

УДК 004.9:[031]

Oleksandr Nesterenko, Doctor of Sciences in Engineering, Professor, Head of the Department of Information Technologies
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5329-889X>
e-mail: oleksandr_nesterenko@ieu.edu.ua

Petro Yatsuk, Candidate of Sciences in Engineering, Associate Professor of the Department of Information Technologies
ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0002-7124-4849>
e-mail: petro_yatsuk@ieu.edu.ua

International European University, Kyiv, Ukraine

DEVELOPMENT OF GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS AS A TECHNOLOGICAL INNOVATION STRATEGY

***Abstract.** The purpose of the study is to identify information technology and methodological ways to solve current problems of ensuring an increase in development level of Geographic Information Systems (GIS) in Ukraine. A review of publications of the world scientific community was conducted based on a search in international and domestic scientometric databases, such as Scopus, Web of Science, and the resources of the Vernadsky National Library of Ukraine. A survey of the main stages of GIS development during the independence of Ukraine was carried out. These reviews address the following research questions: a) what time trends do research statistics demonstrate; b) what areas of GIS development and use are covered in the research; c) what governance strategies are reflected in the publications to overcome technological challenges in GIS development. The main results show that foreign researchers pay attention to the GIS development in various thematic categories, in particular, such as computer science and information technology. At the same time, domestic researchers pay more attention to providing general issue of GIS implementation, industry issue, and studying foreign experience. This indicates the existing gap between the practical achievements of GIS implementation in the country and the contribution of domestic scientists and specialists to the technological aspects of this area. In particular, this concerns the formation of information systems for processing spatial data, the analytical component and decision-making support tools. Nevertheless, the results of the review demonstrate that geographic information systems are becoming a key element of the national information infrastructure, which ensures effective management of territories, natural resources, defense and security. The conducted systematic review may be useful for responsible persons, as well as directly for scientists and specialists from various fields involved in the processes of formation and modernization of information technologies, systems and resources, in particular aimed at processing geospatial data.*

***Keywords:** digital transformation, information technologies, decision making, spatial data infrastructure, spatial analysis.*

О.В. Нестеренко, П.П. Яцук

Міжнародний європейський університет, Київ, Україна

РОЗВИТОК ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ЯК ТЕХНОЛОГІЧНА ІННОВАЦІЙНА СТРАТЕГІЯ

Анотація. Метою дослідження є визначення інформаційно-технологічних та методологічних шляхів вирішення актуальних проблем забезпечення підвищення рівня розвитку геоінформаційних систем в Україні. Проведено огляд публікацій світової наукової спільноти на основі пошуку у міжнародних та вітчизняних наукометричних базах даних, таких як ресурси Scopus, Web of Science та Національної бібліотеки України імені В.І. Вернадського, а також здійснено обстеження основних етапів розвитку геоінформаційних систем за часи незалежності. Ці огляди мають на увазі такі дослідницькі питання: а) які часові тренди демонструє статистика досліджень; б) які сфери створення та використання геоінформаційних систем розглядаються у дослідженнях; в) які державні стратегії відображені в публікаціях для подолання технологічних проблем розвитку геоінформаційних систем. Основні результати свідчать, що закордонні дослідники приділяють увагу питанням розвитку геоінформаційних систем в різних тематичних категоріях, зокрема таких як комп'ютерні науки і інформаційні технології. В той же час вітчизняні дослідники приділяють більше уваги загальним питанням впровадження ГІС, галузевим питанням та вивченню зарубіжного досвіду. Це свідчить про існуючий розрив між практичними досягненнями впровадження ГІС в країні та даниною вітчизняних науковців і фахівців технологічним аспектам цієї сфери, зокрема формуванню інформаційних систем обробки просторових даних, аналітичної складової та засобам підтримки прийняття рішень. Тим не менш результати огляду демонструють, що геоінформаційні системи перетворюються на ключовий елемент національної інформаційної інфраструктури, який забезпечує ефективне управління територіями, природними ресурсами, обороною та безпекою. Проведений систематизований огляд може бути корисним для відповідальних осіб, а також безпосередньо науковцям і фахівцям різних галузей, залучених до процесів формування та модернізації інформаційних технологій, систем та ресурсів, зокрема спрямованих на обробку геопросторових даних.

Ключові слова: цифрова трансформація, інформаційні технології, прийняття рішень, інфраструктура просторових даних, просторовий аналіз.

<https://doi.org/10.32347/2411-4049.2026.1.141-160>

Вступ

Сучасне суспільство дедалі більше залежить від просторових даних, що відображають різноманітні аспекти навколишнього середовища, інфраструктури та соціально-економічних процесів. Геоінформаційні системи (ГІС) – це наукова й технологічна основа для збирання, зберігання, аналізу, моделювання та візуалізації просторово координованої інформації. Вони є ключовим інструментом підтримки прийняття рішень у таких галузях, як природокористування, урбаністика, транспорт, екологічний моніторинг, оборона, управління ризиками та надзвичайними ситуаціями.

Історія розвитку ГІС у світі налічує вже понад 60 років – від перших експериментальних систем оброблення картографічних даних у 1960-х роках до сучасних інтелектуальних платформ із інтегрованими засобами штучного інтелекту, хмарних обчислень і великих даних (Big Data). Цей еволюційний шлях охоплює перехід від аналогових технологій до цифрових, від локальних систем до глобальних геопросторових інфраструктур, що забезпечують інтеграцію даних у масштабах усього світу.

В Україні розвиток геоінформаційних технологій розпочався близько 30 років тому, у 1990-х роках, коли почали формуватися перші наукові школи, освітні програми та прикладні системи для потреб управління територіями, екологічного моніторингу, кадастрових і топографічних робіт. Сьогодні українська ГІС-галузь активно інтегрується у світовий простір, розвиваючи національні геоінформаційні ресурси, сервіси відкритих даних і системи просторової аналітики.

Сучасний перехід від кількості накопичених людством інформаційних ресурсів до якості вирішення завдань, що стоять перед країнами, який отримав назву «цифровізація» та який пов'язаний зі зростанням ролі вивчення даних, бізнес-аналітики та застосуванням засобів штучного інтелекту, створив умови для інтелектуалізації управління та підтримки прийняття рішень. Таке широкомасштабне використання нових технологій у всіх сферах діяльності не може не приводити до постійного підвищення ефективності задоволення інформаційних потреб суспільства та забезпечення його функціонування на нових щаблях у розвитку.

В межах загальної проблеми зростання застосування ГІС в різних галузях актуальною постає задача проведення досліджень, що мають відображати суспільно-технологічні часові тренди у вказаному напрямку. На їх основі стає можливим не лише створювати умови для забезпечення ефективного розвитку економіки, а й для вибору та застосування новітніх технологічних засобів його підтримки.

Постановка задачі

Мета дослідження – визначення інформаційно-технологічних та методологічних шляхів розвитку та становлення геоінформаційних систем у світі та в Україні та підвищення рівня їх використання з урахуванням сучасних тенденцій і технологічних напрямів як міждисциплінарної науково-технологічної платформи.

Цільова спрямованість обумовлює логіку дослідження, яка направлена на постановку та вирішення наступних завдань:

- а) провести систематизований огляд публікацій світової наукової спільноти та вітчизняної наукової літератури за категорією «геоінформаційні системи»;
- б) визначити основні інтереси науковців щодо забезпечення розвитку ГІС;
- в) сформулювати оцінку факторів впливу на впровадження ГІС;
- г) здійснити оцінювання сучасного стану розвитку ГІС в країні та світі і напрямів розвитку в цій сфері;
- д) запропонувати рекомендації з удосконалення процесів розвитку ГІС на основі цифровізації та інтелектуалізації.

Аналіз досліджень і публікацій

Розвиток геоінформаційних систем у світі має понад шістдесятирічну історію, під час якої еволюція ГІС відбувалася в тісному зв'язку з розвитком комп'ютерних технологій, цифрової картографії, дистанційного зондування Землі та засобів телекомунікації. Перші концепції автоматизованої обробки просторових даних сформувалися у 60–90-х роках минулого століття під час виконання кількох проєктів у Канаді, США та Великій Британії. Однією з перших практичних реалізацій вважається Canadian Geographic Information System (CGIS), створена у 1963–1967 рр. для потреб земельного кадастру Канади. CGIS стала прототипом сучасних геоінформаційних систем: вона забезпечувала введення, збереження, аналіз і візуалізацію просторових шарів картографічних даних.

Вже в перших публікаціях, що почали з'являтися у світовому дискурсі у той час, були запропоновані визначення ГІС та їх основні теоретичні основи [1, 2]. У подальшому з розвитком технології дослідження почали охоплювати усе більш широкий діапазон тем – від використання ГІС в бібліотеках і бібліометрії до створення віртуального морського середовища та «цифрового океану» [3–5]. Сучасні дослідження розглядають ГІС для покращення надання послуг, прийняття рішень та практики управління, а також забезпечення сталого розвитку через управління даними, цифрову трансформацію та використання штучного інтелекту.

Поступове збільшення кількості публікацій призвело до появи низки оглядових робіт (systematic review), яких з часом ставало усе більше. Мета цих досліджень полягає у визначенні основних напрямків та тенденцій, а також узагальненні набутого досвіду створення і використання ГІС. Їх спрямованість демонструє широту видів діяльності і технологій, як, наприклад, архітектура програмного забезпечення для розробки ГІС і корпоративних систем з огляду на важливість парадигми компонентної орієнтації [6], вплив на ГІС великих даних (Big Spatial Data) [7], картографування локальних кліматичних зон в умовах забудови довкілля [8], вимірювання вразливості до повеней [9], аналіз небезпеки зсувів, спричинених опадами, на основі даних дистанційного зондування [10], визначення критеріїв, що впливають на потенціал підземних вод [11], використання дистанційного зондування та ГІС щодо впливу військових дій на навколишнє середовище [12], виробництво, організація та надання послуг з догляду за літніми людьми [13], управління сталим туризмом [14], ГІС-картографування в багатокритеріальному аналізі рішень для визначення місця розташування та проєктування проєктів відновлюваної енергетики [15] та чимало іншого.

Стосовно української частини історії ГІС можна казати про 30-річний період, адже починається вона з 90-х років з розвитку геоінформатики та експансії на наш ринок відповідного закордонного програмного забезпечення, у тому числі й того, що вільно розповсюджується. Суттєвий внесок у поширення застосування ГІС на нашій території пов'язаний з розповсюдженням потужного програмного забезпечення від відомої компанії ESRI.

Процеси поширювання ГІС знайшли відображення й в дослідженнях вітчизняних вчених. Одним з перших досліджень, що зафіксовано в електронних фондах Національної бібліотеки України імені В.І. Вернадського,

є науковий збірник «Агрохімія і ґрунтознавство» 1998 року, де запропоновано використання геоінформаційних систем для ведення моніторингу земельних ресурсів. 2000 року вийшла робота [16], в якій наведено огляд програмних засобів компанії ESRI для реалізації корпоративних систем управління з використанням геоінформаційних технологій.

Більш активне поширення публікацій почалось лише з початку 2000-х. Однак, на відміну від закордонних джерел, у корпусі вітчизняних публікацій практично відсутні оглядові роботи – може, з-за відносно короткої історії поширення ГІС в країні. Однак треба звернути увагу на наявність наукових монографій, як наприклад [17], де розглянуто використання геоінформаційних технологій для проведення діахронно-генетичного аналізу територій Харкова, а також публікацій зі стратегічних напрямів. Серед них можна відмітити роботу [18], в якій описано історію, міжнародний досвід та сучасний стан інтелектуальних геоінформаційних систем, дослідження [19], в якому узагальнено світовий досвід та тенденції розвитку інфраструктури геопросторових даних (ІГД) у розвинених країнах, оцінено стан формування національної ІГД в Україні, а також проведено ідентифікацію ключових проблем і завдань забезпечення її сталого розвитку та функціонування, роботу [20], де представлено геоінформатику як інструмент для підтримки прийняття рішень щодо планування міського та регіонального розвитку, землекористування, інфраструктури, ресурсів, управління навколишнім середовищем і просторового аналізу, а також деякі інші роботи.

Таким чином, науково-методичні засади подальшого розвитку геоінформаційних систем потребують подальших досліджень в контексті пріоритетів сучасних технологічних трендів та соціальних, економічних та екологічних проблем. Концептуальний базис дослідження цих питань прогресує, а особливості технологічного середовища постійно розвиваються. Тому актуальність завдання полягає у врахуванні цих процесів у методологічних принципах проектування та розробки ефективних геоінформаційних систем та відповідних електронних ресурсів для забезпечення їх широкого застосування в усіх сферах суспільної діяльності.

Результати дослідження

За шістдесятирічну історію розвитку геоінформаційних систем в багатьох публікаціях в різних країнах світу запропоновані низки наборів принципів розвитку ГІС та наведена різнопланова панорама тем, що охоплюють напрямки і технології їх розробки та вдосконалення. Упродовж цього періоду вказана сфера істотно змінилася і як досить потужна інженерна дисципліна та науковий напрямок стрімко розвивається.

У цьому зв'язку корисні знання для теорії і практики ГІС можуть надати систематизовані огляди публікацій світової наукової спільноти, що реєструються у міжнародних наукометричних базах даних, таких, наприклад, як ресурси Scopus та Web of Science, а також вітчизняних джерел, зокрема з Національної бібліотеки України імені В.І. Вернадського (НБУВ). Подивимось, які здобутки містять вказані ресурси.

З застосуванням пошукової системи Elsevier у Web of Science Core Collection (WoS) за запитом "Geographic Information System" отримано 59143 результатів. Статистика цих публікацій за роками видань за період

з 1990 по 2024 роки показана на рис. 1. Розподіл публікацій по основних категоріях видань (галузях знань), наведений у табл. 1, свідчить, що основна кількість публікацій присвячена, окрім традиційних наук про природне середовище, екологію та географію, технологічним напрямкам – комп’ютерні науки, інжиніринг та інші науково-технологічні теми.

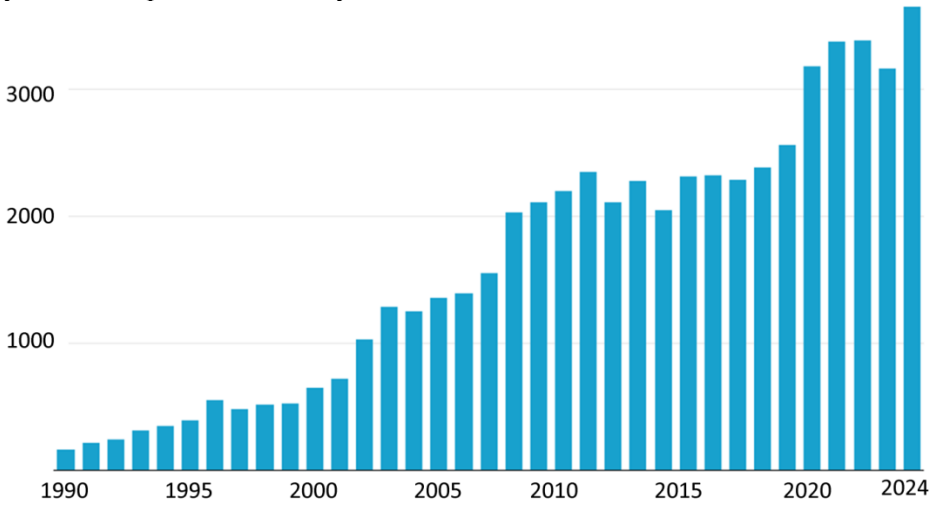


Рис. 1. Статистика результатів пошуку в Web of Science Core Collection за запитом "Geographic Information System"

Таблиця 1. Статистика публікацій у Web of Science Core Collection по основних категоріях знань

№ з/п	Категорія видань	Кількість публікацій	Відсоток з найденого
1	Environmental Sciences Ecology	21,291	37,50
2	Computer Science	20,661	36,39
3	Engineering	19,649	34,61
4	Geography	12,789	22,53
5	Science Technology Other Topics	9,683	17,06
6	Biodiversity Conservation	8,359	14,72
7	Agriculture	7,347	12,94
8	Mathematics	7,272	12,81
9	Geology	7,067	12,45
10	Water Resources	6,391	11,26

Відповідні результати пошуку по країнах, які демонструють найвищі показники за кількістю публікацій, наведено на рис. 2. Для порівняння у цей перелік також додано й Україну.

З застосуванням пошукової системи Scopus за запитом "Geographic Information System" отримано 106720 результатів (по 2024 рік). Статистика публікацій за роками видань за період з 1990 по 2024 роки показана на рис. 3. Розподіл знайдених за цей період публікацій за галузями знань, показаний у табл. 2, свідчить про схожість з результатами, отриманими в WoS.

Відповідні результати пошуку по країнах публікацій показані на рис. 4.

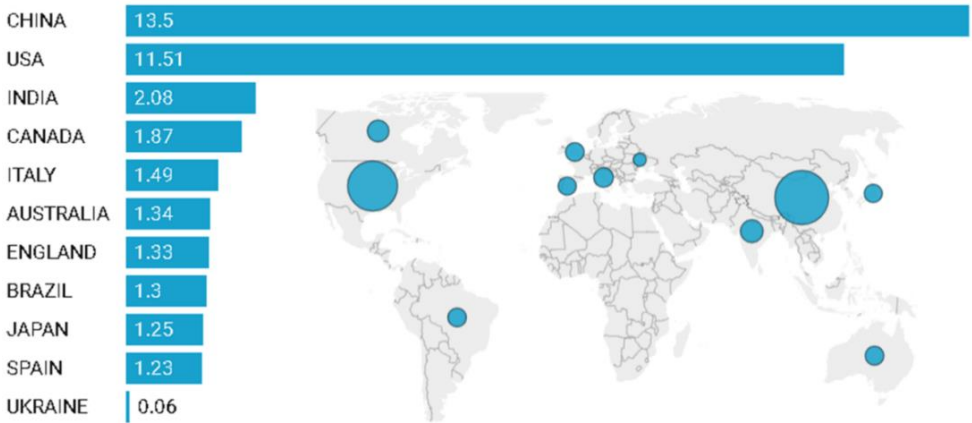


Рис. 2. Топ країн за кількістю публікацій за результатом пошуку в Web of Science Core Collection за запитом "Geographic Information System"

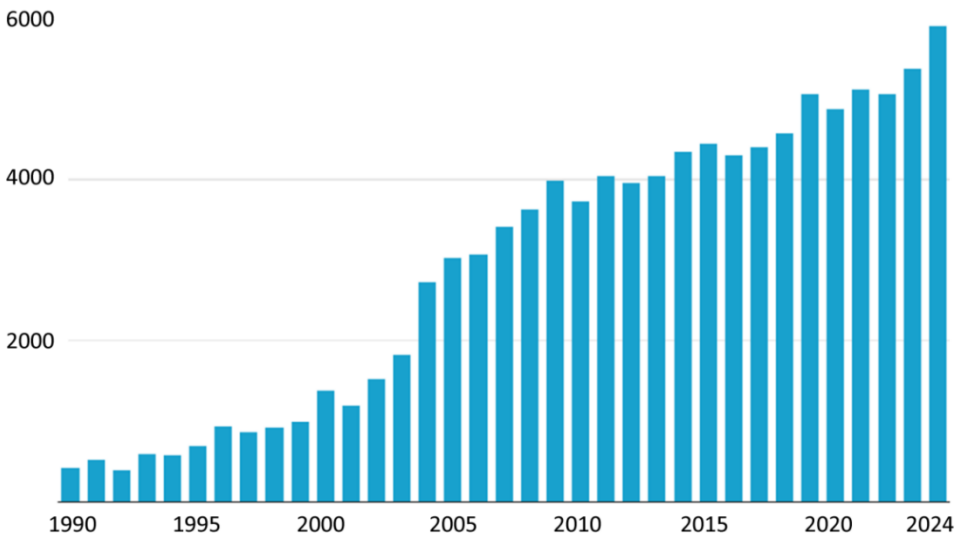


Рис. 3. Статистика результатів пошуку в Scopus за період з 1990 по 2024 роки за запитом "Geographic Information System"

Наведені результати свідчать про велику зацікавленість світової наукової спільноти до сфери застосування геоінформаційних технологій. Період зростання кількості публікацій у 2005–2010 роки, який можна спостерігати на діаграмах рис. 1 та 3, збігається з етапами розвитку компаній ESRI, Intergraph, MapInfo, Autodesk та захоплення ринку їх програмними продуктами, а також бурхливого розвитку Інтернет-технологій і поширенням WebGIS, коли користувачі отримали доступ до просторових даних через веб-браузер та з'явилися інтерактивні карти (Google Maps, Bing Maps, Yahoo! Maps) [21, 22].

Таблиця 2. Статистика публікацій у Scopus по основних категоріях знань

Категорія видань	Кількість публікацій	Відсоток з найденого
Environmental Science	30141	15,4
Computer Science	28039	14,3
Engineering	26061	13,3
Earth and Planetary Sciences	25153	12,9
Social Sciences	19173	9,8
Agricultural and Biological Sciences	11831	6,1
Medicine	9833	5,0
Mathematics	9600	4,9
Energy	5978	3,1
Physics and Astronomy	5856	3,0

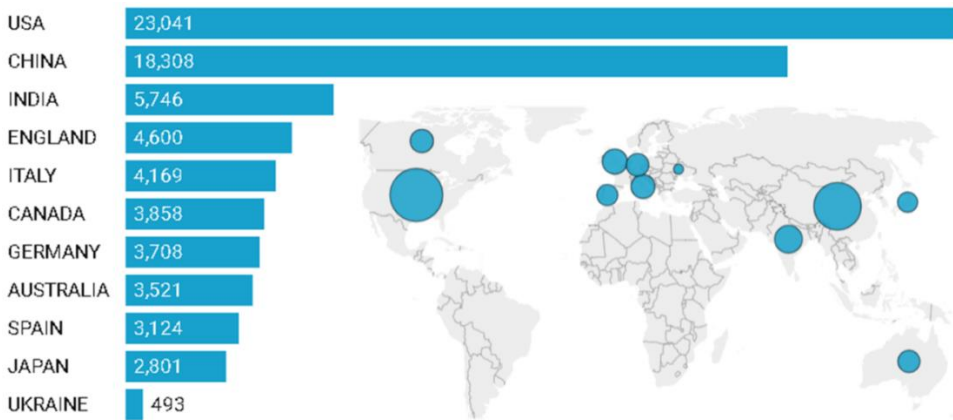


Рис. 4. Топ-10 країн за кількістю публікацій за результатом пошуку в Scopus за запитом "Geographic Information System"

Це сприяло демократизації ГІС – просторові сервіси стали доступними широким колам користувачів. Подальша публіцистична активність пояснюється розвитком супутникових даних, GPS, мобільних технологій, а також початком інтеграції ГІС із системами управління базами даних, ERP-системами та інструментами бізнес-аналітики (BI), що розширило сферу застосування ГІС у транспортній логістиці, енергетиці, безпеці, аграрному секторі. Саме у цей період міжнародна організація Open Geospatial Consortium (OGC) розробила відкриті стандарти обміну геоданими – WMS, WFS, GML, які забезпечили інтеоперабельність між різними системами та платформами. Все це стало запорукою переходу від інновацій і наукового інтересу до повсякденного використання ГІС в різних сферах діяльності [23, 24].

Зростання кількості публікацій продовжується й в наші часи. На сучасному етапі геоінформаційні системи еволюціонують у бік інтелектуальних просторових платформ, що поєднують штучний інтелект (AI), машинне навчання (ML), великі дані (Big Data), хмарні обчислення та Інтернет речей (IoT) [25–27]. Сучасні рішення (Google Earth Engine, Esri ArcGIS Online та ін.) забезпечують оброблення масивів супутникових зображень у режимі

реального часу, а концепція «цифрових двійників» територій (Digital Twin) відкриває нові можливості для моделювання урбаністичних процесів, планування інфраструктури та управління екосистемами [28, 29].

Таким чином, сучасні ГІС виступають не лише як технологічні звершення, а як комплексні аналітичні екосистеми, що інтегрують геодані, алгоритми, сервіси, сенсори та користувачів у єдиному геопросторовому середовищі.

Подивимось, як ці процеси знаходять відображення у вітчизняному дискурсі на прикладі наукових публікацій, які можна знайти завдяки можливостям пошукових сервісів НБУВ. Пошуковий запит по ключовому слову "геоінформ" в базі даних "Наукова періодика України" НБУВ по 2024 р. надав 722 результатів (рис. 5). За цими даними надходження зафіксовані лише з 2003 року. У той же час в реферативній базі даних "Україніка наукова" знайдено 2009 результатів, починаючи з 1998 року. Необхідно відмітити, що Наукова періодика України – це електронні версії періодичних наукових фахових видань наукових установ та навчальних закладів. Є найбільшим за охопленням повнотекстовим ресурсом в Україні. У БД «Україніка наукова» представлено наукові публікації з усіх галузей знань. Основні типи представлених документів – монографії, автореферати дисертацій, статті з наукової фахової періодики.

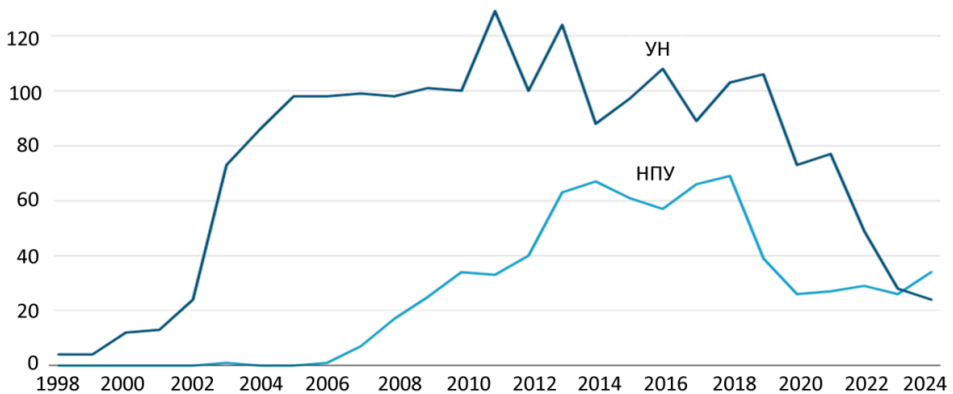


Рис. 5. Статистика результатів пошуку в базах даних "Наукова періодика України" (НПУ) та "Україніка наукова" (УН) НБУВ за запитом "геоінформ"

Якщо розглянути галузеву тематику вітчизняних публікацій, що зібрані в БД "Наукова періодика України" (табл. 3), необхідно відмітити, що в цьому корпусі переважають питання екології та природокористування, управління територіями та тематика оборони і військової справи. В той же час інформаційним технологіям приділяється не відчутна увага. При цьому доцільно звернути увагу на те, що в роботах, відображених у Web of Science Core Collection та Scopus, перевага віддається в першу чергу саме технологіям.

Якщо провести детальний аналіз вітчизняних публікацій, можна визначити основні етапи, які пройшло становлення геоінформаційних систем в нашій країні за понад тридцятирічну історію. Передусім необхідно зазначити, що розвиток ГІС в Україні віддзеркалює загальносвітові тенденції становлення цифрових технологій управління просторовими даними. Українська

ГІС-галузь формувалася на перетині картографічної науки, інформатики, геодезії, екології, землеустрою та управління територіями. Еволюцію ГІС в Україні умовно можна поділити на два основні етапи – становлення у 1990–2000-х роках та інституціоналізацію та розвиток національних геоінформаційних ресурсів у 2010-х, що відповідає графікам на рис. 5. На жаль, сучасна цифрова трансформація 2020-х років не знайшла належного відображення з-за обмежень військового стану цього періоду.

Таблиця 3. Тематика публікацій за запитом "геоінформ" в базі даних "Наукова періодика України" НБУВ

№ з/п	Галузь знань	Кількість публікацій за роками (у % до річного обсягу публікацій)							
		2024	2023	2022	2021	2020	2019	2018	Середнє за 7 років
1.	Екологія та природокористування	29,4	27,3	31,0	11,1	26,9	20,5	8,7	22,26
2.	Управління територіями	23,5	18,2	13,8	7,4	0,0	5,1	27,5	13,76
3.	Оборона та військова справа	5,9	9,1	27,6	18,5	11,5	12,8	5,8	13,06
4.	Транспортна інфраструктура	8,8	4,5	0,0	14,8	7,7	5,1	11,6	7,55
5.	Інформаційні технології	2,9	9,1	3,4	7,4	11,5	12,8	4,3	7,38
6.	Землеустрій	5,9	9,1	0,0	7,4	7,7	2,6	1,4	4,89
7.	Цивільний захист	0,0	0,0	6,9	3,7	7,7	7,7	2,9	4,13
8.	Дистанційне зондування	0,0	0,0	3,4	7,4	7,7	2,6	5,8	3,84
9.	Геологія	2,9	4,5	0,0	3,7	3,8	2,6	5,8	3,36
10.	Сільське господарство та агродіяльність	0,0	13,6	0,0	0,0	0,0	2,6	7,2	3,35
11.	Картографія	8,8	4,5	0,0	0,0	0,0	0,0	2,9	2,36
12.	Географічні дослідження	2,9	0,0	3,4	3,7	0,0	2,6	1,4	2,03
13.	Геодезія	5,9	0,0	3,4	0,0	0,0	2,6	1,4	1,93
14.	Інше	2,9	0,0	6,9	14,8	11,5	17,9	13,0	9,98

У 1990-х роках, коли Україна переходила до нової політичної та економічної системи, розпочався період привернення уваги до питань розвитку засобів інформатизації. На початку та в середині 1990-х років використання комп'ютерів ще було нечисленним. З-за цього через відсутність доступу до інформаційних технологій та Інтернету можливості впровадження геоінформаційних сервісів були суттєво обмежені. У зв'язку з такими технологічними та організаційними проблемами процес впровадження навіть елементів ГІС був малопомітним. Однак вже у той час було докладено зусиль для переходу від аналогової картографії до цифрової та, з появою перших вітчизняних програмно-апаратних рішень, для оброблення просторових даних [30]. У той час у провідних наукових і навчальних центрах сформувалися перші наукові школи з геоінформатики. У цей період ГІС почали впроваджуватися у практику земельно-кадастрових, екологічних, геологічних і топографо-геодезичних робіт. Проводились дослідження з моделювання екосистем, моніторингу забруднення довкілля, аналізу землекористування.

Розпочалися дослідження й з напрямку використання ГІС у державному управлінні [31, 32]. Значний внесок у популяризацію ГІС зробили державні установи, зокрема Головне управління геодезії, картографії та кадастру, а також наукові інститути НАН України [16, 33].

Перші ГІС-рішення розроблялися переважно на основі закордонних платформ (ArcInfo, MapInfo, ERDAS), однак поступово з'явилися й українські розробки – для еколого-географічного аналізу, містобудівного планування та управління земельними ресурсами. Тим не менш впровадження ГІС все ще було мізерним і носило переважно інформаційний характер.

Початок 2000-х років став етапом інституціоналізації геоінформаційних технологій в Україні. З'являються державні програми створення геоінформаційних систем, продовжується напрацювання пропозицій щодо використання ГІС для підтримки електронного урядування, формуються галузеві бази просторових даних, розвиваються стандарти геоданих і методи дистанційного дослідження Землі та картографічної візуалізації [34–37]. Ключовим проектом цього періоду стало формування Державного земельного кадастру, що заклало основу для створення національної інфраструктури просторових даних [38]. Паралельно впроваджувалися регіональні ГІС для містобудівного управління (ГІС Києва, Львова, Харкова), моніторингу довкілля, транспортної логістики [39]. У ті часи фактично заблищала зоря настання «геоінформаційного суспільства» [40].

У 2010-х роках продовжувався підйом інтересу до геоінформаційних систем. Україна приєдналася до європейських ініціатив у сфері геопросторових даних, зокрема INSPIRE (Infrastructure for Spatial Information in Europe), що сприяло адаптації європейських стандартів до національної нормативної бази. Створювалися відкриті геоінформаційні ресурси, зокрема Публічна кадастрова карта України, геопортали Держгеокадастру, системи моніторингу довкілля та надрокористування [41–43].

У цей період ГІС почали активно використовуватися й в освіті: було відкрито навчальні програми з геоінформатики, дистанційного зондування Землі, просторового аналізу та екологічного моніторингу [44, 45].

Зазначені вище події створили основу для забезпечення нових викликів. У 2020-х роках розвиток ГІС в Україні відбувається в умовах цифрової трансформації, відкриття публічних даних і впровадження інтелектуальних технологій аналізу простору [20]. Значну роль відіграють національні та регіональні геопортали (Geoport.gov.ua, Екомапа, Мапа відновлення України), а також галузеві системи управління природними ресурсами та інфраструктурою [46].

Важливим напрямом стала інтеграція геоінформаційних систем із системами аналітики та прогнозного моделювання, що застосовуються у військовій, гуманітарній, екологічній і транспортній сферах. Після 2022 року ГІС отримали новий стратегічний вимір – як інструмент моніторингу воєнних дій, оцінювання пошкоджень територій, відновлення інфраструктури та планування безпечного використання земель [47–51].

Україна також бере участь у міжнародних проектах обміну геопросторовими даними (Copernicus, GEO, UN-GGIM:Europe), що сприяє інтеграції в європейський інформаційний простір [19]. Активно розвиваються стартапи у сфері геоаналітики, супутникового моніторингу, хмарних сервісів, агро-ГІС і смарт-урбанізму [52, 53]. Сучасний український ГІС-сектор сфери

ІТ поступово трансформується з набору окремих систем у цілісну національну геоінформаційну інфраструктуру, що базується на відкритих даних, стандартах OGC та міжнародній кооперації.

Як оцінити рівень розвитку цього середовища у порівнянні з передовими країнами світу? На жаль, серед численних міжнародних індексів розвитку інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) немає окремого рейтингування за категорією ГІС. Однак, враховуючи, що ГІС є важливою складовою сфери ІКТ і також здійснює свій вплив на всі сфери соціально-економічної діяльності, опосередковано можна спиратися на дослідження розвитку ІКТ-сфери в Україні за міжнародними рейтингами та визначати перспективи розвитку. Серед сучасних індексів доцільно розглянути динаміку значень для України за Світовим рейтингом цифрової конкурентоспроможності IMD (IMD World Digital Competitiveness Ranking – WDCR), який аналізує та ранжує рівень впровадження цифрових технологій, що веде до трансформації урядової та бізнес діяльності і суспільства загалом, та Глобальним індексом інновацій (Global Innovation Index – GII), що найбільш повно оцінює рівень інноваційного розвитку та ефективність інноваційної екосистеми в економіках країн світу. Серед показників, які характеризують інноваційний розвиток, до складу GII входять показники, що оцінюють й результати розвитку сектору ІКТ.

Зважаючи на те, що зі зрозумілих причин достовірність даних, зібраних для України, була обмеженою, за рейтингом WDCR наша країна не була включена до звітів 2022 – 2024 років. У дослідженні ж за 2021 р.¹ Україна знаходилась на 54-му місці з 63 країн світу. Такий низький рівень пов'язаний з невисокими позиціями по окремих показниках цього рейтингу, зокрема за показниками «Цифрові технології» і «Цифрова готовність» (обидва 58-ме місце).

За GII Україна станом на 2024 рік має 60-те місце² з 133 країн (опустилася на 11 позицій у порівнянні з 2021 роком) і посідає 4-те місце серед групи країн з рівнем доходу нижче середнього. На її позицію найбільше впливає падіння показників, пов'язаних з її інституціями (107-ме місце) та людським капіталом і дослідженнями (54-те місце). Приплив прямих іноземних інвестицій, що показує 88-ме місце, також значно скоротився. За окремими показниками розвитку ІКТ значення відчутно вищі, але й тут є такі, що тягнуть донизу, зокрема такі як «Використання ІКТ», «Імпорт послуг ІКТ» та деякі інші.

З цих даних випливає, що не все ще зроблене в країні належним чином для розвитку ІКТ-сфери. Ще 1998 року було прийнято Закон України “Про Національну програму інформатизації”, але впродовж кількох років фінансування цієї програми було суттєво скорочене і вона практично перестала функціонувати. Таким чином, створення необхідної організаційної і правової бази інформаційної галузі та поступу у технологічному розвитку все ще потребує вдосконалення, зокрема зусиллями громадськості, бізнесу й держави. Важливим кроком у цьому напрямку стало прийняття 2022 року нового закону про Національну програму інформатизації, серед основних завдань якої значиться розробка, впровадження та застосування ІКТ у різних

¹ <https://www.imd.org/wcc/world-competitiveness-center-rankings/world-digital-competitiveness-rankings-2021/>

² <https://www.wipo.int/web-publications/global-innovation-index-2024/en/gii-2024-results.html>

сферах діяльності. Враховуючи, що згідно з новим законом Генеральний замовник Національної програми інформатизації щороку має подавати звіт про стан інформатизації та хід виконання завдань, програм, проєктів, робіт з інформатизації, невдовзі можна буде періодично спостерігати за подальшим просуванням і відчутний прогрес України у цій сфері.

Одночасно необхідно зазначити, що розвиток ІКТ – це один із важливих напрямків співпраці між Україною і Європейським Союзом. Отже, мета, що Україна досягне європейського рівня розвитку в цій сфері, залишається реальною. Крім того, необхідно зазначити, що актуальність цього питання ще суттєвіше зросла під час повномасштабного вторгнення агресора на територію країни. Потреба адаптуватися до нових реалій воєнного часу, що вимагає концентрації та швидких дій, торкнулася і процесів цифровізації, які на довоєнний час активно відбувалися в Україні. В такій складній ситуації інформаційні технології, безумовно, відіграють важливу роль у забезпеченні обороноздатності, ефективності державного управління та підтримці населення. Прикладом може бути мобільний застосунок "Дія", який, пропонуючи все більше послуг, що можна отримати прямо тут і зараз, без довідок, печаток і візитів до установ, вже давно став одним із основних у смартфонах українців. І природньо, що саме «Дію» з початку повномасштабного вторгнення в найкоротші терміни почали переформатовувати в універсальну платформу, яка має допомагати населенню не лише у мирний час, а й під час війни, надавати послуги, актуальні для воєнного часу.

На завершення необхідно відмітити, що запроваджені за роки незалежності зусиллями держави, бізнесу й громадськості кроки щодо розвитку ІКТ, попри всю їхню важливість, тривалий час все ж залишались фрагментарними і не забезпечували створення необхідної організаційної та технічної бази. Зокрема, це відбувалось із-за неповноти, неефективності й суперечливості чинної нормативно-правової бази інформаційної галузі. Недостатньою складалась й публікаційна увага з боку науковців та фахівців до поточних проблем розвитку інформаційних систем і сервісів. Приміром, й досі, після 30 років, майже немає робіт, які б узагальнювали набутий досвід та провели аналіз існуючої ситуації в сфері ГІС. І тільки в останні кілька років ситуація почала змінюватись на краще.

Висновки

Аналіз процесів розвитку геоінформаційних систем в країнах світу та в Україні, проведений на основі огляду публікацій світової та вітчизняної наукової спільноти, свідчить про важливу роль технологічної складової в забезпеченні їх прискорення та ефективності. Саме завдяки використанню сучасних інформаційних технологій та засобів мобільних комунікацій Україні вдалося в останні роки після тривалого застою перейти у світових рейтингах у напрямку високих показників. Безумовно, це стало можливим і завдяки організаційно-політичній підтримці з боку керівництва держави.

Суспільний попит на високоякісні інформаційні послуги в умовах цифрової трансформації буде безперервно зростати. У зв'язку з новими викликами нарощуються й вимоги до діяльності бізнесових структур і органів влади та ефективності рішень, що приймаються. Проведений аналіз свідчить про

існуючі розриви між технологічними трендами та засобами забезпечення цих спрямувань. Чимало сучасних технологічних тенденцій в сфері ГІС відображені у вітчизняних публікаціях відносно невагомими. Основні причини цього полягають у повільності адаптації державної системи до поточних технологічних зрушень, а також в економічних труднощах запровадження й опанування сучасних інформаційних технологій. Ця контрверза породжує стримування інноваційної актуалізації сфери ІКТ, що негативно впливає й на темпи впровадження засобів ГІС. Таким чином, ключовим рішенням має бути значне підвищення рівня уваги вищого державного керівництва та науково-технічної спільноти до вказаних питань. Такий підхід може створити умови для об'єднання всіх учасників суспільних процесів в єдиній системі і, як наслідок, дозволить в подальшому посилити позиції країни в європейській і світовій спільноті.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Amsterdam, R., Andresen, E., & Lipton, H. (1972). Geographic information systems in the U.S.: An overview. *Proceedings of the Spring Joint Computer Conference (AFIPS 1972)*, 511–522. <https://doi.org/10.1145/1478873.1478942>
2. Weber, W. (1979). Geographic information systems (GIS): A review and reflections on the future development. *International Yearbook of Cartography*, 19, 119–138.
3. Cox, A. B., & Gifford, F. (1997). An overview to geographic information systems. *Journal of Academic Librarianship*, 23(6), 449–461. [https://doi.org/10.1016/S0099-1333\(97\)90169-5](https://doi.org/10.1016/S0099-1333(97)90169-5)
4. Wang, X. M., Ma, M. G., Li, X., & Zhang, Z. Q. (2014). Applications and researches of geographic information system technologies in bibliometrics. *Earth Science Informatics*, 7(3), 147–152. <https://doi.org/10.1007/s12145-013-0132-4>
5. Chen, G., Li, W. Q., Kong, Q. Q., et al. (2012). Recent progress of marine geographic information system in China: A review for 2006–2010. *Journal of Ocean University of China*, 11(1), 18–24. <https://doi.org/10.1007/s11802-012-1825-x>
6. Uyaguari, A., Espinosa-Gallardo, E., Jácome-Guerrero, S. P., et al. (2018). Open source web software architecture components for geographic information systems in the last 5 years: A systematic mapping study. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 721, 688–699. https://doi.org/10.1007/978-3-319-73450-7_65
7. Usmani, R. S. A., Hashem, I. A. T., Pillai, T. R., et al. (2020). Geographic information system and big spatial data: A review and challenges. *International Journal of Enterprise Information Systems*, 16(4), 101–145. <https://doi.org/10.4018/IJEIS.2020100106>
8. Quan, S. J., & Bansal, P. (2021). A systematic review of GIS-based local climate zone mapping studies. *Building and Environment*, 196, 107791. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107791>
9. Chan, S. W., Abid, S. K., Sulaiman, N., et al. (2022). A systematic review of flood vulnerability using geographic information systems. *Heliyon*, 8(3), e09075. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09075>
10. Yang, Z. L., Lu, H., Zhang, Z. J., et al. (2023). Visualization analysis of rainfall-induced landslide hazards based on remote sensing and geographic information systems: An overview. *International Journal of Digital Earth*, 16(1), 2374–2402. <https://doi.org/10.1080/17538947.2023.2229797>
11. Minh, D. T. (2023). Criteria affecting groundwater potential: A systematic review of literature. In *Advances in research on water resources and environmental systems* (pp. 85–110). https://doi.org/10.1007/978-3-031-17808-5_7
12. Alvarez, R. D. D., Apan, A., & Maraseni, T. (2024). The perspectives of remote sensing and GIS on military environmental impacts: A systematic review. *Environmental Monitoring and Assessment*, 197(1), 113. <https://doi.org/10.1007/s10661-024-13514-0>

13. Wang, X., & Liu, Z. (2024). Navigating aged care services with GIS: Trends, developments, and future directions. *BMC Geriatrics*, 24(1), 243. <https://doi.org/10.1186/s12877-024-04799-4>
14. Cinar, K., Kavacik, S. Z., & Erul, E. (2025). Bibliometric analysis of GIS-based tourism research: Trends, topics, and future directions in terms of sustainable tourism management. *SAGE Open*, 15(2), 21582440251335733. <https://doi.org/10.1177/21582440251335733>
15. Cook, D., & Petursson, J. G. (2025). The role of GIS mapping in multi-criteria decision analysis in informing the location and design of renewable energy projects: A systematic review. *Energy Strategy Reviews*, 59, 101765. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2025.101765>
16. Литвинов, В. В., Шиндер, В. С., Кожевников, В. А., та ін. (2000). Архітектура програмних систем автоматизації бізнес-процесів підприємства з використанням ГІС та Інтернет технологій. *Мат. машини и системы*, 1, 81–93.
17. Шипулін, В. Д., Патракеєв, І. М., Толстохатько, В. А., та ін. (2014). *Інформаційно-комунікаційні технології у формуванні міського середовища* (В. Т. Семенов, ред.). Харків: Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова.
18. Кісь, Я. П. (2008). Інтелектуальні геоінформаційні системи. Міжнародний досвід та шляхи розвитку в Україні. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*, 621, 139–143.
19. Карпінський, Ю., Лященко, А., Макаренко, Д., & Черін, А. (2021). Національна інфраструктура геопросторових даних України у світовому вимірі: стан та нагальні завдання розвитку і сталого функціонування. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*, 1, 104–112.
20. Копійка, О. В. (2024). Геоінформатика в системах підтримки прийняття рішень. *Наукові записки Малої академії наук України*, 2, 37–47.
21. Luo, Y., Wang, X., Xiong, G., & Xu, Z. (2005). Design hierarchical component-based WebGIS. *Lecture Notes in Computer Science*, 3516, 515–522. https://doi.org/10.1007/11428862_71
22. Fangli, N., Kang, W., & Juan, W. (2010). Designing and realization of campus WebGIS based on ArcGIS server. In *Proceedings of the 2010 International Conference on Computer, Mechatronics, Control and Electronic Engineering* (Vol. 5, pp. 72–75).
23. Ye, K., & Guo, Y. (2012). The design and research of the next generation of ERP based on GPS and GIS. *Advanced Materials Research*, 403–408, 1736–1739. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.403-408.1736>
24. Manick, N., Appigadoo, A., & Cadarsaib, Z. (2019). ERP and GIS relevance for fire rescue services. In *Proceedings of the 2019 Amity International Conference on Artificial Intelligence* (pp. 922–929). <https://doi.org/10.1109/AICAI.2019.8701261>
25. Soliman, A., & Terstriep, J. (2020). Leveraging geospatial data gateways to support the operational application of deep learning models: Vision paper. In *Proceedings of the ACM International Symposium on Advances in Geographic Information Systems* (pp. 593–596). <https://doi.org/10.1145/3397536.3422232>
26. Khan, R. A., Bibi, M., Khokhar, M., & Tufail, M. M. B. (2024). Geographic information system and AI integration to support sustainable environment: A glance from the construction sector. In *Harnessing AI in Geospatial Technology for Environmental Monitoring and Management* (pp. 145–175). <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-8104-5.ch007>
27. Martinez, J. V. Y., Skarmeta, A. F., Zamora-Izquierdo, M. A., & Ramallo-Gonzalez, A. P. (2020). IoT-based data management for smart agriculture. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Embedded and Distributed Systems* (pp. 41–46). <https://doi.org/10.1109/EDiS49545.2020.9296443>
28. Gao, Y., Xiong, G., Hu, Z., et al. (2024). Bridge digital twin for practical bridge operation and maintenance by integrating GIS and BIM. *Buildings*, 14(12), 3731. <https://doi.org/10.3390/buildings14123731>

29. Tan, F., & Cheng, Y. (2024). A digital twin framework for innovating rural ecological landscape control. *Environmental Sciences Europe*, 36(1), 59. <https://doi.org/10.1186/s12302-024-00888-8>
30. Руденко, Л. Г. (2001). Географічна картографія в Україні та її значення у геоінформаційному просторі. *Український географічний журнал*, 3, 110–113.
31. Нестеренко, О. В. (2000). Використання ГІС-технологій при організації даних в органах державної влади. *Реєстрація, зберігання і обробка даних*, 2(1), 60–66.
32. Нестеренко, О. В. (2000). Геоінформаційні технології та інтеграція інформаційно-аналітичних систем органів державної влади України. *Вісник геодезії та картографії*, 2(17), 33–37.
33. Заблоцький, В. Г., & Шкіль, В. О. (2000). Оцінка стану національної безпеки України з використанням геоінформаційних технологій. *НТИ*, 3, 3–8.
34. Карпінський, Ю. О., & Лященко, А. А. (2002). Шляхи становлення національної інфраструктури просторових даних та інтеграції України в світовий геоінформаційний простір. *Вчені записки Таврійського національного університету ім. В. І. Вернадського. Серія: Географія*, 15(54), 1, 3–11.
35. Карпінський, Ю. О., & Лященко, А. А. (2004). Шляхи розвитку стандартизації та сертифікації географічної інформації / геоматики в Україні. *Вчені записки Таврійського національного університету ім. В. І. Вернадського. Серія: Географія*, 17(56), 2, 105–110.
36. Лялько, В. І., Попов, М. О., Зубко, В. П., & Рябоконеко, О. Д. (2004). Стан та перспективи розвитку дистанційних методів дослідження Землі в Україні. *Вчені записки Таврійського національного університету ім. В. І. Вернадського. Серія: Географія*, 17(56), 2, 64–71.
37. Нестеренко, О. В. (2004). Використання геоінформаційних технологій для забезпечення системи електронного уряду. *Вчені записки Таврійського національного університету ім. В. І. Вернадського. Серія: Географія*, 17(56), 2, 99–104.
38. Лихогруд, М. Г., Серединин, Є. С., Дядюн, В. Ю., та ін. (2002). Стандарт бази географічних даних автоматизованої системи державного земельного кадастру України (реалізація для платформи ESRI ArcGIS 8.x). *Вчені записки Таврійського національного університету ім. В. І. Вернадського. Серія: Географія*, 15(54), 1, 12–32.
39. Дишлик, О. П., & Марков, С. Ю. (2007). Підходи до створення картографічної основи атласу ринкових цін земель в населеному пункті. *Вчені записки Таврійського національного університету ім. В. І. Вернадського. Серія: Географія*, 20(59), 1, 22–28.
40. Нестеренко, О. В. (2005). Геоінформаційне суспільство. *Вчені записки Таврійського національного університету ім. В. І. Вернадського. Серія: Географія*, 18(57), 1, 103–110.
41. Барладін, О. В., Миколенко, Л., & Скляр, О. Ю. (2012). Геоінформаційний проект з реагування на надзвичайні ситуації з базами даних та інфраструктурою Київської області. *Вчені записки Таврійського національного університету ім. В. І. Вернадського. Серія: Географія*, 25(64), 1, 7–13.
42. Ішук, О. О. (2012). ГІС в оцінці ризиків від екстремальних ситуацій, викликаних паводками і водопіллям. *Вчені записки Таврійського національного університету ім. В. І. Вернадського. Серія: Географія*, 25(64), 1, 86–94.
43. Путренко, В. В. (2012). Використання хмарних сервісів для тематичного картографування. *Вчені записки Таврійського національного університету ім. В. І. Вернадського. Серія: Географія*, 25(64), 1, 191–199.
44. Пересадько, В., Сауленко, О., & Байназаров, А. (2019). Історія і перспективи застосування геоінформаційних систем у навчальному процесі з географії. *Проблеми безперервної географічної освіти і картографії*, 30, 81–93.
45. Мельник, А. В. (2008). Проблеми і можливості розвитку геоінформаційної освіти в Україні. *Український географічний журнал*, 4, 48–51.
46. Тимченко, С. І. (2024). Концепція цифровізації дорожньо-інфраструктурних проектів в Україні: використання геоінформаційних технологій для підвищення ефективності управління. *Управління розвитком складних систем*, 60, 95–104.

47. Поморцева, О. Є., Кобзан, С. М., & Штерндок, Е. С. (2023). Використання геоінформаційних технологій при веденні бойових дій в сучасних умовах. *Комунальне господарство міст. Серія: Технічні науки та архітектура*, 1, 69–73.
48. Бялий, М. О. (2024). Оцінка інформативності геоінформаційних систем військового призначення. *Технічні науки та технології*, 3, 132–142.
49. Чабанюк, В. С., & Дишлик, О. П. (2023). До питання стратегії використання геоінформаційних систем і технологій для управління територією. *Землеустрій, кадастр і моніторинг земель*, 3, 110–130.
50. Лебідь, О. Г., Охарєв, В. О., Федосєнков, С. Г., та ін. (2023). Геоінформаційні технології екологічного моніторингу акваторії Чорного моря після руйнування Каховської ГЕС. *Екологічна безпека та природокористування*, 4, 130–144.
51. Піріков, О. В. (2022). Геоінформаційний системний підхід до аналізу впливу збройних конфліктів на екологічний стан навколишнього природного середовища. *Екологічна безпека та природокористування*, 1(41), 5–17.
52. Недоснований, О. Ю., Черняк, О. І., & Голінко, В. В. (2023). Порівняльний аналіз хмарних сервісів для обробки геоінформаційних даних. *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*, 2, 50–57.
53. Мінаєв, Д., & Раделицький, Ю. (2023). Класифікація витрат агродіяльності з позиції обліку і контролю в умовах використання геоінформаційних технологій. *Вісник економіки*, 3, 97–114.

Стаття надійшла до редакції 11.11.25, надійшла після рецензування 26.01.26, прийнята 23.02.26

REFERENCES

1. Amsterdam, R., Andresen, E., & Lipton, H. (1972). Geographic information systems in the U.S. An overview. *Proceedings of the Spring Joint Computer Conference, AFIPS 1972*, 511–522. <https://doi.org/10.1145/1478873.1478942>
2. Weber, W. (1979). Geographic Information Systems (GIS) – a review and reflections on the future development. *International Yearbook of Cartography*, 19, 119–138.
3. Cox, A. B., & Gifford, F. (1997). An overview to geographic information systems. *Journal of academic librarianship*, 23, 6, 449–461. [https://doi.org/10.1016/S0099-1333\(97\)90169-5](https://doi.org/10.1016/S0099-1333(97)90169-5)
4. Wang, X. M., Ma, M. G., Li, X., & Zhang, Z. Q. (2014). Applications and researches of geographic information system technologies in bibliometrics. *Earth science informatics*, 7, 3, 147–152. <https://doi.org/10.1007/s12145-013-0132-4>
5. Chen, G., Li, W.Q., Kong, Q.Q., et al. (2012). Recent progress of marine geographic information system in China: A review for 2006–2010. *Journal of ocean university of China*, 11, 1, 18–24. <https://doi.org/10.1007/s11802-012-1825-x>
6. Uyaguari, A., Espinosa-Gallardo, E., Jácome-Guerrero S.P., et al. (2018). Open source web software architecture components for geographic information systems in the last 5 years: A systematic mapping study. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 721, 688–699. https://doi.org/10.1007/978-3-319-73450-7_65.
7. Usmani, R. S. A., Hashem, I. A. T., Pillai, T. R., et al. (2020). Geographic information system and big spatial data: A review and challenges. *International Journal of Enterprise Information Systems*, 16(4), 101–145. <https://doi.org/10.4018/IJEIS.2020100106>
8. Quan, S. J., & Bansal, P. (2021). A systematic review of GIS-based local climate zone mapping studies. *Building and Environment*, 196, 107791. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107791>
9. Chan, S. W., Abid, S. K., Sulaiman, N., et al. (2022). A systematic review of flood vulnerability using geographic information systems. *Heliyon*, 8(3), e09075. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09075>

10. Yang, Z. L., Lu, H., Zhang, Z. J., et al. (2023). Visualization analysis of rainfall-induced landslide hazards based on remote sensing and geographic information systems: An overview. *International Journal of Digital Earth*, 16(1), 2374–2402. <https://doi.org/10.1080/17538947.2023.2229797>
11. Minh, D. T. (2023). Criteria affecting groundwater potential: A systematic review of literature. In *Advances in research on water resources and environmental systems* (pp. 85–110). https://doi.org/10.1007/978-3-031-17808-5_7
12. Altarez, R. D. D., Apan, A., & Maraseni, T. (2024). The perspectives of remote sensing and GIS on military environmental impacts: A systematic review. *Environmental Monitoring and Assessment*, 197(1), 113. <https://doi.org/10.1007/s10661-024-13514-0>
13. Wang, X., & Liu, Z. (2024). Navigating aged care services with GIS: Trends, developments, and future directions. *BMC Geriatrics*, 24(1), 243. <https://doi.org/10.1186/s12877-024-04799-4>
14. Cinar, K., Kavacik, S. Z., & Erul, E. (2025). Bibliometric analysis of GIS-based tourism research: Trends, topics, and future directions in terms of sustainable tourism management. *SAGE Open*, 15(2), 21582440251335733. <https://doi.org/10.1177/21582440251335733>
15. Cook, D., & Petursson, J. G. (2025). The role of GIS mapping in multi-criteria decision analysis in informing the location and design of renewable energy projects: A systematic review. *Energy Strategy Reviews*, 59, 101765. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2025.101765>
16. Lytvynov, V. V., Shynder, V. S., Kozhevnykov, V. A. ta in. (2000). Arhitektura prohramnykh system avtomatyzatsii biznes-protsesiv pidpriemstva z vykorystanniam HIS ta Internet tekhnolohii. *Mat. mashyny i systemy*, 1, 81–93. (in Ukrainian).
17. Shypulin, V. D., Patrakeiev, I. M., Tolstokhatko, V. A., ta in. (2014). Informatsiino-komunikatsiini tekhnolohii u formuvanni miskoho seredovyshcha (V. T. Semenov, Ed.). Kharkiv: Kharkiv. nats. un-t misk. hosp-va im. O.M. Beketova, (in Ukrainian).
18. Kis, Ya. P., Shakhovska, N. B., Valchuk, O. B. (2008). Intelktualni heoinformatsiini systemy. Mizhnarodnyi dosvid ta shliakhy rozvytku v Ukraini. *Visn. Nats. un-tu "Lviv. politekhnika"*, 621, 139–143. <https://vlp.com.ua/node/658> (in Ukrainian).
19. Karpinskyi, Yu., Liashchenko, A., Makarenko, D., & Cherin, A. (2021). Natsionalna infrastruktura heoprostorovykh danykh Ukrainy u svitovomu vymiri: stan ta nahalni zavdannia rozvytku i staloho funktsionuvannia. *Suchas. dosiahnennia heodez. nauky ta vyr-va*, 1, 104–112. <https://ena.lpnu.ua/handle/ntb/59203> (in Ukrainian).
20. Kopiika, O. V. (2024). Heoinformatyka v systemakh pidtrymky pryiniattia rishen. *Nauk. zapysky Maloi akademii nauk Ukrainy*, 2, 37–47. <https://doi.org/10.51707/2618-0529-2024-30-04> (in Ukrainian).
21. Luo, Y., Wang, X., Xiong, G., & Xu, Z. (2005). Design hierarchical component-based WebGIS. *Lecture Notes in Computer Science*, 3516 (III), 515–522. https://doi.org/10.1007/11428862_71.
22. Fangli, N., Kang, W., & Juan, W. (2010). Designing and realization of campus WebGIS based on ArcGIS server. In *Proceedings of the 2010 International Conference on Computer, Mechatronics, Control and Electronic Engineering* (Vol. 5, pp. 72–75).
23. Ye, K., & Guo, Y. (2012). The design and research of the next generation of ERP based on GPS and GIS. *Advanced Materials Research*, 403–408, 1736–1739. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.403-408.1736>
24. Manick, N., Appigadoo, A., & Cadarsaib, Z. (2019). ERP and GIS relevance for fire rescue services. In *Proceedings of the 2019 Amity International Conference on Artificial Intelligence* (pp. 922–929). <https://doi.org/10.1109/AICAI.2019.8701261>
25. Soliman, A., & Terstriep, J. (2020). Leveraging geospatial data gateways to support the operational application of deep learning models: Vision paper. In *Proceedings of the ACM International Symposium on Advances in Geographic Information Systems* (pp. 593–596). <https://doi.org/10.1145/3397536.3422232>
26. Khan, R. A., Bibi, M., Khokhar, M., & Tufail, M. M. B. (2024). Geographic information system and AI integration to support sustainable environment: A glance from the construction

- sector. In *Harnessing AI in Geospatial Technology for Environmental Monitoring and Management* (pp. 145–175). <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-8104-5.ch007>
27. Martinez, J. V. Y., Skarmeta, A. F., Zamora-Izquierdo, M. A., & Ramallo-Gonzalez, A. P. (2020). IoT-based data management for smart agriculture. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Embedded and Distributed Systems* (pp. 41–46). <https://doi.org/10.1109/EDiS49545.2020.9296443>
28. Gao, Y., Xiong, G., Hu, Z., et al. (2024). Bridge digital twin for practical bridge operation and maintenance by integrating GIS and BIM. *Buildings*, 14(12), 3731. <https://doi.org/10.3390/buildings14123731>
29. Tan, F., & Cheng, Y. (2024). A digital twin framework for innovating rural ecological landscape control. *Environmental Sciences Europe*, 36(1), 59. <https://doi.org/10.1186/s12302-024-00888-8>
30. Rudenko, L. H. (2001). Heohrafichna kartohrafiia v Ukraini ta yii znachennia u heoinformatsiinomu prostori. *Ukr. heohr. zhurn.*, 3, 110–113. (in Ukrainian).
31. Nesterenko, O. V. (2000). Vykorystannia HIS-tehnolohii pry orhanizatsii danykh v orhanakh derzhavnoi vlady. *Reiestratsiia, zberihannia i obrobka danykh*, 2, 1, 60–66. (in Ukrainian).
32. Nesterenko, O. V. (2000). Heoinformatsiini tehnolohii ta intehtratsiia informatsiino-analitychnykh system orhaniv derzhavnoi vlady Ukrainy. *Visnyk heodezii ta kartohrafiu*, 2(17), 33–37. (in Ukrainian).
33. Zablotskyi, V. H., & Shkil, V. O. (2000). Otsinka stanu natsionalnoi bezpeky Ukrainy z vykorystanniam heoinformatsiinykh tehnolohii. *NTI*, 3, 3–8. (in Ukrainian).
34. Karpinskyi, Yu. O., & Liashchenko, A. A. (2002). Shliakhy stanovlennia natsionalnoi infrastruktury prostorovykh danykh ta intehtratsii Ukrainy v svitovyi heoinformtsiinyi prostir. *Vcheni zapysky Tavriiskoho natsionalnoho universytetu im. V. I. Vernadskoho. Serii: Heohrafiia*, 15 (54), 1, 3–11. (in Ukrainian).
35. Karpinskyi, Yu. O., & Liashchenko, A. A. (2004). Shliakhy rozvytku standartyzatsii ta sertyfikatsii heohrafichnoi informatsii / heomatyky v Ukraini. *Vcheni zapysky Tavriiskoho natsionalnoho universytetu im. V. I. Vernadskoho. Serii: Heohrafiia*, 17 (56), 2, 105–110. (in Ukrainian).
36. Lialko, V. I., Popov, M. O., Zubko, V. P., & Riabokonenko, O. D. (2004). Stan ta perspektyvy rozvytku dystantsiinykh metodiv doslidzhennia Zemli v Ukraini. *Vcheni zapysky Tavriiskoho natsionalnoho universytetu im. V. I. Vernadskoho. Serii: Heohrafiia*, 17 (56), 2, 64–71. (in Ukrainian).
37. Nesterenko, O. V. (2004). Vykorystannia heoinformatsiinykh tehnolohii dlia zabezpechennia systemy elektronnoho uriadu. *Vcheni zapysky Tavriiskoho natsionalnoho universytetu im. V. I. Vernadskoho. Serii: Heohrafiia*, 17 (56), 2, 99–104. (in Ukrainian).
38. Lykhohrud, M. H., Seredynyn, Ye. S., Diadiun, V. Yu. ta in. (2002). Standart bazy heohrafichnykh danykh avtomatyzovanoi systemy derzhavnoho zemelnoho kadastru Ukrainy (realizatsiia dlia platformy ESRI ArcGIS 8.kh). *Vcheni zapysky Tavriiskoho natsionalnoho universytetu im. V. I. Vernadskoho. Serii: Heohrafiia*, 15 (54), 1, 12–32. (in Ukrainian).
39. Dyshlyk, O. P., & Markov, S. Iu. (2007). Pidkhody do stvorennia kartofachnoi osnovy atlasu rynkovykh tsin zemel v naselenomu punkti. *Vcheni zapysky Tavriiskoho natsionalnoho universytetu im. V. I. Vernadskoho. Serii: Heohrafiia*, 20 (59), 1, 22–28. (in Ukrainian).
40. Nesterenko, O. V. (2005). Heoinformatsiine suspilstvo. *Vcheni zapysky Tavriiskoho natsionalnoho universytetu im. V. I. Vernadskoho. Serii: Heohrafiia*, 18 (57), 1, 103–110. (in Ukrainian).
41. Barladin, O. V., Mykolenko, L., & Skliar, O. Iu. (2012). Heoinformatsiinyi proekt z reahuvannia na nadzvychaini sytuatsii z bazamy danykh ta infrastrukturoiu Kyivskoi oblasti. *Vcheni zapysky Tavriiskoho natsionalnoho universytetu im. V. I. Vernadskoho. Serii: Heohrafiia*, 25 (64), 1, 7–13. (in Ukrainian).
42. Ishchuk, O. O. (2012). HIS v otsintsi ryzykiv vid ekstremalnykh sytuatsii, vyklykanykh navodkami i vodopilliam. *Vcheni zapysky Tavriiskoho natsionalnoho universytetu im. V. I. Vernadskoho. Serii: Heohrafiia*, 25 (64), 1, 86–94. (in Ukrainian).

43. Putrenko, V. V. (2012). Vykorystannia khmarnykh servisiv dlia tematychnoho kartohrafuvannia. *Vcheni zapysky Tavriiskoho natsionalnoho universytetu im. V. I. Vernadskoho. Serii: Heohrafiia*, 25 (64), 1, 191–199. (in Ukrainian).
44. Peresadko, V., Saulenko, O., & Bainazarov A. (2019). Istoriia i perspektyvy zastosuvannia heoinformatsiinykh system u navchalnomu protsesi z heohrafi. *Problemy bezperervnoi heohrafichnoi osvity i kartohrafi*, 30, 81–93. <https://doi.org/10.26565/2075-1893-2019-30-09> (in Ukrainian).
45. Melnyk, A. V. (2008). Problemy i mozhlyvosti rozvytku heoinformatsiinoi osvity v Ukraini. *Ukr. heohr. zhurn.*, 4, 48–51. (in Ukrainian).
46. Tymchenko, S. I. (2024). Kontsepsiia tsyfrovizatsii dorozhno-infrastrukturykh proiektiv v Ukraini: vykorystannia heoinformatsiinykh tekhnologii dlia pidvyshchennia efektyvnosti upravlinnia. *Upravlinnia rozvytkom skladnykh system*, 60, 95–104. <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2024.60.95-104> (in Ukrainian).
47. Pomortseva, O. Ye., Kobzan, S. M., & Shterdok, E. S. (2023). Vykorystannia heoinformatsiinykh tekhnologii pry vedenni boiovykh dii v suchasnykh umovakh. *Komunalne hospodarstvo mist. Serii: Tekhnichni nauky ta arkhitektura*, 1, 69–73. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2023-1-175-69-73> (in Ukrainian).
48. Bialyi, M. O. (2024). Otsinka informatyvnosti heoinformatsiinykh system viiskovoho pryznachennia. *Tekhnichni nauky ta tekhnologii*, 3, 132–142. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2024-3\(37\)-132-142](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2024-3(37)-132-142) (in Ukrainian).
49. Chabaniuk, V. S., & Dyshlyk, O. P. (2023). Do pytannia stratehii vykorystannia heoinformatsiinykh system i tekhnologii dlia upravlinnia terytorieiu. *Zemleustrii, kadastr i monitorynh zemel*, 3, 110–130. (in Ukrainian).
50. Lebid, O. H., Okhariev, V. O., Fedoseienkov, S. H. ta in. (2023). Heoinformatsiini tekhnologii ekolohichnoho monitorynhu akvatorii Chornoho moria pislia ruinuvannia Kakhovskoi HES. *Ekol. bezpeka ta pryrodokorystuvannia*, 4, 130–144. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2023.4.130-144> (in Ukrainian).
51. Pyrikov, O. V. (2022). Heoinformatsiinyi systemnyi pidkhid do analizu vplyvu zbroinykh konfliktiv na ekolohichni stan navkolyshnoho pryrodnoho seredovyshcha. *Ekol. bezpeka ta pryrodokorystuvannia*, 1 (41), 5–17. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2022.1.5-17> (in Ukrainian).
52. Nedosnovanyi, O. Yu., Cherniak, O. I., & Holinko, V. V. (2023). Porivnialnyi analiz khmarnykh servisiv dlia obrobky heoinformatsiinykh danykh. *Informatsiini tekhnologii ta kompiuterna inzheneriia*, 2, 50–57. <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2023-57-2-50-57> (in Ukrainian).
53. Minaiev, D., & Radelytskyi, Yu. (2023). Klasyfikatsiia vytrat ahrodiialnosti z pozytsii obliku i kontroliu v umovakh vykorystannia heoinformatsiinykh tekhnologii. *Visnyk ekonomiky*, 3, 97–114. <https://doi.org/10.35774/visnyk2023.03.097> (in Ukrainian).

The article was received 11.11.25, received after revision 26.01.26, accepted 23.02.26

Нестеренко Олександр Васильович

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інформаційних технологій, Міжнародний європейський університет

Адреса робоча: 03187, Україна, м. Київ, пр. Академіка Глушкова, 42В

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5329-889X> e-mail: oleksandr_nesterenko@ieu.edu.ua

Яцук Петро Петрович

кандидат технічних наук, доцент кафедри інформаційних технологій, Міжнародний європейський університет

Адреса робоча: 03187, Україна, м. Київ, пр. Академіка Глушкова, 42В

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0002-7124-4849> e-mail: petro_yatsuk@ieu.edu.ua