



УДК 234.34.44.55

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.11.2025.5>

КОМАХИ – БІОІНДИКАТОРИ ЗАБРУДНЕННЯ НАЗЕМНИХ ЕКОСИСТЕМ

О. В. Кратко¹, А. М. Головатюк², О. Б. Бондар³

У статті представлено результати дослідження комах як біоіндикаторів забруднення наземних екосистем. Серед великого розмаїття організмів-індикаторів одним із найбільш розповсюджених таксонів є комах (Insecta). У разі використання саме комах із метою оцінювання впливу антропогенних чи техногенних чинників, зміни клімату на природне навколишнє середовище, визначення екологічного стану екосистеми як критерії виокремлюють і спостерігають: морфометричні зміни, забарвлення покривів, популяційні характеристики, ентомологічні особливості тощо. Поширеним є використання як біоіндикаторів мурах, адже вони є важливою ланкою біогеоценозів, сприяють як природному відтворенню, так і збагаченню фітоценозу. Одним із найбільш цінних зооіндикаторів стану екосистеми серед комах є Лісова мураха *Iberoformica subrufa*, яка широко розповсюджена на досліджуваній території міста Кременця Тернопільської області. Лісові мурахи використовують складну систему хімічних сигналів для спілкування в колоніях, пошуку їжі, маркування та захисту. Така система зв'язку дозволяє їм ефективно працювати в колонії та швидко реагувати на зміни в навколишньому природному середовищі. Окремою перевагою досліджуваного виду є відносна стійкість колоній мурах до стресових чинників навколишнього природного середовища, що полягає в їхній здатності накопичувати забруднювальні речовини та стереотипно реагувати на них. Це дозволяє використовувати колонії мурах для своєчасного моніторингу нових загроз, зокрема і змін клімату.

Висвітлені основні результати спостережень, досліджень комах як біоіндикаторів забруднення наземних екосистем. Охарактеризовано сутність і актуальність зооіндикації, зокрема ентомобіоіндикації; особливості використання комах-індикаторів на прикладі *Iberoformica subrufa*; визначено напрями, переваги та перспективи використання біологічного індикатора. Оцінено значення і перспективи використання Лісової мурахи як біоіндикатора стану біогеоценозу у зв'язку із гло-

¹ кандидат історичних наук, доцент,
завідувачка кафедри біології, екології та методик їх навчання
(Кременецька обласна гуманітарно-педагогічна академія імені Тараса Шевченка, м. Кременець)
e-mail: kratkooolya@gmail.com
ORCID: 0000-0002-2708-4684

² кандидат біологічних наук, доцент,
доцент кафедри біології, екології та методик їх навчання
(Кременецька обласна гуманітарно-педагогічна академія імені Тараса Шевченка, м. Кременець)
e-mail: liudmylam¹@ukr.net
ORCID: 0000-0002-2099-145X

³ кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри екології та охорони здоров'я
(Західноукраїнський національний університет, м. Тернопіль)
e-mail: olexandr.bondar91@gmail.com
ORCID: 0000-0002-3448-8943

бальними кліматичними змінами й антропогенними забрудненнями на основі визначення кількості куполів гнізд, їхньої висоти та діаметра, морфометричних змін особин тощо.

Ключові слова: моніторинг стану екосистеми, організми-зооіндикатори, комахи, кліматичні зміни, лісова мураха.

INSECTS AS BIOINDICATORS OF TERRESTRIAL ECOSYSTEMS POLLUTION

O. V. Kratko, L. M. Holovatyuk, O. B. Bondar

The article presents the results of a study of insects as bioindicators of terrestrial ecosystem pollution. Among the great diversity of indicator organisms, insects (Insecta) are one of the most widespread taxa. When insects are used to assess the impact of anthropogenic or anthropogenic factors, climate change on the natural environment, and to determine the ecological state of an ecosystem, the following criteria are identified and observed: morphometric changes, color of covers, population characteristics, entomological features, etc. It is common to use ants as bioindicators, as they are an important link in biogeocenoses, contributing to both natural reproduction and enrichment of the phytocoenosis. One of the most valuable zoo-indicators of ecosystem health among insects is the forest ant *Iberoformica subrufa*, which is widespread in the study area of Kremenets, Ternopil Oblast. They use a complex system of chemical signals to communicate in colonies, search for food, mark and protect themselves. Such a communication system allows them to work effectively in the colony and respond quickly to changes in the environment.

A separate advantage of the species under study is the relative resistance of ant colonies to environmental stressors, which lies in their ability to accumulate pollutants and stereotypically respond to them. This makes it possible to use ant colonies for timely monitoring of new threats, including climate change.

The main results of observations and studies of insects as bioindicators of terrestrial ecosystems pollution are highlighted. The essence and relevance of zooindication, in particular entomobioindication, are characterized; the peculiarities of using insect indicators on the example of *Iberoformica subrufa* are described; the directions, advantages and prospects of using the biological indicator are determined. The importance and prospects of using the Forest ant as a bioindicator of the state of biogeocenosis in connection with global climate change and anthropogenic pollution are assessed on the basis of determining the number of nest domes, their height and diameter, morphometric changes of individuals, etc.

Key words: ecosystem monitoring, zoo-indicator organisms, insects, climate change, forest ant.

Вступ

Погіршення екологічного стану навколишнього природного середовища в багатьох містах, промислових країнах призвело до необхідності систематичного моніторингу геологічних сфер (Кратко і Вербицький, 2024). Забруднення атмосферного повітря є однією з найактуальніших екологічних проблем у всьому світі, особливо це стосується сільських і міських територій. Якість атмосферного повітря та ступінь забруднення можна визначати за допомогою лабораторних чи інструментальних методів дослідження. Проте названі методи потребують значних матеріальних, фінансових затрат. Поширення в моніторингових дослідженнях набули методи біоіндикації, які характеризуються інтегральним характером, не потребують значних фінансових витрат, матеріального чи лабораторного обладнання і є значно простішими в дослідженні. Найбільш поширеним методом моні-

торингу стану атмосферного повітря є аналіз за станом рослинних і тваринних організмів (Кратко та ін., 2023).

Метою роботи було здійснення аналізу й узагальнення відомостей як з наукових, так і з публіцистичних джерел, а також статистичних даних стосовно особливостей використання комах як біоіндикаторів різних біотопів; визначення впливу екологічно різних умов існування на морфологічні характеристики Лісової мурахи *Iberoformica subrufa*.

Завдання дослідження передбачали проведення аналізу наукових праць за такими напрямками: 1) сутність і актуальність зооіндикації, зокрема ентомобіоіндикації; особливості використання комах-індикаторів; визначення напрямів, переваг і перспектив використання біологічного індикатора; 2) оцінювання значення та перспективи використання Лісової мурахи *Iberoformica subrufa* як біоіндикатора стану біогеоце-

нозу у зв'язку із глобальними кліматичними змінами.

Зооіндикація – це метод біоіндикації, який використовує тваринні організми для оцінювання стану навколишнього природного середовища. Цей підхід обґрунтовується на аналізі чисельності, поведінки, фізіологічних і морфологічних змін окремих видів тварин у конкретній екосистемі.

Тваринні організми, завдяки своїй екологічній пластичності та чутливості до змін у середовищі, служать індикаторами екологічного стану. Зооіндикаторні види реагують на зміни у фізичних, хімічних чи біологічних параметрах середовища, що робить їх ефективними маркерами екологічних умов. У статті висвітлено та проаналізовано зміни параметрів популяцій комах Лісової мурахи *Iberoformica subrufa* в антропогенно трансформованих екосистемах.

Матеріал і методи

Вивчення особливостей стійкості Лісової мурахи *Iberoformica subrufa* до антропогенного навантаження здійснювали на території міста Кременця протягом 2023–2024 рр. Спостереження за комахами проводилося в районах із різним антропогенним навантаженням. Визначалися кількість куполів гнізд, їхня висота та діаметр; морфометричні зміни тощо.

Для визначення кількості куполів гнізд Лісової мурахи, їхньої висоти та діаметра, аналізу морфометричних змін дотримувалися такої методології: 1) визначення дослідних ділянок із різним антропогенним навантаженням; 2) виявлення куполів гнізд, їх кількості; 3) визначення висоти, діаметра куполів гнізд за допомогою вимірювальних приладів – лінійки та рулетки; 4) визначення морфометричних змін Лісової мурахи (довжини тіла) за допомогою вимірювального приладу – лінійки.

Стійкість видів груп комах до чинника антропогенного впливу визначалась на основі класифікації: антропофільні види (переважають в антропогенних ландшафтах); антропоіндиферентні види (трапляються як у природних, так і у слабкопорушених антропогенних ландшафтах); антропофобні види (трапляються лише у природних ландшафтах).

Результати

У науковому дослідженні нами проаналізовано використання типу членистоногих (*Arthropoda*) як об'єктів зооіндикації для оцінювання стану навколишнього середовища. Комахи (*Insecta*) є однією з найріз-

номанітніших і найбільш численних груп тварин типу членистоногих і водночас перспективною групою тварин для реалізації біоіндикаційних досліджень, адже вони вирізняються великою як видовою, так і екологічною різноманітністю, різною стійкістю до техногенних впливів і різними характерними реакціями на них. Їх застосування базується на чутливості до змін екологічних умов і здатності відображати екологічні характеристики середовища, у якому вони мешкають.

Лісова мураха *Iberoformica subrufa* добре адаптована і відома своєю агресивною природою. Харчуються переважно комахами, окрім них, шукають солодкі речовини, як-от нектар, медяна роса та виділення цукрових рослин. Що дозволяє їм добре адаптуватися та збільшувати чисельність, ареал поширення в різних середовищах проживання. Лісова мураха *Iberoformica subrufa* відіграє значну роль у своїй екосистемі. Ці мурахи вважаються біоіндикаторами, тобто зміни в їхніх популяціях вказують на зміни навколишнього природного середовища. Їх присутність може дати цінну інформацію про здоров'я екосистеми.

На основі спостережень нами виокремлені основні аспекти використання саме класу Комахи (*Insecta*):

- висока чутливість;
- різноманітність середовищ існування;
- легкість збору і вивчення;
- широкий спектр екологічних ніш.

Дослідження та спостереження підтвердили науковий факт, що вид Лісова мураха *Iberoformica subrufa* справді є біоіндикатором стану екосистеми. Стан популяції досліджуваного виду свідчить про рівень забруднення довкілля або інші екологічні проблеми екосистеми. У процесі спостережень підтвердили відомий факт, що Лісові мурахи виконують важливу роль у природі: 1) чутливо реагують на рівень забруднення повітря, ґрунту та води, а також на наявність пестицидів і важких металів; 2) поширеність. Лісові мурахи живуть у різних регіонах, що дозволяє порівнювати екосистеми; 3) довготривале існування колоній. Зміни у складі та чисельності колоній свідчать про довготривалі зміни в екосистемі.

У відборі комах для власного спостереження, як модельних об'єктів ентомобіоіндикації, дотримувалися загальноприйнятих вимог щодо організмів-зоомоніторів – це добра вивченість виду, ареал поширення,

міграційна активність, простота збирання та спостереження в біоценозі.

Ентомобіоіндикація забрудненості екосистеми включала три напрями досліджень:

Перший етап передбачав підбір видів-зоомоніторів. За біоіндикатор нами була вибрана Лісова мураха *Iberoformica subrufa*.

Другий етап – вибір досліджуваних ділянок із різним антропогенним навантаженням. Нами було вибрано чотири локації – НПП «Кременецькі гори», Ботанічний сад, вул. Шевченка та вул. Дубенська.

Третій етап – прогнозування раннього антропогенного впливу.

Четвертий етап – прогнозування стану окремих біотичних компонентів екосистеми та діагностика стану екосистеми загалом.

Перед проведенням ентомологічного моніторингу детально вивчили біологічні параметри досліджуваного виду-зооіндикатора.

Визначення окремих показників стану біоценозу не дає загального уявлення про його якість. Найкращим його підтвердженням можуть бути організми, які мешкають на досліджуваній території. Мурахи (*Formicidae*) є як первинними, так і вторинними консументами, отже, порівняно з іншими організмами, залежать від продуцентів і ареалу існування. У ланцюгах живлення й екологічних пірамідах саме первинним консументам зазвичай властиве центральне положення. Негативний вплив на комах призводить до переривання трофічних ланцюгів, отже, і до порушення кругообігу речовин і енергії.

У результаті використання Лісової мурахи *Iberoformica subrufa* за біоіндикатор установлено, що найбільша концентрація їх спостерігалася в лісовій зоні, а також у парко-

вій зоні та на вулицях із широкими смугами зелених насаджень із незначним техногенним і автомобільним навантаженням. Нами встановлено відмінності в морфометричних показниках Лісової мурахи в різних районах міста Кременця. На основі спостережень нами з'ясовано, що найбільша маса та довжина тіла Лісової мурахи спостерігалися в зонах антропогенного навантаження. Нами зафіксовані відмінності за довжиною тіла, збільшенням розмірів Лісової мурахи в результаті техногенного навантаження, результати представлені в таблиці (табл. 1).

Із поданої таблиці бачимо, що в популяціях різних досліджуваних зон спостерігалися зміни внутрішньовидових розмірів тіла Лісової мурахи. Існує доведена тенденція збільшення розмірів тіла комах у популяціях у біотопах з антропогенним навантаженням. За нашим спостереженням, морфологічні зміни спостерігаються внаслідок забруднення атмосферного повітря та ґрунтового покриву автомобільним транспортом. Отже, з вибраних для дослідження локацій забрудненими виявилися вулиці біля автотраси – вул. Шевченка та вул. Дубенська, про що свідчили збільшені розміри тіла Лісової мурахи.

Досліджувалися нами також у відповідних зонах кількість куполів гнізд, їхня висота та діаметр (табл. 2).

Відповідно до таблиці бачимо, що в популяціях різних досліджуваних зон спостерігалися зміни висоти та діаметра досліджуваних гнізд колоній Лісової мурахи. Існує доведена тенденція збільшення висоти та діаметра гнізда колонії в біотопах без значного антропогенного навантаження і зменшення у зв'язку з антропогенним наван-

Таблиця 1

Морфометричні особливості Лісової мурахи *Iberoformica subrufa*

Місце збору	Кількість, гол.	Довжина, мм
НПП «Кременецькі гори»	30	15 ± 0,08
Ботанічний сад	30	15 ± 0,08
вул. Шевченка	30	20 ± 0,08
вул. Дубенська	30	18 ± 0,08

Таблиця 2

Морфометричні особливості колонії Лісової мурахи *Iberoformica subrufa*

Місце збору	кількість виявлених куполів гнізд	висота купола гнізда в сантиметрах	діаметр купола гнізда в сантиметрах
НПП «Кременецькі гори»	15	80	50
Ботанічний сад	10	75	45
вул. Шевченка	5	60	40
вул. Дубенська	5	50	40

таженням. Нами помічені зміни (висота та діаметр купола колонії) унаслідок забруднення атмосферного повітря та ґрунтового покриву автомобільним транспортом. Отже, проведене спостереження підтверджує факт, що з вибраних для дослідження локацій забрудненими виявилися вулиці біля автотраси – вул. Шевченка та вул. Дубенська, про що свідчили зменшені розміри куполів колонії Лісової мурахи порівняно з куполами колоній в інших досліджуваних біотопах.

Відомо, що різке збільшення рівня асиметрії в популяціях Лісової мурахи спостерігається у двох випадках: у першому – у разі порушення генного балансу популяції внаслідок міграції особин із різних популяцій; у другому – унаслідок адаптованих змін до умов існування. Наприклад, унаслідок антропогенного забруднення, різкої зміни температури, радіаційного іонізуючого випромінювання тощо (Лавренко та ін., 2022).

Варто зазначити, що зміни у складі повітря чи ґрунту можуть призвести до зміни фенотипової структури Лісової мурахи. Мінливість фенотипової структури мурах може корелювати з рівнем забруднення атмосферного повітря, наприклад, підвищення частки чорних (меланістичних) особин у популяціях. Така зміна, мінливість, може бути пов'язана не лише із забрудненням, але й із сезонними коливаннями температури середовища. У популяціях, за якими ми вели спостереження, зміни фенотипової структури мурах не спостерігалося, що свідчить про те, що забруднення атмосферного повітря є незначним, тому і не виникає суттєвих змін у популяції. Також відсутність фенотипових змін є свідченням стабільних температурних показників.

Під час наших спостережень зазначався просторовий розподіл комах у біоценозах у результаті антропогенного забруднення, зокрема вплив пестицидів, солей важких металів (у результаті ведення сільського господарства), а також унаслідок лісотехнічних заходів, які активно проводяться в НПП «Кременецькі гори». Названі впливи спричиняли підвищення активності мурах та їх міграцію в інші біотопи.

Обговорення

З метою визначення якості досліджуваного середовища, біоценозу за допомогою популяції комах як зооіндикаторів ураховуються такі характеристики комах: відносна чисельність, фенотипова структура комах,

рівень асиметрії білатеральних морфологічних ознак, статева структура популяцій, просторовий розподіл комах у біоценозах, сезонна динаміка імаго, внутрішньовидові розміри тіла комах, чисельність екологічних груп в угрупованні тощо (Фасулаті і Кижаєва, 2020).

Важливим аспектом під час дослідження є виявлення основних груп комах щодо чинника антропогенного впливу. Варто визначити стійкі антропофільні види, які переважають в антропогенних ландшафтах; антропоіндиферентні види, які трапляються як у природних, так і у слабкопорушених антропогенних ландшафтах; антропофобні види, які трапляються лише у природних ландшафтах (Лавренко та ін., 2022; Melnyk et al., 2023).

За даними вчених-природодослідників і наукових установ світу відомо, що щорічно кількість і біорозмаїття комах значно знижуються, що пов'язано з антропогенним впливом людини. Асиміляційний апарат членистоногих тварин є надійним інструментом оцінювання геологічних сфер щодо забруднюючих агентів і можливості проведення систематичних спостережень. Методи зооіндикації є надійним інструментом для визначення інтегрального показника екосистеми. Перспективним напрямом використання саме біоіндикації є вивчення тих речовин, які переважають у результаті антропогенного забруднення. Доведено, що методи зооіндикації можуть застосовуватися в Україні для моніторингу стану атмосферного повітря, ґрунтового середовища, особливо в зоні впливу сміттєзвалищ, що дасть можливість розробити стратегію поводження з відходами як об'єктом підвищеної екологічної небезпеки (Malovanyu et al., 2021). Оскільки комахи є дуже чутливими до змін навколишнього природного середовища, вони можуть бути використані як безцінні індикатори з метою оцінювання якості сільськогосподарських полів. Результати моніторингу показали, що кількість видів, зібраних у місцях, де ведеться органічне землеробство, значно більша, ніж на тих сільськогосподарських ділянках, де спостерігається нераціональне використання хімічного удобрення (Ghazoul, 2006). Аналіз досліджень показав, що не менш ефективним було використання членистоногих для оцінювання успішності рекультивативації – тобто повернення екосистеми до її початкового стану, до порушення її людиною, шляхом відтворення природного ландшафту. Зокрема, дослідження на

постгірничих меліоративних територіях у Бінунгані показали, що мурахи є найбільш корисним потенційним біоіндикатором для оцінювання успішної рекультиваци в районах після антропогенного впливу (видобутку корисних копалин) (Buchori et al., 2018). Проводилися наукові дослідження мурах як біоіндикаторів у бразильській саванні, дослідження показали, що зміни у видовому багатстві та складі щодо потенційної біоіндикації, визначені як біоіндикатори 167 видів бразильської савани, пов'язані з конкретними місцями існування. Це дозволило скорегувати визначення індикаційних характеристик збережених або деградованих територій (Tibcherani et al., 2018).

Лісова мураха *Iberoformica subrufa* відповідає вищевказаним критеріям (адже є типовою для різних умов спостереження; має високу чисельність у більшості досліджуваних біотопах; мешкає в ареалі спостереження протягом визначеного періоду, що забезпечує можливість простежувати динаміку популяцій і дії різних екологічних чинників; надає можливість зручного відбору проб для визначення зміни покриттів, розмірів, забарвлення, пропорцій, популяційних характеристик тощо). Лісова мураха *Iberoformica subrufa* все частіше використовується для здійснення моніторингу забруднення навколишнього природного середовища різними токсичними речовинами. Адже в разі наявності в біотопі невластивих агентів, токсичних речовин мурахи відразу змінюють свою звичну поведінку, напрямок руху, інтенсивність тощо. Сезонне застосування інсектицидів у сільському господарстві також впли-

ває на зміну поведінки в популяції Лісової мурахи *Iberoformica subrufa* (Решновецький і Терепищій, 2023).

Спостереженням за мурахами екологи можуть отримувати важливу інформацію про стан довкілля та вчасно виявляти проблеми, пов'язані із забрудненням.

Висновки

У статті нами висвітлені основні результати спостережень, досліджень Лісової мурахи *Iberoformica subrufa* як біоіндикатора забруднення наземних екосистем у місті Кременці на чотирьох локаціях – НПП «Кременецькі гори», Ботанічний сад, вул. Шевченка та вул. Дубенська. У результаті спостереження та дослідження було з'ясовано, що з вибраних локацій забрудненими виявилися вулиці біля автотраси (вул. Шевченка та вул. Дубенська), про що свідчили збільшені розміри тіла Лісової мурахи та зменшення висоти, кількості та діаметра куполів її колоній. Досліджувані території НПП «Кременецькі гори» та Ботанічного саду виявилися менш забрудненими, про що свідчили зменшені розміри тіла Лісової мурахи та збільшення висоти, кількості та діаметра куполів її колоній.

Охарактеризовано сутність і актуальність зооіндикації, зокрема ентомобіоіндикації; особливості використання комах-індикаторів на прикладі Лісової мурахи *Iberoformica subrufa*; визначено напрями, переваги та перспективи використання біологічного індикатора. Оцінено значення та перспективи використання Лісової мурахи як біоіндикатора стану біогеоценозу у зв'язку із глобальними кліматичними змінами й антропогенними забрудненнями.

Список використаної літератури

- Кратко О.В., Вербицький О.Г. Біомоніторинг стану довкілля з використанням рослинних індикаторів. *Механізм старіння в біології (Mechanism of aging in biology)* – 2024 : збірник наукових праць. Київ, 2024. С. 174–178.
- Кратко О.В., Головатюк Л.М., Середюк А.О., Кратко С.В. Біоіндикація стану атмосферного повітря міста Кременця Тернопільської області. *Technologies, innovative and modern theories of scientists : International scientific and practical conference* – 2023 : збірник наукових праць. Graz, Austria, 2023. С. 41–45.
- Лавренко С.О., Соболев О.М., Корбич Н.М. Напрями та перспективи використання комах-запилювачів для біоіндикації стану екосистеми та змін клімату в умовах півдня України. *Вісник Сумського національного аграрного університету*. 2022. Вип. 1 (47). С. 80–90.
- Решновецький С.Л., Терепищій С.О. Чорні садові мурахи в соснових лісах Боярського лісництва. *Вісник Харківського інституту соціального прогресу*. 2003. Вип. 1 (34). С. 23–26.
- Фасулаті К.К., Кижаяєва К.Я. До вивчення фауни і екології мурашок (*Hymenoptera, Formicidae*) Українських Карпат. *Комахи Українських Карпат і Закарпаття*. Київ, 2020. С. 92–99.
- Buchori D., Rizali A., Rahayu G., Mansur I. Insect diversity in post-mining areas: Investigating their potential role as bioindicator of reclamation success. *Biodiversitas*. 2018. Vol. 19. P. 1696–1702. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d190515>.

Ghazoul J. Floral diversity and the facilitation of pollination. *Journal of Ecology*. 2006. Vol. 94. P. 295–304.

Melnyk Y., Bondar O., Sydorenko S., Tsytsiura N., Tryhuba O., Dukh O., Halahan O., Kratko O. Peculiarities of middle-aged scots pine forests development after surface fires in Kremenchuk green area, Ukraine. *Forestry Ideas*. 2023. Vol. 29. № 2. P. 272–286. <https://orcid.org/0000-0002-3448-8943>.

Malovanyy M., Korbut M., Davydova I., Tymchuk I. Monitoring of the Influence of Landfills on the Atmospheric Air Using Bioindication Methods on the Example of the Zhytomyr Landfill, Ukraine. *Journal of Ecological Engineering*. 2021. Vol. 22. № 6. P. 36–49. <https://doi.org/10.12911/22998993/137446>.

Tibcherani M.F., Nacagava V.A., Aranda R.A., Mello R.L. Review of Ants (Hymenoptera: Formicidae) as bioindicators in the Brazilian Savanna. *Sociobiology*. 2021. Vol. 65. № 2. P. 112–129. <https://doi.org/10.13102/sociobiology.v65i2.2048>.

References

Kratko, O.V., & Verbytskyi, O.G. (2024). Biomonitoring stanu dovkillja z vykorystannjam roslynnykh indykatoriv [Biomonitoring of the environment using plant indicators]. *Mekhanizm starinnja v biologiji – 2024 [Mechanism of aging in biology – 2024]*. Kyiv, pp. 174–178 [in Ukrainian].

Kratko, O.V., Holovatyuk, L.M., Seredyuk, A.O., Kratko, S.V. (2023). Bioindykacija stanu atmosfernogho povitlja mista Kremenja Ternopiljskoho oblasti [Bioindication of the state of atmospheric surface of the town of Kremenja, Ternopil region]. *International scientific and practical conference “Technologies, innovative and modern theories of scientists – 2023” [International scientific and practical conference “Technologies, innovative and modern theories of scientists – 2023”]*. Graz, pp. 41–45 [in Ukrainian].

Lavrenko, S.O., Sobol, O.M., Korbych, N.M. (2022). Naprjamky ta perspektyvy vykorystannja komakh-zapyljuvachiv dlja bioindykaciji stanu ekosystemy ta zmin klimatu v umovakh pivdnja Ukrainy [Directions and prospects of using pollinating insects for bioindication of ecosystem status and climate change in the south of Ukraine]. *Visnyk Sumsjkogho nacionalnogho aghrarnogho universytetu [Bulletin of Sumy National Agrarian University]*, 1 (47), 80–90 [in Ukrainian].

Reshnovetskyi, S.L., & Terepyschyi, S.O. (2023). Chorni sadovi murakhy v sosnovykh lisakh Bojarsjkogho lisnytva [Black garden ants in the pine forests of the Boyarsky forestry]. *Visnyk Kharkivskogho instytutu socialnogho prohresu [Bulletin of the Kharkiv Institute for Social Progress]*, 1 (34), 23–26 [in Ukrainian].

Fasulati, K.K., & Kizhaeva, K.Y. (2020). Do vyvchennja fauny i ekologiji murashok (Hymenoptera, Formicidae) Ukrainjskykh Karpat [On the study of the fauna and ecology of ants (Hymenoptera, Formicidae) of the Ukrainian Carpathians]. *Komakhy Ukrainjskykh Karpat i Zakarpattja [Insects of the Ukrainian Carpathians and Transcarpathia]*. Kyiv, 382–383 [in Ukrainian].

Buchori, D., Rizali, A., Rahayu, G., Mansur, I. (2018). Insect diversity in post-mining areas: Investigating their potential role as bioindicator of reclamation success. *Biodiversitas*, 19, 1696–1702. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d190515> [in English].

Ghazoul, J. (2026). Floral diversity and the facilitation of pollination. *Journal of Ecology*, 94, 295–304 [in English].

Melnyk, Y., Bondar, O., Sydorenko, S., Tsytsiura, N., Tryhuba, O., Dukh, O., Halahan, O., Kratko, O. (2023). Peculiarities of middle-aged scots pine forests development after surface fires in Kremenchuk green area, Ukraine. *Forestry Ideas*, 29 (2), 272–286. <https://orcid.org/0000-0002-3448-8943> [in English].

Malovanyy, M., Korbut, M., Davydova, I., Tymchuk, I. (2021). Monitoring of the Influence of Landfills on the Atmospheric Air Using Bioindication Methods on the Example of the Zhytomyr Landfill, Ukraine. *Journal of Ecological Engineering*, 22 (6), 36–49. <https://doi.org/10.12911/22998993/137446> [in English].

Tibcherani, M.F., Nacagava, V.A., Aranda, R.A., Mello, R.L. (2021). Review of Ants (Hymenoptera: Formicidae) as bioindicators in the Brazilian Savanna. *Sociobiology*, 65 (2), 112–129. <https://doi.org/10.13102/sociobiology.v65i2.2048> [in English].

Отримано: 31.01.2025

Прийнято: 14.02.2025