

МЕТОДОЛОГІЧНІ ПІДХОДИ ДО СТВОРЕННЯ ІНТЕГРОВАНОГО СИНФІТОІНДИКАЦІЙНОГО ПОКАЗНИКА АНТРОПОГЕННОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ

Хом'як І.В., Василенко О.М., Гарбар Д.А., Андрійчук Т.В., Костюк В.С., Власенко Р.П., Шпаковська Л.В., Демчук Н.С., Гарбар О.В., Онищук І.П., Коцюба І.Ю.
Житомирський державний університет імені Івана Франка
вул. Велика Бердичівська, 40, 10008, м. Житомир
ecosystem_lab@ukr.net

Експлуатація та охорона екосистем неможливі без прогнозування їхньої динаміки. Зміни в екосистемах зумовлені внутрішніми та зовнішніми впливами. Це складна взаємодія численних факторів, визначати кожен із них та здійснювати постійний моніторинг – надзвичайно складне завдання. Особливо складним для вивчення та прогнозування впливів є антропогенний фактор. Під цією узагальнювальною назвою сховано велику кількість різноманітних впливів на екосистему, спричинених діяльністю людини. Зростаючі спроможності людства збільшують її потенціал змінювати екосистеми. Це робить потребу в дослідженнях антропогенної трансформації екосистем надзвичайно актуальною. Цій проблемі приділялося багато уваги починаючи із середини ХХ століття. Г.П. Блюме, Г. Сукопа та Е. Вайнер запровадили розподіл біосистем на шість класів за антропоотолерантністю. У результаті численних спроб вдосконалити систему визначення гемеробії розробили 18-бальну шкалу Дідуха – Хом'яка. Однак використання набору ознак обраних видів людської діяльності створює низку технічних труднощів та знижує точність і універсальність методу.

Оскільки, біосистеми різного рівня організації реагують на антропогенний фактор аналогічно до інших, то ця реакція описується кривою нормального розподілу. Це дає змогу використати метод синфітоіндикації для визначення антропогенної трансформації. Через поєднання присутності певних видів у досліджуваній екосистемі та врахування їхнього проективного покриття ми можемо отримати якісні результати моніторингу. Такий підхід дає змогу визначати рівень антропогенної трансформації з точністю до сотої бала за 18-бальною шкалою Дідуха – Хом'яка.

Реакція екосистем на більшість антропогенних впливів є системною. Незважаючи на їхню високу різноманітність, здебільшого діяльність людини викликає однотипову відповідь в екосистемах. Це дає можливість інтегрувати всі впливи в межах одного показника. За його допомогою ми можемо будувати більш досконалі моделі динаміки екосистем і створювати прогнози більш прийнятної точності. Такі прогнози доцільно використовувати під час планування використання природних ресурсів чи запровадження природоохоронного режиму. *Ключові слова:* антропогенна динаміка, гемеробія, прогнозування, моделювання.

Methodology of make an integrated synphytoindication indicator of anthropogenic transformation of ecosystems. Khomiak I., Vasylenko O., Harbar D., Andriichuk T., Kostyuk V., Vlasenko R., Shpakovska L., Demchuk N., Harbar O., Onyshchuk I., Kotsiuba I.

We have to make predictions of the ecosystems dynamics for their exploitation and protection. Changes in ecosystems are caused by internal and external influences. The complex interaction of many environmental factors is the cause of changes in ecosystems. It is difficult to organize the monitoring of these changes. The study and forecasting of anthropogenic transformation of ecosystems is the most difficult task of ecology. Anthropogenic transformation of ecosystems is caused by numerous various influences of the person on environment. Human capabilities are growing rapidly. This increases its ability to modify ecosystems. Human capabilities environmental change makes the study of anthropogenic transformation of ecosystems to date. Environmentalists have been studying this problem since the middle of the twentieth century. G.P. Blume, G. Sukop and E. Weiner divided biosystems into six classes of anthropotolerance. Scientists have made many attempts to improve the methodology for determining anthropotolerance. J.P. Didukh and I.V. Khomiak improved the method and made 18 points-scale of anthropogenic transformation of ecosystems. Using a set of features, selected types of human activity, creates many difficulties. This reduces the accuracy and versatility of the method. Biosystems of different levels of organization respond to the anthropogenic factor as well as to others. This reaction is described by a normal distribution curve. We can use the method of synphytoindication to determine the size of anthropogenic transformation of ecosystems. We can get quality monitoring results during use a combination of the presence of certain species in the studied ecosystem and their projective coverage. This approach allows to determine the size of the anthropogenic transformation to the hundredth point on an 18-point Diduch – Khomiak scale. Ecosystems respond to most anthropogenic influences as a system. Human activity causes the same type of response in the ecosystem in most cases. This allows you to integrate all human activities into one indicator. We can build better models of ecosystem dynamics and make predictions of more acceptable accuracy with it. We can use these forecasts when planning the exploitation of natural resources or implementing a conservation regime. *Key words:* anthropogenic dynamics, hemerobia, forecasting, modeling.

Постановка проблеми. Потреба в точному та уніфікованому способі визначення впливу людської діяльності на екосистеми стосується розробок екологічних теорій та природоохоронної практики. З одного боку, успішна та ефективна охорона й експлуатація природних ресурсів неможлива без базових екологічних те-

орій. Вони, у свою чергу, повинні бути уніфікованими та створювати єдину систему описану за допомогою математичних моделей. З іншого боку, взаємодія соціуму з довкіллям не можлива без прогнозування її наслідків. Останнє вимагає інтегрування системи визначення різнопланових впливів на екосистеми.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Починаючи із другої половини ХХ століття було не мало спроб створити інтегровану систему оцінки антропогенного впливу. Найбільш яскравим та успішним був досвід сформований Г.П. Блюме, Г. Сукопа та Е. Вайнерта в 70–80-х роках [1; 2]. Застосувавши поняття гемеробія, їм вдалося визначити антропогенний вплив за чутливістю до нього окремих організмів. Тож антропотолерантність була використана ними як індикатор антропогенного впливу на екосистеми. Це давало змогу розділяти екосистеми на групи за їхньою гемеробністю. Однак визначення антропогенної трансформації за класами гемеробії Блюме-Сукопа дає занадто грубу оцінку. У 90-х роках польські дослідники Б. Яцковяк та Й. Хміль і українські вчені Я.П. Дідух та Р.І. Бурда аналізують низку ймовірних підходів до вдосконалення методу Г.П. Блюме та Г. Сукопа [3–5]. Ними розглядається можливість розділення класів на чітку кількість балів та визначення середнього показника за допомогою співвідношення між видами із різним ступенем антропотолерантності. Ця ідея мала продовження в розробці спільно із Яковом Петровичем Дідухом у 2007 році шкали, в якій класи гемеробії оцінюються за конкретними антропогенними факторами із врахуванням активності та глибини антропогенної трансформації [6].

Незважаючи на півстолітній досвід пошуків методів інтеграції, на сьогодні не було створено дієвої концепції визначення інтегрованого показника впливу діяльності людини на довкілля. Глобальні проблеми конфлікту антропогенного тиску на середовище і соціального розвитку та спроби його розв'язання, які лише загострилися на початок ХХІ століття, роблять цю проблему надзвичайно актуальною. Вона напряму пов'язана з численними проектами, щодо охорони та експлуатації екосистем. Це насамперед прогнози наслідків зміни людської діяльності під час розбудови об'єктів ПЗФ та планування організації виробництва.

Мета та завдання дослідження. Метою дослідження був аналіз можливостей для інтеграції різнопланових впливів людської діяльності в єдиний інтегрований показник антропогенної трансформації, що визначається за синфітоіндикаційною методикою.

Матеріали та методи досліджень. Матеріалами дослідження є 3100 стандартні геоботанічні описи, що зберігаються в фітоценотеці лабораторії теорії екосистем Житомирського державного університету імені Івана Франка. Описи створені за стандартною методикою в період із 2004 до 2019 року на території Українського Полісся [7]. Класифікація рослинних угруповань здійснювалася за принципами Браун Бланка на основі Продромусу рослинності України [8; 9]. Класифікація екосистем проводилася на основі едафо-динамічної моделі [10; 11]. Аналіз величин факторів середовища та показник динаміки визначався за синфітоіндикаційною методикою [11; 12]. Для едафічних і мікрокліматичних факторів використовувалися уніфіковані шкали Дідуха – Плюти, для показника антропогенної трансформації – шкала Дідуха – Хом'яка, для показника динаміки шкалу розроблену в лабораторії теорії екосистем [6; 13–15]. Обробка даних здійснювалася за допомогою пакету програм Simargl 1.12 [16].

Виклад основного матеріалу. Аналіз спроб створення інтегрованого показника антропогенної трансформації вказує на те що успіху частіше добивалися ті, хто використовував схему, де визначається не сам фактор, а реакція живих систем різного рівня організації на викликані ним зміни середовища (рис. 1).

Відомо, що велика кількість факторів антропогенного впливу спричиняє значну кількість різнопланових змін в екосистемах. Живі системи різного рівня, намагаючись зберегти гомеостаз, адаптуються до цих трансформацій. Сюди належать як відхилення у фізіології чи морфології окремих організмів, так і реакції вищого порядку. Наприклад, популяції реагують на антропогенну трансформацію як і на інші фактор середовища. Відбувається перерозподіл чисельності або проективного покриття представників ценопопуляції залежно від їхніх меж толерантності до цих факторів. На рівні біоценозів та екосистем відбувається перерозподіл видового складу та зміни упакування еконіш.

Вплив окремих факторів на екосистеми неможливо аналізувати лише через їхню сумарну дію. Відбуваються системні зміни, зумовлені антропогенним впливом, спричиняють домінування видів із різним ступенем толерантності до людської діяльності. Отже, ми можемо визначати величину антропоген-

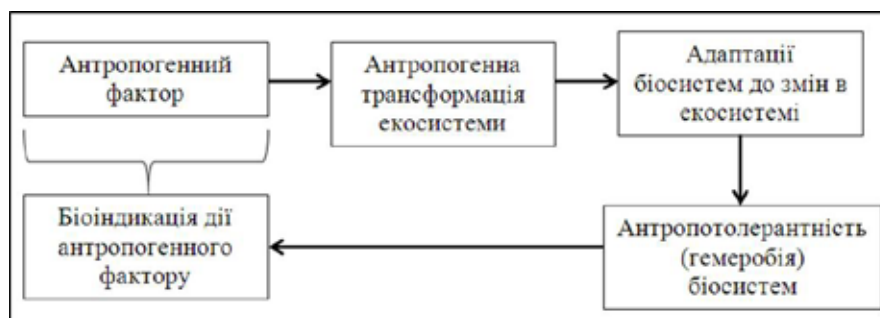


Рис. 1. Принципова схема інтегрованої синфітоіндикації антропогенного впливу

ного фактора через присутність або співвідношення між видами із різною антропоотолерантністю.

Здебільшого людська діяльність супроводжується різними видами впливу на енергетичні показники екосистем і характеристики її едафотопу. Ми спостерігаємо зниження запасів фітомаси через вплив температурного шоку, виведення її за межі екосистеми та формування незаселених представниками біоти субстратів. Водночас чверть випадків супроводжується закономірною зміною співвідношення біоморф автотрофів, що відображається у співвідношенні між блоками надземної фітомаси різного віку. Як виняток, випадки обумовлені зміною водного режиму, запровадження заповідного режиму та насадженнями багаторічників. Перші два випадки діють опосередковано на кількість фітомаси та її вік. Вони здатні запускати та прискорювати процеси автогенної сукцесії, що супроводжують закономірне зростання фітомаси. Насадження багаторічників, що мають біоморфи характерні для більш просунутих стадій автогенної сукцесії впливають аналогічно. В окремих випадках спостерігається порушення едафічних умов, що зміщує стан екосистем ближче до піонерного (гірнична діяльність, рекреація, будівництво, рільництво й випасання домашніх тварин).

Це дає змогу використати зміни фізіономіки фітоценозу та його видового складу, що супроводжують

ці процеси, для встановлення інтегрованого показника антропогенної трансформації. Для змін, які не відповідають цим параметрам, можна використати інші системи ознак (наявність гідротехнічних споруд, культурних та інтродукованих видів, тощо...).

Спираючись на принципи системного підходу ми можемо виділити логічний ланцюг: гемеробія видів → гемеробія угруповань → гемеробія екосистем. Тут гемеробія і антропоотолерантність є синонімами [17]. Опираючись на класичне визначення це здатність організмів (у нашому випадку – рослин) перебувати та функціонувати у змінених до певної міри людиною екотопів. Це робить гемеробію індикаторним фактором для визначення ступеня антропогенної трансформації.

Для цього ми можемо застосовувати принципи закладені спільно із Я.П. Дідухом у 2007 році [6]. На першому етапі використовуються діагностичні ознаки, обумовлені різними видами і різною глибиною антропогенної трансформації екосистем. Силу впливу кожного чинника розділена на три категорії із своїм набором діагностичних ознак. Кожна із них має свій набір діагностичних ознак (табл. 1). Це дає змогу створити 18-бальну шкалу, яка непогано зарекомендувала себе в останнє десятиліття. Вона не потребує дроблення чи генералізації.

Однак за такими візуальними загальними ознаками ми не можемо отримати більш точний резуль-

Таблиця 1

Діагностичні ознаки різних видів діяльності людини

Вид діяльності	Сила впливу	Характеристика трансформації екосистеми	Оцінка впливу в балах	Діагностичні ознаки
1	2	3	4	5
Будівництво	Слабкий	Створення незаселених біотою субстратів	10–12	Риття канав, котлованів, та інших об'єктів, без значних змін едафотопу
	Помірний		13–15	Зведення постійних споруд доступних для заселення біотою
	Сильний		16–18	Типові житлові та індустріальні об'єкти
Гірнична діяльність	Слабкий	Створення незаселених біотою субстратів та порушення структури ґрунту	9–11	Утворення об'єктів із вмістом ґрунту
	Помірний		12–14	Оголення рихлих гірських порід
	Сильний		15–17	Оголення кристалічних гірських порід
Рільництво	Слабкий	Зміна видового складу та співвідношення біоморф із виносом фітомаси за межі екосистем. Зміна хімічної та механічної структури ґрунту.	7–9	Поверхнєве порушення ґрунту раз на три роки
	Помірний		10–12	1 раз на рік глибиною не більше 5–10 см.
	Сильний		14–15	2–3 рази на рік, включно з глибокою оранкою
Рекреація	Слабкий	Зміна видового складу та співвідношення біоморф із виносом фітомаси за межі екосистем. Зміна хімічної та механічної структури ґрунту.	3–6	Присутність видів класів <i>Plantegenetea majoris</i> та <i>Polygono arenastri-Poëtea annuae</i>
	Помірний		7–12	Домінування видів класів <i>Plantegenetea majoris</i> та <i>Polygono arenastri-Poëtea annuae</i>
	Сильний		13–16	Присутність видів класів <i>Plantegenetea majoris</i> та <i>Polygono arenastri-Poëtea annuae</i>

Закінчення табл. 1

1	2	3	4	5
Випалювання та спонтанні пожежі	Слабкий	Зміна видового складу із виносом фітомаси за межі екосистем. Температурний шок.	5–7	Випалення мортмаси з незначним ушкодженням кори
	Помірний		8–10	Враження травостою і чагарників, кори дерев
	Сильний		11–13	Знищення всіх наземних рослин
Випасання домашніх тварин	Слабкий	Зміна видового складу та співвідношення біоморф із виносом фітомаси за межі екосистем. Зміна хімічної та механічної структури ґрунту	5–6	Не більше ніж 1–2 дні на рік
	Помірний		7–9	Більше ніж 2–3 рази на рік
	Сильний		10–11	Протягом всього сезону випасання
Викошування та вирубка	Слабкий	Зміна співвідношення біоморф із виносом фітомаси за межі екосистем.	5–6	Вирубка 1–2 дерев на гектар або викошування не більше 1 разу на три роки
	Помірний		7–8	Проведення санітарних рубок або викошування не більше 1 разу на рік
	Сильний		10–11	Винищення всіх дерев 1–2 ярусів або викошування більше 3 рази на рік
Збір диких організмів	Слабкий	Зміна видового складу із виносом фітомаси за межі екосистем.	5–6	Наявність видів, які є об'єктами традиційного збору, на території яка не належить до заповідного фонду, але інформація про збір відсутня
	Помірний		7–9	Ведеться регулярний збір видів (в тому числі рибальство і полювання) в межах визначених природоохоронним законодавством.
	Сильний		10–11	Збір організмів привів до їх винищення або зменшення чисельності до 50 %.
Зарегулювання течії	Слабкий	Зміна водного режиму	2–4	Зупинка течії в періоди зниження кількості опадів
	Помірний		5–6	Утворення ставків із регульованих скидом води
	Сильний		7–9	Повне постійне перекриття руху води
Осушування	Слабкий	Зміна видового складу із зміною водного режиму	7–9	Старі меліоративні об'єкти
	Помірний		10–12	Меліоративні дії з незначними змінами едафотопу
	Сильний		14–15	Новоутворені меліоративні об'єкти
Насадження	типових видів	Зміна видового складу та співвідношення біоморф	7–8	Насадження автохтонних видів.
	інтродуктив І типу		9–10	Інтродукція не інвазійних видів
	інтродуктив ІІ типу		11–12	Інтродукція інвазійних видів трансформерів
Заповідання	Слабкий	Зниження дії екзогенних факторів	6–9	Відсутні ознаки теперішньої діяльності людини.
	Помірний		4–6	Присутні лише опосередковані ознаки діяльності людини в минулому.
	Сильний		1–3	Відсутні будь-які ознаки діяльності людини

тат. Ми були б вимушені значно збільшувати число параметрів, які описують кожен антропогенний вплив та споруджувати складну систему обрахунків для їхньої інтеграції. Це ускладнює та здорожчує

процедуру його визначення, тому доцільніше скористатися реакцією на них популяцій автотрофів.

Ценопопуляції адаптуються до окремих видів діяльності людини, і до їхньої спільної холистичної

дії. Отже, можуть проявляти евритопність чи стено-топність на шкалі гемеробності.

Візьмемо три види, які знаходяться на різних ділянках шкали гемеробії – *Apera spica-venti* (L.) P. Beauv, *Trifolium alpestre* L. та *Stellaria holostea* L.

Apera spica-venti – вид сегетальних екосистемах. Він трапляється в 1,01 % описів. Здебільшого його показники гемеробії коливаються в вузькому діапазоні: від 10 до 12 балів (рис. 2). Лише зрідка він потрапляє на вологі луки при незначних порушення дерну із величиною гемеробії 9 балів. Проективне покриття є основним показником життєвості для ценопопуляцій. На шкалі гемеробії для *Apera spica-venti* вона спостерігається на проміжку між 11 та 12 балами (еугемеробні умови).

Trifolium alpestre – переважно лучний та узлісний вид, описаний у 1,84 % описів. За розподілом величини проективного покриття виду вздовж шкали гемеробії можна припустити про існування двох відмінних ценопопуляцій за цим фактором. Розподіл величини проективного покриття цього виду дозволяє припустити гіпотезу про існування двох дещо відмінних ценопопуляцій (рис. 3). Одна з них займає узлісся, а інша – луки, зокрема рудералізовані порушені луки. На рівні виду показники гемеробії коливаються від 6 до 11 балів. Водночас узлісна ценопопуляція розташована в межах 6–9 балів (оліго- та мезогемеробія). Максимальне проективне

покриття спостерігається в інтервалі 7–8 балів. Лучна ценопопуляція має вужчий діапазон, зміщений дещо вправо – 9–11 балів (мезоеугемеробні екосистеми) з максимумом в межах 9–10 балів.

Водночас можна припустити, що в межах самих узлісь можуть існувати екотопи із різними степенями антропогенної трансформації. Це можна перевірити за допомогою аналізу показників гемеробії в межах конкретних елементарних екосистем. Ми спостерігаємо максимальні значення в межах екосистем із автотрофним блоком у вигляді асоціації *Geranio sanguinei-Trifolietum alpestris* T. Müller 1962 – 9,39 балів та 9,37 балів.

Типовим представником екосистем із низькими показниками гемеробії є *Stellaria holostea*. Він досліджений із 3,74 % описів нашої фітоценотеки. Вид характеризується вузьким діапазоном показників антропогенної трансформації екосистем – від 5 до 8 балів (оліго- і мезогемеробність) (рис. 4). Максимальні значення проективного покриття розташовані в межах 6–8 балів.

Спираючись на принципи синфітоіндикації [12], ми можемо застосувати таку формулу:

$$HE = \frac{k_1 He_1 + k_2 He_2 + \dots + k_n He_n}{k_1 + k_2 + \dots + k_n}$$

де HE – показник антропогенної трансформації екосистеми; He_1 , He_2 , He_n – величини середини

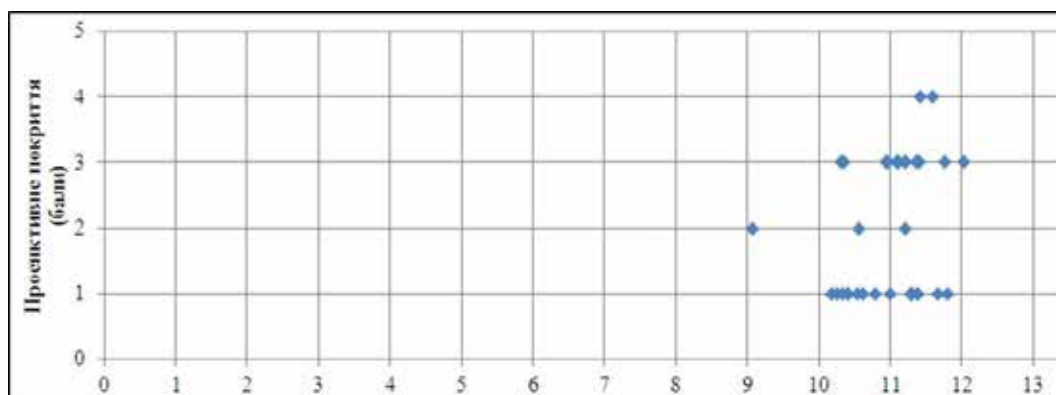


Рис. 2. Залежність проективного покриття *Apera spica-venti* від показників антропогенної трансформації

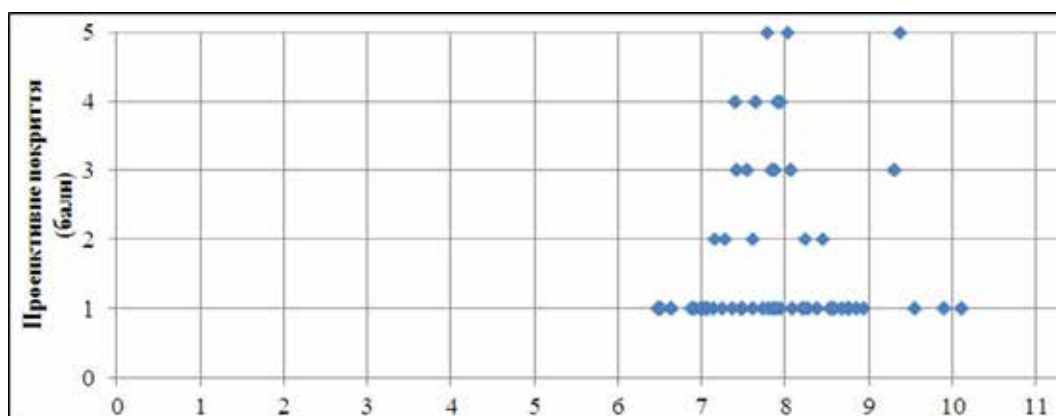


Рис. 3. Залежність проективного покриття *Trifolium alpestre* від показників антропогенної трансформації

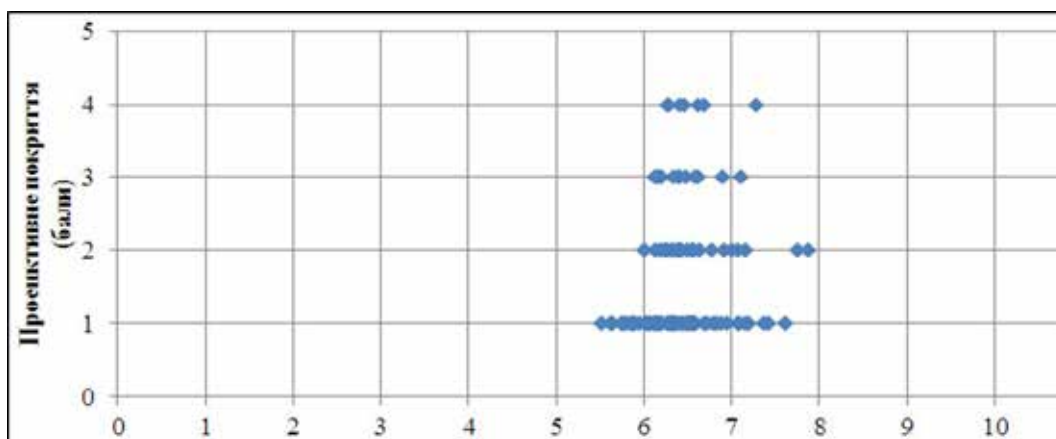


Рис. 4. Залежність проективного покриття *Stellaria holostea* від показників антропогенної трансформації

амплітуди антропоотолерантності видів; n – кількість інформативних видів у описі; k_1, k_2, k_n – проективне покриття видів у балах за оновленою системою Браун-Бланке.

Застосування цього підходу дає змогу обробляти фітоценотичні дані без розширення існуючих геоботанічних описів інформацією про окремі діагностичні ознаки антропогенного впливу на екосистеми. Це створює дієвий інструмент для моніторингу та прогнозування стану екосистем що знаходяться під антропогенним тиском різної сили та типу.

Головні висновки. Біосистеми різного рівня організації життя реагують на антропогенні

впливи, як і на інші чинники навколишнього середовища. Спостерігається пряма дія окремих впливів людини на екосистеми та їхнє холистичне поєднання.

На рівні окремих видів та ценопопуляцій спостерігаються різні амплітуди щодо показників антропогенної трансформації.

Розподіл величини проективного покриття окремих видів вздовж шкали антропогенної трансформації відповідає закону оптимуму. Це дає змогу використовувати стандартний синфітоіндикаційний підхід до встановлення величини антропогенного впливу.

Література

- Blume H.P. Sukopp H. Okologische Bedeutung Anthropogener Boden vergnederungen. *Schr. Reihe Vegetationskunde*. 1976. Т. 10. Р. 75–89.
- Weinert E. Ruderal pflanzen als Umweltzeiger. *Gleditschia*. 1985. № 1. Р. 169–182.
- Chmiel J. Flora roslinnaczyniowich. Atlas rozmieszczenia roslin. – Poznac : Wydwo SORUS, 1993. 212 p.
- Jackowiak B. Antropogeniczne przemiany flora roslin naczyniowych Poznania. Poznac : Wyd-wo UAM. Ser. Biologia, 1993. Wydanie 42. 232 p.
- Бурда Р.І., Дідух Я.П. Застосування методики оцінки антропоотолерантності видів вищих рослин при створенні «Екофлори України». *Український фітоценотичний збірник*. Київ, 2003. № 1. С. 34–44.
- Дідух Я.П., Хом'як І.В. Оцінка енергетичного потенціалу екоотпів залежно від ступеня їх гемеробії на прикладі Словечансько-Овруцького кряжу. *Український ботанічний журнал*. 2007. № 1. С. 235–243.
- Миркин Б.М. Наумова Л.Г., Соломещ А.И. Современная наука о растительности. Москва : Логос, 2001. 264 с.
- Дубина, Д.В., Дзюба, Т.П., Смельянова, С.М. та ін. Продромус рослинності України. Київ : Наукова думка, 2019. 784 с.
- Хом'як І.В., Онишук І.П., Коцюба І.Ю., Брень А.Л., Шкилюк Ю.В. Рецензія на монографічне видання «Продромус рослинності України». *Екологічні науки*. 2020. С. 170–173.
- Khomiak I., Harbar O., Demchuk N., Kotsiuba I., and Onyshchuk I. Above-ground phytomasdynamics in autogenic succession of an ecosystem. *Forestry ideas*. 2019. № 1. Р. 136–146.
- Khomiak I., Onishchuk I., Demchuk N. Phytoindicators of ecosystem dynamics in Ring-banc Ukrainian Polissia. *ScienceRise: Biological Science*. 2018 № 4. Р. 25–30.
- Дідух Я.П., Плюта П.Г. Фітоіндикація екологічних факторів. Київ : 1994. 280 с.
- Хом'як І.В. Особливості антропогенного впливу на природну динаміку екосистем Українського Полісся. *Екологічні науки*. 2018. № 1. С. 69–73.
- Хом'як І.В., Демчук Н.С., Василенко О.М. Фітоіндикація антропогенної трансформації екосистем на прикладі Українського Полісся. *Екологічні науки*. 2018. № 3. С. 113–118.
- Vlasenko R., Khomiak I., Harbar O., Demchuk N. Lumbricidesas a bio-indicators of the influence of electrical transmission line in the conditions of Ukrainian Polissia. *Travaux du Muséum National d'Histoire Naturelle "Grigore Antipa"*. 2020. № 1. Р. 4–18.
- Хом'як І.В., Хом'як Д.І., Нова програма екосистемологічного моніторингу «SIMARGL». *Сучасні проблеми екології та геотехнології*. Житомир : Видавництво ЖДТУ, 2012. С. 76.
- Jalas J. Hemerobe und hemerochore Pflanzenarten. Ein terminologis cher reformversuch. *Acta Soc. Fauna Fl. Fenn*. 1955. № 11. Р. 1–15.