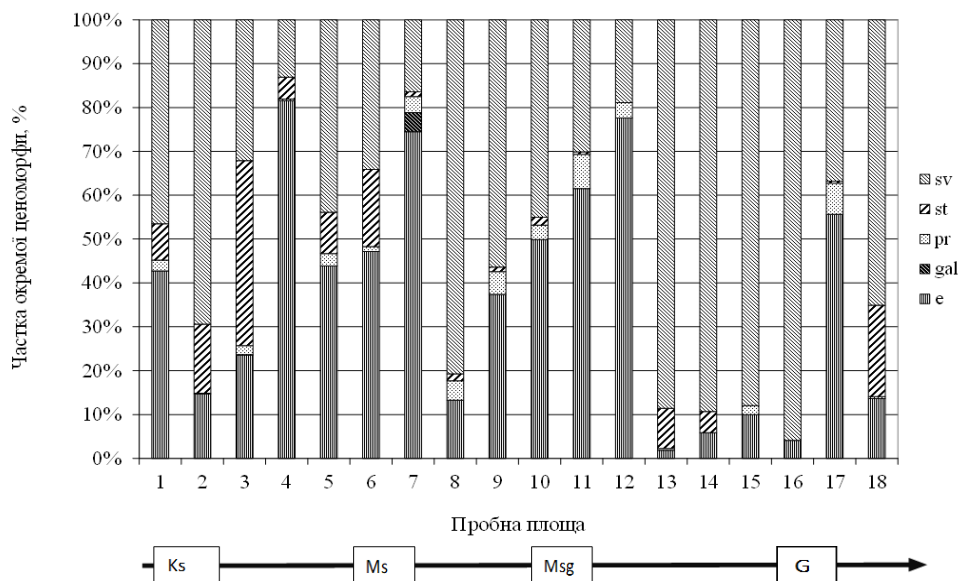


Рис. 4.7. Екоморфічна структура герпетобію лісових біогеоценозів: sv – сільванти; st – степанти; pr – пратанти; gal – галофіли; e – еврибіонти.

Індекси видового різноманіття характеризуються високими значеннями, проте індекс Пілоу на більшості пробних ділянках не перевищує 0,8 біт. В умовах природних і штучних лісів Присамар'я Дніпровського відмічається залежність між відсутністю покриття трав'яної рослинності та підвищенням сумарної чисельності герпетобіонтів. Зі зростанням індексу зволоження у трофічній структурі герпетобіо на досліджених ділянках спостерігається домінування сапрофагів, зоофагів. Частка фітофагів і копрофагів – незначна. *Isopoda* та *Diplopoda* кількісно переважають на пробних ділянках з помірним зволоженням. Досліджені лісові екосистеми характеризуються невіривняністю розмірної структури підстилкової мезофауни, вираженим домінуванням груп із середніми розмірами (4–16 мм) (Пахомов та ін., 2008; Pokhylenko, Korolev, 2013; Королев, Похиленко, 2013).

4.2. Угрупування та топічні консортивні зв'язки диплопод в урбоекосистемах

Урбоекосистема м. Дніпро фрагментарно складається з елементів екологічних систем, характерних для даної природно-кліматичної зони, сельбищної території, промислових підприємств із їх санітарно-захисними зонами, мереж комунікацій тощо (Яковишина, 2015). Тривалий антропогенний вплив на зональний ґрунт – чорнозем звичайний у межах урбоекосистеми м. Дніпро спричинив його трансформацію в урбанозем.

Зазначимо, що хімічне навантаження серед різноманітних форм антропогенного впливу займає окреме місце – зростає негативний вплив на оточуюче середовище внаслідок урбанізації: у містах-мільйонниках ступінь забруднення атмосфери (концентрація поллютантів) вдвічі вищий (Вредные..., 1988). Зокрема, викиди коксохімічного виробництва в атмосферу здатні викликати перебудови хромосом у мерістемі зачаткового листа (у акації кількість перебудов в 4,5 разу, у бірючини – у 4,8 разу вища за контроль). Діяльність людини змінює всі компоненти біоценозу (Добровольський, Никитин, 2000), у тому числі підстилковий біогеогоризонт, склад якого визначається зв'язками між групами герпетобіо (Didur et al., 2017; Zhukov, 2019).

За антропогенного ущільнення ґрунту першими зникають дощові черви, багатоніжки та диплоподи (Барсов и др., 1996), а зміна параметрів фізико-хімічного режиму в середовищі існування в умовах промислового та сільськогосподарського забруднення робить особливості ґрунтової фауни важливою складовою для виявлення властивостей ґрунту (Бригадиренко, 2004; Rakhomov et al., 2009; Жуков, 2009). Під впливом хімічного навантаження посилюються деградаційні процеси, відбувається порушення процесу ґрунтоутворення, значно змінюються всі аналітичні показники ґрунту (гумус, pH , структура, склад обмінних основ) (Природные ресурсы... 2007), що значною мірою впливає на ґрунтову фауну, і часто це остання група, за якою можна оцінити вплив на біоту (Криволуцкий, 1994). Результатом антропогенного впливу є послаблення діяльності ґрунтової фауни, накопичення опадів на поверхні ґрунту, загибель дерев, водночас посилюються трофічні взаємозв'язки безхребетних із мікроскопічними грибами в регіонах, забруднених важкими металами (Евдокимов, 2004). Поглинання й накопичення важких металів (Pb, Cu, Cr, Zn, Ni, Co, Cd) залежить, зокрема, і від умісту карбонатів кальцію та магнію у ґрунті. До порід ґрунтів, що мають високий уміст зазначених карбонатів відносяться леси та лесовидні суглинки (Белецкая, 2001).

Саме ґрунт, як невід'ємний компонент паркових зон на території урбосистем, забезпечує умови росту та розвитку зелених насаджень у мегаполісах та виконує важливі екологічні функції (Li et al., 2008; Morel et al., 2015). Це, насамперед, здатність забезпечити рослини елементами живлення, водою, їх кореневі системи – достатньою кількістю кисню, тепла та оптимальним фізико-хімічним середовищем для нормального росту й розвитку (родючість), а також здатність до сорбції забруднюючих речовин та затримання їх проникнення до ґрунтових вод (буферна здатність відносно важких металів), що має важливе значення в проявленні потенціалу здоров'я людини (Lykholat et al., 2017; Kulbachko et al., 2018; Didur et al., 2019). Досліджено чотири ділянки (парки) м. Дніпро протягом польового сезону 2017–2019 років. Короткий опис досліджених пробних ділянок представлений у розділі «Матеріали та методи

досліджень» (ПД 24–27). Для кількісного обліку підстилкових безхребетних використовували метод ручного розбирання підстилки. Дослідження проводили у тих частинах парків, які майже не відвідуються людьми. На обраних ділянках зареєстровано 154 види, що належать до 11 рядів. Поодинокі особини сірого ківсяка зустрічались у віддалених частинах одного з чотирьох досліджених парків, – у парку «Зелений гай». Щільність *R. kessleri* становила 0,4 екз./м².

У парку «Дружби народів» зафіксований інший вид диплопод – *M. sjaelandicum* зі щільністю 0,3 екз./м².

На ПД 24 (парк «Дружби народів») домінує ряд *Coleoptera* (76 % від загальної біомаси). Переважають представники родини *Carabidae* (63 %) – зустрічались *C. cancellatus*, поодинокі особини *Pterostichus melanarius* (Illiger, 1798), *H. rufipes*, *H. tardus*, *Calathus spp.*, *Amara spp.* Значну кількість склали багатоніжки родин *Geophilidae* та *Lithobiidae* – 8 %, та представники ряду *Isopoda* (3 %) – *P. scaber*, *T. rathkei*, *A. vulgare*; *Staphylinidea* (1,1 %). Були відмічені представники ряду *Julida* (0,8 %) – *M. sjaelandicum*. Серед моллюсків (1,2 %) відмічені *C. lubrica* (Miller, 1774), *C. lubricella* (Porro, 1838), *Helix pomatia* (Linnaeus, 1758). Зазначимо, що більшість виявлених видів – еврибіонти.

ПД 25 (Севастопольський парк) характеризується біднішою фауною, ніж ділянка парку «Дружби народів». Сумарна щільність підстилкової мезофауни сягає максимуму (8,8 особин/10 пастко-діб) за рахунок мурах родів *Formica* та *Myrmica* – 19 %, Відмічені також мокриці (*A. vulgare*) – менше 1 %. Значну кількість склали *Carabidae* (6 %), *Lycosidae* (4,5 %), *Lithobiidae* (2 %), менші значення мали родини *Histeridae* (3 %), *Dermestidae* (2,4 %). Низьке видове різноманіття пов'язане з активним відвідуванням парку, а також із фрагментованою підстилкою.

На ПД 26 (парк «Зелений гай») відмічені представники родин *Carabidae* (47,3 %), *Histeridae* (3 %), *Lycosidae* (3,7 %), *Silphidae* (2,8 %), *Forficulidae* (5,4 %), *Formicidae* (7,8 %), *Lithobiidae* (7,6 %), *Muscidae* (2,7 %), *Cochlicopidae* (3,1 %), *Porcellionidae* (5,6 %), *Staphylinidea* (1,2 %) та інші. На цій ділянці знайдені

поодинокі особини *R. kessleri*. Чисельними виявились такі види: *C. lubricella*, *S. carinata*, *P. melanarius*, *H. rufipes*, *Aclypea undata* (Müller, 1776), *A. similata*.

На ПД 27 (парк імені Писаржевського) виявлені *Carabidae* (51 %), *Histeridae* (3,2 %), *Lycosidae* (5,6 %), *Silphidae* (1,6 %), *Formicidae* (11,2 %), *Lithobiidae* (5,7 %), *Cochlicopidae* (1,1 %), *Porcellionidae* (3,4 %) та інші. На цій ділянці відмічені такі види: *C. lubrica*, *P. scaber*, *Amara* sp., *C. cancellatus*, *C. granulatus*, *P. melanarius*, *Licinus depressus* (Paykull, 1790).

Окремі представники ґрунтово-підстилкової мезофауни можуть виступати індикаторами стану навколишнього середовища. Наприклад, на *Monotarsobius curtipes* (С. Koch, 1847) негативно впливають підкислення та вилуговання (Петрашова, 2003) ґрунтів, коники та дощові черви знижують свою щільність під впливом вихлопів ТЕС (Арсланбекова, 2011), а *Myriapoda* чутливі до руйнівних змін у підстилці (прибирання опаду, дерев) та дуже повільно заселяють потурбовані місця (Pontegnie, 2005).

Досліджено чотири пробні ділянки в околицях міста протягом польових сезонів 2007 та 2018 рр. (Похиленко та ін., 2009). За даними статуправління, згідно з короткими підсумками роботи промисловості Дніпропетровської області за січень–травень 2020 року (www.dnprstat.gov.ua) зафіксовано зменшення рівня випуску продукції у профільних видах переробної промисловості, зокрема у виготовленні коксу та продуктів нафтоперероблення, гумових і пластмасових виробів (індекси знижені до 62,6 %). Компонентами викидів коксохімічної промисловості є азот та його сполуки, суспендовані тверді частки, хлорвуглеводороди, стійкі органічні забруднювачі, метали та їх сполуки (Цветкова та ін. 2016). Ряд аліфатичних та циклічних амінів (нітрозодіетиламін, нітрозоморфолін, нітрозодібутіламін), які є основними забруднювачами середовища від гумової та шинної промисловості, характеризуються особливою токсичністю, канцерогенністю та мутагенністю (Кораблева, 2001). Відходами ТЕС є головним чином оксиди вуглецю, сірка, оксиди азоту, зола, важкі метали. На обраних ділянках зареєстровано 172 види, що належать до 8 рядів.

Короткий опис досліджених пробних ділянок представлений у розділі «Матеріали та методи досліджень» (ПД 19–22).

Фауна листяної підстилки кожної з обраних ділянок характеризується домінуванням окремих систематичних груп, але *Coleoptera* (від 11,6 до 81,6 %) превалюють на трьох із обраних площ (рис. 4.8). На ПД 19 серед жуків переважають родини *Carabidae*, *Staphylinidae* (26,8 та 16,2 % відповідно), на ділянці ПД 20 колеоптерофауна представлена турунами (*L. depressus*, *Panagaeus bipustulatus* (Fabricius, 1775), *P. melanarius* та стафіліном *Staphilinus caesareus* (Cederhielm, 1798). Максимального видового різноманіття фауна турунів досягає на ПД 21. На ділянці 22 домінують ряди *Isopoda* та *Julida* (37,4 і 48,6 %) та із *Coleoptera* переважають *Carabidae* (*Carabus granulatus* Linnaeus, 1758), *Silphidae* (*Phosphuga atrata* (Linnaeus, 1758), *Thanatophilus rugosus* (Linnaeus, 1758) – 4,2 та 5,9 % відповідно).

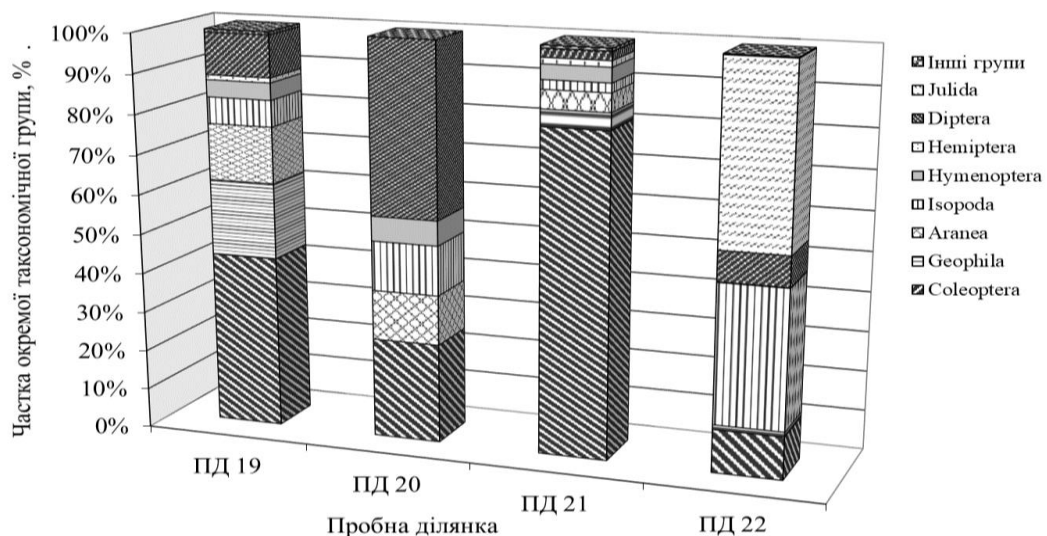


Рис. 4.8. Таксономічна структура герпетобію:

ПД 19 – штучне насадження ясеня ланцетолистого з розхідником звичайним (*СГ₁*) поблизу коксохімічного заводу ПАТ «Євгаз – Дніпровський металургійний завод», ПД 20 – штучне насадження ясеня ланцетолистого (*СГ₁*) на відстані 50 м від ВАТ «Дніпрошина», ПД 21 – штучне дубове насадження (*СГ₁*) в межах жилого масиву «Західний», ПД 22 – арена р. Дніпра (*ВС⁵*) поблизу Придніпровської теплоенергетичної станції, у межах жилого масиву «Придніпровськ».

Сумарна щільність підстилкової мезофауни сягає максимуму на ділянках поблизу ТЕС (ПД 22) – 9,14 особини/10 пастко-діб (рис. 4.9) за рахунок диплопод та ізопод (4,5 та 3,5 особини/10 пастко-діб). Відомо, що антропогенне та

рекреаційне навантаження погіршують режим вологості ґрунту, призводять до зміни потужності підстилки та властивостей ґрунту (Воробейчик, 1995; Івонин, Воскобойникова, 2015). Тому мінімальні показники щільності ґрунтових та підстилкових безхребетних зареєстровані на ПД 20 (поблизу ВАТ «Дніпрошина») – 2,28 особини/10 пастко-діб. Відмітимо, що на 1 га ґрунту одна ТЕС викидає близько 100 кг сірки і до 30 т лужної золи за рік (Кораблева, 2001), а це в комбінації з важкими металами знижує швидкість мінералізації на 20 %.

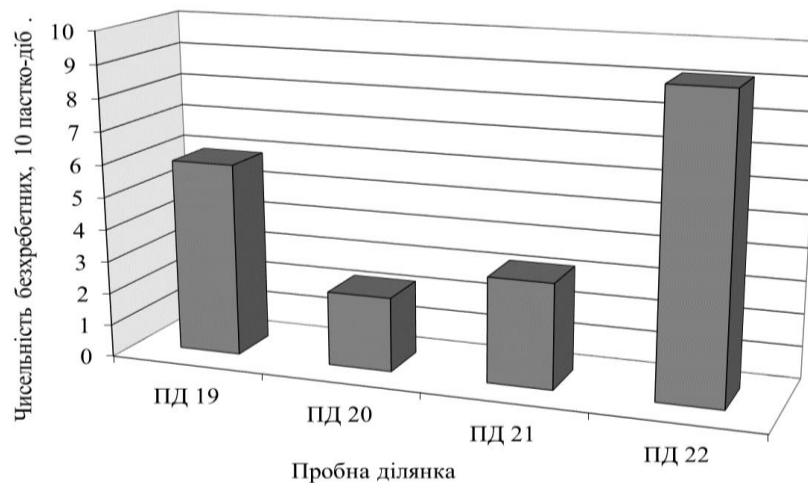


Рис. 4.9. Сумарна чисельність герпетобію; номери пробних ділянок відповідають наведеним у «Матеріалах і методах досліджень»

Однією із груп безхребетних, яка відображає рівень антропогенного забруднення в регіонах, виступають жуки-туруни (*Carabidae*), зокрема, домінуючий елемент герпетобію лісових біогеоценозів степового Придніпров'я – *P. melanarius*. У досліджених біогеоценозах міста найбільший відсоток морфологічних аномалій (18 %) та варіювання морфометричних показників (здебільшого довжини та ширини передньоспинки) в угрупованнях *P. melanarius*, порівняно з еталонними ділянками (біотопи Самарського бору, Новомосковське лісництво), спостерігалися у насадженнях, які прилягають до території ВАТ «Дніпрошина» (Вругadyrenko, Korolev, 2015). Порівняно висока щільність *P. melanarius* зареєстрована на ПД 19 та ПД 20 (0,7 особини/10 пастко-діб), пов'язано це з випадінням інших видів зоофагів в

екологічно небезпечній зоні. Низька щільність (0,05 особини/10 пастко-діб) спостерігається на ділянці поблизу ж/м «Західний». Ця ділянка використовується мешканцями для відпочинку.

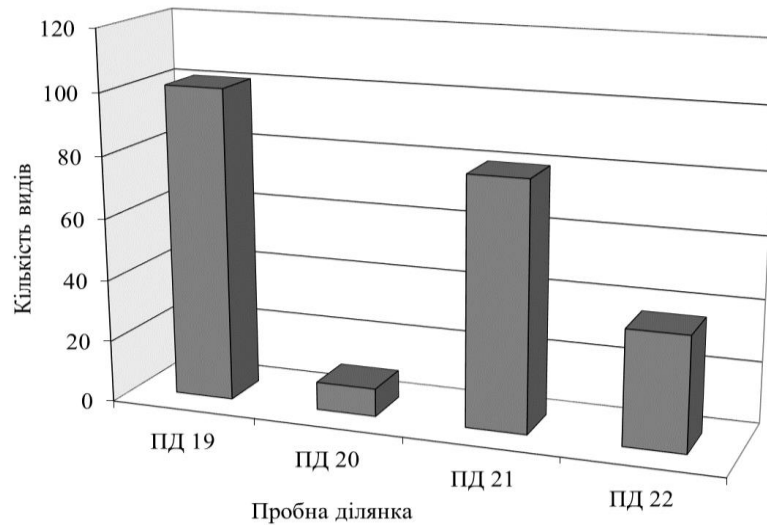


Рис. 4.10. Кількість видів у складі герпетобію; номери пробних ділянок відповідають наведеному у «Матеріалах і методах досліджень»

Кількість видів на зазначених ділянках значно коливається. Максимальна кількість видів спостерігається на ПД 19 (101 вид) (рис. 4.10), що, скоріше за все, обумовлено зімкненістю деревного (60 %) і трав'яного (80 %) покриття та незначним рекреаційним навантаженням. Внаслідок впливу викидів підприємства підстилка фрагментована, тому ПД поблизу заводу «Дніпрошина» характеризується низьким видовим різноманіттям герпетобіонтів (9 видів). Зазначимо, що 72,7 % видів цієї ділянки складають зоофаги. За Ємельяновим (2004), в імпактних зонах спостерігається розмаїття рухомих форм хижаків (турунів, павуків, мурах), що корелює з отриманими даними: *Staphilinus caesareus* (Cederhielm, 1798) та *P. melanarius* – масові види на ПД 20. Найвища кількість рухомих форм хижаків зареєстрована поблизу ПАТ «Evraz – Дніпровський металургійний завод» (численні представники турунів *P. melanarius*, *Ophonus sp.*, *Amara sp.*, *H. rufipes*, *Harpalus tardus* (Panzer, 1797), *Carabus cancellatus* (Illiger, 1798), павуки *Trochosa sp.*, *Xisticus sp.*, мурахи родів *Lasius*, *Formica*). Існує припущення, що *Amara familiaris* (Duftschmid, 1812) можна використовувати як біоіндикатор стану навколишнього середовища,

(Логвиновский, Кречетова 2000), у той час як для *H. tardus* залежності від антропогенного навантаження не виявлено.

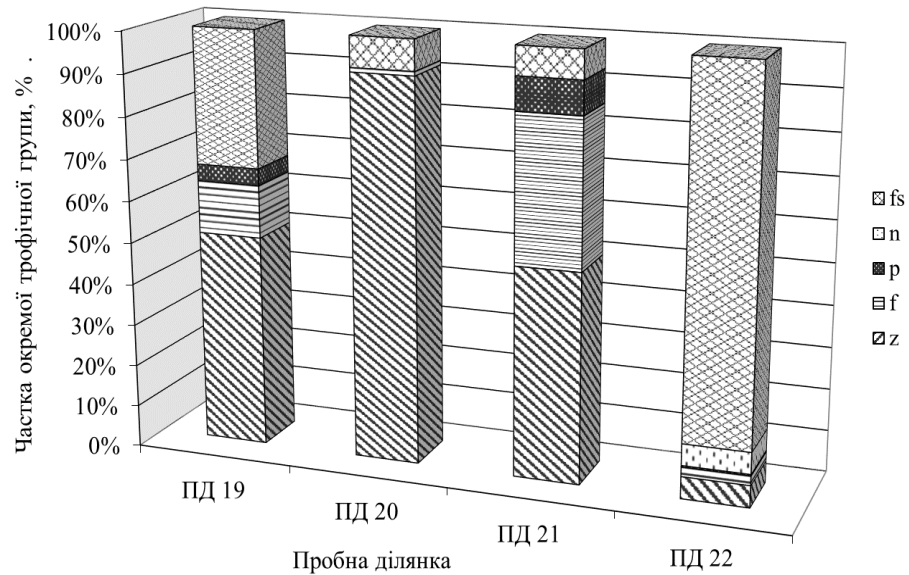


Рис. 4.11. Трофічна структура герпетобію: *fs* – фітосапрофаги; *n* – некрофаги; *p* – пантофаги; *f* – фітофаги; *z* – зоофаги; номери пробних ділянок відповідають наведеному у «Матеріалах і методах досліджень»

Роль зоогенного фактору в деструктивних процесах у різних біогеоценозах визначається співвідношенням чисельності та груповим складом сапрофагів (Стриганова, 1975; Vakhmet, 2015; Vogyo, 2015), максимальна чисельність яких спостерігається на ПД 22 за рахунок представників *Isopoda* (*P. scaber*, *A. pulchellum*) та *Julida* (86 % – *M. sjaelandicum* та поодиноких екземплярів *R. kessleri*). Відмітимо, що двопарноногі багатоніжки знайдені тільки поблизу ТЕС. ПД 21 (поблизу ж/м «Західний») знаходиться під тиском фітофагів (32 %) за рахунок представників родини *Curculionidae* з роду *Otiorrhinchus* (*O. fullo*, *O. raucus*, *Otiorrhinchus* sp.).

За даними О. І. Єрмакова (2004), найвищим різноманіттям сапрофагів характеризуються фонові території (які знаходяться якнайдалі від джерела забруднення), що спостерігається на ПД 19 (9 видів) за рахунок молюсків та мокриць. Серед перших домінують *Cochlicopa lubrica* (Miller, 1774), *Carychium tridentatum* (Risso, 1826), *Cochlicopa lubricella* (Porro, 1838), *Helix pomatia* (Linnaeus, 1758), *Bradybaena fruticum* (Miller, 1774), серед останніх – *P. scaber*, *T. rathkei*, *A. pulchellum*. Це одне з пояснень, чому сапрофаги найчастіше

домінують у лісових екосистемах, у той час як фітофаги відіграють менш значну роль (Dajoz, 1998). На ПД 20 (поблизу шинного заводу) зареєстровані поодинокі особини тільки одного виду (*P. scaber*). Всі чотири види ізопод (*P. scaber*, *T. rathkei*, *A. pulchellum*, *P. leavis*) відмічені на ПД 22 (поблизу ТЕС).

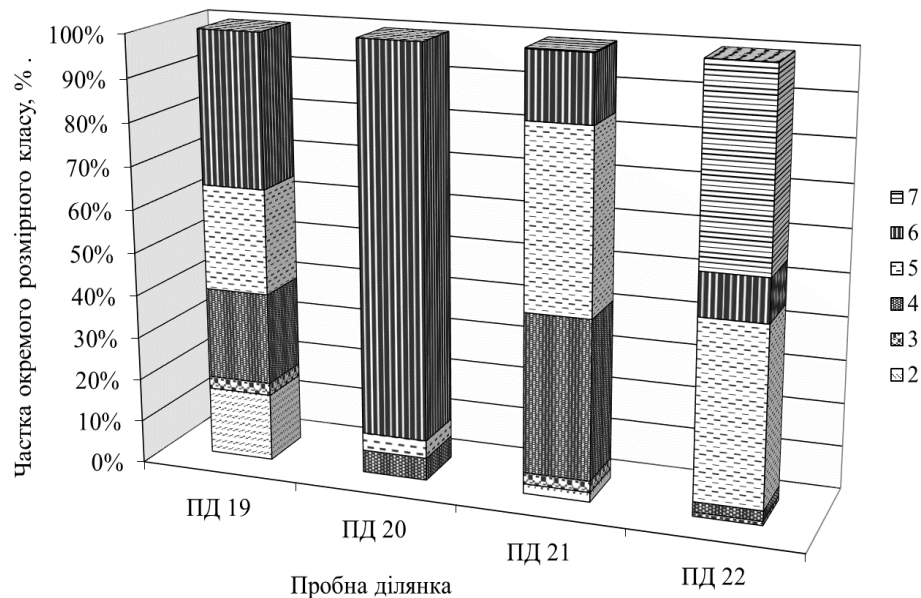


Рис. 4.12. Розмірна структура герпетобію: 2 – 1–1,9 мм, 3 – 2–3,9 мм, 4 – 4–7,9 мм, 5 – 8–15,9 мм, 6 – 16–31,9 мм, 7 – 32–63,9 мм; номери пробних ділянок відповідають наведеному у «Матеріалах і методах досліджень»

Розмірна характеристика (рис. 4.12), яка пов'язана з динамічною структурою герпетобію, визначає також уразливість організмів і є важливим фактором оцінки стану екосистеми (Барсов, 1996; Moroz, Lygun, Brygadyrenko, 2011). Дрібні форми домінують на ділянках, де переважають фітофаги, великі форми (*Julida*) поширені на ділянці, розташованій якнайдалі від джерела забруднення (ПД 22). Серед комах середнього розміру зустрічаються *L. depressus*, *P. oblongopunctatus*, *Stomis pumicatus* (Panzer, 1796), *Hister spp.*

Так, за біомасою на ПД 19 переважають *Coleoptera* (43,3 %) та *Geophila* (19,2 %) – форми 8–15,9 та 1–1,9 мм відповідно. На ділянці ПД 20 спостерігаються здебільшого рухливі еврибіонтні форми розмірного класу 4–31,9 мм. Види-силванти, такі як *O. raucus*, *C. cancellatus*, *S. carinata* 4–15,9 мм переважають на ПД 21. Еврибіонтні та лісові види (*Phosphuga atrata* (Linnaeus, 1758), *P. scaber*, *A. pulchellum* *M. sjaelandicum* 5-го та 7-го розмірних класів (8–15,9 мм та 32–63,9 мм відповідно) найчастіше траплялися на ПД 22.

Характеризуючи екологічні групи, до яких належать герпетобіонти цих біогеоценозів, треба зауважити, що тут майже повністю відсутні степанти. Зустрічається декілька видів безхребетних, що можуть долучатися до степових біогеоценозів: *Dolichus halensis* (Schaller, 1783), *Blaps lethifera* Marsham, 1802, *Philonthus chalceus* (Stephens, 1832), *Calathus errathus* (Sahlberg, 1827). У незначній кількості представлені пратанти (0,95–7,42 %): *Chlaenius nitidulus* (Schrank, 1781), *Opiliones* sp., *Pterostichus antracinus* (Illiger, 1798), *Broscus cephalotes* (Linnaeus, 1758).

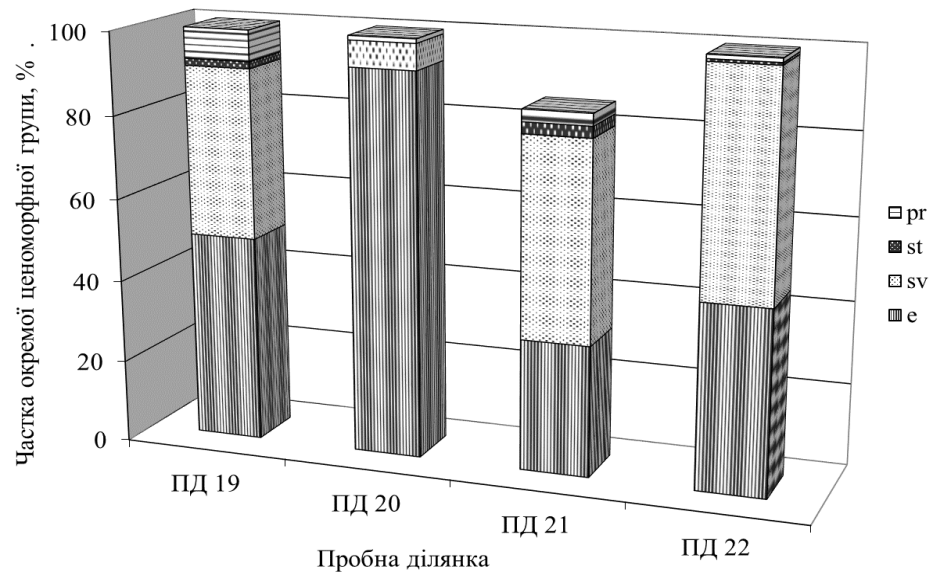


Рис. 4.13. Ценоморфічна структура герпетобію:

pr – лугові види; *st* – степові види; *sv* – лісові види; *e* – широкорозповсюджені, сорні види; номери пробних ділянок відповідають наведеним у «Матеріалах і методах досліджень»

Частка лісових видів становить максимум на ПД 22 і налічує 13 видів, серед яких переважають *Ph. atrata*, *M. sjaelandicum*, у незначній кількості представлені *Philonthus addendus* (Sharp, 1867), *Pseudotrichia rubiginosa* (Schmidt, 1853).

Незважаючи на високі показники різноманіття герпетобіонтів на ПД 19 (рис. 4.14), де поширені такі еврибіонтні форми (49,9 %): *B. fruticum*, *A. pulchellum*, *P. melanarius*, зауважимо, що наявність видів еврибіонтів, ценофобів свідчить про значну трансформацію та нестійкість спільноти.

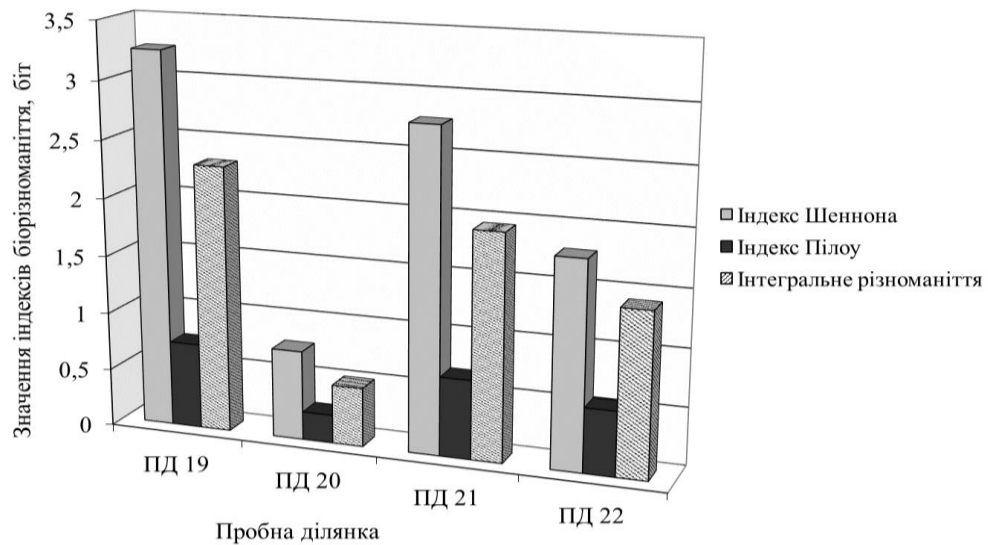


Рис. 4.14. Значення індексів біорізноманіття герпетобію; номери пробних ділянок відповідають наведеному у «Матеріалах і методах досліджень»

Кількість видів безхребетних зазнає суттєвих коливань (9–101 видів). Індeksi видового різноманіття мають високі значення, проте індекс Пілоу на ПД 20 низький (0,2 біт). У герпетобії біогеоценозів, що досліджували, відмічено домінування переважно зоофагів (*Carabidae*, *Aranei*). Серед сапрофагів переважають *Isopoda* та *Julidae*. Найменшу частку (1,1–12,3 %) становлять фітофаги. Найбільше видове різноманіття, а зокрема сапрофагів, зареєстровано на ПД 19, поблизу коксохімічного виробництва, а представники *Julidae* зафіксовані тільки на ПД 22, поблизу ТЕС. На ділянках поширені політропні форми, серед яких домінують *P. scaber*, *H. rufipes*.

Аналіз літератури засвідчує, що й досі не існує остаточного обґрунтованого наукового протоколу ґрунтового моніторингу для техногенно забруднених ґрунтів. Важливим є визначення інформаційних показників, що дозволяють оцінити стан ґрунту *in situ*, і виявити тенденції несприятливих змін (Горячева, 2002; Structure of litter..., 2017).

4.3. Морфологічна мінливість особин ценопопуляцій диплопод (*Diplopoda, Julida*) в умовах лісових біогеоценозів і урбоєкосистем

Оцінка морфологічної мінливості особин ценопопуляцій *M. sjaelandicum*

Ґрунтова біота однією з перших реагує на зміни середовища існування (Griffiths et al., 2001; Wolters, 2001), тому на урбанізованих територіях важливо визначити «здоров'я ґрунту» за видами-індикаторами (Doran, Zeiss, 2000; Пилипенко, Жуков, 2001; Nahmani et al., 2006; Бобылёв, Захаров, 2009; Brygadyrenko, Korolev, 2015; Kulbachko et al., 2019) і адаптацією організмів до змін природних факторів фенетичними дослідженнями (Дідух, 1998; Hedde et al., 2013), а дослідження генотипу потребує спеціального обладнання. Індикаторами стійкості популяції в умовах навколишнього середовища вважають морфологічну та генетичну мінливість, чисельність, щільність населення, температуру, вологість, інші біотичні та абіотичні фактори. Дані з морфометрії диплопод нечисленні (Локшина, 1969; Пришутова, 1988a, b; 2001a, b; Enghoff et al., 1993; Похиленко, Королев, 2013) і супроводжують визначні таблиці: для представників *Julida* виявлено видоспецифічні особливості будови гоноподій (Tadler, 1996), оцінено вплив ізоляції на фенотипічні особливості популяцій *Parafontaria tonominea* (*Polydesmida*) і будову гоноподій (Tanabe et al., 2001); майже повністю відсутні дані щодо функціональної ролі окремих частин ротового апарату диплопод, хоча деякі морфологічні відмінності жувальних частин мандибул для окремих видів виявлено (Semenyuk et al., 2011).

Оскільки обрані ділянки практично ізольовані одна від одної та від території міста, та беручи до уваги популяційно-фенетичні методи, можна припустити, що особини *M. sjaelandicum* (Mein.), які існують у межах окремих ділянках, відносяться до різних популяцій.

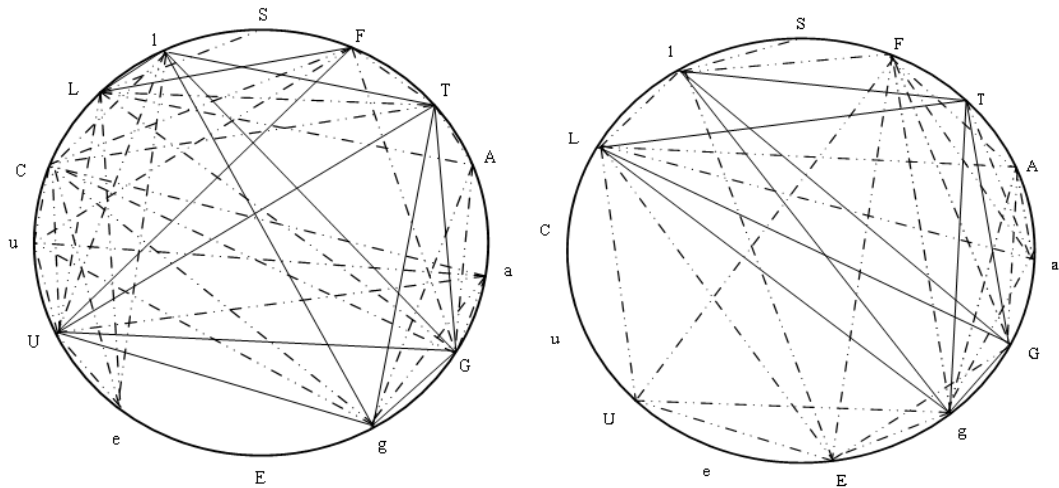
У даному дослідженні виявляли та оцінювали морфологічні показники *M. sjaelandicum* (Mein.) у природних умовах у заплавних лісових екосистемах Самарського лісу і межах м. Дніпро (Похиленко, 2012).

Мінливість як біологічна властивість – це адаптивна різноякість особин як у межах виду в цілому так і його популяцій. Різноякість у процесі розвитку ознак і властивостей живих організмів (фенотипічна мінливість) визначається різноманіттям умов їх розвитку й спадковою неоднорідністю складу популяцій. Отже, морфологічна мінливість *Diplopoda* на рівні як виду, так і ценопопуляції, що мешкають у природних і штучних лісових насадженнях, обумовлена, з одного боку, спадковою неоднорідністю, з іншого – характером умов їх проживання в лісі. Оскільки в умовах сучасного природокористування ступінь сільватизації в лісових екосистемах різна, то спряженість морфологічних параметрів буде змінюватися під дією послаблення чи посилення процесу сільватизації, що може проявлятися на рівні морфологічної інтегрованості ознак представників *Diplopoda*. У ґрунтово-підстилкових безхребетних найбільш мінливими показниками є лінійні показники розмірів тіла (Фали, Бригадиренко, 2007; Brygadyrenko, Reshetniak, 2014; Brygadyrenko, Slynko 2015; Кульбачко, Дідур 2018; Komlyk, Brygadyrenko, 2019).

Дослідження проводили на ділянці II тераси (арена) р. Дніпра (BC''₅), яка знаходиться поблизу Придніпровської теплоенергетичної станції (ПД 22) та в короткозаплавній мезофільній липо-ясеневій діброві із зірочником ланцетолистим (*Dac'*₂) на Присамарському міжнародному біосферному стаціонарі ім. О. Л. Бельгарда (Новомосковський район, с. Андріївка), яка обрана для порівняння з територією міста (ПД 7).

На обстежених ділянках у Самарському лісі чисельність *M. sjaelandicum* (Mein.) становить 4,4 екз./м² у противагу ділянці поблизу ТЕС – 1,2 екз./м².

Структурограми ознак *M. sjaelandicum* досліджених ділянок відображають рівень зв'язків між вивченими параметрами (рис. 4.15).



Липо-ясенева діброва (заплава)

Насадження в межах м. Дніпро (водорозділ)

- - - зв'язок середньої сили взаємодії ($r = 0,4-0,7$);
 — сильна взаємодія ($r = 0,7-1,0$)

Рис. 4.15. Кореляційна структура ознак *M. sjaelandicum* (Mein.): L – довжина тіла, l – ширина тіла, S – кількість сегментів, T – довжина тельсона, F – довжина задньої кінцівки, A – довжина вусика, a – ширина вусика, G – довжина гнатохілярію, g – ширина гнатохілярію, E – довжина язичкових пластин, e – ширина язичкових пластин, U – довжина проментума, u – ширина проментума, C – довжина коллума.

На пробній ділянці в короткозаплавній липо-ясеневій діброві з 14 досліджуваних ознак на рівні $\geq 0,70$ виокремлюється група з чотирьох ознак: ширина тіла (l), ширина (g) та довжина гнатохілярію (G), довжина тельсона (T). Ознака «довжина тельсона» є індикатором зазначеної плеяди з найвищим коефіцієнтом кореляції 0,962. Корелює розмір тельсона з розміром гнатохілярію (довжиною G і шириною g). Відносна потужність G/k цієї плеяди становить 0,928 одиниці, а її міць $D = 0,808$ одиниці. Рівень зв'язків насадження в межах міста дещо нижчий – 0,643 одиниці становить відносна потужність плеяди, 0,799 одиниці – її міць. Ознакою-індикатором цієї плеяди можна вважати довжину гнатохілярію G з кореляцією 0,906 відносно ширини гнатохілярію g.

Майже за всіма промірами самки *M. sjaelandicum* (Mein.) Самарського лісу мають більші розміри тіла, ніж самці. Виняток становить довжина вусика (табл. 4.1). Зауважимо, що для екземплярів даної екосистеми незалежно від статі не характерне збереження близького до нормального розподілу жодної з визначених характеристик тіла. Максимальна достовірність відмінностей між

статтями спостерігається за довжиною (T) тельсона та шириною g гнатохілярію. При цьому відмінності за статтю недостовірні для ширини a вусика та таких фрагментів гнатохілярію: довжини E та ширини e язичкових пластин, ширини u проментума. Статевий диморфізм також не виявлено за співвідношеннями $L/$, l/F , l/S . Відмітимо, що ширина гнатохілярію у самок з лісового біотопу на 4,9 % вища ($F = 4,30$, $F_{0,05} = 4,19$, $P < 0,05$), у той час як ширина гнатохілярію самців на 6,5 % менша ($F = 5,44$, $F_{0,05} = 4,19$, $P < 0,05$) порівняно з «міською».

Таблиця 4.1

Мінливість основних морфометричних характеристик особин ценопопуляції *M. sjaelandicum* в умовах Самарського лісу Новомосковського лісництва

Характеристика	Стать	Середнє значення та похибка, $M \pm mt_{0,05}$	Діапазон коливань, $Min-Max$	Експес, Ex	Асиметричність, As	Достовірність відмінності за статтю, $F_{0,05} = 4,19$	
						CV, %	P
Довжина тіла (L), мм	♀	32,00±5,59	23,00–35,00	7,46	-2,36	9,99	<0,001
	♂	28,07±2,19	26,00–31,00	-0,50	0,47		
Ширина тіла (l), мм	♀	2,36±0,25	2,05–2,50	1,84	-1,37	6,66	<0,001
	♂	2,13±0,10	2,05–2,25	0,83	0,70		
Кількість сегментів (S)	♀	49,50±8,47	35–55	10,57	-2,93	6,31	>0,05
	♂	49,07±2,16	47–51	-0,68	-0,15		
Довжина задньої кінцівки (F), мм	♀	1,00±0,18	0,87–1,15	-1,05	0,21	10,01	<0,001
	♂	0,88±0,07	0,82–0,92	-1,09	0,08		
Довжина тельсона (T), мм	♀	1,05±0,19	0,92–1,20	-1,21	0,52	15,35	<0,001
	♂	0,80±0,08	0,75–0,87	-0,88	0,01		
Довжина вусика (A), мм	♀	1,93±0,50	1,70–2,40	-0,69	1,04	11,99	<0,001
	♂	2,21±0,27	1,95–2,37	-0,93	-0,49		
Ширина вусика (a), мм	♀	0,23±0,05	0,20–0,27	-0,75	0,41	9,15	>0,05
	♂	0,21±0,03	0,20–0,22	-2,31	-0,15		
Довжина гнатохілярію (G), мм	♀	0,92±0,14	0,87–1,07	-1,57	-0,17	16,74	<0,001
	♂	0,72±0,11	0,62–0,82	-0,71	0,03		
Ширина гнатохілярію (g), мм	♀	1,07±0,15	1,00–1,20	-1,14	0,60	20,75	<0,001
	♂	0,72±0,07	0,67–0,77	-1,33	0,00		
Довжина язичкових пластин (E), мм	♀	0,35±0,09	0,30–0,45	-0,24	0,72	12,06	>0,05
	♂	0,34±0,08	0,30–0,40	-1,35	0,38		
	♀	0,21±0,06	0,17–0,25	-1,31	0,34	12,58	>0,05

Ширина язичкових пластин (e), мм	♂	0,19±0,04	0,17–0,22	–1,49	0,27		
Довжина проментума (U), мм	♀	0,25±0,04	0,22–0,27	–1,12	–0,38	10,65	<0,001
	♂	0,22±0,03	0,20–0,25	–0,17	0,09		
Ширина проментума (u), мм	♀	0,19±0,04	0,15–0,22	–0,48	0,11	11,18	>0,05
	♂	0,17±0,03	0,15–0,20	0,54	–0,01		
Довжина коллума (C), мм	♀	1,22±0,20	1,07–1,37	–1,06	0,46	7,26	<0,05
	♂	1,15±0,10	1,02–1,22	1,25	–0,95		
L/S	♀	0,65±0,07	0,58–0,70	–0,13	–0,20	–	<0,001
	♂	0,57±0,05	0,53–0,62	–0,59	0,06		
L/l	♀	13,55±2,09	10,82–15,61	2,72	–0,75	–	>0,05
	♂	13,14±0,96	12,23–13,81	–1,03	0,06		
l/A	♀	1,24±0,31	0,89–1,43	–0,26	–0,87	–	<0,001
	♂	0,97±0,12	0,89–1,07	–1,27	0,46		
l/F	♀	2,37±0,44	2,05–2,86	0,35	0,71	–	>0,05
	♂	2,43±0,19	2,27–2,65	0,39	0,49		
l/C	♀	1,94±0,26	1,70–2,14	–1,06	–0,30	–	>0,05
	♂	1,86±0,18	1,75–2,12	4,35	1,76		
A/F	♀	1,93±0,50	1,67–2,71	7,15	2,35	–	<0,001
	♂	2,52±0,39	2,11–2,88	0,11	–0,25		

Примітка: ♀ – самки ($n = 15$), ♂ – самці ($n = 15$).

За більшістю промірів (табл. 4.2) самці *M. sjaelandicum* (Mein.) із урбоєкосистеми мають менші розміри тіла порівняно із самицями. Відповідно за розмірами головної капсули корелюють розміри гнатохілярію – його параметри менші у самців. Між шириною та довжиною язичкових пластин значної кореляції не відмічено, але у самок коефіцієнт кореляції вищий ($r_{xy} = 0,360 \pm 0,259$, $t_{emn} = 1,39$, $P > 0,05$) ніж у самців ($r_{xy} = 0,220 \pm 0,271$, $t_{emn} = 0,81$, $P > 0,05$). При цьому ознака, яка визначає трофічну активність окремої особини – ширина язичкових пластин, не змінюється залежно від статі.

На відміну від угруповання липо-ясеневої діброви, статевий диморфізм виявлено за всіма співвідношеннями. Хоча за довжиною язичкових пластин і проментума спостерігається статевий диморфізм, для ширини зазначених органів відмінності відсутні. Відмінності між статями не зареєстровані за кількістю сегментів S , довжиною (A) та шириною a вусика, шириною язичкових пластин (e).

Таблиця 4.2

Мінливість основних морфометричних характеристик особин ценопопуляції
M. sjaelandicum в умовах м. Дніпро

Характеристика	Стать	Середнє значення та похибка, $M \pm mt_{0,05}$	Діапазон коливань, $Min-Max$	Ексцес, Ex	Асиметричність, As	Достовірність відмінності за статтю, $F_{0,05} = 4,19$	
						CV, %	P
Довжина тіла (L), мм	♀	26,80±3,41	24,00–30,00	-0,77	0,26	11,74	<0,001
	♂	22,30±3,68	20,00–27,00	1,55	1,16		
Ширина тіла (l), мм	♀	2,22±0,62	1,75–2,47	-1,59	-0,78	21,79	<0,001
	♂	1,54±0,07	1,44–1,57	2,13	-1,59		
Кількість сегментів (S)	♀	44,27±2,28	42–46	-0,54	-0,28	2,75	>0,05
	♂	43,93±2,51	41–45	-0,13	-1,04		
Довжина задньої кінцівки (F), мм	♀	1,10±0,22	0,86–1,28	0,39	-0,29	12,69	<0,001
	♂	0,94±0,16	0,86–1,08	-0,86	0,57		
Довжина тельсона (T), мм	♀	0,98±0,22	0,78–1,17	-0,59	0,11	16,43	<0,001
	♂	0,77±0,15	0,64–0,90	-0,99	0,16		
Довжина вусика (A), мм	♀	1,88±0,41	1,43–2,28	0,95	-0,53	10,85	>0,05
	♂	1,74±0,34	1,43–2,07	0,12	-0,25		
Ширина вусика (a), мм	♀	0,21±0,04	0,14–0,24	3,90	-1,51	9,38	>0,05
	♂	0,19±0,02	0,17–0,21	0,52	-0,83		
Довжина гнатохілярію (G), мм	♀	0,97±0,16	0,86–1,14	0,77	0,90	16,05	<0,001
	♂	0,74±0,13	0,61–0,88	1,50	0,63		
Ширина гнатохілярію (g), мм	♀	1,02±0,10	0,93–1,14	0,66	0,57	15,76	<0,001
	♂	0,77±0,14	0,64–0,86	-1,14	-0,04		
Довжина язичкових пластин (E), мм	♀	0,36±0,07	0,26–0,43	3,32	-1,06	17,29	<0,001
	♂	0,28±0,09	0,21–0,36	-1,19	0,08		
Ширина язичкових пластин (e), мм	♀	0,17±0,05	0,14–0,21	-1,00	0,12	27,1	>0,05
	♂	0,18±0,12	0,11–0,31	0,62	1,42		
Довжина проментума (U), мм	♀	0,22±0,06	0,14–0,28	2,10	-0,56	16,39	<0,05
	♂	0,19±0,06	0,16–0,26	-0,69	0,63		
Ширина проментума (u), мм	♀	0,14±0,04	0,11–0,20	6,55	1,98	24,23	<0,01
	♂	0,11±0,03	0,10–0,14	-0,92	0,59		
Довжина коллума (C), мм	♀	1,25±0,21	1,07–1,36	-1,64	-0,26	26,61	<0,001
	♂	1,04±0,18	0,86–1,17	-0,85	-0,48		
L/S	♀	0,61±0,07	0,56–0,67	-1,44	0,20	–	<0,001
	♂	0,51±0,07	0,46–0,60	1,89	1,50		

<i>L</i>	♀	12,35±4,11	10,23–15,98	-1,10	0,72	–	<0,001
	♂	14,50±2,14	13,21–17,34	2,29	1,55		
<i>lA</i>	♀	1,19±0,39	0,79–1,55	0,13	-0,44	–	<0,001
	♂	0,88±0,16	0,75–1,01	-0,70	0,27		
<i>lF</i>	♀	2,03±0,79	1,39–2,82	-0,44	-0,08	–	<0,01
	♂	1,65±0,26	1,43–1,83	-1,39	-0,11		
<i>lC</i>	♀	1,78±0,64	1,29–2,28	-1,33	-0,24	–	<0,01
	♂	1,48±0,24	1,30–1,77	-0,02	0,63		
<i>A/F</i>	♀	1,71±0,32	1,43–2,00	-0,09	0,31	–	<0,05
	♂	1,89±0,47	1,54–2,33	-0,99	-0,02		

Примітка: ♀ – самки ($n = 15$), ♂ – самці ($n = 15$).

Для даної ценопопуляції незалежно від статі не характерне збереження близького до нормального розподілу основних характеристик тіла (рис. 4.17). Виняток становить довжина язичкових пластин.

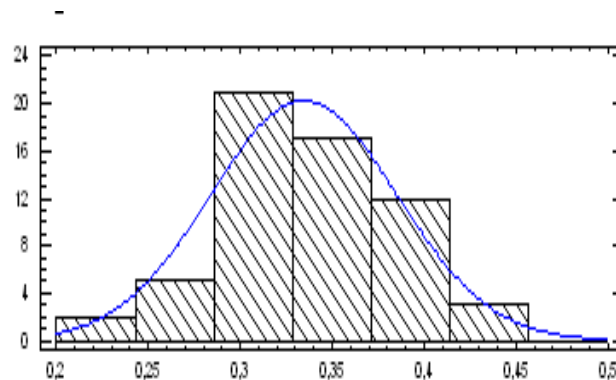


Рис. 4.17. Мінливість довжини язичкових пластин у ценопопуляції *M. sjaelandicum* (Mein.):

абсциса – розміри в мм, значення індексів; ордината – кількість спостережень

Взаємодії лінійних промірів у групі можна проаналізувати за допомогою факторного аналізу. Для визначення факторів, що впливають, застосовано нормалізацію даних шляхом віднімання середнього значення для групи та діленням отриманих значень на середньоквадратичне відхилення (Коросов, 1996). Дисперсію особин за промірами всередині угруповань виявляли шляхом транспонування вихідної матриці. Це дозволило показати положення

окремої особини всередині ценопопуляції та проаналізувати різні групи особин за сукупністю ознак.

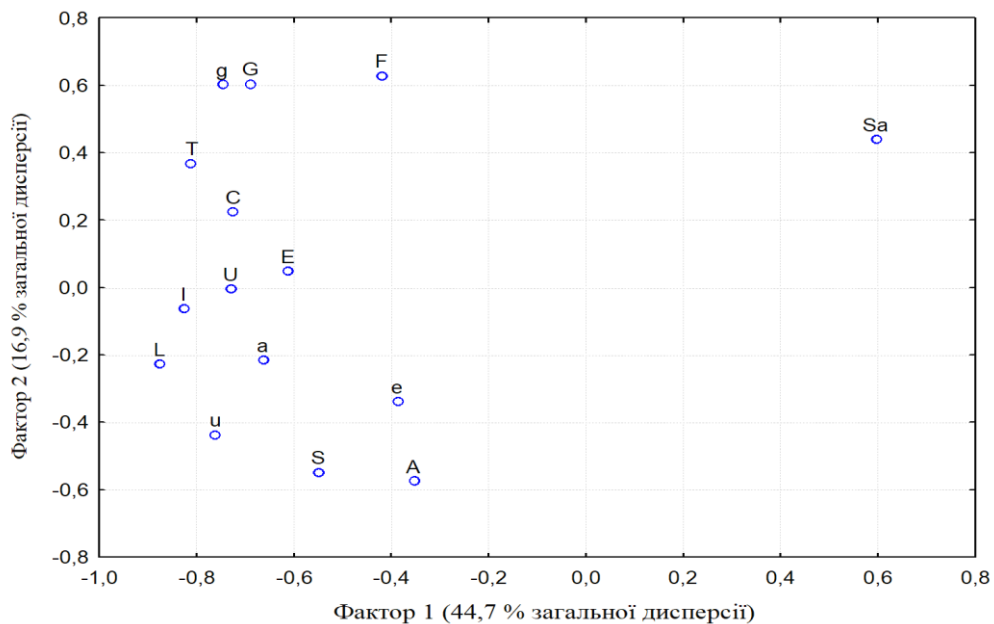


Рис. 4.18. Взаємне розташування морфометричних характеристик особин міської ценопопуляції *M. sjaelandicum* в ортогональних факторах: фактор 1 – вологість, фактор 2 – кормова база; позначення характеристик див. табл. 4.1

Результати факторного аналізу всього масиву даних показали наявність двох різних груп *M. sjaelandicum* (Mein.) за лінійними показниками (рис. 4.18). Фактор 1 у даній виборці описує максимальну дисперсію (44,7 %) і відображає «вологість» особин. Для вимірювання відбирали статевозрілих особин. Постембріональний розвиток *M. sjaelandicum* (Mein.) вивчено недостатньо, але відомо (Пришутова, 2001б), що ківсяки родини *Julidae* линяють до X–XV віку. Між загальною кількістю років і числом сегментів для окремих видів – *Cylindroiulus punctatus*, *C. latestriatus*, *Brachyiulus calcivagus* та ін. кореляції не знайдено. Для *Rossiulus kessleri* такої взаємозалежності також не виявлено. Фактор 2 (16,6 % дисперсії) – «кормова база» об’єднує такі характеристики: довжина та ширина тіла, довжина тельсона, ширина гнатохілярію, довжина та ширина проментума.

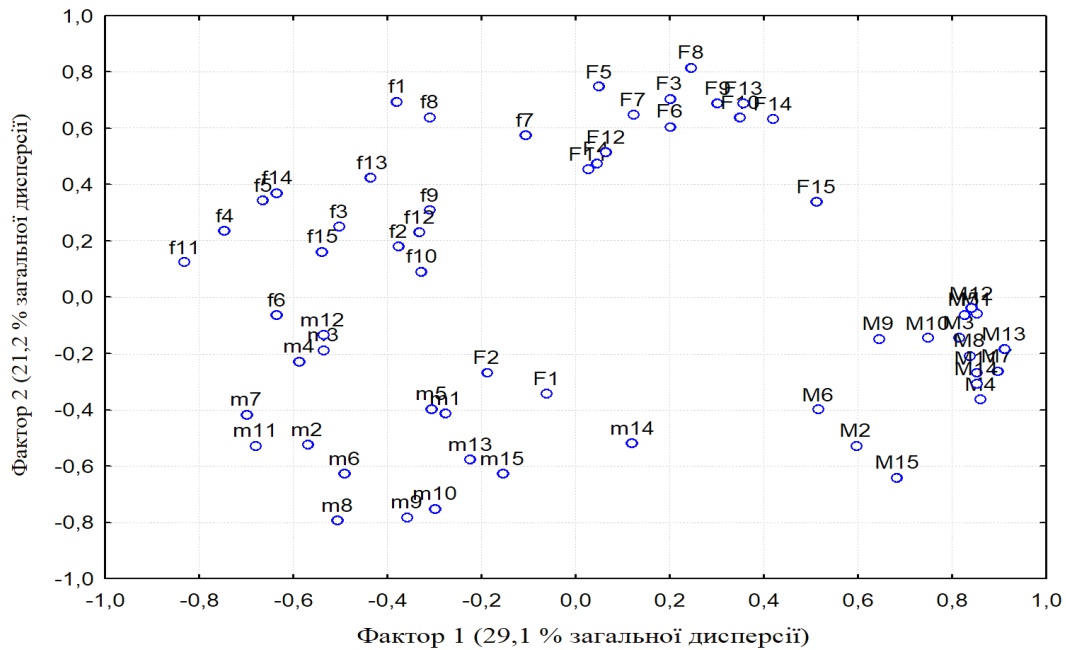


Рис. 4.19. Взаємне розташування особин *M. sjaelandicum* в ортогональних факторах морфометричних характеристик: фактор 1 – антропогенний вплив, фактор 2 – «стать»; М, F – самці та самки Самарського лісу, m, f – самці та самки околиць м. Дніпро, номери 1–15 відповідають дослідженим особинам

У ценопопуляції, знайденої поблизу Придніпровської ТЕС, відмічена більша морфологічна мінливість *M. sjaelandicum* порівняно з особинами із Самарського лісу. Це, вірогідно, пов'язано з різкими змінами умов існування в підстилковому біогеогоризонті та верхніх шарах ґрунту. Для особин із додатними значеннями за фактором 1 (29,1 % загальної дисперсії) характерні довше тіло та відповідно більша кількість сегментів, довші вусики, ширші язичкові пластини, із від'ємними – менший проментум. Особини з додатним навантаженням за фактором 2 (21,2 % загальної дисперсії) мають довші задні кінцівки, ширший гнатохілярій; група з від'ємними значеннями – менший розмір тельсона.

Просторова структура ценопопуляцій чітко відокремлює самців Самарського лісу із загальної вибірки (рис. 4.19). Відповідно до еволюційної теорії статі В. А. Геодакяна (1983) це свідчить про пристосування самців до поточних умов життя (чоловічі статеві клітини формуються за невеликий проміжок часу перед процесом запліднення) та ілюструє вищу мінливість самців порівняно з самицями, характерну для переважної більшості форм живих істот. Порівнюючи характеристики особин чоловічої та жіночої статі, дослідники з'ясовують напрямок

еволюції виду. Якщо самки *M. sjaelandicum* більші за самців – вид еволюціонує у напрямку зменшення розмірів тіла.

Статевий диморфізм для *M. sjaelandicum* із ценопопуляції околиць м. Дніпро виявлено за всіма співвідношеннями. Максимальна достовірність відмінностей статевого диморфізму ценопопуляції із Самарського лісу спостерігається за довжиною тельсона та розміром гнатохілярію. При цьому відмінності за статтю недостовірні для ширини вусика та таких фрагментів гнатохілярію: довжини та ширини язичкових пластин, ширини проментума. У ценопопуляції, що поблизу Придніпровської ТЕС, відмічена більша морфологічна мінливість *M. sjaelandicum*. Максимальну дисперсію всієї вибірки (44,7 %) описує фактор «вологість», другорядну роль відіграє фактор «трофічна база». Зазначені дані на основі популяційно-фенетичного аналізу дозволяють проілюструвати антропогенний вплив на ценопопуляції *Diplopoda*.

Отримані дані можна використати при проведенні багаторічного моніторингу угруповання *M. sjaelandicum*, а також, для порівняння, за інших умов існування.

Оцінка морфологічної мінливості особин ценопопуляцій *R. kessleri*

Полігон дослідження охоплює в адміністративному відношенні Новомосковський, Павлоградський і Юріївський райони Дніпропетровської області (рис. 1). Згідно з фізико-географічним районуванням три вказаних райони відповідають степовій зоні, північно-степовій підзоні, Лівобережно-Дніпровській північно-степовій провінції. Кліматичні умови цієї території, порівняно з фізико-географічними областями Правобережно-Дніпровської північно-степової провінції, відрізняються помітним збільшенням континентальності. Вона відрізняється значним розвитком долинних-заплавних, надзаплавних терасових піщано-борових і надзаплавних терасових лесово-степових типів місцевості.

Представників *Diplopoda* відбирали навесні 2014 та 2018 років у трьох лісових насадженнях: у природній ясенево-пакленовій діброві (розташована в межах привододільно-балкового ландшафту на схилі північної експозиції байраку

«Глибокий», Новомосковське лісництво (ПД 9); природній кленово-ясеневій діброві (розташована у межах долинно-терасового ландшафту Кочерезького лісництва, Павлоградський район (ПД 11); штучному кленовому лісовому насадженні (у межах привододільно-балкового ландшафту) (Pokhylenko et al., 2019).

Слід відзначити, що басейн Самари відрізняється високим рівнем розораності ґрунтів, що в поєднанні зі значними відстанями між дослідними ділянками (понад 20 км) унеможлиблює міграцію диплопод між ними.

Відомо, що цілісність організму забезпечується структурною та функціональною інтеграцією всіх його частин. З метою вивчення взаємозалежностей морфологічних показників *R. kessleri* (Пришутова, 2001а) обрано мінімальний комплекс ознак з 14 характеристик (див. «Матеріал та методи»). Таким чином, промірено 150 статевозрілих особин (по 50 у кожному угрупованні).

Оскільки обрані ділянки практично ізольовані одна від одної та від території міста, враховуючи міграційну здатність диплопод (Wytwer, Zalewski, 2005), можна вважати, що особини *R. kessleri*, які існують у межах окремих ділянок, належать до різних ценопопуляцій.

У даному дослідженні вивчали взаємозалежність морфологічних ознак у представників *R. kessleri* із різних лісових екосистем (ясенево-пакленова байрачна екосистема Самарського лісу Новомосковського лісництва (Похиленко, 2014), кленово-ясенева заплавна екосистема Кочерезького лісництва та штучне кленове насадження заказника «Волошанська дача»).

За результатами промірів особин із ясеневі-пакленової байрачної діброви Новомосковського лісництва (Новомосковський район) статевий диморфізм на вищому рівні значущості ($P < 0,001$) виявлений за шириною тіла l , довжиною вусика A , довжиною гнатохілярію G , довжиною язичкових пластин E , довжиною коллума C (табл. 4.3). Достовірні відмінності між самицями та самцями спостерігаються за розміром гнатохілярію – у самиць він на 8,8 % ширший і на 6,3 % довший.

Таблиця 4.3

Статистична оцінка основних морфометричних характеристик особин
ценопопуляцій *R. kessleri*

Ясенєво-пакленова байрачна діброва на вододілі				Кленово-ясенєва заплавна діброва				Кленове насадження на вододілі				
Характеристика	Стать	Середнє та похибка ($M \pm m_{0,05}$)	Достовірність в відмінностей за статевою ознакою, $F_{0,05} = 4,19$		Стать	Середнє та похибка ($M \pm m_{0,05}$)	Достовірність відмінностей за статевою ознакою, $F_{0,05} = 4,19$		Стать	Середнє та похибка ($M \pm m_{0,05}$)	Достовірність відмінностей за статевою ознакою, $F_{0,05} = 4,19$	
			CV, %	p			CV, %	p			CV, %	p
Довжина тіла (L), мм	♀	31,2±2,01	15,8	0,006	♀	32,0±1,02	9,1	0,28	♀	42,8±0,63	18,3	< 0,001
	♂	34,3±0,76			♂	31,2±0,92			♂	32,6±0,56		
Ширина тіла (I), мм	♀	3,22±0,07	31,3	< 0,001	♀	2,81±0,15	10,5	< 0,001	♀	3,74±0,07	16,8	< 0,001
	♂	2,78±0,11			♂	2,38±0,07			♂	2,90±0,07		
Кількість сегментів (S)	♀	49,0±0,64	4,7	0,13	♀	48,4±0,44	3,9	0,02	♀	51,4±0,68	5,8	0,015
	♂	48,2±0,80			♂	47,9±0,48			♂	49,9±0,29		
Довжина задньої кінцівки (F), мм	♀	1,24±0,12	23,0	0,5	♀	1,15±0,03	6,7	0,74	♀	1,32±0,03	11,6	0,002
	♂	1,28±0,05			♂	1,14±0,04			♂	1,21±0,03		
Довжина тельсона (T), мм	♀	1,25±0,05	27,4	0,01	♀	1,27±0,04	11,6	0,0002	♀	1,60±0,05	18,7	< 0,001
	♂	1,19±0,05			♂	1,15±0,04			♂	1,28±0,02		
Довжина вусика (A), мм	♀	2,05±0,11	14,3	0,001	♀	1,83±0,05	11,3	0,002	♀	2,86±0,11	17,6	0,08
	♂	2,33±0,10			♂	1,98±0,08			♂	2,63±0,10		
Ширина вусика (a), мм	♀	0,20±0,02	15,5	0,49	♀	0,26±0,01	9,3	0,0003	♀	0,30±0,01	19,5	0,13
	♂	0,21±0,01			♂	0,24±0,00			♂	0,28±0,01		
Довжина гнатохілярію (G), мм	♀	1,21±0,03	7,5	0,0001	♀	1,23±0,03	12,1	< 0,001	♀	1,34±0,02	15,1	< 0,001
	♂	0,11±0,02			♂	1,04±0,04			♂	1,10±0,03		
Шири на гнатохілярію (g), мм	♀	1,21±0,04	9,1	0,009	♀	1,25±0,02	9,4	< 0,001	♀	1,40±0,02	16,3	< 0,001
	♂	1,13±0,04			♂	1,09±0,03			♂	1,08±0,02		
Довжина язичкових пластин (E), мм	♀	0,32±0,02	12,7	< 0,001	♀	0,49±0,02	13,2	< 0,001	♀	0,47±0,01	13,8	< 0,001
	♂	0,39±0,01			♂	0,40±0,01			♂	0,38±0,007		
Ширина язичкових	♀	0,16±0,01	14,5	0,0002	♀	0,23±0,00	12,3	0,006	♀	0,24±0,006	15,3	0,0002

пластин (e), мм	♂	0,21±0,02			♂	0,21±0,01			♂	0,21±0,007		
Довжина проментума (U), мм	♀	0,34±0,02	15,1	0,04	♀	0,35±0,02	19,9	0,001	♀	0,36±0,001	17,0	< 0,001
	♂	0,31±0,02			♂	0,30±0,02			♂	0,27±0,005		
Ширина проментума (u), мм	♀	0,23±0,01	18,7	0,15	♀	0,22±0,01 4	16,1	0,19	♀	0,26±0,009	20,3	< 0,001
	♂	0,22±0,02			♂	0,20±0,01 7			♂	0,19±0,005		
Довжина коллума (C), мм	♀	1,49±0,05	11,9	< 0,001	♀	1,39±0,04	9,7	< 0,001	♀	1,62±0,05	18,8	< 0,001
	♂	1,29±0,04			♂	1,25±0,04			♂	1,26±0,01		

Примітка. ♀ – самки ($n = 25$), ♂ – самці ($n = 25$).

В особин із кленово-ясеневої заплавної діброви Кочерезького лісництва (Павлоградський район) (табл. 4.3) достовірні відмінності спостерігаються за довжиною вусиків при практично однаковій ширині (у самців вусики на 7,6 % довші). За такими ознаками, як довжина тіла (L), довжина задньої кінцівки (F), ширина проментума (u), відмінностей за статтю не спостерігається.

В умовах кленового насадження на водорозділі (Юріївський район) за обома основними лінійними промірами тіла відмічений статевий диморфізм (самиці на 23,8% коротші самців і на 22,5% товщі) на вищому рівні значущості ($P < 0,001$), в той час як для особин *R. kessleri* із ясенево-пакленової байрачної діброви й кленово-ясеневої запавної діброви статевий диморфізм характерний тільки для параметра «ширина тіла» ($P < 0,001$).

Взаємодії лінійних промірювань у популяції можна проаналізувати за допомогою факторного аналізу. Дисперсію особин за промірюваннями всередині популяцій виявили шляхом транспонування вихідної матриці. Це дозволило показати положення окремої особини в популяції та проаналізувати різні групи особин за сукупністю ознак.

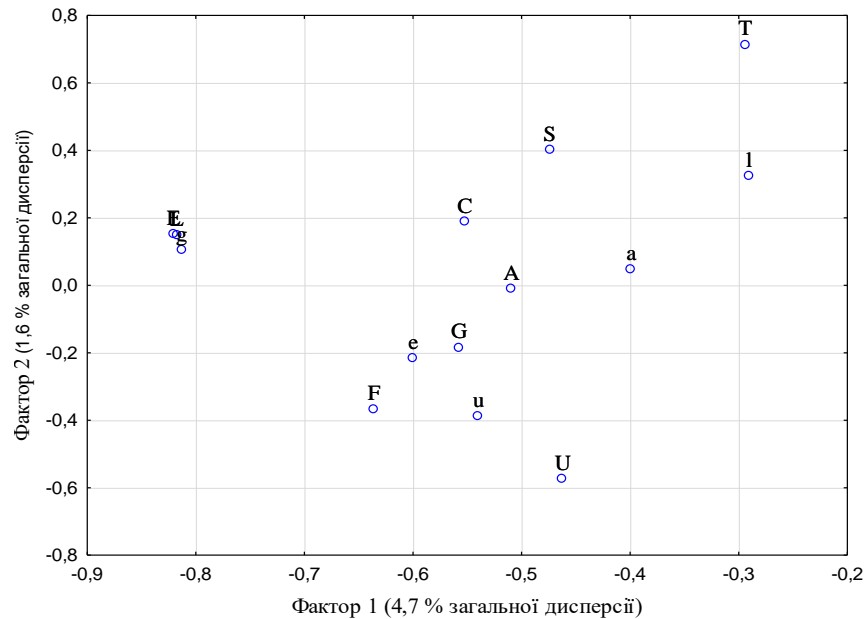


Рис. 4.20. Взаємне розташування морфометричних характеристик особин *R. kessleri* із ясенєво-пакленової байрачної діброви в ортогональних факторах: фактор 1 – кормова база, фактор 2 – зволоження; позначення характеристик див. табл. 4.1.

Результати факторного аналізу масиву даних показали наявність двох різних груп *R. kessleri* за лінійними показниками (рис. 4.20) в умовах ясенєво-пакленової байрачної екосистеми. Фактор 1 у даній виборці описує максимальну дисперсію (4,7 %) і відображає «кормова база» у особин. Крім довгого тельсона особини характеризуються меншими з трьох вибірок середніми значеннями розмірів язичкових пластин (на 18,6 % за довжиною, на 18,2 % за шириною).

У особин із заплавної лісової екосистеми відмічена більша (на 18,4 %) довжина язичкових пластин, менша (на 9,5 %) за середніми значеннями довжина задньої кінцівки (*F*) та менша серед трьох вибірок (на 23,1 %) довжина вусика (*A*). За результатами факторного аналізу промірів тіла (рис. 4.21) для угруповання *R. kessleri* із заплавної кленово-ясенєвої екосистеми Кочерезького лісництва чітко відокремлюються групи особин: за фактором 1 (5,1 % загальної дисперсії) «зволоження» та за фактором 2 (2,4 % загальної дисперсії) – «трофічна база».

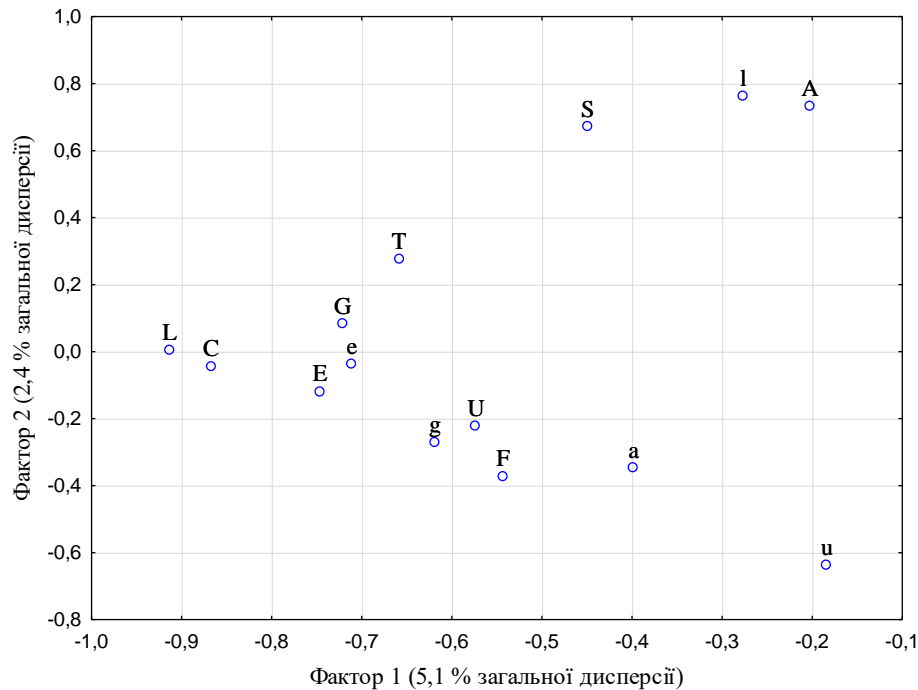


Рис. 4.21. Розташування морфометричних характеристик особин *R. kessleri* із кленово-ясеневої заплавної діброви в ортогональних факторах: фактор 1 – «зволоження», фактор 2 – «кормова база»; позначення характеристик див. табл.4.1

Менш варіабельним за довжину, тому більш об'єктивним показником розмірів тіла сірого ківсяка, як і для багатьох інших видів диплопод (Latrou, Stamou, 1988; Enghoff, 1992: цит. по Пришутова, 2001a), є ширина. В умовах кленового насадження на вододілі спостерігаються найвищі середні показники за обома основними лінійними промірами тіла (шириною l та довжиною L), розмірами вусика (шириною A та довжиною a).

За результатами однофакторного дисперсійного аналізу масиву значень (рис. 4.22) максимальну загальну дисперсію (5,9 %) визначено за фактором 1 – «зволоження», а саме довжини проментума (U) та довжини язичкових пластин (E). Спостерігається це за рахунок самок, які в умовах штучного кленового насадження на вододілі більші за самців. Зазначимо, що самки двох інших угруповань значно менші за угруповання в умовах штучного кленового насадження ($P < 0,001$).

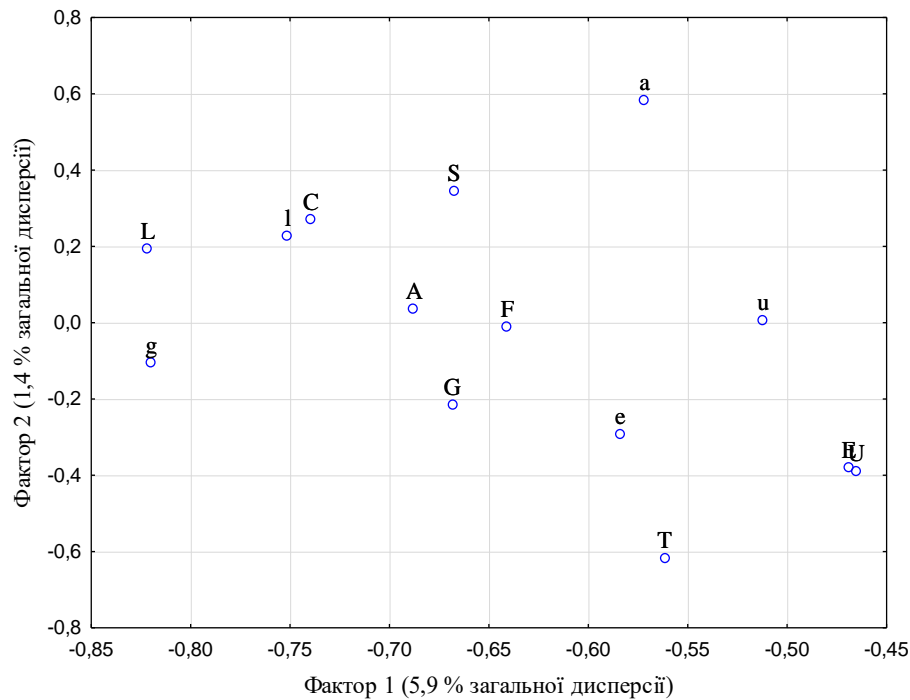


Рис. 4.22. Розташування морфометричних характеристик особин *R. kessleri* із штучного кленового насадження у ортогональних факторах: фактор 1 – «зволоження», фактор 2 – «кормова база»; позначення характеристик див. табл. 4.1

Результати факторного аналізу даних трьох угруповань не показали чіткого розподілу *R. kessleri* (Lohm.) на групи (рис. 4.23). Однак для особин із додатними значеннями за фактором 1 (22,6 % загальної дисперсії) характерний більший тельсон (*T*).

Індекс варіації (*CV*) для вимірюваних ознак у досліджених угрупованнях становить менше 33 %, що означає однорідність сукупності. Середні значення індексу становлять 15,8 %, 11,1% та 16,1 % для ясенєво-пакленової байрачної діброви на вододілі, кленово-ясенєвої заплавної діброви та кленового насадження на вододілі відповідно.

Просторова структура загальної вибірки відокремлює самців. Особини із додатними значеннями за фактором 2 (17,8 % загальної дисперсії) виділяються ширшим гнатохілярієм (на 1,7 %), більшими розмірами проментума (на 11,0 % довший та на 3,8 % ширший).

Постембріональний розвиток *R. kessleri* вивчено детально, і відомо (Пришутова, 2001b), що ківсяки родини *Julidae* линяють до X–XV віку. Виявлено (Blower, Fairhurst, 1968; цит за: Пришутова, 2001b), що між загальною кількістю

років і числом сегментів для окремих видів (*Cylindroiulus punctatus*, *C. latestriatus*, *Brachyiulus calcivagus*, *R. kessleri* та ін.) кореляції не визначено.

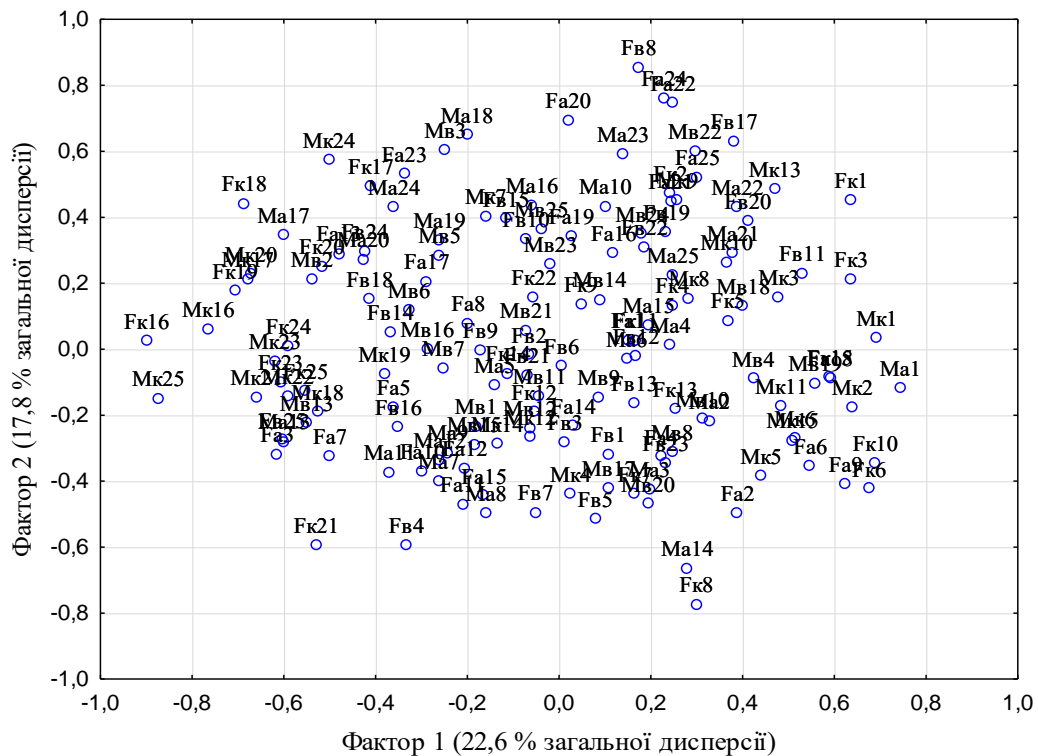


Рис. 4.23. Взаємне розташування особин *R. kessleri* в ортогональних факторах морфометричних характеристик: фактор 1 – зволоження, фактор 2 – освітленість, Ма, Фа – самці та самки Самарського лісу Новомосковського лісництва, Мк, Фк – самці та самки Самарського лісу Кочерезького лісництва, Мв, Фв – самці та самки урочища «Затишне» заказника «Волошанська дача»; номери 1–25 відповідають дослідженим особинам.

В умовах штучного кленового насадження на вододілі, статевий диморфізм виявлено за більшістю лінійних промірів ($P < 0,001$). Для угруповань Новомосковського (ясенево-пакленової байрачної екосистеми) й Кочерезького лісництв (кленово-ясеневої заплавної екосистеми) майже за всіма зазначеними співвідношеннями виявлено статевий диморфізм. Найнижчий рівень морфологічної мінливості зафіксовано в угрупованні з Новомосковського лісництва. Зазначені дані на основі популяційно-фенетичного аналізу дозволяють проілюструвати антропогенний вплив на угруповання *Diplopoda*. Отримані дані можна використати при проведенні багаторічного моніторингу популяції *R. kessleri*, а також для порівняння з угрупованнями за інших умов існування.

Таблиця 4.4

Статистичні відмінності середніх серед самиць *R. kessleri* із різних типів лісу
(за тестом Тьюкі, $n = 25$, $P \leq 0,05$)

Показник, мм	Тип лісу		
	ясенево-пакленова байрачна діброва	кленово-ясенева заплавна діброва	кленове насадження на вододілі
Довжина тіла (<i>L</i>)	31,16 ± 5,129 ^a	32,00 ± 2,598 ^{ab}	42,84 ± 2,641 ^c
Ширина тіла (<i>l</i>)	3,22 ± 0,181 ^a	2,81 ± 0,375 ^b	3,74 ± 0,300 ^c
Кількість сегментів (<i>S</i>)	49,04 ± 1,645 ^a	48,72 ± 1,137 ^{ab}	51,44 ± 2,858 ^c
Довжина задньої кінцівки (<i>F</i>)	1,23 ± 0,305 ^a	1,15 ± 0,081 ^{ab}	1,32 ± 0,128 ^{ac}
Довжина тельсона (<i>T</i>)	1,32 ± 0,129 ^a	1,26 ± 0,104 ^{ab}	1,60 ± 0,204 ^c
Довжина вусика (<i>A</i>)	2,052 ± 0,286 ^a	1,82 ± 0,128 ^{ab}	2,85 ± 0,455 ^c
Ширина вусика (<i>a</i>)	0,20 ± 0,03 ^a	0,26 ± 0,02 ^b	0,30 ± 0,058 ^{bc}
Довжина гнатохілярію (<i>G</i>)	1,20 ± 0,086 ^a	1,22 ± 0,069 ^{ab}	1,33 ± 0,09 ^c
Ширина гнатохілярію (<i>g</i>)	1,21 ± 0,112 ^a	1,25 ± 0,049 ^{ab}	1,4 ± 0,008 ^c
Довжина язичкових пластин (<i>E</i>)	0,32 ± 0,067 ^a	0,49 ± 0,041 ^b	0,47 ± 0,041 ^{bc}
Ширина язичкових пластин (<i>e</i>)	0,16 ± 0,035 ^a	0,23 ± 0,020 ^b	0,23 ± 0,024 ^{bc}
Довжина проментума (<i>U</i>)	0,33 ± 0,046 ^{abc}	0,34 ± 0,044 ^{abc}	0,35 ± 0,028 ^{abc}
Ширина проментума (<i>u</i>)	0,23 ± 0,036 ^a	0,22 ± 0,035 ^{ab}	0,25 ± 0,036 ^{ac}
Довжина коллума (<i>C</i>)	1,49 ± 0,13 ^a	1,39 ± 0,094 ^b	1,61 ± 0,216 ^c

За результатами дослідження самиць сірого ківсяка, відібраних у трьох типах лісу, визначені статистично достовірні розбіжності за шириною (*l*) тіла та довжиною коллума (*C*) (табл. 4.4). Особини з штучного кленового насадження на вододілі (Юріївський район) статистично достовірно відрізняються більшою середньою довжиною тіла порівняно з самицями з інших типів лісу. Тільки для такого морфологічного показника, як довжина проментума (*U*), встановлено відсутність статистичної розбіжності середніх для самок ківсяка з досліджених біотопів.

Для самців ківсяка, відібраних у трьох типах лісу, статистична достовірна розбіжність середніх визначена за шириною (*a*) та довжиною (*A*) вусика (табл. 4.5). Відмітимо, що серед характеристик елементів гнатохілярію (довжина та ширина гнатохілярію, довжина та ширина язичкових пластин, довжина та ширина проментума) для самців з різних досліджених лісових екосистем статистично

достовірної розбіжності середніх довжини (E) та ширини (e) язичкових пластин, довжини (G) та ширини (g) гнатохілярію не встановлено. Дослідження складних динамічних систем, якими є біологічні системи, пов'язані з необхідністю описання та врахування не лише особливостей окремих елементів систем (частин, ознак), а й залежностей між ними. До найпоширеніших методів вивчення таких залежностей відносять кореляційно-регресійний, а також заснований на ньому факторний і (або) компонентний аналіз.

Таблиця 4.5

Статистичні відмінності середніх серед самців *R. kessleri* із різних типів лісу (за тестом Тьюкі, $n = 25$, $P \leq 0,05$)

Показник, мм	Тип лісу		
	ясенево-пакленова байрачна діброва	кленово-ясенева заплавна діброва	кленове насадження на вододілі
Довжина тіла (L)	$34,32 \pm 1,930^a$	$31,24 \pm 2,350^b$	$32,64 \pm 2,325^{bc}$
Ширина тіла (l)	$2,78 \pm 0,279^a$	$2,38 \pm 0,180^b$	$2,90 \pm 0,280^{ac}$
Кількість сегментів (S)	$48,24 \pm 2,046^a$	$47,92 \pm 1,222^{ab}$	$49,88 \pm 1,235^c$
Довжина задньої кінцівки (F)	$1,28 \pm 0,122^a$	$1,14 \pm 0,093^{bc}$	$1,20 \pm 0,117^c$
Довжина тельсона (T)	$1,19 \pm 0,121^a$	$1,14 \pm 0,101^{ab}$	$1,27 \pm 0,104^c$
Довжина вусика (A)	$2,33 \pm 0,279^a$	$1,98 \pm 0,211^b$	$2,63 \pm 0,429^c$
Ширина вусика (a)	$0,21 \pm 0,031^a$	$0,23 \pm 0,023^b$	$0,27 \pm 0,047^c$
Довжина гнатохілярію (G)	$1,10 \pm 0,082^{ac}$	$1,04 \pm 0,099^{ab}$	$1,07 \pm 0,114^{abc}$
Ширина гнатохілярію (g)	$1,12 \pm 0,113^{ac}$	$1,09 \pm 0,081^{ab}$	$1,08 \pm 0,097^{abc}$
Довжина язичкових пластин (E)	$0,39 \pm 0,045^{ac}$	$0,40 \pm 0,039^{ab}$	$0,37 \pm 0,027^{abc}$
Ширина язичкових пластин (e)	$0,20 \pm 0,041^{ac}$	$0,21 \pm 0,030^{ab}$	$0,20 \pm 0,031^{abc}$
Довжина проментума (U)	$0,31 \pm 0,045^a$	$0,30 \pm 0,046^{ab}$	$0,27 \pm 0,020^c$
Ширина проментума (u)	$0,21 \pm 0,046^{ac}$	$0,20 \pm 0,042^{bc}$	$0,19 \pm 0,022^{abc}$
Довжина коллума (C)	$1,28 \pm 0,093^{ac}$	$1,24 \pm 0,093^{bc}$	$1,25 \pm 0,060^{abc}$

Примітка: для показників наведено середнє арифметичне та стандартне відхилення.

Розглянемо результати множинної регресії на прикладі морфологічних показників, встановлених для самиць і самців з об'єднаної вибірки ківсяків, зібраних з досліджених трьох типів лісу (табл. 4.5).

З'ясовано, що для самиць ківсяків довжину вусика (A) серед таких показників, як довжина тіла (L), ширина тіла (I), довжина гнатохілярію (G) та довжина коллума (C), визначають довжина тіла (L) та довжина гнатохілярію (G).

При цьому сила вкладу довжини гнатохілярію (G) більша, ніж сила вкладу довжини тіла (L). Звернемо увагу, що розміри вусика (його довжину та ширину) не визначають показники, що належать до елементів гнатохілярію. Для довжини гнатохілярію (G) у самиць визначальними характеристиками є ширина тіла (I), довжина проментума (U) та довжина язичкових пластин (E); для ширини гнатохілярію (g) – ширина тіла (I), ширина проментума (u), ширина язичкових пластин (e), довжина коллума (C). Установлено, що ширина гнатохілярію (g) важлива у прогнозуванні розміру проментума.

Між самицями та самцями встановлена така особливість: визначальним показником для ширини вусика у самиць виявлена довжина тіла (L), у той час як для самців це ширина тіла (I). Довжину та ширину гнатохілярію самців можна прогнозувати за довжиною коллума і, відповідно, за шириною тіла (I) та довжиною тіла (L). Розміри таких елементів гнатохілярію, як довжина язичкових пластин (E), довжина (U) та ширина (u) проментума, можна описати зміною ширини гнатохілярію (g). Довжину коллума (C) самців, як і у випадку із самицями, можна добре передбачити за довжиною тіла (L) та довжиною гнатохілярію (G).

Структурограма ознак *R. kessleri* із досліджених лісових деревних насаджень наочно показує рівень зв'язків між вивченими параметрами (рис. 4.24). У заплавної кленово-ясеневій діброві відносна потужність плеяди дещо слабша (0,64), а міць плеяди становить 0,84 і за величиною відповідає міці плеяди байрачної ясенєво-пакленової діброви. Ознакою-індикатором у даному випадку є довжина тельсона (T) з коефіцієнтом кореляції 0,99.

Структурограма штучного кленового насадження на вододілі відображає дисбаланс кругообігу речовин, відмінного від природного лісового – відносна потужність плеяди становить 0,07, міць – 0,78. Ступінь морфологічної інтегрованості не виражена явно.

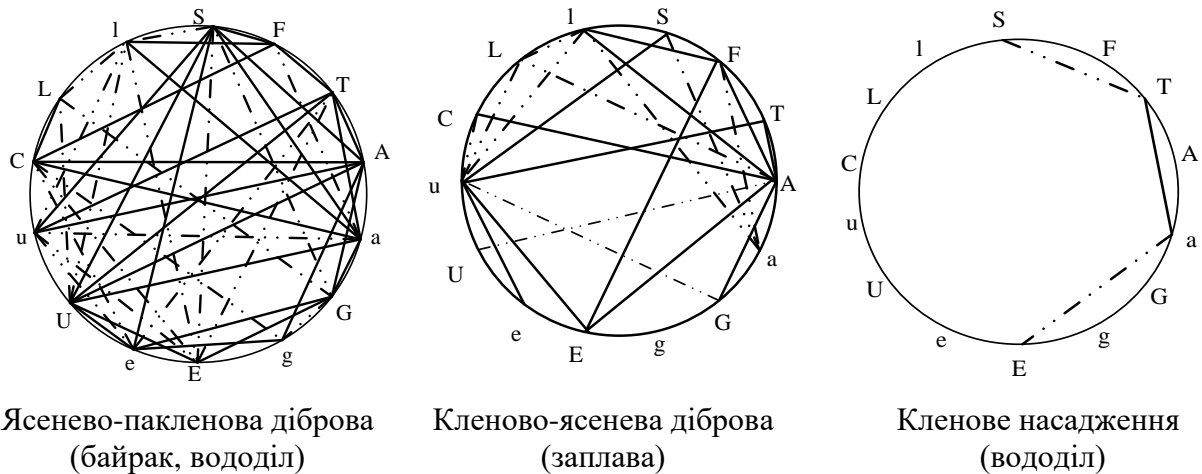


Рис. 4.24. Кореляційна структура ознак *R. kessleri*: L – довжина тіла, l – ширина тіла, S – кількість сегментів, T – довжина тельсона, F – довжина задньої кінцівки, A – довжина вусика, a – ширина вусика, G – довжина гнатохілярію, g – ширина гнатохілярію, E – довжина язичкових пластин, e – ширина язичкових пластин, U – довжина проментума, u – ширина проментума, C – довжина коллума

На пробній ділянці в байрачній ясенево-пакленовій діброві з 14 досліджуваних ознак на рівні $\geq 0,70$ виокремлюється група з п'яти ознак: довжина тіла (*L*), кількість сегментів тіла (*S*), довжина тельсона (*T*), розмір вусиків (довжина *A* і ширина *a*). Ознакою-індикатором цієї плеяди можна вважати ширину вусика – ознаку з найбільш високим коефіцієнтом кореляції (0,98). Зауважимо, що розмір проментума (ширина та довжина) у представленій лісовій екосистемі лінійно незалежний від інших досліджених ознак. При цьому ступінь морфологічної інтегрованості диплопод в зазначеній лісовій екосистемі вищий, ніж у заплавної кленово-ясеневій діброві та штучному кленовому насадженні на вододілі: відносна потужність плеяди становить 0,93 одиниці, міць плеяди – 0,82 одиниці.

Згідно з отриманими даними, для особин з штучного кленового насадження на вододілі статевий диморфізм виявлено за розмірами голови та відповідно за всіма лінійними промірами частин гнатохілярію ($P < 0,001$): його шириною (*g*) і довжиною (*G*), шириною (*e*) і довжиною язичкових (*E*) пластин, шириною (*u*) і довжиною (*U*) проментума, довжиною коллума (*C*). Відмітимо,

що для особин *R. kessleri* з байрачної ясенєво-пакленової діброви і клєново-ясєневої заплавної діброви статєвий диморфїзм за шириною проментума не знайдєно.

Статистичний аналіз, здїйснений за критерїєм множинного порівняння середнїх (тєст Тьюкі), виявив для самиць сїрого кївсьяка, вїдїбраних у трьох типах лїсу (ясєнево-пакленова байрачна діброва, клєново-ясєнева заплавна діброва, штучне клєнове насадження на вододїлі), їснування статистично достовїрних ($P \leq 0,05$) розбїжностей за середньою шириною та довжиною тїла, а також довжиною коллума, для самцїв – за шириною та довжиною вусика. Для середньої довжини та ширини язичкових пластин, довжини та ширини гнатохїлярїю розбїжностей для самцїв з рїзних типїв лїсу не встановлено. Установлено, що морфологїчні змїни одних структурних ознак особин сїрого кївсьяка корелюють з одним або декїлькама їншими ознаками. Мєтодами множинної регресїї виявленї стїйкї сукупностї кїлькїсних ознак, якї можна прогнозувати для самиць ї самцїв кївсьяка сїрого за певними морфометричними характеристиками – загальними розмїрами його тїла, розмїрами органїв почуття, розмїрами елементїв гнатохїлярїю. Установлено, що довжина та ширина вусикїв кївсьяка сїрого вїдповїдно корелюють з довжиною (для самиць) та шириною (для самцїв) тїла. Стосовно елементїв гнатохїлярїю визначєно для самиць бїльший спектр ознак, якї пїсля статистичного опрацювання залишились у складї математичних моделей. Довжину та ширину язичкових пластин можна прогнозувати за сумарним вкладом довжини та ширини тїла, довжини гнатохїлярїю для самиць, для самцїв – вїдповїдно за вкладом тїльки ширини гнатохїлярїю та довжини тїла. Визначєні особливостї є елементами морфологїчної їнтеграцїї, вїд якої залежить структурна та функцїональна цїлїснїсть органїзмїв як системи.

Статистичне множинне порівняння середнїх аналізу (за критерїєм Тьюкі) виявило, що для самиць сїрого кївсьяка, вїдїбраних у ясенєво-пакленовїй байрачнїй дібровї, клєново-ясєневїй заплавнїй дібровї, штучному клєновому насадженнї на плакорї в умовах степової зони, спостєрїгаються статистично достовїрнї розбїжностї за середньою шириною та довжиною тїла, а також

довжиною коллума, для самців – за шириною та довжиною вусика. Для середньої довжини та ширини язичкових пластин, довжини та ширини гнатохілярію розбіжностей між самцями з різних типів лісу не встановлено.

Результати досліджень основних морфометричних показників представників ківсяка сірого дозволили з'ясувати статистичні взаємозалежності середнього значення певної розмірної характеристики у такому комплексі ознак, як загальні розміри тіла, розміри органів почуття і розміри елементів гнатохілярію, та представити для них математичні моделі з високим ступенем працездатності та величиною рівня апроксимації даних. Установлено, що довжина та ширина вусиків ківсяка сірого відповідно корелюють з довжиною (для самиць) та шириною (для самців) тіла. Стосовно елементів гнатохілярію, то для самиць визначено більший спектр ознак, який входить до математичних моделей. Довжину та ширину їх язичкових пластин можна розрахувати за сумарним ефектом довжини та ширини тіла, довжини гнатохілярію, для самців – відповідно за вкладом тільки ширини гнатохілярію та довжини тіла. Визначені особливості є елементами морфологічної інтеграції, від якої залежить структурна (та функціональна) цілісність організмів як системи (Похиленко, Дідур, 2018; Похиленко та ін., 2019).

Таким чином, у лісових екосистемах Присамар'я виявлено п'ять видів диплопод. За чисельністю домінує вид *R. kessleri*, найменша чисельність характерна для виду *J. terrestris*. переважає на ділянках із ксеромезо- та мезофільним типом зволоження. Визначена позитивна залежність між чисельністю диплопод та нейтральними значеннями рН ґрунтового розчину та вмістом гумусу у ґрунті. Максимальна чисельність *R. kessleri* (175 екз./м²) зареєстрована в мезофільній паклено-ясеневої діброві (ПД 9), мінімальна (3 екз./м²) – в ксеромезофільному акацієвому насадженні із тонконогом вузьколистим на плакорі (ПД 2). *R. kessleri* відноситься до 7-ї розмірної групи (31,2–42,8 мм за нашими даними), його частка серед еврибіонтів коливається від 1,0 % до 72,4 % у гігрофільному короткозаплавному вільшанику із сирим великотрав'ям (ПД 17) та ксеромезофільному бору із куничником наземним на

арені (ПД 6) відповідно. Серед сапрофагів доля *R. kessleri* становить 0,78 % до 85,5 % на ПД 6 та ПД 17 відповідно. На ділянках, що знаходяться за дією підприємств, серед сапрофагів переважають *Isopoda* та *Julidae*, поблизу Придніпровської ТЕС зареєстрований один вид диплопод *M. sjaelandicum*. Особини *R. kessleri* зареєстровані в одному з чотирьох паркових зон міста (парк «Зелений гай») з чисельністю 0,4 екз./м².

Підсумовуючи вищенаведене відмітимо, що диплоподи являють собою функціонально активний ґрунтово-підстилковий компонент зооценозу. Внаслідок своєї активності в лісовій екосистемі двопарноногі багатоніжки (у поєднанні з іншими факторами і процесами) обумовлюють натуралізацію лісового едафотопу і зрештою – сильватизацію біотопів у цілому (Кульбачко та ін., 2019; Kulbachko et al., 2019). Тобто вони є важливим біологічним фактором оптимізації едафотопу, сприяючи формуванню гумусового горизонту ґрунту, й посилюючи екологічну відповідність рослинності умовам існування. Виявлена морфологічна мінливість двопарноногих багатоніжок в різних досліджених лісових екосистемах, на наш погляд, відображає ступінь їх сильватизації. Розрахована відносна потужність кореляційних плеяд підтверджує це припущення. Так, для диплопод природних лісових екосистем відносна потужність плеяд змінюється в межах 0,6–0,9, у той час як для диплопод штучної лісової екосистеми вона близька до нуля й становить 0,07 одиниць. Одним з показників морфологічної інтегрованості ознак двопарноногих багатоніжок є потужність кореляційної плеяди. Установлено, що 14 морфологічних показників, які досліджували у представників диплопод, утворюють найбільш потужні плеяди (відносна потужність становить 0,64 і 0,93 одиниці відповідно) для умов природного лісу (заплавні й байрачні місця існування), а для умов штучного лісу на вододілі – слабку кореляційну плеяду з відносною потужністю 0,07 одиниці. Таким чином, спряженість морфологічних параметрів представників двопарноногих багатоніжок послаблена в штучному лісі й в більшій мірі проявляється в природному лісі. Величину відносної потужності кореляційної

плеяди можна використовувати для діагностики натуралізації штучних насаджень в умовах степової України.

Перелік посилань:

Арсланбекова, Ф. Ф. (2011). Повреждающее воздействие на окружающую среду тепловых электростанций и автотранспорта: *Автореф. дисс канд. биол. наук: 03.00.16 / Российский университет дружбы народов и Российский государственный заочный аграрный университет*. Балашиха-8.

Барсов, В. А., Пилипенко, А. Ф., Жуков, А. В. (1996). Сезонные, годовые и вызванные антропогенными факторами изменения структуры популяций почвенных и наземных беспозвоночных животных в некоторых биогеоценозах центрального степного Приднепровья. *Вестник Днепропетровского университета. Биология. Экология*. 2, 177–184.

Белецкая, В. А. (2001). Экспериментальное изучение буферных свойств пород зоны аэрации Западного Донбасса. *Екологія кризових регіонів України: Тези доповідей міжнародної конференції*. (С. 17). Д.: ДНУ.

Бельгард, А. Л. (1971). *Степное лесоведение*. М.: Лесная промышленность.

Бобылёв, С. Н., Захаров, В. М. (2009). *Экосистемные услуги и экономика*. М.: ООО Типография ЛЕВКО.

Бригадиренко, В. В. (2004). Закономерности распределения подстилочных беспозвоночных степных экосистем центрального степного Приднепровья. *Вісник Дніпропетровського університету. Біологія. Екологія*. 12(1), 13–18.

Бригадиренко, В. В. (2006). Возможности использования напочвенных беспозвоночных для индикации градаций увлажнения эдафотопы в лесных экосистемах. *Вісник Дніпропетровського університету. Біологія. Екологія*. 14(1), 21–26.

Воробейчик, Е. Л. (1995). Изменение мощности лесной подстилки в условиях химического загрязнения. *Экология*, 4, 278–284.

Вредные химические вещества. Неорганические соединения элементов I-IV групп: справочное издание (1988). Л.: Химия.

Гиляров, М. С. (1965). *Зоологический метод диагностики почв*. М.: Наука.

Горячева, Т. А. (2002). Мониторинг органического вещества почвенного компонента естественных и антропогенно нарушенных экосистем Среднего Урала: *Автореф. дисс канд. биол. наук: 03.00.16* Екатеринбург.

Геодакян, В. А. (1983). Эволюционная логика дифференциации полов. *Природа*, 1, 70–80.

Ивонин, В. М., Воскобойникова, И. В. (2015). Теоретическая концепция эрозии почв для рекреационных лесов. *Научный журнал российского НИИ проблем мелиорации*, 17(1), 61–71.

Дідур, О. О., Кульбачко, Ю. Л., Кришень, М. І. (2017). Зоогенні тенденції буферної здатності ґрунту як складова екологічної реабілітації урбоґрунту в межах паркової зони мегаполіса. *Питання степового лісознавства та лісової рекультивациі земель*. 46, 106–114.

Дідух, Я. П. (1998). *Популяційна екологія*. К.: Фітосоціоцентр.

Добровольский, Г. В., Никитин, Е. Д. (2000). *Сохранение почв как незаменимого компонента биосферы*. М.: Наука.

Евдокимов, Г. А., Зенкова, И. В., Мозгова, Н. П., Переверзев, В. Н. (2004). Взаимодействие почвенных микроорганизмов и беспозвоночных при трансформации растительных остатков в почвах Северной Фенноскандии. *Почвоведение*, 10, 1199–1210.

Емельянов, И. Г. (1999). Роль разнообразия в функциональной устойчивости экосистем. *Экологія та ноосферологія*, 6(1–2), 32–38.

Ермаков, А. И. (2004). Влияние медеплавильного производства на население герпетобионтных беспозвоночных. *Экологические проблемы северных регионов и пути их решения* (1). (С. 49–51). Апатиты.

Жуков, А. В. (1999). Анализ биоморфической структуры мезофауны в диагностике почв. *Питання степового лісознавства та лісової рекультивації земель*, 106–114.

Жуков, О. В. (2009). *Екоморфічний аналіз консорцій ґрунтових тварин (Ecomorphic analysis of the soil animal consortia)*. Д.: Свідлер АЛ.

Королёв А. В., Шульман М. В., Похиленко А. П. (2008). Особенности пищевых предпочтений *Pterostichus melanarius* (Illiger, 1798) в лабораторных условиях. *Принципы и способы сохранения биоразнообразия: Материалы III Всероссийской научной конференции*. (С. 161-162). Йошкар-Ола, Пущино.

Корольов, О. В., Похиленко, А. П. (2009). Трофічні зв'язки *Pterostichus melanarius* (Coleoptera: Carabidae) із доміантними видами *Diplopoda* та *Isopoda* Самарського лісу. *Питання степового лісознавства та лісової рекультивації земель*, 38, 124–129.

Королев, А. В., Похиленко, А. П. (2013). Оценка влияния *Pterostichus melanarius* (Coleoptera, Carabidae) на численность популяций многоножек семейства Julidae. Матеріали VIII з'їзду Українського ентомологічного товариства. (С. 75–76). Київ.

Коросов, А. В. (2002). Имитация экологических объектов в среде пакета Microsoft Excel. *Экология*, 2, 144–147.

Кораблева, А. И. Чесанов, Л. Г., Шапарь, А. Г. (2001). *Введение в экологическую токсикологию*. Д.: Центр экономического образования.

Криволуцкий, Д. А. (1994). *Почвенная фауна в экологическом контроле*. М.: Наука.

Кульбачко, Ю. Л., Штірц, А. Д., Дідур, О. О. (2014). Екологічна структура угруповань панцирних кліщів у насадженні клена гостролистого на ділянці рекультивації шахти «Павлоградська» (Павлоград, Дніпропетровська обл.). *Біологічний вісник МДПУ ім. Б. Хмельницького*, 1, 113–131.

Кульбачко, Ю. Л., Дідур, О. О. (2018). Морфологічна мінливість представників педобіонтів-зоофагів на прикладі *Carabus granulatus* Linnaeus,

1758 (Coleoptera, Carabidae) в умовах техногенного пресу. *Біорізноманіття, екологія та експериментальна біологія*, 19, 51–57.

Кульбачко, Ю. Л., Дідур, О. О., Похиленко, А. П. (2019). *Екологічні аспекти зоопертинентної функції ґрунтових сапрофагів: монографія*. Д.: РВВ ДНУ.

Логвиновский, В. Д., Кречетова, Т. В. (2000). Жужелицы (Coleoptera, Carabidae) как объект биоиндикационных исследований в условиях северо-запада России. *Вестник ВГУ. Серия химия, биология*, 108–111.

Локшина, И. Е. (1969). *Определитель двупарноногих многоножек Diploroda равнинной части европейской территории СССР*. М.: Наука.

Мордкович, В. Г. (1991). Беспозвоночные животные и диагностика элементарных почвенных процессов. *Почвоведение*, 10, 92–99.

Негробов, О. П., Говоров, В. П., Воронин, А. А. (2004). Почвенно-зоологическая характеристика экосистем Усманского бора (Воронежская область). *Человек и животные: материалы научно-практической конференции*. (С. 108–110). Астрахань.

Нефедьев, П. С. (2001). О фауне и экологии многоножек (Myriapoda) окрестностей села Смоленского (Алтайский край). *Ландшафты Западной Сибири: проблемы исследований, экологии и рациональное использование*. Материалы межвузовской конференции. (С. 84–86). Бийск.

Пахомов, О. Є., Похиленко, А. П., Фали, Л. І., Гірна, А. Я. (2008). Різноманіття угруповань наґрунтових безхребетних лісових екосистем Присамар'я Дніпровського. *Науковий вісник Ужгородського університету*, 24, 40–47.

Петрашова, Д. А., Зенкова, И. В. (2003). Структура популяции *Monotarsobius curtipes* (С. Koch, 1847) в природных и техногенно трансформированных подзонах Кольского полуострова. *Экология: Тезисы молодежной международной конференции*. (С. 199). Астрахань.

Пилипенко, А. Ф. (1973). Влияние рН почвы и содержания гумуса в ней на распределение почвенной мезофауны. *Вопросы степного лесоведения*, 3, 70–74.

Пилипенко, А. Ф., Жуков, А. В. (2001). Роль трофической структуры почвенной мезофауны для зоологической диагностики почв. *Структура и функциональная роль животного населения в природных и трансформированных экосистемах*. (С. 247). Д.: ДГУ.

Похиленко, А. П. (2003). Влияние отдельных факторов среды на численность мокриц (Isopoda, Oniscoidea) естественных лесов степной зоны Украины. Биология – наука XXI века: 7-я Пущинская школа-конференция молодых ученых. (С. 207). Пущино.

Похиленко, А. П. (2004). Двопарноногі багатоніжки (Diplopoda) лісових екосистем Присамар'я Дніпровського. Екологія. Людина. Суспільство: VII Міжнародна науково-практична конференція. (С. 56). Київ: НТУУ “КПІ”.

Похиленко, А. П. (2005). Характеристика підстилкових сапрофагів у заплачних біогеоценозах Присамар'я Дніпровського. Наука і освіта 2005. Матеріали VIII міжнародної науково-практичної конференції. (С. 49–50). Д.: Наука і освіта.

Похиленко А. П., Корольов О. В., Шульман М. В. (2009). Особливості формування угруповань нагрунтових безхребетних урбанізованих територій на прикладі м. Дніпропетровськ. *Питання біоіндикації та екології*, 14(1), 121–134.

Похиленко, А. П. (2012). Оцінка морфологічної мінливості популяцій *Megarhyllum sjaelandicum* (Diplopoda, Julida). *Екологія та ноосферологія*, 20(3–4).

Похиленко, А. П., Корольов, А. В. (2013). Морфологическая изменчивость популяций в условиях естественных лесных экосистем Приднепровья. *Найновите постижения на европейската наука – 2013*: Материали за IX Международна научна практична конференция. (15, С. 73–77). София: Бял ГРАД-БГ.

Похиленко, А. П. (2014). Оцінка морфологічної мінливості популяцій *Rossiulus kessleri* (Diplopoda, Julida). *Вісник Дніпропетровського університету. Біологія. Екологія*. 22(1), 88–5.

Похиленко, А. П., Дідур, О. А. (2018). Дослідження залежностей морфологічних ознак у представників сапрофагів (на прикладі *Rossiulus kessleri* (Lohmander, 1927)). *Екологія та ноосферологія*, 29(2), 43–46. doi:10.15421/031820

Похиленко, А. П., Дідур, О. О., Кульбачко, Ю. Л., Левченко, Б. В. (2019). Морфологічна інтегрованість *Rossiulus kessleri* (Diplopoda, Julidae) із різних лісових біотопів в умовах семиаридного клімату степової зони України. *Геоботанічні, ґрунтові та екологічні дослідження лісових біогеоценозів степової зони: історія, сучасність, перспективи*: Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. (С. 56–58). Дніпро.

Природные ресурсы и окружающая среда Брянской области. (2007). М.: НИИ: Природа.

Пришутова, З. Г. (1988a). Динамика половой и возрастной структуры популяций и жизненный цикл *Rossiulus kessleri* (Diplopoda). *Зоологический журнал*, 67(5), 691–697.

Пришутова, З. Г. (1988b). Некоторые особенности экологии кивсяка *Rossiulus kessleri* (Diplopoda, Julidae) в степной зоне. *Зоологический журнал*, 67(11), 1652–1660.

Пришутова, З. Г. (2001a). Морфометрический анализ частей тела и межпопуляционная изменчивость у кивсяка *Rossiulus kessleri* (Julidae). *Зоологический журнал*, 80(7), 789–796.

Пришутова, З. Г. (2001b). Особенности постэмбрионального роста кивсяка *Rossiulus kessleri* (Julidae). *Зоологический журнал*, 80(8), 937–945.

Стриганова, Б. Р. (1975). Роль почвообитающих беспозвоночных в деструкционных процессах. *Роль животных в функционировании экосистем.* (С. 58–61). М.: Наука.

Фали, Л. І., Бригадиренко, В. В. (2007). Морфологічна мінливість особин у популяції *Philonthus decorus* (Coleoptera, Staphylinidae). *Науковий вісник Ужгородського університету. Біологія*, 20, 66–71.

Цвєткова, Н. М., Пахомов О. Є., Сердюк С. М., Якуба, М. С. (2016). *Біологічне різноманіття України. Дніпропетровська область. Ґрунти. Метали у ґрунтах*. Д.: ЛІРА.

Яковишина, Т. Ф. (2015). Класифікація антропогенно перетворених ґрунтів урбоекосистеми м. Дніпропетровськ. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*, 12(213), 65–70.

Kulbachko, Yu., Didur, O., Ovchynnykova, Yu., Pokhylenko, A. (2018). Zoogenic tendencies of buffer capacity of urban soils in boundaries of the park zone of industrial megapolis (city Dnipro, Ukraine). *Smart Bio: 2nd International Conference. Abstract Book*. (P. 376). Kaunas, Lithuania.

Lykholat, Y. V., Khromykh, N. A., Ivan'ko, I. A., Matyukha, V. L., Kravets, S. S., Didur, O. O., Alexeyeva, A. A., Shupranova, L. V. (2017). Assessment and prediction of the invasiveness of some alien plants in conditions of climate change in the steppe Dnieper region. *Biosystems Diversity*, 25(1), 52–59. doi:10.15421/011708

Bakhmet, O. N., Medvedeva, M. V. (2015). Variations in soil properties upon artificial reforestation in Karelia. *Contemporary Problems of Ecology*, 8(7), 838–844. doi:10.1134/S1995425515070033

Bogyó, D. , Magura, T., Nagy, D., Tóthmérész, D. B. (2015). Distribution of millipedes (Myriapoda, Diplopoda) along a forest interior – forest edge – grassland habitat complex. In: Tuf, I. H., Tajovský, K. (Eds) Proceedings of the 16th International Congress of Myriapodology, Olomouc, Czech Republic. *ZooKeys*, 510, 181–195. doi:10.3897/zookeys.510.8657

Brygadyrenko, V. V., Korolev, O. V. (2015). Morphological polymorphism in an urban population of *Pterostichus melanarius* (Illiger, 1798) (Coleoptera, Carabidae). *Graellsia*, 71(1), e025 21. doi:10.3989/graellsia.2015.v71.126

Brygadyrenko, V. V., Reshetniak, D. Y. (2014). Morphological variability among populations of *Harpalus rufipes* (Coleoptera, Carabidae): What is more important – the mean values or statistical peculiarities of distribution in the population? *Folia Oecologica*, 41(2), 109–133.

Brygadyrenko, V. V., Slynko, V. O. (2015). Morphological variability of *Bembidion articulatum* (Coleoptera, Carabidae) populations: Linear dimensions depend on sex, while morphological indices depend on ecosystems. *International Journal of Applied Environmental Sciences*, 10(1), 163–187.

Dajoz, R. (1998). *Role et diversite des insectes dans le milieu forestier. Technique & Documentation*. Paris.

Didur, O. A., Kulbachko, Yu. L., Gasso, V. Y. (2017). Accumulation of microelements by different invertebrate trophic groups on wasted lands. *Ukrainian Journal of Ecology*, 7(4), 30–34. doi:10.15421/2017_83

Didur, O., Kulbachko, Yu., Ovchynnykova, Yu., Pokhylenko, A., Lykholat, T. (2019). Zoogenic mechanisms of ecological rehabilitation of urban soils of the park zone of megapolis: Earthworms and Soil Buffer Capacity. *Environmental Research, Engineering and Management*, 75. 10.5755/j01.arem.75.1.21121

Doran, J. W., Zeiss, N. R. (2000). Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology*, 15, 3–11.

Enghoff, H., Dohle, W., Blower, J. G. (1993). Anamorphosis in millipedes (Diplopoda) — the present state of knowledge with some developmental and phylogenetic considerations. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 109(2), 103–234.

Faly, L. I., Kolombar, T. M., Prokopenko, E. V., Pakhomov, O. Y., Brygadyrenko, V. V. (2017). Structure of litter macrofauna communities in poplar plantations in an urban ecosystem in Ukraine. *Biosystems Diversity*, 25(1), 29–38. doi:10.15421/011705

Griffiths, B. S., Bonkowski, M., Roy, J., Ritz, K. (2001). Functional stability, substrate utilization and biological indicators of soils following environmental impacts. *Applied Soil Ecology*, 16, 49–61. doi:10.1016/S0929-1393(00)00081-0

Hedde, M., Renouf, E., van Oort, F., Thénard, J., Lamy, I. (2013). Dynamics of soil fauna after plantation of perennial energy crops on polluted soils. *Applied Soil Ecology*, 66, 29–39. doi:10.1016/j.apsoil.2013.01.012

Komlyk, V. O., Brygadyrenko, V. V. (2019). Morphological variability of *Bembidion aspericolle* (Coleoptera, Carabidae) populations in conditions of anthropogenic impact. *Biosystems Diversity*, 27(1), 21–25 doi:10.15421/011903.

Kul'bachko Y. L., Didur O. O., Loza I. M., Pakhomov, O. E., Bezrodnova, O. V. (2015). Environmental aspects of the effect of earthworm (Lumbricidae, Oligochaeta) tropho-metabolic activity on the pH buffering capacity of remediated soil (steppe zone, Ukraine). *Biology Bulletin*, 42(10), 899-904. doi:10.1134/S1062359015100088

Kulbachko, Y., Didur, O., Khromykh, N., Pokhylenko, A., Lykholat, T., Levchenko, B. (2019). Morpho-ecological structure of oribatid mite (Acariformes, Oribatida) communities in the forest litter of recultivated areas. *Biosystems Diversity*, 27(4), 334–341. doi:10.15421/011944

Kulbachko, Y., Didur, O., Pokhylenko, A., Lykholat, T. (2019). Zoopertinent function of soil saprophages in current environment management: monogr. «East West» Association for Advanced Studies and Higher Education GmbH.

Morel, J. L., Chenu, C., Lorenz, K. (2015). Ecosystem services provided by soils of urban, industrial, traffic, mining, and military areas (SUITMAs). *Journal of Soils and Sediments*, 15(8), 1659–1666. doi:10.1007/s11368-014-0926-0

Moroz K. O., Lygun A. V., Brygadyrenko, V. V. (2011). Litter mesofauna seasonal dynamics of anthropogenically transformed ecosystems in Dniprodzerzhinsk city. *Visnyk of Dnipropetrovsk University. Biology. Ecology*, 19(2), 93–102.

Nahmani, J., Lavelle, P., Rossi, J.-P. (2006). Does changing the taxonomical resolution alter the value of soil macroinvertebrates as bioindicators of metal pollution? *Soil Biology and Biochemistry*, 38, 385–396.

Ovadia, O., Schmitz, O. J. (2002). Linking individuals with ecosystems: experimentally identifying the relevant organizational scale for predicting trophic abundances'. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 99(20), 12927–12931. doi:10.1073/pnas.192245499

Pakhomov, O., Kulbachko, Y., Didur, O., Loza, I. (2009). Mining Dump Rehabilitation: the Potential Role of Bigeminate-legged Millipeds (Diplopoda) and

Artificial Mixed-Soil Habitats-Short Title: A Study of the Ecological Inter-Relationships of Bigeminate-Legged Millipeds (Diplopoda) and Artificial Mixed Soils. *Optimisation of disaster forecasting and prevention measures in the context of human and social dynamics*, 163-171.

Pokhylenko, A. P., Korolev, A. V. (2013). Importance of Julida (Diplopoda) trophical and biotopical characteristics for anthropogenic impact estimation of millipede habitat in forest ecosystems of Samarskyi Forest. *Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Science*. (8, P. 18–21). Budapest.

Pokhylenko, A., Lykholat, O., Didur, O., Kulbachko, Y., Lykholat, T. (2019). Morphological variability of *Rossiulus kessleri* (Diplopoda, Julida) from different biotopes within steppe zone of Ukraine. *Ukrainian Journal of Ecology*, 9(1), 176–182. doi:10.15421/2019_24

Pontegnie, M., Bus de Warnaffe, G., Lebrun, P. (2005). Impacts of silvicultural practices on the structure of hemi-edaphic macrofauna community. *Pedobiologia*, 49(3), 199–210. doi:10.1016/j.pedobi.2004.09.005

Shaokui, Y., Silong, W., Yalir, H., Hong, G., Xiuyong, Z. (2004). A comparative study on soil fauna in native secondary evergreen broad-leaved forest and Chinese fir plantation forests in subtropics. *China Journal of Applied Ecology*, 15(10), 1792–1796.

Semenyuk, I. I., Tiunov, A. V., Golovatch, S. I. (2011). Structure of mandibles in relation to trophic niche differentiation in a tropical millipede community. In: Mesibov R, Short M (Eds) Proceedings of the 15th International Congress of Myriapodology, 18–22 July 2011, Brisbane, Australia. *International Journal of Myriapodology*, 6, 37–49. doi:10.3897/ijm.6.2214

Suding, K. N., Collins, S. L., Gough, L., Clark, C., Cleland, E. E., Gross, K. L., Milehunas, D. G., Pennings S. (2005). Functional- and abundance-based mechanisms explain diversity loss due to N fertilization. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 102(12), 4387–4392. doi:10.1073/pnas.0408648102

Tadler, A. (1996). Functional morphology of genitalia of four species of julidan millipedes (Diplopoda: Nemasomatidae; Julidae). *Zoological Journal of the Linnean Society*, 118(1), 83–97. doi:10.1111/j.1096-3642.1996.tb01263.x

Tanabe, T., Katakura, H., Mawatari, S. F. (2001). Morphological difference and reproductive isolation: morphometrics in the millipede *Parafontaria tonominea* and its allied forms. *Biological Journal of the Linnean Society*, 72(2), 249–264. doi:10.1006/bijl.2000.0499

Wolters, V. (2001). Biodiversity of soil animals and its function. *European Journal of Soil Biology*, 37, 221–227. doi:10.1016/S1164-5563(01)01088-3

Wytwer, J., Zalewski, M. (2005). The role of island size and isolation in diversity of Myriapoda. *Peckiana*, 4, 195–208.

Xing-hong Li, Wei Wang, Juan Wang, Xue-li Cao, Xiao-fei Wang, Jian-chang Liu, Xiu-fen Liu, Xiao-bai Xu, Xiang-ning Jiang (2008). Contamination of soils with organochlorine pesticides in urban parks in Beijing, China. *Chemosphere*, 70(9), 1660–1668. doi:10.1016/j.chemosphere.2007.07.078

Zhukov, O., Kunah, O., Dubinina, Yu., Zhukova, Yu., Ganzha, D. (2019). The effect of soil on spatial variation of the herbaceous layer modulated by overstorey in an Eastern European poplar-willow forest. *Ekológia (Bratislava)*, 38(3), 253–272 doi:10.2478/eko-2019-0020.

[Электронный ресурс] – Режим доступа: www.dnprstat.gov.ua

РОЗДІЛ 5

ДЕСТРУКЦІЯ ЛІСОВОЇ ПІДСТИЛКИ *R. KESSLERI*

5.1. Швидкість деструкції лісової підстилки в байрачній лісовій екосистемі

Відомо, що диплоподи відіграють значну роль у початковій переробці рослинних залишків. Щорічно в лісосмугах східної України багатоніжки *Diplopoda* дають до 2,5 т екскрецій на 1 га при заселеності близько 400 екземплярів на 1 м² (Гиляров, 1965; Жуков, 1996). Доведено, що динамічна щільність та видове розмаїття диплопод позитивно корелює з потужністю листяної підстилки (Hornak et al., 2020). У степовій зоні України особливо численний *R. kessleri* (Чорний 1993).

Один екземпляр *R. kessleri* може переробити 10–11 мг (суха вага) дубового опаду за добу (Курчева, 1971; Стриганова, 1971).

Мета даного дослідження – виявлення кореляційних зв'язків між чисельністю *R. kessleri* та іншими масовими видами наґрунтових безхребетних із темпами розкладання підстилки в різноманітних позиціях байрачних дібров.

Дослідження проводилися в 2001 та 2015 рр. на території Присамарського міжнародного біосферного стаціонару (с. Андріївка Новомосковський р-н Дніпропетровської обл.) у підзоні різнотравно-типчаково-ковилового степу. Геоморфологічний профіль, який представляє собою поперечний перетин байраку з півдня на північ, був обраний у межах байраку «Глибокий» (ПД 9). Схили байраку було розбито на три частини: верхню, середню та нижню. Для порівняння ролі *R. kessleri* у розкладанні листяного опаду аналогічні дослідження одночасно проводилися на пробних ділянках заплачних дібров (ПД 10–12) з подібними ґрунтово-рослинними умовами (Якуба та ін., 2003).

У результаті проведених досліджень встановлено, що темпи розкладання підстилки максимальні в умовах достатнього зволоження та помірного впливу сонячної радіації (схил північної експозиції та нижня третина схилу південної експозиції). У тальвезі байраку підстилка утворена в основному грубими частинами (гілками різного ступеню розкладення); це пояснює низький відсоток зменшення кількості органічних залишків. На схилі південної експозиції спостерігається найбільша чисельність *Diplopoda* та *Formicidae*, що пояснюється оптимальними інсоляцією та зволоженням (табл. 5.1).

У досліджених екосистемах домінували такі групи безхребетних: *Diplopoda*, *Formicidae*, *Silphidae*, *Isopoda*. У невеликій кількості зареєстровані *Carabidae*, *Histeridae*, *Lycosidae*, *Thomisidae*, *Ichneumonidae* та інші групи хижих безхребетних. На більшості пробних ділянок мезофауна на 85 – 98 % (за біомасою) складається з сапрофагів (*Diplopoda*) та зоофагів (*Formicidae*). Серед ківсяків на більшості обстежених пробних ділянок зареєстровані *R. kessleri*, *M. sjaelandicum*, *M. rossicum*, *S. dmitriewi*. Серед мурах домінують *Myrmica sabuleti* Meinert, 1861, *M. schencki* Viereck, 1903, *Formica* (s. str.) *polycтена* Forster, 1850 – у байрачних дібровах; у заплавних дібровах – *M. rubra* (Linnaeus, 1758), *F. (Serviformica) rufibarbis* Fabricius, 1793.

Супердомінантом серед ківсяків виявився *R. kessleri* (94–100 % за чисельністю та більше 96 % за біомасою). Тому саме з цим видом ми пов'язуємо інтенсивність розкладання підстилки під дією *Diplopoda*. Аналізуючи розподіл диплопод у біогеоценозах байрачних дібров (див. табл.5.1), відмітимо, що чисельність цієї групи значно варіювалась.

Порівняльний аналіз біомаси домінуючих видів безхребетних із темпами розкладання лісової підстилки дає можливість виявити непрямими методами зв'язок між цими характеристиками. Розходження між чисельністю *R. kessleri* і масою підстилки статистично не достовірне ($F = 3,24$ при $F_{кр.} = 4,49$; коефіцієнт кореляції $r = 0,032$); розходження між темпами розкладання підстилки і чисельністю *R. kessleri* майже на два порядки нижче, відзначається значний кореляційний зв'язок між їхньою чисельністю і темпами розкладання

рослинного опаду ($F = 0,05$ при $F_{кр.} = 4,49$; коефіцієнт кореляції $r = 0,442$). Для *Formicidae* аналогічні показники дорівнюють, для маси підстилки ($F = 8,35$ при $F_{кр.} = 0,58$), а для темпів її розкладання ($F = 0,82$ при $F_{кр.} = 0,31$). Це свідчить, що чисельність *Formicidae* значно вища на ділянках з більшою масою підстилки, яка не розклалася; чисельність *Formicidae* на темпи розкладання підстилки не впливає.

Порівнюючи чисельність *R. kessleri* у байрачних та заплавних дібровах, зазначимо, що в заплавних екосистемах вона достовірно нижча (у 1,3–2,7 разів). При цьому частка підстилки, що розклалася в заплавних дібровах становить в середньому $55,6 \pm 3,6$ % (проти $62,2 \pm 7,3$ % у байрачній діброві). Різні автори (Comparing Negative..., 2019) пояснюють це хімічними особливостями рослин, що впливають на швидкість розкладання підстилки, а зниження чисельності *R. kessleri* – з низькою концентрацією Ca^{2+} та Mg^{2+} у підстилці (Бызова, 1970; Стриганова, 1980), які необхідні для побудови зовнішнього скелету *Diplopoda*. Відомо, що *F. polyctena* поширений у байрачних дібровах, не витримує весняних повеней і заміщується видами роду *Myrmica*. Обидва види мурах не впливають на чисельність *Diplopoda*.

Таблиця 5.1

Біомаса домінантних груп наземної мезофауни та швидкість розкладання підстилки на схилах байрачних дібров

Показники	Пробні ділянки								
	Степова цілина на вершині схилу північної експозиції	Верхня третина схилу північної експозиції	Середня третина схилу північної експозиції	Нижня третина схилу північної експозиції	Тальвег	Нижня третина схилу південної експозиції	Середня третина схилу південної експозиції	Верхня третина схилу південної експозиції	Степова цілина на вершині схилу південної експозиції
Formicidae, особин/м ²	0,02±0,01 0,05±0,01*	0,53±0,11 0,60±0,01*	0,86±0,21 0,97±0,11*	0,41±0,12 0,53±0,02*	0,45±0,09 0,57±0,11*	0,82±0,23 0,98±0,14*	0,97±0,22 1,20±0,21*	0,51±0,14 0,77±0,01*	0,03±0,01 0,07±0,05*
Diplopoda особин/м ²	0,16±0,02 0,15±0,05*	0,43±0,08 0,41±0,02*	0,28±0,06 0,28±0,05*	0,49±0,09 0,51±0,06*	0,10±0,02 0,12±0,02*	2,41±0,32 2,43±0,09*	0,62±0,13 0,58±0,11*	0,39±0,07 0,38±0,06*	0,25±0,06 0,18±0,05*
Частка підстилки, що розклалася, (травень – липень), %	48,5±7,4 47,2±5,1*	80,1±9,5 78,3±8,7*	83,8±7,6 80,4±9,3*	72,6±6,9 73,4±7,3*	65,3±5,8 65,7±4,4*	88,2±10,4 87,9±9,7*	36,5±5,4 34,6±5,8*	40,0±6,1 38,5±6,3*	48,1±7,0 44,9±6,9*

Примітка: * – Дослідження 2015 року.

Швидкість процесів розкладання органічної речовини (механічний, біохімічний етапи) залежить від сукупності різноманітних чинників, які не можуть забезпечити процес гуміфікації, якщо буде виключена діяльність тварин і мікроорганізмів (Родин, Базилевич, 1965; Курчева, 1971).

Дослідження було проведено в польових умовах, восени 2006 та 2015 рр на території Присамарського міжнародного біосферного стаціонару імені О. Л. Бельгарда (Новомосковський р-н Дніпропетровської обл.) із застосуванням методики планування експерименту (Адлер и др., 1976). Дослід проводили у паклено-ясеневій діброві мертвопокривній *Dn₃*. (ПД 12), з потужністю підстилки 3 см. До кожного мікрокосму вносили по 23 г повітряно сухої підстилки, однакового складу, виходячи з показників середньої маси підстилки на квадратний метр – 400 г/м², у зазначеному типі біогеоценозу, кількість контрольних лізіметрів становила три одиниці.

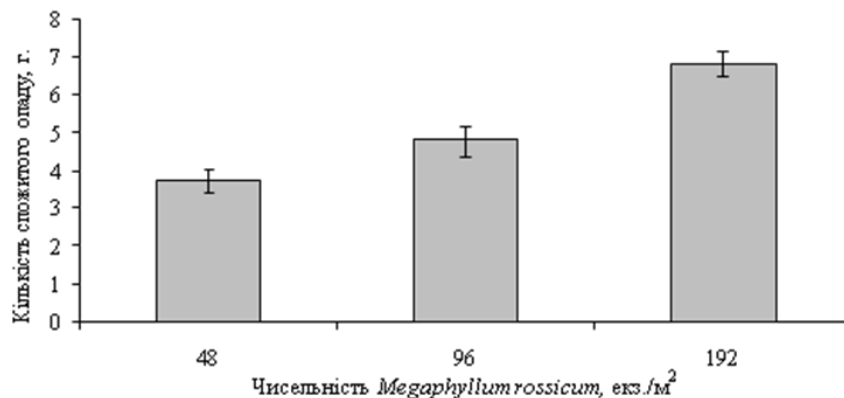


Рис. 5.1 Споживання опаду *M. rossicum*

Результати дослідження показують, що в першому варіанті експерименту диплоподи стимулюють розкладання підстилки (3,7 г) за весь час експерименту (в контролі цей показник становить 3,1 г). Збільшення чисельності в два рази по відношенню до максимальної, яка спостерігалась в природних умовах, веде до зменшення трофічно активних особин на 43 %, а при збільшенні чисельності в чотири рази – на 50 %. Хоча чисельність *M. rossicum* в природних умовах значно менша, ніж у *R. kessleri*, в умовах польового дослідження

значного інгібування розкладу опаду, як для *R. kessleri*, у *M. rossicum* не спостерігається.

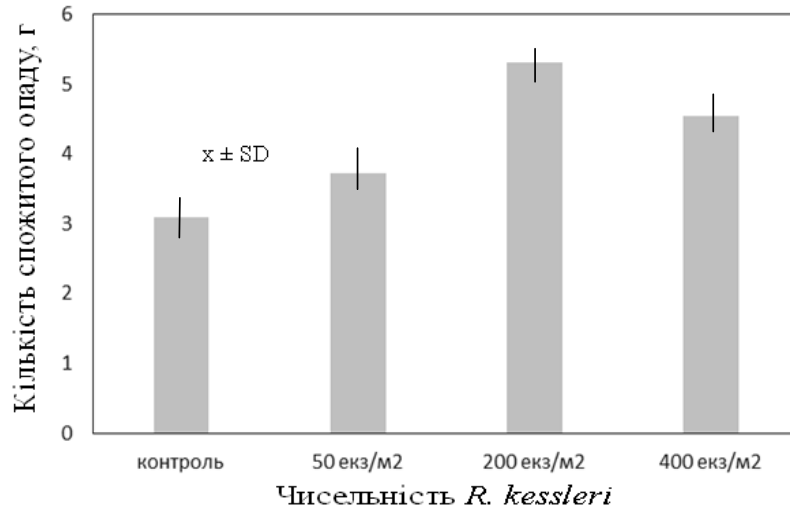


Рис. 5.2. Споживання опаду *R. kessleri*

Один з механізмів пристосування виду *R. kessleri* до несприятливих умов – швидка елімінація частини популяції з трофічної активності. Тому в експериментальних умовах спостерігаються незакономірні коливання трофічної активності в різних варіантах досліду. В умовах оптимальної чисельності *R. kessleri* споживає таку саму кількість корму на 1 особину, як і *M. rossicum*. При наближенні чисельності до максимальної, яка може спостерігатися в природних умовах – 400 екз./м², трофічна активність популяції знижується на 8,5 %.

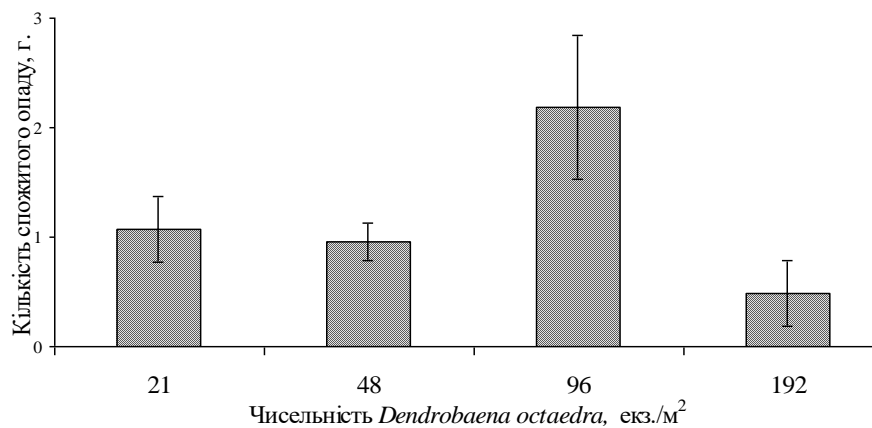


Рис 5.3. Споживання опаду *D. octaedra*

Аналогічна тенденція спостерігається для *D. octaedra*. Трофічна активність при максимальній чисельності знижується на 93 %. Найактивніше особини *D. octaedra* розкладали опад при чисельності 96 екз./м².

Лісова підстилка пов'язує рослинний і тваринний світ лісу з ґрунтом. Трофічна активність ґрунтових безхребетних впливає на процес розкладання органічних залишків рослинного походження і, в решті-решт, на підтримання і поліпшення властивостей природних ґрунтів.

5. 2. Швидкість деструкції лісової підстилки залежно від чисельності диплопод

Установлено (Šustrá et al., 2020), що внесок основних груп (сапротрофні мікроорганізми, мікро- й мезофауна, у тому числі дощові черв'яки) у процес ґрунтового дихання складає 1–20 % від загального виділення діоксиду карбону з мертвої органіки. На прикладі звичайного закарпатського виду *Glomeris connexa* Н. М. Мешковой (1987) показано, що характер зміни інтенсивності дихання у самиць і самців однаковий. Це дозволило встановити показники дихання в межах 10–20⁰С для виду в цілому.

Метою цього дослідження є визначення зміни дихання субстрату залежно від чисельності модельного виду багатоніжки *R. kessleri*.

Експеримент проводили у трикратній повторюваності (для кожної групи за чисельністю) протягом семи тижнів літнього періоду 2007 р. зі статевозрілими особинами (X–XII віків) масового виду диплопод *R. kessleri* (Похиленко, 2007). Матеріал для дослідження збирали в Самарському лісі (Дніпропетровська область, Новомосковський район) у короткозаплавній мезофільній паклено-ясеневій дубраві з дібровним різнотрав'ям (Dn_2) (ПД 9). Кожну групу багатоніжок використовували протягом двох тижнів, згідно рекомендаціям щодо умов утримання (Стриганова, 1975). Диплопод тримали у пластикових контейнерах площею 0,02 м² кожний (на дно кожного контейнера розміщували ґрунт та по 5 г підстилки). Кількість тварин у нашому експерименті складала

8, 16, 25 та 51 особин в контейнері, що в перерахунку на чисельність диплопод у природних умовах (виходячи з максимальної кількості 400 екз./м²) становить – 50, 100, 200, 400 екз./м². Час експозиції складав 20 хвилин. Температура утримання не перевищувала 26–28 °С, вологість – 75 %.

Виділення діоксиду карбону розраховували за формулою:

$$\text{CO}_2 \text{ (гГ/Год/м}^2\text{)} = \frac{(V_{\text{хол.}} - V_{\text{дослід.}}) \cdot C_{1/2} \text{ H}_2\text{SO}_4 \cdot f_{\text{CO}_2} \cdot M_{\text{CO}_2} \cdot 10^4 \cdot 60}{S \cdot 1000 \cdot t},$$

де ($V_{\text{хол.}} - V_{\text{дослід.}}$) – різниця між об'ємами розчинів кислот, які було витрачено на титрування холостої проби та проби, яку досліджували, мл; $C_{1/2}$ – молярна концентрація еквіваленту сульфатної кислоти, моль/л; f_{CO_2} – фактор еквівалентності, що дорівнює 1/4; M_{CO_2} – молярна маса, що дорівнює 44 г/моль; 10^4 – коефіцієнт перерахунку площі контейнера на 1 м²; 60 – коефіцієнт перерахунку часу експозиції на 1 годину; S – площа контейнера, см²; t – тривалість досліду, хв; 1000 – коефіцієнт перерахунку об'єма H₂SO₄ (мл) на літри.

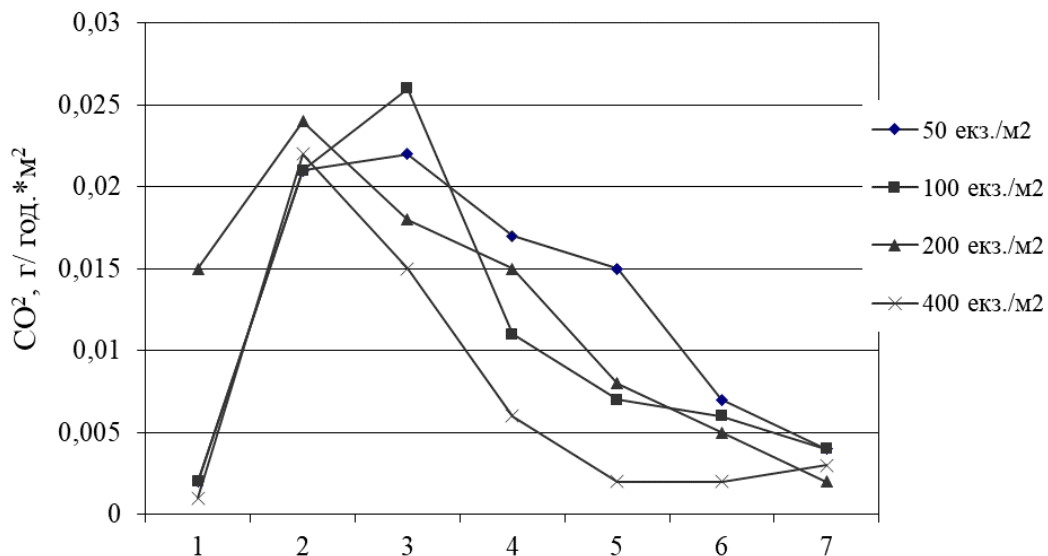


Рис. 5.4. Інтенсивність виділення вуглекислого газу в мікрокосмі з *R. kessleri* залежно від чисельності

За результатами лабораторних досліджень рівень виділення діоксиду карбону знижувався (на 18,7 %) зі зростанням числа особин. Загалом незалежно від чисельності, виділення вуглекислого газу, а отже й активність диплопод,

знижувалась. Зауважимо, що зниження активності відбувається пропорційно чисельності. Зазначимо, що зі збільшенням температури активність великих за чисельністю (25, 51 особина) груп знижувалась ($P < 0,05$). При зниженні температури навколишнього середовища ($18-20^{\circ}\text{C}$) активність ківсяків підвищувалась майже вдвічі (на 48,7 %). Відмітимо, що оптимальна щільність зазначена для кожного виду диплопод (Стриганова, 2000) і в лабораторних умовах відповідала природним показникам, а температура та її флуктуації – важливі фактори не тільки для диплопод, а й для інших ґрунтових груп (Жуков, 2009).

5. 3. Накопичення цинку в диплоподі *R. kessleri*

Одним із важливих завдань, пов'язаних з дослідженням трофічної активності сапрофагів, є вивчення їх трофічних пріоритетів для визначення їх екологічної ролі у функціонуванні екосистем (Roy et al., 2009; Svyrydchenko, Brygadyrenko, 2014).

На території Дніпропетровської області сконцентровано великі металургійні комплекси і, за даними за 2015 рік викиди в атмосферу становлять 723,9 тис. т, скиди стічних вод 751 млн м³. У цілому, за даними ВОЗ, щорічно на поверхню нашої планети потрапляє 121,5 тис. т цинку (Електронний ресурс: <https://dnepr.comments.ua/article/2018/10/16/140017.html>).

Цинк має високу токсичність по відношенню до живих організмів. Його сполуки не руйнуються в ґрунті, воді, рослинах і організмі тварин, вони можуть тривалий час зберігатися в об'єктах навколишнього середовища, мігрувати і накопичуватися в тканинах тварин, і за певних умов здатні передаватися в ланках трофічного ланцюга: ґрунт – рослина – тварина – продукти тваринництва – людина (Godwin et al., 2016; Kalugina et al., 2017). Попередні дослідження показали, що основні зміни відбуваються у верхньому шарі ґрунту, який є геохімічним центром ґрунту. З атмосферними опадами щорічно на 1 км² поверхні Землі випадає в середньому 72 кг цинку – в три рази більше, ніж свинцю, і в 12 разів більше, ніж міді. Загальний уміст цинку в ґрунті коливається від 1 до 300 мг/кг, при вмісті цинку у верхньому шарі ґрунту до 8–13 % від

загального його вмісту, значно зменшується чисельність і різноманіття ґрунтової біоти (Цветкова и др., 2016). Розподіл та зв'язування Zn у техногенно трансформованих ґрунтах відбувається залежно від складу політантів упродовж тривалого часу, а також обумовлене специфікою ландшафту території та буферними властивостями ґрунтів (Minkina et al., 2018).

Метою дослідження було з'ясувати трофічну активність сапрофагів при моделюванні різних умов навколишнього середовища (трофічної бази, хімічного стресу).

Пробні ділянки розташовані в Дніпровській низині в межах степової зони (лівий берег північної степової провінції. *R. kessleri* збирали в Дніпропетровській області протягом квітня–травня 2019 року).

Розглянемо виконання основної екологічної функції ківсяків – деструкції листяного опаду – в умовах хімічного навантаження. За результатами опрацювання одержаних даних можна стверджувати про наявність статистично значущого впливу хімічного навантаження та існування розбіжностей між середніми значеннями вмісту цинку в об'єкті дослідження (у ківсяках) та в їх екскрементах (Похиленко и др., 2019; Pokhylenko, et al., 2020). З'ясовано, що запропонована кормова база не впливає на особливості розподілу цинку в диплоподах в умовах хімічного навантаження в середовищі (табл. 5.2).

Таблиця 5.2

багатофакторного дисперсійного аналізу впливу хімічного навантаження на особин *R. kessleri*

Джерело дисперсії	Сума квадратів відхилень	Df	Середньо-квдратичне відхилення	F _{0.05}	P
<i>Основні ефекти</i>					
Хімічне навантаження	267191.	3	89063.7	18.76	0.0002
Кормова база	11610.1	1	11610.1	2.45	0.1489
Об'єкт дослідження	71888.3	1	71888.3	15.14	0.0030
Остаточна дисперсія	47473.7	10	4747.4	–	–
Загальне (скориговане)	398163.	15	–	–	–

У контролі зафіксовано найменший середній уміст цинку, що логічно, оскільки в цих дослідах хімічне навантаження відсутнє, максимальний уміст виявлено під час впливу найбільшої концентрації (табл. 5.3).

Таблиця 5.3

Описова статистика вмісту цинку (мг/кг) в ківсяках та їх екскрементах за кожним фактором та його градацією

Рівень фактору	Кількість дослідів	Середнє	Стандартна похибка	Довірчий інтервал $P \leq 0.05$	
				нижня границя	верхня границя
<i>Хімічне навантаження</i> (г ZnSO ₄ / 1 л розчину)					
Контроль	4	174.37	34.45	97.60	251.13
0,006 г/л	4	259.89	34.45	183.13	336.65
0,030 г/л	4	398.08	34.45	321.32	474.84
0,150 г/л	4	512.14	34.45	435.38	588.90
<i>Кормова база</i>					
Підстилка з листя <i>A.campestre</i>	8	309.18	24.36	254.90	363.46
Підстилка з листя <i>R.pseudoacacia</i>	8	363.06	24.36	308.78	417.33
<i>Об'єкт дослідження</i>					
<i>R.kessleri</i>	8	403.15	24.36	348.87	457.43
Екскременти <i>R.kessleri</i>	8	269.09	24.36	214.81	323.37

За результатами парних порівнянь встановлено, що вміст цинку в ківсяках чітко відрізняється для контролю, і майже кожної концентрації розчину сульфату цинку – 0,03 г/л і 0,15 г/л, вибірки яких не утворюють між собою однорідної групи (табл. 5.4).

Таблиця 5.4

Результати множинного рангового тесту Тьюкі щодо оцінки впливу хімічного навантаження на ківсяків у результаті їх живлення листяною підстилкою з різним умістом цинку

Хімічне навантаження ZnSO ₄ *7H ₂ O	Кількість дослідів	Середній уміст цинку, мг/кг	Однорідність груп		
Контроль	4	174.36	X		
0.006 г/л	4	259.89	X	X	
0.030 г/л	4	398.08		X	X
0.150 г/л	4	512.14			X

Найбільша абсолютна різниця вмісту цинку в ківсяках та їх екскреціях характерна для такого контрасту, як «контроль – розчин сульфату цинку 0,15 г/л», мінімальна – для контрасту «контроль – розчин сульфату цинку 0,006 г/л» (табл. 5.5).

Таблиця 5.5

Статистична оцінка вмісту цинку в ківсяках залежно від рівня хімічного навантаження

Контраст	Значущість	Абсолютна різниця вмісту цинку в порівнюваній парі
Контроль – 0.006 г/л	–	-85.53
Контроль – 0.030 г/л	*	-223.72
Контроль – 0.150 г/л	*	-337.78
0.006 г/л – 0.03 г/л	–	-138.19
0.006 г/л – 0.150 г/л	*	-252.25
0.030 г/л – 0.150 г/л	–	-114.06

Примітка: “–” розбіжності середніх статистично недостовірні; * – існує статистична достовірна різниця середніх з рівнем значущості $P \leq 0,05$.

За результатами парних порівнянь встановлено, що середній уміст цинку в ківсяках не відрізняється від того, яку підстилку ці сапрофаги споживали – кленову чи робінієву. Вибірki за двома кормовими базами утворюють статистично однорідну групу. Доведено, що середній уміст цинку в ківсяках більший, ніж уміст цинку в його екскреціях, і ці вибірki утворюють статистично неоднорідну групу даних (табл. 5.6).

Таблиця 5.6

Результати множинного рангового тесту Тьюкі щодо оцінки впливу різної за видовим складом листяної підстилки на вміст цинку в ківсяках у ході їх живлення в умовах хімічного навантаження

Параметр	Кількість дослідів	Середній уміст цинку, мг/кг	Однорідність груп	
<i>Кормова база</i>				
Підстилка з листя <i>A.campestris</i>	8	309.18	X	
Підстилка з листя <i>R.pseudoacacia</i>	8	363.06	X	
<i>Об'єкт дослідження</i>				
Екскременти <i>R. kessleri</i>	8	269.09	X	
<i>R. kessleri</i>	8	403.15		X

Результати парного порівняння контрасту кормової бази ківсяків не доводять наявності статистичної різниці вмісту цинку в ківсяках залежно від видової належності листяної підстилки, а парне порівняння вмісту металу в тілі *R. kessleri* та в його екскрементах свідчить про наявність статистичної різниці (табл. 5.7).

Таблиця 5.7

Статистична оцінка вмісту цинку в ківсяках залежно від запропонованої кормової бази за умов хімічного навантаження

Контраст	Значущість	Абсолютна різниця вмісту цинку в порівнюваній парі
Підстилка з листя <i>A. campestre</i> – підстилка з листя <i>R. pseudoacacia</i>	–	-53.875
<i>R. kessleri</i> – екскременти <i>R. kessleri</i>	*	134.06

Примітка: “–” розбіжність середніх статистично недостовірна, * – існує статистична достовірна різниця середніх з рівнем значущості $P \leq 0,05$.

У цілому за умов моделювання хімічного навантаження на представників двопарноногих багатоніжок встановлено, що в екскреціях *R. kessleri* спостерігається в 1,5 рази менший уміст цинку, ніж у самому ківсяку, а видова належність запропонованого листяного опаду статистично не впливає на акумуляцію цинку. Навпаки, рівень хімічного навантаження (у лінійці концентрацій $ZnSO_4$ – 0,006; 0,03; 0,15 г на 1 л розчину) статистично достовірно впливає на вміст цинку в тілі *R. kessleri* та його екскреціях.

Комплексні взаємодії деревостану та змінних параметрів лісових масивів призводять до специфічних мікрокліматичних умов, які важливі для багатьох груп організмів, що мешкають у лісі. Отримані дані (Read et al., 1998; Brygadyrenko, Ivanyshyn, 2015; Novosyolova, et al., 2017; Kozak, Brygadyrenko, 2018) ілюструють надзвичайно складний взаємозв'язок між залишками металів у безхребетних та концентрацією металів у ґрунті. Автори зробили висновок, що для більшості досліджених сапрофагів та хижих членистоногих загальні та обмінні концентрації в ґрунті не є надійними

індикаторами; видоспецифічні механізми живлення та особливості накопичення металів організмами, схоже, є головними детермінантами.

Есенціальні метали, такі як мідь, нікель, цинк та інші, при їх накопиченні в ґрунті є потенціальною загрозою для життєдіяльності живих систем (Vasconcellos, et al., 2013; Ghemari, et al., 2019), представляючи значну екологічну небезпеку. Відомо, що вони здатні порушувати цілісність фізіологічних та біохімічних процесів, викликаючи значимі зміни в метаболічних реакціях у безхребетних тварин (Kohler, 2002; Kadem et al., 2004). Наші дослідження показали, що *R. kessleri* накопичують цинк пропорційно з посиленням хімічного навантаження в середовищі існування. Саме в організмах тварин акумулюється статистично достовірно більше цинку (в 1,5 разу), ніж його вміст в екскреціях (табл. 5.2). Таке накопичення не залежить від трофічної бази (підстилка з клену, робінії) (табл. 5.6). Це свідчить про те, що за наявності хімічного стресу саме трофічна база не стане безпосереднім джерелом, який посилюватиме накопичення вмісту цинку в ківсяках та їх екскрементах.

Видовий склад, чисельність та розподіл у просторі ґрунтових безхребетних є інформативним показником, який відображає екологічний стан ґрунтів, інтенсивність розвитку ґрунтових горизонтів, а також інтенсивність процесів, що відбуваються в них (Andrusevich et al., 2018). Статистично доведено, що при наявності хімічного навантаження в середовищі існування ківсяків вміст цинку в їх організмі обумовлений силою навантаження, і при цьому, воно не залежить від виду рослинного опаду, що споживається. У контрольному досліді вміст цинку становить 174,4 мг/кг, за умов навантаження (0,15 мг/л) цей показник майже втричі більший (512,14 мг/кг).

Збереження родючості ґрунту, його рекультивація та ремедіація в порушених екосистемах (до певного ступеня) можливі за умови збереження комплексу ґрунтових тварин, які забезпечують або активують виконання екосистемних послуг (Didur et al., 2017; Тишков, 1996; Spurgeon D.J., Norpin, 1996; Read et al., 1998; Дідур та ін., 2018), а враховуючи зміни клімату в досліджуваному регіоні до посушливості, можна передбачити зменшення

споживання листяної підстилки сапрофагами, що негативно позначиться на формуванні консортивних зв'язків та екосистемних послугах (формування ґрунту, кругообіг поживних речовин, захист від ерозії), що реалізуються в лісовій екосистемі. Дослідження деструкції листяної підстилки диплоподами в штучних лісових екосистемах з різною світловою структурою та під різними хімічними навантаженнями дасть можливість вибрати їх варіанти, де ці безхребетні найкраще забезпечуватимуть лісові екосистеми своїми підтримувальними екосистемними послугами.

5.4. Трофічні пріоритети *R. kessleri* при споживанні листяного опаду

Для виявлення екологічної ролі ківсяків як первинних деструкторів листяного опаду нами проведено польовий експеримент стосовно вивчення їх трофічних переваг із застосуванням мікрокосмів. Мікрокосм (лізіметр) – ємність, яку заповнювали ґрунтом, вільним від безхребетних тварин, певною сумішшю листяного опаду, додавали представників сапрофагів. На початку та в кінці дослідів визначали повітряно-суху масу підстилки. За її кількістю до і після експерименту розраховували різницю (відсоток спожитої підстилки), яка є показником швидкості розкладання аналізованої підстилки.

Структура сапрофільних комплексів на рівні надвидових таксонів (родин і рядів) відображає відмінності у властивостях підстилок, які характерні для лісів, утворених різними видами дерев-едифікаторов (різниця в ступені зволоження, вмісту біогених елементів, мікробіологічній активності). Видовий склад деструкторів є більш тонким індикатором фізико-хімічних властивостей (зольності, кислотності, складу органічної речовини) лісових підстилок конкретних біотопів і відображає велике диференціювання видів відносно едафічних факторів (Валькова, 2009; Faly et al., 2018). Значним різноманіттям надвидових таксонів сапрофагів, високим рівнем чисельності та біомаси безхребетних виокремлюються сапрофільні комплекси ялинових лісів.

Дослідження було проведено в польових умовах восени 2005 та 2017 рр. на території Присамарського міжнародного біосферного стаціонару імені

О. Л. Бельгарда (Новомосковський р-н Дніпропетровської обл.) (Похиленко, 2005a; 2005b; Brygadyrenko, Pokhylenko, 2007). Ця територія відповідає у фізико-географічному відношенні степовій області Придніпровської лівобережної низовини (північна степова підзона, лівобережно-дніпровська північно-степова провінція) і охоплює природні лісові та штучні лісові масиви.

Для встановлення впливу диплопод *R. kessleri* та мокриць *P. scaber* на деструкцію п'ятикомпонентної суміші листяного опаду з листя клену польового (*A. campestre* L.) (x_1), липи серцелистої (*T. cordata* Mill.) (x_2), дуба звичайного (*Q. robur* L.) (x_3), в'яза гладкого (*U. laevis* Pall.) (x_4), ясена звичайного (*F. Excelsior* L.) (x_5) проведено польовий експеримент із застосуванням мікрокосмів. Мікрокосм являє собою занурену в ґрунт ємність, яку заповнювали ґрунтом, вільним від безхребетних тварин, великих коренів, гілок і відмерлого листя дерев, сумішшю листяного опаду. До кожного мікрокосму додавали представників сапрофагів (15 мокриць, 15 диплопод) з близькими лінійними розмірами в кожній групі тварин. До експерименту відібрано дорослих особин мокриць і диплопод.

Математичний план експерименту являє собою симплекс-ґратчастий тип плану $\{5, 3\}$, де 5 – кількість компонентів, 3 – ступінь полінома (Адлер и др., 1976). У кожній точці експериментального плану було реалізовано два паралельних досліди. В експерименті змінні x_i ($i = 1, 2, \dots, q$) є пропорціями (відносним умістом) i -х компонентів суміші (табл. 5.8).

Дослід проводили в паклено-ясеневій діброві Dn_3 , (ПД 12). Виходячи з показників середньої повітряно сухої маси підстилки на квадратний метр (400 г/м^2) у зазначеному типі лісової екосистеми, до кожного мікрокосму вносили по 23 г повітряно сухої підстилки. Додатково встановили три контрольних мікрокосми. Вимірювали загальну масу суміші листяного опаду до й після експериментального впливу. Дослідження проведено протягом одного місяця.

Таблиця 5.8

Матриця планування й позначення відгуків (неповний приклад)

Номер досліджу	Склад суміші (частка одиниці)				
	<i>Acer campestre</i> (x_1)	<i>Tilia cordata</i> (x_2)	<i>Quercus robur</i> (x_3)	<i>Ulmus laevis</i> (x_4)	<i>Fraxinus excelsior</i> (x_5)
1	1	0	0	0	0
2	0	1	0	0	0
3	0	0	1	0	0
4	0	0	0	1	0
5	0	0	0	0	1
6	0,5	0,5	0	0	0
7	0,5	0	0,5	0	0
8	0,5	0	0	0,5	0
9	0,5	0	0	0	0,5
10	0	0,5	0,5	0	0
...
36	0,1	0,1	0,1	0,1	0,6

Залучення спеціального математичного плану експерименту дозволило описати одержані результати такими регресійними моделями як лінійна, квадратична та спеціальна кубічна. Серед них спеціальна кубічна модель виявила найкращі статистичні оцінки (табл. 5.9).

Таблиця 5.9

Статистична оцінка адекватності моделей зміни маси листяного опаду

Вид математичної моделі	Сума квадратів	Число ступенів свободи	Середній квадрат	F -відношення (емпіричне)	Рівень значущості (P)
Лінійна	2,99	4	0,75	0,67	0,620
Квадратична	11,39	10	1,14	1,02	0,457
Спеціальна кубічна	18,64	10	1,87	4,34	0,012

Отримане рівняння залежності спожитого сапрофагами листяного опаду від його якісного складу має вигляд:

$$y = 2,40 \text{ Acer} + 1,67 \text{ Tilia} + 1,64 \text{ Quercus} + 1,77 \text{ Ulmus} + \\ + 1,42 \text{ Fraxinus} - 2,12 \text{ AcerTilia} + 17,31 \text{ AcerQuercus} + \\ + 7,63 \text{ TiliaUlmus} - 49,41 \text{ AcerQuercusUlmus} - \\ - 54,57 \text{ AcerQuercusFraxinus} - 52,46 \text{ TiliaUlmusFraxinus},$$

де y – маса спожитої підстилки, $Acer$ – відносний уміст у суміші листяного опаду клена гостролистого, $Tilia$ – відносний уміст у суміші листяного опаду липи серцелистої, $Quercus$ – відносний уміст у суміші листяного опаду дуба звичайного, $Ulmus$ – відносний уміст у суміші листяного опаду в'яза гладкого, $Fraxinus$ – відносний уміст у суміші листяного опаду ясена звичайного.

У складі рівняння залишили статистично значущі ($P \leq 0,05$) основні фактори та ефекти їх взаємодії. Одним з показників якості регресійної моделі, окрім її адекватності, є коефіцієнт детермінації. Він показує, яка частина дисперсії результативної ознаки пояснена рівнянням регресії. Чим більший R^2 , тим більша частина дисперсії результативної ознаки пояснюється рівнянням регресії, тим краще рівняння регресії описує вихідні дані. За відсутності залежності між результативною ознакою й незалежною змінною коефіцієнт детермінації R^2 наблизатиметься до нуля. Для оцінки якості регресійної моделі з великою кількістю факторів використовують скоригований коефіцієнт множинної детермінації R^2 . Оцінка порівняння ступеня апроксимації даних різних регресійних моделей виявила, що спеціальна кубічна модель має найліпші результати: її коефіцієнт детермінації, а також скоригований коефіцієнт детермінації достатньо високий і складає 87,5 % та 60,2 % відповідно (табл. 5.10).

Таблиця 5.10

Результати моделі щодо порівняння ступеня апроксимації даних

Вид моделі	Похибка	Коефіцієнт детермінації (R)	Скоригований коефіцієнт детермінації (R)
Лінійна	1,059	7,91	0,00
Квадратична	1,055	38,09	0,00
Спеціальна кубічна	0,655	87,48	60,17

З'ясовано, що листяний опад клена гостролистого та в'яза гладкого споживається групою сапрофагів, яких залучено до експерименту, у більшій кількості (відповідні коефіцієнти рівняння регресії дорівнюють +2,40 і +1,77), ніж опади липи серцелистої, дуба звичайного та ясена звичайного.

У запропонованій моделі (рис. 5.5) щодо споживання суміші листяного опаду ефекти високого порядку (четвертого і п'ятого) виявилися статистично незначущими. Внесок інших взаємодій статистично достовірний і менший порівняно з внеском основних ефектів. Для потрійних взаємодій за присутності у багатоконпонентній суміші таких листяних опадів, як дуба звичайного та в'яза гладкого спостерігається їх менше споживання, про що свідчать від'ємні значення коефіцієнтів регресії.

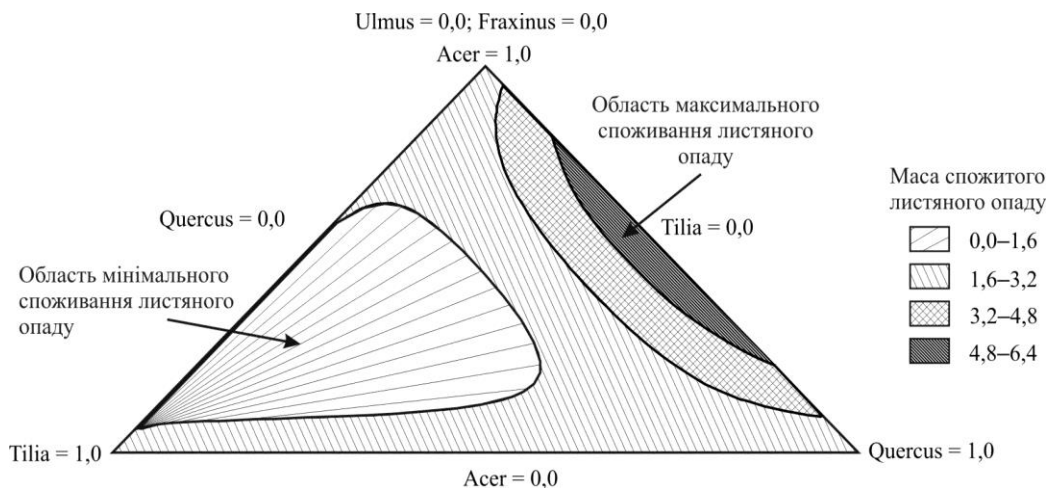


Рис. 5.5. Трофічні пріоритети *R. kessleri* і *P. scaber* під час споживання листяного опаду п'яти запропонованих порід дерев

Запропоновано регресійну модель, яка відображає трофічну вибірковість сапрофагів (*R. kessleri* і *P. scaber*) до компонентів суміші з опалого листя основних деревних порід природних дубрав в умовах степу – клена польового (*A. campestre* L.), липи серцелистої (*T. cordata* Mill.), дуба звичайного (*Q. Robur* L.), в'яза гладкого (*U. laevis* Pall.), ясена звичайного (*F. excelsior* L.). Припустимі статистичні оцінки виявила спеціальна кубічна математична модель, яка має відносно високу працездатність (коефіцієнт детермінації складає 87,5 %) та адекватно апроксимує емпіричні дані з рівнем значущості

менше 0,05. За її допомогою з'ясовано, що в суміші листяного опаду листя клену польового та в'яза гладкого споживаються групою сапрофагів у більшій кількості, ніж опади липи, дуба та ясена. Можна припустити, що трофічна активність сапрофагів збільшується за присутності у природних лісах клена польового та в'яза гладкого, тому є доцільним використання цих деревних порід у ході конструювання штучних лісових екосистем (Похиленко и др., 2019).

J. Mikola із співавторами (2002) показав, що загальний вплив декількох трофічних груп не може бути передбачений як сума впливу кожної окремо, оскільки зазначені групи здатні модифікувати вплив одна іншої. Для відповіді на питання про вплив різних видів сапрофагів на ефективність розкладання підстилки нами були поставлені багатофакторні експерименти в напівпольових умовах з використанням лізіметрів. Дослід проводили у паклено-ясеневій діброві мертвопокровній Dn_3 . (ПД 12), з потужністю підстилки 3 см. Як залежну перемінну було обрано масу спожитої підстилки.

При проведенні експерименту з групою сапрофагів використовували такі види: *R. kessleri*, *M. rossicum*, *D. octaedra*, *P. scaber*. Їх розміщували в лізіметри згідно з математичним планом дробового факторного експерименту $2 \cdot 4^{-1}$. При такому експерименті реалізується вісім дослідів. У наших експериментах варіювались такі фактори: маса спожитої підстилки та маса тіла.

Результати експерименту можна подати у вигляді математичної моделі:

$$Y = 14,7 - 2,6 X_3 + 3,9 (X_1 X_2 + X_3 X_4) - 3,8 (X_1 X_3 + X_2 X_4) \\ (R^2 = 0,991)$$

Проаналізувавши наведену модель (рис.5.6), можна зробити висновок, що на розкладання підстилки значимо впливає сумісна трофічна активність таких видів як *R. kessleri* – *D. octaedra* та *M. rossicum* – *P. scaber*. В отриманій моделі лінійний ефект має тільки фактор X_3 , тобто ефективність розкладання підстилки тим більша, чим більша чисельність *Dendrobaena octaedra* спостерігається на експериментальній ділянці.

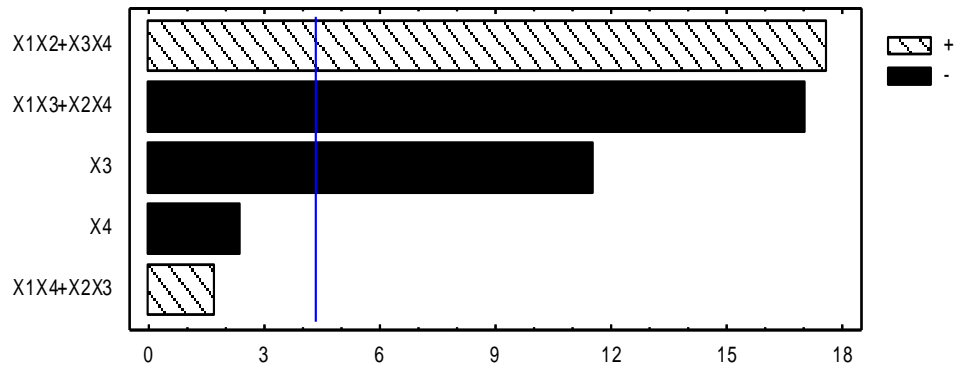


Рис. 5.6 Значущість факторів та їх взаємодія

Примітки: а) «+» ефективне розкладання; «-» неефективне розкладання; б) X₁ – *R. kessleri*, X₂ – *M. rossicum*, X₃ – *D. octaedra*, X₄ – *P. scaber*.

Факторний експеримент, проведений у лабораторних умовах, виявив споживну вибірковість масового виду *Diplopora R. kessleri* до запропонованих видів опаду. За зменшенням ряд харчових переваг має такий вигляд: береза – осика; клен – дуб – хвоя сосни (від 73 до 13 %). Засвоюваність рахували за формулою Г. Г. Вінберга (1962, 1964: цит. по Стриганова, 1980):

$$U = (C - FU) * 100 \% / C,$$

де U – засвоюваність, %; C (consumption) – кількість субстрату, спожитого за одиницю часу; FU (rejecta) – частина субстрату, що не засвоїлась.

Формула оснований на співвідношенні спожитого субстрату та її незасвоєної частини (за масою чи калорійністю).

Отримали наступний ряд трофічних переваг: *Betula pendula* Roth > *Q. robur* L. >> *Pinus sylvestris* L. > *B. pendula* Roth >> *B. pendula* Roth > *A. campestre* L. >> *Populus tremula* L. > *A. platanoides* L. (від 67 до 13 %). Дослід проводили впродовж 15 днів в лабораторних умовах за температурного діапазону 20–25 °C у трикратній повторюваності. У мікрокосми закладали листяний опад (по 0,5 г) клена гостролистого, дуба звичайного, берези бородавчастої, осики звичайної, соснову хвою. Зазначені породи дерев складають основу фітоценозів Присамар'я. Як мікрокосми використовували чашки Петрі.

Виходячи з отриманих результатів 95 % довірчий інтервал перетнули шість факторів, які значуще впливають на зміни параметру оптимізації (рис.5.7). Всі інші комбінації опаду недостовірно впливають на збільшення маси

спожитого корму. У нашому випадку параметром оптимізації виступає ступінь розкладання підстилки *R. kessleri* (ступінь розкладання ми визначали, зважуючи висушену підстилку після 15 днів експерименту).

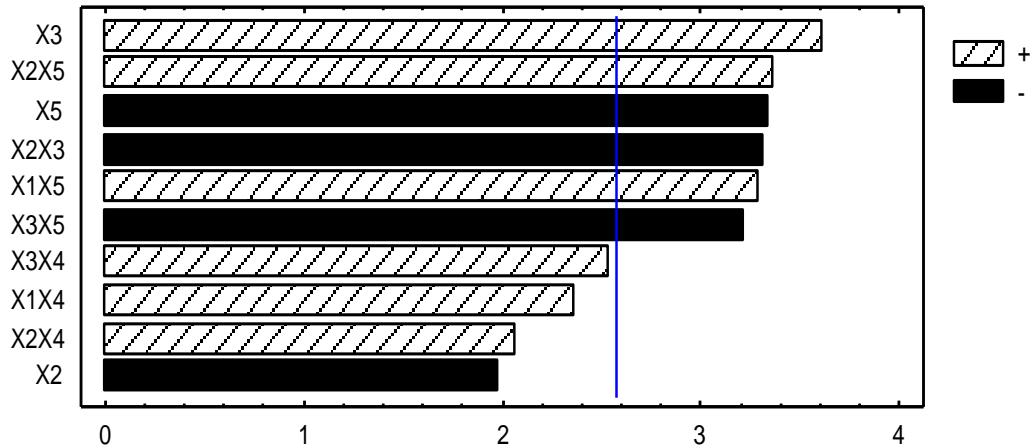


Рис. 5.7. Трофічні пріоритети *R. kessleri* при споживанні листяного опаду різних порід дерев

Примітки: «+» неефективне розкладання; «-» ефективне розкладання; фактори (опад): X₁ – дуб звичайний (*Q. robur* L.); X₂ – ясен ланцетолистий (*F. lanceolata* Borch.); X₃ – липа серцелиста (*T. cordata* Mill.); X₄ – клен польовий (*A. campestre* L.); X₅ – клен гостролистий (*A. platanoides* L.).

Отже, найефективніше в умовах експерименту *R. kessleri* розкладав листя клена гостролистого (X₅) та суміші: (X₂X₃) ясен ланцетолистий та липа серцелистна; (X₃X₅) липа серцелиста та клен гостролистий.

Результати споживання *R. kessleri* різних видів опаду можна представити таким рівнянням регресії ($P < 0,05$):

$$Y = 4,02 + 0,96 * X_3 - 0,89 * X_5 + 0,87 * X_1 X_5 - 0,88 * X_2 X_3 + 0,89 * X_2 X_5 - 0,85 * X_3 X_5$$

$$(R^2 = 0,839)$$

У листях всіх деревних порід, що опадають, у порівнянні із зеленим листям спостерігається збільшення загальної кількості всіх елементів, у підстилці відбувається подальше збільшення загальної суми елементів за рахунок підвищення вмісту кремнію, магнію, алюмінію, заліза, іноді кальцію, азоту, сірки, маргану й зменшення вмісту калію, хлору, натрію, іноді фосфору (Дубовская, 1984).

Таким чином, встановлено, що чисельність *R. kessleri* у байрачних дібровах достовірно вища (у 1,3–2,7 разу). При цьому частка підстилки, що розклалася у байрачній діброві становить в середньому $62,2 \pm 7,3$ % (проти $55,6 \pm 3,6$ % у заплавлених дібровах). За результатами напівпольового факторного експерименту з групою сапрофагів (*R. kessleri*, *M. rossicum*, *D. octaedra*, *P. scaber*) виявлено, що лінійний ефект має тільки фактор *D. octaedra*, а сумісний вплив сапрофагів підвищує ефективність розкладання опаду. Підводячи підсумок лабораторного експерименту з трофічної вибірковості *R. kessleri*, з великою часткою впевненості можна сказати, що ефективне споживання підстилки залежить від наявності у складі листяного опаду дерев – липи серцелистої, клену гостролистого та в'яза гладкого, тому є доцільним використання цих деревних порід у ході конструювання штучних лісових екосистем. За умов моделювання хімічного навантаження на представників двопарноногих багатоніжок встановлено, що в екскреціях *R. kessleri* спостерігається в 1,5 разу менший уміст цинку, ніж у самому ківсяку, а видова належність запропонованого листяного опаду статистично не впливає на акумуляцію цинку.

Перелік посилань:

Адлер, Ю. П., Маркова, Е. В., Грановский, Ю. В. (1976). *Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий*. М.: Наука.

Бызова, Ю. Б. (1970). Об оценке роли *Diploroda* в круговороте кальция. *Зоологический журнал*, 49(11), 1638–1643.

Валькова, С. А. (2009). Комплексы беспозвоночных-сапрофагов в лесных экосистемах Кольского Севера: *Автореф. дисс. канд. биол. наук: 03.00.16 / Петрозаводский государственный университет. Кольский филиал. Апатиты.*

Гиляров, М. С. (1965). *Зоологический метод диагностики почв*. М.: Наука.

Дідур, О. О., Кульбачко, Ю. Л., Похиленко, А. П., Левченко, Б. В. (2018). Зоогенні тенденції буферної здатності ґрунтів паркової зони мегаполісу. *Значення*

та перспективи стаціонарних досліджень для вивчення і збереження біорізноманіття: Матеріали Міжнародної наукової конференції. (С. 44–46). Львів.

Дубовская, Л. В. (1984). Влияние древесных пород на биологический круговорот азота и зольных элементов в полегающих лесных полосах Поволжья: Автореф. дисс канд. с-х. наук: 06.03.04 / Всесоюзная Академия имени В. И. Ленина. Всесоюзный научно-исследовательский институт агролесомелиорации. Волгоград.

Жуков, А. В. (1996). Продукция и разнообразие комплексов почвенной мезофауны Присамарья. *Вопросы степного лесоведения и лесной рекультивации земель*, 7, 142–149.

Жуков О. В. (2009). *Екоморфічний аналіз консорцій ґрунтових тварин (Ecomorphic analysis of the soil animal consortia)*. Д.: Свідлер АЛ.

Курчева, Г. Ф. (1971). *Роль почвенных животных и гумификация растительных остатков*. М.: Наука.

Похиленко, А. П. (2005). Роль Diploroda в разложении лесного опада в условиях долинно-террасового ландшафта Присамарья Днепропетровского. *Біорізноманіття та роль зооценозу в природних та антропогенних екосистемах*: III Міжнародна конференція. (С. 208). Д.: Адверта.

Похиленко, А. П. (2005). Підстилкові сапрофаги лісових екосистем придолинно-терасового ландшафту в умовах Присамар'я Дніпровського. *Загальна і прикладна ентомологія в Україні*: Тези доповідей наукової ентомологічної конференції. (С. 171–172). Львів.

Похиленко, А. П. (2007). Аналіз впливу чисельності підстилкових сапрофагів на процеси розкладення підстилки. Питання біоіндикації та екології, 12(2), 101–107.

Похиленко, А. П., Дидур, О. А., Кульбачко, Ю. Л., Федоров, П. Р. (2019). Аккумуляция цинка представителями сапрофагов (Diploroda, Julidae, *Rossiulus kessleri*) в условиях химической нагрузки. *Екологічні науки*, 2(25), 177–181. doi:10.32846/2306-9716-2019-2-25-29

Похиленко, А. П., Дідур, О. О., Кульбачко, Ю. Л., Овчинникова Ю. Ю. (2019). Трофічна вибірковість підстилкових сапрофагів (Diplopoda, Isopoda) у природних лісах в умовах степу. *Екологія та ноосферологія*, 30(1), 24–28 doi:10.15421/031904

Мешкова, Н. М. (1987). Дыхание диплоподы *Glomeris connexa* (C. L. Koch.) в зависимости от температуры. *Проблемы почвенной зоологии: Материалы IX Всесоюзного совещания*. (С. 183–185). Тбилиси: Мецниереба.

Родин, Л. Е., Базилевич, Н. И. (1965). *Динамика органического вещества и биологический круговорот зольных элементов и азота в основных типах растительности земного шара*. М.-Л.: Наука.

Стриганова, Б. Р. (1971). Возрастные изменения активности питания у кивсяков (Juloidea). *Зоологический журнал*, 50(10), 1472–1476.

Стриганова, Б. Р. (1975). Содержание и культивирование некоторых почвенных беспозвоночных в лаборатории. *Методы почвенно-зоологических исследований*. (С. 128–137). М.:Наука.

Стриганова, Б. Р. (1980). *Питание почвенных сапрофагов*. М.: Наука.

Стриганова, Б. Р. (2000). Локомоторная и трофическая активность беспозвоночных как фактор формирования почвенной структуры. *Почвоведение*, 10, 1247–1254.

Тишков, А. А. (1996). *Экологическая реставрация нарушенных экосистем Севера*. М.: Изд-во УРАО.

Цветкова, Н. М., Пахомов О. Є., Сердюк С. М., Якуба, М. С. (2016). *Біологічне різноманіття України. Дніпропетровська область. Ґрунти. Метали у Ґрунтах*. Д.: ЛПРА.

Чорний, М. Г. (1992). Поширення та особливості екології сірого ківсяка в зоні Лісостепу України. *Проблеми загальної та молекулярної біології*, 10, 40–43.

Якуба, М. С., Похиленко, А. П., Бригадиренко, В. В. (2003). Вплив *Rossiulus kessleri* (Diplopoda) на розкладання підстилки у байрачних екосистемах Присамар'я Дніпровського. *Питання біоіндикації та екології*, 8(1), 41–48.

Andrusevich, K. V., Nazarenko, M. M., Lykholat, T. Y., Grygoryuk, I. P. (2018). Effect of traditional agriculture technology on communities of soil invertebrates. *Ukrainian journal of Ecology*, 8(1), 33–40. doi:10.15421/2017_184

Brygadyrenko, V., Pokhylenko, A. (2007). Features of leaf-litter decomposition in conditions of steppe Prydneprov'ye Region. *Biodiversity. Ecology. Adaptation. Evolution*. Proceedings of the III international young scientists conference. (P. 106). Odesa: Pechatnyi Dom.

Brygadyrenko, V., Ivanyshyn, V. (2015). Changes in the body mass of *Megaphyllum kievense* (Diplopoda, Julidae) and the granulometric composition of leaf litter subject to different concentrations of copper. *Journal of Forest Science*, 61(9), 369–376. doi:10.17221/36/2015-JFS

Gentili, R., Ferre, C., Cardarelli, E., Montagnani, C., Bogliani, G., Citterio, S., Comolli, R. (2019). Comparing negative impacts of *Prunus serotina*, *Quercus rubra* and *Robinia pseudoacacia* on Native Forest Ecosystems. *Forests*, 10(10), 842. doi:10.3390/f10100842

Didur, O. A., Kulbachko, Y. L., Gasso, V. Y. (2017). Accumulation of microelements by different invertebrate trophic groups on wasted lands. *Ukrainian journal of ecology*, 7(4), 30–34. doi:10.15421/2017_83

Ghemari, C., Waterlot, C., Ayari, A., Douay, F., Nasri-Ammar, K. (2019). Effects of Heavy Metals Artificial Contamination on *Porcellio laevis* (Latreille, 1804) (Crustacea: Isopoda: Oniscidea). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 103, 416–420. doi:10.1007/s00128-019-02684-0

Faly, L. I., Brygadyrenko, V. V. (2018). Influence of the herbaceous layer and litter depth on the spatial distribution of litter macrofauna in a forest plantation. *Biosystems Diversity*, 26(1), 46–51. doi:10.15421/011807

Godwin, C. M., Smits, J. E. G., Barclaya, R. M. R. (2016). Metals and metalloids in nestling tree swallows and their dietary items near oilsands mine operations in Northern Alberta. *Science of the total environment*, 562, 714–723. doi:10.1016/j.scitotenv.2016.04.069.

Hornak, O., Mock, A., Sarapatka, B., Tuf, I. H. (2020). Character of woodland fragments affects distribution of myriapod assemblages in agricultural landscape. *Zookeys*, 930, 139–151. doi:10.3897/zookeys.930.48586

Kadem, D. E. D., Rached, O., Krika, A., Gheribi-Aoulmi, Z. (2004) Statistical analysis of vegetation incidence on contamination of soils by heavy metals (Pb, Ni and Zn) in the vicinity of an iron steel industrial plant in Algeria. *Environmetrics*, 15(5), 447–462. doi:10.1002/env.673

Kalugina, O. V., Mikhailova, T. A., Shergina, O. V. (2017). Pinus sylvestris as a bio-indicator of territory pollution from aluminum smelter emissions. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(11), 10279–10291. doi:10.1007/s11356-017-8674-5

Kohler, H. R. (2002). Localization of metals in cells of saprophagous soil arthropods (Isopoda, Diplopoda, Collembola). *Microscopy Research And Technique*, 56(5), 393–401. doi:10.1002/jemt.10039

Kozak, V. M., Brygadyrenko, V. V. (2018). Impact of cadmium and lead on Megaphyllum kievense (Diplopoda, Julidae) in a laboratory experiment. *Biosystems Diversity*, 26(2), 128–131. doi:10.15421/011820

Mikola, J., Bardgett, RD., Hedlund, K. (2002). Biodiversity, ecosystem functioning and soil decomposer food webs. In M. Loreau, S. Naeem, P. Inchausti (Eds.), *Biodiversity and ecosystem functioning: synthesis and perspectives* (pp. 169–180). Oxford University Press.

Minkina, T., Nevidomskay, D., Bauer, T., Shuvaeva, V., Soldatov, A., Mandzhieva, S., Zubavichus, Y., Trigub, A. (2018). Determining the speciation of Zn in soils around the sediment ponds of chemical plants by XRD and XAFS spectroscopy and sequential extraction. *Science of the total environment*, 634, 1165–1173. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.04.118

Novosyolova, E. I., Volkova, O. O., Turyanova, R. R. (2017). Soil enzymes as biodiagnostics indicator of heavy metal pollution of urbanozem. IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science*, 107, 012069

Pokhylenko, A. P., Didur, O. O., Kulbachko, Y. L., Bandura, L. P., Chernykh, S. A. (2020). Influence of saprophages (Isopoda, Diplopoda) on leaf litter decomposition under different levels of humidification and chemical loading. *Biosystems Diversity*, 28(4), 384–389. doi:10.15421/012049

Read, H. J., Martin, M. H., Rayner, J. M. V. (1998). Invertebrates in woodlands polluted by heavy metals – an evaluation using canonical correspondence analysis. *Water, Air, & Soil Pollution*, 106(1–2), 17–42. doi:10.1023/A:1004917829355

Roy, S. N., Joy, V. C. (2009). Dietary effects of non-nutrients in the leaf litter of forest trees on assimilation, growth and tissue composition of the detritivorous soil arthropod *Anoplodesmus saussurei* (Humb.) (Polydesmida: Diplopoda), *Applied Soil Ecology*, 43(1), 53–60. doi:10.1016/j.apsoil.2009.06.009

Spurgeon, D. J., Hopkin, S. P. (1996). The effects of metal contamination on earthworm populations around a smelting works: quantifying species effects. *Applied Soil Ecology*, 4(2), 147–160. doi:10.1016/0929-1393(96)00109-6

Šustrá, V., Šimek, M., Faktorová, L., Macková, J., Tajovský, K. (2020). Release of greenhouse gases from millipedes as related to food, body size, and other factors. *Soil Biology and Biochemistry*, 44, 107765.

Svyrydchenko, A. O., Brygadyrenko, V. V. (2014). Trophic preferences of *Rossiulus kessleri* (Diplopoda, Julidae) for the litter of various tree species. *Folia Oecologica*, 41(2), 202–212.

Vasconcellos, R. L. F., Segat, J. C., Bonfim, J. A., Baret, D., Cardoso, E. J. B. N. (2013). Soil macrofauna as an indicator of soil quality in an undisturbed riparian forest and recovering sites of different ages. *European Journal of Soil Biology*, 58, 105–112. doi:10.1590/18069657rbc20160261

Електронний ресурс: <https://dnepr.comments.ua/article/2018/10/16/140017.html>

РОЗДІЛ 6

БІОТИЧНІ ЗВ'ЯЗКИ *R. KESSLERI*

6.1. Біоценоз кишківника особин *R. kessleri* з природних лісових екосистем

Для з'ясування складу флори диплопод на прикладі *R. kessleri* був проведений лабораторний експеримент (Похиленко, 2007; Похиленко, Редько, 2008). Матеріал для даної роботи зібраний на території Присамарського міжнародного біосферного стаціонару ім. О. Л. Бельгарда за загальноприйнятими методиками (Бызова и др., 1987). У досліді з вивчення мікробного складу кишківника використовували диплоподи після живлення однокомпонентною стерильною підстилкою типових для Самарського лісу видів дерев: *Pinus sylvestris* L., *T. cordata* Mill., *Salix alba* L., *Ulmus campestris* L., *Acer platanoides* L., *F. lanceolata* Borkh., *Q. robur* L.

При мікроскопічних дослідженнях вмісту кишківників ківсяків, що харчувалися звичайною підстилкою, були виявлені чисельні представники черепашкових амеб: *Arcella arenaria sphagnicola undulate* Decloitre, 1972, *A. multilibata* Golemansky, 1964; *Diffflugia longum* Chardez, 1987, *D. lucida* Penard, 1890, *D. obonga* Ehrenberg, 1838, *D. serrata* Ogden et Zivkovik, 1983; *Nebela (Argynnia) dentistoma* Wailes, 1913; *Trinema complanatum* Penard, 1890, *T. lineare* Penard, 1890; *Cyclopyxis arcelloides* Penard, 1902; бактерії та рештки грибного міцелію *Aspergillus* (рис. 6.1). Дж. Д. Лоузер (1982; цит по: Калюжний, 1987) у своїй роботі відмітив, що заселення підстилки тестациями залежить не тільки від її хімічного складу, а й від ступеня розкладання.

При дослідженні рідини кишківників ківсяків, що харчувалися стерильною монокомпонентною підстилкою, відмічено, що переважну більшість мікрофлори складає кишкова паличка *Escherichia coli*. У деяких зразках зустрічалися колонії *Micrococcus luteus* та гриби роду *Aspergillum* (рис. 6. 1; 6.2).

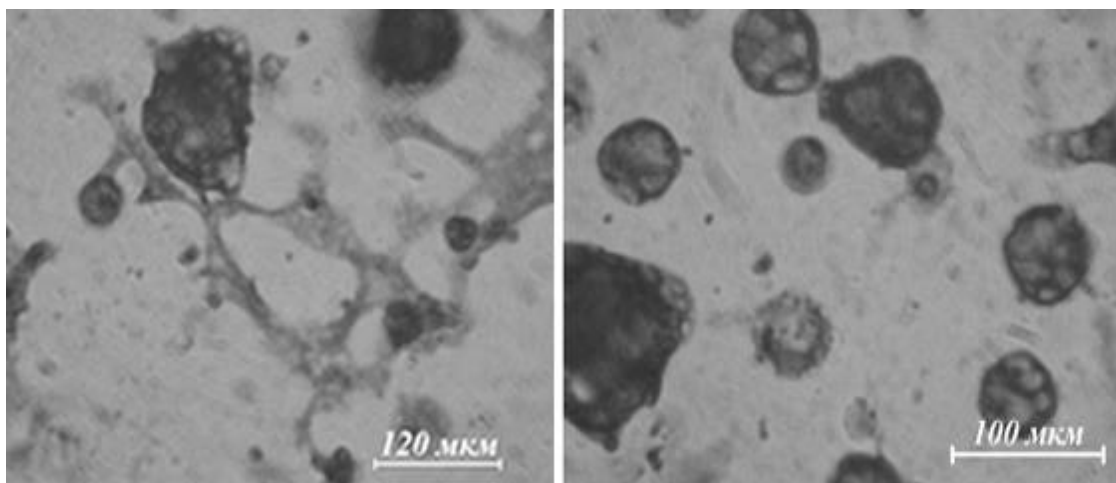


Рис. 6. 1. Рідина кишківника ківсяка, що харчувався звичайною (нестерильною) підстилкою.

Кишкові палички з повноцінними ферментативними властивостями – головна аеробна флора будь-якого тваринного організму. Це грам-негативні палички родини *Enterobacteriaceae*, рода *Escherichia*. Здатні до розкладення лактози, манніту, мальтози.

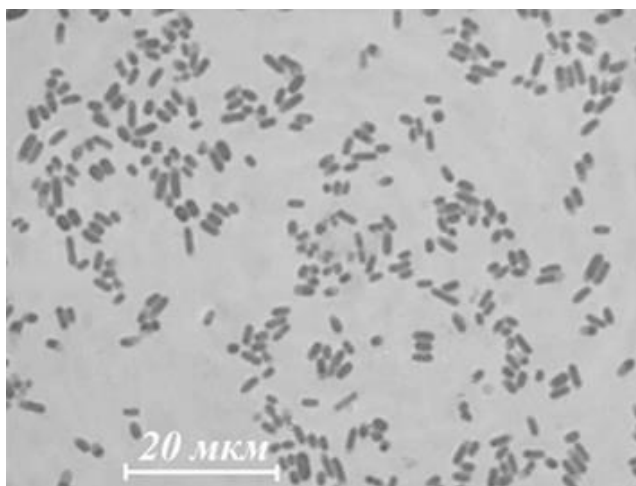


Рис. 6. 2. Мікрофлора кишківника ківсяка після живлення стерильним опадом

Аналізуючи співвідношення колонієутворюючих клітин *E. coli* до інших мікроорганізмів у кишкочій рідині ківсяків (рис. 6.3), було встановлено, що переважання кишкової палички (99,7 %), мінімальна кількість грибів (0,14 %) та найвища чисельність найпростіших (0,6 %) спостерігалась при живленні ківсяків листям верби (*S. alba L.*). Максимальну кількість колоній *Enterobacteriaceae sp.*

(37,0 %) виявлено в кишковій рідині диплопод, які споживали кленову підстилку (*A. platanoides* L.).

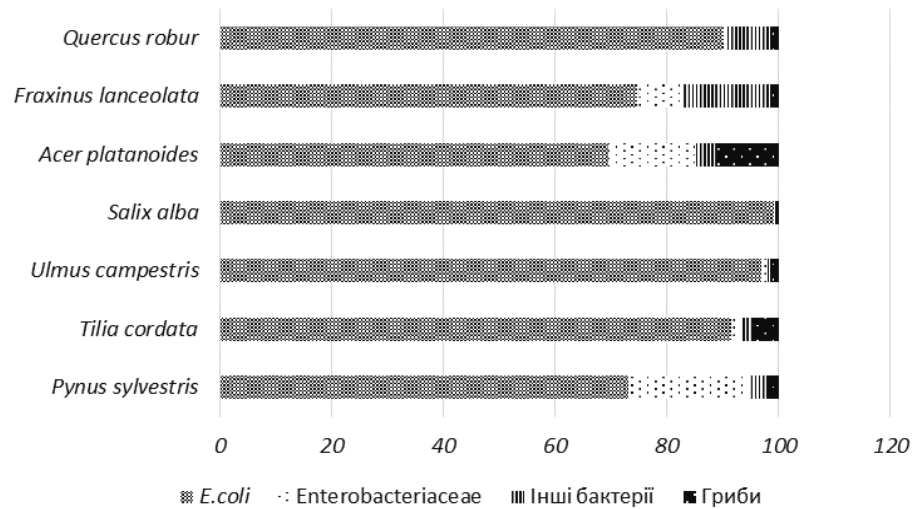


Рис. 6. 3. Співвідношення колонієутворюючих клітин *E. coli* до інших мікроорганізмів у кишківнику *R. kessleri*, %

Розростання колонієутворюючих одиниць *E. coli* може бути пов'язане з наявністю комплексу вітамінів у складі листя (рис. 6. 4). Найбагатшою на вітаміни виявилася хвоя *P. sylvestris* L.: А, D, Е, К, С, В₁ (Растительные ресурсы, 1990). Найбіднішими – листя ясеня та липи (вітамін С). У той же час максимальна кількість дубильних речовин міститься у листі клену гостролистого (в середньому 10 %), мінімальна – у листі в'яза гладкого (у середньому 5,2 %).

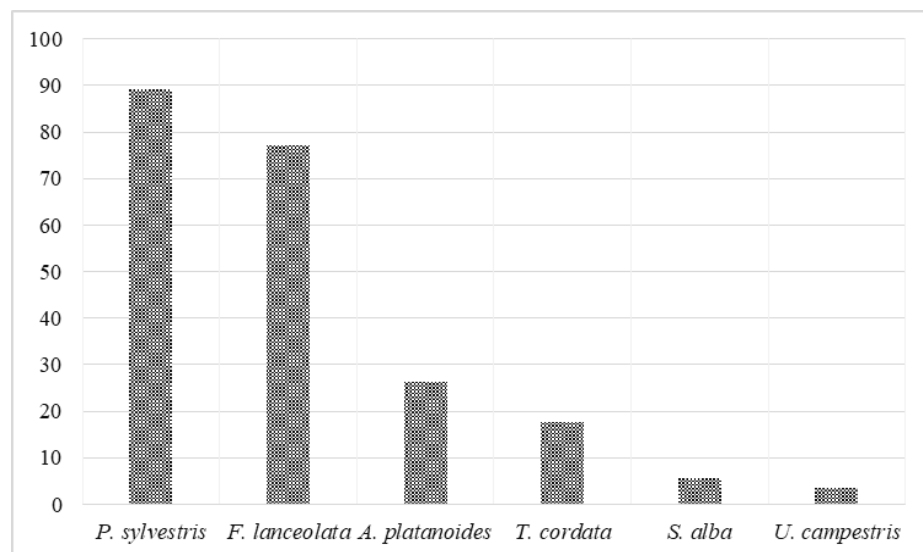


Рис. 6. 4. Кількість колонієутворюючих одиниць *E. coli* у кишківниках ківсяків залежно від виду спожитого опаду, %

Багато видів сапрофагів віддають перевагу опаді окремих видів рослин, окремих порід дерев. Причини переваг підстилки з різних порід обговорювали різними дослідниками. Віттіх (1953) і Дунгер (1958, 1961) (цит. по: Забоев, 1987) виявили, що основне значення має співвідношення C:N, тобто показник багатства опаді азотовмісними сполуками. Подальші дослідження (Meentenmeeyer, 1978; Gonzalez, Seastedt 2001) визначили, що розкладання підстилки більше залежить від її хімічного складу, ніж від умов оточуючого середовища.

Дубове листя всі тварини поїдають менш охоче і вони дають набагато меншу кількість новоствореного гумусу в екскрементах, ніж інші, які легше розкладаються (вільха, ясен, липа, ліщина, в'яз та інші) (Ремезов, 1961). Ківсяки та мокриці при розкладанні дубового опаді не створюють самі гумусових речовин і відіграють у гумусоутворенні в дібровах лише непряму роль (якщо не вважати можливості створення ними цих речовин з опаді трав'янистих рослин).

Потрапляючи після первинної обробки безхребетними в ґрунт у вигляді екскрементів, органічні залишки піддаються впливу мікроорганізмів і багато разів проходять через кишківники різних тварин (копрофагів і сапрофагів), що змінює органічну речовину в бік її гуміфікації.

Внутрішня мікрофлора кишківника диплопиди *R. kessleri* – це показник інтенсивності розкладання підстилки сапрофагами. Швидкість утилізації опалого листя та специфічний склад кишкової мікрофлори залежать від співвідношення хімічних складових підстилки (нітрогену та водорозчинних вітамінів) та від факторів оточуючого середовища (для умов степу першорядним є фактор зволоження). У такий спосіб ківсяки слугують провайдерами підтримувальних екосистемних послуг та утримують форичні та трофічні консортивні зв'язки.

6.2. Участь особин *R. kessleri* у формуванні альгоценозу в лісових екосистемах міста

Мікроскопічні водорості та ціанопрокаріоти, населяючи різноманітні ґрунти, формують різноманітні за складом угруповання. Здатність до фотосинтезу

визначає їх особливу роль у ґрунтових біоценозах. Незважаючи на мікроскопічні розміри та незначну біомасу, показники їх продукції внаслідок високої швидкості розмноження досягають кілька сотень кілограмів на гектар. Наприклад, за даними деяких досліджень у лісових екосистемах вона лежить у діапазоні 100–2500 кг/га, зменшуючись у посушливих місцях та збільшуючись, відповідно, у місцях зі значним рівнем зволоження (Мальцева, 2009). За даними альгологів (Штина, Голлербах, 1976; Мальцева, 2009), якісний склад водоростей, залежить від типу лісорослинних умов, і, як наслідок, від складу листяного опаду. Незначне різноманіття водоростей (табл. 6.1), що змиті з поверхні диплопод, може бути пов'язане з активністю секретів, які виділяють багатоніжки для захисту від бактерій та грибів (Pić et al., 2019). З 14 видів водоростей, виявлених у витяжках різних видів опаду, три – зазначені на всіх видах листяного опаду (табл. 6.2). Вірогідно, це пов'язано зі схожими властивостями ґрунтів паркових зон міста (Яковишина, 2015).

Таблиця 6.1

Ґрунтові водорості, виявлені з різних частин тіла та в екскреціях диплоподи *R.kessleri*

Варіант дослідження	1	2	3	4
Змиви з поверхні тіла	<i>Stichococcus bacillaris</i> Nägeli	Не виявлено	<i>Mychonastes homosphaera</i> (Skuja) Kalina et Punčoch.	<i>Chlorella vulgaris</i> Beij.
Змиви з кишківника	<i>Eustigmatos magnus</i> (J.B. Petersen) Hibberd <i>Bracteacoccus minor</i> (Chodat) Petrová <i>Chlorella vulgaris</i> Beij.	<i>Eustigmatos magnus</i> (J.B. Petersen) Hibberd <i>Klebsormidium flaccidum</i> (Kütz.) P.C. Silva et al.	<i>Chlorella vulgaris</i> Beij. <i>Desmococcus olivaceus</i> (Pers. ex Ach.) I.R. Laundon <i>Stichococcus bacillaris</i> Nägeli	<i>Bracteacoccus minor</i> (Chodat) Petrová <i>Chlorella vulgaris</i> Beij. Cf. <i>Mychonastes homosphaera</i> (Skuja) Kalina et Punčoch.

Наявність в екскреціях	<i>Chlorella vulgaris</i> Beij.	<i>Chlorella vulgaris</i> Beij. <i>Eustigmatos magnus</i> (J.B. Petersen) Hibberd	<i>Chlorella vulgaris</i> Beij. <i>Desmococcus olivaceus</i> (Pers. ex Ach.) I.R. Laundon	<i>Chlorella vulgaris</i> Beij. Cf. <i>Mychonastes homosphaera</i> (Skuja) Kalina et Punčoch.
------------------------	---------------------------------	--	--	---

Примітка: 1 – трофічна база – листяна підстилка *A. campestre* L. (відібрано в парку імені Юрія Гагаріна); 2 – трофічна база – суміш листяної підстилки *A. campestre*, *Populus nigra*, *R. pseudoacacia* (відібрано в парку імені Юрія Гагаріна); 3 – трофічна база – листяна підстилка *A. campestre* L. (відібрано в парку на території Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна); 4 – трофічна база – плоди *Ulmus laevis* Pall. (відібрано в парку на території Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна).

Присутність *Eustigmatos magnus* в усіх видах трофічної бази є звичайною. Зазначений вид характеризується високою толерантністю до несприятливих умов середовища та має широкий ареал розповсюдження. *E. magnus* мешкає у поверхневих шарах ґрунту, зустрічається на урбанізованих територіях, навколо підприємств енергетичної, нафтохімічної промисловості. Цю одноклітинну водорість можна знайти на промислових відвалах, у хвостосховищах. Популяції *E. magnus* мають високу стійкість до ПАРів, радіоактивного забруднення й чутливі до забруднення ґрунтів важкими металами, нафтопродуктами. Відома можливість використання (Кабиров и др., 2008) *E. magnus* для оцінки токсичності ґрунтового покриву та зонування різноманітних територій, які знаходяться під антропогенним впливом. *Bracteacoccus minor* (Chodat) Petrová – широко розповсюджена ґрунтова водорість, зустрічається на солончаках України, у ковилових степах Росії, пустелях Мексики. Згідно з дослідженнями – досить терmostійкий вид (52 °C). Вид *Klebsormidium flaccidum* (Kutz) Silva et al. — зелена нитчаста водорість, типовий представник ґрунтової альгофлори. Широко розповсюджена в наземних та прісноводних місцезнаходженнях. Екологічно дуже пластичний по відношенню до природних (50 °C; pH 3,5–8,5) та антропогенних (стійкість до високих концентрацій солей важких металів) факторів (Rindi et al., 2008; Пурина, 2009).

Таблиця 6.2

Якісний склад ґрунтових водоростей виявлених у особин *R. kessleri*

Варіант досліджу	1	2	3	4
Витяжка з опаду	<i>Eustigmatos magnus</i> (J.B. Petersen) Hibberd	<i>Eustigmatos magnus</i> (J.B. Petersen) Hibberd	<i>Eustigmatos magnus</i> (J.B. Petersen) Hibberd	<i>Eustigmatos magnus</i> (J.B. Petersen) Hibberd
	<i>Nostoc punctiforme</i> (Kütz. ex Hariot) Hariot	<i>Nostoc punctiforme</i> (Kütz. ex Hariot) Hariot	<i>Nostoc</i> sp.	–
	<i>Bracteacoccus minor</i> (Chodat) Petrová	<i>Bracteacoccus minor</i> (Chodat) Petrová	<i>Bracteacoccus minor</i> (Chodat) Petrová	<i>Bracteacoccus minor</i> (Chodat) Petrová
	<i>Chlorella vulgaris</i> Beij.	<i>Chlorella vulgaris</i> Beij.	<i>Chlorella vulgaris</i> Beij.	<i>Chlorella vulgaris</i> Beij.
	<i>Klebsormidium flaccidum</i> (Kütz.) P.C. Silva et al.	<i>Klebsormidium flaccidum</i> (Kütz.) P.C. Silva et al.	<i>Klebsormidium flaccidum</i> (Kütz.) P.C. Silva et al.	<i>Klebsormidium flaccidum</i> (Kütz.) P.C. Silva et al.
	<i>Stichococcus bacillaris</i> Nägeli	–	<i>Stichococcus bacillaris</i> Nägeli	–
	<i>Pseudococcomyxa simplex</i> (Mainx) Fott	<i>Pseudococcomyxa simplex</i> (Mainx) Fott	–	–
	–	–	<i>Mychonastes homosphaera</i> (Skuja) Kalina et Punčoch.	<i>Mychonastes homosphaera</i> (Skuja) Kalina et Punčoch.
	–	<i>Nephrodiella phaseolus</i> Pascher	<i>Neospongiococcum</i> sp.	<i>Trebouxia</i> spp.
	–	<i>Navicula pelliculosa</i> (Breb.) Hilse, <i>Chlamydomonas</i> sp.	<i>Desmococcus olivaceus</i> (Pers. ex Ach.) I.R. Laundon	–

Примітки: трофічна база досліду 1 – *A. campestre* L. (відібрано в парку імені Юрія Гагаріна); трофічна база досліду 2 – *A. campestre* L.-*P. nigra* L.-*R. pseudoacacia* L. (відібрано в парку імені Юрія Гагаріна); трофічна база досліду 3 – *A. campestre* L. (відібрано в парку на території Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна); трофічна база досліду 4 – плоди *U. laevis* Pall. (відібрано в парку на території Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна).

Екологічні особливості водоростей характеризуються складом і співвідношенням екобіоморф (життєвих форм) незалежно від таксономічної приналежності (Штина, Голлербах, 1976). У наших дослідженнях ми скористались такою класифікацією екобіоморф (табл. 6.3): Ch-форма – одноклітинні, колоніальні тіньовитривалі едафофільні види, здатні до утворення слизу; C-форма об'єднує одноклітинні, колоніальні або нитчасті форми, здатні до утворення слизу, але більш вологолюбиві за Ch-форми; серед C-форм виокремлюють CF-форму, яка здатна до азотфіксації; X-форма – одноклітинні водорості, що мешкають між ґрунтовими частками, тіньовитривалі, але нестійкі до посушливих умов і екстремальних температур; B-форма – мешкають у поверхневих шарах вологого ґрунту або у слизу інших водоростей, холодостійкі, світлолюбиві, багато з них солестійких, але нестійкі до висихання; H-форма представлена нитцеподібними формами, нестійкі до посухи та високих температур; amph-форма – часто зустрічаються у вологих ґрунтах.

Таблиця 6.3

Таксономічний склад ґрунтових водоростей, виявлений у *R. kessleri* в експерименті

Таксон		Екобіо-морфа	1	2	3	4
Відділ	Цянопрокарйота					
<i>Клас</i>	Цянофйсеае					
<i>Порядок</i>	<i>Nostocales</i> (Borzi) Geitler					
<i>Родина</i>	<i>Nostocaceae</i> Elenkin					
<i>Рід</i>	<i>Nostoc</i> Vaucher ex Bornet et Flahault					

Вид	<i>Nostoc punctiforme</i> (Kütz. ex Hariot) Hariot	Cf	1			
Відділ	Eustigmatophyta					
Клас	Eustigmatophyceae					
Порядок	<i>Eustigmatales</i> Hibberd					
Родина	<i>Eustigmataceae</i> Hibberd					
Рід	<i>Eustigmatos</i> Hibberd					
Вид	<i>Eustigmatos magnus</i> (J.B. Petersen) Hibberd	Ch	1	1	1	
Відділ	Xanthophyta					
Клас	Xanthophyceae					
Порядок	<i>Mischococcales</i> Bourr. Sensu Dogadina					
Родина	<i>Pleurochloridaecae</i> Pascher sensu Matv. et Dogadina					
Рід	<i>Nephrodiella</i> Pascher					
Вид	<i>Nephrodiella phaseolus</i> Pascher	Ch	1			
Відділ	Bacillariophyta					
Клас	Bacillariophyceae					
Порядок	<i>Naviculales</i> Bessey					
Родина	<i>Naviculaceae</i> Kütz.					
Рід	<i>Navicula</i> Bory					
Вид	<i>Navicula pelliculosa</i> (Breb.) Hilse	B	1			
Відділ	Chlorophyta					
Клас	Chlorophyceae					
Порядок	<i>Chlamydomonadales</i> F.E. Fritsch in G.S. West					
Родина	<i>Chlamydomonadaceae</i> F.E. Fritsch in G.S. West					
Рід	<i>Chlamydomonas</i> Ehrenb.					
Вид	<i>Chlamydomonas</i> sp.	–	1			

Порядок	<i>Chlorococcales</i> Marchand orth. mund. s.str.					
Родина	<i>Chlorococcaceae</i> F.F. Blackman et Tansley					
Рід	<i>Neospongiococcum</i> Deason					
Вид	<i>Neospongiococcum</i> sp.	–	1			
Порядок	<i>Sphaeropleales</i> Kütz. emend. M.A. Buchheim et al.					
Родина	<i>Mychonastaceae</i> K. Fučíková et al.					
Рід	<i>Mychonastes</i> P.D. Simpson et Van Valk					
Вид	Cf. <i>Mychonastes</i> <i>homosphaera</i> (Skuja) Kalina et Punčoch.	Cf	1	1	1	1
Родина	<i>Bracteacoccaceae</i> Kostikov emend. P. Tsarenko					
Рід	<i>Bracteacoccus</i> Tereg.					
Вид	<i>Bracteacoccus minor</i> (Chodat) Petrová	Ch	1		1	
Клас	Trebouxiophyceae					
Порядок	<i>Chlorellales</i> H.C. Bold et M.J. Wynne					
Родина	<i>Chlorellaceae</i> Brunth.					
Рід	<i>Chlorella</i> Beij.					
Вид	<i>Chlorella vulgaris</i> Beij.	Ch	1	1	1	1
Порядок	<i>Trebouxiales</i> Friedl					
Родина	<i>Choricystidaceae</i> Kostikov					
Рід	<i>Pseudococcomyxa</i> Korschikov					
Вид	<i>Pseudococcomyxa</i> <i>simplex</i> (Mainx) Fott	Ch	1			
Родина	<i>Trebouxiaceae</i> Friedl					
Рід	<i>Trebouxia</i> Puym					

Вид	<i>Trebouxia</i> spp.	–	1			
Порядок	<i>Prasiolales</i> G.S. West et F.E. Fritsch					
Родина	<i>Prasiolaceae</i> Blackman et Tansley					
Рід	<i>Desmococcus</i> F. Brand emend. Vischer					
Вид	<i>Desmococcus olivaceus</i> (Pers. ex Ach.) I.R. Laundon	Ch	1	1	1	
Рід	<i>Stichococcus</i> Nägeli					
Вид	<i>Stichococcus bacillaris</i> Nägeli	Cf	1		1	1
Відділ	Charophyta					
Клас	Charophyceae					
Порядок	<i>Klebsormidiales</i> K.D. Stewart & K.R. Mattox					
Родина	<i>Klebsormidiaceae</i> K.D. Stewart & K.R. Mattox					
Рід	<i>Klebsormidium</i> P.C. Silva et al.					
Вид	<i>Klebsormidium flaccidum</i> (Kütz.) P.C. Silva et al.	H	1		1	
Всього видів			14	4	7	3

Примітки: 1 – витяжка з лісової підстилки; 2 – витяжка з екскрецій; 3 – витяжка з кишківників; 4 – змиви з поверхні тіла.

Таким чином, представник двопарноногих багатоніжок *R. kessleri* бере участь у розповсюдженні 7 видів ґрунтових водоростей – *Stichococcus bacillaris* Nägeli, *Mychonastes homosphaera* (Skuja) Kalina et Punčoch., *Chlorella vulgaris* Beij., *Desmococcus olivaceus* (Pers. ex Ach.) I. R. Laundon, *Bracteacoccus minor* (Chodat) Petrová, *Klebsormidium flaccidum* (Kütz) Silva et all, *Eustigmatos magnus* (J. V. Petersen) Hibberd з 14 визначених у змивах з листяного опадку. З-поміж визначених у змивах із кишківника та екскреціях видів переважають

представники відділу Chlorophyta (рис. 6.5), Ch-форма екобіоморф – едафотривалі види.

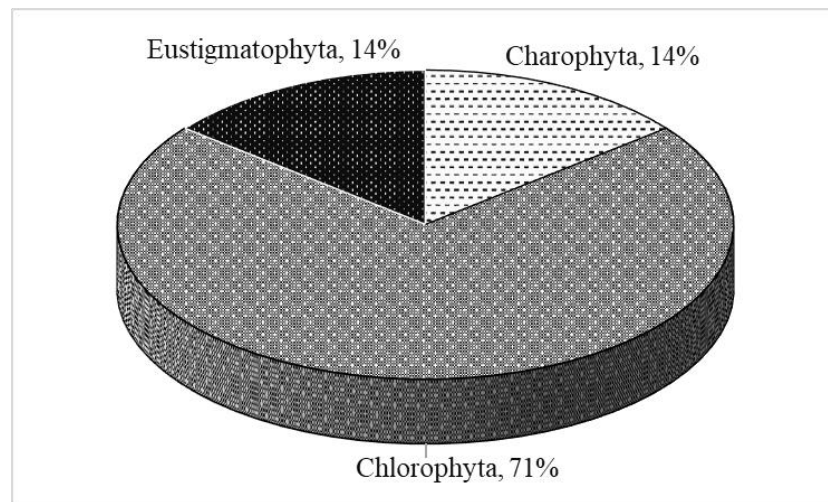


Рис. 6.5. Таксономічне співвідношення водоростей, що виявлені в кишківнику та екскреціях *R. kessleri*

Згідно з отриманими даними 3 види водоростей (*Bracteacoccus minor* (Chodat), *Klebsormidium flaccidum* (Kütz.), *Stichococcus bacillaris* Nägeli) зафіксовано на змивах з кишківника *R. kessleri*, але не виявлені в екскреціях.

Таким чином, наявність/функціонування форичних консортивних зв'язків пов'язане з пропонуванням таких підтримувальних екосистемних послуг як розповсюдження водоростей, кругообіг поживних речовин. Вигоди, які отримують екосистеми (природні, трансформовані, урбоекосистеми), визначають значущість цих груп організмів, цінність яких значно зростає в умовах кліматичних змін у бік посушливості та збільшення температури (Lykholat et al., 2017).

Перелік посилань:

Бызова, Ю. Б., Гиляров, М. С., Дунгер В. (1987). *Количественные методы в почвенной зоологии*. М.: Наука.

Забоев, Д. П. (1987). Соотношение углерод: азот: фосфор в почвенных животных. *Проблемы почвенной зоологии: Материалы IX Всесоюзного совещания*. (С. 105). Тбилиси: Мецниереба.

Кабиров, Р. Р., Сафиуллина, Л. М. (2008). Особенности экологии и распространения одноклеточной почвенной водоросли *Eustigmatos magnus* (J.V. Petersen) Hibberd (Eustigmatophyta) в Южном Урале (Россия). *Альгология*, 18(2), 134–144.

Калюжный, В. Г. (1987). Особенности трофических связей почвообитателей мезофауны. *Проблемы почвенной зоологии: Материалы IX Всесоюзного совещания*. (С. 103–104). Тбилиси: Мецниереба.

Мальцева, І. А. (2009). *Ґрунтові водорості лісів степової зони України*. Мелітополь: Люкс.

Похиленко, А. П. (2007). Изменение кишечной микрофлоры *Rossiulus kessleri* (Diploroda) после питания на мхе *Polytrichium* sp. *Современное состояние растительного и животного мира стран евروهана "Днепр" их охрана и рациональное использование: Международная научно-практическая конференция*. (С. 235–239). Гомель: [б. и.].

Похиленко, А. П., Редько, В. В. (2008). Склад мікрофлори кишкової порожнини ківсяка *Rossiulus kessleri* (Diploroda) в залежності від виду спожитого опаду. *Науковий вісник Чернівецького університету*, 373, 141–149.

Пурина, Е. С. (2009). Оценка экологической пластичности почвенной водоросли *Klebsormidium flaccidum* (Kutz) Silva et all: Chlorophyta: *Автореф. дисс канд. биол. наук: 03.00.16 Вятская государственная сельскохозяйственная академия*.

Растительные ресурсы СССР. (1990). *Цветковые растения, их химический состав, использование*. Ленинград: Наука.

Ремезов, Н. П. (1961). Разложение лесной подстилки и круговорот элементов в дубовом лесу. *Почвоведение*, 7, 36–41.

Штина Э. А., Голлербах, М. М. (1976). *Экология почвенных водорослей*. М.: Наука, 1976, 143 с.

Яковишина, Т. Ф. (2015). Класифікація антропогенно перетворених ґрунтів урбоекосистеми м. Дніпропетровськ. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*, 12(213), 65–70.

González G., Seastedt, T. R. (2001). Soil fauna and plant litter decomposition in tropical and subalpine forests. *Ecology*, 82(4), 955–964. doi:10.2307/2679895

Lykholat, Y. V., Khromykh, N. A., Ivan'ko, I. A., Matyukha, V. L., Kravets, S. S., Didur, O. O., Alexeyeva, A. A., Shupranova, L. V. (2017). Assessment and prediction of the invasiveness of some alien plants in conditions of climate change in the steppe Dnieper region. *Biosystems Diversity*, 25(1), 52–59. (In Ukrainian). doi:10.15421/011708

Meentemeyer, V. (1978). Macroclimate and lignin control of litter decomposition rates. *Ecology*, (59), 465–472. doi:10.2307/1936576

Ilić, B., Unković, N., Knežević, A., Savković, Ž., Grbić, M. L., Vukojević, J., Jovanović, Z., Makarov, S., Lučić, L. (2019). Multifaceted activity of millipede secretions: Antioxidant, antineurodegenerative, and anti-Fusarium effects of the defensive secretions of *Pachyiulus hungaricus* (Karsch, 1881) and *Megaphyllum unilineatum* (C. L. Koch, 1838) (Diplopoda: Julida). *PLoS One*, 14(1:e0209999).

Rindi, F., Guiry, M. D., Lo'pez-Bautista, J. M. (2008). Distribution, morphology, and phylogeny of *Klebsormidium* (Klebsormidiales, Charophyceae) in urban environments in Europe. *Journal of Phycology*, 44(6), 1529–1540. doi:10.1111/j.1529-8817.2008.00593.x

ВИСНОВКИ

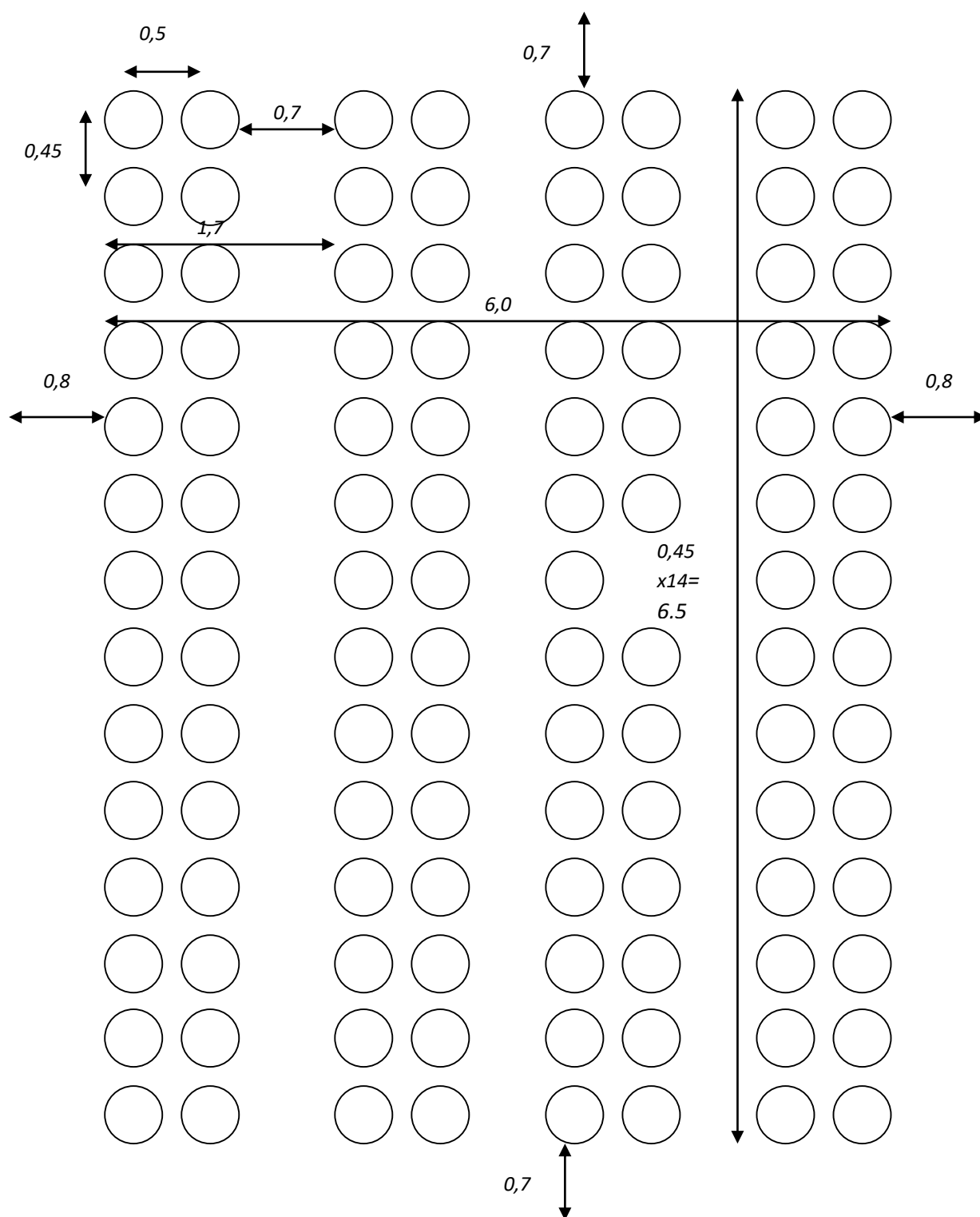
1. Максимальна щільність підстилкової мезофауни спостерігається у короткозаплавній мезофільній паклено-ясеневій ясеневій діброві із різнотрав'ям (11,1 особини/10 пастко-діб), мінімум (0,41–0,55 особини /10 пастко-діб) зафіксовано на ділянках короткозаплавного мезогірофільного вербняку із кропивою дводомною, ксеромезофільного акацієвого насадження з тонконогом вузьколистим на плакорі. У герпетобії біогеоценозів в околицях м. Дніпро серед сапрофагів переважають *Isopoda* та *Julida* (29 % та 30 % відповідно). Топічно збільшення динамічної щільності *R. kessleri* пов'язане зі зростанням індексу зволоження для природних екосистем (0,3 особини/10 пастко-діб для ксеромезофільного акацієвого насадження, 34,5 особини/10 пастко-діб для мезофільної байрачної діброви).
2. Вивчення морфометричних показників *R. kessleri* дозволило з'ясувати статистичні залежності певних розмірних характеристик (визначальним показником для ширини вусика у самиць виявлена довжина тіла, у той час як для самців це ширина тіла) у комплексі ознак та представити для них математичні моделі з високим ступенем адекватності. Одним з показників морфологічної інтегрованості ознак є міць кореляційної плеяди. Установлено, що 14 морфологічних показників, що досліджені, створюють міцніші плеяди (відносна міць складає 0,64 та 0,93 одиниці) для умов природного лісу (заплавні та байрачні діброви відповідно), а для умов штучного лісу – слабку кореляційну плеяду з відносною міццю 0,07 одиниці. Таким чином, величину відносної міці кореляційної плеяди можна використовувати для діагностики натуралізації штучних насаджень в умовах степового Придніпров'я.
3. Трофічна активність *R. kessleri* знижується на 8,5 % за наближення чисельності до максимальної, що може спостерігатися у природних умовах (400 екз./м²). Листяний опад клена гостролистого та в'яза гладкого з п'ятикомпонентної суміші листяного опаду з листя клену польового (*Acer campestre*), липи серцелистої (*Tilia cordata*), дуба звичайного (*Quercus robur*), в'яза гладкого (*Ulmus laevis*), ясена звичайного (*Fraxinus excelsior*),

споживається групою сапрофагів (*R. kessleri*, *P. scaber*) у більшій кількості, ніж листяні опади липи серцелистої, дуба звичайного та ясена звичайного.

4. За умов моделювання хімічного навантаження (на прикладі Zn) на *R. kessleri* встановлено, що в екскреціях ківсяка спостерігається в середньому в 1,5 разу менший уміст цинку, ніж у самому ківсяку. Видова належність запропонованого листяного опаду (*Acer campestre*, *Robinia pseudoacacia*) статистично не впливає на акумуляцію цинку. У разі посилення хімічного навантаження вміст цинку в тілі *R. kessleri* статистично достовірно збільшується (у 2,9 разу відносно контролю).

5. Установлено, що переважання *E. coli* (99,7 % від загальної чисельності колоній бактерій), мінімальна кількість грибів (0,14 % від загальної кількості клітин) та найвища чисельність найпростіших (0,6 % від загальної кількості клітин) у кишковій рідині *R. kessleri* спостерігається за умов живлення диплопод листям верби (*Salix alba*). Максимальна кількість колонієутворюючих одиниць Enterobacteriaceae sp. (37,0 % від загальної чисельності колоній бактерій) виявлено в кишковій рідині диплопод, які споживали кленову підстилку (*Acer platanoides*);

6. У кишківнику *R. kessleri* знайдено 7 видів (з 14 виявлених зі змивів опаду) ґрунтових водоростей (*Stichococcus bacillaris* Nägeli, *Mychonastes homosphaera* (Skuja) Kalina et Punčoch., *Chlorella vulgaris* Beij., *Desmococcus olivaceus* (Pers. ex Ach.) I. R. Laundon, *Bracteacoccus minor* (Chodat) Petrová, *Klebsormidium flaccidum* (Kutz) Silva et all, *Eustigmatos magnus* (J. B. Petersen) Hibberd), представлених здебільшого Ch життєвими формами. Три види водоростей (*Stichococcus bacillaris*, *Chlorella vulgaris*, *Mychonastes homosphaera*) зафіксовано на змивах із кишківника *R. kessleri*, але не виявлені в екскреціях цього виду. Таким чином форичний консортивний зв'язок *R. kessleri* сприяє перерозподілу представників ґрунтової альгофлори та їх подальшому розселенню.

Схема розташування лізіметрів на пробній ділянці



Пробні ділянки околиць м.Дніпро



ПД 19 – штучне насадження ясеня ланцетолістого з розхідником звичайним ($СГ_1$) поблизу коксохімічного заводу ПАТ «Євраз – Дніпровський металургійний завод»



ПД 20 – штучне насадження ясеня ланцетолістого ($СГ_1$) на відстані 50 м від ВАТ «Дніпрошина».



ПД 21 – штучне дубове насадження ($СГ_1$) в межах жилого масиву «Західний».



ПД 22 – арена р. Дніпра (ВС"5) поблизу Придніпровської теплоенергетичної станції, у межах жилого масиву «Придніпровськ».

Пробні ділянки рекреаційних зон м. Дніпро

ПД 24 – кленово-дубове насадження у парку «Дружби народів», поблизу смт Слобожанське.



ПД 25 – насадження ясеня ланцетолістого та робінії псевдоакації у Севастопольському парку.



ПД 26 – клено-ясеневі насадження у парку «Зелений гай».



ПД 27 – насадження клену гостролистого у парку імені Писаржевського.

Гнатохілярій, шийний сегмент та верхня губа диплоподи

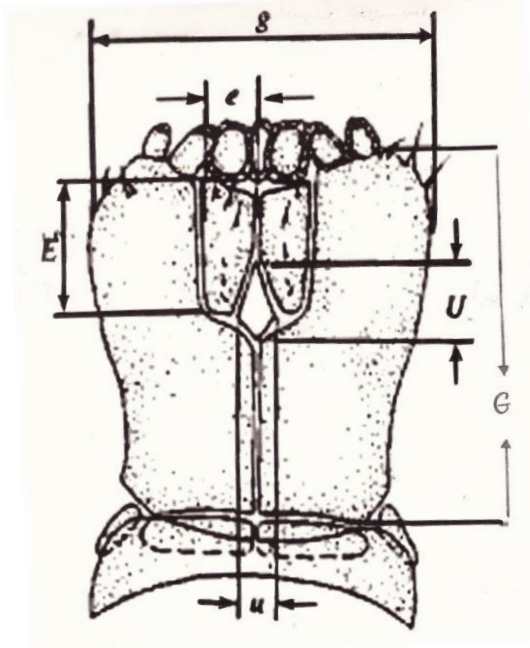
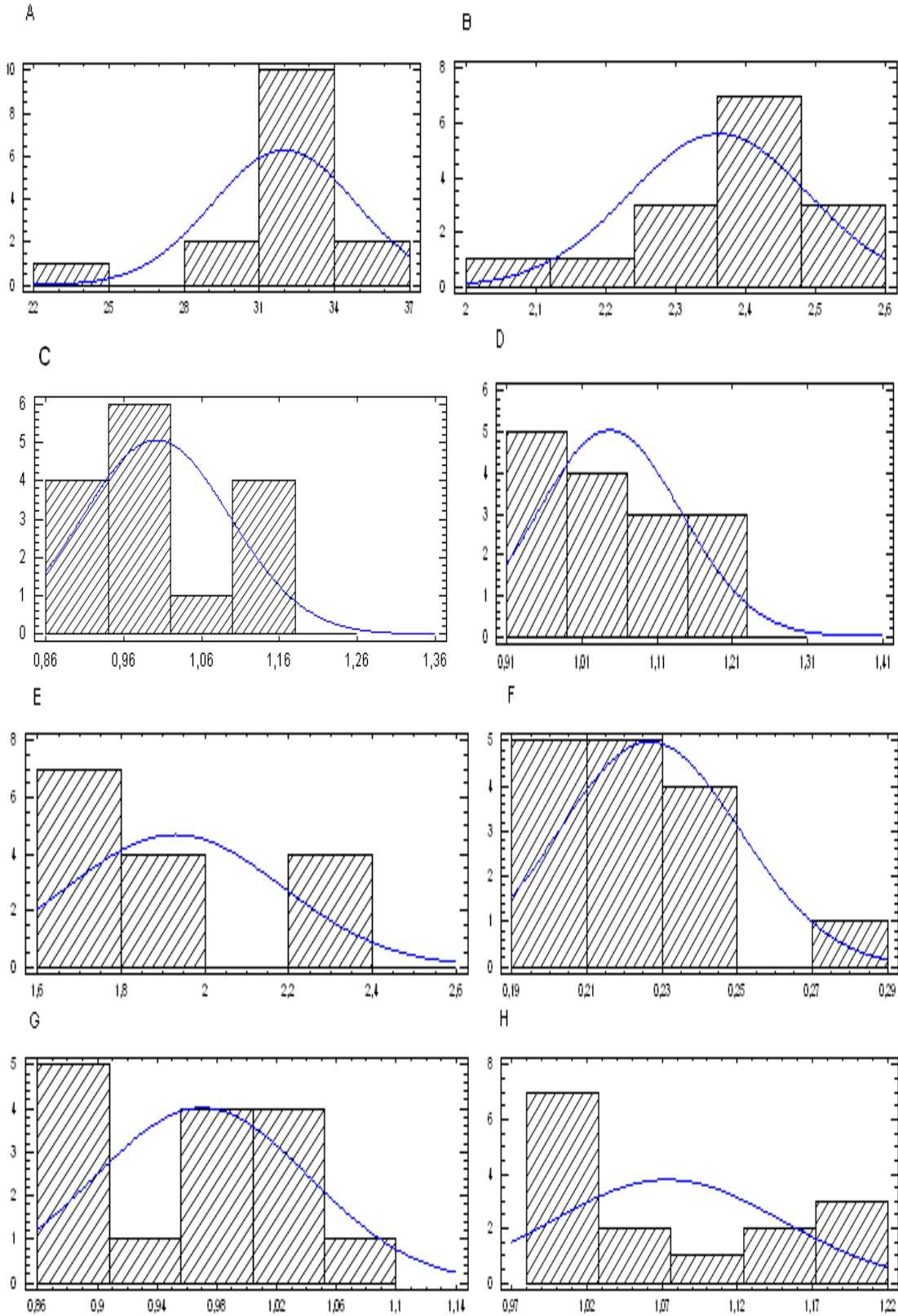


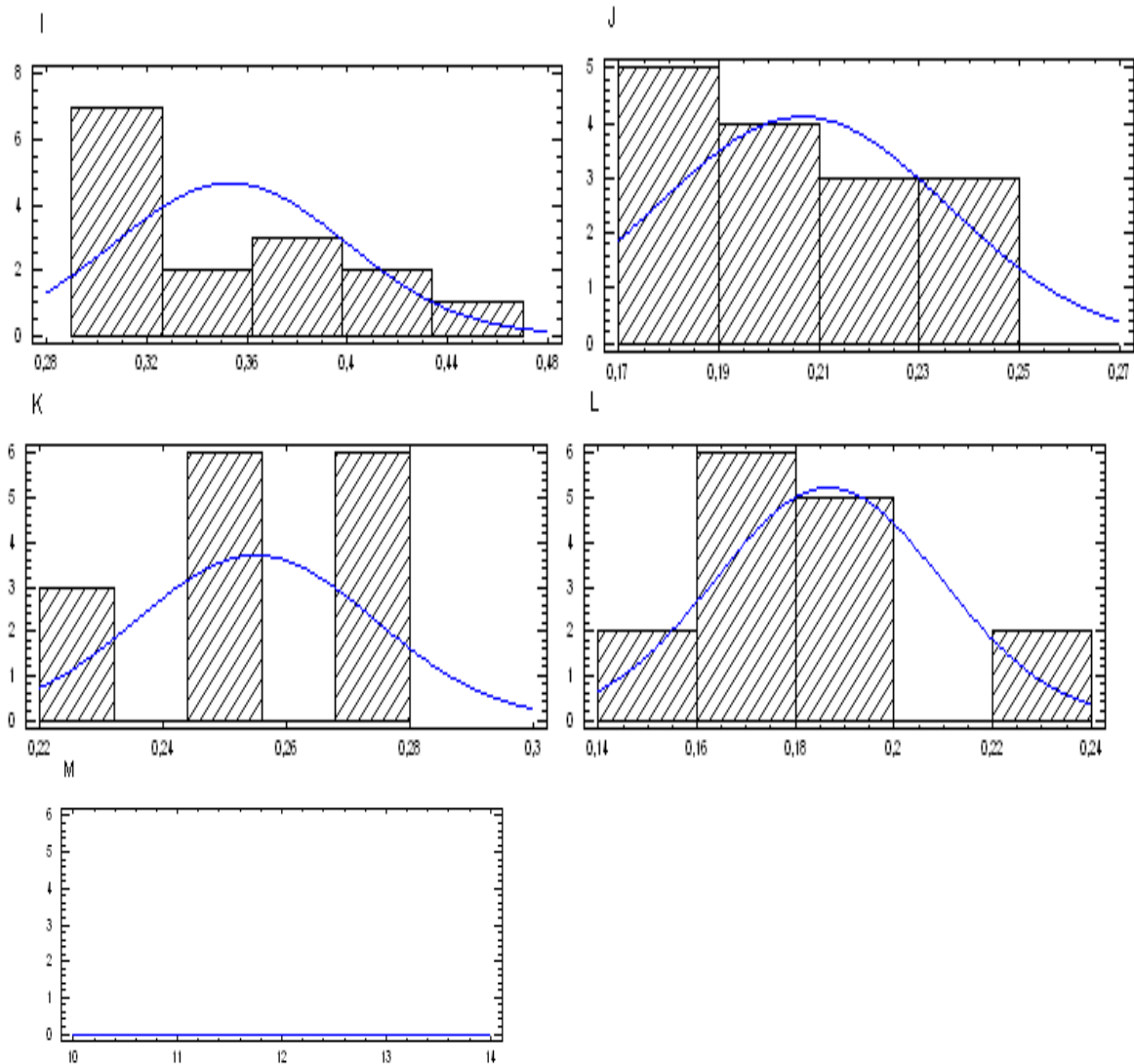
Рис. 1. Схематичне зображення гнатохілярію, шийного сегменту знизу (гіпостоми) та верхньої губи диплопод на прикладі *R. kessleri* (за Локшиною, 1969; Приштувою, 2001b): *E* – довжина язичкових пластин, *e* – ширина язичкових пластин, *G* – довжина гнатохілярію, *g* – ширина гнатохілярію, *U* – довжина проментума, *u* – ширина проментума.



Голова та шийний сегмент вид знизу (рис. 2) та вид зверху (рис. 3) особини *R. kessleri*.

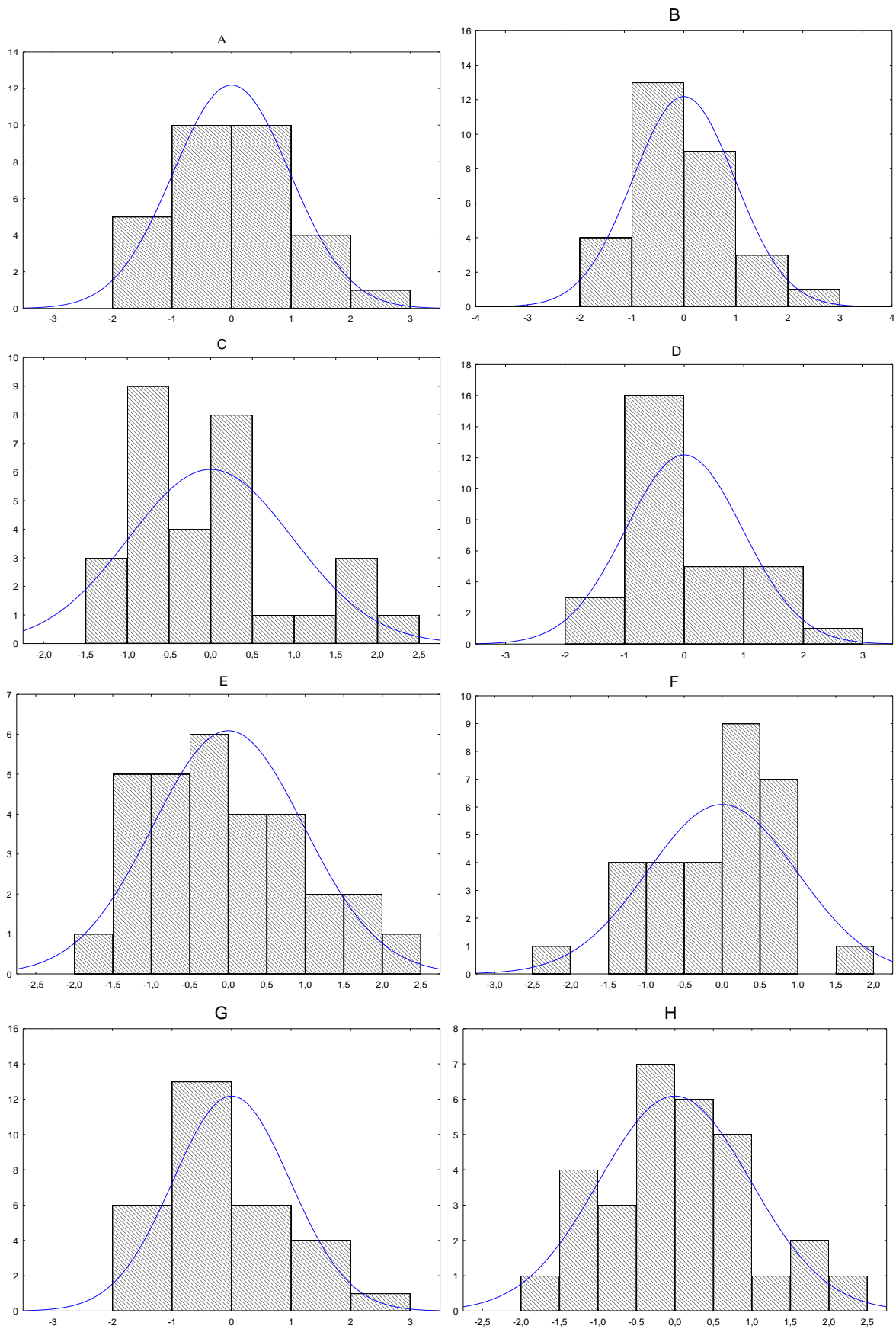
**Мінливість основних морфометричних характеристик ценопопуляції
M. sjaelandicum в умовах Самарського лісу**

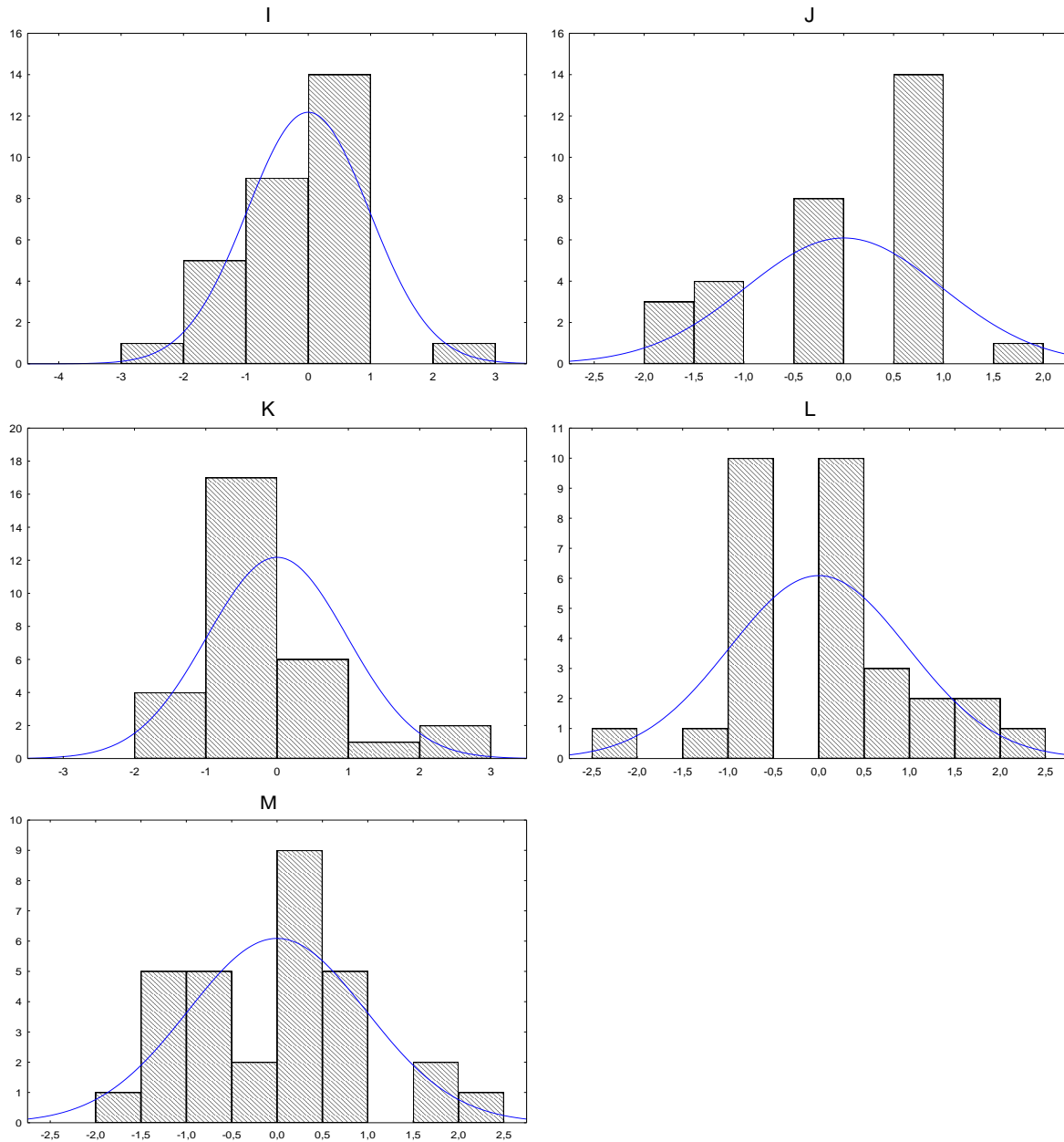




Мінливість основних морфометричних характеристик *M. sjelandicum*: довжина (*A*) та ширина (*B*) тіла, довжина (*C*) задньої кінцівки, довжина (*D*) тельсона, довжина (*E*) та ширина (*F*) вусика, довжина (*G*) та ширина (*H*) гнатохілярію, довжина (*I*) та ширина (*J*) язичкових пластин, довжина (*K*) та ширина (*L*) проментума, довжина (*M*) коллума; за віссю абсцис – розміри у мм, значення індексів; за віссю ординат – кількість спостережень.

**Мінливість основних морфометричних характеристик ценопопуляції
R. kessleri в умовах Самарського лісу**





Мінливість основних морфометричних характеристик *R. kessleri*: довжина (*A*) та ширина (*B*) тіла, довжина (*C*) задньої кінцівки, довжина (*D*) тельсона, довжина (*E*) та ширина (*F*) вусика, довжина (*G*) та ширина (*H*) гнатохілярію, довжина (*I*) та ширина (*J*) язичкових пластин, довжина (*K*) та ширина (*L*) проментума, довжина (*M*) коллума; за віссю абсцис – розміри у мм, значення індексів; за віссю ординат – кількість спостережень.



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДНІПРОПЕТРОВСЬКА ОБЛАСНА ДЕРЖАВНА АДМІНІСТРАЦІЯ
ДЕПАРТАМЕНТ ОСВІТИ І НАУКИ
**КОМУНАЛЬНИЙ ЗАКЛАД ОСВІТИ
“ОБЛАСНИЙ ЕКОЛОГО-НАТУРАЛІСТИЧНИЙ ЦЕНТР
ДІТЕЙ ТА УЧНІВСЬКОЇ МОЛОДІ”**

вул. Мандриківська, 80, м. Дніпро, 49094, тел/факс 8(056) 720-90-60
e-mail: dneprunat@ukr.net, <http://www.dneprunat.dp.ua>, код ЄДРПОУ 02139966

14.05.2021 № 01-15/120

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

Результати кандидатської дисертації “Консортивні зв’язки *R. kessleri* (Diplopoda, Julida) в лісових екосистемах степового Придніпров’я” А. П. Похиленко увійшли до навчальних програм гуртків зоологічного та ентомологічного профілю комунального закладу освіти “Обласний еколого-натуралістичний центр дітей та учнівської молоді” Дніпропетровської обласної ради, їх впроваджено під час проведення обласних семінарів для методистів та керівників гуртків позашкільних та загальноосвітніх закладів освіти області із планування науково-дослідних робіт зоо-екологічної тематики.


Директор



Юрій ПЕДАН

ПОГОДЖЕНО

Проректор з наукової роботи
роботи Дніпровського національного
університету імені Олеся Гончара,

 Сергій ОКОВИТИЙ

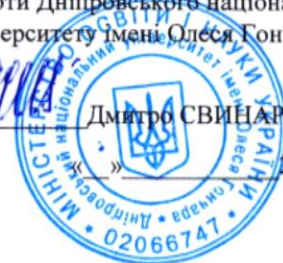
«__» _____ 2021р.

ЗАТВЕРДЖЕНО

Проректор з науково-педагогічної
роботи Дніпровського національного
університету імені Олеся Гончара,

 Дмитро СВИНАРЕНКО

«__» _____ 2021р.



АКТ

**впровадження результатів науково-дослідної роботи
в освітній процес Дніпровського національного університету
імені Олеся Гончара**

Результати дисертаційної роботи Похиленко Алевтини Павлівни на тему «Консортивні зв'язки *R. kessleri* (Diplopoda, Julida) в лісових екосистемах степового Придніпров'я», що представлена на здобуття наукового ступеню кандидата наук за спеціальністю 03.00.16. «Екологія».

У дисертаційній роботі охарактеризовані топічні особливості *R. kessleri*, визначена морфологічна мінливість із залученням системи ознак, форичні здатності *R. kessleri* щодо участі в розповсюдженні ґрунтових водоростей.

Результати дисертаційної роботи впроваджено в освітній процес на кафедрі зоології та екології Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара під час викладання дисциплін: «Екологічна токсикологія», «Техноекологія». Представлені автором дисертаційної роботи матеріали дозволили доповнити зміст дисциплін та підвищити рівень знань студентів, а також можуть бути використані студентами при написанні курсових та дипломних робіт.

Зав. кафедрою зоології та екології,
доктор біологічних наук, професор



Олександр ПАХОМОВ

Декан біолого-екологічного факультету,
доктор біологічних наук, професор



Олена СЕВЕРИНОВСЬКА