

УДК 595.71+591.5

Капрусь І.Я., Гоблик К.М.

ЕКОЛОГІЧНА ТА СОЗОЛОГІЧНА ОЦІНКА ҐРУНТІВ ЗАКАРПАТСЬКОЇ НИЗОВИНИ ЗА УГРУПОВАННЯМИ КОЛЕМБОЛ

Оцінено можливості використання угруповань колембол для зооіндикації ґрунтів Закарпатської низовини. Запропоновано 8 біомаркерів екологічної якості ґрунтів (біотичний індекс середовища D_i , індикатор екологічної цінності ґрунту ІЕЦ, індекс біотопної приуроченості Песенка F_{ij} , структура домінування і склад домінуючих видів, спектри життєвих форм та екологічних груп, а також таксономічний спектр із шести найбагатших видами родин колембол). Виділено вісім фауністичних категорій для оцінки природоохоронної цінності ґрунтової біоти в конкретних біотопах: 1 - види з "Червоної книги України", 2 - в типових оселищах, 3 - ендемічні карпатські і східно-карпатські, 4 - реліктові, 5 - локально поширені монтанні, 6 - на межі свого ареалу в районі дослідження, 7 – з диз'юнктивним ареалом, 8 - рідкісні, а також 31 індикаторний вид колембол для оцінки раритетності їхніх угруповань.

Ключові слова: *Collembola, зооіндикація, біомаркери, охорона біорізноманіття ґрунтів.*

Серед спеціальних заходів суспільства направлених на охорону природного середовища та раціональне природокористування важлива роль належить біоіндикації, яку розглядають як метод оцінки якості природного середовища та його окремих екологічних характеристик на основі стану біологічних систем [1, 2]. Методи біоіндикації ґрунтового середовища розроблені на сьогодні недостатньо. Популярні фізико-хімічні методи індикації ґрунту можуть вказати на якісні та кількісні особливості дії екологічного фактора, але вони лише опосередковано свідчать про його біологічний ефект [1, 14].

Біоіндикацію ґрунтового середовища найчастіше проводять з метою: 1) встановлення таксону ґрунту і його походження; 2) виявлення окремих властивостей ґрунту і ґрунтових процесів; 3) оцінки антропогенного впливу на ґрунт (рекреація, меліорація, забруднення та ін.). Біоіндикація впливу антропогенних факторів на ґрунт – це визначення біологічно й екологічно значимих антропогенних навантажень на основі реакцій різних організмів і їх угруповань [2, 9].

Біоіндикація може здійснюватися на різних рівнях організації живого. Однак, на практиці вона найчастіше базується на аналізі складу й чисельності видів-індикаторів, а також структури угруповань окремих таксономічних груп [1, 2, 20]. Зокрема, для оцінки якості ґрунтового середовища часто використовують мікроартропод, серед яких дуже чутливим та інформативним модельним об'єктом вважають представників класу колембол [2, 5, 13, 20]. Угруповання колембол є прикладом динамічної біосистеми, що представляє значний інтерес як модельний об'єкт для зооіндикації з кількох причин: 1) дані польових обліків є інформативними, завдяки високому таксономічному й екологічному різноманіттю групи, 2) більшість видів стійкі до антропогенних порушень, що дозволяє їм населяти широкий спектр

екологічних умов, 3) таксон чутливий до основних екологічних факторів середовища і може бути облікований кількісними методами протягом цілого року [13].

Відомо, що реакції окремих груп ґрунтових безхребетних на дію екологічних факторів не співпадають [22, 31]. Саме тому, актуальними завданнями є оцінка реакцій якомога більшої кількості груп педобіонтів на фактори середовища та їх детальне вивчення на рівнях "дослідженої точки", біогеоценозу й ландшафту [17].

Метою роботи було оцінити можливості використання угруповань колембол для екологічної та соціологічної оцінки стану ґрунтів Закарпатської низовини та виявити інформативні біомаркери якості ґрунтового середовища.

Матеріал і методика досліджень

Матеріалом для виконання роботи слугували колемболи, які зібрані в 2008-10 рр. у 14 типах біотопів Закарпатської низовини. Серед них 7 природних або напівприродних біотопів, 6 урбаногенних і 1 гідромеліорований (табл. 2). Класифікацію природних біотопів Закарпаття прийнято за монографічною працею Р. Кіша, С. Мандрика та В. Мірутенка [11]. Досліджені біотопи представляють основні типи природних суходільних біоценозів, які тут збереглися. Оскільки основні зміни середовища в цій частині Закарпаття пов'язані з активною розбудовою населених пунктів і гідромеліоративними заходами в долинах річок, досліджено також основні типи урбанізованих біотопів у містах Ужгород і Виноградів, а також гідромеліоровану луку в заплаві р. Латориці біля м. Чопа.

Збір і опрацювання матеріалу проводили відповідно до загальноприйнятих методик ґрунтово-зоологічних досліджень [12, 15]. Ґрунтові зразки були відібрані серіями по 15–30 проб стандартного розміру в кожному біотопі. Загалом, за весь період досліджень було відібрано 540 ґрунтових проб. З ґрунтових проб загалом виділено 37820 особин колембол.

Систему таксонів класу колембол прийнято за інформацією на спеціальному вебсайті [26]. Система життєвих форм (біоморф) колембол прийнята згідно підходу С.К. Стебаєвої [18]. Біотопні (екологічні) групи колембол виділяли за І.Я. Капрусем [7]. Оцінку ступеня антропогенної порушеності ґрунту в градієнті урбанавантаження та під впливом гідромеліорації лучних екосистем регіону проводили за методикою С.М. Чеснокової [23]. Для оцінки екологічної цінності ґрунтового покриву за населенням колембол у ландшафтній структурі певного регіону нами запропоновано модифікований показник ІЕЦ (індикатор екологічної цінності ґрунту) [1], який обчислюється за формулою:

$$\text{ІЕЦ} = (W \times G \times S \times H') / 100,$$

де W – ступінь гомогенності в балах (від 7 – агемеробне середовище до 1 – метагемеробне середовище), G – загальна кількість родів та S – загальна кількість видів в угрупованні, H' – індекс Шеннона. Цей інтегральний показник показує кумулятивну та неспецифічну реакцію угруповання ґрунтових колембол на дію комплексу антропогенних факторів.

Статистичне опрацювання матеріалу здійснювали за допомогою стандартного пакету STATISTICA 7 для Windows (StatSoft, Inc., 1997). Для аналізу структури населення колембол використовували стандартизовані синекологічні показники та методи кількісного аналізу [16, 31]. Особливості біотопної приуроченості конкретних видів оцінювали за індексом "відносної біотопної приуроченості Песенко" (F_{ij}) [16].

Він може набувати значень у діапазоні від -1 до 1 . За поріг приуроченості виду до конкретного біотопу нами прийнято значення показника $F_{ij} = 0,3$. Структуру домінування оцінювали за критеріями Г. Штекера і А. Бергмана [33].

В роботі застосовано макроскопічний підхід до аналізу результатів досліджень угруповань колембол, який передбачає вибір декількох найінформативніших інтегральних біологічних показників [4], які прийнято називати біомаркерами. Особливості індикації ґрунтового середовища за допомогою колембол розглянути нами на двох просторових рівнях досліджень: ценотичному й ландшафтному [1, 17].

Результати й обговорення

Ценотичний рівень біоіндикації. Біоіндикація у масштабі біогеоценозу найчастіше реалізується на таких рівнях організації живого як популяційно-видовий і біоценотичний (рівень угруповань). Проводячи біоіндикацію на популяційно-видовому рівні виходять з того, що кожен вид має певні екологічні вимоги до середовища та є специфічним індикатором зміни комплексу факторів [1].

Наприклад, урбанізація і гідромеліорація є прикладами антропогенних змін, пов'язаних з стресом від землекористування. Зокрема, побудова дамби змінює, насамперед, вологість ґрунту та скорельованих з нею інших екологічних факторів, що впливають на педобіоту. Міська забудова спричиняє зміну екологічного режиму ґрунтового середовища за комплексом таких абіотичних факторів як температура, вологість, кислотність, механічний склад та ін. Отже, зменшення чисельності або зникнення виду під впливом різних антропогенних чинників вказує на зміну якості середовища за комплексом конкретних екологічних факторів. Однак, не всі види здатні одночасно реагувати на стрес. Еврибіонтні види найчастіше підходять для неспецифічної оцінки стресора, а стенобіонтні – для індикації специфічних стресорів [1].

Відповідно до А.М. Степанова [19] види-індикатори мають відповідати певним вимогам, зокрема: (1) володіти широким ареалом, (2) бути евритопними та (3) осілими, (4) проявляти антисинантропність і (5) індикаційну пластичність, (6) бути зручними для обліку та збирання у природі, а також (7) добре вивченими в екологічному відношенні.

На практиці біоіндикації успішно використовують метод фауністичної індикації середовища, який враховує появу або відсутність конкретних видів у певних екологічних умовах або співвідношення таксонів вищого рангу (родів, родин). Найчастіше в біоіндикаційних дослідженнях використовуються стенобіонтні види, які приурочені до специфічних екологічних умов. Наприклад, в урбаногенних біотопах міст Ужгорода і Виноградів нами виявлено низку синантропних видів, які практично не проникають за їхні межі. Серед колембол такими видами є *Thalassaphorura encarpata*, *Agraphorura naglitshi*, *Folsomia similis*, *Sinella coeca*, *Arrhopalites caecus* та ін. Також встановлено, що екологічно пов'язаними з відкритими біотопами дослідженого регіону є лучні та лучно-степові види *Sphaeridia pumilis*, *Sminthurinus aureus*, *Isotoma viridis*, *Deuterosminthurus pallipes*, *Folsomides marchicus*, *Bourletiella arvalis*, *Lepidocyrtus cyaneus*, *Lepidocyrtus curvicolis*, *Lepidocyrtus paradoxus* та ін., з лісовими - лісові та лісо-лучні *Pseudachorutes subcrassus*, *Pseudachorutes dubius*, *Subisotoma pusilla*, *Thaumanura caroli*, *Ceratophysella granulata*, *Deutonura stachi*, *Kalaphorura paradoxa*, *Ceratophysella silvatica*, *Pseudachorutella asigillata* та ін. Найчутливішими видами колембол до

вологості едафотопу в заплавлених лісах і на луках Закарпаття є гігрофільні *Anurida tullbergi*, *Isotomurus palustris*, *Lepidocyrtus ruber*, *Caprainea marginata*.

У несприятливих умовах загальне різноманіття видів у біоценозі зменшується, а чисельність еврибіонтних видів з широкою екологічною валентністю зростає. Крім того, під впливом антропогенних змін середовища одні види спеціалісти в угрупованнях заміщаються іншими видами спеціалістами [6, 7, 13]. Усі наведені вище екологічно спеціалізовані види за параметрами своєї щільності або присутності/відсутності в біотопі можуть бути фауністичними індикаторами різних антропогенних змін середовища дослідженого регіону.

У процесі проведення біоіндикаційних досліджень часто виникає питання, як уникнути потрапляння випадкових видів у списки індикаторних таксонів для певних типів середовища. На нашу думку, таку неузгодженість можна подолати при використанні індексу біотопної приуроченості Песенка F_{ij} [16], який враховує не тільки присутність чи відсутність видів, але й чисельну їх приуроченість до конкретних біотопів. Цей показник був обчислений нами для усіх видів колембол, які виявлені в урбанізованих біотопах міст Ужгорода і Виноградова. За результатами аналізу індексу Песенка встановлено, що 27 видів колембол приурочені до парків і скверів (тобто $F_{ij} \geq 0,3$), 9 - до газонів, 7 - до виноградника. Встановлено також, що два евритопних таксони не демонструють чіткої екологічної прив'язаності до конкретних типів досліджених біотопів.

Біоіндикація антропогенних змін у біогеоценотичному масштабі на рівні угруповання передбачає, насамперед, виявлення структурних змін таксоцену під впливом комплексного порушення середовища. Структура угруповань колембол дослідженого регіону є специфічною в різних едафотопах і добре відображає екологічні умови ґрунтового середовища. Крім того, біоіндикацію ґрунтів доцільно проводити лише в умовах однієї ґрунтової зони, для якої характерний певний набір зооіндикаторів.

Для опису угруповань колембол використовують такі показники як загальна чисельність і видове багатство, видове різноманіття, таксономічну, біоморфологічну та екологічну структуру, кількісну ієрархію домінуючих видів та ін. [5, 7, 13, 25, 31]. Відхилення цих показників від норми розглядають як ознаки порушення середовища. Нормують умови середовища за еталонною екосистемою, яка відображає характерний тип рослинності та ґрунту для певної природної зони.

В результаті проведених нами досліджень встановлено, що таксономічний спектр із шести найбагатших за видовим різноманіттям родин колембол (*Isotomidae*-*Entomobryidae*-*Hypogastruridae*-*Neanuridae*-*Onychiuridae*-*Tullbergiidae*) є доволі чутливим до антропогенних змін едафотопу. Зокрема виявлено, що в градієнті урбанавантаження м. Ужгорода закономірно змінюється відносна представленість цих родин в угрупованнях [3].

Видове різноманіття – параметр, який найчастіше використовують на практиці біоіндикації. Він враховує два компоненти: загальне видове багатство та кількісний розподіл чисельності між усіма видами. Найчастіше в ґрунтово-зоологічних дослідженнях для оцінки загального різноманіття певної групи організмів використовують індекси Сімпсона і Шеннона. С.М. Чесноковою [23] запропоновано методику виявлення зон із екологічними аномаліями ґрунту. В цій методиці для розрахунків використовується модифікований індекс Сімпсона.

За результатами проведеної роботи встановлено, що біотичний індекс середовища D_i за станом угруповань колембол є інформативним маркером антропогенних змін ґрунту, викликаних урбанізацією і гідромеліорацією (табл. 1). Як видно з цієї таблиці, досліджені нами варіанти антропогенно порушених біотопів на шкалі екологічного стану середовища отримали інтегральні оцінки "незадовільний" і "катастрофічний". Тобто, у них відмічено зміни структури угруповань колембол, порівняно з контролем, більше ніж на 50%.

Не менш інформативними параметрами структури угруповань колембол визнані якісний склад і кількісна ієрархія домінантних видів [13, 30 та ін.]. Для оцінки їх значення у диференціації населення педобіонтів, проведено кластерний аналіз угруповань колембол у різних варіантах природних біотопів Закарпатської низовини (рис. 1).

Таблиця 1

Оцінка екологічного стану ґрунту в антропогенно змінених біотопах дослідженого регіону за видовим різноманіттям колембол

0% катастрофічний ← 25% незадовільний ← 50% задовільний ← 75% добрий ← 100%
шкала змін екологічного стану середовища

Біотопи	D_i (%)	Екологічний стан ґрунту
Боздоський парк (м. Ужгород)	47,3	Незадовільний
Парк культури ім. Ж. Перені (м. Виноградів)	18,6	Катастрофічний
Сквер "Петефі" (м. Ужгород)	31,3	Незадовільний
Виноградник (околиці м. Ужгород)	24,4	Незадовільний
Газон на пр. Свободи (м. Ужгород)	19,8	Катастрофічний
Газон на набережній р. Уж (м. Ужгород)	21,1	Катастрофічний
Гідромеліорована лука (2008 р.)	48,6	Незадовільний
Гідромеліорована лука (2009 р.)	13,0	Катастрофічний

Примітка: D_i – відносний показник зміни видового різноманіття, обчислений за індексом Сімпсона.

Перша дендрограма подібності була побудована з використанням даних по чисельності усіх видів, а друга – лише по чисельності домінантних видів ($\geq 3,2$ % відносної чисельності угруповання хоча б в одному з досліджених біотопів). У

результаті проведеного аналізу ми отримали дві абсолютно однакові діаграми подібності, одну з яких наведено на рис. 1. Таким чином, було підтверджено робочу гіпотезу, що група з 26 домінуючих видів колембол добре диференціює досліджені угруповання і може бути успішно використана для різних біоіндикаційних завдань. Крім того, методом кластеризації К-середніх встановлено, що серед цих домінантів найбільше індикаційне значення мають 6 видів (*Mesaphorura hylophila*, *Mesaphorura macrochaeta*, *Isotomiella minor*, *Parisotoma notabilis*, *Sphaeridia pumilis*, *Sminthurinus aureus*), які присутні в усіх біотопах одночасно. Саме вони достовірно групують досліджені угруповання колембол по трьох основних кластерах.

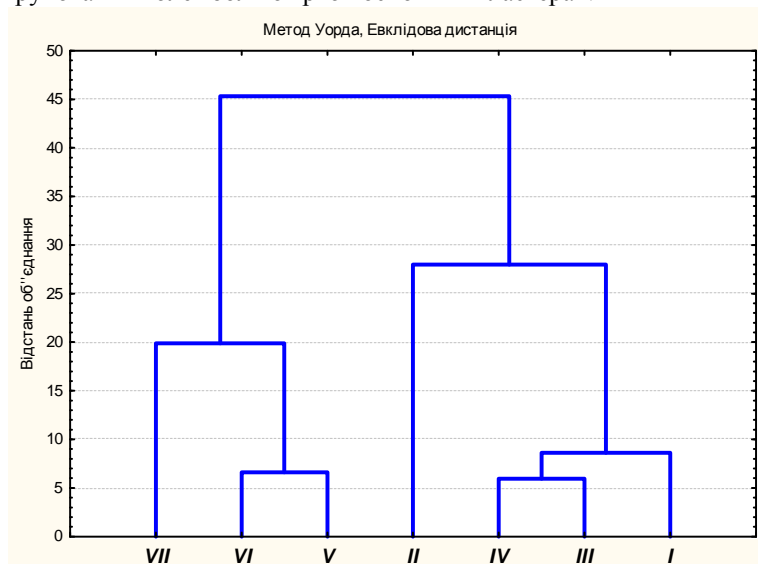


Рис. 1. Кластерний аналіз досліджених біотопів за угрупованнями колембол (для аналізу залучені лише домінантні види). Умовні позначення: *біотопи* I – заплавної дубово-в'язово-ясеневі, II – субпанонські дубово-грабові, III – панонські ксеротермні дубові, IV – ксеротермні субпанонські чагарники, V – субпанонські лучно-степові, VI – низинні лучні, VII – заплавно-лучні.

З літератури відомо, що при незначному порушенні середовища загальна кількість видів в угрупованні зростає (ефект Коннела [27]) за рахунок збільшення числа еврибіонтних, рудеральних і синантропних видів. Однак, подальше посилення такого впливу супроводжується підвищенням рівня домінування декількох видів на тлі випадання із угруповань рідкісних і нечисленних форм (так званих рецентів і субрецентів), які найбільш чутливі до різних порушень середовища. Подібна тенденція була зафіксована в градієнті наростання урбопресу середовища в м. Ужгороді.

Крім того встановлено, що досить чутливими структурними параметрами угруповань колембол до зміни екологічного режиму середовища є спектри біоморф та екогруп. Зокрема, під впливом урбанізації в м. Ужгород і Виноградів зафіксовано різноспрямовані й часто не прогнозовані перебудови біоморфологічної та екологічної структури населення ногохвісток (рис. 2, 3). Урбанізація у найбільших її проявах призводить до випадання із конкретних угруповань певних життєвих форм і

екологічних груп колембол, зменшення відносної чисельності представників підстилково-ґрунтової, верхньогрунтової та кортицикольної біоморф і відповідно збільшення – верхньопідстилкової і глибокоґрунтової (рис. 2). Такий вплив у спектрі екологічних груп викликає збільшення частки чисельності ксерорезистентних колембол і зменшення – гігрофільних. Як видно на рис. 3 у співвідношенні біотопних груп ногохвісток спостерігається збільшення представленості евритопних і лучно-степових форм за рахунок зменшення – лісових і лісо-лучних. Саме тому, в урбоґрунтах можуть формуватися різні типи угруповань колембол – евритопні або спеціалізовані відповідно до класифікації Н.А. Кузнецової [13].

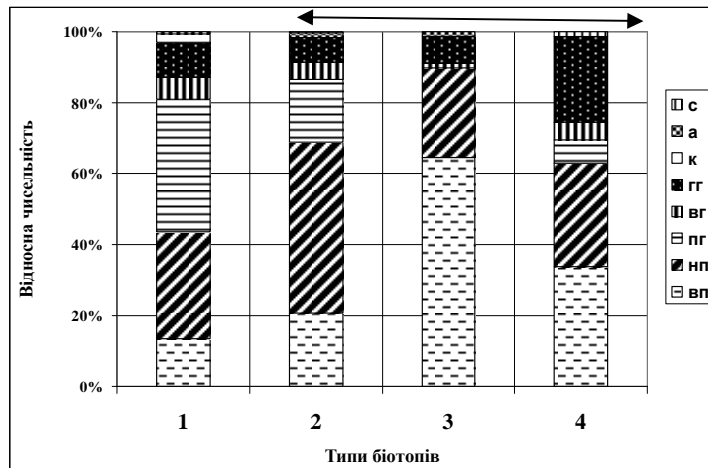


Рис. 2. Вплив урбанізації на спектри життєвих форм колембол. *Біотопи*: 1 – контрольний грабово-дубовий ліс, 2 – парки і сквери, 3 – газони, 4 – виноградник. *Життєві форми*: vp – верхньопідстилкова, np – нижньопідстилкова, pg – підстилково-ґрунтова, vg – верхньогрунтова, gg – глибокоґрунтова, k – кортицикольна, a – атмобіонтна, c – синекорморфна. ←→ – урбанізовані біотопи.

Однак, слід підкреслити, що вибір конкретних популяцій видів або маркерів угруповань колембол для індикації стану ґрунтового середовища залежить від різних причин, зокрема: 1 - типу стресора (фізичний, хімічний, біологічний), 2 - типу індикації (рання, прогностична, попередня, супутня), 3 - періоду дії стресора, 4 - здатності ґрунтової системи протидіяти навантаженням [13].

Ландшафтний рівень біоіндикації. Ландшафт представляє собою мозаїку природних і антропогенно змінених екологічних умов (екотопів). Еталон ландшафту може бути оцінений за характерним для певного регіону природним рослинним покривом, який називають "формою рослинності" [1]. Важливими одиницями еколандшафтного аналізу за Р. Нефом [цит. за 1] є педотоп (ґрунтове середовище) та зоотоп (тваринне населення). При використанні традиційних методів землекористування (дрібні господарства й сільгоспугіддя), що характерні для території Закарпаття, спостерігається високий рівень фрагментації середовища та, як наслідок, просторової диференціації тваринного населення.

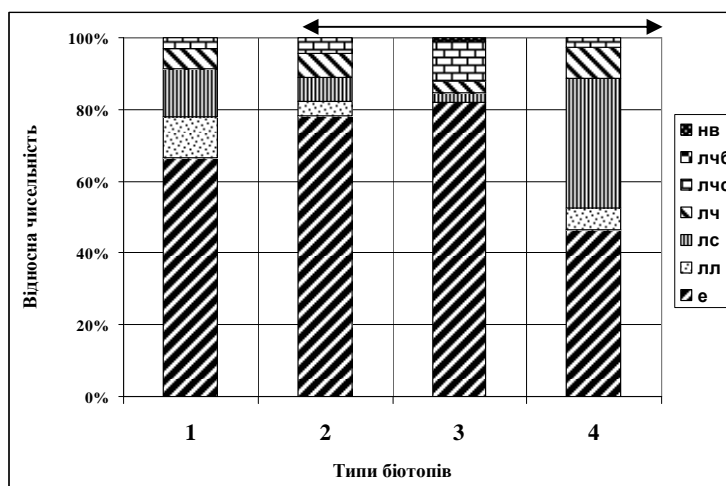


Рис. 3. Вплив урбанізації на спектри біотопних груп колембол. *Біотопи*: 1 – контрольний грабово-дубовий ліс, 2 – парки і сквери, 3 – газони, 4 – виноградник. *Біотопні групи*: е – евритопна, лл – лучно-лісова, лс – лісова, лч – лучна, лчс – лучно-лісова, лчб – лучно-болотна, нв – навколоводна. ←→ – урбанізовані біотопи.

Метод біоіндикації на ландшафтному рівні може вирішувати такі завдання як аналіз інтенсивності різних форм антропогенного навантаження на ландшафт, виявлення природного потенціалу ландшафту і допустимого навантаження на окремі його складові, а також визначення оптимальної мережі природоохоронних територій [1].

Актуальними завданнями біоіндикації на ландшафтному рівні залишаються: 1) оцінка ступеня і напрямків антропогенних перетворень ландшафту і 2) описання структурних змін угруповань живих організмів у градієнтах антропогенних факторів середовища [1]. В результаті таких досліджень можна прогнозувати зміни педобіоти й екологічних параметрів ґрунту при різних сценаріях розвитку господарства та управляти цими змінами в майбутньому.

Найбільш перспективним підходом до класифікації внутрішньої структури ландшафту, на думку багатьох вчених, є оцінка гемеробності (окультуреності) екосистем [1, 20]. Він дозволяє об'єктивно оцінити зміни екологічної цілісності ландшафту та його частин (ґрунту, рослинності, тваринного населення тощо), а також врахувати напрями й інтенсивність господарського використання території.

Досліджені одиниці гемеробної серії біотопів можуть переходити одна в іншу під впливом зміни їхньої окультуреності, тобто інтенсивності використання середовища. Аналіз розподілу досліджених біотопів за шкалою гемеробності, а також структури угруповань колембол чи окремих видів за екологічною амплітудою гемеробності, дозволяють провести індикацію змін екологічної цілісності ландшафту та його частин. Беручи до уваги домінуючі напрями та інтенсивність господарського використання Закарпатської низовини, можна прогнозувати динаміку внутрішньо-ландшафної структури цього регіону, сприяти покращенню екологічної цінності ґрунтового покриву, забезпечити збереження особливо цінних із природничої точки

зору ландшафтів, а також виділяти ділянки з низькою якістю ґрунту для забудови або інших форм господарювання.

Для оцінки екологічної цінності ґрунтового покриву за населенням колембол у ландшафтній структурі Закарпатської низовини, нами використано модифікований показник ІЕЦ (індикатор екологічної цінності ґрунту) [1].

Нами було обчислено значення показника ІЕЦ для усіх досліджених біотопів Закарпатської рівнини. Результати проведеної роботи наведено в таблиці 2. Як видно з цієї таблиці, досліджено 5 типів біотопів за рівнем окультуреності від метагемеробних до олігогемеробних (крім агемеробних). На території рівнинної частини Закарпаття практично не залишилось непорушених людиною біотопів (агемеробних). Встановлено, що отримані значення індексу ІЕЦ варіюють у широкому діапазоні (0,3 – 99,8) та залежать як від рівня гемеробності біотопу, так і від основних параметрів таксоцену колембол. Найменші значення цього показника зафіксовано в дуже змінених урбогенних біотопах (теплиці, міських газонах та винограднику), а найбільші – в природних оліго- та мезогемеробних біотопах. Середні значення цей показник демонструє в едафотопіях під міськими парками та скверами.

Соціологічна оцінка біорізноманіття ґрунтів. За рівнем різноманіття ґрунтові тварини є однією із основних груп у наземних екосистемах, оскільки на їх частку припадає близько 95% видового багатства і маси тварин, які населяють ландшафт [10, 22]. Серед різних напрямів ґрунтової екології можна виділити дослідження, пов'язані з природоохоронною діяльністю, які дозволяють оцінити перспективність використання педобіоти для охорони ґрунтів [28, 34].

Створення ефективної системи охорони ґрунтової фауни є можливим при дотриманні двох основних принципів. Перший принцип – це цілісна охорона екосистем, а не окремих їхніх компонентів, оскільки контроль за кожним видом є неможливим. При цьому, потрібно враховувати, що кожному типу ґрунтів відповідає певний комплекс тварин. Другий принцип – це створення спеціальної мережі ґрунтових екосистем, що охороняються у різних регіонах [9, 10].

Давно відомо, що метод видової охорони ґрунтових тварин не є ефективним для збереження природного різноманіття педобіоти [8, 24, 17]. Незважаючи на це, до останнього видання "Червоної книги України" занесено 2 види колембол *Morulina verrucosa* та *Tetrodontophora bielanensis*, а також низку інших представників ґрунтової фауни [21]. Цей факт можна розглядати як один із способів привернути увагу науковців і працівників природоохоронних установ до вивчення цієї багатой в таксономічному плані групи педобіонтів.

На сьогодні, за даними І.Я. Капруся [7], в межах території України відомо 574 види колембол. Однак, як вважає автор, потенційне видове різноманіття колембол може досягати на цій території не менше 800 видів. Крім того, представники класу Collembola мають повсюдне поширення і живуть у різних типах екологічних умов. Тому, використання цієї групи тварин для вирішення соціологічних завдань в регіональному масштабі є вельми перспективним.

Найефективнішим методом охорони ґрунтових організмів, в тому числі й колембол, є збереження біотопів у яких вони живуть [8, 17, 32]. Такий метод пасивної охорони дозволяє зберегти більшість стенотопних видів ґрунтової фауни, які приурочені до специфічних умов життя. Однак, для цього необхідно знати особливості просторового розподілу різноманіття педобіоти, наявність у складі

конкретних угруповань рідкісних і унікальних видів, межі стійкості природних угруповань до антропогенних впливів, а також трофічну структуру локальних педозоокомплексів, які забезпечують функціонування ґрунтових екосистем.

Таблиця 2

Характеристика рівня гемеробності та значення показника ІЕЦ за угрупованнями колембол для досліджених біотопів

Біотоп	Гемеробність, (бали)	ІЕЦ
<i>Природні або напівприродні біотопи</i>		
Заплавних дубово-в'язово-ясеневих лісів	Олігогемеробна, (5)	79,4
Субпанонських дубово-грабових лісів	Олігогемеробна, (5)	61,5
Панонських ксеротермних дубових лісів	Олігогемеробна, (5)	99,8
Ксеротермних субпанонських чагарників	Олігогемеробна, (5)	70,1
Субпанонських лучних степів	Олігогемеробна, (5)	63,2
Низинних викошуваних лук	Мезогемеробна, (4)	85,5
Заплавних лук	Мезогемеробна, (4)	74,4
<i>Антропогенно змінені біотопи</i>		
Гідромеліорована лука	Мезогемеробна, (4)	89,2
Боздоський парк	Еугемеробна (3)	30,1
Парк культури "Ж. Перені"	Еугемеробна (3)	22,6
Сквер "Петефі"	Еугемеробна (3)	32,4
Газон на проспекті Свободи м. Ужгорода	Еугемеробна (3)	5,2
Газон на набережній р. Уж м. Ужгорода	Еугемеробна (3)	3,6
Виноградник на околиці м. Ужгорода	Полігемеробна (2)	10,6
Теплиця ботанічного саду м. Ужгорода	Метагемеробна (1)	0,3

Примітка: ІЕЦ - індикатор екологічної цінності ґрунту.

Рідкісні та унікальні види ґрунтових тварин є найціннішим еколого-фауністичним ресурсом. Вони можуть свідчити про історію регіональної фауни, рівень натуральності як угруповань, так і біотопів, а також наявний біотичний потенціал ґрунтів. Ці види можна розглядати як біоіндикатори природоохоронної цінності

ґрунтової біоти в конкретних едафотопях. Вони можуть допомогти збереженню багатьох інших, в тому числі, й поки-що невідомих для науки таксонів безхребетних, що разом з ними співіснують. Такі види в спеціальній літературі прийнято називати "видами-мішенями" [24]. Тому виявлення біотопів, в яких живуть цінні види безхребетних, є першочерговим завданням для спеціалістів зоологів, які вивчають ґрунтову фауну. Це дозволить локалізувати осередки підвищеного різноманіття ґрунтової біоти, інвентаризувати найцінніші з природничої точки зору її елементи, а також розробити пропозиції для оптимізації регіональної природоохоронної мережі.

До цінних елементів ґрунтової фауни нами пропонується віднести такі категорії таксонів: 1) види з "Червоної книги України", 2) види в типових оселищах (loci typici), 3) ендемічні карпатські і східно-карпатські види, 4) реліктові таксони, 5) локально поширені монтанні види, 6) пограничноареальні види в районі дослідження, 7) диз'юнктивні зоогеографічні елементи (найчастіше борео-монтанні), а також 8) рідкісні види, що відомі з кількох місць у світі.

До першої групи видів колембол в дослідженому регіоні можна віднести *Tetrodontophora bielanensis*, *Morulina verrucosa*, другої – *Neonaphorura zakarpatica*, *Spinonychiurus ephiusus*, *Tetracantella pericarpatica*, третьої - *Superodontella huculica*, *Anurida carpatica*, *Orthonychiurus rectopapillatus*, *Onychiuroides igori*, *Endonura incolorata*, четвертої - *Heteraphorura carpatica*, *Plutomurus carpathicus*, *Oncopodura crassicornis*, п'ятої - *Protaphorura saltuaria*, *Pseudachorutes vasylii*, *Superodontella montemaceli*, *Kalaphorura carpenteri*, *Kalaphorura paradoxa*, шостої - *Xenylla uniseta*, *Neanura minuta*, *Isotomurus stepposus*, сьомої - *Tomocerina minuta*, *Orchesella orientalis*, *Friesea afurcata*, восьмої - *Willemia virae*, *Jevania weinera*, *Deuteraphorura frassassii*, *Subisotoma pomorskii*, *Pseudosinella noseki*, *Pratanurida cassagnau*, *Pseudosinella moldavica*.

Як показали наші дослідження, до особливо цінних з природничої точки зору біотопів Закарпатської рівнини належать фрагменти панонського ксеротермного дубового лісу, субпанонського лучного степу і ксеротермного субпанонського чагарника на Чорній горі біля м. Виноградово. У них виявлено найвище таксономічне різноманіття ґрунтових колембол та цілу низку цінних фауністичних елементів.

Сьогодні в літературі активно обговорюється проблема створення спеціальних заповідників для збереження комплексів ґрунтової біоти, які характерні для певних типів ґрунтів, а також ендемічних видів ґрунтових організмів [17, 28]. Існують різні думки про те, якими мають бути розміри таких заповідників. Однак, відповідь на це питання не може бути отримана без врахування ценотичного й ландшафтного розподілу ґрунтових організмів на конкретних територіях. Дуже важливо виявляти ті частини ландшафту, де резервується високе різноманіття ґрунтових організмів, а також "рефугіуми" концентрації ендемічних, реліктових й інших категорій рідкісних таксонів.

Існування стабільних популяцій ґрунтових тварин і їх комплексів визначається так званім "простором функціонування", в якому можна знайти необхідні ресурси, в тому числі просторові, де різні організми здатні переживати несприятливі екологічні умови [17]. Більшість видів ґрунтових тварин існують у вигляді метапопуляцій, для збереження яких необхідні так звані кластерні заповідники, що враховують регіональну й внутрішньоландшафтну мозаїку просторового розподілу видів або комплексів педобіонтів [29].

Оцінка екосистем за ступенем гемеробності дозволяє охороняти території з різною екологічною структурою ландшафту і вилучати з природоохоронної мережі ділянки з низькою біологічною якістю ґрунтів. Агемеробні й олігогемеробні території з високим або специфічним різноманіттям педобіоти заслуговують першочергової уваги на статус природоохоронних. В окремих випадках варто розглянути питання про охорону мезо- та еугемеробних ділянок ґрунту, якщо вони містять рідкісні фауністичні елементи або унікальні за структурою функціональні комплекси педобіонтів.

Висновки

Таким чином, на підставі проведених досліджень запропоновано 8 біомаркерів екологічної якості ґрунтів (біотичний індекс середовища D_i , індикатор екологічної цінності ґрунту ІЕЦ, індекс біотопної приуроченості Песенка F_{ij} , структура домінування і склад домінантних видів, спектри життєвих форм та екологічних груп, а також таксономічний спектр із шести найбагатших видами родин колембол).

В результаті аналізу біотичного індексу середовища (D_i) з'ясовано, що в антропогенно порушених біотопах дослідженого регіону відбуваються зміни структури угруповань колембол на 51-87%, порівняно з контролем. На шкалі екологічного стану ґрунтового середовища вони відповідають інтегральним оцінкам "незадовільний" і "катастрофічний". Під впливом урбанізації та гідромеліорації зафіксовано також заміщення спеціалізованих видів колембол на евритопні.

Встановлено, що індекс ІЕЦ добре відображає ступінь антропогенного навантаження на ґрунтові екосистеми та їх окультуреності. Цей біомаркер може бути використаний для індикації ґрунтового середовища на ландшафтному рівні з метою виявлення біотичного потенціалу різних типів ґрунтів і допустимих норм антропогенного навантаження на них, а також визначення потенційних територій для охорони біорізноманіття ґрунтів.

Запропоновано вісім хорологічно-фауністичних категорій для оцінки природоохоронної цінності ґрунтової біоти в конкретних біотопах: 1 - види з "Червоної книги України", 2 - в типових оселищах, 3 - ендемічні карпатські і східно-карпатські, 4 - реліктові, 5 - локально поширені монтанні, 6 - пограничноареальні в районі дослідження, 7 - з диз'юнктивним ареалом, 8 - рідкісні, а також 31 індикаторний вид колембол для оцінки раритетності їхніх угруповань.

1. Биоиндикация загрязнений наземных экосистем / ред. Р. Шуберт / пер. с нем. – М.: Мир, 1988. – 350 с.
2. Гиляров М.С. Почвенные беспозвоночные как индикаторы почвенного режима и его изменений под влиянием антропогенных факторов / М.С. Гиляров // Биоиндикация состояния окружающей среды Москвы и Подмосковья. – М.: Наука, 1982. – С. 8-12.
3. Гоблик К.М., Капрусь І.Я. Урбаногенна трансформація угруповань колембол Закарпатської низовини // Природа Західного Полісся та прилеглих територій. – 2015. – № 12. – С. 137-148.
4. Кабиров Т.Р. Использование многоуровневой системы индикации биологической активности почв для оценки эффективности методов биорекультивации нефтезагрязненных территорий: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук: спец. 03.00.16 "Экология" и 03.00.24 "Биотехнология". – Уфа, 2009. - 26 с.

5. Капрусь І.Я. Значення колембол у системі біоіндикації лісових ценозів Карпат // Праці наук. тов-ва ім. Шевченка. – Львів, 1999. – Т. 3. – С. 235-248.
6. Капрусь І.Я. Структура ценоасамблей і біотопний розподіл видів *Collembola* сухостепової підзони України // Наук. вісн. Ужгород. ун-ту. Серія Біологія. – 2011. – Вип. 31. – С. 5-15.
7. Капрусь І.Я. Хорологія різноманіття колембол (філогенетичний, типологічний і фауністичний аспекти): Автореф. дис. ... д-ра біол. наук: спец. 03.00.08 "Зоологія". – К., 2013. – 41 с.
8. Капрусь І.Я., Козловський М.П. Проблеми вивчення та охорони біорізноманіття ґрунтових тварин // Дослідження басейнової екосистеми Верхнього Дністра. Зб. наук. праць. – Львів, 2000. – С. 184-190.
9. Криволицкий Д.А. Почвенная фауна в экологическом контроле. – М.: Наука, 1994. – 268 с.
10. Криволицкий Д.А., Покаржевский А.Д., Сизова М.Г. Почвенная фауна в кадастре животного мира. – Ростов-на-Дону: Изд-во Ростов. ун-та, 1985. – 96 с.
11. Кіш Р., Мандрик Є., Мірутенко В. Біотопи Natura 2000 на Закарпатській низовині. – Ужгород: Мистецька Лінія, 2006. – 64 с.
12. Количественные методы в почвенной зоологии / [Бызова Ю.Б., Гиляров М.С., Дунгер В. и др.]; под ред. М.С. Гилярова. – М.: Наука, 1987. – 287 с.
13. Кузнецова Н.А. Организация сообществ почвообитающих коллембол. – М.: ГНО Прометей, 2005. – 244 с.
14. Мелецис В.П. Биоиндикационное значение коллембол (*Collembola*) при загрязнении почвы березняка-кисличника индустриальной кальцийсодержащей пылью // Загрязнение природной среды кальцийсодержащей пылью. – Рига: Зинатне, 1985. – С. 149-209.
15. Методы почвенно-зоологических исследований / [Под общ. ред. М.С. Гилярова]. – М.: Наука, 1975. – 277 с.
16. Песенко Ю.А. Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях / Ю.А. Песенко. – М.: Наука, 1982. – 287с.
17. Покаржевский А.Д., Гонгальский К.Б., Зайцев А.С., Савин Ф.А. Пространственная экология почвенных животных. – М.: Тов-во научн. изданий КМК, 2007. – 174 с.
18. Стебаева С.К. Жизненные формы ногохвосток (*Collembola*) // Зоол. журн. – 1970. – Т. 44, № 10. – С. 1437-1454.
19. Степанов А.М. Методология биоиндикации и фоновый мониторинг экосистем суши // Экотоксикология и охрана природы. – М., 1988. – С. 28-108.
20. Туровцев В.Д., Краснов В.С. Биоиндикация: Учеб. пособие. – Тверь: Твер. гос. ун-т, 2005. – 260 с.
21. Червона книга України. Тваринний світ / [за ред. І.А. Акімова]. – К.: Глобалконсалтинг, 2009. – 600 с.
22. Чернов Ю.И. Экология и биогеография. Избранные работы. – М.: Тов-во научн. изданий КМК, 2008. – 580 с.
23. Чеснокова С.М. Биологические методы оценки качества объектов окружающей среды: учебное пособие. В 2 частях. Ч.1. Методы биоиндикации. – Владимир: Изд-во Владимир. гос. ун-та, 2007. – 84 с.
24. Чернобай Ю.М., Капрусь І.Я. Сучасні проблеми і методи охорони педобіонтів // Роль природозаповідних територій Західного Поділля та Юри Ойцовської у збереженні біологічного та ландшафтного різноманіття. Зб. наук. праць. – Тернопіль: Лілея, 2003. – С. 547-549.
25. Шрубович Ю.Ю. Формування населення ґрунтових ногохвісток (*Collembola*) урбанізованих екосистем м. Львова: Автореф. дис. ... канд. біол. наук: спец. 03.00.16 "екологія". – Чернівці, 2002. – 17 с.
26. Bellinger P.F., Christiansen K.A., Janssens F. 1996-2014. Checklist of the *Collembola* of the World [Electronic resource]. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.collembola.org>
27. Connel J.H. Diversity in tropical rainforest and coral rifs // Sciences. – 1978. – Vol. 1999. – P. 1302-1310.

28. Decaëns T., Jimenez J.J., Gioia C., Measey G.J., Lavelle P. The values of soil animals for conservation biology // *European Journal of Soil Biology*. – 2006. - Vol. 42. – P. 23-38.
29. Hanski I. The shrinking world: Ecological consequences of habitat loss. – Oldendorf: International Ecology Institute, 2005. – 307 p.
30. Kaprus' I.J. Reaction of *Collembola* communities to anthropogenic substitution of forests in the Upper Dnister Basin (Eastern Beskidy) // *Roczniki Bieszczadzkie*. – 1999. – Vol. 8. – P. 257-270.
31. Magurran A.E. Measuring Biological diversity. – Blackwell Publishing company, 2004. – 256 p.
32. Pawłowski J. Sprawozdanie z dyskusji nad problemami ochrony bezkręgowców i ich środowisk życiowych ze szczególnym uwzględnieniem gatunków rzadkich i zagrożonych // *Roczniki Bieszczadzkie*. – 1999. - № 8. – P. 68-73.
33. Stöcker G., Bergmann A. Ein Modell der Dominanzstruktur und seine Anwendung. 1. Modellbildung, Modellrealisierung, Dominanzklassen // *Arch. Naturschutz u. Landschaftsforschung*. - 1977. – Vol. 17, № 1. – P. 1-26.
34. Yoccoz N.G., Nichols J.D., Boulinier T. Monitoring of biological diversity in space and time // *Trends in Ecology and Evolution*. – 2001. – Vol. 16. – P. 446-453.

Державний природознавчий музей НАН України, Львів
e-mail: i-kaprus@mail.ru

Капрусь І.Я., Гоблик К.М.

Экологическая и созологическая оценка почв Закарпатской низменности с использованием сообществ коллембол

Оценены возможности использования группировок коллембол для зооиндикации почв Закарпатской низменности. Предложено 8 биомаркеров экологического качества почв (биотический индекс среды Di, индикатор экологической ценности почвы ИЭЦ, индекс биотопной приуроченности Песенка Fij, структура доминирования и состав доминантных видов, спектры жизненных форм и экологических групп, а также таксономический спектр из шести самых богатых видами семейств коллембол). Выделено восемь фаунистических категорий для оценки природоохранной ценности почвенной биоты в конкретных биотопах: 1 – виды из "Красной книги Украины", 2 – в типичных местообитаниях, 3 – эндемические карпатские и восточно-карпатские, 4 – реликтовые, 5 – локально распространенные горные, 6 – на границе своего ареала в районе исследования, 7 – с дизъюнктивным ареалом, 8 – редкие, а также 31 индикаторный вид коллембол для оценки раритетности их группировок.

Ключевые слова: *Collembola*, зооиндикация, биомаркеры, охрана биоразнообразия почв.

Kaprus' I.J., Goblyk K.M.

Ecological and sozological evaluation of soils of the Transcarpathian Lowland with using Collembola communities

The evaluation of the possibility of using Collembola communities for zooindeication of soils of the Transcarpathian Lowland was conducted. Eight biomarkers of ecological quality of soil were proposed (Di biotic index of environment, IEVS indicator of ecological value of the soil, Pesenko Fij index, dominance structure and composition of dominant species, spectra of life forms and biotopic groups, as well as the taxonomic relation of the six most rich families of Collembola). Eight faunistic categories for evaluation of sozological value of soil biota in concrete habitats were separated: 1 – species from the "Red Book of Ukraine", 2 – in typical habitats, 3 – Carpathian and Eastern Carpathians endemics, 4 – relic taxa, 5 – mountain locally distributed species, 6 – species on the border of their distribution in the study area, 7 – species with disjunct areas, 8 – rare taxa and 31 indicator species of Collembola for the evaluation of rarity their communities.

Keywords: *Collembola*, zooindeication, biomarkers, protection of soil biodiversity.