

## СЦЕНАРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СТАНУ ТЕРИТОРІЙ ПРИРОДНО-ЗАПОВІДНОГО ФОНДУ ЯК ІНСТРУМЕНТ ЕКОЛОГІЧНОГО УПРАВЛІННЯ

Тарасюк М.В.

Національний транспортний університет  
вул. Михайла Омеляновича-Павленка, 1, 01010, м. Київ  
[officentn@gmail.com](mailto:officentn@gmail.com)

У статті досліджується сценарне моделювання як методологічний інструмент прогнозування та управління екологічним станом територій природно-заповідного фонду (НПП) в умовах зростаючого антропогенного навантаження, ресурсної обмеженості та воєнно-екологічних загроз, актуальних для сучасної України. Актуальність дослідження зумовлена необхідністю переходу від описових до формалізованих, науково обґрунтованих підходів до обґрунтування природоохоронних технологічних рішень – підходів, здатних системно враховувати варіативність зовнішніх впливів і прогнозувати наслідки різних управлінських стратегій для стану заповідних екосистем.

У роботі запропоновано системну модель сценарного розвитку стану НПП, яка формалізує зв'язок між антропогенним навантаженням, природоохоронними технологіями та прогнозованим екологічним результатом у вигляді відображення  $S : T \times \Pi \rightarrow E$ . Модель структурує заповідну екосистему через три взаємопов'язані підсистеми: підсистему зовнішніх впливів (антропогенні та природні чинники навантаження), підсистему управління (заходи охорони та відновлення) та підсистему екологічного стану (поточний і прогнозований стан НПП).

На основі параметричного аналізу виділено три базові сценарії: базовий (стабільний помірний тиск, незмінний режим охорони, задовільний прогноз на 10 років), деградації (зростаючий тиск, послаблений режим охорони, незадовільний прогноз) та відновлення (зниження тиску, посилений режим охорони, активне впровадження природоохоронних технологій, добрий або відмінний прогноз). Кожен сценарій параметрично охарактеризовано за вісьмома показниками: рівнем антропогенного тиску, режимом охорони, впровадженням природоохоронних технологій, станом біорізноманіття, площею деградованих екоотопів, характером відновлення порушених ділянок, рівнем фінансування та прогнозованим екологічним станом.

Для систематизації управлінських альтернатив застосовано метод морфологічного аналізу. Побудовано морфологічну матрицю, що включає шість ключових ознак: тип антропогенного тиску (рекреаційний, господарський, військовий, комбінований), режим охорони, тип природоохоронної технології, масштаб і тривалість відновлювальних заходів, а також характер впливу на екосистему. Наукова новизна роботи полягає, зокрема, у включенні воєнного типу антропогенного тиску як самостійної морфологічної ознаки, що відповідає реаліям функціонування НПП України в умовах збройного конфлікту.

Морфологічний простір управлінських рішень формалізовано як декартовий добуток множин значень виділених ознак, що дозволяє систематично впорядкувати сукупність допустимих сценарних альтернатив і підготувати методологічний перехід до їх кількісного оцінювання засобами багатокритеріального аналізу. Розроблена модель є адаптованою для різних типів природоохоронних об'єктів і може слугувати основою для обґрунтування вибору типу, масштабу та тривалості природоохоронних технологій в умовах невизначеності та ресурсних обмежень. *Ключові слова:* природно-заповідний фонд, сценарне моделювання, екологічний стан, морфологічний аналіз, багатокритеріальна оцінка, управлінські рішення, природоохоронні технології.

### Scenario modelling of nature reserve fund territories as an environmental management tool. Tarasiuk M.

The article investigates scenario modelling as a methodological tool for forecasting and managing the ecological condition of nature reserve fund (NRF) territories under conditions of increasing anthropogenic pressure, limited resource availability, and military-ecological threats – challenges of particular relevance to contemporary Ukraine. The study is motivated by the need to transition from descriptive to formalised, scientifically grounded approaches for justifying conservation technology decisions – approaches capable of systematically accounting for the variability of external impacts and predicting the consequences of different management strategies for the condition of protected ecosystems.

The paper proposes a system model of scenario development for NRF condition, which formalises the relationship between anthropogenic pressure, conservation technologies, and the predicted ecological outcome as a mapping  $S : T \times \Pi \rightarrow E$ . The model structures the protected ecosystem through three interrelated subsystems: the external impact subsystem (anthropogenic and natural pressure factors), the management subsystem (protection and restoration measures), and the ecological condition subsystem (current and projected NRF status).

Based on parametric analysis, three baseline scenarios are identified: the baseline scenario (moderate stable pressure, unchanged protection regime, satisfactory 10-year prognosis), the degradation scenario (increasing pressure, weakened protection regime, unsatisfactory prognosis), and the restoration scenario (decreasing pressure, strengthened protection regime, active implementation of conservation technologies, good or excellent prognosis). Each scenario is parametrically characterised across eight indicators: anthropogenic pressure level, protection regime, implementation of conservation technologies, biodiversity condition, area of degraded ecotopes, character of disturbed site restoration, funding level, and projected ecological condition.



To systematise management alternatives, morphological analysis was applied. A morphological matrix was constructed encompassing six key attributes: type of anthropogenic pressure (recreational, economic, military, combined), protection regime, type of conservation technology, scale and duration of restoration measures, and character of ecosystem impact. The scientific novelty of the study includes, in particular, the incorporation of the military type of anthropogenic pressure as an independent morphological attribute – a contribution that reflects the operational realities of Ukrainian NRF territories under conditions of armed conflict.

The morphological space of management decisions is formalised as the Cartesian product of the value sets of the identified attributes, enabling systematic ordering of the full set of admissible scenario alternatives and providing a methodological transition to their quantitative evaluation using multi-criteria analysis methods. The developed model is adaptable to various types of conservation objects and can serve as a foundation for justifying the selection of type, scale, and duration of conservation technologies under conditions of uncertainty and resource constraints. *Key words:* nature reserve fund, scenario modelling, ecological condition, morphological analysis, multi-criteria assessment, management decisions, conservation technologies, military-ecological threats.

**Постановка проблеми.** Сучасні природно-заповідні території України функціонують в умовах зростаючого антропогенного навантаження, загострення воєнно-екологічних загроз та недостатнього ресурсного забезпечення природоохоронної діяльності [1]. У такому контексті ефективне управління екологічним станом НПП вимагає не лише фіксації поточних змін, а й науково обґрунтованого прогнозування траєкторій їх розвитку. Сценарне моделювання як методологічний підхід дозволяє формалізувати варіативність можливих управлінських рішень і передбачити їх наслідки для стану екосистем заповідних об'єктів.

**Актуальність дослідження.** Актуальність дослідження зумовлена потребою у розробці формалізованих інструментів обґрунтування вибору природоохоронних технологій для охорони та відновлення територій і об'єктів природно-заповідного фонду в умовах складної екологічної та воєнно-екологічної ситуації в Україні. Традиційні підходи до застосування природоохоронних технологій на заповідних територіях не забезпечують системного прогнозування їх ефективності залежно від характеру та інтенсивності зовнішніх впливів, що обумовлює необхідність застосування сценарного підходу як методологічної основи для технологічного обґрунтування природоохоронних рішень.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Представлене дослідження відповідає актуальним науковим і практичним завданням у сфері технологій захисту навколишнього середовища через розробку формалізованих інструментів обґрунтування природоохоронних технологічних рішень для заповідних територій. В науковому вимірі сценарна модель стану НПП розширює методологічний апарат оцінювання ефективності природоохоронних технологій шляхом їх системної класифікації та прогнозування наслідків застосування за різних умов антропогенного навантаження. У практичному вимірі результати дослідження безпосередньо спрямовані на вирішення завдань із застосування природоохоронних технологій для охорони та відновлення територій і об'єктів природно-заповідного фонду, оскільки розроблена сценарна модель дозволяє обґрунтовано обирати тип, масштаб і тривалість технологічних заходів залежно від

характеру антропогенного та воєнно-екологічного впливу на заповідну територію.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питання сценарного моделювання екологічного стану природних територій висвітлено у працях вітчизняних і зарубіжних дослідників. Зокрема, системний підхід до управління заповідними екосистемами розглядається у роботах з екологічного менеджменту та стратегічного планування охорони природи. Методологічні підходи до структурування управлінських альтернатив у природно-заповідному фонді базуються на поєднанні експертних, аналітичних та сценарних методів, що підтверджується сучасними дослідженнями [2, 3]. Сценарне моделювання змін землекористування та рослинного покриву для оцінки екологічних і соціально-економічних наслідків у біосферних резерватах застосовано у дослідженнях Північно-Відземського біосферного резервату (Латвія) [4]. Для підвищення адаптивного потенціалу відновлення екосистем в умовах кліматичних змін, надмірної експлуатації ресурсів і політичної нестабільності запропоновано підхід, що передбачає роботу з наявною системою, створення самовідтворювальних адаптивних систем та залучення різноманітних учасників [5]. Для максимізації відновлення біорізноманіття після колапсу екосистем запропоновано мережеві стратегії реінтродукції видів на основі топологічних характеристик взаємодії [6]. Водночас питання формалізації морфологічного простору технологічних рішень для заповідних територій із урахуванням воєнно-екологічних загроз залишається недостатньо розробленим.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Незважаючи на наявні дослідження у сфері екологічного управління природно-заповідними територіями, поза увагою залишаються питання: формалізованого опису морфологічного простору управлінських рішень для НПП; системної інтеграції сценарного і морфологічного підходів як методологічного підґрунтя для багатокритеріальної оцінки альтернатив; врахування воєнно-екологічних чинників у структурі сценарних параметрів. Саме цим аспектам присвячена дана стаття.

**Новизна.** Наукова новизна дослідження полягає у розробці системної моделі сценарного розвитку стану НПП, що формалізує зв'язок між антропоген-

ним навантаженням, природоохоронними технологіями та прогнозованим екологічним результатом, а також побудові морфологічної матриці параметрів сценарної моделі, яка включає воєнний тип антропогенного тиску як окрему морфологічну ознаку.

**Методологічне або загальнонаукове значення.** Запропонований підхід поєднує системний аналіз, сценарне прогнозування та морфологічний аналіз у єдину методологічну схему, яка може застосовуватися для дослідження управлінських рішень у природоохоронній сфері. Формалізація морфологічного простору управлінських рішень забезпечує методологічний перехід від якісного опису сценаріїв до кількісної оцінки альтернатив засобами багатокритеріального аналізу. Розроблені методологічні рішення можуть бути адаптовані для інших типів природоохоронних об'єктів та екологічних задач, що потребують структурованого аналізу альтернатив в умовах невизначеності.

**Викладення основного матеріалу.** У межах даного дослідження сценарне моделювання стану територій та об'єктів природно-заповідного фонду розглядається як інструмент прогнозування змін екологічного стану НПП залежно від набору управлінських заходів і зовнішніх чинників. Відповідно, сценарне моделювання трактується як формалізоване подання зв'язку між умовами антропогенного навантаження, характером природоохоронних заходів та прогнозованим станом екосистем заповідної території.

Для побудови загальної системної моделі сценарного розвитку стану НПП виділяються основні структурні елементи, що визначають формування та просторовий прояв змін екологічного стану. До таких елементів зокрема належать антропогенне навантаження на заповідну територію, система природоохоронних заходів і технологій та стан екосистем НПП як об'єкта впливу; прогнозований екологічний результат [7].

Досліджуючи динаміку стану заповідних екосистем з точки зору системного підходу, доцільно виділити основні підсистеми: підсистему зовнішніх впливів, що охоплює антропогенні та природні чинники навантаження; підсистему управління, яка відображає заходи охорони та відновлення; підсистему екологічного стану, що характеризує поточний і прогнозований стан екосистем НПП [5, 8, 9].

Побудована системна модель у загальному вигляді може бути подана у вигляді відображення:

$$S: T \times \Pi \rightarrow E, \quad (1)$$

де  $T$  – множина управлінських заходів та природоохоронних технологій;

$\Pi$  – просторова область НПП з притаманними їй екосистемними характеристиками;

$E$  – вихідна величина, що відображає прогнозований екологічний стан заповідної території.

Вихідна величина системної моделі відображає інтегральний результат дії управлінських заходів і зовнішніх чинників та визначається залежністю:

$$E = S(T, \Pi) \quad (2)$$

Множина управлінських параметрів  $T$  у загальному вигляді може бути подана як:

$$T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}, \quad (3)$$

де  $t_i$  – окремий захід або технологія, що впливає на формування екологічного стану НПП.

Побудована системна модель дозволяє розглядати різні сценарії управління заповідною територією за єдиною схемою: від характеру антропогенного навантаження та набору природоохоронних заходів до прогнозованого стану екосистем.

Для формалізації закономірностей сценарного розвитку стану НПП проведено параметричний аналіз виділених підсистем [10-13]. Результати параметричного аналізу підсистем узагальнено у таблиці 1, у якій наведено функціональне призначення сценаріїв, їх зміст та основні параметри.

Проведений параметричний аналіз свідчить, що визначальним елементом сценарної моделі є підсистема управлінських заходів, параметри якої безпосередньо формують закономірності зміни екологічного стану заповідних екосистем. Саме відмінності у наборі природоохоронних технологій та режимі охорони зумовлюють принципово різні траєкторії розвитку стану НПП за однакових зовнішніх умов.

Для систематизації результатів параметричного аналізу та формування методологічного переходу від опису сценаріїв до множини технічно можливих управлінських рішень застосовано метод морфологічного аналізу. Метод морфологічного аналізу дозволяє структурувати систему шляхом виділення основних морфологічних ознак, визначення можливих варіантів реалізації кожної з них та аналізу допустимих комбінацій параметрів у межах сценарної моделі [14-16].

На основі проведеного параметричного аналізу виділено ключові морфологічні ознаки, які визначають варіативність сценарного розвитку стану заповідних територій. Результати морфологічного аналізу узагальнено у морфологічній матриці (табл. 2).

Виділені морфологічні ознаки сценарної системи можуть бути формально подані у вигляді множини:

$$Z = \{z_1, z_2, z_3, z_4, z_5, z_6\}, \quad (4)$$

де кожен елемент  $z_i$  відповідає окремій морфологічній ознаці, наведеній у таблиці 2.

Кожна морфологічна ознака характеризується множиною допустимих значень:

$$z_i = \{z_{i1}, z_{i2}, \dots, z_{ik}\}. \quad (5)$$

Тоді морфологічний простір управлінських рішень у межах сценарної моделі стану НПП може бути поданий у вигляді декартового добутку:

Таблиця 1

## Параметричний аналіз сценаріїв стану територій природно-заповідного фонду

Параметр сценарію	Сценарій 1 (Базовий)	Сценарій 2 (Деградація)	Сценарій 3 (Відновлення)
Антропогенний тиск на територію НПП	Помірний, стабільний	Зростаючий	Знижується
Режим охорони	Існуючий (незмінний)	Послаблений	Посилений
Впровадження природоохоронних технологій	Відсутнє	Відсутнє	Активне впровадження
Стан біорізноманіття	Стабільний	Погіршується	Покращується
Площа деградованих екоотопів	Незмінна	Зростає	Скорочується
Відновлення порушених ділянок	Часткове, стихійне	Відсутнє	Планове, системне
Фінансування природоохоронних заходів	Базовий рівень	Недостатнє	Розширене
Прогнозований екологічний стан (10 років)	Задовільний	Незадовільний	Добрий / відмінний

Таблиця 2

## Морфологічна матриця параметрів сценарної моделі стану НПП

№	Морфологічна ознака	Варіанти реалізації
1	Тип антропогенного тиску на НПП	рекреаційний; господарський; військовий; комбінований
2	Режим охорони заповідної території	суворий заповідний; регульований; буферний; без обмежень
3	Тип природоохоронної технології	біотехнічна; інженерно-екологічна; моніторингова; комплексна
4	Масштаб відновлювальних заходів	локальний (ділянка); зональний (кластер); системний (вся територія НПП)
5	Тривалість реалізації заходів	короткострокова (до 3 років); середньострокова (3–10 років); довгострокова (понад 10 років)
6	Характер впливу на екосистему	оборотний; частково оборотний; незворотний

$$M = z_1 \times z_2 \times z_3 \times z_4 \times z_5 \times z_6. \quad (6)$$

Множина  $M$  охоплює всі допустимі комбінації морфологічних ознак, які відповідають потенційним сценаріям управління заповідною територією. Кожна окрема сценарна альтернатива  $A_k$  визначається як поєднання конкретних значень морфологічних ознак і може бути подана у вигляді морфологічної формули:

$$A_k = (z_{1i} \wedge z_{2j} \wedge z_{3l} \wedge z_{4m} \wedge z_{5n} \wedge z_{6p}), \quad (7)$$

де  $zq_i \in zq$  – допустиме значення відповідної морфологічної ознаки.

Таким чином, кожна сценарна альтернатива відповідає одному елементу морфологічного простору  $M$  та характеризується унікальною комбінацією параметрів антропогенного навантаження, режиму охорони і природоохоронних технологій.

Проведений морфологічний аналіз дозволяє системно впорядкувати множину можливих сценаріїв управління НПП. Морфологічний аналіз не передбачає вибору єдиного оптимального сценарію, а створює методологічну основу для подальшого оцінювання та порівняння альтернативних управлінських рішень із застосуванням методів багатокритеріального аналізу.

**Висновки.** 1. Розроблено системну модель сценарного розвитку стану НПП, що формалізує зв'язок між антропогенним навантаженням, природоохоронними технологіями та прогнозованим екологічним результатом у вигляді відображення  $S : T \times P \rightarrow E$ .

2. Виділено три базові сценарії управління заповідною територією – базовий, деградації та відновлення, – параметрично охарактеризовані через ключові показники стану екосистем і природоохоронного режиму.

3. Побудовано морфологічну матрицю параметрів сценарної моделі, що включає шість ключових морфологічних ознак із відповідними варіантами реалізації, у тому числі воєнний тип антропогенного тиску як самостійну ознаку.

4. Морфологічний простір управлінських рішень формалізовано як декартовий добуток множин значень морфологічних ознак, що забезпечує системне впорядкування допустимих сценарних альтернатив.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Розроблена сценарна модель і морфологічна матриця можуть бути використані як методологічна основа для: подальшого кількісного оцінювання сценарних альтернатив засобами

багатокритеріального аналізу при обґрунтуванні вибору природоохоронних технологій для заповідних територій; обґрунтування типу, масштабу і тривалості технологічних заходів з охорони та відновлення НПП залежно від характеру антропогенного та воєнно-екологічного впливу; проведення порівняльного аналізу ефективності приро-

доохоронних технологій за різних сценарних умов із метою вибору оптимальних рішень для конкретних об'єктів природно-заповідного фонду; формування науково обґрунтованих рекомендацій щодо пріоритизації природоохоронних технологій в умовах обмеженого ресурсного забезпечення, зокрема в умовах воєнно-екологічних загроз.

### Література

1. Коляда О. В., Головань Л. В., Чуприна Ю. Ю., Бузіна І. М. Оцінка сучасного стану природно-заповідного фонду Харківської області в умовах воєнних викликів та інтеграції до європейського екологічного простору. *Екологічні науки*. 2025. № 6(63). С. 242–247. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.6-63.38>
2. Pokshevnytska T., Khrutba Y. Optimisation of decision-making on risk management strategy for the hydromelioration systems in biosphere reserves. *Environmental Research Communications*. 2024. № 6, 091003. DOI: <https://doi.org/10.1088/2515-7620/ad75ef>.
3. Бондар О. І., Шевченко Р. Ю. Аудит контенту аншлагів природно-заповідних територій України та їх SMART-ресурсів. *Екологічні науки*. 2024. № 6(57). DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.6-57.1>.
4. Krumins J and Klavins M (2025) Scenario-based modeling of land-use and land-cover changes to promote sustainability in biosphere reserves: a case study from North Vidzeme, Latvia. *Frontiers in Remote Sensing*. 6:1567002. DOI: <https://doi.org/10.3389/frsen.2025.1567002>.
5. Fritsch M., Loos J., Löhr K., Sieber S., Fischer J. Future-proofing ecosystem restoration through enhancing adaptive capacity. *Communications Biology*. 2023. №6. 377. DOI: <https://doi.org/10.1038/s42003-023-04736-y>.
6. Bhatia U, Dubey S, Gouhier TC, Ganguly AR. Network-based restoration strategies maximize ecosystem recovery. *Communications Biology*. 2023. № 6. 1256. DOI: <https://doi.org/10.1038/s42003-023-05622-3>.
7. Barabash O., Khrutba O., Pokshevnytska T., Tarasiuk M. The realisation of sustainable development goals through the implementation of international environmental projects with the implementation of transport infrastructure solutions. Intelligent transport systems: Ecology, safety, comfort (ITSEQC 2024) / eds. O. Slavinska, V. Danchuk, O. Kunytska, O. Hulchak. Cham: Springer, 2025. Vol. 1335. P. 14–28. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-031-87376-8\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-031-87376-8_2)
8. Bryce K., Hunter K. L. Enhancing climate change planning and adaptive management in marine protected areas through targets, thresholds, and social-ecological objectives. *Frontiers in Marine Science*. 2024. № 11. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmars.2024.1339871>.
9. Ellis J. I. et al. Scale and ecosystem-based management: Navigating mismatches between socio-ecological systems. *Biological Conservation*. 2025. № 302. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2025.111000>.
10. Coro G., Bove P., Kesner-Reyes K. Global-scale parameters for ecological models. *Scientific Data*. 2023. № 10. Article 7. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01904-3>
11. Arias A., Moreira M. T., Heijungs R., Cucurachi S. Advancing parametric life cycle assessment (pa-LCA): A systematic review and methodological roadmap. *Sustainable Production and Consumption*. 2025. №61. P. 231–246 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2025.10.016>.
12. Mevenkamp H., Wunderling N., Bhatt U., Carman T., Donges J. F., Genet H., Serbin S., Winkelmann R., Euskirchen E. S. Reducing uncertainty of high-latitude ecosystem models through identification of key parameters. *Environmental Research Letters*. 2023. № 18 084032. DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ace637>.
13. Umwali E. D., Chen X., Ma X., Guo Z., Mbigi D., Zhang Z., Umugwaneza A., Gasirabo A., Umuhoza J. Integrated SSP-RCP scenarios for modeling the impacts of climate change and land use on ecosystem services in East Africa. *Ecological Modelling*. 2025. № 504. Article 111092. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2025.111092>
14. Ritchey T. General morphological analysis: An overview. *Academia Letters*. 2022. Article 4620. DOI: <https://doi.org/10.20935/AL4620>
15. Vieira M., Macedo A., Alvarenga A., Lafoz M., Villalba I., Blanco M., Rojas R., Romero-Filgueira A., García-Mendoza A., Santos-Herran M., Alves M. What future for marine renewable energy in Portugal and Spain up to 2030? Forecasting plausible scenarios using general morphological analysis and clustering techniques. *Energy Policy*. 2024. № 184. Article 113859. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2023.113859>
16. Sedighi E., Salmanmahiny A., Fath B. D., Daliri H. A spatial scenario planning framework for land use decision-making: case study of Gorgan township, Iran. *Environment, Development and Sustainability*. 2025. № 27. P. 25403–25428. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10668-024-04639-w>.

Дата першого надходження статті до видання: 30.04.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 21.05.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.05.2026