МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет лісового господарства та екології

Кафедра екології

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

ВІК СЕРГІЙ ВАЛЕРІЙОВИЧ

УДК 504.064:004.9:712.253

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

ІНТЕГРАЦІЯ ЕКОМОНІТОРИНГУ ТА ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ У МЕЖАХ УРБАНІЗОВАНОЇ ЗЕЛЕНОЇ ЗОНИ

101 «Екологія»

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело _____ Сергій ВІК

Керівник роботи:
Дмитро ВИСКУШЕНКО,
кандидат біол. наук, доцент

Житомир – 2026

Висновок кафедри екології

за результатами попереднього захисту:
_____

Протокол засідання кафедри екології
№ __ від «___» _____ 2026 р.

Завідувач кафедри

екології Юрій НИКИТЮК

«___» _____ 2026 р.

Результати захисту кваліфікаційної роботи

Здобувач вищої освіти **Сергій Вік** захистив кваліфікаційну роботу з оцінкою:

сума балів за 100-бальною шкалою _____

за шкалою ECTS _____

за національною шкалою _____

Секретар ЕК _____ _____
(підпис)

АНОТАЦІЯ

Вік С.В. Інтеграція екомоніторингу та цифрових технологій у межах урбанізованої зеленої зони. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавра за спеціальністю 101 «Екологія». – Поліський національний університет, Житомир, 2026.

У роботі розглянуто теоретичні та прикладні аспекти інтеграції екомоніторингу та цифрових технологій у межах урбанізованих зелених зон. Узагальнено підходи до визначення сутності та класифікації міських зелених насаджень, а також проаналізовано принципи організації екомоніторингу в урбанізованих екосистемах. Висвітлено можливості застосування сучасних цифрових технологій, зокрема геоінформаційних систем, сенсорних мереж, мобільних додатків і методів фотомоніторингу для оцінки стану рослинності та екологічних параметрів довкілля.

Розроблено рекомендації щодо підвищення ефективності екомоніторингу шляхом впровадження цифрових технологій, оптимізації систем збору та обробки даних, а також удосконалення управління міськими зеленими зонами. Окреслено перспективи розвитку інтегрованих систем екологічного моніторингу в умовах цифровізації урбанізованого середовища.

Ключові слова: екомоніторинг, урбанізовані зелені зони, цифрові технології, GIS, сенсорні мережі, екологічний стан, міські екосистеми, управління довкіллям.

ANNOTATION

Vik S. Integration of Environmental Monitoring and Digital Technologies within an Urban Green Zone. – Qualification paper manuscript copyrights.

Qualification work for obtaining a Bachelor’s degree in the specialty 101 «Ecology». – Polissia National University, Zhytomyr, 2026.

The paper addresses theoretical and applied aspects of integrating environmental monitoring and digital technologies within urban green zones. Approaches to defining and classifying urban green spaces are systematized, and

the principles of environmental monitoring in urban ecosystems are analyzed. The potential of modern digital technologies, including geographic information systems (GIS), sensor networks, mobile applications, and photo monitoring methods, for assessing vegetation condition and environmental parameters is highlighted.

Recommendations are developed to improve the efficiency of environmental monitoring through the implementation of digital technologies, optimization of data collection and processing systems, and enhancement of urban green space management. Prospects for the development of integrated environmental monitoring systems in the context of urban digitalization are outlined.

Key words: environmental monitoring, urban green zones, digital technologies, GIS, sensor networks, ecological condition, urban ecosystems, environmental management.

ЗМІСТ

	Стор.	
	ВСТУП	**6**
1.	**ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ЕКОМОНІТОРИНГУ УРБАНІЗОВАНИХ ЗЕЛЕНИХ ЗОН**	**9**
1.1.	Урбанізовані зелені зони як об’єкт екологічних досліджень: сутність, функції та класифікація	9
1.2.	Екомоніторинг у міських екосистемах: принципи, завдання та система показників	13
1.3.	Методологічні підходи до оцінки екологічного стану зелених насаджень	16
2.	**ЦИФРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ В СИСТЕМІ ЕКОМОНІТОРИНГУ ЗЕЛЕНИХ ЗОН**	**20**
2.1.	Класифікація та функціональні можливості цифрових технологій в екомоніторингу	20
2.2.	Методи застосування цифрових технологій для оцінки екологічного стану зелених зон	23
2.3.	Переваги, обмеження та проблеми впровадження цифрових технологій в екомоніторинг	25
3.	**ПЕРСПЕКТИВИ ТА НАПРЯМИ ІНТЕГРАЦІЇ ЕКОМОНІТОРИНГУ І ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ У МІСЬКИХ ЗЕЛЕНИХ ЗОНАХ**	**28**
3.1.	Інтегровані системи екомоніторингу: концепції, моделі та архітектура	28
3.2.	Рекомендації щодо впровадження цифрових рішень для управління та збереження зелених зон	30
	ВИСНОВКИ	**34**
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	**36**

ВСТУП

Зелені зони міст виконують значно ширші функції, ніж рекреаційні: вони регулюють мікроклімат, знижують рівень забруднення повітря, підтримують біорізноманіття та формують екологічну стійкість урбанізованого середовища [2, 23]. Водночас інтенсивна урбанізація, зростання антропогенного навантаження і фрагментація природних територій ускладнюють збереження їхнього екологічного потенціалу [11, 17]. За таких умов підвищується потреба у якісно нових підходах до оцінки стану зелених насаджень, здатних забезпечити регулярність спостережень, просторову деталізацію та оперативність отримання даних.

Традиційні методи екомоніторингу, що базуються переважно на польових обстеженнях, часто є трудомісткими, обмеженими у часі та просторі і не завжди дозволяють отримати цілісну картину екологічного стану територій. Натомість цифрові технології відкривають можливості для інтеграції різнорідних даних, автоматизації збору інформації та її аналітичної обробки [3]. Використання геоінформаційних систем, дистанційного зондування Землі, сенсорних мереж та мобільних додатків дає змогу підвищити точність і ефективність екомоніторингу, а також створити підґрунтя для прийняття обґрунтованих управлінських рішень щодо розвитку та збереження зелених зон.

Актуальність роботи зумовлена необхідністю теоретичного осмислення та систематизації підходів до інтеграції екомоніторингу і цифрових технологій у межах урбанізованих зелених зон, а також визначенням їх потенціалу для підвищення ефективності екологічного контролю. Додаткової ваги дослідженню надає зростаюча роль цифровізації у сфері управління довкіллям та потреба адаптації міжнародного досвіду до умов України.

Метою роботи є узагальнення теоретичних положень та обґрунтування підходів до інтеграції екомоніторингу і цифрових технологій для оцінки та управління станом урбанізованих зелених зон.

Для досягнення поставленої мети сформульовано такі **завдання**:

- проаналізувати сутність та класифікаційні підходи до визначення урбанізованих зелених зон;
- розкрити принципи, функції та систему показників екомоніторингу в міських екосистемах;
- узагальнити методологічні підходи до оцінки екологічного стану зелених насаджень;
- систематизувати сучасні цифрові технології, що застосовуються в екомоніторингу;
- охарактеризувати методи використання цифрових інструментів для оцінки екологічних параметрів;
- визначити переваги, обмеження та проблеми впровадження цифрових технологій у практику екомоніторингу;
- сформулювати рекомендації щодо підвищення ефективності інтегрованих систем моніторингу зелених зон.

Об'єктом дослідження є процеси екомоніторингу урбанізованих зелених зон.

Предметом дослідження виступають теоретико-методичні засади та інструменти інтеграції цифрових технологій у систему екомоніторингу міських зелених насаджень.

У процесі виконання роботи використано комплекс загальнонаукових та спеціальних методів дослідження, зокрема: аналіз і синтез – для узагальнення наукових підходів; системний підхід – для розгляду екомоніторингу як складної багаторівневої системи; порівняльний аналіз – для оцінки можливостей різних цифрових технологій; класифікація та узагальнення – для систематизації інструментів і методів; графічні методи – для візуалізації структур і процесів екомоніторингу.

Перелік публікацій автора за темою дослідження.

Вік С.В. Застосування цифрових технологій у системах екомоніторингу урбанізованих зелених зон. Виклики сьогодення та наслідки Чорнобильської

катастрофи. Екологія. Наука. Практика-2026 : матеріали XXII Всеукр. наук.-практ. конф. Житомир : Поліський національний університет, 2026. С. 55-57 [10]

Яремчук С.М., **Вік С.В.,** Кулаківська В.М., Ткачук Ю.О. Акваріумні моделі в системі цифрового екомоніторингу міських екосистем. 4th International Scientific and Practical Conference. Innovative Research in Science and Economy. Brussels: International Scientific Unity, 2026. p. 72-74 [25]

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості використання узагальнених підходів і запропонованих рекомендацій при організації екомоніторингу зелених зон у межах населених пунктів, удосконаленні систем збору та аналізу екологічної інформації, а також у навчальному процесі підготовки фахівців-екологів. Окремі положення роботи можуть бути використані як методична основа для впровадження цифрових рішень у діяльність установ природоохоронного та освітнього спрямування.

Структура та обсяг роботи. Робота викладена на 40 сторінках комп’ютерного тексту, кількість таблиць – 7, кількість рисунків – 6. Список використаної літератури – 40 джерел.

РОЗДІЛ 1
ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ЕКОМОНІТОРИНГУ УРБАНІЗОВАНИХ ЗЕЛЕНИХ ЗОН

1.1. Урбанізовані зелені зони як об’єкт екологічних досліджень: сутність, функції та класифікація

У межах міського середовища зелені насадження формують окремий тип природно-антропогенних систем, які поєднують властивості природних екосистем і штучно створених елементів інфраструктури [5]. На відміну від умовно «диких» природних територій, такі зони розвиваються під постійним впливом урбанізаційних процесів, що визначає специфіку їхньої структури, динаміки та екологічного стану [24]. Саме тому вони розглядаються як самостійний об’єкт екологічних досліджень, для якого характерні як природні, так і керовані процеси .

Під урбанізованими зеленими зонами доцільно розуміти сукупність територій у межах населених пунктів, зайнятих деревною, чагарниковою та трав’яною рослинністю, які виконують екологічні, соціальні та просторово-планувальні функції [31]. До їх складу входять парки, сквери, бульвари, прибудинкові насадження, захисні смуги, ботанічні сади та інші елементи озеленення. Важливою ознакою таких територій є їх включеність у міську інфраструктуру, що обумовлює залежність від режимів використання, рівня техногенного навантаження та якості управління.

Урбанізовані зелені зони доцільно розглядати як складні природно-антропогенні системи, що формують різноманітні екосистемні послуги та водночас можуть створювати певні екологічні обмеження [35]. Їхній стан визначається не лише видовим складом рослинності, але й характеристиками ґрунтів, мікрокліматом, рівнем забруднення повітря, водним режимом та іншими факторами. Така багатокомпонентність зумовлює необхідність застосування комплексних підходів до їх дослідження та оцінки (рис. 1.1.1).

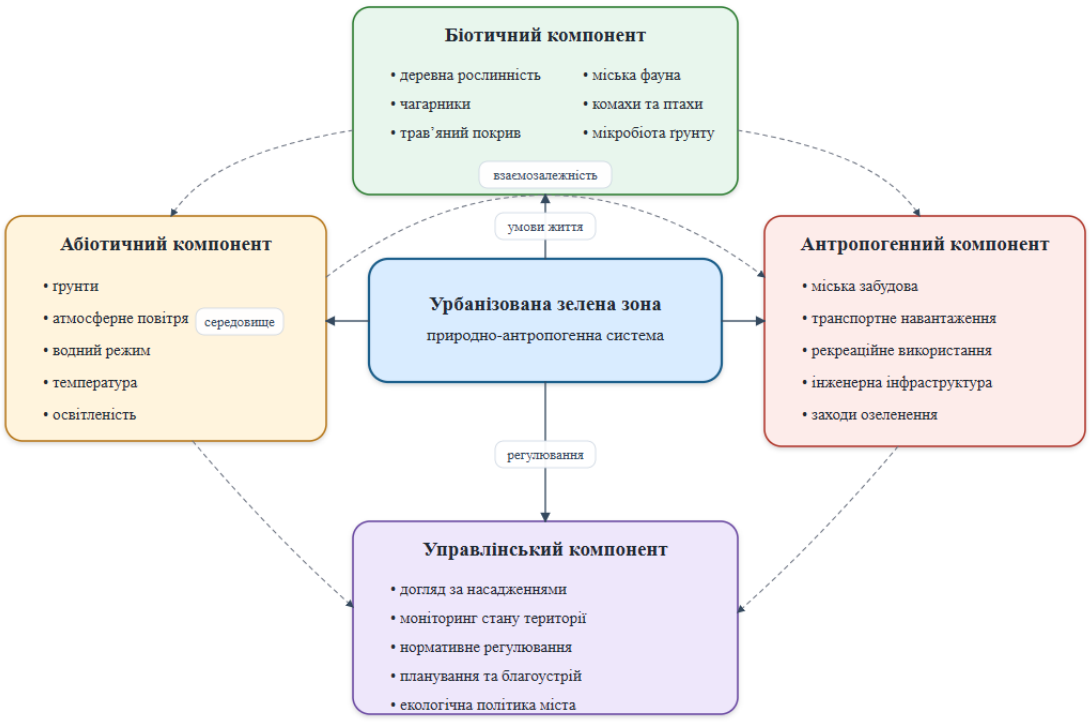

Рис. 1.1.1. Структура урбанізованої зеленої зони як природно-антропогенної системи

Функціональна роль зелених зон у містах є багатовимірною. Насамперед вони виконують екологічні функції, пов'язані з регуляцією якості довкілля [4]. Рослинність здатна акумулювати забруднювальні речовини, знижувати концентрацію пилу, впливати на температурний режим і вологість повітря. Крім того, зелені насадження сприяють зменшенню рівня шумового навантаження та формують більш сприятливі умови для існування міської біоти [12, 18].

Не менш важливими є кліматорегулюючі функції, які проявляються у формуванні локального мікроклімату. Наявність зелених масивів у міській забудові пом'якшує ефект «теплових островів», зменшує температурні контрасти та сприяє циркуляції повітряних мас. У цьому контексті значення зелених зон зростає в умовах змін клімату та збільшення частоти екстремальних погодних явищ. Зелені насадження відіграють важливу роль у формуванні локального мікроклімату, зокрема сприяють зниженню температури повітря, регуляції вологості та послабленню ефекту «міського

теплового острова» [29].

Соціальна складова функціонування урбанізованих зелених зон проявляється через їх використання для відпочинку, рекреації та підвищення якості життя населення. Вони виконують роль просторових осередків для активностей різного типу, водночас забезпечуючи психологічний комфорт та зниження стресового навантаження. Також варто відзначити їх освітню та наукову цінність, особливо у випадку спеціалізованих об’єктів, таких як ботанічні сади.

Таблиця 1.1.1

Класифікація урбанізованих зелених зон

Критерій	Типи зелених зон	Коротка характеристика
Функціональне призначення	Рекреаційні, захисні, спеціалізовані	Визначають основну роль у місті
Просторова організація	Компактні, лінійні	Впливають на екологічну ефективність
Антропогенне навантаження	Низьке, середнє, високе	Характеризує рівень впливу
Ступінь природності	Природні, трансформовані, штучні	Визначає екологічну стійкість

З огляду на різноманітність функцій і форм організації, урбанізовані зелені зони класифікуються за кількома ознаками (табл. 1.1.1). За функціональним призначенням їх поділяють на рекреаційні (парки, сквери), захисні (санітарно-захисні насадження, зелені бар’єри), спеціалізовані (ботанічні сади, дендропарки) та насадження обмеженого користування (території навчальних закладів, підприємств). Такий підхід дозволяє врахувати специфіку використання територій та особливості їхнього екологічного навантаження.

За просторовою організацією виділяють компактні (локалізовані) та лінійні зелені насадження. До перших належать парки та сквери, до других – бульвари, алеї, придорожні насадження. Просторова структура має значення для оцінки екологічної ефективності, зокрема здатності до формування

екологічних коридорів і забезпечення зв’язності біотопів.

Ще одним важливим критерієм є рівень антропогенного впливу. У цьому контексті можна виділити відносно стабільні зони з обмеженим втручанням та території з інтенсивним використанням, де спостерігається значне навантаження на рослинність і ґрунтовий покрив. Такий поділ є важливим для визначення пріоритетів у системі екомоніторингу та управління.

Окремо слід зазначити класифікацію за ступенем природності, яка дозволяє розрізняти умовно природні, трансформовані та штучно створені насадження. Це має значення для оцінки біорізноманіття, стійкості екосистем і потенціалу до самовідновлення.

Таблиця 1.1.2

Функції урбанізованих зелених зон та їх екологічне значення

Група функцій	**Прояв**	**Екологічний ефект**
Екологічні	Поглинання забруднювачів	Поліпшення якості повітря
Кліматичні	Зниження температури	Ослаблення ефекту теплового острова
Захисні	Зменшення шуму	Покращення умов проживання
Соціальні	Рекреація	Підвищення якості життя

Отже, урбанізовані зелені зони є багатофункціональними системами, що поєднують екологічні, соціальні та просторові аспекти (табл. 1.1.2). Їх дослідження потребує врахування структурної складності, різноманіття функцій та впливу антропогенних чинників [14]. Систематизація підходів до їх класифікації створює підґрунтя для подальшого аналізу екологічного стану та розробки ефективних інструментів екомоніторингу.

1.2. Екомоніторинг у міських екосистемах: принципи, завдання та система показників

Міські екосистеми відзначаються високою динамічністю та значною варіабельністю умов середовища, що обумовлює необхідність системного спостереження за їх станом [22, 32]. На відміну від природних територій, де зміни часто мають поступовий характер, у межах урбанізованого простору трансформації можуть відбуватися швидко та нерівномірно під впливом господарської діяльності, транспортних потоків і рекреаційного навантаження [16]. У цьому контексті екомоніторинг виступає інструментом отримання актуальної інформації про стан компонентів довкілля та їх взаємодію.

Під екомоніторингом у міських екосистемах доцільно розуміти організовану систему регулярних спостережень, оцінювання та аналізу змін екологічних параметрів із метою виявлення тенденцій, прогнозування можливих змін і обґрунтування управлінських рішень [27]. Його специфіка полягає у поєднанні природничих і техногенних аспектів, що вимагає врахування як біофізичних характеристик середовища, так і інтенсивності антропогенного впливу.

Ефективність екомоніторингу визначається дотриманням низки принципів, які забезпечують його наукову обґрунтованість та практичну значущість. Передусім це принцип системності, що передбачає розгляд міської екосистеми як цілісного утворення з взаємопов’язаними компонентами. Окремі показники не можуть інтерпретуватися ізольовано, оскільки зміни в одному елементі часто є наслідком або причиною трансформацій в іншому.

Не менш важливим є принцип комплексності, який передбачає охоплення різних груп показників: фізичних, хімічних, біологічних та соціально-екологічних. Такий підхід дозволяє сформувати більш повну картину стану довкілля і уникнути однобічних висновків. Принцип

регулярності забезпечує можливість відстеження динаміки змін у часі, що особливо важливо для виявлення тенденцій та ранніх ознак деградації екосистем.

Принцип репрезентативності полягає у правильному виборі точок спостереження та показників, які відображають реальний стан території [21]. У міських умовах це пов’язано з необхідністю врахування просторової неоднорідності середовища, зумовленої різним функціональним використанням територій. Водночас принцип оперативності набуває особливого значення в умовах урбанізації, оскільки дозволяє своєчасно реагувати на негативні зміни.

Серед основних завдань екомоніторингу міських екосистем можна виділити декілька взаємопов’язаних напрямів. Перш за все, це фіксація поточного стану компонентів довкілля, що створює базу для подальшого аналізу. Другою важливою задачею є виявлення факторів, які впливають на стан екосистем, та оцінка їх інтенсивності. Це дозволяє встановити причинно-наслідкові зв’язки між антропогенним навантаженням і змінами у природному середовищі.

Наступним завданням є оцінка рівня екологічної стійкості територій, зокрема їх здатності протистояти негативним впливам і відновлюватися після порушень. Важливим аспектом є також прогнозування можливих змін, що базується на аналізі динаміки показників та врахуванні існуючих тенденцій. Це створює підґрунтя для прийняття обґрунтованих управлінських рішень у сфері охорони довкілля.

Окрему роль відіграє інформаційне забезпечення процесів управління, оскільки результати моніторингу можуть використовуватися для планування заходів з озеленення, оптимізації рекреаційного навантаження, а також розробки програм екологічного розвитку міських територій. Таким чином, екомоніторинг виступає не лише засобом спостереження, але й інструментом управління.

Система показників екомоніторингу формується з урахуванням специфіки об’єкта дослідження та цілей спостережень [33]. У межах урбанізованих зелених зон доцільно виділяти декілька основних груп показників (табл. 1.2.1). До абіотичних належать характеристики атмосферного повітря, ґрунтів і водного режиму, включаючи рівень забруднення, температуру, вологість та інші параметри. Вони відображають умови існування біоти та вплив зовнішніх факторів.

Таблиця 1.2.1

Система показників екомоніторингу міських зелених зон

Група показників	**Приклади**	**Інформаційне значення показників**
Абіотичні	температура, вологість, забруднення	відображають стан фізико-хімічних параметрів середовища
Біотичні	стан рослинності, біорізноманіття	індиктують екологічну стійкість та реакцію біоти
Антропогенні	рекреаційне навантаження, транспорт	відображають інтенсивність антропогенного впливу
Інтегральні	індекси стану	забезпечують узагальнену оцінку екологічного стану

Біотичні показники включають стан рослинності, її видовий склад, рівень життєздатності та ознаки стресу. Важливими є також індикатори біорізноманіття, які дозволяють оцінити стабільність екосистеми. У міських умовах рослинність часто виступає як чутливий індикатор змін довкілля, реагуючи на забруднення та інші негативні фактори.

До антропогенних показників відносять інтенсивність використання територій, рівень рекреаційного навантаження, щільність забудови, транспортний вплив та інші фактори, що характеризують ступінь втручання людини. Їх урахування є необхідним для комплексної оцінки стану екосистем, оскільки саме вони визначають характер і масштаб змін.

З метою узагальнення інформації можуть застосовуватися інтегральні показники, які поєднують декілька параметрів і дозволяють отримати узагальнену оцінку екологічного стану території. Використання таких

показників спрощує інтерпретацію результатів і робить їх більш зрозумілими для прийняття управлінських рішень.

1.3. Методологічні підходи до оцінки екологічного стану зелених насаджень

Оцінювання екологічного стану зелених насаджень у межах міських територій потребує застосування узгоджених методичних підходів, здатних враховувати як біологічні особливості рослинності, так і специфіку урбанізованого середовища. На відміну від природних ландшафтів, де домінують відносно стабільні екологічні умови, міські насадження функціонують під впливом множинних і часто взаємопов’язаних факторів, що ускладнює їх оцінку та інтерпретацію результатів.

Методологічною основою дослідження екологічного стану зелених насаджень є поєднання декількох підходів, серед яких провідне місце займає системний підхід [20]. Він передбачає розгляд зелених насаджень як складових частин більшої екологічної системи, де зміни одного компонента можуть зумовлювати трансформації інших. Такий підхід дозволяє аналізувати не лише окремі показники, але й взаємозв’язки між ними, що є особливо важливим у міських умовах. Комплексний підхід забезпечує одночасне врахування різних груп факторів: біотичних, абіотичних та антропогенних. Його застосування дозволяє уникнути спрощених висновків і формувати цілісне уявлення про стан насаджень. Зокрема, оцінка стану дерев не може обмежуватися лише візуальними ознаками, оскільки на їх розвиток впливають характеристики ґрунту, рівень забруднення повітря, водний режим і інтенсивність використання території. Для узагальнення основних методологічних підходів до оцінки екологічного стану зелених насаджень доцільно представити їх у вигляді схеми (рис. 1.3.1).

Важливим елементом методології є індикаторний підхід, який базується на використанні чутливих до змін довкілля показників. У міських

екосистемах рослинність часто виступає як біоіндикатор, реагуючи на зміни умов середовища через морфологічні, фізіологічні та фенологічні прояви [30]. Наприклад, зниження інтенсивності росту, зміна кольору листя або передчасне опадання можуть свідчити про наявність стресових факторів.



Рис. 1.3.1. Методологічні підходи до оцінки екологічного стану зелених насаджень

Оцінювання стану зелених насаджень може здійснюватися за кількома напрямами. Одним із найбільш поширених є морфологічна оцінка, яка передбачає аналіз зовнішніх ознак рослин: густоти крони, наявності пошкоджень, ступеня всихання та інших показників [13]. Такий підхід є відносно простим у реалізації, однак має обмеження, пов'язані з суб'єктивністю оцінки. Фізіологічні методи дозволяють отримати більш точну інформацію про стан рослин, оскільки враховують внутрішні процеси, зокрема інтенсивність фотосинтезу, водний баланс та рівень стресу. Водночас їх застосування часто потребує спеціалізованого обладнання та додаткових ресурсів. Основні методи оцінки екологічного стану зелених насаджень узагальнено в табл. 1.3.1.

Таблиця 1.3.1.

Методи оцінки екологічного стану зелених насаджень

Метод	Характеристика	Переваги	Обмеження
Морфологічний	візуальна оцінка стану	простота	суб’єктивність
Фізіологічний	аналіз внутрішніх процесів	точність	складність
Інструментальний	GIS, ДЗЗ	масштабність	потреба в ресурсах
Індексний	інтегральні показники	узагальнення	спрощення

Окрему групу становлять інструментальні методи, які передбачають використання сучасних технологій для збору та аналізу даних [28]. До них належать дистанційне зондування Землі, геоінформаційні системи та сенсорні технології. Вони дозволяють отримувати просторово узгоджену інформацію та оцінювати стан насаджень на різних масштабних рівнях, від окремих ділянок до цілих територій.

Важливим напрямом є використання індексних методів оцінювання, що передбачають інтеграцію декількох показників у єдиний узагальнений індекс. Це дозволяє спростити інтерпретацію результатів і забезпечити їх порівнянність. Зокрема, індекси можуть відображати рівень життєздатності рослинності, ступінь її пошкодження або загальний екологічний стан території.

Методологічні підходи також передбачають урахування просторового аспекту, що є особливо важливим для міських територій [15]. Просторовий аналіз дозволяє виявляти закономірності розподілу екологічних показників, визначати зони підвищеного навантаження та оцінювати ефективність зелених насаджень у різних частинах міста.

Не менш значущим є часовий аспект оцінювання, який передбачає аналіз змін показників у динаміці. Регулярні спостереження дозволяють виявляти тенденції, прогнозувати розвиток ситуації та своєчасно реагувати на негативні зміни. Це особливо актуально для умов урбанізованого середовища, де екологічні процеси можуть змінюватися досить швидко.

Сучасні підходи до оцінки екологічного стану зелених насаджень дедалі частіше базуються на інтеграції різних методів, що дозволяє поєднувати переваги кожного з них [39]. Наприклад, поєднання польових обстежень із даними дистанційного зондування забезпечує як деталізацію, так і охоплення великих територій. Така інтеграція сприяє підвищенню достовірності результатів і ефективності їх використання.

РОЗДІЛ 2
ЦИФРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ В СИСТЕМІ ЕКОМОНІТОРИНГУ ЗЕЛЕНИХ ЗОН

2.1. Класифікація та функціональні можливості цифрових технологій в екомоніторингу

Цифрові технології відіграють ключову роль у трансформації підходів до екомоніторингу, забезпечуючи перехід від фрагментарних спостережень до системного аналізу стану довкілля. Їх застосування дозволяє не лише підвищити точність отриманих даних, але й розширити просторові та часові межі досліджень [19]. У контексті оцінки стану зелених зон цифрові інструменти забезпечують інтеграцію різнорідної інформації, що надходить із різних джерел, та її подальшу обробку.



Рис. 2.1.1. Класифікація цифрових технологій в екомоніторингу

Класифікація цифрових технологій у системі екомоніторингу може здійснюватися за кількома критеріями, серед яких найбільш доцільним є поділ за функціональним призначенням [38]. Відповідно до цього підходу

виділяють технології збору даних, обробки та аналізу інформації, візуалізації результатів і підтримки прийняття управлінських рішень (рис. 2.1.1). Така структура відображає логіку функціонування екомоніторингу як безперервного процесу.

До технологій збору даних належать засоби дистанційного зондування Землі [36], сенсорні системи та мобільні інструменти фіксації екологічних параметрів [26]. Дистанційні методи забезпечують отримання інформації про стан рослинності, структуру зелених насаджень та зміни їх площ на великих територіях. Сенсорні системи дозволяють здійснювати безперервний контроль параметрів середовища, таких як температура, вологість або рівень забруднення. Використання мобільних додатків розширює можливості збору даних за рахунок залучення користувачів та оперативного внесення інформації.

Окрему групу становлять технології обробки та аналізу даних, які забезпечують перетворення первинної інформації у придатну для інтерпретації форму. До них належать геоінформаційні системи, аналітичні платформи та програмні засоби статистичної обробки. Геоінформаційні системи дозволяють поєднувати просторові та атрибутивні дані, виконувати їх аналіз і моделювання, а також формувати тематичні карти [34]. Це створює основу для виявлення просторових закономірностей та оцінки стану зелених зон.

Технології візуалізації спрямовані на представлення результатів у зрозумілому та наочному вигляді. Вони включають картографічні сервіси, графічні інтерфейси та інтерактивні панелі. Завдяки таким інструментам складні масиви даних можуть бути представлені у вигляді схем, карт або діаграм, що полегшує їх сприйняття та використання у практичній діяльності.

Окрему функціональну групу формують технології підтримки прийняття рішень, які базуються на інтеграції результатів аналізу та прогнозування. Вони дозволяють оцінювати можливі сценарії змін

екологічного стану, визначати пріоритетні напрями управління та обґрунтовувати заходи з покращення стану зелених насаджень. Використання таких технологій сприяє підвищенню ефективності управлінських процесів у сфері охорони довкілля.

Класифікація цифрових технологій також може здійснюватися за рівнем складності та ступенем автоматизації. У цьому контексті виділяють базові інструменти, які забезпечують первинний збір і обробку даних, та інтегровані системи, що поєднують кілька функцій і забезпечують повний цикл екомоніторингу. Інтегровані системи є більш ефективними, оскільки дозволяють скоротити час обробки інформації та зменшити ймовірність помилок.

Таблиця 2.1.1

Цифрові технології в екомоніторингу та їх функціональне призначення

Група технологій	**Приклади**	**Функціональне призначення**
Збір даних	ДЗЗ, сенсори, мобільні додатки	отримання первинної інформації
Обробка	GIS, статистичні пакети	аналіз і систематизація
Візуалізація	карти, дашборди	представлення результатів
Підтримка рішень	моделі, прогнози	обґрунтування управління

Функціональні можливості цифрових технологій у екомоніторингу визначаються їх здатністю забезпечувати виконання ключових завдань. Передусім це оперативний збір даних, що дозволяє отримувати актуальну інформацію про стан довкілля. Важливим є також підвищення точності вимірювань, що досягається за рахунок використання сучасних сенсорів та алгоритмів обробки даних (табл. 2.1.1).

Значною перевагою цифрових технологій є можливість аналізу великих обсягів інформації, що надходить із різних джерел. Це дозволяє виявляти приховані закономірності, оцінювати тенденції та формувати обґрунтовані висновки. Крім того, цифрові інструменти забезпечують просторову деталізацію даних, що є важливим для дослідження міських територій із

неоднорідною структурою.

Важливим аспектом є також інтеграція даних різного типу, що дозволяє поєднувати інформацію про стан рослинності, параметри середовища та рівень антропогенного впливу. Це створює передумови для комплексної оцінки екологічного стану зелених зон і підвищує ефективність екомоніторингу.

2.2. Методи застосування цифрових технологій для оцінки екологічного стану зелених зон

Застосування цифрових технологій у дослідженні зелених зон міських територій зумовлює трансформацію підходів до оцінювання їх екологічного стану. Якщо раніше основою аналізу були переважно локальні польові спостереження, то сучасні методи орієнтовані на поєднання дистанційних, інструментальних та аналітичних інструментів [37]. Це дозволяє отримувати більш деталізовану та просторово узгоджену інформацію, що відображає реальні процеси, які відбуваються у міському середовищі.

Одним із базових методів є використання даних дистанційного зондування Землі. Супутникові та аерофотознімки дають змогу оцінювати стан рослинного покриву, зміну площ зелених насаджень і їх просторову структуру. На основі спектральних характеристик формуються різні індекси, зокрема індекс нормалізованої різниці рослинності (NDVI), який дозволяє оцінити ступінь розвитку рослинності та її життєздатність. Такий підхід забезпечує можливість аналізу великих територій без необхідності суцільного польового обстеження.

Важливим напрямом є застосування безпілотних літальних апаратів, які дозволяють отримувати зображення високої роздільної здатності. Використання дронів дає змогу проводити детальний аналіз окремих ділянок, виявляти локальні пошкодження рослинності, оцінювати структуру насаджень і виявляти ознаки стресу. Порівняно із супутниковими даними,

цей метод забезпечує вищу точність, однак охоплює менші площі.

Суттєве значення мають сенсорні технології, що дозволяють здійснювати безперервний контроль параметрів середовища. До таких параметрів належать температура, вологість, рівень забруднення повітря та інші показники, які впливають на стан рослинності. Дані, отримані від сенсорів, можуть передаватися у реальному часі та використовуватися для оперативного аналізу ситуації. Це створює передумови для своєчасного реагування на негативні зміни.

Геоінформаційні системи виступають ключовим інструментом інтеграції та аналізу просторових даних. Вони дозволяють поєднувати інформацію, отриману з різних джерел, виконувати її обробку та формувати тематичні карти. Застосування GIS дає змогу виявляти закономірності розподілу екологічних показників, визначати проблемні зони та оцінювати ефективність функціонування зелених насаджень у різних частинах міста.

Методи цифрової обробки даних включають використання статистичних підходів та алгоритмів машинного навчання. Вони застосовуються для аналізу великих обсягів інформації, виявлення прихованих залежностей і прогнозування змін. Зокрема, моделі машинного навчання можуть використовуватися для оцінки стану рослинності на основі багатофакторних даних, що включають як екологічні, так і антропогенні параметри.

Окрему роль відіграють методи візуалізації, які забезпечують представлення результатів у зручній для сприйняття формі. Карти, діаграми та інтерактивні панелі дозволяють узагальнювати результати аналізу та робити їх доступними для користувачів. Це особливо важливо у контексті прийняття управлінських рішень, коли необхідно швидко оцінити ситуацію та визначити подальші дії.

Інтеграція різних цифрових методів створює можливість формування комплексних систем оцінювання, які поєднують переваги окремих підходів. Наприклад, поєднання даних дистанційного зондування з інформацією

сенсорних мереж і результатами польових обстежень дозволяє отримати більш повну картину стану зелених зон. Такий підхід сприяє підвищенню точності оцінювання та зменшенню невизначеності результатів.

Сучасні методи застосування цифрових технологій також орієнтовані на автоматизацію процесів моніторингу. Це включає автоматичний збір даних, їх обробку та формування звітів. Автоматизація дозволяє зменшити вплив людського фактору, підвищити оперативність отримання інформації та забезпечити її регулярність.

Узагальнення основних методів застосування цифрових технологій у системі екомоніторингу зелених зон наведено в табл. 2.2.1.

Таблиця 2.2.1

Методи застосування цифрових технологій у екомоніторингу зелених зон

Метод	**Інструменти**	**Результат**
Дистанційний	супутники, NDVI	оцінка рослинності
БПЛА	дрони	деталізація стану
Сенсорний	IoT	оперативні дані
GIS	картографія	просторовий аналіз
Аналітичний	ML, статистика	прогноз

2.3. Переваги, обмеження та проблеми впровадження цифрових технологій в екомоніторинг

Залучення цифрових технологій до системи екомоніторингу зелених зон відкриває нові можливості для підвищення якості оцінювання стану довкілля, однак водночас супроводжується низкою обмежень і викликів (рис. 2.3.1). Їх аналіз дозволяє об’єктивно оцінити ефективність цифровізації екологічних досліджень та визначити напрями її подальшого розвитку. Однією з ключових переваг цифрових технологій є можливість оперативного отримання даних про стан зелених насаджень. Завдяки використанню дистанційних і сенсорних методів інформація може надходити з мінімальною

затримкою, що створює передумови для швидкого реагування на зміни екологічного стану територій. Це особливо важливо для міських умов, де динаміка змін є значно вищою порівняно з природними екосистемами.



Рис. 2.3.1. Переваги та обмеження цифрових технологій в екомоніторингу

Іншою суттєвою перевагою є підвищення точності та об’єктивності оцінювання. Цифрові інструменти дозволяють мінімізувати суб’єктивний вплив дослідника, забезпечуючи стандартизований підхід до збору та аналізу інформації. Використання індексів рослинності, автоматизованих алгоритмів обробки даних і геоінформаційних систем сприяє отриманню більш надійних результатів.

Важливою характеристикою цифрових технологій є їх здатність працювати з великими масивами даних. Це дозволяє враховувати широкий спектр факторів, що впливають на стан зелених зон, та аналізувати їх у комплексі. Крім того, цифрові інструменти забезпечують просторову деталізацію інформації, що є важливим для дослідження міських територій із неоднорідною структурою. Значною перевагою є також можливість

інтеграції даних із різних джерел. Поєднання результатів дистанційного зондування, сенсорних вимірювань і польових обстежень дозволяє отримати більш повну картину стану екосистем. Це створює основу для комплексного аналізу та підвищує обґрунтованість управлінських рішень.

Разом із тим впровадження цифрових технологій супроводжується певними обмеженнями. Одним із них є залежність результатів від якості вихідних даних. Низька роздільна здатність зображень, похибки вимірювань або неповнота даних можуть призводити до викривлення результатів аналізу. Це потребує додаткової перевірки та калібрування отриманої інформації.

Іншим обмеженням є висока вартість впровадження та обслуговування сучасних технологій. Придбання обладнання, програмного забезпечення та підготовка фахівців потребують значних фінансових ресурсів. Це може обмежувати можливості їх застосування, особливо на локальному рівні.

Суттєвою проблемою є також складність обробки та інтерпретації великих обсягів даних. Використання цифрових технологій вимагає наявності спеціалізованих знань і навичок, що не завжди доступні для фахівців у сфері екології. Відсутність відповідної підготовки може знижувати ефективність використання цифрових інструментів.

Окремо слід відзначити проблему інтеграції різних інформаційних систем. Дані, отримані з різних джерел, можуть мати різні формати, рівень деталізації та точність, що ускладнює їх об’єднання в єдину систему. Це потребує розробки єдиних стандартів і підходів до обробки інформації. У міських умовах додатковим фактором є вплив зовнішніх перешкод на якість даних. Наприклад, щільна забудова, тіньові ефекти або атмосферні умови можуть впливати на результати дистанційного зондування. Це ускладнює інтерпретацію даних і потребує використання додаткових методів корекції.

Не менш важливим є питання забезпечення безперервності моніторингу. Технічні збої, відсутність фінансування або обмежений доступ до даних можуть порушувати регулярність спостережень. Це знижує ефективність екомоніторингу та ускладнює аналіз динаміки змін.

РОЗДІЛ 3
ПЕРСПЕКТИВИ ТА НАПРЯМИ ІНТЕГРАЦІЇ ЕКОМОНІТОРИНГУ І ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ У МІСЬКИХ ЗЕЛЕНИХ ЗОНАХ

3.1. Інтегровані системи екомоніторингу: концепції, моделі та архітектура

Розвиток цифрових технологій зумовлює перехід від ізольованих підходів до спостереження за станом довкілля до створення інтегрованих систем екомоніторингу, які забезпечують об’єднання різних джерел інформації в єдине інформаційно-аналітичне середовище. У межах міських зелених зон такі системи дозволяють комплексно оцінювати екологічний стан територій, враховуючи як природні, так і антропогенні чинники впливу. Концептуально інтегровані системи екомоніторингу ґрунтуються на ідеї безперервного збору, обробки та аналізу даних з подальшим використанням результатів для прийняття управлінських рішень. Вони передбачають взаємодію різних технологічних компонентів, що забезпечують функціонування системи як єдиного цілого. Ключовою особливістю таких систем є їх здатність об’єднувати інформацію різного типу та рівня деталізації.

У сучасних умовах формування інтегрованих систем відбувається на основі використання декількох концептуальних підходів. Одним із них є платформний підхід, який передбачає створення єдиного цифрового середовища для збору та обробки даних. Такі платформи забезпечують доступ до інформації в режимі реального часу та дозволяють здійснювати її аналіз із використанням різноманітних інструментів. Іншим важливим напрямом є використання сервісно-орієнтованих моделей, що передбачають взаємодію окремих компонентів системи через стандартизовані інтерфейси. Це дозволяє забезпечити гнучкість системи та можливість її масштабування.

У такій моделі різні джерела даних і аналітичні інструменти можуть інтегруватися без необхідності суттєвої зміни існуючої інфраструктури.



Рис. 3.1.1. Архітектура інтегрованої системи екомоніторингу

Модель даних відіграє важливу роль у побудові інтегрованих систем, оскільки визначає спосіб організації та взаємодії інформації У контексті екомоніторингу міських зелених зон доцільним є використання просторово орієнтованих моделей, які дозволяють поєднувати екологічні показники з географічним розташуванням об’єктів. Це створює основу для аналізу просторових закономірностей і виявлення зон із підвищеним навантаженням. Архітектура інтегрованих систем екомоніторингу зазвичай має багаторівневу структуру (рис. 3.1.1). Нижній рівень представлений засобами збору даних, до яких належать сенсори, мобільні пристрої та дистанційні платформи. Цей рівень забезпечує первинне отримання інформації про стан середовища.

Наступний рівень включає системи передачі та зберігання даних, які забезпечують їх доставку до центральних серверів і подальше накопичення. На цьому етапі важливу роль відіграють мережеві технології та хмарні сервіси, що дозволяють обробляти великі обсяги інформації. Аналітичний

рівень відповідає за обробку та інтерпретацію даних. Тут застосовуються алгоритми аналізу, моделювання та прогнозування, які дозволяють виявляти закономірності та оцінювати тенденції змін. Саме на цьому рівні формується основа для прийняття управлінських рішень.

Верхній рівень архітектури представлений системами візуалізації та підтримки прийняття рішень. Вони забезпечують представлення результатів у зрозумілому вигляді та дозволяють користувачам оцінювати ситуацію та визначати подальші дії. Важливим елементом цього рівня є інтерактивні інтерфейси, які забезпечують зручний доступ до інформації.

Особливістю інтегрованих систем є їх здатність до масштабування та адаптації до змінних умов. Це дозволяє розширювати функціональність системи та інтегрувати нові джерела даних без порушення її роботи. У міських умовах це є важливою перевагою, оскільки екологічні процеси мають динамічний характер. Разом із тим створення інтегрованих систем пов’язане з низкою викликів, серед яких важливими є забезпечення сумісності різних компонентів, стандартизація даних і захист інформації. Вирішення цих питань потребує комплексного підходу та координації дій між різними учасниками процесу.

Таким чином, інтегровані системи екомоніторингу є перспективним напрямом розвитку екологічних досліджень у міських зелених зонах. Вони поєднують сучасні цифрові технології, забезпечуючи комплексний аналіз екологічного стану та створюючи основу для ефективного управління природними ресурсами в умовах урбанізованого середовища.

3.2. Рекомендації щодо впровадження цифрових рішень для управління та збереження зелених зон

Ефективне впровадження цифрових рішень у сфері управління зеленими зонами потребує не лише технічного забезпечення, а й комплексного підходу, який враховує організаційні, інформаційні та

соціальні аспекти (рис. 3.2.1). У цьому контексті важливим є формування цілісної стратегії цифровізації екомоніторингу, що дозволить забезпечити узгодженість дій усіх зацікавлених сторін та підвищити результативність управлінських рішень.



Рис. 3.2.1. Схема впровадження цифрових рішень у управління зеленими зонами

Одним із першочергових кроків є створення єдиної інформаційної бази даних про стан зелених зон. Така база повинна акумулювати інформацію з різних джерел, включаючи результати польових обстежень, дистанційні дані та показники сенсорних систем [7, 40]. Важливо забезпечити стандартизацію форматів даних і їх сумісність, що дозволить уникнути проблем при інтеграції інформації та підвищить ефективність її використання. Наступним напрямом є впровадження геоінформаційних систем як основного інструменту аналізу та візуалізації даних. GIS-технології дозволяють здійснювати просторову оцінку стану зелених насаджень, виявляти проблемні ділянки та визначати пріоритетні зони для проведення заходів з їх

відновлення. Використання таких систем сприяє підвищенню обґрунтованості управлінських рішень та забезпечує їх наочність.

Важливим елементом є розвиток систем оперативного моніторингу, що базуються на використанні сенсорних технологій та мобільних додатків. Це дозволяє отримувати актуальну інформацію про стан довкілля та швидко реагувати на зміни [9]. Доцільним є також залучення громадськості до процесу збору даних через інструменти краудсорсингу, що сприяє підвищенню рівня екологічної свідомості населення та розширенню інформаційної бази. Особливу увагу слід приділити використанню аналітичних інструментів і методів прогнозування. Розробка моделей, які враховують різні фактори впливу, дозволяє оцінювати можливі сценарії розвитку ситуації та планувати заходи з урахуванням перспективних змін. Це сприяє переходу від реактивного до проактивного управління зеленими зонами.

Важливою рекомендацією є забезпечення підготовки та підвищення кваліфікації фахівців, які працюють із цифровими технологіями [6, 8]. Впровадження сучасних інструментів потребує відповідних знань і навичок, тому необхідно організовувати навчання та обмін досвідом. Це дозволить підвищити ефективність використання цифрових рішень і зменшити ризик помилок.

Не менш значущим є забезпечення технічної та фінансової підтримки процесу цифровізації. Впровадження цифрових технологій потребує інвестицій у обладнання, програмне забезпечення та інфраструктуру [1]. Доцільним є залучення різних джерел фінансування, включаючи державні програми, міжнародні гранти та партнерські проєкти.

Окрему увагу слід приділити питанням безпеки та захисту даних. Використання цифрових систем передбачає обробку великих обсягів інформації, що потребує забезпечення її конфіденційності та цілісності. Розробка відповідних політик і процедур дозволить мінімізувати ризики втрати або несанкціонованого доступу до даних.

Для підвищення ефективності управління зеленими зонами доцільним є впровадження систем підтримки прийняття рішень. Такі системи дозволяють узагальнювати результати аналізу, формувати рекомендації та оцінювати ефективність реалізованих заходів. Це сприяє підвищенню прозорості управлінських процесів і забезпечує їх наукове обґрунтування. Важливим аспектом є також забезпечення взаємодії між різними органами управління та установами. Координація дій дозволяє уникнути дублювання функцій, оптимізувати використання ресурсів і підвищити ефективність реалізації заходів. У цьому контексті доцільним є створення міжвідомчих платформ обміну інформацією.

Таблиця 3.2.1

Рекомендації щодо впровадження цифрових рішень у екомоніторинг зелених зон

Напрям	**Зміст рекомендації**	**Очікуваний результат**
Дані	створення єдиної бази	узгодженість інформації
GIS	просторовий аналіз	виявлення проблемних зон
Сенсори	оперативний контроль	швидке реагування
Аналітика	прогнозування	планування
Кадри	навчання	ефективність
Безпека	захист даних	надійність системи

Отже, впровадження цифрових рішень у сфері управління та збереження зелених зон має базуватися на комплексному підході, що включає розвиток інформаційної інфраструктури, використання сучасних аналітичних інструментів, підготовку кадрів і забезпечення координації між різними учасниками процесу (табл. 3.2.1). Реалізація запропонованих рекомендацій сприятиме підвищенню ефективності екомоніторингу та забезпечить більш раціональне використання природних ресурсів у межах урбанізованих територій.

ВИСНОВКИ

✓ У роботі узагальнено теоретико-методологічні засади екомоніторингу урбанізованих зелених зон, які розглядаються як складні природно-антропогенні системи. Встановлено, що їх екологічний стан формується під впливом взаємодії біотичних, абіотичних та антропогенних факторів, що зумовлює необхідність комплексного підходу до їх дослідження.

✓ Проаналізовано принципи, завдання та систему показників екомоніторингу міських екосистем. Обґрунтовано доцільність використання індикаторного підходу, який дозволяє оцінювати стан зелених насаджень через систему взаємопов’язаних параметрів та забезпечує можливість порівняння результатів у просторі і часі.

✓ Визначено методологічні підходи до оцінки екологічного стану зелених насаджень, серед яких ключове значення мають системний, комплексний та інтеграційний підходи. Доведено, що поєднання морфологічних, інструментальних і аналітичних методів дозволяє отримати більш об’єктивну оцінку стану рослинності.

✓ Досліджено роль цифрових технологій у системі екомоніторингу, здійснено їх класифікацію за функціональним призначенням та охарактеризовано основні можливості. Встановлено, що застосування дистанційного зондування, геоінформаційних систем, сенсорних технологій і аналітичних інструментів забезпечує підвищення точності, оперативності та просторової деталізації оцінювання.

✓ Проаналізовано методи застосування цифрових технологій для оцінки екологічного стану зелених зон. Показано, що інтеграція даних із різних джерел, включаючи супутникові спостереження, польові обстеження та сенсорні вимірювання, створює передумови для формування комплексної системи моніторингу та підвищує достовірність результатів.

✓ Визначено основні переваги, обмеження та проблеми впровадження цифрових технологій у екомоніторинг. Встановлено, що поряд із

підвищенням ефективності оцінювання існують виклики, пов’язані з технічною складністю, потребою у кваліфікованих кадрах, високими витратами та необхідністю стандартизації даних.

✓ Обґрунтовано перспективи інтеграції екомоніторингу та цифрових технологій, зокрема через створення інтегрованих систем, що поєднують різні рівні збору, обробки та аналізу інформації. Розроблено рекомендації щодо впровадження цифрових рішень для управління та збереження зелених зон, які передбачають формування єдиних інформаційних платформ, використання аналітичних інструментів, розвиток кадрового потенціалу та забезпечення координації між учасниками процесу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Алєксєєв О. О., Мущинська В. І. Міжнародна екологічна політика. Методичні вказівки до виконання практичних робіт за напрямом підготовки 6.040106 «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування» Вінниця : ВНАУ, 2017. 52 с.

2. Бондаренко В.Д., Фурдичко О.І. Ліс і рекреація в лісі. Львів: Світ, 1994. 232 с.

3. Букша І.Ф., Пастернак В.П., Пивовар Т.С. Рекомендації щодо розбудови державної системи моніторингу лісів України. Харків, УкрНДІЛГА, 2019. 35 с.

4. Васюкова Г.Т., Ярошева О.Г. Екологія. К.: Кондор, 2013. 524 с.

5. Вискушенко Д. А., Вискушенко А.П., Свеста Т.Л. Основи природознавства. Словник-довідник. Житомир: Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2009. 31 с.

6. Вискушенко Д. А., Вискушенко С. А., Никитюк Ю. А., Дунаєвська О. Ф. Змішане навчання: баланс між дистанційним та традиційним підходами у закладах вищої освіти України. Суспільство та національні інтереси, 2025. 5(13). С. 55-66. https://doi.org/10.52058/3041-1572-2025-5(13)-55-66

7. Вискушенко Д. А., Никитюк Ю. А., Піціль А. О., Мельник Н. В. Теоретичні та методичні основи наукового дослідження в екологічній освіті. Екологічні науки, 2025. Вип. 63. С. 9-14. https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.6-63.1

8. Вискушенко С. А., Вискушенко Д. А., Никитюк Ю.А., Андрійчук Т.В. Впровадження інформаційно-комунікаційних технологій закладами вищої освіти України в контексті дистанційного навчання. Суспільство та національні інтереси, 2024. 8. С. 117-128. https://doi.org/10.52058/3041-1572-2024-8(8)-117-128

9. Вискушенко Д. А., Яроцький Б. А., Федірко Г. А., Федірко М. П., Примаченко Р. О. Механізми інтеграції міжнародних принципів сталого

розвитку у вітчизняне природокористування. The 8th International scientific and practical conference: Academic research by scientists in the field of modern technologies. Milan: International Science Group, 2025. pp. 69-72

10. Вік С.В. Застосування цифрових технологій у системах екомоніторингу урбанізованих зелених зон. Виклики сьогодення та наслідки Чорнобильської катастрофи. Екологія. Наука. Практика-2026 : матеріали XXII Всеукр. наук.-практ. конф. Житомир : Поліський національний університет, 2026. С. 55-57.

11. Герасимчук З.В., Середа О.В. Стратегічне управління сталим розвитком міст: теорія, методологія, практика : монографія. Луцьк : Вежа-Друк, 2014. 276 с.

12. Джигирей В.С. Екологія та охорона навколишнього природного середовища. К.: Знання, 2002. 214 с.

13. Екологічна політика і право ЄС та їх імплементація у правову систему України: збірник тез Міжнародної науково-практичної конференції. К.: Видавничий центр НУБіП України, 2019. 386 с.

14. Заверуха Н.М., Серебряков А.В., Скиба Ю.А. Основи екології: Навч. посібник. К.: Каравела, 2006. 368 с.

15. Кузьменко О. Б. Андрєєв В. І. Основи екологічного менеджменту. навчальний посібник. Миколаїв : Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2013. 160 с.

16. Максименко Ю.В., Вискушенко Д.А. Біоетика та біобезпека: навчальний посібник. Житомир : Вид-во ЖДУ імені Івана Франка, 2022. 126 с.

17. Про оцінку впливу на довкілля: : Закон України від 23.05.2017 № 2059-VIII. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2059-19#Text (дата звернення: 18.03.2026)

18. Роман В.І., Кічура А.В. Рекреаційне лісівництво: Методичні вказівки для виконання практичних робіт. Ужгород: Видавництво УжНУ "Говерла", 2023. 40 с.

19. Середа О.В. Економіка сталого розвитку : методичні вказівки до виконання самостійної роботи для студентів спеціальності 051 Економіка денної та заочної форм навчання. Луцьк : Луцький НТУ, 2018. 44 с.

20. Сохацька О.М. Екологічна політика в системі публічного управління: виклики сталого розвитку. Філософія та управління. 2024. №2. с. 31-41

21. Степаненко С.М., Владимирова О.Г. Стратегія сталого розвитку: конспект лекцій. Одеса: Одеський державний екологічний університет, 2019. 175 с.

22. Тимочко Т.В. Збереження біологічного та ландшафтного різноманіття. Ніжин: Аспект-Поліграф, 2008. 28 с.

23. Філик Н.В., Грабовська Г.М. Екологічні виклики в контексті кліматичних змін та участь України в їх подоланні. Юридичний вісник, 2021. т. 4(61). с. 30-39

24. Червінська О. В., Андрійчук Т. В., Власенко Р. П., Вискушенко Д. А. Теоретичні та методичні основи проведення екскурсій під час вивчення географії у закладах загальної середньої освіти. Освіта. Інноватика. Практика, 2023. 11(9). С. 63-70.

25. Яремчук С.М., Вік С.В., Кулаківська В.М., Ткачук Ю.О. Акваріумні моделі в системі цифрового екомоніторингу міських екосистем. 4th International Scientific and Practical Conference. Innovative Research in Science and Economy. Brussels: International Scientific Unity, 2026. p. 72-74

26. Cardone B., Di Martino F., Mauriello C., Miraglia V. A. GIS-Based Framework to Analyze the Behavior of Urban Green Areas in Heatwave Scenarios. ISPRS International Journal of Geo-Information, 2024. Vol. 13(11). 377. https://doi.org/10.3390/ijgi13110377

27. Chen H., Gao X., Yuan R. Advances in Remote Sensing and Sensor Technologies for Water-Quality Monitoring: A Review. *Water*, 2025. 17(20). 3000. https://doi.org/10.3390/w17203000

28. Davis Z., Nesbitt L., Guhn M., van den Bosch M. Assessing changes in urban vegetation using Normalised Difference Vegetation Index (NDVI) for

epidemiological studies. Urban Forestry & Urban Greening, 2023. V. 88. 128080. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2023.128080.

29. De Montis, A., Ledda, A., Serra, V., Manunta, A., Calia, G. Urban Green Spaces and Climate Changes: Assessing Ecosystem Services for the Municipality of Sassari (Italy). Land, 2025. 14. 1308. https://doi.org/10.3390/land14061308

30. Fairbairn A. J., Katholnigg S., Leichtle T., Merkens L., Schroll L., Weisser W. W., Meyer S. T. NDVI and vegetation volume as predictors of urban bird diversity. Scientific Reports, 2025. Vol. 15. 12863. https://doi.org/10.1038/s41598-025-96098-0

31. Godoi N. M. I., Gomes R. C., Longo R. M. Contributions of urban green spaces to cities: A literature review. Sustainable Environment, 2025. 11(1). 2464418. https://doi.org/10.1080/27658511.2025.2464418

32. Grimm N. B., Faeth S. H., Golubiewski N. E., Redman C. L., Wu J., Bai X., Briggs J. M. Global change and the ecology of cities. Science, 2008. Vol. 319 (5864). P. 756–760. https://doi.org/10.1126/science.1150195

33. Liu D., Lu Y., Biljecki F. A methodological review of the assessment of urban greenery exposure. Urban Forestry & Urban Greening, 2025. V. 114. 129169. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2025.129169

34. Li Y., Feng H. How geospatial technologies are transforming urban net-zero energy buildings: A comprehensive review of insights, challenges, and future directions, Journal of Building Engineering, 2025. V. 104. 112357. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2025.112357

35. Paudel S., States S. L. Urban green spaces and sustainability: Exploring the ecosystem services and disservices of grassy lawns versus floral meadows. Urban Forestry & Urban Greening, 2023. V. 84. 127932. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2023.127932

36. Pettorelli N., Laurance W. F., O'Brien T. G., Wegmann M., Nagendra H., Turner W. Satellite remote sensing for applied ecologists: opportunities and challenges. Journal of Applied Ecology, 2014. Vol. 51. P. 839–848. https://doi.org/10.1111/1365-2664.12261

37. Stephenson P. J. Technological advances in biodiversity monitoring: applicability, opportunities and challenges. Current Opinion in Environmental Sustainability, 2020. Vol. 45. P. 36–41. https://doi.org/10.1016/j.cosust.2020.08.005

38. Szafarczyk A., Agbasi O. E. Emerging trends in GIS and remote sensing technologies for environmental monitoring: innovations, applications and future directions. Geoinformatica Polonica, 2025. Vol. 24(1). P. 25–41. https://doi.org/10.4467/21995923GP.25.002.22857

39. Trzeciak M., Sikorska D. Application of UAV and ground measurements for urban vegetation cooling benefits assessment, Wilanów Palace case study. Scientific Review Engineering and Environmental Sciences (SREES), 2024. 33(1) P. 53–68. https://doi.org/10.22630/srees.5619

40. Turner W. Sensing biodiversity. Science, 2014. Vol. 346(6207). P. 301–302. https://doi.org/10.1126/science.1256014