

УДК: 591.5: 595.7: 537.871.3

## РЕАКЦІЇ ОКРЕМИХ ГРУП ПЕДОБІОНТІВ НА ХРОНІЧНИЙ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИЙ СТРЕС

Рошко В.Г., Крон А.А.

*Реакції окремих груп педобіонтів на хронічний електромагнітний стрес – Рошко В.Г., Крон А.А. – В статті аналізуються реакції угруповань дощових черв'яків (Lumbricidae), орібатидних кліщів (Oribatida) та колембол (Collembola) на хронічний вплив електромагнітного поля ліній електропередач високої напруги. Виявлено закономірності формування педофауністичних угруповань вздовж градієнту напруженості електромагнітного поля. Склад угруповань на різних відстанях від ліній електропередач визначається толерантністю ґрунтових безхребетних і характеризується зменшенням головних параметрів різноманіття із зростанням напруженості електромагнітного поля.*

**Ключові слова:** Lumbricidae, Oribatida, Collembola, толерантність, видове різноманіття, індекси різноманіття, вирівняність.

**Адреса:** Ужгородський національний університет, кафедра ентомології та збереження біорізноманіття, вул. А.Волошина 32, м. Ужгород, 88000, Україна; e-mail: [roshko57@mail.ru](mailto:roshko57@mail.ru), [akron@bigmir.net](mailto:akron@bigmir.net)

*Response of separate groups of pedobionts on the chronic electromagnetic stress – Roshko V.H., Kron A.A. – Response of groups of earthworms (Lumbricidae), oribatid mites (Oribatida) and springtails (Collembola) on the chronic electromagnetic fields influence of high voltage power lines is analyzed in the paper. The regularities (mechanism-як правило) of pedofauna groups' formation along the gradient of the electromagnetic field intensity were found. The composition of groups at different distances from the power lines is determined by the tolerance of soil invertebrates and characterized by the decreasing of diversity main parameters with increasing of electromagnetic field.*

**Key words:** Lumbricidae, Oribatida, Collembola, tolerance, species diversity, diversity indices, Pielou index.

**Address:** Uzhgorod National University, Entomology and Biodiversity Conservation Department, Voloshyn str.32, Uzhgorod, 88000, Ukraine; e-mail: [roshko57@mail.ru](mailto:roshko57@mail.ru), [akron@bigmir.net](mailto:akron@bigmir.net).

### Вступ

Ступінь екологічного ризику для біорізноманіття, викликаного антропогенним впливом будь-якої природи, визначається двома головними показниками. По-перше, інтенсивністю фактору впливу і по-друге, толерантністю кожної конкретної популяції у складі біологічного угруповання по відношенню до цього фактора. Аналізуючи реакції угруповань безхребетних тварин на дію електромагнітного поля (ЕМП) ліній електропередач (ЛЕП) високої напруги, можна оцінити не тільки загальний характер, але й рівень впливу зазначеного фактору на живі компоненти екосистем. Загалом, зазначена проблема ще не привернула в належній мірі уваги дослідників-екологів і продовжує залишатися осторонь як класичних, так і сучасних напрямків вивчення антропогенних впливів на біоту. Доволі обмежене коло наукових публікацій, присвячених дії ЕМП промислової частоти на живі організми, стосуються переважно хребетних тварин та

людини. Педофауна в умовах хронічного електромагнітного стресу донині реально не вивчалася, не зважаючи на планетарну масштабність площ, що підлягають впливу електромагнітного смогу. Виходячи з цієї позиції, ми здійснили серію досліджень по виявленню загальних реакцій угруповань окремих таксонів ґрунтових безхребетних на хронічний електромагнітний стрес. Успіх поставленого експерименту визначається генеральним підходом до вибору об'єкту вивчення. В цій площині найбільш підходящими об'єктами можуть виступати тварини, що відзначаються високою чисельністю в різноманітних природних та порушених екосистемах і характеризуються низькою руховою активністю. Обрані нами таксони ґрунтових безхребетних – дощові черви (Oligochaeta: Lumbricidae), панцирні кліщі (Acari: Oribatida) та ногохвістки (Hexapoda: Collembola), в повній мірі задовольняють ключові вимоги польового експерименту, як з позиції репрезентативності, так із позиції

об'єктивності. Виходячи з нашого попереднього наукового доробку в розрізі розглядуваної проблеми [8, 9, 10, 15], ми вирішували задачу оцінки диференційованих реакцій окремих фауністичних таксонів на хронічний електромагнітний стрес. В завдання роботи входило виявлення ступеню толерантності та динаміки важливіших параметрів різноманіття угруповань лумбріцид, орібатид і колембол в зонах різної напруженості ЕМП ЛЕП високої напруги.

### Матеріали і методи дослідження

Вплив електромагнітного поля на угруповання Lumbricidae, Oribatida та Collembola ми вивчали в умовах польового експерименту в зоні дії ліній електропередач промислової частоти (50 Гц) з напругою 400 кВ в околицях с. Кінчеш Ужгородського району і 750 кВ – с. Ірлява Ужгородського району Закарпатської області. Збір матеріалу здійснювався у весняно-осінній період 2006-2010 років за стандартною просторово-ділянковою схемою. Остання передбачала відбір серії ґрунтових проб на віддаль 0 м (безпосередньо під дротами), 50 м, 100 м, 150 м, 200 м від ЛЕП. Вказані віддалі підібрані нами довільно, але з урахуванням можливості коректно диференціювати зони із різною напруженістю електромагнітного поля, оскільки в міру віддалення від ЛЕП, напруженість ЕМП зменшується. Віддаль 200 м від ЛЕП слугувала контролем, бо тут відмічаються лише фонові значення ЕМП. Зазначені напруженості поля суттєво не змінюються ні протягом доби, ні протягом року. В якості стаціонарних дослідних ділянок виступали мезофільні рівнинні сінокісні луки Закарпатської низовини. Ці вторинні рослинні угруповання сформовані на порушених екоотопах зі змінним гідрорежимом і відзначаються доволі високим ступенем синантропізації. В якості пробних ділянок, обрані нами лучні екосистеми в повній мірі задовольняють вимоги типовості та репрезентативності щодо природних і слабо порушених низинних лук Закарпаття. Літній флористичний аспект угруповань покритонасінних рослин складає від 46 до 74 видів. Діапазон флористичного видового багатства тут визначається ступенем антропоїзації та інтенсивністю періодичного випасу великої рогатої худоби на контрольних ділянках. Загалом, дослідні ділянки в достатній мірі задовольняють репрезентативність головних параметрів мало- і середньо порушених низинних лук Закарпатської низовини. Вони відзначаються однорідним мікрорельєфом і однорідною рослинністю, що дозволяє виділити електромагнітне поле як

чітко виражений екологічний фактор, який постійно діє на досліджувані організми.

Для аналізу видового складу і чисельності орібатидних кліщів (Oribatida) та ногохвісток (Collembola), ми користувалися методом відбору стандартних ґрунтових проб, об'ємом 125 см<sup>3</sup> (5Ч5Ч5 см) [4]. Вилучення об'єктів із ґрунтових проб здійснювали у відповідності із загальноприйнятими методиками з допомогою модифікованого електора Тулгрена [4, 18]. Обліки проводили еврисезонно. Загалом було відібрано та проаналізовано 250 ґрунтових проб на ділянці в околицях с.Кінчеш та 305 проб на ділянці в околицях с. Ірлява, з яких вилучено 2004 особин орібатид і 5003 колембол. Систематично вони представляли 54 види підряду Oribatida і 90 видів класу Collembola.

Для обліку дощових черв'яків (Lumbricidae) застосовувався метод ґрунтових розкопок пробних ям об'ємом 0,125 м<sup>2</sup> (0,5х0,5х0,5 м) і ручного розбирання проб ґрунту [2]. Загалом було відібрано 80 проб, з них 50 в зоні дії ЛЕП-750 кВ і 30 – в зоні дії ЛЕП-400 кВ. Було виявлено та проаналізовано 2361 екземпляр лумбріцид, що систематично відносяться до 8 видів з чотирьох родів: Aporrectodea, Lumbricus, Octodrilus та Dendrobaena.

Для аналізу якісних та кількісних показників угруповань дощових черв'яків, орібатидних кліщів і колембол розраховували індекси різноманіття (індекси Шеннона (H), Сімпсона (D), вирівняності Піелу (E)). Статистичну обробку результатів здійснювали за допомогою пакета статистичних програм STATISTICA 6.0., Microsoft Excel v. 9.0 у відповідності із загальноприйнятими підходами [5, 12, 14].

### Результати та їх обговорення

Біологічні угруповання у складі екосистем, які потрапили в зону активної дії ЕМП ЛЕП високої напруги починають зазнавати нетипового впливу екологічного фактору антропоїчної природи. Оскільки частота та напруженість ЕМП повітряних ЛЕП значно відрізняються від усталених в еволюційному часі параметрів електромагнітного поля Землі, біологічні системи різних рангів змушені реагувати на такі зміни умов середовища. В такому випадку, цілком закономірним є, що стійкість та збалансованість еволюційно сформованих зв'язків між членами угруповання підлягають ризику деструктивного порушення. Адже поле, що генерується ЛЕП високої напруги в тисячі разів перевищує природний електромагнітний фон Землі. Тому реакції біологічних угруповань та їх компонентів на зазначений антропоїчний фактор очікувані і загалом передбачувані. Теоретично вони можуть реалізовуватись у вигляді різноманітних змін морфологічного рівня, або ж

реагувати на рівні групи. Спектр реакцій останніх може охоплювати навіть нелогічні та далеко не однозначні, на перший погляд, варіативні можливості адекватних адаптацій біологічного угруповання.

Наші попередні дослідження ґрунтових мікроорганізмів, покритонасінних рослин, епігеобіонтних і хортобіонтних членистоногих, геобіонтних мікроартропод та дрібних ссавців [6, 7, 9, 16, 17, 20], дозволили виявити головні вектори цих реакцій на хронічний електромагнітний стрес:

- елімінація окремих особин популяції у складі біологічного угруповання;
- елімінація окремих популяцій у складі біологічного угруповання;
- зменшення чисельності (щільності) популяції у складі біологічного угруповання;
- відсутність суттєвих змін чисельності популяції у складі біологічного угруповання;
- зростання чисельності (щільності) популяції у складі біологічного угруповання;
- тимчасове перебування членів популяції в зоні підвищеної напруженості ЕМП.

В основі відмічених нами загальних реакцій живих організмів на хронічний електромагнітний стрес лежить явище екологічної толерантності, що базується на еволюційно-екологічних особливостях кожного окремого виду. Тобто, вид може існувати лише в тих умовах середовища, які відповідають генетичним можливостям пристосування цього виду до їх коливань та змін. Зрозуміло, що нетолерантні до високих значень напруженості ЕМП види, безпосередньо під лініями і близько біля них відсутні. Але враховуючи екологічну індивідуальність, ступінь толерантності або екологічна валентність окремих особин в межах виду не співпадають. Ця мінливість визначається як генетичними, так віковими і статевими відмінностями. За рахунок внутрішньовидової варіабельності екопреферендуму до ЕМП, популяційна чисельність окремих видів в зоні дії ЛЕП високої напруги виявляється нижчою ніж поза зоною активного впливу. Різна ступінь толерантності у різних видів дозволяє їм сприймати підвищені показники напруженості поля або як песимум, або як оптимум. Звідси і впливає висока або низька чисельність (щільність) того чи іншого виду в умовах хронічного електромагнітного стресу. І, нарешті, зростання чисельності окремих видів із підвищенням напруженості ЕМП ЛЕП високої напруги визначається конкурентними взаємодіями. Ослаблення конкурентного тиску за рахунок елімінації нетолерантних до ЕМП видів чи особин низькотолерантних видів, дозволяє їм тут навіть домінувати. До зазначених варіативних реакцій угруповань на

хронічний електромагнітний стрес слід додати і тимчасове перебування нетолерантних видів в зоні високої напруженості ЕМП – просторову пульсацію популяції. Таке явище спостерігається за умови періодичних спалахів розмноження окремих видів, що викликає тимчасове розселення останніх в невідповідні для себе умови (пульсаційне розселення в зону песимуму при періодичному зростанні чисельності як рухливих, так і малорухливих видів). Сюди можна віднести і трофічні міграції для видів з високою руховою активністю.

У вищесказаному мова йшла про екологічну толерантність організмів до електромагнітного поля промислової частоти, що характеризується неприродно високими показниками напруженості (від 0,5 кВ/м до 20 кВ/м). Але толерантність до досліджуваного антропогенного фактора розглядалась на рівні особин та популяцій. З позиції оцінки впливу хронічного електромагнітного стресу на біорізноманіття в природних умовах, важливим є виявлення реакцій груп надвидових рангів – угруповань таксономічних, просторово-екологічних і навіть екосистемних, тобто цілісних біологічних угруповань. Ефект групи надвидового рангу визначає цілком інші параметри, ніж у особин чи навіть популяцій. На відміну від морфологічних, вікових, статевих і генетичних показників, угруповання відзначається особливими принципами самоорганізації та структурними характеристиками, що здатні варіювати у змінних умовах середовища – видове багатство, видова чисельність (щільність), склад екологічних і трофічних груп та ще ряд специфічних показників, що характеризують різноманіття. А ще угруповання у складі екосистем здатні до поступових якісних та кількісних змін – сукцесійних, що також не властиве для окремих особин чи популяцій. З позиції оцінки стану та збереження біорізноманіття в умовах антропогенного тиску, важливим є встановлення характеру реакцій окремих таксономічних груп надвидового рангу на досліджуваний фактор. Такий підхід ґрунтується на виявленні ступеня толерантності таксономічних угруповань, таких як рід, родина, ряд, клас або навіть тип. По суті, ми зможемо оцінити екологічні можливості (екологічну валентність) еволюційно виокремленої групи на основі генофонду відповідного таксону тварин. Для екологічного контролю важливо знати як реагують на електромагнітний стрес тваринні комплекси у складі цілісного біологічного угруповання, як генетичний потенціал того чи іншого таксону дозволить репрезентувати систематичну групу у складі біологічного угруповання при антропогенному порушенні екосистеми. Все це може служити надійною

базою для екологічної діагностики, екологічного нормування та екологічного прогнозу.

Наші моніторингові дослідження за станом угруповань окремих мікробіологічних, флористичних та фауністичних комплексів в умовах хронічного електромагнітного стресу, здійснені протягом 1997-2010 рр. [6, 7, 9, 10, 16], дозволяють оцінити загальний характер біотичних змін, що тут відбуваються. Трансформація угруповань під впливом ЕМП ЛЕП високої напруги чітко спостерігається навіть у представників ґрунтових безхребетних тварин. І це не дивлячись на те, що сам ґрунт виявляє екрануючий ефект, суттєво знижуючи напруженість ЕМП із збільшенням глибини залягання живих організмів. За аналогією із наземними біологічними комплексами, дощові черви, панцирні кліщі та ногохвістки адекватно реагують на електромагнетизм зміною структури угруповань. В природних та антропоізованих екосистемах, які потрапляють в зону активної дії ЛЕП високої напруги, створюються умови хронічного антропоічного стресу, де додатковим фактором екологічного впливу на живі компоненти екосистем виступає ЕМП. В міру наближення до ЛЕП, напруженість електромагнітного поля закономірно зростає. І в залежності від ступеню толерантності аборигенних видів по відношенню до цього фактора, ґрунтові безхребетні формують тут відносно стабільні угруповання в зонах з різною напруженістю поля. Фактично відбувається кількісний та якісний перерозподіл первинного (достресового) тваринного угруповання на комплекс нових угруповань за електромагнітним градієнтом. Результати наших досліджень вказують, що видовий склад і чисельність окремих видів на обраних нами стандартних віддалях від ЛЕП (зони з різною напруженістю ЕМП) виявляють чітку тенденцію до стабільності. Тобто, адаптивні механізми забезпечують відносну стійкість вторинних тваринних угруповань в антропоічно змінених екосистемах. Таке явище достовірно підтверджується і нашими багаторічними дослідженнями фауністичних комплексів в зоні активної дії ЛЕП високої напруги [7, 8, 9, 10]. Отже, розбалансування первинних угруповань ґрунтових безхребетних лучних екосистем Закарпатської низовини під впливом ЕМП ЛЕП високої напруги, за умов тривалої одноманітної дії, завершується формуванням нових, унікальних комплексів з відносно стабільними у часі та просторі показниками видового багатства і чисельності окремих видів. Видоспецифічність та індивідуальна екологічна специфічність живих компонентів екосистеми, що виражається ступенем толерантності до ЕМП в умовах хронічного електромагнітного

стресу, визначають структуру вторинного (стресового) біологічного угруповання.

Важливим показником адаптивної потенції угруповань ґрунтових безхребетних до хронічного електромагнітного стресу, як ми вже зазначали, є індекс толерантності. Він характеризує реальні можливості представників досліджуваних таксонів до існування в умовах нетипового впливу антропоічного фактора. Він вказує на ступінь екологічної пластичності угруповань лумбріцид, орібатид та колембол в розрізі їх еволюційного статусу.

Індекс толерантності ( $I_t$ ) виражений як добуток відношення кількості особин, облікованих в зоні найвищої напруженості ЕМП (під ЛЕП), до кількості особин, облікованих в зоні фонових значень ЕМП (контроль) на відношення видового багатства в зоні найвищої напруженості до видового багатства в контролі:

$$I_t = \frac{N_0}{N_K} \times \frac{S_0}{S_K},$$

де  $N_0$  – кількість особин, облікованих в зоні найвищої напруженості ЕМП ЛЕП (в місці найнижчого провисання дротів),  $N_K$  – кількість особин, облікованих в зоні фонових значень ЕМП (200 м від ЛЕП),  $S_0$  – видове багатство в зоні найвищої напруженості ЕМП ЛЕП (в місці найнижчого провисання дротів),  $S_K$  – видове багатство в зоні фонових значень ЕМП (200 м від ЛЕП). Пропонована нами формула розрахунку індексу толерантності угруповань дозволяє оперувати обома важливішими параметрами надвидової групи. З одного боку – ми враховуємо чисельність або щільність особин в стресових умовах, порівняно з контрольною ділянкою, а з іншого – враховуємо показник видового багатства, як значимий екологічний критерій оцінки антропоічних впливів. Виходячи з формули, за ідеальних умов, коли антропоічний фактор не викликає якісних та кількісних змін угруповання, індекс толерантності дорівнюватиме одиниці. А будь-які негативні впливи закономірно змінюють структуру угруповання, позначаючись на його якісних та кількісних параметрах. Відповідно, з підвищенням інтенсивності дії антропоічного фактору, показник індексу толерантності буде знижуватись.

Отримані нами результати виявили чітку і закономірну картину реакцій групи на досліджуваний фактор. Всі вони свідчать про чітко виражений негативний вплив ЕМП ЛЕП високої напруги на комплекси ґрунтових безхребетних. Якби негативний вплив не проявлявся, то чисельність аналізованих угруповань із зон фонових значень та ділянок в зонах активної дії ЕМП (під дротами ЛЕП) не відрізнялася б суттєво. У нашому експерименті (табл.), для зони дії ЛЕП з напругою 400 кВ,

індекс толерантності колембол становив 0,58, орібатидних кліщів – 0,50, лубрицид – 0,48. В зоні дії ЛЕП з напругою 750 кВ, напруженість ЕМП вища і, відповідно, індекс толерантності повинен бути меншим. На користь передбачуваного результату свідчать отримані нами показники індексу толерантності: для колембол – 0,31, для орібатидних кліщів – 0,48 і для лубрицид – 0,36. Загалом, найвищою толерантністю до ЕМП ЛЕП високої напруги відзначаються угруповання орібатидних кліщів (Oribatida), а найнижчою – дощові черви (Lumbricidae). Хоча останні в умовах дослідних ділянок представлені невеликою кількістю видів (8) і всі вони відносяться до космополітних еврибіонтів. Ширший діапазон толерантності орібатид (54 види), порівняно з колемболами (90 видів) можна трактувати за рахунок значно меншого видового різноманіття. Крім того, колемболи досліджуваних ділянок представлені

значним числом вузькоареальних видів – середньоєвропейських та середземноморських (15,6%), які не відзначаються широкою екологічною пластичністю. Вони в умовах високої напруженості ЕМП випадають зі складу стресових угруповань. Вища толерантність орібатид визначається і їх особливостями вертикального поширення в ґрунтового субстраті. На відміну від колембол, серед яких трапляються хортобіонти та верхньопідстилочні види, кліщі до деякої міри захищені від жорсткого ЕМП екрануючим шаром ґрунту.

Отже, загальна толерантність досліджуваних угруповань залежить від сукупності характеристик надвидового таксону: видової репрезентативності, спектру зоогеографічних елементів та екологічних груп у їх складі та особливостей вертикального розподілу в ґрунтового субстраті.

Табл. Параметри різноманіття угруповань Lumbricidae, Oribatida та Collembola в зоні дії ЛЕП високої напруги

| Параметри угруповань             | ЛЕП-400 кВ           |         |         |         |         | ЛЕП-750 кВ |         |         |         |         |
|----------------------------------|----------------------|---------|---------|---------|---------|------------|---------|---------|---------|---------|
|                                  | Відстань від ЛЕП (м) |         |         |         |         |            |         |         |         |         |
|                                  | 0                    | 50      | 100     | 150     | 200     | 0          | 50      | 100     | 150     | 200     |
| Lumbricidae                      |                      |         |         |         |         |            |         |         |         |         |
| Щільність (екз./м <sup>2</sup> ) | 34                   | 48,9    | 63,3    | 68,93   | 70,9    | 42         | 82,4    | 96      | 122     | 115,4   |
| Видове багатство (S)             | 3                    | 4       | 5       | 4       | 5       | 4          | 5       | 5       | 5       | 5       |
| Толерантність                    | 0,48                 |         |         |         |         | 0,36       |         |         |         |         |
| Вирівняність Пієлу (E)           | 0,64                 | 0,68    | 0,73    | 0,72    | 0,74    | 0,47       | 0,5     | 0,53    | 0,63    | 0,76    |
| Індекс Шеннона (H)               | 0,76                 | 0,94    | 1,17    | 1,15    | 1,2     | 0,65       | 0,81    | 0,85    | 1,02    | 1,22    |
| Індекс Сімпсона (D)              | 1,76                 | 2,17    | 2,58    | 2,65    | 2,76    | 1,64       | 1,74    | 1,87    | 2,14    | 2,71    |
| Oribatida                        |                      |         |         |         |         |            |         |         |         |         |
| Щільність (екз./м <sup>2</sup> ) | 1755,56              | 2666,67 | 3333,33 | 3488,89 | 3511,11 | 2747,83    | 4278,26 | 5113,04 | 5495,64 | 5659,57 |
| Видове багатство (S)             | 20                   | 22      | 26      | 26      | 28      | 15         | 17      | 21      | 23      | 24      |
| Толерантність                    | 0,5                  |         |         |         |         | 0,48       |         |         |         |         |
| Вирівняність Пієлу (E)           | 0,832                | 0,896   | 0,875   | 0,883   | 0,893   | 0,642      | 0,689   | 0,677   | 0,666   | 0,666   |
| Видове багатство (S)             | 20                   | 22      | 26      | 26      | 28      | 15         | 17      | 21      | 23      | 24      |
| Індекс Шеннона (H)               | 2,49                 | 2,77    | 2,85    | 2,88    | 2,98    | 1,74       | 1,95    | 2,06    | 2,09    | 2,12    |
| Індекс Сімпсона (D)              | 8,75                 | 12,77   | 12,99   | 12,94   | 14,89   | 3,67       | 4,6     | 5,01    | 5,32    | 5,79    |
| Collembola                       |                      |         |         |         |         |            |         |         |         |         |
| Щільність (екз./м <sup>2</sup> ) | 3550                 | 5475    | 5975    | 6150    | 6112,5  | 2547,37    | 5094,74 | 6473,68 | 7378,95 | 8210,53 |
| Видове багатство (S)             | 41                   | 43      | 44      | 44      | 46      | 37         | 45      | 46      | 46      | 47      |
| Толерантність                    | 0,58                 |         |         |         |         | 0,31       |         |         |         |         |
| Вирівняність Пієлу (E)           | 0,745                | 0,753   | 0,791   | 0,798   | 0,784   | 0,79       | 0,798   | 0,812   | 0,81    | 0,81    |
| Видове багатство (S)             | 41                   | 43      | 44      | 44      | 46      | 37         | 45      | 46      | 46      | 47      |
| Індекс Шеннона (H)               | 2,77                 | 2,83    | 2,99    | 3,02    | 3,001   | 2,85       | 3,04    | 3,11    | 3,1     | 3,12    |
| Індекс Сімпсона (D)              | 8,71                 | 9,92    | 11,63   | 12,65   | 12,22   | 12,02      | 12,91   | 15,18   | 14,01   | 15,01   |

Як вже відмічалось вище, в зоні впливу ЛЕП високої напруги достресові угруповання ґрунтових безхребетних трансформуються у відносно стійкі та стабільні стресові

угруповання. Останні характеризуються послідовним рядом сукцесійних груп на площині з показниками різної напруженості ЕМП. Як в міру наближення до ЛЕП від ділянок

з фоновими значеннями ЕМП напруженість збільшується, так поступово знижуються кількісні та якісні параметри різноманіття. Зрозуміло, що за умови доволі плавного та поступового підвищенні напруженості ЕМП при наближенні до ЛЕП, чітких градаційних меж видово-чисельної структури угруповань не спостерігається. Тут проявляється поступовість зміни складу педофауністичних угруповань вздовж градієнту напруженості ЕМП. Тобто, в умовах нашого польового експерименту реалізується адаптаційний континуум за типом екокліну. Зате на фіксованих різновіддалених ділянках (довільно вибрані нами стандартні віддалі на 0м, 50м, 100м, 150м, 200м) угруповання умовно диференціюються практично за всією шкалою показників різноманіття. І наші тривалі моніторингові дослідження педофауни безхребетних в зоні дії ЛЕП з напругою 400 і 750 кВ засвідчують реальність та достовірність формування тут відносно стабільних у часі та просторі стресових угруповань. Аналіз стану цих таксономічних комплексів на ділянках з різною напруженістю електромагнітного поля виявив чіткий причинно-наслідковий зв'язок між рівнями впливу ЕМП на біоту і відгуком біоти. В основі оцінки стану трансформованих угруповань і порівнянні їх з нормою чи контролем лежать важливіші показники різноманіття: видове багатство, видова чисельність, вирівняність, індекс домінування та індекс різноманіття [12]. На значенні диверситологічного підходу наголошував і видатний американський еколог Ю.Одум [13]. Він відзначав, що в основі різноманіття лежать дві головні складові: видове багатство і вирівняність.

Число видів або видове багатство (S) виступає об'єктивним якісним параметром локального (в нашому випадку), ландшафтного, регіонального та глобального різноманіття. І при аналізі  $\beta$ -різноманіття, що характеризує різноманіття між різними угрупованнями вздовж градієнта середовища, воно має незаперечну вагу. Неоднозначне ставлення окремих екологів [1, 5, 19, 21] до цього показника в системі оцінки різноманіття не може применшити його реальної репрезентативності. Якщо в окремих оціночних індексах різноманіття, видове багатство не корегує у значній мірі очікуваний (отриманий) цифровий результат, то це свідчить лише про специфічність цільового призначення розрахункової формули – отримати характеристику угруповання, незалежну від кількості видів. Нерідко, дослідників не задовольняє відсутність чіткої кореляції між показниками індексу різноманіття та видовим багатством при високому ступені домінування

окремих членів угруповання [11] (як у випадку з класичними індексами різноманіття Сімпсона, Шеннона чи Джіні). Але стосовно таких окремих випадків слід керуватися тезою Ю.Песенка [14] – індекси, застосовувані в аналізі різноманіття угруповань, повинні задовольняти наступну вимогу: різноманіття угруповання тим вище, чим більша в ньому кількість видів.

Видове багатство (S) лумбріцид, орібатид і колембол корелює з градієнтом напруженості ЕМП як в зоні дії ЛЕП-400 кВ, так і в зоні дії ЛЕП-750 кВ. Вектор реакції досліджуваних угруповань спрямований на зменшення кількості видів із зростанням напруженості ЕМП. У кількісному відношенні цей показник різноманіття чіткіше змінюється на ділянці, де прокладена ЛЕП з напругою 750 кВ. Тобто, діапазон коливання параметру S ширший при більш широкому спектрі напруженостей поля, яким відзначається потужніша ЛЕП. Виявлена нами закономірність цілком вписується у твердження Р.Уіттекера [22], що в угрупованнях, які підлягають стресовим впливам, видове різноманіття зменшується. Відмінності у видовому складі лумбріцид, орібатид і колембол із дослідних ділянок в зоні дії ЛЕП-400 кВ і ЛЕП-750 кВ пояснюються відмінністю цих ділянок у флористичному відношенні, гідрорежимом ґрунтів і географічною віддаленістю. В нашому випадку, важливим є не порівняння фаун, а аналіз і порівняння угруповань з різних віддалей в зоні впливу кожної окремої ЛЕП високої напруги.

Кількісний аналіз досліджуваних ґрунтових безхребетних виявив чітку градаційну закономірність їх розподілу на ділянках з різною напруженістю ЕМП. В міру наближення до ЛЕП, загальна чисельність лумбріцид, орібатид та колембол достовірно зменшується. Відповідно до електромагнітного градієнту, їх щільність на одиницю площі також спадає із збільшенням інтенсивності дії досліджуваного фактору. Щільність особин Lumbricidae в зоні дії ЕМП ЛЕП-400 кВ зростає від 34,0 екз./м<sup>2</sup> (під дротами) до 70,9 екз./м<sup>2</sup> у контролі. Для Oribatida та Collembola ці показники змінюються від 1755,6 до 3511,1 екз./м<sup>2</sup> і від 3550,0 до 6112,5 екз./м<sup>2</sup> відповідно. Така ж закономірність кількісного розподілу в просторі спостерігається і в зоні дії ЛЕП-750 кВ – від 42,0 екз./м<sup>2</sup> до 115,4 екз./м<sup>2</sup> для дощових черв'яків, від 2747,8 до 5659,6 екз./м<sup>2</sup> для орібатидних кліщів та від 2547,4 до 8210,5 екз./м<sup>2</sup> для колембол. Зміна видової чисельності вздовж градієнту ЕМП визначається як видовою толерантністю, так конкурентними взаємодіями в межах угруповань (табл.). Нетолерантними до ЕМП ЛЕП високої напруги виявилися: *Aporrectodea longa* (Lumbricidae), *Metabelba*

*papillipes*, *Ramusella cf. furcata*, *Galumna obvius* (Oribatida), *Pseudachorutes pratensis*, *Protaphorura subarmata*, *Mesaphorura macrochaeta*, *Stenaphorurella quadrispina*, *Folsomia manolachei*, *Proisotoma minuta*, *Lepidocyrtus lanuginosus*, *Lepidocyrtus violaceus*, *Sminthurinus aureus*, *Orchesella pseudobifasciata* (Collembola). Вони зустрічаються на контрольних ділянках і на віддалях, що характеризуються низькою напруженістю ЕМП та відсутні безпосередньо під ЛЕП і на невеликій віддаленості від них. Більшість видів всіх трьох досліджуваних таксонів розподіляється в просторі за принципом зменшення чисельності під впливом зростання напруженості ЕМП. І лише невелика кількість видів збільшує свою щільність із підвищенням напруженості, користуючись зменшенням конкурентного тиску (*Liochthonius muscorum*, *Liebstadia similis* (Oribatida), *Neonaphorura sp.*, *Orchesella cincta*, *Folsomia quadriculata*, *Pseudosinella alba* (Collembola)). Окремі з них навіть домінують у стресових угрупованнях (*Liochthonius muscorum*, *Liebstadia similis*

(Oribatida), *Neonaphorura sp.*, *Orchesella cincta* (Collembola)).

Показовим параметром стану угруповань в умовах зміни градієнту напруженості ЕМП, генерованого ЛЕП високої напруги, виступає класичний показник якості біоти – індекс різноманіття [ 12, 13, 21, 22]. Використовувані нами для аналізу індекси Шеннона (H) та Сімпсона (D) дозволяють наочно і достовірно демонструвати ступінь трансформації угруповань Lumbricidae, Oribatida та Collembola під впливом електромагнітного поля (табл., рис. 1, 2). В міру наближення від контрольних ділянок до ЛЕП з напругою 400 кВ і 750 кВ, показники індексів (H та D) зменшуються для всіх трьох досліджуваних надвидових таксонів. Диверситологічна репрезентативність всіх трьох досліджуваних таксономічних груп знижується з підвищенням напруженості ЕМП. Найвищі значення індексу різноманіття виявились у колембол, а найнижчі – у лумбріцид. Відповідно до наших результатів, екологічно лабільними виявились угруповання Collembola, а екологічно консервативними – Lumbricidae, що загалом корелює з їх екологічною толерантністю.

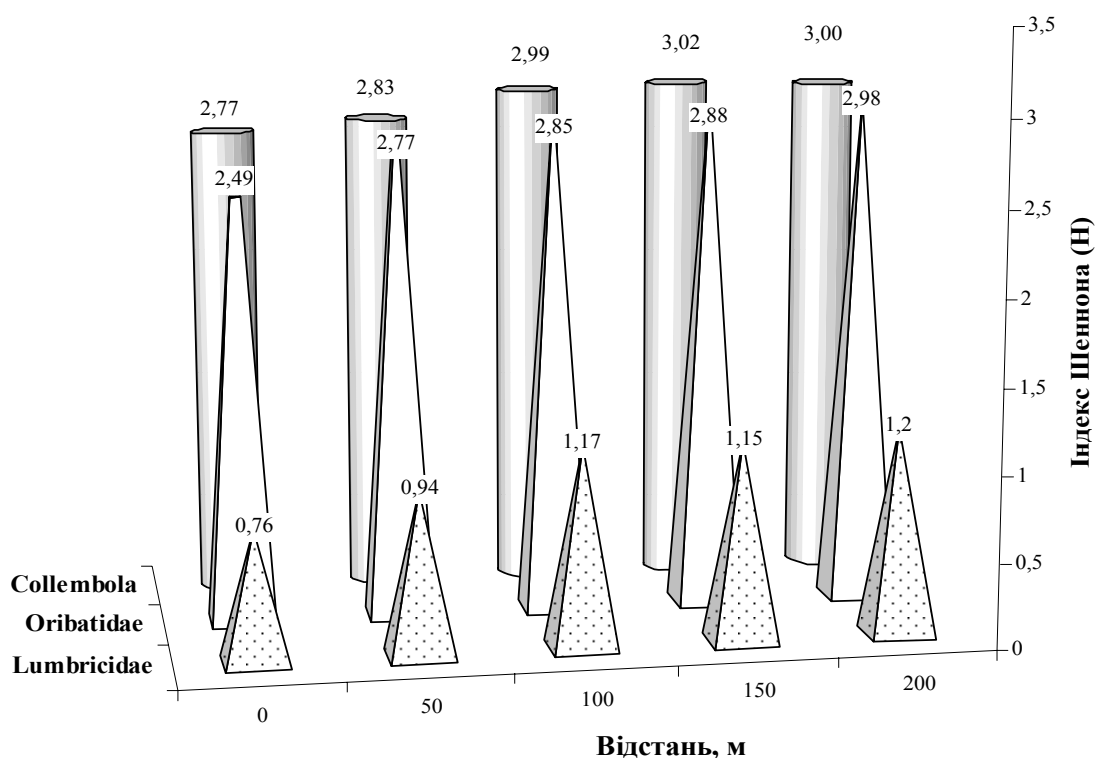


Рис. 1. Динаміка індексу Шеннона для угруповань Lumbricidae, Oribatida та Collembola в зоні дії ЛЕП- 400 кВ.

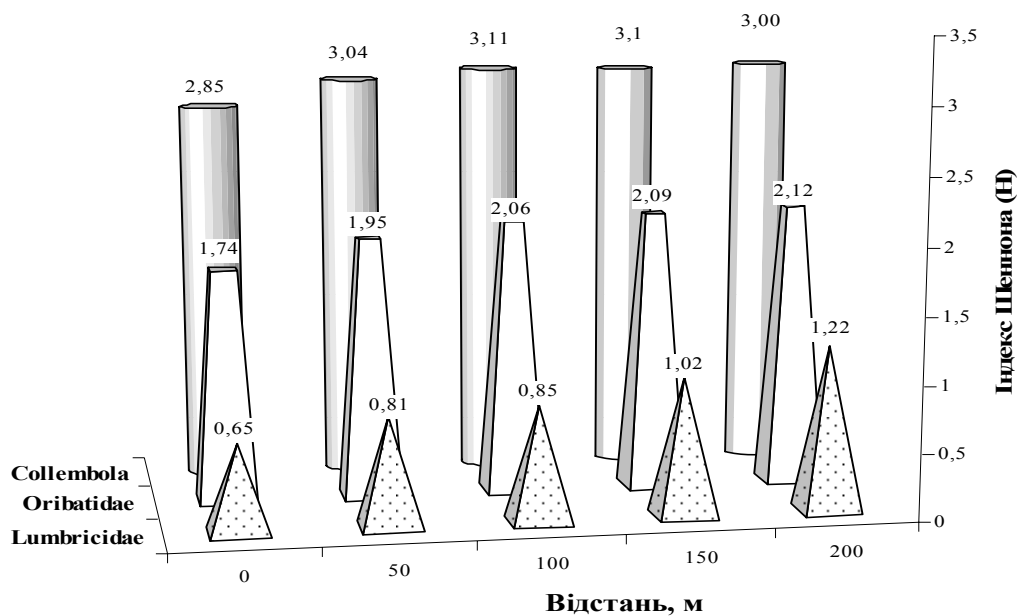


Рис. 2. Динаміка індексу Шеннона для угруповань Lumbricidae, Oribatida та Collembola в зоні дії ЛЕП- 750 кВ.

Якісна оцінка стану угруповань, які функціонують в умовах антропогенного впливу різної природи та інтенсивності, повинна базуватись на показнику вирівняності. Вирівняність Пієлу (E) як важливіша характеристика структури угруповання надійно інтерпретує ступінь стійкості та різноманітності біотичного комплексу в природних умовах. Як зазначає Ю.Песенко [14], різноманіття угруповання тим вище, чим вища його вирівняність. Суть показника вирівняності виявляє амплітуду можливих флуктуаційних коливань чисельності видових популяцій угруповання в умовах біотичної насиченості середовища. Фактично він вказує на ступінь рівномірності розподілу видів за їх чисельністю в угрупованні. Інтерпретаційною фізичною моделлю тут може служити умовний замкнений простір (об'єм), наповнений кульками різного розміру (популяціями). Чим менше великих кульок, тим менший сукупний об'єм порожнин між кульками і тим самим залишається менше вільного простору для їх флуктуаційних рухів різного характеру – переміщення кульок чи зростання розмірів окремих з них. Ідеальний ефект стійкості цієї системи досягається за умови, коли всі кульки будуть дрібними, а кількість їх такою, щоб заповнити весь умовний об'єм. Вища стабільність, тобто стійкість, забезпечується чим вищою кількістю чим дрібніших кульок. За аналогією об'єму з кульками оцінюється стан біологічних

угруповань в природних та порушених екосистемах. Багаточленні угруповання з нечисельних популяцій відзначаються вищою екологічною стійкістю ніж малочленні, до складу яких входять багаточисельні популяції. Отже, вирівняність надійно характеризує стійкість угруповання через кількісні параметри – видове багатство та чисельність видів.

Аналіз стану угруповань Lumbricidae, Oribatida та Collembola в умовах хронічного електромагнітного стресу виявив ранговий розподіл показників вирівняності не тільки в межах електромагнітного градієнту, але й у таксономічній площині (рис. 3, 4). Вирівняність Пієлу (E) чітко корелює з напруженістю ЕМП і у всіх трьох таксономічних груп закономірно виявляє нижчі значення в зоні дії ЛЕП-750 кВ, порівняно із зоною дії ЛЕП-400 кВ. В межах активної дії обох ліній, показник вирівняності також знижується від контролю (віддалі 200 м) до ЛЕП (0 м). Найчутливішою групою реакцією до електромагнітного поля, що характеризується мінімальними показниками вирівняності Пієлу (0,64 в зоні дії ЛЕП-400 кВ і 0,47 в зоні дії ЛЕП-750 кВ) відзначалися дощові черви. Найменше ЕМП впливало на стійкість угруповань колембол, для яких вирівняність складала 0,75 і 0,79 в зонах дії ЛЕП-400 кВ та ЛЕП-750 кВ відповідно. Орібатидні кліщі на шкалі вирівняності займають проміжну між колемболами і лубрицидами позицію з показниками 0,83 і 0,64.



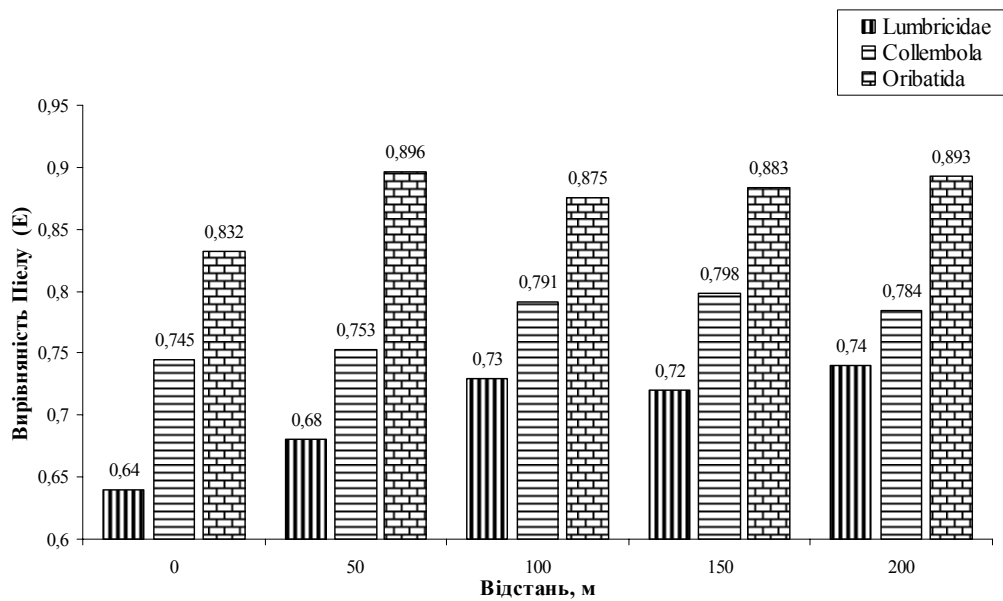


Рис. 3. Динаміка показника вирівняності Пієлу для угруповань Lumbricidae, Oribatida та Collembola в зоні дії ЛЕП-400 кВ.

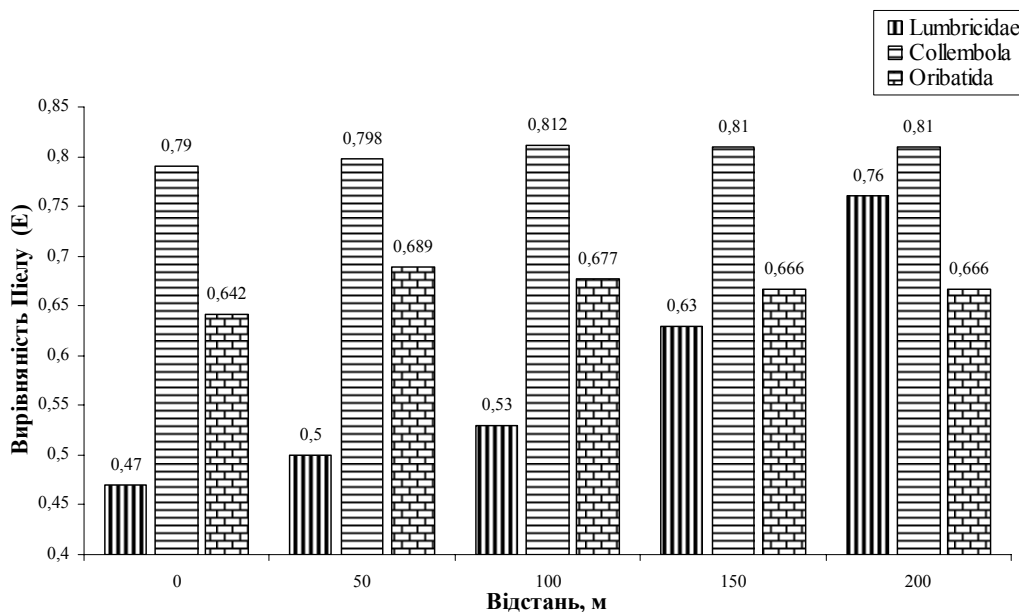


Рис. 4. Динаміка показника вирівняності Пієлу для угруповань Lumbricidae, Oribatida та Collembola в зоні дії ЛЕП-750 кВ.

### Висновки

Аналіз ступеню толерантності Lumbricidae, Oribatida та Collembola свідчить про негативний вплив ЕМП ЛЕП високої напруги на комплекси ґрунтових безхребетних.

В зоні активної дії ЛЕП високої напруги проявляється поступовість зміни складу педофауністичних угруповань вздовж градієнту напруженості ЕМП – реалізується адаптаційний континуум за типом екокліну.

Угруповання Lumbricidae, Oribatida та Collembola реагують на електромагнітний стрес

зміною головних параметрів різноманіття (видове багатство, видова чисельність, індекси Шеннона і Сімпсона, вирівняність Пієлу). Показники, що характеризують різноманіття зменшуються із зростанням напруженості ЕМП.

Найвищою екологічною лабільністю в умовах електромагнітного стресу відзначаються угруповання Collembola, а найбільш екологічно консервативними виявились Lumbricidae, що загалом узгоджується з еволюційним статусом досліджуваних груп безхребетних.

1. Бигон М., Харпер Дж., Таунсенд К. Экология. Особи, популяції и сообщества. – М.: Мир, 1989. – т.1 – 660 с, т.2 – 477 с.
2. Бызова Ю. Б. Количественные методы в почвенной зоологии / Ю. Б. Бызова, М. С. Гиляров. – М.: Наука, 1987. – 288 с.
3. Волошин О.І., Крон А.А., Рошко В.Г. Вплив електромагнітного поля ліній електропередач високої напруги на окремі морфологічні показники покритонасінних рослин //Науковий вісник Ужгородського університету, серія Біологія, 22. – Ужгород, 2008. – С. 118-121.
4. Кривоуцкій Д.А. Методика комплексного обследования почв на заселенность микроартроподами // Методы почвенно-зоологических исследований. – М.: Наука, 1975. – С. 44-49.
5. Кривоуцкій Д.А., Лебедева Н.В. Биологическое разнообразие и методы его оценки. В кн.: География и мониторинг биоразнообразия. М.: НУМЦ, 2002, с.13-142.
6. Крон А.А., Рошко В.Г. Влияние электромагнитного поля линий электропередач высокого напряжения на пространственное распределение насекомых //Труды Ставропольского отделения Русского энтомологического общества. Вып. 4: материалы Международной научно-практической конференции / Ставропольский государственный аграрный университет. – Ставрополь: АГРУС, 2008. – С. 208-211.
7. Крон А.А., Рошко В.Г. Реакції угруповань дрібних ссавців (Micromammalia) на вплив електромагнітного поля ліній електропередач високої напруги //Науковий вісник Чернівецького університету: Збірник наукових праць. – Вип. 416: Біологія. – Чернівці: «Рута», 2008. С. 94-99.
8. Крон А.А., Волошин О.І., Меламуд В.В., Рошко В.Г.. Загальний характер впливу електромагнітного поля ліній електропередач високої напруги на ґрунтових кліщів (Acachnida, Acarina) //Науковий вісник Ужгородського університету, серія Біологія, 23. – Ужгород, 2008. – С. 174-179.
9. Крон А.А., Рошко В.Г., Власенко Р.П., Онищук І.П. Угруповання дощових черв'яків (Oligochaeta, Lumbricidae) в умовах хронічного електромагнітного стресу. – Науковий вісник Ужгородського університету, серія Біологія, 27, – Ужгород. 2010. – С. 13-17.
10. Крон А.А., Рошко В.Г., Капрусь І.Я. Реакція угруповань колембол (Collembola) на хронічний електромагнітний стрес //Матеріали міжнародної конференції присвяченої 20-ти річчю створення НПП "Синевир" (1-3 жовтня 2009 р., Синевир, Україна). – Синевир, 2009. – С. 120-121.
11. Максимов В.Н. Проблемы комплексной оценки качества природных вод (экологические аспекты) // Гидробиологический журнал. 1991. Т.27. №3. С. 8-13.
12. Мэгарран Э. Экологическое разнообразие и его измерение. – М.: Мир, 1992. – 173 с.
13. Одум Ю. Экология. – М.: Мир, 1986. Т.1, 2. – 164 с., 376 с.
14. Песенко Ю. А. Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях. – М.: Наука, 1982. – 288 с.
15. Пресман А.С. Электромагнитные поля в биосфере. – М.: Знание, 1971. – 63с.
16. Рошко В.Г., Сымочко Л.Ю., Волошин О.И., Крон А.А. Влияние электромагнитного поля на функционирование разных эколого-трофических групп почвенных микроорганизмов //Экотоксикология: Современные биоаналитические системы, методы и технологии. – Тула-Пушино, 2006. – С. 127.
17. Симочко Л.Ю., Крон А.А., Рошко В.Г. Вплив електромагнітного поля на біологічну активність ґрунту //Екологія: наука, освіта, природоохоронна діяльність: Матеріали міжнародної науково-практичної конференції. – К: Науковий світ, 2007. – С. 63-64.
18. Фасулати К. К. Полевое изучение наземных беспозвоночных. – М.: Высшая школа, 1971. – 424 с.
19. Abakumov V.A. Ecological modification and biocenosis development // Ecological Modification and Criteria for Ecological Standartization. St. Petersburg: Gidrometeoizdat. 1992. – Pp. 15-32.
20. Arpad A. Kron, Olesja I. Voloshyn, Volodimir H. Roshko Response of some groups of Arthropoda to electromagnetic field effect of high-voltage power transmission lines //Landscape Architecture and Spatial Planning as the Basic Element in the Protection of Native Species. – Tuczno, 2007. – p. 108-113.
21. Levich A.P. A Biological Concept of Environmental Control // Doclady Biological Sciences. 1994. V.337. №2. – Pp. 360-362.
22. Whittaker, R. H. Evolution and measurement of species diversity // Taxon. 1972. V. 21. – P. 213-251.

Отримано: 11 червня 2010 р.

Прийнято до друку: 12 вересня 2010 р.