Міністерство освіти і науки України
Житомирський державний університет імені Івана Франка

Український журнал природничих наук

№ 12

Науковий журнал,
заснований у 2022 році

Видавничий дім
«Гельветика»
2025

Видається за рішенням вченої ради Житомирського державного університету імені Івана Франка (протокол № 13 від 27.06.2025 року).

Головний редактор

Овчаренко Микола – габілітований доктор біологічних наук, старший науковий співробітник, професор Інституту біології та охорони середовища Поморської академії наук (Слупськ, Республіка Польща)

Заступник головного редактора

Шелюк Юлія – доктор біологічних наук, професор кафедри ботаніки, біоресурсів та збереження біорізноманіття Житомирського державного університету імені Івана Франка (Житомир, Україна)

Відповідальний секретар

Пацюк Марина – кандидат біологічних наук, доцент кафедри ботаніки, біоресурсів та збереження біорізноманіття Житомирського державного університету імені Івана Франка (Житомир, Україна)

Члени редакційної колегії

Атасарал Шебнем – доктор наук, професор відділу розробки технології рибальства факультету морських наук Караденізького технічного університету (Трабзон, Турецька Республіка)

Боймуродов Хусніддін – доктор біологічних наук, професор кафедри біотехнології Самаркандського інституту ветеринарної медицини (Самарканд, Республіка Узбекистан)

Власенко Руслана – кандидат біологічних наук, доцент кафедри екології та географії Житомирського державного університету імені Івана Франка (Житомир, Україна)

Воловик Володимир – доктор географічних наук, доцент, професор кафедри географії Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського (Вінниця, Україна)

Гарбар Олександр – доктор біологічних наук, професор, завідувач кафедри екології та географії Житомирського державного університету імені Івана Франка (Житомир, Україна)

Жовнерчук Ольга – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник Інституту зоології ім. І. І. Шмальгаузена НАН України (Київ, Україна)

Зайонц Тадеуш – доктор біологічних наук, професор Інституту захисту природи Польської академії наук (Краків, Польща)

Киричук Галина – доктор біологічних наук, професор кафедри ботаніки, біоресурсів та збереження біорізноманіття Житомирського державного університету імені Івана Франка (Житомир, Україна)

Кичкирук Ольга – кандидат хімічних наук, доцент кафедри хімії Житомирського державного університету імені Івана Франка (Житомир, Україна)

Корнійчук Наталія – кандидат біологічних наук, доцент кафедри медико-біологічних дисциплін Житомирського державного університету імені Івана Франка (Житомир, Україна)

Кривенко Анна – доктор сільськогосподарських наук, професор, завідувачка кафедри захисту, генетики і селекції рослин Одеського державного аграрного університету (Одеса, Україна)

Кусяк Наталія – кандидат хімічних наук, доцент кафедри хімії Житомирського державного університету імені Івана Франка (Житомир, Україна)

Кюрчев Володимир – доктор технічних наук, професор, член-кореспондент НААН, радник ректора, Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного (Мелітополь, Україна)

Лаврик Олександр – доктор географічних наук, професор кафедри екології та географії Житомирського державного університету імені Івана Франка (Житомир, Україна)

Листван Віталій – кандидат хімічних наук, доцент кафедри хімії Житомирського державного університету імені Івана Франка (Житомир, Україна)

Марченко Тетяна – доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, завідувач відділу селекції сільськогосподарських культур Інституту кліматично орієнтованого сільського господарства Національної академії аграрних наук України (Одеса, Україна)

Міщенко Сергій – доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, доцент кафедри біології, здоров'я людини та методики навчання Глухівського національного педагогічного університету імені Олександра Довженка (Глухів, Україна)

Мудрак Галина – кандидат географічних наук, доцент кафедри екології та охорони навколишнього середовища Вінницького національного аграрного університету (Вінниця, Україна)

Нестерчук Інна – кандидат географічних наук, доцент кафедри екології та географії Житомирського державного університету імені Івана Франка (Житомир, Україна)

Оксентюк Ярослава – кандидат біологічних наук, старший викладач кафедри медико-біологічних дисциплін Житомирського державного університету імені Івана Франка (Житомир, Україна)

Островський Ілля – доктор філософії (біологія/лімнологія), професор, старший науковий співробітник Інституту Океанографії і Лімнології, Кінеретська лімнологічна лабораторія (Хайфа, Ізраїль)

Пілярська Олена – кандидат сільськогосподарських наук, старший дослідник, завідувачка відділу маркетингу та міжнародної діяльності, Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства Національної академії аграрних наук України (Одеса, Україна)

Семенюк Наталія – доктор біологічних наук, старший науковий співробітник Інституту гідробіології НАН України (Київ, Україна)

Сидоренко Сергій – кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник лабораторії екології лісу, Українського ордена «Знак пошани» науково-дослідного інституту лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г.М. Висоцького Державного агентства лісових ресурсів України та НАН України (Харків, Україна)

Стадниченко Агнеса – доктор біологічних наук, професор кафедри зоології, біологічного моніторингу та охорони природи Житомирського державного університету імені Івана Франка (Житомир, Україна)

Стунженас Вірмантас – доктор філософії (біологія і екологія), науковий співробітник лабораторії паразитології Центру дослідження природи Інституту екології (Вільнюс, Литовська Республіка)

Тітов Юрій – доктор хімічних наук, старший науковий співробітник Київського національного університету імені Тараса Шевченка (Київ, Україна)

Томашик Василь – доктор хімічних наук, професор Інституту фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України (Київ, Україна)

Хом'як Іван – кандидат біологічних наук, доцент кафедри екології та географії Житомирського державного університету імені Івана Франка (Житомир, Україна)

Чайка Микола – кандидат хімічних наук, доцент кафедри хімії Житомирського державного університету імені Івана Франка (Житомир, Україна)

Чехній Віктор – кандидат географічних наук, старший науковий співробітник, учений секретар Інституту географії НАН України (Київ, Україна)

Чумак Володимир – кандидат хімічних наук, доцент кафедри хімії Житомирського державного університету імені Івана Франка (Житомир, Україна)

Наукове періодичне видання

Український журнал природничих наук: науковий журнал / [гол. ред. Овчаренко Микола, відп. ред. Шелюк Юлія]. Житомир: 2025. № 12. 390 с.

Реєстрація в Національній раді України з питань телебачення і радіомовлення (Рішення № 540 від 20.07.2023 р.).

Фахова реєстрація (категорія «Б»): Наказ МОН України № 491 від 27.04.2023 року (додаток 3)

Спеціальності: Е1 Біологія та біохімія, Е2 Екологія, Е3 Хімія, Е4 Науки про Землю, С6 Географія та регіональні студії, Н1 Агрономія

Сайт видання: naturaljournal.zu.edu.ua/index.php/ujns
Макетування: Молодецька О. І.

В усіх статтях збережено орфографію та пунктуацію авторів.

Підписано до друку 30.06.2025 р. Формат 60х90/8. Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman
Друк різографічний. Ум. друк. арк. 48,75. Тираж 300. Замовлення 0725/551

Видавничий дім «Гельветика»
65101, м. Одеса, вул. Інглезі, 6/1
Телефон +38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08
E-mail: mailbox@helvetica.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 7623 від 22.06.2022 р.

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online
© Житомирський державний університет імені Івана Франка, 2025

Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 12
Український журнал природничих наук
№ 12

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

УДК 502.13-047.44-024.84(045)
DOI https://doi.org/10.32782/naturaljournal.12.2025.35

СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ЯКОСТІ ДОВКІЛЛЯ ЯК ІНСТРУМЕНТ ЕКОЛОГІЧНОГО УПРАВЛІННЯ

Н. Ю. Душечкіна[1]

У статті проведено всебічний аналіз можливостей застосування системного аналізу як інструменту екологічного управління в контексті оцінювання якості довкілля. Обґрунтовано актуальність упровадження системного підходу для вирішення складних екологічних завдань у зв'язку зі зростанням рівня антропогенного навантаження, зміною клімату та глобальними екологічними викликами. Показано, що традиційних лінійних методів оцінювання довкілля замало для розуміння складних взаємозв'язків у соціо-еколого-економічних системах, що потребує інтеграції системного мислення із процесом ухвалення управлінських рішень. Визначено, що системний аналіз забезпечує структурування цілей, формалізацію альтернатив, прогнозування наслідків управлінських дій і оптимізацію рішень на основі міждисциплінарного узгодження параметрів. У роботі проаналізовано ключові методи системного аналізу, зокрема побудову дерева цілей, метод експертних оцінок (зокрема, модифікований метод Дельфі), морфологічний аналіз, сценарне моделювання та багатокритеріальне оцінювання. Наведено результати застосування цих методів для розроблення моделей управління якістю водних ресурсів, оцінювання екологічних ризиків і просторового планування. Окрема увага приділена інтеграції системного аналізу з геоінформаційними системами, що дозволяє візуалізувати територіальний розподіл ризиків і підвищити точність стратегічних рішень у сфері природокористування. Підкреслено, що системний підхід дозволяє забезпечити комплексність оцінювання, ураховувати просторово-часову динаміку змін, аналізувати сценарії розвитку та формувати адаптивні управлінські стратегії. Установлено, що впровадження системного аналізу сприяє переходу до інтегрованої моделі екологічного управління, орієнтованої на стале використання природних ресурсів, запобігання екологічним ризикам і зміцнення екосистемної стійкості територій. Акцентовано на необхідності розвитку цифрових платформ системного аналізу, удосконалення механізмів експертного оцінювання та підготовки фахівців нового покоління для ефективного застосування даного підходу у практиці екологічного моніторингу, стратегічного планування і управління природними ресурсами.

Ключові слова: *системний аналіз, якість довкілля, екологічне управління, експертні оцінки, сценарне моделювання, геоінформаційні системи, сталий розвиток.*

[1] кандидат педагогічних наук, доцент,
доцент кафедри хімії та екології
(Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини, м. Умань)
e-mail: nataxeta74@gmail.com
ORCID: 0000-0002-4203-7122

SYSTEMATIC ANALYSIS OF ENVIRONMENTAL QUALITY AS A TOOL FOR ENVIRONMENTAL MANAGEMENT

N. Yu. Dushechkina

The article provides a comprehensive analysis of the possibilities of applying systems analysis as a tool for environmental management in the context of assessing environmental quality. The relevance of introducing a systems approach for solving complex environmental tasks is substantiated, considering the increasing anthropogenic pressure, climate change, and global ecological challenges. It is demonstrated that traditional linear methods of environmental assessment are insufficient for understanding complex interactions within socio-ecological-economic systems, necessitating the integration of systems thinking into the decision-making process. It is determined that systems analysis ensures the structuring of objectives, formalization of alternatives, forecasting of the consequences of management actions, and optimization of decisions based on interdisciplinary coordination of parameters.

The paper analyzes key systems analysis methods, including goal tree construction, expert evaluation methods (including the modified Delphi method), morphological analysis, scenario modeling, and multicriteria assessment. The results of applying these methods for developing models of water resource quality management, environmental risk assessment, and spatial planning are presented. Special attention is paid to the integration of systems analysis with geographic information systems, which allows the visualization of spatial risk distribution and enhances the accuracy of strategic decisions in the field of environmental management. It is emphasized that the systems approach provides comprehensive assessment capabilities, considers the spatiotemporal dynamics of changes, analyzes development scenarios, and supports the formation of adaptive management strategies. It has been established that the implementation of systems analysis promotes the transition to an integrated model of environmental management aimed at the sustainable use of natural resources, prevention of environmental risks, and strengthening the ecosystem resilience of territories. The necessity of developing digital platforms for systems analysis, improving expert evaluation mechanisms, and training a new generation of specialists capable of effectively applying this approach in the practice of environmental monitoring, strategic planning, and natural resource management is emphasized.

Key words: *systems analysis, environmental quality, environmental management, expert evaluation, scenario modeling, geographic information systems, sustainable development.*

Вступ

У контексті глобальних екологічних змін, зростання антропогенного навантаження на довкілля та невпинного виснаження природних ресурсів постає нагальна потреба в переосмисленні підходів до оцінювання якості навколишнього середовища й управління природними системами. Сучасна екологічна ситуація характеризується високим рівнем складності та невизначеності, що унеможливлює ефективне ухвалення рішень без використання науково обґрунтованих і структурованих методів аналізу.

Управлінські рішення у сфері природокористування мають базуватися не лише на емпіричних даних чи досвіді, а й на комплексному розумінні системних зв'язків між природними, техногенними, соціальними й економічними чинниками. Тому дедалі більшої актуальності набуває системний аналіз – міждисциплінарний підхід, що забезпечує комплексне вивчення складних об'єктів і процесів, виявлення їхньої структури, динаміки та внутрішньої логіки функціонування. Такий підхід докладно аналізується у працях з екологічного системного аналізу (Гандзюра, 2020).

Системний аналіз дозволяє формалізувати екологічні проблеми, виявити причинно-наслідкові зв'язки, побудувати прогностичні моделі й обґрунтувати альтернативні варіанти вирішення завдань з урахуванням ресурсних обмежень і можливих ризиків. Порівняно із традиційними підходами, він охоплює ширший спектр параметрів і взаємодій, що дозволяє ухвалювати більш зважені рішення. Застосування системного аналізу дозволяє подолати ці обмеження завдяки комплексному баченню проблем (Системний ..., 2021).

Актуальність даного дослідження полягає в необхідності систематизації знань про інструменти та методики системного аналізу в контексті оцінювання якості довкілля, а також у пошуку ефективних шляхів інтеграції цього підходу із практикою екологічного управління, зокрема для цілей моніторингу, стратегічного планування, адаптації до змін клімату та реалізації принципів сталого розвитку.

Упродовж останніх років у світовій і вітчизняній науці спостерігається зростання інтересу до застосування системного аналізу в екологічному моніторингу, управлінні природними ресурсами й ухваленні стратегічних рішень у сфері охорони довкілля. Зокрема, дослідження, проведені в рамках міждисциплінарних проєктів (Alex, 2021; Shang, 2025) демонструють ефективність інтегрованих підходів до аналізу складних соціо-еколого-економічних систем. Системний аналіз використовується для оцінювання стійкості екосистем, моделювання сценаріїв розвитку територій, оптимізації використання ресурсів з урахуванням екологічних обмежень (Боголюбов та ін., 2023).

Окрему увагу в науковому дискурсі останніх років приділено застосуванню системної динаміки, а також методів багатокритеріального ухвалення рішень (MCDA), які дозволяють комплексно оцінювати альтернативні стратегії природокористування. Такі дослідження підтверджують доцільність використання моделювання зворотних зв'язків між підсистемами довкілля для прогнозування наслідків екологічної політики (Messer et al., 2014; Velázquez, 2024). Окрім того, активно досліджується потенціал поєднання системного аналізу з геоінформаційними технологіями, що дозволяє не лише візуалізувати екологічні процеси, а й проводити просторово-часовий аналіз змін навколишнього середовища (Donkor et al., 2022).

Попри значний прогрес, існує низка невирішених питань, що стримують повноцінне впровадження системного аналізу у практику. Це, зокрема, брак уніфікованих моделей для реґіонального екологічного управління, занизький рівень цифровізації екологічного аналізу в публічному секторі, обмежені можливості адаптації методик до локального контексту, а також складнощі у трансформації якісних експертних суджень у кількісні параметри для моделювання. Важливою проблемою залишається також потреба в підвищенні екологічної обізнаності управлінців, здатних працювати з міждисциплінарними системами знань.

Отже, сучасні наукові публікації підтверджують потенціал системного аналізу як стратегічного інструменту сталого управління довкіллям, водночас акцентують на необхідності подальшої інтеграції цього підходу у практичну площину, з урахуванням цифрових технологій, локальних особливостей і потреб адаптивного управління в умовах глобальних змін.

Метою дослідження є обґрунтування доцільності застосування системного аналізу для оцінювання якості довкілля та розроблення ефективних управлінських рішень у сфері екологічної безпеки.

Матеріал і методи

У дослідженні взяли участь 15 експертів, серед яких: 4 науковців із кафедр екології провідних українських ЗВО, 5 представників реґіональних підрозділів Держекоінспекції, 3 представники екологічних ГО та 3 незалежні консультанти. Усі експерти мають щонайменше 10-річний досвід у сфері природоохоронної діяльності. Для обґрунтування застосованої методології використано напрацювання із системного аналізу (Добровольський і Безсонов, 2018; Cherkes, 2024), інтеграції ГІС та багатокритеріального оцінювання (Song et al., 2025; Bedo et al., 2025), а також сценарного аналізу екосистемних процесів (Liu & Wu, 2022).

Методологічною основою дослідження виступають принципи системного підходу, який дозволяє цілісно аналізувати складні соціо-еколого-економічні системи та виявляти внутрішні зв'язки між їхніми елементами. З урахуванням багатофакторності та високого рівня невизначеності сучасних екологічних викликів, системний аналіз застосовано як інструмент формалізації управлінських завдань, оцінювання альтернатив, моделювання наслідків рішень і ухвалення оптимальних стратегій у сфері природокористування. Основним матеріалом дослідження стали актуальні наукові публікації, аналітичні огляди, монографії та статті з міжнародних фахових журналів, як-от International Journal of Environmental Studies, Ukrainian Journal of Ecology, Landscape and Urban Planning, а також звіти міжнародних проєктів сталого розвитку, результати досліджень програм Horizon 2020, ресурси Європейського екологічного агентства (EEA), UNEP Data Explorer, національні бази моніторингу стану довкілля та приклади реґіональних екологічних програм.

Для досягнення мети використано комплекс міждисциплінарних методів. Серед них – метод аналізу ієрархій (AHP) для встановлення пріоритетності цілей управління довкіллям, метод побудови дерева цілей для структурування управлінських завдань, а також модифікований метод експертного оцінювання типу Дельфі, який застосову-

вався у форматі багаторівневої процедури опитування 15 фахівців. У дослідженні враховано також морфологічний аналіз для розроблення простору рішень щодо управління якістю водних об'єктів в урбанізованому середовищі, що дозволило сформувати понад 150 комбінацій стратегій і здійснити їх подальше ранжування за критеріями екологічної доцільності, економічної ефективності, технічної реалізованості та соціального сприйняття.

З метою моделювання довготривалих наслідків управлінських рішень застосовано сценарне планування. Було розроблено умовні сценарії розвитку регіональної екологічної ситуації: інерційний, адаптивний та інноваційний, які оцінювалися за сукупністю індикаторів – рівень забруднення, вартість реалізації, часові горизонти впровадження та ризики. Логіко-структурне моделювання використовувалося для візуалізації процесу ухвалення рішень у формі блок-схем і причинно-наслідкових структур. Для поглиблення аналітичної частини до дослідження залучено геоінформаційні системи (GIS) у поєднанні з багатокритеріальним аналізом (MCDA), що дало змогу провести просторове ранжування варіантів рішень і оцінити розподіл екологічних загроз у межах умовної території.

Також у процесі дослідження використовувалися загальнонаукові методи – аналіз, синтез, порівняння, систематизація та структурно-функціональне узагальнення, які забезпечили інтеграцію результатів, отриманих із різних джерел, у єдину аналітичну модель. Дані, зібрані за допомогою експертних процедур і сценарного моделювання, оброблялись із використанням програмного забезпечення "QGIS", "LibreOffice Draw" та "Microsoft Excel". Загальна методологія побудована на поєднанні якісних і кількісних підходів до аналізу, що дозволило не лише сформулювати логіку екологічного управління, але й адаптувати результати до практичного використання в умовах обмеженості ресурсів і браку вихідних даних.

Результати

У процесі дослідження було здійснено системне застосування комплексу методів, що дали змогу побудувати багаторівневу модель оцінювання якості довкілля з позицій стратегічного екологічного управління. Одним із ключових результатів стала побудова дерева цілей, яке дозволило логічно структурувати екологічні завдання на трьох рівнях – стратегічному, тактичному й операційному. Стратегічні цілі, зокрема гарантування екологічної безпеки, досягнення стійкості екосистем і адаптація до кліматичних змін, було конкретизовано через підцілі, пов'язані з якістю повітря, води, ґрунтів, а також індикатори сталого природокористування. Структуризація завдань за допомогою дерева цілей дала змогу ідентифікувати вузлові точки ухвалення рішень і сфокусувати увагу на обмежених ресурсах, доступних для реалізації цілей у різних сценаріях.

Метод експертного оцінювання, реалізований через модифікований метод Дельфі, дав змогу отримати зважені й узгоджені судження від фахівців різних галузей. У дослідженні взяли участь 15 експертів, зокрема представники наукових установ, регіональних управлінь охорони природи, громадських організацій і незалежні консультанти. Дослідження проводилось у два тури. У першому турі було зібрано первинні оцінки важливості критеріїв екологічної ефективності, економічної доцільності, технічної реалізованості та соціальної підтримки. Після узагальнення результатів і надання експертам зворотного зв'язку, у другому турі досягнуто високого рівня конкордації оцінок (W = 0,84), що підтверджує узгодженість і надійність експертної думки. Узагальнені результати вказали на критичну важливість таких напрямів, як посилення екологічного моніторингу водних об'єктів, формування прозорої інформаційної бази даних, децентралізація управління ризиками та створення інтерактивних систем підтримки рішень на місцевому рівні.

Коефіцієнт конкордації Кендалла (W) у результаті другого туру експертного оцінювання становив 0,84, що свідчить про високий рівень узгодженості оцінок (Wang et al., 2021). Зведені результати демонструють розподіл середніх балів за чотирма ключовими критеріями. Найвищі інтегральні значення (0,88–0,92) отримали стратегії, які поєднували цифровий моніторинг, оновлення інфраструктури й активне залучення громади. Для візуалізації використовувались QGIS, LibreOffice Draw і MS Excel. Розрахунки сценарного моделювання базувалися на оцінці ризиків за п'ятьма показниками, що дозволило провести інтегроване оцінювання екологічних наслідків для кожного сценарію.

Морфологічний аналіз дозволив виявити можливі комбінації часткових управлінських рішень у сфері якості водних ресур-

сів. Модель охоплювала п'ять основних блоків: моніторинг, технічні засоби очищення, адміністративні інструменти, участь громадськості й інституційна підтримка. Загалом було змодельовано 162 можливі комбінації дій. За результатами багатокритеріального відбору 24 варіанти було відібрано для подальшого аналізу. Після їх оцінювання за допомогою MCDA 5 рішень набрали інтегральний бал понад 0,85 (з 1), що свідчить про їх високу потенційну ефективність. Наприклад, комбінація, що включала автоматизований моніторинг, поетапну модернізацію очисних споруд, інституційні стимули й освітні кампанії, виявилася оптимальною для умов середнього промислового навантаження.

Сценарне моделювання було реалізоване на прикладі умовної екосистеми в зоні змішаного землекористування з агропромисловими й урбанізованими територіями. Було побудовано три сценарії – інерційний, адаптивний та інноваційний. Інерційний сценарій передбачав збереження існуючих практик та нормативного підходу до управління. Адаптивний сценарій включав поетапне оновлення технологічної інфраструктури, зростання частки цифрових інструментів і зміцнення міжвідомчої взаємодії. Інноваційний сценарій базувався на повній цифровізації системи моніторингу, автоматизації зворотного зв'язку та реалізації принципів екосистемного управління. Результати сценарного моделювання показали, що в середньостроковій перспективі (5–7 років) адаптивний сценарій дозволяє знизити рівень екологічних ризиків на 18%, тоді як інноваційний забезпечує до 28% покращення, хоча потребує майже вдвічі більших початкових інвестицій.

Інтеграція системного аналізу з геоінформаційними технологіями дозволила створити просторову модель зони підвищеного ризику, у межах якої було здійснено візуалізацію джерел забруднення, потоків розповсюдження забруднюючих речовин і чутливих об'єктів – зокрема шкіл, водозаборів, рекреаційних зон. Було виявлено чітку залежність між щільністю забудови, наявністю транспортної інфраструктури й рівнем хімічного навантаження. З використанням функцій QGIS та MCDA побудовано карти пріоритетності втручання, які демонструють найбільш доцільні зони для екологічних інвестицій і природоохоронних заходів.

Логіко-структурне моделювання дозволило описати взаємозв'язки між елементами системи ухвалення рішень, зокрема і блоки нормативного середовища, фінансового забезпечення, громадської підтримки та технічної реалізованості. Моделі були апробовані на прикладах типових управлінських рішень – наприклад, модернізації систем водоочищення або створення біофільтраційних полів. Установлено, що за врахування повного циклу впровадження (від ініціації до оцінювання результату) ефективність рішень значно зростає в разі присутності цифрових інструментів в обох ключових блоках: прогнозуванні й контролі.

У результаті узагальнення отриманих результатів можна дійти висновку, що системний аналіз не лише забезпечує структурну узгодженість екологічних рішень, а й дозволяє ефективно поєднувати кількісні та якісні параметри оцінювання. Його практичне застосування дозволяє сформувати прозору, науково обґрунтовану платформу для підтримки стратегічного управління у сфері охорони довкілля, інтегруючи цифрові технології, експертний потенціал і міжгалузеву кооперацію. Такий підхід відкриває перспективи для створення адаптивних моделей локального та регіонального рівнів, здатних оперативно реагувати на зміни екологічного середовища та забезпечувати сталість природних систем навіть в умовах обмежених ресурсів і політичної турбулентності.

Обговорення

Отримані результати дослідження підтверджують ефективність системного аналізу як ключового інструменту підтримки екологічно вмотивованого ухвалення рішень в умовах складних і динамічних соціо-еколого-економічних систем. У сучасних умовах глобальної екологічної нестабільності, кліматичних змін, деградації природних ресурсів та зростання регіональних ризиків традиційні лінійні або ізольовані підходи до оцінювання довкілля виявляються неефективними. Саме тому системний аналіз, як показано в цьому дослідженні, забезпечує необхідну логічну послідовність і багаторівневу гнучкість, що дозволяє враховувати широкий спектр чинників і взаємозв'язків у межах інтегрованої екологічної політики.

Порівняння результатів із науковими напрацюваннями інших авторів засвідчує узгодженість підходів. Зокрема, дослідження (Добровольський, 2018) показало ефективність використання системної динаміки для моделювання взаємодії між підсистемами довкілля, що збігається з нашими результа-

тами щодо застосування сценарного моделювання та логіко-структурного аналізу. Аналогічно, (Гандзюра, 2020; Системний …, 2021) у своїй багатофакторній моделі ландшафтного управління використовували морфологічний підхід для оцінювання ефективності екосистемних рішень, що підтверджує дієвість подібного інструментарію й у нашому випадку. Роботи (Bedo et al., 2025) демонструють, як інтеграція системного мислення із принципами сталого розвитку дає змогу створювати аналітичну базу для ухвалення рішень, що відповідає концепції нашого дослідження щодо побудови багаторівневої ієрархії цілей і моделей оптимізації дій.

На особливу увагу заслуговує синергія між системним аналізом і геоінформаційними технологіями. Як зазначають (Alex, 2023; Cherkes, 2024), поєднання GIS і багатокритеріального аналізу дозволяє значно підвищити точність і просторову обґрунтованість екологічного планування. Наші результати підтверджують це твердження на прикладі побудови карт екологічних ризиків і локалізації територій із пріоритетною потребою у втручанні. Така інтеграція також посилює можливості для візуалізації сценаріїв, оперативної інтерпретації результатів і формування рекомендацій для місцевих органів влади та громадськості.

Значення системного підходу не обмежується лише сферою технічного або математичного моделювання. Його потенціал полягає у трансформації управлінської культури – від реагування до прогнозування, від ізольованого управління до координації міжсекторальних дій. Ієрархічна декомпозиція цілей, яку було реалізовано в нашому дослідженні, є потужним інструментом узгодження політик, визначення точок конфлікту інтересів і створення простору для компромісних стратегій. В умовах воєнного стану та відновлення економіки України такі інструменти можуть забезпечити довготривалу стабільність у природокористуванні, без жертвування водночас екологічною якістю.

Варто також визнати наявність низки обмежень. По-перше, застосування системного аналізу потребує високого рівня міждисциплінарної підготовки фахівців, що нині не є системно підтриманим в освітніх програмах. По-друге, брак якісних, регулярних і відкритих екологічних даних обмежує можливості кількісного моделювання, знижує достовірність прогнозів. По-третє, інституційна інерція і слабка взаємодія між суб'єктами екологічного управління можуть стримувати імплементацію навіть найобґрунтованіших рішень.

Важливим аспектом, що потребує додаткового дослідження, є формалізація якісних експертних оцінок, які часто використовуються як основа у сценарному моделюванні. Також перспективним напрямом є розроблення інтерактивних цифрових платформ, які б поєднували бази екологічних даних, інструменти системного аналізу та механізми комунікації зі стейкхолдерами. Такий підхід забезпечить оперативне оновлення інформації, розширення участі зацікавлених сторін і адаптивність рішень відповідно до мінливих умов середовища.

Отже, результати цього дослідження не лише підтверджують наукову і практичну цінність системного аналізу як інструменту екологічного управління, а й створюють підґрунтя для формування нових підходів до планування, моніторингу й оцінювання ефективності природоохоронних рішень у складному середовищі сучасних викликів.

Висновки

Результати проведеного дослідження підтвердили, що системний аналіз є потужним міждисциплінарним інструментом для оцінювання якості довкілля та ухвалення науково обґрунтованих рішень у сфері екологічного управління. Його застосування дозволяє не лише формалізувати складні екологічні проблеми, а й створити структуровану модель цілей, альтернатив та індикаторів, що забезпечує узгодженість між стратегічними, тактичними й операційними рівнями природоохоронної діяльності.

У процесі дослідження доведено ефективність методів дерева цілей, морфологічного аналізу, сценарного моделювання, експертних оцінок і багатокритеріального аналізу у вирішенні завдань, пов'язаних з управлінням якістю водного середовища, просторовим плануванням і оцінюванням екологічних ризиків. Поєднання системного підходу з геоінформаційними технологіями дозволило забезпечити візуалізацію і адаптацію рішень до конкретного територіального контексту, а використання логіко-структурного моделювання сприяло побудові цілісних алгоритмів ухвалення рішень з урахуванням нормативних, фінансових і соціальних параметрів.

Системний аналіз, як продемонстровано в роботі, сприяє переходу від фраґментарного до комплексного бачення екологічного

управління, дає змогу враховувати вплив різноманітних чинників, здійснювати інтеграцію кількісних і якісних методів, підвищувати прозорість і підзвітність ухвалених рішень. Його впровадження є необхідною умовою формування ефективної екологічної політики на національному та реґіональному рівнях, особливо в умовах децентралізації та обмежених ресурсів.

Практична цінність отриманих результатів полягає в можливості їх адаптації для створення аналітичних модулів екологічного моніторингу, розроблення стратегій сталого природокористування, інтеграції екологічних міркувань у місцеві плани соціально-економічного розвитку. З огляду на сучасні виклики, зокрема зміну клімату, техногенні ризики, урбанізацію та посилення воєнних загроз, системний підхід може забезпечити сталу основу для формування адаптивної екологічної політики.

Перспективи подальших досліджень убачаються у створенні цифрових платформ на основі системного аналізу, які об'єднуватимуть дані, аналітику, моделювання та інструменти залучення зацікавлених сторін. Також доцільним є подальше вдосконалення формалізації експертних суджень, розроблення локалізованих моделей для різних типів природокористування та інтеграція системного аналізу в освітні й управлінські практики. Це дозволить перейти до якісно нової моделі екологічного управління, що базується на науковому прогнозуванні, технологічній підтримці й участі громади.

Список використаної літератури

Боголюбов В.М, Сальнікова А.В., Ракоїд О.О. Екологічний моніторинг : навчальний посібник. Київ : НУБіПУ, 2023. 200 с.

Гандзюра В.П. Системний аналіз якості навколишнього середовища : навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. Київ, 2020. 180 с.

Добровольський В.В., Безсонов Є.М. Системний аналіз якості навколишнього середовища : навчальний посібник. Миколаїв : Вид-во ЧНУ ім. Петра Могили, 2018. 164 с.

Системний аналіз якості навколишнього середовища : навчальний посібник для студентів спеціальності 101 Екологія / О.В. Медведєва та ін. Кропивницький, 2021. 80 с.

Alex M.V. Evaluating the enhanced remote sensing ecological index: Unraveling the dynamics and influences on spatiotemporal changes in ecological environment quality. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2023. № 13. P. 4–6. https://doi.org/10.15421/2023_489.

Bedo D., Mekuriaw A., Bantider A. Climate change impacts on ecosystem services in the wetlands of Abijata Shala Lakes National Park, Ethiopia. *International Journal of Environmental Studies.* 2025. Vol. 82. Is. 2. P. 807–824. https://doi.org/10.1080/00207233.2024.2444261.

Cherkes B. Climate resilient, green and low carbon built environment. *International Journal of Environmental Studies*. 2024. № 81 (1). https://doi.org/10.1080/00207233.2024.2314844.

Donkor M., Kong Y., Kwaku Manu E., Henry Ntarmah A., Appiah-Twum F. Economic Growth and Environmental Quality: Analysis of Government Expenditure and the Causal Effect**.** Int. J. Environ. Res. Public Health. 2022. № 19 (17). P. 10629. https://doi.org/10.3390/ijerph191710629.

Liu L., Wu J. Scenario analysis in urban ecosystem services research: Progress, prospects, and implications for urban planning and management. *Landscape and Urban Planning*. 2022. Vol. 224. P. 104433. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2022.104433.

Messer L.C., Jagai J.S., Rappazzo K.M., & Lobdell D.T. Construction of an environmental quality index for public health research. *Environmental Health*. 2014. № 13 (1). P. 39. https://doi.org/10.1186/1476-069X-13-39.

Shang B. The interplay of land use change and ecosystem service sustainability. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2025. № 15. P. 1–3. https://doi.org/10.15421/2025_592.

Song J., Huang L., Wang X. A study on the correlation between green economy development and foreign investment based on regression analysis. *International Journal of Environmental Studies*. 2025. Vol. 82. Iss. 2. P. 859–870. https://doi.org/10.1080/00207233.2024.2444848.

Velázquez D. Conservation strategies: Emerging trends and ongoing challenges in species ecological niche modeling. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2024. № 14. P. 28–30. https://doi.org/10.15421/2024_588.

References

Boholiubov, V.M, Salnikova, A.V., & Rakoid, O.O. (2023). Ekolohichnyi monitorynh: navchalnyi posibnyk [Environmental Monitoring: A Training Manual]. Kyiv: NUBiPU, 200 s. [in Ukrainian].

Handziura, V.P. (2020). Systemnyi analiz yakosti navkolyshnoho seredovyshcha: Navchalnyi posibnyk dlia studentiv vyshchykh navchalnykh zakladiv [Systematic analysis of environmental quality]. Kyiv. 180 p. [in Ukrainian].

Dobrovolskyi, V.V., & Bezsonov, Ye.M. (2018). Systemnyi analiz yakosti navkolyshnoho seredovyshcha*:* navch. posib [Systematic analysis of environmental quality]. Mykolaiv: Vyd-vo ChNU im. Petra Mohyly. 164 p. [in Ukrainian].

Medvedieva, O., Kropivnyi, V., Mirzak, T., & Nemyrovskyi, Ya. (2021). Systemnyi analiz yakosti navkolyshnoho seredovyshcha. Navchalnyi posibnyk dlia studentiv spetsialnosti 101 Ekolohiia [Systematic analysis of environmental quality]. Kropyvnytskyi. 80 p. [in Ukrainian].

Alex, M.V. (2023). Evaluating the enhanced remote sensing ecological index: Unraveling the dynamics and influences on spatiotemporal changes in ecological environment quality. *Ukrainian Journal of Ecology,* 13, 4–6. https://doi.org/10.15421/2023_489 [in English].

Cherkes, B. (2024). Climate resilient, green and low carbon built environment. *International Journal of Environmental Studies*. 81 (1). https://doi.org/10.1080/00207233.2024.2314844 [in English].

Bedo, D., Mekuriaw, A., & Bantider, A. (2025). Climate change impacts on ecosystem services in the wetlands of Abijata Shala Lakes National Park, Ethiopia. *International Journal of Environmental Studies*, Vol. 82, Is. 2, 807–824. https://doi.org/10.1080/00207233.2024.2444261 [in English].

Donkor, M., Kong, Y., Kwaku Manu, E., Henry Ntarmah, A., & Appiah-Twum, F. (2022). Economic Growth and Environmental Quality: Analysis of Government Expenditure and the Causal Effect**.** Int. J. Environ. Res. Public Health, 19 (17), 10629. https://doi.org/10.3390/ijerph191710629 [in English].

Liu, L., Wu, J. (2022). Scenario analysis in urban ecosystem services research: Progress, prospects, and implications for urban planning and management. *Landscape and Urban Planning*, Vol. 224, 104433. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2022.104433 [in English].

Messer, L.C., Jagai, J.S., Rappazzo, K.M., & Lobdell, D.T. (2014). Construction of an environmental quality index for public health research. *Environmental Health,* 13 (1), 39. https://doi.org/10.1186/1476-069X-13-39 [in English].

Shang, B. (2025). The interplay of land use change and ecosystem service sustainability. *Ukrainian Journal of Ecology*, 15, 1–3. https://doi.org/10.15421/2025_592 [in English].

Song, J., Huang, L. & Wang, X. (2025). A study on the correlation between green economy development and foreign investment based on regression analysis. *International Journal of Environmental Studies*, Volume 82, Issue 2, 859–870. https://doi.org/10.1080/00207233.2024.2444848 [in English].

Velázquez, D. (2024). Conservation strategies: Emerging trends and ongoing challenges in species ecological niche modeling. *Ukrainian Journal of Ecology*. 14, 28–30. https://doi.org/10.15421/2024_588 [in English].

Отримано: 23.04.2025
Прийнято: 15.05.2025