

УДК 911.2:551.58:574(477)

DOI <https://doi.org/10.32782/NSER/2026-2.31>

КАРТОГРАФІЧНЕ ВІДОБРАЖЕННЯ ЗВ'ЯЗКУ МІЖ КЛІМАТИЧНИМИ ЗМІННИМИ ТА БІОРИЗНОМАНІТТЯМ РЕГІОНУ

Костюк Віталій Степанович

кандидат біологічних наук, доцент,
доцент кафедри екології та географії
Житомирського державного університету імені Івана Франка
ORCID ID: 0000-0001-5504-4084

Петруха Ніна Миколаївна

кандидат економічних наук, доцент,
доцент кафедри менеджменту в будівництві
Київського національного університету будівництва і архітектури
ORCID ID: 0000-0002-3805-2215

Петруха Сергій Валерійович

кандидат економічних наук, доцент,
професор кафедри транспорту і логістики
Західноукраїнського національного університету
ORCID ID: 0000-0002-8859-0724

У статті розглянуто особливості просторового взаємозв'язку між кліматичними змінними та показниками біорізноманіття регіону, а також обґрунтовано методичні підходи до їх картографічного зображення. Оцінено рівень та територіальну диференціацію біорізноманіття, розраховано відповідні індекси та встановлено осередки його концентрації на прикладі Карпатського регіону. Проведено просторово-статистичний аналіз взаємозв'язку між кліматичними змінними та показниками біорізноманіття. Реалізовано геоінформаційне моделювання на прикладі Карпатського регіону, що передбачає: створення тематичних карт кліматичних параметрів; побудову карт просторового розподілу біорізноманіття; виконання оверлейного аналізу для виявлення зон найбільш виражених залежностей. Сформовано практичні поради щодо застосування висновків картографічного аналізу у природоохоронному плануванні та регіональних стратегіях пристосування до змін клімату.

Виявлено, що кліматичні чинники виступають головними детермінантами територіальної організації біорізноманіття, окреслюючи границі його розподілу та визначаючи області можливої екологічної небезпеки. Пильну увагу зосереджено на сукупному просторовому аналізі взаємозв'язку кліматичних змінних та індексів біорізноманіття, що дало змогу підсумувати закономірності їх просторової диференціації, знайти ділянки підвищеної екосистемної вразливості та довести необхідність застосування картографічного моделювання як засобу передбачення подальших змін природних систем на прикладі Карпатського регіону.

У висновках обґрунтовано, що кліматичні змінні є ключовими детермінантами територіальної організації біорізноманіття регіону, які формують просторові градієнти видового багатства та обґрунтовують потребу інтегрованого картографічного підходу для оцінювання та прогнозування змін екосистем.

Наукова новизна дослідження полягає у комплексному підході до вивчення взаємозв'язку між кліматичними змінними та біорізноманіттям регіону, шляхом застосування просторового аналізу для ідентифікації зон підвищеної екологічної чутливості.

Ключові слова: кліматичні змінні, біорізноманіття, просторовий взаємозв'язок, просторова диференціація, видове багатство, картографічне відображення, геоінформаційні системи, кластер, управління екосистемами.

© Костюк В. С., Петруха Н. М., Петруха С. В., 2026



Стаття поширюється на умовах
ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

Kostiuk V. S., Petrukha N. M., Petrukha S. V. Cartographic representation of the relationship between climatic variables and biodiversity of the region

The article examines the features of the spatial relationship between climatic variables and biodiversity indicators of the region, and also substantiates methodological approaches to their cartographic representation. The level and territorial differentiation of biodiversity were assessed, calculating the corresponding indices and establishing the centers of its concentration using the example of the Carpathian region. A spatial-statistical analysis of the relationship between climatic variables and biodiversity indicators was carried out. Geoinformation modeling was implemented using the example of the Carpathian region, which involves: creating thematic maps of climatic parameters; constructing maps of the spatial distribution of biodiversity; performing an overlay analysis to identify areas of the most pronounced dependencies. Practical advice on the application of the conclusions of cartographic analysis in environmental planning and regional strategies for adapting to climate change was formulated.

It was found that climatic factors are the main determinants of the territorial organization of biodiversity, outlining the boundaries of its distribution and identifying areas of possible ecological danger. Close attention was focused on the combined spatial analysis of the relationship between climatic variables and biodiversity indices, which made it possible to summarize the patterns of their spatial differentiation, find areas of increased ecosystem vulnerability and prove the need to use cartographic modeling as a means of predicting further changes in natural systems using the example of the Carpathian Mountains.

The findings stress that climatic factors are central drivers of the area's biodiversity organization, which mold spatial slopes of species abundance, pinpoint zones of heightened ecological vulnerability, and support the requirement for a unified mapping technique in evaluating and forecasting environmental shifts.

The scientific novelty of the study lies in the integrated approach studying the relationship between climatic and biodiversity of the region, through the use modern geoinformation methods and spatial analysis to identify areas of increased ecological sensitivity.

Key words: *climatic variables, biodiversity, spatial connectivity, spatial differentiation, species richness, cartographic representation, geographic information systems, cluster, ecosystem management.*

Постановка проблеми та її актуальність.

Глобальні зміни клімату у XXI столітті стали однією з найважливіших екологічних проблем, що напряму впливають на природні екосистеми та їх біорізноманіття. Зростання середньорічних температур, зміна характеру опадів, посилення незвичної погоди, а також зрушення у сезонності кліматичних чинників спричиняють трансформацію природних ландшафтів, зміщення ареалів різновидів, зменшення кількості деяких видів та зниження біорізноманіття. Такі процеси порушують природну рівновагу екосистем, зменшують їхню стійкість та потенціал для самовідновлення, що робить регіони особливо вразливими до негативних змін [3, с. 176]. Важливе місце займає інтеграція фундаментальних та прикладних підходів при плануванні відновлення сільських територій. Це підкреслює необхідність врахування кліматичних змін і стану біорізноманіття при розробці стратегій економічного та природоохоронного розвитку регіону.

Важливість вивчення згаданої проблеми також зумовлена потребою інтеграції картографічних, геоінформаційних засобів, екологічної складової у сучасні природні й територіально-господарські системи. Картографічна візуалізація просторових закономірностей дає змогу не лише наочно продемонструвати територіальні зсуви, але й сформулювати основу для створення планів адаптації екосистем, організації природоохоронних заходів та раціонального розпорядження природними багатствами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Проблема взаємозв'язку кліматичних змін та біорізноманіття обговорюється широким колом фахівців як в Україні, так і за кордоном. Українські дослідники також спрямовують наукові зусилля на вивчення цих процесів. Зокрема, В. Воєвода та ін. [2, с. 94] аналізують вплив змін клімату на біорізноманіття заповідних територій та пов'язані з цим наслідки для природоохоронної економіки, підкреслюючи значення адаптаційних заходів у збереженні екосистемних послуг у вразливих зонах. О. Ю. Чорнобров оцінював екологічний вплив змін клімату на лісові екосистеми помірного поясу, аналізуючи чутливість деревних видів до абіотичних стресорів і зміни їх біорізноманіття в умовах посилення температурних коливань [9, с. 47]. О. В. Шевченко [10, с. 108] обґрунтовував питання кліматичних змін у контексті природних і сільськогосподарських екосистем, що підсилює міждисциплінарний підхід до проблеми змін абіотичного середовища і його впливу на види різної таксономічної належності. С. Бойченко та ін. [1, с. 104] розглядали екологічні загрози для біорізноманіття міської системи Києва у зв'язку зі змінами клімату. Г. О. Стракович та В. В. Удовиченко [6, с.40] застосовували дані NDVI і технології дистанційного зондування для просторового аналізу екосистем у дослідженні моніторингу біорізноманіття природоохоронних територій.

Серед зарубіжних досліджень важливе місце займають праці, які інтегрують великі масиви даних та сучасні методи моделювання.

Наприклад, З. Лі (Z. Li) та ін. [17] демонструють, що сучасні та палеокліматичні умови спільно визначають сучасні просторові закономірності біорізноманіття в степах Монгольського плато, використовуючи статистичні моделі, що враховують багатомірні кліматичні впливи. Дослідження G. Chen *et al.* [13] показують, що природні об'єкти світової спадщини перебувають під ризиком глобальних кліматичних змін, що підтверджує потребу в узгоджених міжнародних стратегіях охорони біорізноманіття. А.-У. Kim та ін. [15] підкреслюють важливість розгляду взаємодії клімату й біорізноманіття через призму матеріальних циклів, що розширює традиційні підходи до оцінювання екологічних змін. Z. Wang *et al.* [23] акцентують увагу на управлінських підходах для збереження видового різноманіття в умовах кліматичних ризиків. С. А. Schipper та ін. [22] розглядали вплив кліматичних змін на біорізноманіття та значення природоорієнтованих рішень для пом'якшення цих наслідків, демонструючи потребу в інтегрованих підходах до управління екосистемами. Е. Rahimi та ін. [21] показували, як кліматичні загрози впливають на різні групи організмів і природоохоронні території. С. Mammides та А. Campos-Arceiz [18] аналізували питання інформування громадськості про біорізноманіття у порівнянні з кліматичними темами, вказуючи на розрив між науковими знаннями та медійною увагою.

Зважаючи на вагомий здобуток вчених у царині взаємозв'язку кліматичних змін та біорізноманіття, низка аспектів залишається не вирішеною. Це спонукає до подальшої розробки методології зведеного картографічного та геоінформаційного аналізу для визначення впливу кліматичних чинників на біорізноманіття.

Перспективність подальших досліджень у напрямі інтегрованого картографічного та геоінформаційного аналізу дозволяє одночасно оцінювати вплив кількох кліматичних змінних на біорізноманіття, ідентифікувати зони підвищеної екологічної вразливості та розробляти науково обґрунтовані стратегії охорони природних комплексів і адаптації екосистем до змін клімату.

Мета дослідження полягає у виявленні й картографічній візуалізації взаємозв'язку між кліматичними змінними та станом біорізноманіття регіону (приклад Карпатський регіон) з метою оцінки територіальних закономірностей, виявлення районів зростаючої екологічної напруги.

Методика дослідження. Сучасні тенденції підвищення середньорічних температур, зміни режиму опадів і збільшення частоти екстремальних погодних явищ створюють нові просторові та функціональні виклики для збереження біорізноманіття. Вивчення взаємозв'язку між кліматичними змінними та станом біоти стає надзвичайно

важливим для розробки науково обґрунтованих стратегій адаптації екосистем і природоохоронного планування, а картографічні методи дозволяють наочно відобразити територіальні закономірності цих процесів та виявити зони підвищеної екологічної вразливості [2, с. 94].

Важливе значення має розуміння поняття «кліматичні змінні» та їхньої класифікації. Кліматичні змінні відображають стан атмосфери і визначають умови існування живих організмів у регіоні. До них відносяться температурні показники, такі як середньомісячна та середньорічна температура, максимальні й мінімальні значення та амплітуда коливань; плювіометричні показники, що включають суму опадів, їх сезонний розподіл і частоту випадіння; радіаційні показники, які характеризують інтенсивність сонячного випромінювання та тривалість сонячного саява; а також екстремальні явища, серед яких повені, засухи, сильні морози чи шквали [6, с. 40]. Аналіз цих змінних дозволяє оцінювати абіотичні стреси та їхній вплив на екосистему.

Біорозмаїття окреслюється як сукупність різновидності живих організмів у межах окремого простору чи екосистеми, охоплюючи видове, генетичне та екосистемне розмаїття [13]. Кількісне визначення біорізноманіття проводиться за допомогою таких показників:

– видове багатство – загальна кількість видів у певному об'єкті або території;

– індекси різноманіття (Шеннона, Сімпсона) – характеризують не лише чисельність видів, а й їхню рівномірність розподілу [24];

– альфа-, бета- та гамма-різноманіття – дають змогу оцінювати різноманіття на рівні локальних екосистем, порівняльне різноманіття між екосистемами та сукупне регіональне різноманіття відповідно [17, с. 2869].

Використання цих індикаторів дозволяє об'єктивно оцінювати стан екосистем і просторові закономірності розподілу видів під впливом кліматичних чинників.

Для аналізу просторових закономірностей у дослідженні широко застосовується картографічний метод, який дозволяє візуалізувати розподіл видів та зон впливу кліматичних чинників, визначати території підвищеної екологічної чутливості та оцінювати динаміку трансформацій екосистем у просторі і часі. Картографія забезпечує інтеграцію різних типів даних і наочне відображення складних екологічних процесів [13].

На сучасному етапі розвиток досліджень неможливий без використання геоінформаційних систем (ГІС), які є потужним інструментом просторового аналізу природних явищ. Геоінформаційні системи (ГІС) дозволяють інтегрувати просторові та атрибутивні дані для комплексного аналізу природних явищ [8]. У дослідженні

впливу клімату на біорізноманіття ГІС використовуються для:

- об'єднання кліматичних, ландшафтних та біотичних даних у єдину базу;
- проведення просторового моделювання розподілу видів та зон екологічної чутливості;
- аналізу взаємодії кліматичних змінних і біорізноманіття на різних масштабах;
- прогнозування трансформацій екосистем під впливом кліматичних сценаріїв.

Картографічне моделювання є ключовим інструментом дослідження взаємозв'язку кліматичних чинників та біорізноманіття регіону. Воно передбачає системну побудову тематичних карт, що дозволяють наочно відобразити просторове розташування як кліматичних змінних, так і показників біорізноманіття. Тематичні карти кліматичних змінних і біорізноманіття можна використовувати для розробки цифрових моделей управління природними ресурсами, прогнозування впливу кліматичних факторів на екосистеми та оптимізації природоохоронних заходів [12, с. 293].

Оцінка рівня та просторової диференціації біорізноманіття є важливим етапом дослідження екологічного стану природних комплексів. Вона дозволяє не лише кількісно визначити видове багатство та різноманіття екосистем, а й виявити локальні осередки концентрації видів, які мають підвищену екологічну цінність [16, с. 131].

Виклад основного матеріалу дослідження. В межах Карпатського регіону така оцінка дає змогу простежити територіальні контрасти між високогірними, субальпійськими та передгірними зонами, а також визначити ділянки з найбільшою концентрацією біоти. Результати цієї оцінки є основою для інтегрованого аналізу кліматичних змінних і біорізноманіття та планування природоохоронних заходів.

В табл. 1 продемонстрована оцінка рівня та територіальної диференціації біорізноманіття у Карпатському регіоні на основі розрахунку ключових індексів. Використані показники – альфарізноманіття, індекси Шеннона та Сімпсона – дозволяють кількісно оцінити як загальне видове багатство, так і рівномірність представленості видів у різних екосистемних поясах [19]. Таблиця також відображає особливості впливу природних та антропогенних факторів на просторовий розподіл біоти, що є основою для виявлення локальних осередків високого біорізноманіття.

Найвищі показники біорізноманіття спостерігаються у субальпійському та альпійському поясах. У лісових областях ступінь видового багатства є доволі помірною, а у передгірських місцевостях вона спадає під впливом людської діяльності. Важливу функцію виконують водоймища та болотисті угіддя, які створюють умови для існування багатьох рідкісних і вразливих видів.

Оцінка рівня та територіальної диференціації біорізноманіття дозволяє кількісно визначити основні осередки концентрації видів, просторові закономірності їх розподілу та взаємозв'язок з кліматичними змінними, що є базою для подальшого інтегрованого аналізу та природоохоронного планування [15].

Просторовий кластерний аналіз дозволяє виявити територіальні групи з подібними характеристиками кліматичних змінних та показників біорізноманіття, що є важливим інструментом для оцінки екологічної чутливості регіону [5]. У Карпатському регіоні така методика дає змогу кількісно визначити зони з високим, середнім та низьким рівнем біорізноманіття, а також оцінити вплив кліматичних факторів, таких як температура, сума опадів та частота екстремальних явищ, на просторовий розподіл видів.

Таблиця 1

Індекси біорізноманіття у Карпатському регіоні

Пояс/ екосистема	Альфа- різноманіття (середня кількість видів)	Індекс Шеннона (H')	Індекс Сімпсона (D)	Коментар
Альпійські пояси	85	3,9	0,8	Високий рівень біорізноманіття, багато рідкісних видів.
Субальпійські пояси	112	4,2	0,85	Максимальна кількість видів та висока рівномірність представлення.
Лісові райони	92	3,5	0,75	Змішані ліси з високою видовою стабільністю
Передгір'я	68	2,8	0,6	Антропогенний вплив, знижене різноманіття
Водойми та болота	72	3,1	0,7	Високоспецифічні екосистеми з рідкісними видами

Застосування кластерного аналізу сприяє виявленню закономірностей у взаємозв'язку кліматичних умов і біоти, ідентифікації локальних осередків високого біорізноманіття та зон підвищеного ризику, а також формує наукову основу для інтегрованого картографічного моделювання та планування природоохоронних заходів [19]. Просторовий кластерний аналіз взаємозв'язку кліматичних умов та біорізноманіття на прикладі Карпатського регіону представлено на рис. 1.

На основі карти кластерного аналізу можна зробити кілька ключових висновків. По-перше, високогірні райони Українських Карпат формують окремий кластер із стабільними кліматичними умовами та високим рівнем біорізноманіття. По-друге, субальпійські та передгірські зони виявляють помірний та низький ступінь біорізноманіття, що вказує на їхню підвищену екологічну вразливість. По-третє, просторове групування територій дозволяє ідентифікувати локальні осередки концентрації видів, а також ділянки, де кліматичні фактори можуть значно впливати на

структуру екосистем [23]. Таким чином, кластерний аналіз забезпечує науково обґрунтовану основу для інтегрованого моніторингу та планування природоохоронних заходів у Карпатському регіоні.

Результати геоінформаційного моделювання, що інтегрують просторові дані про кліматичні змінні та біорізноманіття у Карпатському регіоні наведено на рис. 2. На ньому представлені три етапи: створення тематичних карт кліматичних параметрів (середньорічна температура, сума опадів), побудова карт просторового розподілу біорізноманіття (видове багатство та індекси різноманіття) та накладання цих шарів для виявлення зон найбільш виражених взаємозв'язків між кліматом і біотою. Такий підхід дозволяє не лише оцінити просторову закономірність взаємозв'язку абіотичних та біотичних факторів, але й визначити території з підвищеною екологічною вразливістю та осередки стабільного біорізноманіття.

Рисунок 3 ілюструє просторовий розподіл кліматичних змінних та біорізноманіття Карпат-

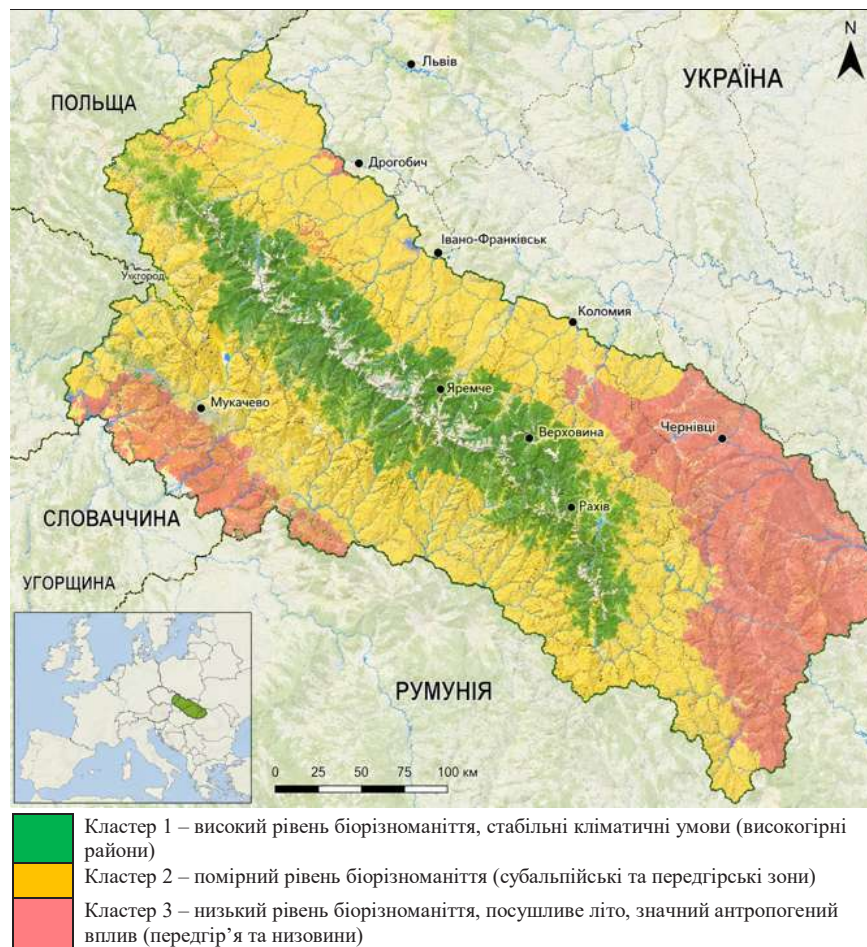


Рис. 1. Просторовий кластерний аналіз взаємозв'язку кліматичних умов та біорізноманіття Карпатського регіону

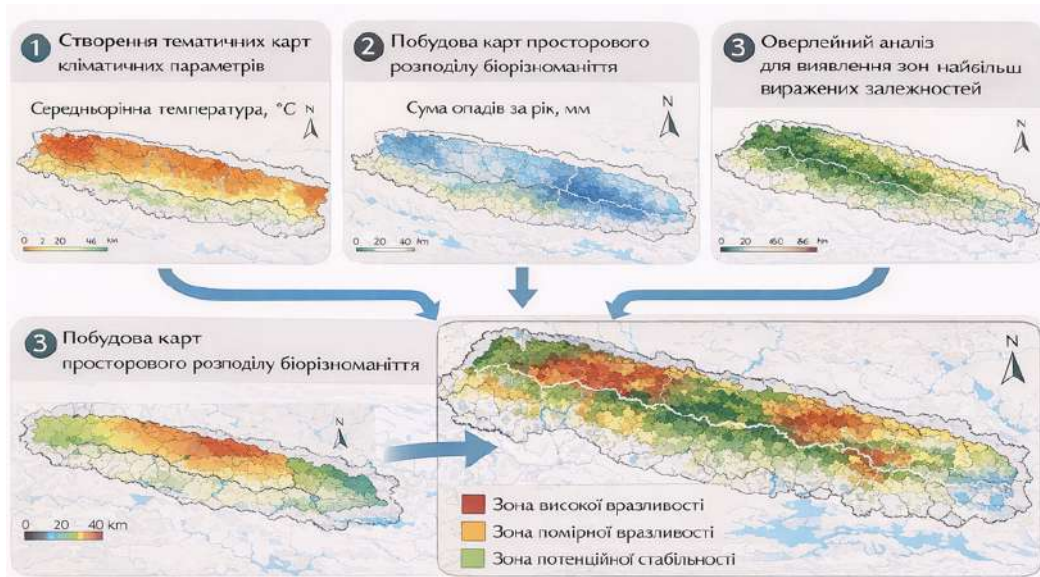


Рис. 2. Геоінформаційне моделювання кліматичних параметрів та біорізноманіття у Карпатському регіоні

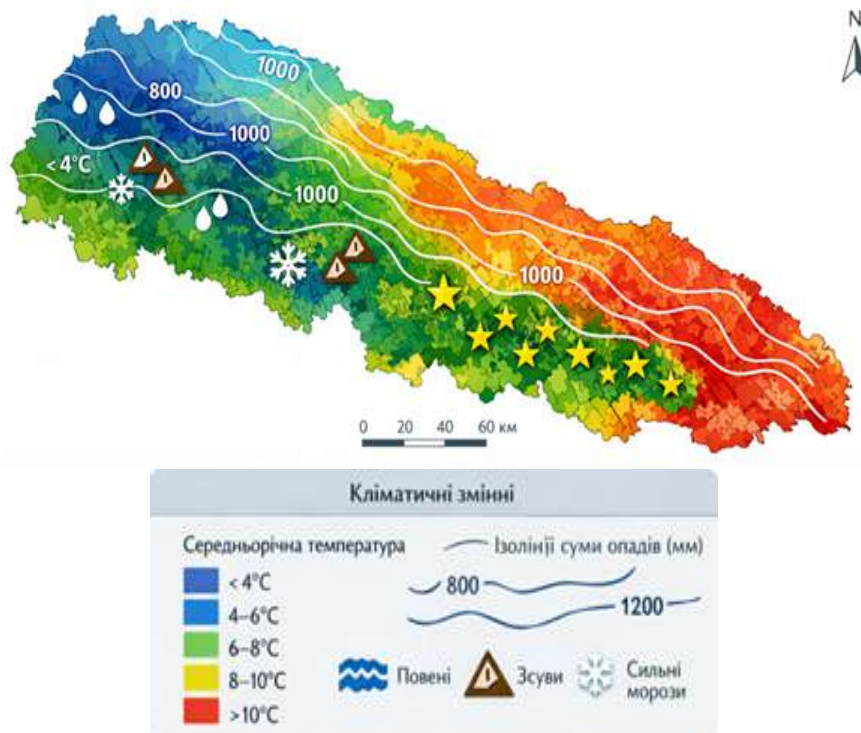


Рис. 3. Кліматичні зміни та біорізноманіття Карпатського регіону

ського регіону. Тематична мапа подає інформацію про середньорічну температуру, обсяг опадів та місцеві екстремальні події з показниками видового різноманіття та індексами біорізноманіття. Такий метод дає змогу наочно зрозуміти взаємозв'язок абіотичних чинників і стану екосистем у гірських регіонах, окреслити місцеві центри високого біо-

різноманіття та визначити ділянки зростаючої екологічної вразливості. Мапа слугує важливим засобом для екологічного моніторингу, наукового передбачення змін природних систем та розробки природоохоронних стратегій.

Як видно з рис. 3 райони високогір'я Карпат вирізняються нижчими температурами та зна-

чними опадами, що сприяє збереженню високого рівня біорізноманіття. Передгірні та низинні ділянки виявляють більшу просторову мінливість кліматичних умов та локальні осередки вразливості до екстремальних явищ. Інтегроване картографічне зображення кліматичних та біотичних даних є дієвим інструментом для оцінки стану екосистем та формування стратегій охорони ландшафтів у Карпатському регіоні.

Отримані результати просторово-статистичного та геоінформаційного аналізу дозволяють оцінити взаємозв'язок кліматичних змінних і біорізноманіття Карпатського регіону крізь призму сучасних концепцій кліматичної мінливості та екосистемної стійкості.

1. Кліматична мінливість. Сучасні концепції підкреслюють, що кліматичні фактори змінюються не рівномірно у просторі. Райони з великими коливаннями температури та опадів, особливо передгірні ділянки, виявляються більш вразливими до зниження видового різноманіття. З іншого боку, стабільні кліматичні умови високогір'я та субальпійських поясів сприяють збереженню локальних осередків біорізноманіття [7, с. 33].

2. Екосистемна стійкість. Екосистеми з великим видовим розмаїттям виявляють більшу стійкість до кліматичних перепадів.

3. Просторові закономірності. Просторовий кластерний аналіз дозволяє ідентифікувати «гарячі точки» кліматичної вразливості та стабільності біорізноманіття, що відповідає концепції просторової екологічної гетерогенності. Зони високогір'я формують стабільні кластери з відносно низькою мінливістю кліматичних показників та високим рівнем біорізноманіття, тоді

як передгір'я та антропогенно змінені ділянки демонструють підвищену просторову нестабільність [18].

Використання результатів картографічного аналізу кліматичних змінних і біорізноманіття у Карпатському регіоні є важливим етапом практичного природоохоронного планування та розробки регіональних стратегій адаптації до змін клімату. Карти та інтегральні просторові моделі дозволяють виявити території з високим рівнем біорізноманіття, зони підвищеної екологічної вразливості та ділянки стабільності екосистем, що є критичною інформацією для прийняття науково обґрунтованих управлінських рішень. Практичні рекомендації, сформовані на основі геоінформаційного моделювання, забезпечують інтеграцію кількісних даних у планування охорони природи, прогнозування змін екосистем та адаптаційних заходів [16, с. 131]. Це дозволяє підвищити ефективність управління природними комплексами та зменшити ризики деградації біоти під впливом кліматичних та антропогенних факторів.

Практичні рекомендації щодо використання результатів картографічного та просторово-статистичного аналізу кліматичних змінних і біорізноманіття Карпатського регіону подано у табл. 2. У ній систематизовано напрями застосування отриманих даних у природоохоронному плануванні та регіональних стратегіях адаптації до змін клімату, від пріоритетного зонування і моніторингу до планування екологічних коридорів та адаптаційних заходів. Така систематизація дозволяє чітко визначити конкретні дії для збереження екосистем і підвищення їхньої стійкості до кліматичних змін.

Таблиця 2

Практичні рекомендації щодо використання результатів картографічного аналізу

Напрямок застосування	Рекомендовані напрями	Очікуваний ефект
Пріоритетне охоронне зонування	Виділення територій з високим біорізноманіттям та стабільним кліматом для створення заповідників та екологічних коридорів	Підвищення ефективності охорони видів і збереження екосистем
Моніторинг зон високої вразливості	Регулярний екологічний моніторинг передгірних та антропогенно змінених ділянок	Раннє виявлення деградаційних процесів та загроз для біоти
Адаптаційні заходи	Відновлення деградованих екосистем, створення штучних осередків біорізноманіття, оптимізація лісокористування та водного менеджменту	Підвищення стійкості екосистем до кліматичних стресів
Інтеграція з регіональним плануванням	Використання результатів картографії для підготовки стратегій адаптації до кліматичних змін	Прийняття обґрунтованих рішень з урахуванням просторових закономірностей
Планування екологічних коридорів	Використання кластерного та оверлейного аналізу для визначення маршрутів міграції видів та мережі охоронюваних територій	Забезпечення генетичної різноманітності та природної міграції видів

Джерело: сформовано авторами на основі [14; 20]

Результати картографічного моделювання можна ефективно інтегрувати у практичне управління екосистемами. Визначення пріоритетних зон охорони та зон високої вразливості дозволяє розподіляти ресурси для природоохоронних заходів. Використання адаптаційних стратегій та планування екологічних коридорів сприяє підвищенню стійкості екосистем та збереженню біорізноманіття [19]. Таким чином, в табл. 2 науково обґрунтовано основу для прийняття рішень щодо управління природними комплексами Карпатського регіону у умовах глобальних кліматичних змін. Результати картографічного аналізу кліматичних змінних та біорізноманіття можуть бути інтегровані у цифрові інформаційно-аналітичні системи, подібні до тих, що описані О. М. Шубалим та іншими [11, с. 133], що дозволяє підвищити ефективність природоохоронного планування та прогнозування впливу кліматичних факторів на екосистеми.

Використання результатів картографічного аналізу у природоохоронному плануванні повинно враховувати соціально-економічні аспекти регіону, зокрема організаційні структури агропромислових об'єднань, які визначають використання земель та впливають на біорізноманіття [4, с. 278]. Ефективність природоохоронних заходів безпосередньо залежить від того, наскільки планування інтегрує реальні економічні процеси, характер землекористування та взаємодію між державними і приватними суб'єктами. Зокрема, агропромислові об'єднання впливають на структуру ландшафтів, зміну біотопів і потенційне скорочення локальних осередків біорізноманіття, що робить необхідним врахування їх діяльності при визначенні пріоритетних зон охорони.

Застосування картографічного моделювання у природоохоронній політиці та регіональних програмах адаптації до кліматичних змін забезпечує науково обґрунтовану основу для прийняття управлінських рішень. Воно сприяє раціональному використанню ресурсів, визначенню територій першочергової охорони та реалізації адаптаційних заходів відповідно до динаміки кліматичних факторів, що в перспективі гарантує збереження видового різноманіття.

Висновки. Аналіз просторової взаємодії кліматичних параметрів і показників біорізноманіття із застосуванням картографічних методів дає змогу простежити закономірності розподілу екосистем у межах Карпатського регіону. Висотні та субальпійські пояси характеризуються відносною стабільністю кліматичних умов і високою концентрацією видового багатства. Натомість передгірські території та ділянки з інтенсивним антропогенним впливом виявляють підвищену чутливість до температурних і гідротермічних коливань.

Наявні практичні здобутки відкривають спроможність використання картографічного аналізу для визначення пріоритетів у природоохоронному зонуванні, системному нагляді за екосистемами, передбаченні екологічних напрямів та запровадженні гнучких управлінських ухвал. Такий метод гарантує зважене включення просторових відомостей до обласного природоохоронного планування і тактик реагування на кліматичні зсуви. У кінцевому підсумку це допомагає зростанню екологічної витривалості, зберіганню видового розмаїття й раціональному використанню природного ресурсів Українських Карпат.

Література:

1. Бойченко С., Карамушка В., Тищенко О., Мохнач Р. Екологічні загрози біорізноманіттю Києва від зміни клімату. *Доповіді Національної академії наук України*. 2024. №12. С. 104–111. DOI: <https://doi.org/10.15407/dopovidi2017.12.104>.
2. Воевода В., Совгіра С., Дармофал Е. Вплив змін клімату на біорізноманіття заповідних територій та його наслідки для економіки природоохоронних територій. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*. 2025. Випуск 359(6.1). С. 94–98. DOI: <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2025-359-12>.
3. Мельников О. В., Петруха С. В., Петруха Н. М. Економічне відновлення сільських територій: співвідношення фундаментального та прикладного аспектів наукового дослідження. *Вчені записки Університету «КРОК»*. 2021. № 1 (61). С. 176–193. DOI: <https://doi.org/10.31732/2663-2209-2021-61-176-193>.
4. Петруха Н. М., Петруха С. В. Державне регулювання інтегрованих корпоративних об'єднань в умовах структурно-інституціональної та функціональної трансформації сільської економіки: проблеми методології, теорії, соціально-економічної та секторальної політики : монографія. Київ : ТОВ «Видавничий дім «Професіонал», 2020. 496 с.
5. Савчук В. С., Ткачук Л. М., Кравчук В. В. Геопросторова диференціація туристичного бізнесу: методологічні підходи та практичне застосування в умовах сучасних викликів. *Економіка та суспільство*. 2025. Випуск 74. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-74-68>.
6. Стракович Г.О., Удовиченко В.В. Моніторинг біорізноманіття транскордонних природоохоронних територій Євро регіону «Верхній Прут». *Конструктивна географія та раціональне використання природних ресурсів*. 2025. Випуск 6. №1. С. 40-52. <https://doi.org/10.17721/2786-4561.2025.6.1.-5/11>.
7. Холявчук Д. І. Мінливість біокліматичних поясів Карпат: нуклеарна конфігурація ландшафтів у динаміці. *Ландшафтознавство*. 2023. № 4(2). С. 33-44. DOI: [10.31652/2786-5665-2023-4-33-44](https://doi.org/10.31652/2786-5665-2023-4-33-44).

8. Цепенда М. М., Наконечний К. П. Методологічні засади комплексного застосування цифрових і ГІС-технологій у системі збалансованого управління туристичним підприємством. *Економіка та суспільство*. 2025. Випуск 79. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-79-185>.
9. Чорнобров О.Ю. Оцінювання екологічного впливу змін клімату на лісові екосистеми. *Агроекологічний журнал*. 2025. № 4. С. 47-56. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2025.345428>.
10. Шевченко О.В. Вплив кліматичних змін на сільськогосподарське землекористування в Україні. *Збалансоване природокористування*. 2023. № 4. С.108-114. DOI: [10.33730/2310-4678.4.2023.292725](https://doi.org/10.33730/2310-4678.4.2023.292725).
11. Шубалий О. М., Петруха С. В., Косінський П. М., Петруха Н. М. Формування системи інформаційно-аналітичного забезпечення розвитку біопаливних виробництв на базі підприємств агросектору. *Наукові праці НДФІ*. 2023. № 3. С. 133–147. DOI: <https://doi.org/10.33763/npndfi2023.03.133>.
12. Belova I., Yaroshchuk O., Brych V., Borysiak O., Brych B., Petrukha N. Factor-Oriented Digital Model for Optimizing Biomass Supply Chains in the Circular Bioeconomy. 2025 15th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT), (Sibenik, Croatia, 17–19 September 2025). 2025. pp. 293–297. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACIT65614.2025.11185662>.
13. Chen G., Fu B., Jiang Y. *et al.* Natural world heritage sites are at risk from climate change globally. *Commun Earth Environ*. 2024. Volume 5. 760. <https://doi.org/10.1038/s43247-024-01933-3>
14. Hilty J., Worboon G. L., Keeley A. *et al.* Guidelines for connectivity conservation and planning in Europe. 2024. https://naturaconnect.eu/wp-content/uploads/2024/04/D6.1-Connectivity-Guidelines_for_dissemination.pdf
15. Kim A.-Y., Lee W.-S., Son Y. The Interaction between Climate Change and Biodiversity Can Be Assessed from a Material Cycle Perspective. *Diversity*. 2024. Volume 16(8). 506. <https://doi.org/10.3390/d16080506>.
16. Kunakh O. M., Volkova A. M., Tutova G. F., Zhukov O. V. Diversity of diversity indices: Which diversity measure is better? *Biosystems Diversity*. 2023. Volume 31(2). pp. 131–146. doi:10.15421/012314.
17. Li Z. *et al.* Contemporary biodiversity pattern is affected by climate change at multiple temporal scales in steppes on the Mongolian Plateau. *Biogeosciences*. 2023. Volume 20. pp. 2869–2882. <https://doi.org/10.5194/bg-20-2869-2023>.
18. Mammides C., Campos-Arceiz A. Media coverage of biodiversity falls short compared to climate change and popular culture. *npj biodivers*. 2025. Volume 4, 11. <https://doi.org/10.1038/s44185-025-00082-w>.
19. Mateus-Aguilar B., Diaz-Salazar A. F., Andrade-Rivas F. *et al.* Assessing Biocultural Diversity Across Scales Using Ecological Indicators. *Ecological Indicators*. 2025. Volume 176, 113616, <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2025.113616>.
20. Popescu O.-C., Tache A.-V., Petrișor A.-I. Methodology for Identifying Ecological Corridors: A Spatial Planning Perspective. *Land*. 2022. Volume 11(7). 1013. <https://doi.org/10.3390/land11071013>.
21. Rahimi E., Dong P., Ahmadzadeh F. *et al.* Assessing climate change threats to biodiversity and protected areas of Iran. *Eur J Wildl Res*. 2024. Volume 70, 89. <https://doi.org/10.1007/s10344-024-01842-y>.
22. Schipper C. A., Hielkema T. W., Ziemba A. Impact of Climate Change on Biodiversity and Implications for Nature-Based Solutions. *Climate*. 2024. Volume 12(11). 179. <https://doi.org/10.3390/cli12110179>.
23. Wang Z., Wang T., Zhang X. *et al.* Biodiversity conservation in the context of climate change: Facing challenges and management strategies. *Science of The Total Environment*. 2024. Volume 937. 173377. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173377>.
24. Yan H., Li F., Liu G. (2023) Diminishing influence of negative relationship between species richness and evenness on the modeling of grassland α -diversity metrics. *Front. Ecol. Evol*. 2023. 11:1108739. doi: 10.3389/fevo.2023.1108739.

References:

1. Boichenko, S., Karamushka, V., Tishchenko, O., & Mokhnach, R. (2024). Ekolohichni zahrozy bioriznomanittiu Kyieva vid zminy klimatu [Environmental threats to Kyiv's biodiversity from climate change]. *Dopovidi Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy*, 12, 104–111. DOI: <https://doi.org/10.15407/dopovidi2017.12.104> [in Ukrainian].
2. Voievoda, V., Sovhira, S., & Darmofal, E. (2025). Vplyv zmin klimatu na bioriznomanittia zapovidnykh terytorii ta yoho naslidky dlia ekonomiky pryrodokhoronnykh terytorii [The impact of climate change on the biodiversity of protected areas and its consequences for the economy of protected areas]. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences*, 359(6.1), 94-98. DOI: <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2025-359-12> [in Ukrainian].
3. Melnykov, O. V., Petrukha, S. V., & Petrukha, N. M. (2021). Ekonomichne vidnovlennia silskykh terytorii: spivvidnoshennia fundamentalnogo ta prykladnogo aspektiv naukovocho doslidzhennia [Economic revitalization of rural areas: the relationship between fundamental and applied aspects of scientific research]. *Vcheni zapysky Universytetu «KROK»*, 1 (61), 176–193. DOI: <https://doi.org/10.31732/2663-2209-2021-61-176-193> [in Ukrainian].
4. Petrukha, N. M., & Petrukha, S. V. (2020). Derzhavne rehuliuвання intehrovanykh korporatyvnykh obiednan v umovakh strukturno-instytutsionalnoi ta funktsionalnoi transformatsii silskoi ekonomiky: problemy metodologii, teorii, sotsialno-ekonomichnoi ta sektoralnoi polityky : monohrafiia [State regulation of integrated corporate associations in the conditions of structural, institutional and functional transformation of the rural economy: problems of methodology, theory, socio-economic and sectoral policy: monograph]. Kyiv : TOV «Vydavnychi dim «Profesional», 496. + 1 elektron. opt. Dysk [in Ukrainian].
5. Savchuk, V. S., Tkachuk, L. M., & Kravchuk, V. V. (2025). Heoprosorova dyferentsiatsiia turystychnoho biznesu: metodolohichni pidkhody ta praktychne zastosuvannia v umovakh suchasnykh vyklykiv [Geospatial differentiation of tourism business: methodological approaches and practical application in the face of modern challenges]. *Економіка та суспільство*, 74. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-74-68> [in Ukrainian].

6. Strakovych, H.O., & Udovychenko, V.V. (2025). Monitorynh bioriznomanittia transkordonnykh pryrodookhoronnykh terytorii Yevrorehionu «Verkhniy Prut» [Biodiversity monitoring of transboundary nature conservation areas of the Upper Prut Euroregion]. *Konstruktivna heohrafiia ta ratsionalne vykorystannia pryrodnykh resursiv*, 6 (1), 40-52. <https://doi.org/10.17721/2786-4561.2025.6.1.-5/11> [in Ukrainian].
7. Kholiavchuk, D. I. (2023). Minlyvist bioklimatychnykh poiasiv karpat: nuklearna konfihuratsiia landshaftiv u dynamitsi [Variability of bioclimatic zones of the Carpathians: nuclear configuration of landscapes in dynamics]. *Landshaftoznavstvo*, 4(2), 33-44. DOI: 10.31652/2786-5665-2023-4-33-44 [in Ukrainian].
8. Tsependa, M. M., & Nakonechnyi, K. P. (2025). Metodolohichni zasady kompleksnoho zastosuvannia tsyfrovyykh i HIS-tekhnologii u systemi zbalansovanoho upravlinnia turystychnym pidpryemstvom [Methodological principles of the integrated application of digital and GIS technologies in the system of balanced management of a tourism enterprise]. *Ekonomika ta suspilstvo*, 79. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-79-185> [in Ukrainian].
9. Chornobrov, O.Yu. (2025). Otsiniuvannia ekolohichnoho vplyvu zmin klimatu na lisovi ekosystemy [Assessing the ecological impact of climate change on forest ecosystems]. *Ahroekolohichniy zhurnal*, 4, 47-56. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2025.345428> [in Ukrainian].
10. Shevchenko, O.V. (2023). Vplyv klimatychnykh zmin na silskohospodarske zemlekorystuvannia v Ukraini [Impact of climate change on agricultural land use in Ukraine]. *Zbalansovane pryrodokorystuvannia*, 4, 108-114. DOI: 10.33730/2310-4678.4.2023.292725 [in Ukrainian].
11. Shubalyi, O. M., Petrukha, S. V., Kosinskyi, P. M., & Petrukha, N. M. (2023). Formuvannia systemy informatsiino-analitychnoho zabezpechennia rozvytku biopalyvnykh vyrobnytstv na bazi pidpryemstv ahrosektoru [Formation of a system of information and analytical support for the development of biofuel production based on agricultural sector enterprises]. *Naukovi pratsi NDFI*, 3, 133–147. DOI: <https://doi.org/10.33763/npndfi2023.03.133> [in Ukrainian].
12. Belova, I., Yaroshchuk, O., Brych, V., Borysiak, O., Brych, B., & Petrukha, N. (2025). Factor-Oriented Digital Model for Optimizing Biomass Supply Chains in the Circular Bioeconomy. 2025 15th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT), (Sibenik, Croatia, 17–19 September 2025), 293–297. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACIT65614.2025.11185662>.
13. Chen, G., Fu, B., Jiang, Y. *et al.* (2024). Natural world heritage sites are at risk from climate change globally. *Commun Earth Environ*, 5. 760. <https://doi.org/10.1038/s43247-024-01933-3>
14. Hilty, J., Worboys, G. L., Keeley, A. *et al.* (2024). Guidelines for connectivity conservation and planning in Europe, https://naturaconnect.eu/wp-content/uploads/2024/04/D6.1-Connectivity-Guidelines_for_dissemination.pdf
15. Kim, A.-Y., Lee, W.-S., & Son, Y. (2024). The Interaction between Climate Change and Biodiversity Can Be Assessed from a Material Cycle Perspective. *Diversity*, 16(8). 506. <https://doi.org/10.3390/d16080506>.
16. Kunakh, O. M., Volkova, A. M., Tutova, G. F., & Zhukov, O. V. (2023). Diversity of diversity indices: Which diversity measure is better? *Biosystems Diversity*, 31(2), 131–146. doi:10.15421/012314.
17. Li, Z. *et al.* (2023). Contemporary biodiversity pattern is affected by climate change at multiple temporal scales in steppes on the Mongolian Plateau. *Biogeosciences*, 20, 2869–2882. <https://doi.org/10.5194/bg-20-2869-2023>.
18. Mammides, C., & Campos-Arceiz, A. (2025). Media coverage of biodiversity falls short compared to climate change and popular culture. *npj biodiversity*, 4, 11. <https://doi.org/10.1038/s44185-025-00082-w>.
19. Mateus-Aguilar, B., Díaz-Salazar, A. F., Andrade-Rivas, F. *et al.* (2025). Assessing Biocultural Diversity Across Scales Using Ecological Indicators. *Ecological Indicators*, 176, 113616, <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2025.113616>.
20. Popescu, O.-C., Tache, A.-V., & Petrișor, A.-I. (2022). Methodology for Identifying Ecological Corridors: A Spatial Planning Perspective. *Land*, 11(7). 1013. <https://doi.org/10.3390/land11071013>.
21. Rahimi, E., Dong, P., Ahmadzadeh, F. *et al.* (2024). Assessing climate change threats to biodiversity and protected areas of Iran. *Eur J Wildl Res*, 70, 89. <https://doi.org/10.1007/s10344-024-01842-y>.
22. Schipper, C. A., Hielkema, T. W., & Ziemba, A. (2024). Impact of Climate Change on Biodiversity and Implications for Nature-Based Solutions. *Climate*, 12(11). 179. <https://doi.org/10.3390/cli12110179>.
23. Wang, Z., Wang, T., Zhang, X. *et al.* (2024). Biodiversity conservation in the context of climate change: Facing challenges and management strategies. *Science of The Total Environment*, 937. 173377. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173377>.
24. Yan, H., Li, F., & Liu, G. (2023). Diminishing influence of negative relationship between species richness and evenness on the modeling of grassland α -diversity metrics. *Front. Ecol. Evol*, 11:1108739. doi: 10.3389/fevo.2023.1108739.

Дата першого надходження статті до видання: 05.03.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 01.04.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.05.2026