

---

---

# БІОРІЗНОМАНІТТЯ ТА БІОБЕЗПЕКА ЕКОСИСТЕМ

---

---

УДК 582.572.8:502

DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2019.174021>

## СТРУКТУРА ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ БІОЦЕНТРИЧНОЇ СПОЛУЧЕНОСТІ ЕКОМЕРЕЖІ СХІДНОГО ПОДІЛЛЯ

В.І. Шавріна, Є.Д. Ткач

*Інститут агроекології і природокористування НААН*

*Проведено аналіз ефективності функціонування досліджуваних територій екомережі за  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -індексами сполученості екологічних коридорів. Отримані значення  $\alpha$ -індексу для екологічних коридорів: 0,09 (Південнобузький), 0,19 (Дністровський), 0,18 (Лядівський) та 0,33 (Немійський) свідчать про наявну, але не оптимальну кількість альтернативних шляхів міграції і поширення видів з біоцентрів. Обчислено  $\beta$ -індекс сполученості для оцінки ступеня розвиненості мережі біокоридорів і встановлено ступінь розвитку та насиченості мережі біокоридорами екомережі. Для досліджуваних екологічних коридорів за  $\beta$ -індексом встановлено наявність декількох циклів ( $\beta > 1$ ). Обчислено  $\gamma$ -індекс сполученості територій екомережі. Цей показник відображає ступінь альтернативності вибору шляхів міграції з одного біоцентру до інших. Отримані значення за  $\gamma$ -індексом для екологічних коридорів: 0,4 (Південнобузький), 0,5 (Дністровський), 0,54 (Лядівський) характеризують слабкий тип їх сполученості, а також помірний — 1,5 (Немійський). На основі теорії графів визначено рівень сполученості екологічних коридорів.*

**Ключові слова:** екомережа, сполучні території, природно-заповідний фонд, біоцентри.

---

Провідну роль у збереженні біорізноманіття відіграють спеціальні природоохоронні території, які формують природно-заповідний фонд (ПЗФ) України [1]. За даними інформаційного ресурсу Держгеокадастру співвідношення площі ПЗФ і площі країни (показник заповідності) становить 6,15%. Одним із головних принципів формування мережі об'єктів ПЗФ є репрезентативність, що передбачає необхідність повноти відображення природи в різних проявах: історичному, географічному, структурному та системному, що нині перебуває не в кращому стані. Ці принципи покладено і в основу формування екомережі. Вихідні концептуальні основи формування екомереж було сформульовано та розглянуто в працях Р. Мак-Артура та Е. Вілсона, Дж. Даймонда і Р. Мея, а також Р. Формена [2–4]. Обґрунтування створення екологічних мереж різного рівня наразі є актуальною проблемою, оскільки

обумовлюється комплексною природоохоронною технологією. Так, особливу вагу мають регіональні екомережі, які доповнюють відповідну структуру національного та міжнародного рівня. Огляд наукового досвіду з моделювання екомереж засвідчує наявність низки завдань у царині такого моделювання, що потребує нових досліджень.

Розглядаючи досвід створення екомереж регіонального рівня в Україні, слід наголосити, що розробки їхнього формування здійснювалися на рівні адміністративних областей. Зокрема, проблемами створення екомережі Вінницької обл. у різні роки займалися провідні вчені, зокрема Ю.В. Яцентюк (2014), Г.І. Денисик (1996–2007), Я.П. Дідух (2000–2004), А.В. Гудзевич (2002–2007), В.А. Соломаха (2005), О.В. Мудрак (2012) та ін. [4]. За історичний період відбулось скорочення лісистості Вінницької обл. з 70 до 14,3%, площа боліт зменшилась до 1,2%. Саме біотичні міграції в умовах антропогенно трансформованих

ділянок вважаються основним та цілком реальним дієвим природним чинником збереження біологічного та ландшафтного різноманіття. Межі між основними класами антропогенних ландшафтів, що мають якісні відмінності, часто формуються у вигляді перехідних смуг. На місці лучних степів, лісів і боліт нині сформувався антропогенні ландшафти, які становлять близько 80% території області. Особливо значного впливу з огляду на фрагментацію ландшафтів зазнали орні землі. Показник розораності земель у Вінницькій обл. варіює у межах 54–77,7%, а в середньому становить 66,2% [4, 5]. Частина забудованих земель — це 4% території області, ліси і лісовкриті площі — 14,3, водні об'єкти — 1,9, відкриті заболочені землі — 1,1, багаторічні насадження — 1,9% [4].

Показники заповідності у розрізі адміністративних регіонів значно відрізняються, і найнижчими (близько 5%) вони є у Вінницькій обл. Територія області за історичний час зазнавала значного антропогенного навантаження. Найвищі рівні такого впливу спостерігалися впродовж кількох останніх століть [3]. Формування шляхів міграції різних рівнів є процесом перетворення різких порогових меж в особливу приграничну систему, що відрізняється від територій, які вона розділяє будовою та функціонуванням. Як відомо, екокоридор виконує контактну та бар'єрну функції (або й обидві одночасно), коли одна з них може значною мірою домінувати [2].

## МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для оцінювання структури екомережі та ефективності її функціонування застосовували метод теорії графів [6]. Індeksi доступності біоцентрично-мережевої структури ландшафтів екомережі Вінницької обл. обраховували за математичними показниками згідно з методиками М.Д. Гродзинського, Ю.Р. Шеляга-Сосонка [7, 8]. Метричні і типологічні показники функціонування екомережі застосовано для Вінницької обл. за методикою Ю.Р. Шеляга-Сосонка [3]. На основі цих показників визначали

відповідність екомережі рівню оптимальної структури. Основним параметром ефективності екомережі є показник сполученості її графа, що визначає, наскільки розвиненою є екомережа через зв'язок її біоцентрів (вершин графа) за допомогою екокоридорів (ребер графа). Біоцентрично-мережеву структуру ландшафту для підтримки біорізноманіття можна оцінити за  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -індексами сполученості екологічних коридорів [8–10], що обчислюється за формулами (1–3).

Так,  $\alpha$ -індекс відображає наявність і насиченість мережі біококоридорів циклами та є співвідношенням кількості циклів, які існують у системі екологічних коридорів, і їхньої максимально можливої кількості:

$$\alpha = \frac{(K - B + 1)}{2a(2B - 5)}; \quad (1)$$

$\beta$ -індекс оцінює розвиненість мережі екологічних коридорів:

$$\beta = \frac{K}{B}; \quad (2)$$

$\gamma$ -індекс характеризує ступінь альтернативності вибору шляхів міграції між ядрами:

$$\gamma = \frac{K}{3(B - 2)}, \quad (3)$$

де  $K$  — число екологічних коридорів;  $B$  — кількість екологічних ядер.

Чим вищими є ці показники, тим вищою є альтернативність шляхів міграції між ними, а отже і потужнішою їх екологічна стійкість. Оптимальне значення для  $\alpha$ -індексу є число 1 (мінімальне —  $\alpha = 0$ ),  $\beta$ -індексу — 3 ( $\beta = 1$ ),  $\gamma$ -індексу — 1 (мінімальне —  $\gamma = 0$ ).

Для метричних розрахунків використовували показники площі ключових територій, площі екокоридору, кількості біоцентрів.

За показником сполученості графа екомережі аналізували ефективність досліджуваних територій як екологічних коридорів у локальній екологічній мережі. Камеральне опрацювання результатів здійснювали за допомогою комп'ютерної програми MS Excel, Statistica 7.0; графічну обробку за допомогою програми Inkscape.

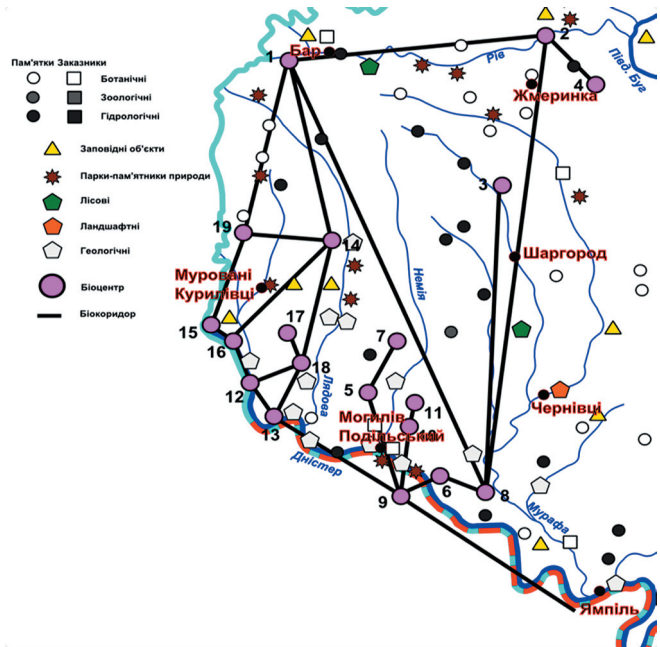
## РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Була проведена оцінка ефективності Південнобузького, Дністровського, Немійського, Лядівського екокоридорів і ключових територій, які вони об'єднують. Для цього побудовано плоский граф, у якому вершини умовно розглядаються як ключові території, а ребра — як екокоридори між ними. Отримані за таких умов значення індексів було візуалізовано та просторово диференційовано шляхом створення для кожного із них інтерпольованих ліній.

Ключові території (об'єкти ПЗФ) більшою або меншою мірою відповідають принципам просторової цілісності, єдності, компліментарності, відповідності, ієрархічності, максимальності, надійності тощо [11]. Ступінь сполученості ключової території визначали як кількість суміжних з нею екокоридорів. Проектування мережі функціональних та стійких в умовах сучасного трансформованого ландшафту екологічних коридорів фактично потребує проектування його біоцентрично-мережевої структури, а також визначення їх функціональної придатності. На основі отриманих результатів прове-

дено розрахунки загальної ефективності екокоридорів (рис., табл. 1).

Було проведено аналіз ефективності функціонування досліджуваних сполуч-



**Схема біоцентрично-мережевої ландшафтно-територіальної структури досліджуваних територій:** гідрологічні заказники місцевого значення: 1 — «Барський», 19 — «Переладине»; ландшафтні заказники загальнодержавного значення: 2 — «Володимирська дубина»; 5 — «Грбарківський»; заказники місцевого значення: 3 — «Мовчани», 4 — «Лебединий»; ботанічні заказники загальнодержавного значення: 6 — «Бронницький», 7 — «Вендичанська дубина»; регіональні ландшафтні парки: 8 — «Мурафа», 9 — «Дністер»; ботанічні заказники місцевого значення: 10 — «Григорівська гора», 11 — «Звиняча долина», 12 — «Бернашівський», 13 — «Нагорянський», 14 — «Значок», 15 — «Надністрянський»; ландшафтні заказники місцевого значення: 16 — «Дністер», 17 — «Краєцький», 18 — «Яришівська гора»

Таблиця 1

### Показники ефективності функціонування досліджуваних екологічних коридорів екомережі Вінницької обл.

Екологічні коридори	Індекси сполученості			
	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\epsilon$
Південнобузький	0,09	1,16	0,4	1,2
Дністровський	0,19	1,38	0,49	1,4
Лядівський	0,18	1,29	0,54	1,3
Немійський	0,33	1,28	1,5	1,5

них територій екомережі області за  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -індексами сполученості екологічних коридорів.

Загалом, ключові території мають порівняно невисокі показники, що передусім зумовлено фрагментацією природного рослинного покриття.

Показники сполученості графа підтвердили нашу думку, що мережа сполучних екокоридорів об'єктів ПЗФ є недостатньо розвиненою. Чим вищим є значення  $\alpha$ -індексу, тим більше існує альтернативних шляхів міграції особин із біоцентрів і тим ефективніше мережа виконує біотично-міграційну функцію. Оптимальним вважається значення  $\alpha = 1$ .

Значення регіонального  $\alpha$ -індексу сполученості для графа досліджуваних екокоридорів, що становить: для Південнобузького — 0,09, Дністровського — 0,19, Лядівського — 0,18, Немійського — 0,33, свідчить про недостатню кількість альтернативних шляхів міграції особин з одного біоцентру до іншого.

Обрахунок  $\beta$ -індексу сполученості застосовується для потреб оцінки ступеня розвиненості мережі біокоридорів певної екомережі і відображає їх ступінь розвитку і складність. Цей індекс оцінюється так: якщо  $\beta < 1$  — це означає, що граф біоцентрично-мережевої структури ландшафтів не має жодного циклу та є графом-деревом; якщо  $\beta = 1$  — граф має лише один цикл; якщо  $\beta > 1$  — граф має кілька циклів. Оптимальним вважається значення  $\beta = 3$ , за якого всі наявні у складі біоцентри об'єднуються мережею біокоридорів у цикли. Серед досліджуваних коридорів  $\beta$ -індекс становить: для Південнобузького — 1,16, Дністровського — 1,38, Лядівського — 1,29 та Немійського — 1,28.

Так,  $\gamma$ -індекс сполученості відображає ступінь альтернативності вибору шляхів міграції з одного біоцентру до інших і характеризує співвідношення кількості існуючих біокоридорів та їхнього максимального значення у складі екомережі. Чим вищим є значення  $\gamma$ -індексу, тим розгалуженішою є мережа біокоридорів і тим коротшими є шляхи міграції між двома

біоцентрами. Якщо  $\gamma = 0$ , це означає, що біоцентри не сполучаються між собою або біокоридорів взагалі немає; якщо  $\gamma = 1$  — це свідчить, що кожен біоцентр безпосередньо з'єднується з рештою одним біокоридором. Визначений  $\gamma$ -індекс сполученості графа досліджуваних території становить для екокоридорів: Південнобузького — 0,4, Дністровського — 0,49, Лядівського — 0,54, Немійського — 1,5. Це свідчить, що біокоридори сполучають між собою менше половини всієї кількості біоцентрів регіону.

## ВИСНОВКИ

З огляду на надмірну трансформованість рослинного покриття Правобережного Лісостепу, особливої актуальності набуває розроблення конкретних схем мережі екокоридорів та сполучних територій як осередків цінного у флористичному аспекті біорізноманіття. Значна фрагментація природних ядер зумовлює ізоляцію видів фітобіоти, спричиняє порушення обміну на генетичному, видовому та ценогенетичному рівнях.

За результатами графоаналітичної сполученості екологічних коридорів встановлено, що досліджувані сполучні території екомережі Східного Поділля характеризуються низьким показником цодільності ( $\alpha < 1$ ), а також можливістю подальшого розвитку екокоридорів ( $\beta > 1$ ). Натомість низький ступінь альтернативності вибору шляхів міграції ( $\gamma < 1$ ) є наслідком високого рівня господарського освоєння території. Визначено, що проектування функціональної та стійкої мережі екологічних коридорів в умовах сучасного ландшафту потребує глибокого аналізу його біоцентрично-мережевої структури, а також визначення функціональної придатності екокоридорів.

Проведеними дослідженнями встановлено, що у Вінницькій обл. є потенціал для розвитку та функціонування сполучних територій як складових елементів екомережі. Це, своєю чергою, забезпечить шляхи поширення видів вищих судинних рослин між біоцентрами та сприятиме збереженню біорізноманіття.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Екомережа України та її природні ядра / Ю.Р. Шеляг-Сосонко, В.С. Ткаченко, Т.Л. Андриєнко, Я.І. Мовчан // Укр. ботан. журн. — 2005. — Т. 62, № 2. — С. 142–158.
2. Збереження і невиснажливе використання біорізноманіття України: стан та перспективи / Ю.Р. Шеляг-Сосонко, Д.В. Дубина, Л.П. Вакаренко та ін. — К., 2003. — 248 с.
3. Шеляг-Сосонко Ю.Р. Концепція, методи і критерії створення екосети України / Ю.Р. Шеляг-Сосонко, М.Д. Гродзинський, В.Д. Романенко. — К., 2004. — 144 с.
4. Мудрак О.В. Збалансований розвиток екомережі Поділля: стан, проблеми, перспективи / О.В. Мудрак. — Вінниця: «СПД Главацька Р.В.», 2012. — 914 с.
5. Фітобіотичне різноманіття природних фітоценозів агроландшафтів України: монографія / Є.Д. Ткач, О.В. Шерстобоева, В.І. Шаврина та ін. — К., 2015. — 231 с.
6. Харари Ф. Теорія графів / Ф. Харари. — М., 2003. — 296 с.
7. Проблеми збереження та відновлення біорізноманіття в Україні / М.Д. Гродзинський, Ю.Р. Шеляг-Сосонко, Т.М. Черевченко та ін. — К., 2001. — 104 с.
8. Самойленко В.М. Концептуальна схема математично-картографічного моделювання екомережі / В.М. Самойленко, Н.П. Корогода // Фізична географія та геоморфологія. — 2005. — № 47. — С. 145–154.
9. Шеляг-Сосонко Ю.Р. Методологія дослідження видової та ценотичної різноманітності екомережі України / Ю.Р. Шеляг-Сосонко, Д.В. Дубина, В.М. Мінарченко // Укр. ботан. журн. — 2005. — Вип. 60, № 4. — С. 374–380.
10. Домаранський А.О. Ландшафтне різноманіття: сутність, значення, метризація, збереження / А.О. Домаранський. — Кіровоград, 2006. — 146 с.
11. Shavrina V. Rare plants of ecological network in connecting areas of Vinnytsia region / V. Shavrina, E. Tkach // Агроекологічний журнал. — 2017. — № 1. — С. 115–120.
2. Sheliakh-Sosonko, Yu.R., Dubyna, D.V., Vakarenko, L.P. et al. (2003). *Zberezhennia i nevysnazhlyve vykorystannia bioriznomanittia Ukrainy: stan ta perspektyvy* [Preservation and non-exhaustive use of biodiversity in Ukraine: state and prospects]. Kyiv [in Ukrainian].
3. Sheliakh-Sosonko, Yu.R., Hrodzynskiy, M.D., Romanenko, V.D. (2004). *Kontseptsyia, metody i kriterii stvornannia ekosety Ukrainy* [Concept, methods and criteria for creating an ecoset of Ukraine]. Kyiv [in Ukrainian].
4. Mudrak, O.V. (2012). *Zbalansovanyi rozvytok ekomerezhi Podillia: stan, problemy, perspektyvy* [The balanced development of Podillya ecological network: status, problems, prospects]. Vinnytsia: «SPD Hlavatska R.V.» [in Ukrainian].
5. Tkach, E.D., Sherstoboieva, O.V. (2015). *Fitobiotychno riznomanittia pryrodnykh fitotsenoziv ahrolandshaftiv Ukrainy* [Phytobiotic diversity of natural phytocoenoses of Ukraine's agricultural landscapes]. Kyiv [in Ukrainian].
6. Harari, F. (2003). *Teoriya grafiv* [Theory of graphs]. Moskva [in Russian].
7. Hrodzynskiy, Yu.R., Sheliakh-Sosonko, T.M., Cherevchenko et al. (2001). *Problemy zberezhennia ta vidnovlennia bioriznomanittia v Ukraini* [Problems of conservation and restoration of biodiversity in Ukraine]. Kyiv [in Ukrainian].
8. Samoilenko, V.M., Koroga, N.P. (2005). *Kontseptualna skhema matematychno-kartografichnoho modeliuvannia ekomerezhi* [Conceptual scheme of mathematical and cartographic simulation of ecological networks]. *Fyzyczna heohrafiia ta heomorfolohiia — Physical geography and geomorphology*, 47, 145–154 [in Ukrainian].
9. Sheliakh-Sosonko, Yu.R., Dubyna, D.V., Minarchenko, V.M. (2005). *Metodolohiia doslidzhennia vydovoi ta tsenotychnoi riznomanitnosti ekomerezhi Ukrainy* [Methodology of study of species and coenotic diversity of the econet of Ukraine]. *Ukrainskyi botanichnyi zhurnal — Ukrainian Botanical Journal*, 60 (4), 374–380 [in Ukrainian].
10. Domaranskyi, A.O. (2006). *Landshaftne riznomanittia: sutnist, znachennia, metryzatsiia, zberezhennia* [Landscape diversity: essence, meaning, metrization, conservation]. Kirovograd [in Ukrainian].
11. Shavrina, V., Tkach, E. (2017). Rare plants of ecological network in connecting areas of Vinnytsia region. *Ahroekolohichnyi zhurnal — Agroecological journal*, 1, 115–120 [in English].

## REFERENCES

Стаття надійшла до редакції журналу  
30.04.2019