

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО  
ФАКУЛЬТЕТ АГРОТЕХНОЛОГІЙ ТА ЕКОЛОГІЇ  
КАФЕДРА ГЕОЕКОЛОГІЇ І ЗЕМЛЕУСТРОЮ

«Допущено до захисту» протокол засідання  
кафедри ГЕЗ  
№ 11 від «20» червня 2024 року  
Зав. кафедрою ГЕЗ  
к.с.-г.н, доцент \_\_\_\_\_ Максим ГАНЧУК

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

*СВО «Бакалавр»*  
*за освітньо-професійною програмою «Геодезія та землеустрій» зі*  
*спеціальності 193 «Геодезія та землеустрій»*  
(освітній ступень, ОПП, спеціальність)  
на тему: **Застосування геоінформаційних технологій в екологічних**  
**дослідженнях**

25 ГЗ Д 001 000000 ПЗ

Виконала: студентка 41 ГЗ групи

Буркот О. В.  
(прізвище та ініціали)

Консультант з ОП:	к.т.н., доцент	Михайло ЗОРЯ
Керівник:	д.т.н., професор	Віктор СИДОРЕНКО
Нормоконтроль	к.т.н., доцент (науковий ступінь, вчене звання)	Ольга МАЗИКІНА (прізвище та ініціали)

Запоріжжя – 2024 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО

Інститут або факультет агротехнологій та екології  
Кафедра геоекології і землеустрою  
(назва кафедри)

Ступінь вищої освіти Бакалавр  
Галузь знань 19 «Архітектура та будівництво»  
(шифр і назва)

Спеціальність 193 «Геодезія та землеустрій»  
(шифр і назва)

Освітня програма «Геодезія та землеустрій»  
(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри ГЕЗ  
к.с.-г.н., доцент Максим ГАНЧУК  
(підпис) (ініціали та прізвище)  
«15» лютого 2024 р

**ЗАВДАННЯ**  
ДО ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

студентці Буркот Олександрі Валентинівні  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи **Застосування геоінформаційних технологій в екологічних дослідженнях**

керівник роботи д.т.н., професор Сидоренко Віктор Дмитрович  
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)

затверджені наказом Ректора університету від « 14 » лютого 2024 р. № 83/1-С

2. Строк подання студентом роботи « 18 » червня 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи обґрунтування використання методів та засобів геоінформаційних технологій в сфері екологічних досліджень

4. Перелік питань, які потрібно розробити: обґрунтування вибору методів геоінформаційних технологій для проведення екологічних досліджень; порівняння можливостей різних ГІС-продуктів (ArcGIS, QGIS, MapInfo) та інформаційних онлайн-ресурсів (Google Earth Engine, ERDAS Imagine та інші); на основі даних супутникових знімків Sentinel-5P провести аналіз забруднення атмосферного повітря в м. Київ.

## 5. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав (дата)	завдання прийняв
Розділ 5 Охорона праці	Михайло ЗОРЯ, к.т.н., доцент, завідувач кафедри цивільної безпеки	15.02.2024	15.02.2024

6. Дата видачі завдання

15.02.2024 р.**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи (місяць)	Відмітка керівника про виконання (засвідчується підписом)
Розділ 1 Теоретичні основи застосування ГІС в екологічних дослідженнях	Березень	Виконано
Розділ 2 Методологія проведення екологічних досліджень з використанням ГІС	Березень	Виконано
Розділ 3. Практичне застосування ГІС в екологічних дослідженнях на прикладі забрудненості атмосферного повітря в м. Київ	Квітень	Виконано
Розділ 4 Перспективи розвитку та удосконалення використання ГІС в екологічних дослідженнях	Квітень	Виконано
Розділ 5 Охорона праці	Травень	Виконано
Висновки	Травень	Виконано

Студентка

Керівник роботи

\_\_\_\_\_

( підпис )

**О.В. Буркот**

( ініціали та прізвище )

**В.Д. Сидоренко**

( ініціали та прізвище )

## АНОТАЦІЯ

Буркот О.В. Застосування геоінформаційних технологій в екологічних дослідженнях. – Кваліфікаційна робота. Кафедра геоєкології і землеустрою. – Запоріжжя, Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, 2024.

Текст викладений на 80 сторінках, містить 5 розділів, 8 таблиць, 4 рисунки, 36 літературних джерел 14 з них латиницею.

Мета роботи полягає в дослідженні теоретичних основ та практичних аспектів застосування геоінформаційних технологій для вирішення екологічних задач.

В роботі обґрунтовано вибір методів геоінформаційних технологій для проведення екологічних досліджень; проведено порівняння можливостей різних ГІС-продуктів (ArcGIS, QGIS, MapInfo) та інформаційних онлайн-ресурсів (Google Earth Engine, ERDAS Imagine та інші) при вивченні екологічних проблем; на основі даних супутникових знімків Sentinel-5P проведено аналіз забруднення атмосферного повітря в м. Київ.

Ключові слова: ГІС, ArcGIS, QGIS, MapInfo, Google Earth Engine, ERDAS Imagine.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	4
<b>РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЗАСТОСУВАННЯ ГІС В ЕКОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ</b> .....	6
1.1 Поняття та сутність геоінформаційних систем.....	6
1.2 Можливості використання ГІС в екологічних дослідженнях .....	11
1.3 Огляд сучасних геоінформаційних технологій для вирішення екологічних задач .....	16
1.4 Порівняння геоінформаційних систем.....	22
<b>РОЗДІЛ 2 МЕТОДОЛОГІЯ ПРОВЕДЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ ГІС</b> .....	24
2.1 Збір та підготовка екологічних даних для аналізу в ГІС .....	24
2.2 Методи просторового аналізу та моделювання екологічних процесів засобами ГІС .....	2831
2.3 Візуалізація та інтерпретація результатів екологічних досліджень в ГІС .....	3740
<b>РОЗДІЛ 3. ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ ГІС В ЕКОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ НА ПРИКЛАДІ ЗАБРУДНЕНОСТІ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ В МІСТІ КИЇВ</b> .....	42
3.1 Опис екологічної проблеми та території дослідження.....	42
3.2 Збір та підготовка геопросторових даних для аналізу екологічної ситуації.....	47
3.3 Аналіз та моделювання екологічної проблеми з використанням ГІС.....	53
<b>РОЗДІЛ 4 ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ ГІС В ЕКОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ</b> .....	57
4.1 Сучасні тенденції розвитку геоінформаційних технологій для вирішення екологічних задач .....	57
4.2 Проблеми та шляхи вдосконалення застосування ГІС в екологічних дослідженнях .....	642

4.3 Перспективні напрямки подальших досліджень з використанням ГІС в екології .....	675
<b>РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ</b> .....	<b>69</b>
5.1 Загальні положення з охорони праці під час роботи за комп'ютером ..	69
5.2 Обов'язки та умови користувача комп'ютерної техніки під час та після роботи .....	70
5.3 Вимоги та обов'язки під час аварійних ситуацій .....	71
5.4 Надання першої домедичної допомоги на підприємстві .....	73
<b>ВИСНОВКИ</b> .....	<b>74</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b> .....	<b>76</b>

## ВСТУП

**Актуальність теми.** В умовах зростаючого антропогенного навантаження на навколишнє середовище та загострення екологічних проблем, все більшої актуальності набуває використання сучасних інформаційних технологій, зокрема геоінформаційних систем (ГІС), для ефективного аналізу, моделювання та прогнозування стану довкілля. ГІС дозволяють інтегрувати різноманітні екологічні дані, проводити їх просторовий аналіз, будувати моделі екологічних процесів, що є важливим для прийняття обґрунтованих управлінських рішень в галузі охорони навколишнього середовища.

**Мета і завдання дослідження.** Мета роботи полягає в дослідженні теоретичних основ та практичних аспектів застосування геоінформаційних технологій для вирішення екологічних задач.

**Завдання:**

1. Розкрити сутність та можливості ГІС в екологічних дослідженнях;
2. Дослідити методологію використання ГІС для аналізу екологічних проблем;
3. Проаналізувати досвід практичного застосування ГІС в екології на прикладі конкретної екологічної проблеми;
4. Визначити перспективні напрямки розвитку геоінформаційних технологій в екологічній сфері.

**Об'єкт дослідження:** процес використання геоінформаційних технологій в екологічних дослідженнях.

**Предмет дослідження:** теоретико-методологічні засади та практичні аспекти застосування ГІС для вирішення екологічних задач.

**Практичне значення роботи.** Використовуючи результати дослідження застосування сучасних ГІС-технологій, екологічні служби, природоохоронні організації зможуть вдосконалити процес екологічного моніторингу, аналіз та прогнозування стану довкілля.

**Теоретичне значення роботи.** Дослідження дозволить поглибити науково-теоретичні основи використання геоінформаційних систем в

екологічних дослідженнях, систематизувати методологічні підходи застосування ГІС для вирішення екологічних проблем.

**Методи дослідження.** В процесі написання дипломної роботи була використана система загальнонаукових та спеціальних емпіричних і теоретичних методів дослідження. Також використовувалися такі емпіричні методи, як, опис, порівняння та узагальнення.

## РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЗАСТОСУВАННЯ ГІС В ЕКОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ

### 1.1 Поняття та сутність геоінформаційних систем

Геоінформаційні системи (ГІС) - це комп'ютерні системи, призначені для збору, зберігання, аналізу та візуалізації просторових даних та пов'язаної з ними інформації про об'єкти, що представлені у геоінформаційному просторі. ГІС поєднують в собі можливості систем управління базами даних, редакторів графіки та аналітичних засобів і дозволяють користувачам створювати запити, аналізувати просторову інформацію, редагувати дані, складати карти і презентувати результати виконаної роботи [5].

Концепція ГІС існує вже понад 50 років, але лише в останні десятиліття, завдяки розвитку комп'ютерних технологій та накопиченню великих обсягів геопросторових даних, геоінформаційні системи набули широкого поширення в різних сферах людської діяльності, в тому числі в екологічних дослідженнях та природоохоронній діяльності.

ГІС являють собою інтегровані інформаційні системи, що забезпечують роботу з просторово-координованою інформацією з метою її ефективного зберігання, обробки, аналізу, математико-картографічного моделювання та образного відображення. Вони дозволяють поєднати модельне зображення території (електронне відображення карт, схем, космо- та аерозображень) з інформацією табличного типу (різноманітні статистичні дані, списки, економічні показники тощо) [17].

Головною особливістю ГІС є те, що вони дозволяють пов'язати різноманітну інформацію через географічні координати об'єктів. Тобто ГІС дозволяють проводити спільний аналіз даних з різних джерел на основі їх просторової прив'язки. Це відкриває широкі можливості для виявлення нових взаємозв'язків та закономірностей, які складно або неможливо виявити при роздільному аналізі інформації.

Основними компонентами геоінформаційних систем є:

- апаратні засоби (комп'ютери та периферійні пристрої);
- програмне забезпечення (системи управління базами даних, інструменти введення та обробки геопросторових даних, системи візуалізації даних);
- бази геоданих (структуровані набори просторових та атрибутивних даних);
- регламент (набір правил, стандартів, методологічних підходів до роботи з просторовими даними);
- кадри (фахівці, які розробляють та експлуатують ГІС).

За територіальним охопленням ГІС можна розділити на:

- глобальні, що охоплюють всю поверхню Землі та використовуються для моделювання глобальних процесів та явищ;
- національні (державні), які створюються в рамках держав і вирішують завдання в масштабах країни;
- регіональні, що охоплюють території регіонального рівня та забезпечують вирішення задач регіонального планування та управління;
- локальні (муніципальні), що створюються для окремих населених пунктів, підприємств, організацій.

За призначенням та предметною областю застосування виділяють:

1. багатоцільові (інтегровані) ГІС, що включають дані по різних предметних областях та вирішують широкий спектр задач;
2. спеціалізовані ГІС, які орієнтовані на вирішення специфічних завдань в конкретній предметній області (екологічні, геологічні, муніципальні, кадастрові тощо).

Основа інформаційного забезпечення ГІС складають бази геопросторових даних, які поділяються на:

- векторні, в яких географічні об'єкти представляються у вигляді точок, ліній та полігонів з табличною атрибутивною інформацією;
- растрові, в яких інформація про об'єкти місцевості представляється у вигляді комірок регулярної сітки з привласненими їм значеннями.

Основними джерелами даних для ГІС є:

- картографічні матеріали, які потребують спеціальної обробки та перетворення в цифрову форму;
- дані дистанційного зондування Землі (космічні знімки, аерофотознімки), які дозволяють отримувати актуальну інформацію про стан земної поверхні та об'єкти на ній;
- табличні дані, зібрані за допомогою польових досліджень, вимірювальних приладів, статистичної звітності, які можуть бути конвертовані в ГІС шляхом просторової прив'язки.

Ключовими функціями ГІС є:

1. Введення та збереження географічних даних, що реалізується за допомогою технологій цифрування карт, обробки даних дистанційного зондування, імпорту існуючих наборів цифрових даних.
2. Маніпулювання географічними даними, що включає трансформацію картографічних проекцій, конвертацію форматів даних, генералізацію даних.
3. Управління даними, що забезпечує зберігання, структурування інформації, підтримку цілісності даних, багатокористувацький доступ до бази геоданих.
4. Запити та аналіз даних - одна з головних функцій, яка реалізує можливості відбору даних за різними критеріями, їх геопросторовий аналіз, класифікацію, узагальнення, побудову буферних зон, мережевий аналіз.
5. Візуалізація даних у вигляді електронних карт, 3D-сцен, графіків, діаграм, звітів з можливістю налаштування способів відображення, компоновання карт, експорту зображень.

Серед найбільш поширених комерційних програмних ГІС-пакетів можна виділити:

- ArcGIS від компанії ESRI, що представляє собою сімейство програмних продуктів з потужними функціональними можливостями в сфері створення, управління, аналізу геоданих;
- MapInfo Professional від компанії Pitney Bowes - повнофункціональна ГІС, яка дозволяє створювати та редагувати карти, працювати з даними з різних джерел;

- Autodesk AutoCAD Map 3D, яка реалізує функції ГІС в середовищі САПР та дозволяє ефективно працювати з великими обсягами просторової інформації.

Також існує ряд вільних відкритих ГІС, серед яких:

- QGIS - кросплатформна вільна ГІС з відкритим кодом, що підтримує велику кількість векторних та растрових форматів даних;
- GRASS GIS - потужна відкрита ГІС для управління, аналізу та візуалізації просторових даних з акцентом на обробці растрових даних;
- SAGA GIS, що має широкий набір інструментів для просторового аналізу, особливо в сфері цифрового моделювання рельєфу.

Веб-ГІС - це геоінформаційні системи, функціональні можливості яких реалізуються в мережевому середовищі Інтернет. Вони дозволяють користувачам отримати доступ до просторових даних, інструментів їх обробки та візуалізації за допомогою веб-браузера без необхідності встановлення спеціального програмного забезпечення. Веб-ГІС значно розширюють коло користувачів геопросторової інформації та відкривають нові можливості для колективної роботи з даними [4].

Стандартизація в сфері ГІС здійснюється міжнародними організаціями, такими як Open Geospatial Consortium (OGC) та International Organization for Standardization (ISO), які розробляють специфікації та стандарти для забезпечення інтеоперабельності геоінформаційних систем та геопросторових даних. Ключовими стандартами є Geography Markup Language (GML), Web Map Service (WMS), Web Feature Service (WFS), які забезпечують єдині підходи до обміну просторовими даними в мережі Інтернет.

Застосування ГІС в екологічних дослідженнях дозволяє вирішувати широкий спектр завдань, таких як:

- інвентаризація природних ресурсів, створення кадастрів природних об'єктів;
- моніторинг стану навколишнього середовища, оцінка рівнів забруднення компонентів довкілля;
- моделювання та прогнозування розвитку екологічної ситуації, оцінка екологічних ризиків;

- планування природоохоронних заходів, оптимізація мережі об'єктів природно-заповідного фонду;
- підтримка прийняття управлінських рішень, розробка рекомендацій щодо раціонального природокористування.

ГІС надають унікальні можливості для просторового аналізу екологічної інформації завдяки здатності інтегрувати дані з різних джерел на основі їх географічної прив'язки. Це дозволяє виявляти взаємозв'язки між різними факторами впливу на довкілля, будувати комплексні моделі екологічного стану території, оцінювати сумарний ефект від різних видів антропогенного навантаження [2].

Інструменти просторового аналізу та моделювання, що реалізуються засобами ГІС, включають:

- аналіз географічного розподілу об'єктів та явищ, розрахунок щільності, статистичних показників розподілу точкових об'єктів;
- виявлення просторових патернів, трендів, кластерів, аномалій у розподілі екологічних параметрів;
- оверлейний аналіз, що дозволяє інтегрувати різні тематичні шари даних шляхом їх накладання та виконання операцій над атрибутами;
- мережевий аналіз, який дає можливість моделювати поширення забруднень по мережах водотоків, розраховувати зони обслуговування об'єктів;
- аналіз поверхонь, що включає побудову цифрових моделей рельєфу, розрахунок ухилів, експозицій схилів, аналіз видимості/невидимості;
- геостатистичний аналіз, який дозволяє досліджувати просторову неперервність та мінливість екологічних параметрів, будувати інтерполяційні моделі їх розподілу.

Візуалізація екологічної інформації засобами ГІС забезпечує наочне представлення просторових закономірностей та взаємозв'язків у зручній для сприйняття користувачами формі. Картографічні веб-сервіси на основі ГІС-технологій дають можливість оперативно відображати екологічну ситуацію,

поширювати актуальну інформацію в мережі Інтернет, забезпечувати інтерактивну взаємодію з користувачами.

Важливу роль ГІС відіграють в системі екологічного моніторингу, дозволяючи налагодити ефективний процес збору, систематизації, зберігання та обробки даних спостережень за станом довкілля. ГІС-технології забезпечують інтеграцію даних з постів спостережень, результатів лабораторних аналізів проб, даних дистанційного зондування в єдиній системі з можливістю комплексного аналізу інформації та підготовки інформаційно-аналітичних матеріалів [15].

Отже, геоінформаційні системи є потужним інструментом для дослідження екологічного стану територій, моделювання та прогнозування впливу природних та антропогенних факторів на довкілля. Вони дозволяють інтегрувати різноманітну екологічну інформацію, виконувати її просторовий аналіз, наочно відображати отримані результати з метою підтримки процесів прийняття рішень в галузі охорони навколишнього середовища та раціонального природокористування.

## **1.2 Можливості використання ГІС в екологічних дослідженнях**

Геоінформаційні системи відкривають широкі можливості для вирішення різноманітних завдань в сфері екологічних досліджень та охорони навколишнього середовища. ГІС дозволяють інтегрувати та аналізувати великі обсяги просторово-координованої екологічної інформації, моделювати та прогнозувати розвиток екологічної ситуації, оцінювати ефективність природоохоронних заходів [3].

Однією з ключових сфер застосування ГІС в екології є оцінка та моніторинг стану компонентів навколишнього середовища. За допомогою ГІС-технологій можна створювати бази даних результатів спостережень за якістю атмосферного повітря, поверхневих та підземних вод, ґрунтового покриву. Інструменти просторового аналізу дозволяють виявляти закономірності

територіального розподілу забруднюючих речовин, будувати карти забруднення компонентів довкілля.

ГІС відіграють важливу роль в моніторингу джерел антропогенного впливу на навколишнє середовище. За їх допомогою можна створювати бази даних промислових об'єктів, сміттєзвалищ, очисних споруд, складів токсичних речовин та інших потенційно небезпечних об'єктів. Аналіз їх просторового розташування відносно житлової забудови, природоохоронних територій, водних об'єктів дозволяє оцінювати ризики негативного впливу на довкілля та здоров'я населення [12].

Геоінформаційні системи використовуються для оцінки забруднення атмосферного повітря від стаціонарних та пересувних джерел викидів. ГІС дозволяють проводити просторовий аналіз емісії забруднюючих речовин, моделювати процеси їх розсіювання в атмосфері з урахуванням метеорологічних умов, рельєфу місцевості, висоти джерел викидів. На основі цього можна будувати карти забруднення повітря, виділяти зони з перевищенням гранично допустимих концентрацій, прогнозувати рівні забруднення при різних сценаріях викидів.

Важливим напрямком використання ГІС є оцінка якості поверхневих вод та виявлення джерел їх забруднення. ГІС-технології дозволяють інтегрувати дані гідрологічних, гідрохімічних, гідробіологічних спостережень, аналізувати просторово-часові зміни показників якості води. Інструменти мережевого аналізу дають можливість моделювати поширення забруднюючих речовин по річковій мережі, виявляти ділянки з найбільшим рівнем забруднення, прогнозувати наслідки аварійних скидів токсичних речовин.

ГІС відіграють важливу роль в оцінці стану земельних ресурсів та ґрунтового покриву. За допомогою ГІС-технологій можна створювати ґрунтові карти, аналізувати просторовий розподіл різних типів ґрунтів, оцінювати рівень їх деградації внаслідок ерозії, засолення, хімічного забруднення. Інструменти просторового аналізу дозволяють виявляти ділянки з найбільш сприятливими

умовами для ведення сільського господарства, планувати заходи з охорони та відновлення родючості ґрунтів [11].

Геоінформаційні системи широко використовуються для дослідження та оцінки біорізноманіття на різних територіальних рівнях. За допомогою ГІС можна картографувати ареали поширення рідкісних та зникаючих видів рослин і тварин, аналізувати фактори, що впливають на їх розповсюдження, моделювати потенційні місця їх оселення. ГІС відіграють важливу роль у плануванні природоохоронних територій, оптимізації їх просторової структури та функціонального зонування з метою збереження ландшафтного та біологічного різноманіття [1].

ГІС-технології знаходять широке застосування в оцінці та управлінні лісовими ресурсами. За допомогою ГІС можна створювати бази даних лісового фонду, проводити інвентаризацію лісових насаджень, аналізувати їх видовий склад, вікову структуру, бонітет. Інструменти просторового аналізу дозволяють оцінювати ступінь фрагментації лісових масивів, виявляти ділянки, що потребують лісовідновлення, планувати заходи щодо підвищення продуктивності та стійкості лісових екосистем.

Важливу роль ГІС відіграють в моніторингу та оцінці наслідків надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру. За допомогою ГІС-технологій можна оперативно збирати та аналізувати інформацію про масштаби та територіальний розподіл стихійних лих, аварій на промислових об'єктах. Інструменти просторового моделювання дозволяють прогнозувати розвиток надзвичайних ситуацій, оцінювати зони ураження, планувати евакуаційні заходи та оптимальні шляхи ліквідації наслідків [21].

ГІС широко застосовуються для аналізу та прогнозування змін клімату та їх впливу на екосистеми. За допомогою ГІС-технологій можна проводити просторовий аналіз метеорологічних даних, будувати карти розподілу кліматичних показників, виявляти довготермінові тренди їх змін. Інструменти геопросторового моделювання дозволяють прогнозувати зміни ареалів видів, зсув природних зон, оцінювати вразливість екосистем до кліматичних змін.

Геоінформаційні системи відіграють важливу роль в екологічному плануванні та проектуванні. Вони дозволяють проводити комплексний аналіз території з урахуванням різноманітних екологічних, соціально-економічних, інфраструктурних факторів. На основі цього можна виділяти зони з різним рівнем сприятливості для розміщення промислових об'єктів, житлової забудови, сільськогосподарського освоєння, розробляти схеми територіального планування з урахуванням екологічних обмежень [7].

ГІС-технології широко використовуються для оцінки впливу на навколишнє середовище при реалізації господарських проектів. За допомогою ГІС можна аналізувати просторове розташування проєктованих об'єктів відносно природоохоронних територій, зон з високим біорізноманіттям, ареалів рідкісних видів. Інструменти моделювання дозволяють прогнозувати рівні забруднення компонентів довкілля, оцінювати ризики деградації екосистем, розробляти рекомендації щодо мінімізації негативного впливу [10].

ГІС відіграють важливу роль у забезпеченні екологічної безпеки в містах. За їх допомогою можна створювати бази даних джерел забруднення атмосферного повітря, водних об'єктів, ґрунтового покриву в межах міських територій. Інструменти просторового аналізу дозволяють виявляти зони екологічного ризику, оцінювати комфортність міського середовища для проживання населення, планувати заходи з озеленення та благоустрою територій.

Геоінформаційні системи використовуються для управління відходами та планування систем поводження з ними. За допомогою ГІС-технологій можна створювати бази даних об'єктів утворення, збору та переробки відходів, оптимізувати маршрути їх транспортування. Інструменти просторового аналізу дозволяють визначати оптимальні місця розташування полігонів ТПВ, сміттєпереробних заводів з урахуванням екологічних, економічних, соціальних факторів [16].

ГІС-технології відіграють важливу роль у формуванні екологічної мережі та розбудови зеленої інфраструктури. За їх допомогою можна аналізувати

просторовий розподіл та зв'язність природних та напівприродних територій, виявляти ділянки, важливі для міграції та поширення видів. Інструменти ландшафтного планування дозволяють розробляти схеми екомережі, обґрунтовувати створення нових об'єктів природно-заповідного фонду, планувати коридори екологічної зв'язності.

Геоінформаційні системи використовуються для інформаційної підтримки екологічної освіти та просвіти. На їх основі можна створювати інтерактивні карти та атласи, що відображають інформацію про унікальні природні об'єкти, біорізноманіття територій, екологічні маршрути. Веб-ГІС технології дозволяють забезпечити широкий доступ громадськості до екологічної інформації, залучати населення до участі в природоохоронних заходах, формувати екологічну свідомість.

ГІС відіграють важливу роль у розвитку екологічного туризму. За їх допомогою можна створювати туристичні карти з нанесенням природних та історико-культурних атракцій, прокладати оптимальні екологічні маршрути. Інструменти просторового аналізу дозволяють оцінювати рекреаційну місткість територій, планувати розміщення об'єктів туристичної інфраструктури з урахуванням збереження природних комплексів [19].

Геоінформаційні системи використовуються для підтримки прийняття управлінських рішень в галузі охорони довкілля та збалансованого природокористування. Вони дозволяють інтегрувати різноманітну екологічну, соціально-економічну, правову інформацію, проводити її комплексний аналіз. На основі цього можна розробляти сценарії розвитку територій, оцінювати ефективність різних управлінських стратегій, обґрунтовувати пріоритетні напрямки екологічної політики.

ГІС-технології відкривають широкі можливості для міжнародної співпраці у сфері охорони навколишнього середовища. Вони дозволяють створювати єдині бази геопросторових даних для транскордонних територій, проводити узгоджений аналіз екологічних проблем, розробляти спільні природоохоронні

заходи. Обмін даними та досвідом використання ГІС сприяє впровадженню кращих світових практик екологічного управління та сталого розвитку [18].

Отже, геоінформаційні системи є потужним інструментом для вирішення широкого спектру завдань в галузі екологічних досліджень та охорони довкілля. Вони дозволяють ефективно збирати, зберігати, аналізувати та візуалізувати великі обсяги просторово-координованої екологічної інформації, моделювати та прогнозувати розвиток екологічної ситуації, обґрунтовувати управлінські рішення. Впровадження ГІС-технологій сприяє підвищенню якості та оперативності екологічних оцінок, забезпечує інформаційну підтримку діяльності природоохоронних органів, наукових установ, громадськості у сфері збереження навколишнього середовища та збалансованого використання природних ресурсів.

### **1.3 Огляд і порівняння сучасних геоінформаційних технологій для вирішення екологічних задач**

Стрімкий розвиток інформаційних технологій та зростання обсягів екологічних даних зумовлюють необхідність впровадження сучасних геоінформаційних систем та технологій для ефективного вирішення задач в сфері охорони довкілля та раціонального природокористування. Сьогодні існує широкий спектр ГІС-інструментів, які дозволяють автоматизувати процеси збору, обробки, аналізу та візуалізації екологічної інформації [14].

Однією з провідних світових компаній в сфері розробки ГІС-технологій є Environmental Systems Research Institute (ESRI), яка пропонує сімейство програмних продуктів ArcGIS. Це потужна геоінформаційна платформа, яка включає настільні, серверні та мобільні додатки, а також інструменти для розробників. ArcGIS дозволяє ефективно управляти, аналізувати та візуалізувати просторові дані, створювати інтерактивні карти та 3D-сцени, розгорнути веб-сервіси та розподілені ГІС-системи.

Для вирішення екологічних задач в середовищі ArcGIS розроблено спеціалізовані модулі та розширення, такі як ArcGIS Spatial Analyst, ArcGIS 3D Analyst, ArcGIS Geostatistical Analyst. Вони надають широкі можливості для просторового моделювання та аналізу екологічних даних, зокрема, дозволяють виконувати геостатистичний аналіз, будувати растрові поверхні, виконувати картографічну алгебру, аналізувати рельєф, гідрологічні характеристики території.

Компанія ESRI також пропонує спеціалізовані галузеві рішення для екологічної сфери, такі як ArcGIS for Environmental Management. Цей програмний продукт включає набір інструментів та шаблонів для управління природоохоронними територіями, моніторингу якості навколишнього середовища, оцінки впливу на довкілля, аналізу ризиків надзвичайних ситуацій. Він дозволяє автоматизувати процеси збору та обробки екологічних даних, створювати тематичні карти та інтерактивні дашборди.

Для вирішення екологічних задач в середовищі ArcGIS розроблено спеціалізовані модулі та розширення, такі як ArcGIS Spatial Analyst, ArcGIS 3D Analyst, ArcGIS Geostatistical Analyst. Вони надають широкі можливості для просторового моделювання та аналізу екологічних даних, зокрема, дозволяють виконувати геостатистичний аналіз, будувати растрові поверхні, виконувати картографічну алгебру, аналізувати рельєф, гідрологічні характеристики території.

Компанія ESRI також пропонує спеціалізовані галузеві рішення для екологічної сфери, такі як ArcGIS for Environmental Management. Цей програмний продукт включає набір інструментів та шаблонів для управління природоохоронними територіями, моніторингу якості навколишнього середовища, оцінки впливу на довкілля, аналізу ризиків надзвичайних ситуацій. Він дозволяє автоматизувати процеси збору та обробки екологічних даних, створювати тематичні карти та інтерактивні дашборди.

Серед інших комерційних ГІС-платформ, які знаходять застосування для вирішення екологічних задач, можна відзначити Mapinfo Professional від

компанії Pitney Bowes. Це потужна геоінформаційна система, яка надає широкі можливості для створення, редагування та аналізу просторових даних. Mapinfo включає інструменти для геокодування, просторових запитів, тематичного картографування, створення тривимірних моделей. Для екологічних додатків в середовищі Mapinfo розроблено спеціальні модулі, такі як Mapinfo Vertical Mapper для аналізу поверхонь та Mapinfo Engage 3D для створення реалістичних 3D-сцен [3].

Компанія Intergraph пропонує геоінформаційну платформу GeoMedia, яка також широко використовується в екологічній сфері. GeoMedia надає потужні інструменти для інтеграції та управління просторовими даними з різних джерел, їх аналізу та візуалізації. Для вирішення екологічних задач в середовищі GeoMedia розроблено спеціалізовані модулі, такі як GeoMedia Image Professional для обробки даних дистанційного зондування та GeoMedia 3D для створення тривимірних моделей навколишнього середовища.

В останні роки значного поширення набувають веб-орієнтовані ГІС-технології, які дозволяють забезпечити доступ до геопросторових даних та функціональних можливостей ГІС через мережу Інтернет. Одним з лідерів в цій сфері є компанія Google, яка пропонує платформу Google Earth Engine. Це хмарна платформа для планетарного масштабу аналізу геопросторових даних, яка надає доступ до великих архівів даних дистанційного зондування Землі та інструменти для їх обробки та аналізу безпосередньо в браузері.

Вільною та безкоштовною стільниковою ГІС з відкритим кодом є QGIS. За допомогою програми можна створювати, візуалізувати, аналізувати та публікувати геопросторову інформацію в Windows, MacOS, Linux та Android. Функціональність QGIS визначається великою кількістю встановлюваних розширень. Система налічує в собі великий спектр інструментів який, налічує близько 770 позицій, а також має українську мову.

Google Earth Engine включає каталог геопросторових даних, що постійно оновлюється, та набір інструментів для їх обробки з використанням можливостей хмарних обчислень. Він дозволяє виконувати класифікацію

знімків, розраховувати спектральні індекси, виявляти зміни земного покриття, аналізувати часові ряди даних. Платформа знаходить широке застосування для вирішення різноманітних екологічних задач, таких як моніторинг стану рослинності, оцінка наслідків стихійних лих, аналіз урбанізаційних процесів, прогнозування врожайності сільськогосподарських культур.

Інший приклад веб-орієнтованої ГІС-платформи - ArcGIS Online від компанії ESRI. Це хмарне середовище, яке надає доступ до готових базових карт, геопросторових даних та інструментів їх обробки і аналізу. ArcGIS Online дозволяє створювати інтерактивні карти та додатки, виконувати просторовий аналіз, публікувати та обмінюватися даними. Для екологічної сфери на основі ArcGIS Online розроблено ряд галузевих рішень, таких як шаблони для моніторингу якості повітря та води, управління природними ресурсами, оцінки ризиків надзвичайних ситуацій [30].

Важливим напрямком розвитку сучасних ГІС-технологій є інтеграція з даними дистанційного зондування Землі. Супутникові знімки та дані аерофотозйомки є цінним джерелом інформації для вирішення багатьох екологічних задач, таких як оцінка стану рослинного покриття, виявлення наслідків антропогенного впливу, моніторинг динаміки ландшафтів. Для обробки даних дистанційного зондування розроблено спеціалізоване програмне забезпечення, таке як ERDAS Imagine.

Цей програмний продукт надає широкі можливості для попередньої обробки знімків, їх геометричної та радіометричної корекції, класифікації, розрахунку спектральних індексів. Він дозволяє виконувати автоматизоване дешифрування знімків з використанням алгоритмів машинного навчання, виявляти об'єкти та зміни на місцевості. Результати обробки даних дистанційного зондування можуть інтегруватися з іншими просторовими даними в середовищі ГІС для комплексного аналізу екологічної ситуації.

Інтеграція ГІС з системами екологічного моніторингу є важливим напрямком розвитку сучасних геоінформаційних технологій. ГІС надають можливості для ефективного збору, зберігання та візуалізації даних

спостережень за станом навколишнього середовища, отриманих з різних джерел - стаціонарних постів моніторингу, автоматизованих станцій, мобільних лабораторій. Спеціалізовані ГІС-модулі, такі як ArcGIS GeoEvent Server, дозволяють інтегрувати потоки даних моніторингу в режимі реального часу, виконувати їх оперативний аналіз та оповіщення про небезпечні екологічні ситуації.

Перспективним напрямком є використання ГІС-технологій спільно з мобільними додатками та краудсорсинговими платформами для залучення громадськості до екологічного моніторингу та контролю. Мобільні додатки, такі як iNaturalist, eBird, дозволяють користувачам збирати та надсилати геопросторові дані про спостереження за біорізноманіттям безпосередньо зі своїх смартфонів. Ці дані можуть імпортуватися в середовище ГІС для подальшого аналізу та використання в наукових дослідженнях та природоохоронній діяльності.

Інтеграція ГІС з технологіями Інтернету речей (ІоТ) відкриває нові можливості для автоматизованого збору екологічних даних. Сенсорні мережі, які складаються з великої кількості датчиків, розміщених на місцевості, можуть в режимі реального часу передавати інформацію про стан навколишнього середовища (якість повітря, води, ґрунтів) до баз геоданих. Інструменти ГІС дозволяють візуалізувати ці дані у вигляді динамічних карт та графіків, виконувати їх просторовий аналіз та виявляти аномальні зони.

Технології доповненої реальності (AR) в поєднанні з ГІС знаходять застосування для візуалізації екологічної інформації безпосередньо на місцевості. Спеціальні мобільні додатки дозволяють в режимі реального часу відображати на екрані смартфона або окулярах доповненої реальності інформацію про об'єкти навколишнього середовища, накладену на зображення з камери. Це може бути інформація про види рослин і тварин, екологічний стан водойм, рівні забруднення повітря тощо.

Технології віртуальної реальності (VR) в поєднанні з ГІС використовуються для створення реалістичних 3D-моделей навколишнього

середовища. Це дозволяє виконувати віртуальні польоти над територією, досліджувати ландшафти та екосистеми в інтерактивному режимі. VR-технології можуть застосовуватись для екологічної освіти та просвіти, дозволяючи користувачам здійснювати віртуальні екскурсії по заповідним територіям, знайомитися з рідкісними видами флори і фауни.

Сучасні ГІС-технології активно використовуються для підтримки прийняття рішень в галузі управління природними ресурсами та охорони довкілля. Спеціалізовані системи підтримки прийняття рішень (СППР) на основі ГІС дозволяють інтегрувати екологічні, економічні, соціальні фактори та оцінювати різні сценарії розвитку територій. Такі системи можуть використовуватися для оптимізації розміщення природоохоронних об'єктів, планування екологічної мережі, оцінки ефективності природоохоронних заходів.

Розвиток хмарних технологій та сервісно-орієнтованої архітектури відкриває нові можливості для створення розподілених ГІС-систем екологічного моніторингу та управління. Хмарні ГІС-платформи, такі як ArcGIS Online, Google Earth Engine, надають доступ до обчислювальних ресурсів та сховищ даних через мережу Інтернет, дозволяючи ефективно виконувати ресурсоємні задачі обробки та аналізу великих обсягів геопросторових даних [30].

Сервісно-орієнтована архітектура дозволяє створювати гнучкі та масштабовані ГІС-системи, які складаються з окремих веб-сервісів, що взаємодіють між собою через стандартизовані інтерфейси. Це забезпечує можливість інтеграції даних та функціональності з різних джерел, створення розподілених систем екологічного моніторингу, які об'єднують інформаційні ресурси різних організацій та відомств.

Таким чином, сучасні геоінформаційні технології пропонують широкий спектр інструментів та рішень для ефективного збору, управління, аналізу та візуалізації екологічної інформації. Вони дозволяють автоматизувати процеси обробки даних, виконувати комплексний аналіз екологічної ситуації, моделювати та прогнозувати розвиток екологічних процесів [8].

## 1.4 Порівняння геоінформаційних систем

Проаналізувавши велику кількість наявних геоінформаційних систем, виділила для подальшого порівняння найпоширеніші, доступні та найкращі для виконання поставлених задач системи.

Результат порівняння можна розглянути в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 Порівняння ГІС

ГІС	QGIS	ArcGIS	Google Earth Engine	ERDAS Imagine
Розробники	QGIS Development Team	ESRI	Google	Erdas Inc
Операційні системи	Windows, Linux, MacOS, BCD, Android	Windows, Linux	Windows, Linux, MacOS, IOS, Android	Windows
Розширення	Встановленні безкоштовні розширення	Маленький діапазон безкоштовних розширень. Всі інші інструменти платні	Встановленні безкоштовні розширення	Маленький діапазон безкоштовних розширень. Всі інші інструменти платні
Інструменти	Список налічує 770 інструментів. Можна виділити найпопулярніші з них: 1. Геостатистика; 2. Гідрологічний аналіз; 3. Робота з базою даних; 4. Тривімірна візуалізація; 5. Робота з LIDAR, CAD, DEM;	Список інструментів та спектр їх роботи дуже великий, та залежить від року випуску. Можна виділити найпопулярніші з них: 1. ArcGIS 3D Analyst – набір для роботи з тривимірними даними, моделями рельєфу та іншим; 2. ArcGIS Geostatistical Analyst – набір для моделювання, оцінки та аналізу	Програма налічує в собі декілька інструментів. Приклад інструменту який допоможе при роботі з ГІС програмами 1. Google Earth Pro – налічує в себе такі інструменти: інтеграція даних GPS, імпорт та накладання зображень, пакетне	Програма налічує в собі три базові інструмента з різним функціоналом: 1. IMAGINE Essentials – інструмент для візуалізації та картографування растрових зображень; 2. IMAGINE Advantage – повний набір інструментів ана для аналізу зображень за допомогою

	6. Аналіз каналів та освітлення.	геостатистичних даних; 3. ArcGIS Spatial Analyst – набір для просторового аналізу з урахуванням растрів; 4. ArcGIS Online – веб-гіс для використання, створювання та налаштування доступ до карт, шарів та аналізу; 5. ArcGIS GeoEvent Server – інтегрування потоків даних подій реального часу.	геокодування, вимірювання областей.	складання мозаїк, інтерполювання поверхонь, радіолокаційного аналізу; 3. IMAGINE Professional – інструмент комплексного гіперспектрального аналізу зображень, розширені інструменти щодо класифікації, а також унікальні засоби графічного моделювання просторових даних.
Мова програмування	C++, Python, R	C++, Python, R, Java, C#	C++	C++, C
Переклад мов	48	11	45	7

## РОЗДІЛ 2. МЕТОДОЛОГІЯ ПРОВЕДЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ ГІС

### 2.1 Збір та підготовка екологічних даних для аналізу в ГІС

Ефективність використання ГІС в екологічних дослідженнях значною мірою залежить від якості та повноти вихідних даних. Процес збору та підготовки екологічних даних для аналізу в ГІС включає декілька етапів, кожен з яких має свої особливості та вимоги [9].

Перший етап - визначення потреб у даних відповідно до цілей та завдань екологічного дослідження. Необхідно чітко окреслити, які саме параметри навколишнього середовища потрібно дослідити, на якій території, з якою детальністю та часовим охопленням. Від цього залежатиме вибір методів збору даних, їх масштаб та формат.

Наступний крок - інвентаризація та оцінка доступних джерел екологічних даних. Це можуть бути як первинні дані, отримані безпосередньо в польових умовах, так і вторинні дані з існуючих баз даних, звітів, карт, даних дистанційного зондування. Важливо оцінити якість, актуальність, повноту та сумісність даних з різних джерел.

Польові дослідження є важливим методом збору первинних екологічних даних. Вони можуть включати проведення вимірювань та спостережень за станом атмосферного повітря, водних об'єктів, ґрунтового покриву, біорізноманіття безпосередньо на місцевості. Польові дані мають високу точність та детальність, проте їх збір потребує значних затрат часу та ресурсів [20].

Для збору польових даних використовуються різноманітні методи та обладнання. Це можуть бути портативні вимірювальні прилади (газоаналізатори, рН-метри, шумоміри тощо), які дозволяють отримувати кількісні показники стану довкілля. Також широко використовуються методи біоіндикації, які базуються на оцінці видового складу та стану індикаторних груп організмів.

Важливим аспектом польових досліджень є просторова прив'язка даних. Для цього використовуються GPS-приймачі, які дозволяють визначати географічні координати точок відбору проб та спостережень. Просторова прив'язка є необхідною умовою для подальшої інтеграції даних в ГІС та їх коректного аналізу.

Дистанційні методи збору екологічних даних базуються на використанні даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). Супутникові знімки та дані аерофотозйомки дозволяють отримувати інформацію про стан земної поверхні, рослинного покриву, водних об'єктів на великих територіях з різною просторовою та часовою роздільною здатністю [36].

Вибір типу даних ДЗЗ залежить від цілей дослідження та характеристик досліджуваної території. Для аналізу рослинного покриву часто використовуються мультиспектральні знімки, які дозволяють розраховувати індекси вегетації (NDVI, EVI тощо). Для дослідження водних об'єктів застосовуються радіолокаційні знімки, які дають інформацію про рівень води, наявність забруднень на поверхні.

Важливим етапом підготовки даних ДЗЗ є їх попередня обробка. Вона включає геометричну корекцію знімків, радіометричну калібрацію, атмосферну корекцію. Ці процедури дозволяють усунути спотворення знімків, пов'язані з особливостями зйомки та впливом атмосфери, і привести дані до єдиної системи координат та одиниць вимірювання.

Важливим джерелом екологічних даних є також існуючі бази даних та геопортали. Вони можуть містити різноманітну інформацію про стан довкілля, природні ресурси, об'єкти природно-заповідного фонду, результати попередніх екологічних досліджень. Прикладами таких ресурсів є База даних про стан навколишнього середовища України, Екологічний атлас України, European Environment Agency Data and Maps тощо.

При використанні існуючих даних важливо оцінювати їх якість та придатність для цілей дослідження. Необхідно враховувати просторове та часове охоплення даних, методи їх збору та обробки, наявність метаданих. У деяких

випадках може знадобитися додаткова обробка та гармонізація даних для приведення їх до єдиного формату та системи координат [29].

Окремим етапом підготовки даних є створення та наповнення бази геоданих ГІС. База геоданих - це структурована колекція просторових та атрибутивних даних, організована для ефективного зберігання, управління та аналізу інформації. Вона може включати векторні шари (точки, лінії, полігони), растрові шари (ґриди), таблиці з атрибутивною інформацією.

При створенні бази геоданих важливо розробити її структуру та схему відповідно до потреб дослідження. Необхідно визначити перелік тематичних шарів, атрибутивних полів, встановити зв'язки між таблицями. Доцільно використовувати стандартизовані класифікатори та кодування об'єктів для забезпечення узгодженості та сумісності даних.

Наповнення бази геоданих здійснюється шляхом імпорту існуючих даних з різних джерел та форматів (шейп-файли, геобазы, текстові файли, растрові зображення тощо). При цьому важливо забезпечити топологічну узгодженість даних, відсутність накладань та розривів між об'єктами. Для цього використовуються інструменти геообробки та топологічного контролю якості даних.

Окремої уваги потребує питання метаданих - інформації, яка описує структуру, зміст, якість, походження та інші характеристики просторових даних. Метадані дозволяють ефективно керувати та використовувати дані, оцінювати їх придатність для конкретних завдань. При створенні бази геоданих важливо заповнювати метадані відповідно до стандартів (наприклад, ISO 19115) та галузевих вимог [27].

Важливим аспектом підготовки екологічних даних є забезпечення їх якості. Це передбачає перевірку даних на наявність помилок, пропусків, викидів, оцінку їх точності та достовірності. Для цього використовуються статистичні методи, просторовий аналіз, порівняння з даними з інших джерел. Виявлені помилки та недоліки мають бути усунені або задокументовані в метаданих.

Окрему увагу слід приділити питанням стандартизації та уніфікації екологічних даних. Використання єдиних систем класифікації, кодування, одиниць вимірювання дозволяє забезпечити сумісність та порівнянність даних з різних джерел. Важливо дотримуватись галузевих та міжнародних стандартів в сфері екологічної інформації (наприклад, стандарти ISO серії 19100, директиви INSPIRE тощо).

У процесі підготовки даних для ГІС-аналізу часто виникає потреба у перетворенні даних з одного формату в інший, зміні просторової роздільної здатності, проєкції тощо. Для цього використовуються інструменти конвертації даних, ресемплінгу, трансформації координат, які наявні в більшості ГІС-пакетів. Важливо зберігати інформацію про виконані перетворення в метаданих для забезпечення відтворюваності результатів [32].

При роботі з екологічними даними важливо враховувати часовий аспект. Багато екологічних процесів та явищ мають динамічний характер, тому для їх дослідження необхідні дані за різні проміжки часу. Це можуть бути як дані регулярних спостережень (щоденні, щомісячні, щорічні), так і дані, отримані в рамках спеціальних кампаній моніторингу. При підготовці часових рядів даних важливо забезпечити їх узгодженість, відсутність пропусків та аномальних значень.

Особливу увагу слід приділяти питанням інтеграції даних з різних джерел. Екологічні дослідження часто потребують комплексного аналізу даних про стан різних компонентів довкілля, факторів впливу, соціально-економічних показників тощо. Інтеграція таких різномірних даних в єдиній ГІС може бути складним завданням, яке потребує розробки спеціальних моделей даних, ідентифікаторів зв'язків між об'єктами, узгодження форматів та класифікацій.

При зборі та підготовці екологічних даних важливо враховувати питання конфіденційності та безпеки інформації. Деякі дані можуть містити чутливу інформацію про об'єкти критичної інфраструктури, зони екологічних ризиків, рідкісні види тощо. Важливо забезпечити захист таких даних від

несанкціонованого доступу, використовувати механізми розмежування прав доступу, шифрування даних при їх передачі та зберіганні [28].

Окремим питанням є документування процесу збору та підготовки екологічних даних. Важливо фіксувати інформацію про використані методики, прилади, виконавців робіт, дату та час збору даних. Ця інформація є важливою для забезпечення достовірності та відтворюваності результатів дослідження, а також для можливості повторного використання даних в майбутньому.

Підготовлені та перевірені екологічні дані мають бути завантажені в базу геоданих ГІС та задокументовані відповідно до стандартів метаданих. Доцільно створювати резервні копії даних та забезпечувати їх довготривале зберігання в структурованому вигляді. Це дозволить ефективно використовувати дані в подальших дослідженнях, обмінюватися ними з колегами та організаціями.

Таким чином, збір та підготовка екологічних даних для аналізу в ГІС є важливим та трудомістким етапом, який значною мірою визначає якість та достовірність кінцевих результатів дослідження. Він потребує ретельного планування, вибору оптимальних методів та інструментів, дотримання стандартів та процедур контролю якості даних. Правильно організований процес збору та підготовки даних дозволяє максимально ефективно використовувати можливості ГІС для вирішення екологічних задач та підтримки прийняття управлінських рішень [33].

## **2.2 Методи просторового аналізу та моделювання екологічних процесів засобами ГІС**

Геоінформаційні системи надають широкий спектр інструментів для просторового аналізу та моделювання екологічних процесів. Ці методи дозволяють досліджувати закономірності розподілу екологічних параметрів у просторі, виявляти зв'язки між різними факторами, прогнозувати розвиток екологічної ситуації.

Одним з базових методів просторового аналізу в ГІС є оверлейний аналіз. Він полягає в накладанні двох або більше тематичних шарів та поєднанні їх атрибутивних даних за певними правилами. Це дозволяє виявляти просторові взаємозв'язки між різними екологічними параметрами, наприклад, між типом землекористування та рівнем забруднення ґрунтів, між розташуванням джерел викидів та зонами перевищення гранично допустимих концентрацій забруднюючих речовин в атмосферному повітрі тощо [15].

Для виконання оверлейного аналізу використовуються різні методики, зокрема:

- Булеві операції (І, АБО, НЕ) - дозволяють виконувати логічні операції над бінарними растрами або векторними шарами, виділяючи області, що відповідають певним критеріям.
- Зважене накладання - кожному тематичному шару присвоюється ваговий коефіцієнт, що відображає його відносну важливість. При накладанні шарів значення комірок растрів або атрибутів векторних об'єктів множаться на відповідні вагові коефіцієнти та підсумовуються.
- Комбінування атрибутів - при накладанні векторних шарів атрибути об'єктів, що перекриваються, об'єднуються в одну таблицю, що дозволяє проводити їх спільний аналіз [10].

Іншим важливим методом просторового аналізу є аналіз відстаней та буферних зон. Він дозволяє досліджувати просторові взаємозв'язки між об'єктами на основі їх взаємного розташування та віддаленості. Наприклад, можна виділити зони потенційного впливу точкових джерел забруднення на певній відстані від них, або оцінити доступність населення до об'єктів природно-заповідного фонду в межах певного радіусу.

Для аналізу відстаней використовуються такі методики:

1. Евклідова відстань - розраховується відстань по прямій лінії між двома точками у просторі.
2. Відстань за мережею - враховує топологію мережі (наприклад, вулично-дорожньої мережі або гідрографічної мережі) при розрахунку відстаней.

3. Відстань з урахуванням бар'єрів - дозволяє враховувати наявність перешкод (наприклад, водойм, забудови) при розрахунку відстаней.

Для створення буферних зон використовуються інструменти побудови буферів фіксованої ширини або змінної ширини (наприклад, залежно від значень атрибутів об'єктів).

Важливим напрямком просторового аналізу в екологічних дослідженнях є аналіз рельєфу та похідних від нього характеристик. Цифрові моделі рельєфу (ЦМР) дозволяють досліджувати такі параметри, як висота, ухил, експозиція, кривизна поверхні, що впливають на перерозподіл сонячної радіації, вологи, забруднюючих речовин тощо.

Для аналізу рельєфу використовуються такі методики:

1. Розрахунок ухилів - визначення величини та напрямку максимальної зміни висоти між сусідніми комірками растру ЦМР.
2. Розрахунок експозиції - визначення напрямку максимального ухилу відносно сторін світу.
3. Розрахунок кривизни - характеризує опуклість або увігнутість поверхні, що впливає на перерозподіл стоку та накопичення вологи.
4. Виділення форм рельєфу - класифікація поверхні на опуклі, увігнуті та планарні ділянки на основі значень ухилу та кривизни.
5. Розрахунок зон видимості/невидимості - дозволяє визначити області, видимі або невидимі з певної точки або множини точок з урахуванням рельєфу.

Аналіз рельєфу дозволяє виявляти зони потенційної ерозії ґрунтів, акумуляції забруднюючих речовин, оцінювати ризики розвитку небезпечних геоморфологічних процесів тощо [24].

Для дослідження просторово-часової динаміки екологічних процесів використовуються методи аналізу часових рядів даних. Вони дозволяють виявляти тренди, сезонні коливання, аномальні значення екологічних параметрів у часі.

Для аналізу часових рядів використовуються такі методики:

1. Розрахунок базових статистик (середнє, медіана, стандартне відхилення) для кожного часового зрізу.
2. Виявлення трендів за допомогою регресійного аналізу, згладжування часових рядів.
3. Аналіз сезонності - виявлення регулярних сезонних коливань параметрів за допомогою автокореляційного аналізу, спектрального аналізу.
4. Виявлення аномалій - пошук значень, що істотно відхиляються від середніх або медіанних значень для певного часового проміжку.

Поєднання просторового та часового аналізу дозволяє досліджувати просторово-часові патерни розподілу екологічних параметрів, виявляти "гарячі точки" забруднення, зони стабільності або деградації екосистем тощо.

Потужним інструментом моделювання екологічних процесів в ГІС є методи геостатистики. Вони дозволяють досліджувати просторову неперервність та мінливість екологічних змінних, будувати моделі їх просторового розподілу на основі дискретних точкових вимірювань.

Основними методами геостатистики є:

1. Варіограмний аналіз - дослідження просторової залежності між значеннями змінної в різних точках простору. Будується емпірична варіограма, яка відображає зміну дисперсії значень змінної залежно від відстані між точками.
2. Кригінг - група геостатистичних методів інтерполяції, які дозволяють розраховувати значення змінної в будь-якій точці простору з урахуванням просторової структури даних, описаної варіограмою. Розрізняють різні види кригінгу (простий, ординарний, універсальний, індикаторний тощо), які враховують тренди в даних, наявність анізотропії тощо.
3. Стохастичне моделювання - методи генерації множини рівномірних просторових розподілів змінної, які відтворюють її статистичні та просторові характеристики. Прикладами є послідовне гаусівське моделювання, індикаторне моделювання тощо [4].

Геостатистичні методи широко застосовуються для картографування забруднення компонентів довкілля, оцінки запасів природних ресурсів, аналізу просторової мінливості ґрунтових та гідрогеологічних параметрів тощо.

Для моделювання динаміки екологічних процесів, які мають просторову складову, використовуються методи просторово-часового моделювання. Вони дозволяють досліджувати зміни екологічних параметрів у часі з урахуванням їх просторового розподілу та взаємодії.

Прикладами таких методів є:

1. Клітинні автомати - дискретні динамічні моделі, в яких простір розбивається на комірки, стан яких змінюється в часі за певними правилами з урахуванням стану сусідніх комірок. Застосовуються для моделювання процесів землекористування, поширення забруднень, динаміки популяцій тощо.
2. Агентне моделювання - підхід, який розглядає систему як сукупність автономних агентів, що взаємодіють між собою та з навколишнім середовищем. Кожен агент має свою поведінку та може приймати рішення на основі локальної інформації. Застосовується для моделювання екологічних та соціально-екологічних систем.
3. Системна динаміка - метод моделювання складних систем з зворотними зв'язками, який враховує накопичення та перерозподіл потоків речовини та енергії між компонентами системи. Застосовується для дослідження еколого-економічних систем, управління водними та земельними ресурсами тощо [25].

Застосування просторово-часових моделей дозволяє досліджувати можливі сценарії розвитку екологічної ситуації, оцінювати ефективність природоохоронних заходів, прогнозувати наслідки антропогенних впливів на довкілля.

Окремим напрямком моделювання екологічних процесів є застосування методів машинного навчання та штучного інтелекту. Вони дозволяють виявляти складні нелінійні залежності між екологічними параметрами, будувати прогнозні моделі на основі великих обсягів геопросторових даних.

Прикладами застосування методів машинного навчання в екологічному моделюванні є:

1. Класифікація земного покриття та типів землекористування на основі даних дистанційного зондування з використанням методів контрольованої та неконтрольованої класифікації, дерев рішень, штучних нейронних мереж тощо.
2. Прогнозування концентрацій забруднюючих речовин в атмосферному повітрі, поверхневих водах на основі методів регресійного аналізу, випадкових лісів, градієнтного бустингу тощо.
3. Моделювання розподілу видів рослин і тварин, оцінка їх потенційних ареалів на основі методів максимальної ентропії, генетичних алгоритмів тощо.
4. Виявлення аномалій та нетипових об'єктів на екологічних картах за допомогою методів кластерного аналізу, локально-чутливих геш-функцій тощо [26].

Застосування методів машинного навчання потребує наявності репрезентативних навчальних вибірок, коректного вибору ознак та алгоритмів, перевірки точності моделей на незалежних тестових даних.

Важливим аспектом застосування методів просторового аналізу та моделювання в ГІС є оцінка невизначеності та чутливості результатів. Екологічні дані часто характеризуються неповнотою, неточністю, просторовою та часовою мінливістю. Тому важливо враховувати ці фактори при інтерпретації результатів моделювання та прийнятті рішень.

Для оцінки невизначеності результатів застосовуються методи геостатистичного моделювання, стохастичного моделювання, аналізу чутливості. Вони дозволяють оцінити діапазон можливих значень екологічних параметрів, ідентифікувати фактори, що найбільше впливають на результати моделювання, визначити довірчі інтервали для прогнозних оцінок тощо.

Таким чином, сучасні ГІС надають широкий арсенал методів просторового аналізу та моделювання екологічних процесів. Вони дозволяють досліджувати закономірності розподілу екологічних параметрів у просторі та часі, виявляти

взаємозв'язки між різними факторами, прогнозувати розвиток екологічної ситуації. Вибір конкретних методів залежить від характеру екологічної проблеми, доступних даних, цілей дослідження. Важливо враховувати невизначеність та чутливість результатів моделювання, використовувати кількісні методи оцінки їх надійності. Ефективне застосування методів просторового аналізу та моделювання в ГІС потребує глибокого розуміння екологічних процесів, коректної формалізації задач, використання якісних даних та обґрунтованої інтерпретації отриманих результатів [35].

Серед методів просторового аналізу в ГІС важливе місце займають також методи дослідження просторових патернів та відношень. Вони дозволяють виявляти закономірності розміщення об'єктів у просторі, оцінювати їх взаємний вплив, ідентифікувати просторові кластери та викиди.

Для аналізу просторових патернів точкових об'єктів застосовуються методи аналізу щільності, такі як:

- Ядерна оцінка щільності (Kernel Density Estimation) - дозволяє розрахувати щільність точкових об'єктів у кожній комірці растру з урахуванням відстані до сусідніх точок та форми ядра.
- Аналіз щільності точок (Point Density) - розраховує кількість точкових об'єктів в межах заданого радіусу пошуку навколо кожної комірки растру.

Ці методи дозволяють виявляти зони концентрації точкових об'єктів, наприклад, вогнищ забруднення, осередків захворюваності, місць скупчення рідкісних видів тощо.

Для аналізу просторових відношень між об'єктами використовуються методи оцінки просторової автокореляції та кластеризації. Вони дозволяють визначити, чи є просторовий розподіл значень певного параметра випадковим, рівномірним або кластеризованим.

Прикладами таких методів є:

- Індекс Морана (Moran's I) - вимірює ступінь просторової автокореляції між значеннями параметра у сусідніх об'єктах. Дозволяє виявляти наявність просторових кластерів об'єктів з подібними значеннями.

- Локальні індикатори просторової асоціації (LISA) - дозволяють ідентифікувати локальні просторові кластери та викиди, тобто об'єкти, значення параметрів яких істотно відрізняються від сусідніх.
- Аналіз гарячих точок (Hot Spot Analysis) - виявляє статистично значущі просторові кластери високих або низьких значень параметра з урахуванням просторової залежності між об'єктами.

Застосування цих методів дозволяє виявляти просторові закономірності розподілу екологічних параметрів, ідентифікувати зони екологічного ризику або сприятливі для розвитку певних процесів [4].

Важливим напрямком застосування ГІС в екологічних дослідженнях є також аналіз ландшафтної зв'язності та фрагментації. Він дозволяє оцінювати ступінь зв'язності природних екосистем, виявляти бар'єри та коридори для міграції видів, планувати створення екологічної мережі.

Для аналізу ландшафтної зв'язності використовуються такі методи:

1. Аналіз найменшого шляху (Least-Cost Path Analysis) - дозволяє знаходити оптимальні маршрути міграції видів між ділянками природних оселищ з урахуванням матриці опору ландшафту.
2. Розрахунок індексів зв'язності (Connectivity Indices) - кількісно оцінюють ступінь зв'язності ландшафту на основі конфігурації та розмірів природних оселищ, їх взаємного розташування.
3. Виявлення розривів та бар'єрів (Gap Analysis) - ідентифікує ділянки, де зв'язність природних екосистем порушена внаслідок антропогенних перешкод (доріг, забудови тощо).

Результати аналізу ландшафтної зв'язності можуть використовуватися для обґрунтування природоохоронних заходів, оптимізації розміщення об'єктів інфраструктури з метою мінімізації їх впливу на природні екосистеми.

Окремим перспективним напрямком застосування ГІС в екологічних дослідженнях є інтеграція з даними глобальних навігаційних супутникових систем (GNSS), такими як GPS, ГЛОНАСС, Galileo. Ці дані дозволяють з

високою точністю визначати просторові координати об'єктів, відслідковувати переміщення тварин, транспортних засобів, людей в режимі реального часу.

Інтеграція GNSS-даних з ГІС відкриває нові можливості для:

1. Картографування місць поширення та міграційних шляхів диких тварин шляхом відстеження переміщень особин, обладнаних GPS-передавачами.
2. Моніторингу пересувних джерел забруднення атмосферного повітря (транспортних засобів) для оцінки їх внеску в загальний рівень забруднення.
3. Відстеження переміщення людей в межах природоохоронних територій для оцінки рекреаційного навантаження та попередження порушень природоохоронного режиму.
4. Геопросторового аналізу даних про поширення інвазійних видів рослин і тварин, отриманих за допомогою мобільних додатків для краудсорсингового збору даних [34].

Поєднання даних GNSS з іншими методами просторового аналізу та моделювання в ГІС дозволяє отримувати більш повну та детальну інформацію про екологічні процеси та об'єкти, що сприяє прийняттю більш обґрунтованих управлінських рішень.

Таким чином, сучасні методи просторового аналізу та моделювання в ГІС надають широкі можливості для дослідження екологічних процесів та явищ. Вони дозволяють виявляти просторові закономірності та взаємозв'язки, моделювати динаміку екосистем, оцінювати ландшафтну зв'язність та фрагментацію, аналізувати дані GNSS спостережень. Вибір конкретних методів залежить від специфіки досліджуваної проблеми, наявних даних та поставлених завдань. Ефективне застосування цих методів потребує комплексного підходу, який поєднує знання в галузі екології, геоінформатики, статистики та інших суміжних дисциплін. Це дозволяє отримувати нові знання про закономірності функціонування екосистем, прогнозувати їх стан та приймати науково обґрунтовані рішення в галузі охорони довкілля та збалансованого природокористування [23].

## 2.3 Візуалізація та інтерпретація результатів екологічних досліджень в ГІС

Візуалізація та інтерпретація результатів є невід'ємними складовими процесу екологічних досліджень з використанням геоінформаційних систем. Вони дозволяють представити отримані дані та результати аналізу у зручній для сприйняття формі, виявити просторові закономірності та взаємозв'язки, забезпечити ефективну комунікацію з різними групами користувачів.

Картографічна візуалізація є одним з основних методів представлення результатів екологічних досліджень в ГІС. Вона дозволяє відобразити просторовий розподіл екологічних параметрів, виявити зони з підвищеним рівнем забруднення чи деградації екосистем, показати динаміку екологічних процесів у часі.

При створенні картографічних моделей в ГІС використовуються різні методи картографічного зображення, такі як:

1. Спосіб значків - для відображення дискретних об'єктів з якісними характеристиками (наприклад, типів джерел забруднення).
2. Спосіб ліній - для зображення лінійних об'єктів, таких як річкова мережа, транспортні комунікації.
3. Спосіб ізоліній - для показу безперервних поверхонь з плавною зміною значень (наприклад, концентрації забруднюючих речовин в атмосферному повітрі).
4. Спосіб якісного фону - для відображення просторових зон з однорідними якісними характеристиками (наприклад, типів землекористування).
5. Спосіб кількісного фону - для показу територіального розподілу кількісних показників (наприклад, щільності викидів забруднюючих речовин) [31].

Вибір способу картографічного зображення залежить від типу та характеру екологічних даних, цілей дослідження та цільової аудиторії.

Важливим аспектом картографічної візуалізації в ГІС є вибір системи умовних знаків та кольорової шкали. Умовні знаки повинні бути інтуїтивно зрозумілими, легко розрізнятися та відповідати загальноприйнятим стандартам.

Кольорова шкала має забезпечувати наочне відображення градацій значень екологічних параметрів, бути контрастною та враховувати особливості сприйняття кольорів людиною.

Для ефективної візуалізації результатів екологічних досліджень в ГІС часто використовуються методи генералізації та картографічної абстракції. Вони дозволяють спростити та узагальнити складні набори геопросторових даних, виділити головні риси та закономірності, зробити карту більш читабельною та зрозумілою.

Прикладами методів генералізації є:

1. Спрощення геометрії об'єктів - зменшення деталізації контурів полігонів, згладжування ліній.
2. Агрегація об'єктів - об'єднання дрібних об'єктів у більші за певними правилами.
3. Вибірка об'єктів - видалення несуттєвих об'єктів відповідно до масштабу карти та її призначення.
4. Класифікація та групування об'єктів - розподіл об'єктів на класи за певними ознаками та відображення узагальнених характеристик класів.

Застосування методів генералізації дозволяє адаптувати картографічне зображення до масштабу та призначення карти, підвищити її інформативність та виразність.

Поряд з картографічною візуалізацією важливу роль в представленні результатів екологічних досліджень відіграють також інші види геовізуалізації, такі як 3D-моделі, анімації, інтерактивні карти.

Тривимірні моделі дозволяють відобразити рельєф місцевості, висотні об'єкти, створити реалістичні зображення ландшафтів. Вони можуть використовуватися для візуалізації зон забруднення атмосферного повітря з урахуванням рельєфу, моделювання розповсюдження шумового забруднення в міській забудові, оцінки візуальних впливів на ландшафт при розміщенні техногенних об'єктів.

Анімації та динамічні карти дозволяють показати зміни екологічних параметрів у часі, відобразити динаміку процесів забруднення, розвитку екологічних ситуацій. Вони є ефективним інструментом для представлення результатів моделювання та прогнозування екологічних процесів.

Інтерактивні карти надають користувачам можливість взаємодіяти з картографічним зображенням, змінювати масштаб та охоплення території, отримувати додаткову інформацію про об'єкти через інформаційні вікна або підказки. Вони дозволяють створювати персоналізовані картографічні представлення, адаптовані до потреб конкретних користувачів.

Важливим напрямком розвитку геовізуалізації в екологічних дослідженнях є створення картографічних веб-сервісів та геопорталів. Вони забезпечують доступ до екологічної інформації та інструментів її аналізу через мережу Інтернет, дозволяють інтегрувати дані з різних джерел, організовувати обмін та спільне використання геопросторових ресурсів.

Геопортали можуть включати інтерактивні карти з можливістю вибору тематичних шарів, пошуку об'єктів, отримання атрибутивної інформації. Вони також можуть надавати доступ до аналітичних інструментів, сервісів геообробки, даних дистанційного зондування [4].

Прикладами екологічних геопорталів є:

- Європейський портал водних ресурсів WISE, який надає доступ до даних про стан водних об'єктів, джерела забруднення, зони ризику повеней тощо.
- Портал даних про якість атмосферного повітря AirQualityPortal, який дозволяє переглядати та аналізувати дані моніторингу забруднення повітря в режимі реального часу.
- Глобальний портал даних про біорізноманіття GBIF, який надає доступ до інформації про розповсюдження видів рослин і тварин, їх таксономію, екологію.

Для ефективної інтерпретації результатів екологічних досліджень в ГІС важливо також використовувати методи статистичної та геостатистичної

візуалізації. Вони дозволяють дослідити розподіл екологічних параметрів, виявити викиди та аномалії, оцінити невизначеність результатів моделювання.

Серед методів статистичної візуалізації в ГІС використовуються:

1. Гістограми - для відображення розподілу значень екологічного параметра та виявлення домінуючих градацій.
2. Діаграми розмаху (боксплоти) - для показу медіани, кuartилів, мінімальних та максимальних значень, викидів.
3. Діаграми розсіювання - для дослідження залежності між двома екологічними параметрами.

Геостатистичні методи візуалізації, такі як варіограми, карти інтерполяційних поверхонь, карти ймовірності перевищення порогових значень, дозволяють дослідити просторову неперервність та мінливість екологічних даних, оцінити якість інтерполяційних моделей [17].

Для підвищення інформативності та виразності візуалізації результатів екологічних досліджень в ГІС доцільно також використовувати додаткові графічні елементи, такі як діаграми, графіки, таблиці, фотографії. Вони можуть бути розміщені в легенді карти, в окремих інформаційних вікнах або в звітах.

При створенні картографічних композицій важливо дотримуватись принципів інформаційного дизайну та ергономіки. Розміщення карт, легенд, додаткових графічних елементів має бути збалансованим, забезпечувати зручність сприйняття та розуміння інформації. Необхідно також враховувати особливості сприйняття кольорів, шрифтів, умовних знаків різними групами користувачів.

Для ефективною комунікації результатів екологічних досліджень важливо створювати адаптовані картографічні представлення для різних цільових аудиторій - науковців, управлінців, громадськості. Вони мають враховувати рівень підготовки користувачів, їх інформаційні потреби, специфіку прийняття рішень.

Інтерпретація результатів екологічних досліджень, представлених засобами ГІС, має супроводжуватись змістовним аналізом виявлених

закономірностей, поясненням причинно-наслідкових зв'язків, оцінкою невизначеності та надійності отриманих даних. Важливо уникати надмірної генералізації висновків, враховувати обмеження використаних методів та моделей.

При інтерпретації результатів екологічних досліджень необхідно також враховувати просторово-часовий контекст. Виявлені закономірності та залежності можуть бути специфічними для певного регіону чи періоду часу і не підлягати прямій екстраполяції на інші території чи часові проміжки.

Для забезпечення відтворюваності та верифікації результатів важливо детально документувати процес створення картографічних моделей, використані методи та параметри аналізу, джерела вихідних даних. Це дозволяє іншим дослідникам повторити аналіз, оцінити його коректність та обґрунтованість висновків.

Таким чином, візуалізація та інтерпретація результатів екологічних досліджень в ГІС є важливими етапами, які дозволяють представити отримані дані та знання у зручній для сприйняття формі, забезпечити їх ефективну комунікацію та використання при прийнятті управлінських рішень. Вони потребують комплексного підходу, який поєднує методи картографії, геоінформатики, статистики, інформаційного дизайну та предметної області дослідження. Ефективна візуалізація та інтерпретація сприяють кращому розумінню екологічних процесів та закономірностей, дозволяють виявити проблемні ситуації та обґрунтувати необхідні природоохоронні заходи [5].

## **РОЗДІЛ 3. ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ ГІС В ЕКОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ НА ПРИКЛАДІ ЗАБРУДНЕНOSTІ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ В МІСТІ КИЇВ**

### **3.1 Опис екологічної проблеми та території дослідження**

Екологічна проблема, яка розглядається в дипломній роботі, стосується забруднення атмосферного повітря в місті Києві. Київ, як столиця України та одне з найбільших міст Європи, зіштовхується зі значними викликами в сфері охорони навколишнього середовища. Згідно з даними Державної служби статистики України, рівень забруднення атмосферного повітря в Києві перевищує гранично допустимі концентрації (ГДК) за деякими показниками, такими як діоксид азоту, формальдегід тощо.

Основними джерелами забруднення атмосферного повітря в Києві є автомобільний транспорт, промислові підприємства, теплоелектроцентралі (ТЕЦ) та котельні. За даними Головного управління статистики у м. Києві, викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря від стаціонарних джерел у 2020 році становили 26,7 тис. тонн, а від пересувних джерел – 146,2 тис. тонн. Таким чином, автомобільний транспорт є основним забруднювачем атмосферного повітря в місті, на який припадає близько 85% від загального обсягу викидів.

Забруднення атмосферного повітря має значний негативний вплив на здоров'я населення та екосистеми міста. Згідно з дослідженнями Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), забруднення повітря є одним з основних факторів ризику для здоров'я людини та може призводити до респіраторних захворювань, серцево-судинних хвороб, раку легенів тощо. Крім того, забруднення повітря негативно впливає на рослинний і тваринний світ, зокрема на міські зелені насадження, які відіграють важливу роль у поліпшенні якості повітря та створенні комфортного мікроклімату в місті.

Територія дослідження охоплює адміністративні межі міста Києва, яке розташоване на півночі України та є її столицею. Київ займає площу 839 км<sup>2</sup> та має населення близько 3 млн осіб (станом на 2021 рік). Місто розташоване на берегах річки Дніпро та має складний рельєф з численними пагорбами, ярами та балками. Клімат Києва помірно континентальний з теплим літом та помірно холодною зимою.

Для детальнішого аналізу екологічної ситуації в Києві розглянемо дані про викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря від стаціонарних джерел у розрізі адміністративних районів міста (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря від стаціонарних джерел у розрізі адміністративних районів м. Києва у 2019 році

Адміністративний район	Обсяг викидів, тис. т
Голосіївський	1.2
Дарницький	5.3
Деснянський	2.8
Дніпровський	4.7
Оболонський	1.5
Печерський	0.9
Подільський	1.1
Святошинський	2.3
Солом'янський	3.2
Шевченківський	3.7
м. Київ (усього)	26.7

З таблиці 3.1 видно, що найбільші обсяги викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря від стаціонарних джерел спостерігаються в Дарницькому (5,3 тис. т), Дніпровському (4,7 тис. т) та Шевченківському (3,7 тис. т) районах міста. Це пов'язано з тим, що в цих районах розташована значна кількість промислових підприємств, ТЕЦ та котелень. Найменші обсяги викидів

зафіксовані в Печерському (0,9 тис. т), Подільському (1,1 тис. т) та Голосіївському (1,2 тис. т) районах, які мають переважно адміністративно-ділову та житлову забудову.

Окрім стаціонарних джерел забруднення, значний внесок у забруднення атмосферного повітря в Києві роблять пересувні джерела, зокрема автомобільний транспорт. У таблиці 3.2 наведено дані про викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря від автомобільного транспорту в Києві за видами забруднюючих речовин у 2019 році.

Таблиця 3.2

Викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря від автомобільного транспорту в м. Києві за видами забруднюючих речовин у 2019 році

Забруднююча речовина	Обсяг викидів, тис. т
Оксид вуглецю	113.4
Діоксид азоту	18.2
Неметанові леткі органічні сполуки (НМЛОС)	11.8
Сажа	1.5
Діоксид сірки	0.7
Метан	0.6
Усього	146.2

Як видно з таблиці 3.2, основними забруднюючими речовинами, що викидаються в атмосферне повітря від автомобільного транспорту в Києві, є оксид вуглецю (113,4 тис. т), діоксид азоту (18,2 тис. т) та неметанові леткі органічні сполуки (11,8 тис. т). Ці речовини утворюються внаслідок неповного згоряння палива в двигунах внутрішнього згоряння та можуть чинити негативний вплив на здоров'я людини та довкілля [2].

Для оцінки рівня забруднення атмосферного повітря в Києві використовуються гранично допустимі концентрації (ГДК) забруднюючих речовин. ГДК - це максимальна концентрація забруднюючої речовини в атмосферному повітрі, яка не чинить прямого або опосередкованого впливу на

здоров'я людини та стан довкілля. У таблиці 3.3 наведено дані про середньорічні концентрації основних забруднюючих речовин в атмосферному повітрі м. Києва у 2019 році порівняно з відповідними ГДК.

Таблиця 3.3  
Середньорічні концентрації основних забруднюючих речовин в атмосферному повітрі м. Києва у 2019 році порівняно з ГДК

Забруднююча речовина	Середньорічна концентрація, мг/м <sup>3</sup>	ГДК середньодобова, мг/м <sup>3</sup>	Перевищення ГДК, разів
Діоксид азоту	0.063	0.040	1.58
Формальдегід	0.009	0.003	3.00
Пил	0.120	0.150	0.80
Оксид вуглецю	2.000	3.000	0.67
Діоксид сірки	0.018	0.050	0.36

З таблиці 3.3 видно, що середньорічні концентрації діоксиду азоту та формальдегіду в атмосферному повітрі Києва у 2019 році перевищували відповідні ГДК в 1,58 та 3 рази відповідно. Це свідчить про наявність суттєвих проблем із забрудненням атмосферного повітря цими речовинами в місті. Водночас, середньорічні концентрації пилу, оксиду вуглецю та діоксиду сірки не перевищували ГДК.

Для визначення просторового розподілу забруднення атмосферного повітря в Києві можуть використовуватися методи інтерполяції даних моніторингу.

З таблиці 3.1 видно, що найвищі концентрації діоксиду азоту (більше 0,08 мг/м<sup>3</sup>) спостерігаються в центральній частині міста, зокрема в Шевченківському, Печерському та Голосіївському районах. Це може бути пов'язано з високою інтенсивністю автомобільного руху та щільною забудовою в цих районах, що перешкоджає розсіюванню забруднюючих речовин. Найнижчі концентрації

діоксиду азоту (менше 0,04 мг/м<sup>3</sup>) зафіксовані в периферійних районах міста, таких як Дарницький, Деснянський та Оболонський.

Для аналізу динаміки забруднення атмосферного повітря в Києві розглянемо дані про викиди основних забруднюючих речовин в атмосферу від стаціонарних джерел за 2010-2019 роки (табл. 3.4).

Таблиця 3.4

Викиди основних забруднюючих речовин в атмосферне повітря від стаціонарних джерел у м. Києві за 2010-2019 роки, тис. т

Рік	Пил	Діоксид сірки	Оксиди азоту	Оксид вуглецю	НМЛОС	Усього
2010	9.1	38.6	12.3	18.9	4.8	83.7
2011	9.3	43.1	12.8	21.5	4.9	91.6
2012	8.8	41.4	12.1	20.6	4.7	87.6
2013	8.5	39.7	11.8	19.7	4.5	84.2
2014	7.1	29.3	10.2	16.4	4.0	67.0
2015	5.2	20.6	8.7	13.8	3.3	51.6
2016	4.8	18.5	8.2	12.7	3.1	47.3
2017	4.3	16.8	7.6	11.5	2.9	43.1
2018	3.9	15.2	7.1	10.6	2.7	39.5
2019	3.7	14.4	6.8	10.1	2.5	37.5
2020	3.4	13.5	6.5	9.6	2.3	35.3

Аналізуючи дані таблиці 3.4, можна зробити висновок, що протягом 2010-2019 років спостерігалася стійка тенденція до зниження викидів основних забруднюючих речовин в атмосферне повітря Києва від стаціонарних джерел. Зокрема, викиди пилу зменшилися з 9,1 тис. т у 2010 році до 3,4 тис. т у 2019 році, діоксиду сірки - з 38,6 тис. т до 13,5 тис. т, оксидів азоту - з 12,3 тис. т до 6,5 тис. т, оксиду вуглецю - з 18,9 тис. т до 9,6 тис. т, НМЛОС - з 4,8 тис. т до 2,3 тис. т відповідно.

### 3.2 Збір та підготовка геопросторових даних для аналізу екологічної ситуації

Збір та підготовка геопросторових даних є важливим етапом в процесі аналізу екологічної проблеми забруднення атмосферного повітря в Києві із застосуванням ГІС-технологій. Геопросторові дані – це дані, які мають просторову прив'язку до певної території чи об'єкта та можуть бути представлені у вигляді координат, векторних або растрових моделей. Для аналізу забруднення атмосферного повітря в Києві необхідно зібрати та підготувати різні типи геопросторових даних, які дозволять комплексно оцінити екологічну ситуацію в місті [21].

Одним з основних типів геопросторових даних для аналізу забруднення атмосферного повітря є дані про якість повітря. Ці дані можуть бути отримані з різних джерел, таких як стаціонарні пости спостереження за забрудненням атмосферного повітря, мобільні лабораторії, дані дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) тощо. В Києві функціонує мережа з 16 стаціонарних постів спостереження, які здійснюють регулярний моніторинг концентрацій основних забруднюючих речовин в атмосферному повітрі, таких як діоксид сірки, діоксид азоту, оксид вуглецю, пил тощо. Дані з цих постів можуть бути отримані в Центральній геофізичній обсерваторії імені Бориса Срезневського, яка відповідає за моніторинг забруднення атмосферного повітря в Києві. У таблиці 3.5 наведено перелік стаціонарних постів спостереження за забрудненням атмосферного повітря в Києві та їх географічні координати.

Таблиця 3.5

Стаціонарні пости спостереження за забрудненням атмосферного повітря  
в м. Києві

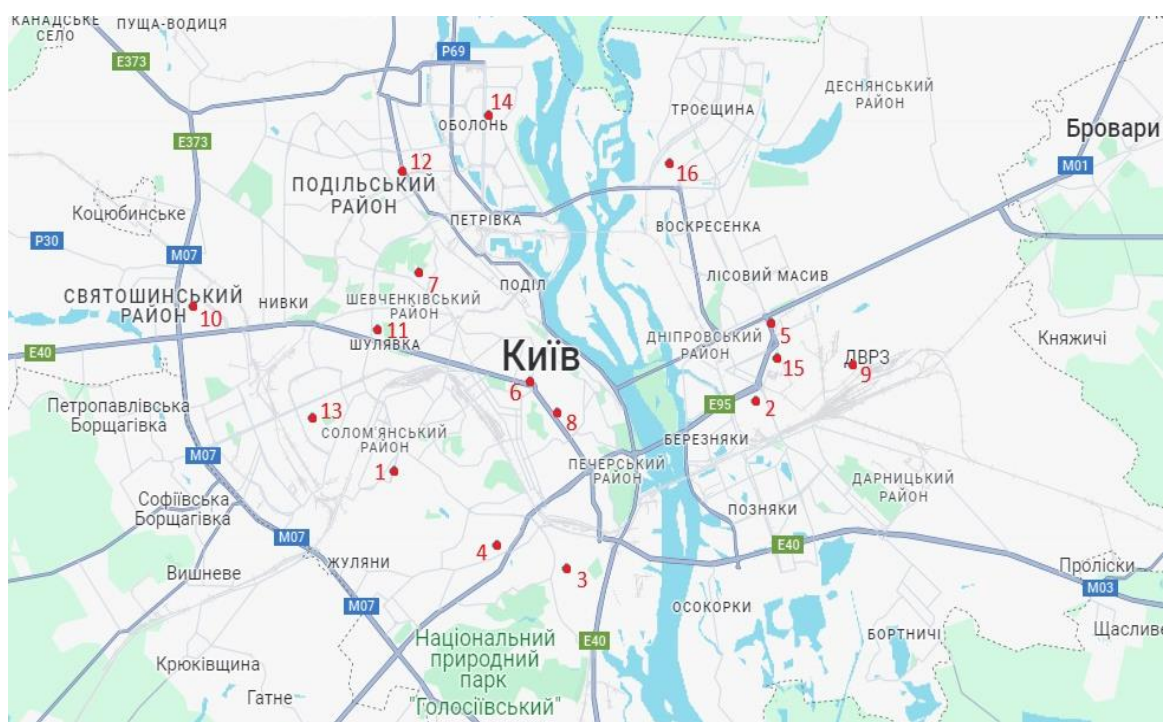
№ поста	Адреса	Широта	Довгота
1	вул. Народного ополчення, 6	50.422064	30.545767
2	вул. Каунаська, 2	50.449969	30.598369
3	пр-т Науки, 37	50.383885	30.546824

4	вул. Деміївська, 45	50.397889	30.516861
5	вул. Попудренка, 50	50.496861	30.593556
6	пл. Бессарабська	50.442194	30.521222
7	вул. Багговутівська, 1	50.457111	30.483778
8	бульв. Лесі Українки, 5	50.436417	30.531528
9	вул. Інженера Бородіна, 5	50.407917	30.616667
10	бульв. Вернадського, 79	50.381389	30.478611
11	вул. Олександра Довженка, 8	50.457500	30.446944
12	вул. Семена Скляренка, 19	50.511944	30.498889
13	вул. Академіка Стражеска, 6	50.414444	30.616944
14	пр-т Оболонський, 28	50.515556	30.498056
15	пров. Карельський, 7	50.522222	30.602222
16	вул. Каштанова, 32	50.358056	30.460833

На малюнку 3.1 схематично зображено розташування стаціонарних постів спостереження за забрудненням атмосферного повітря на основі карт Google Maps.

Малюнок 3.1

### Розташування постів спостереження на карті міста Київ

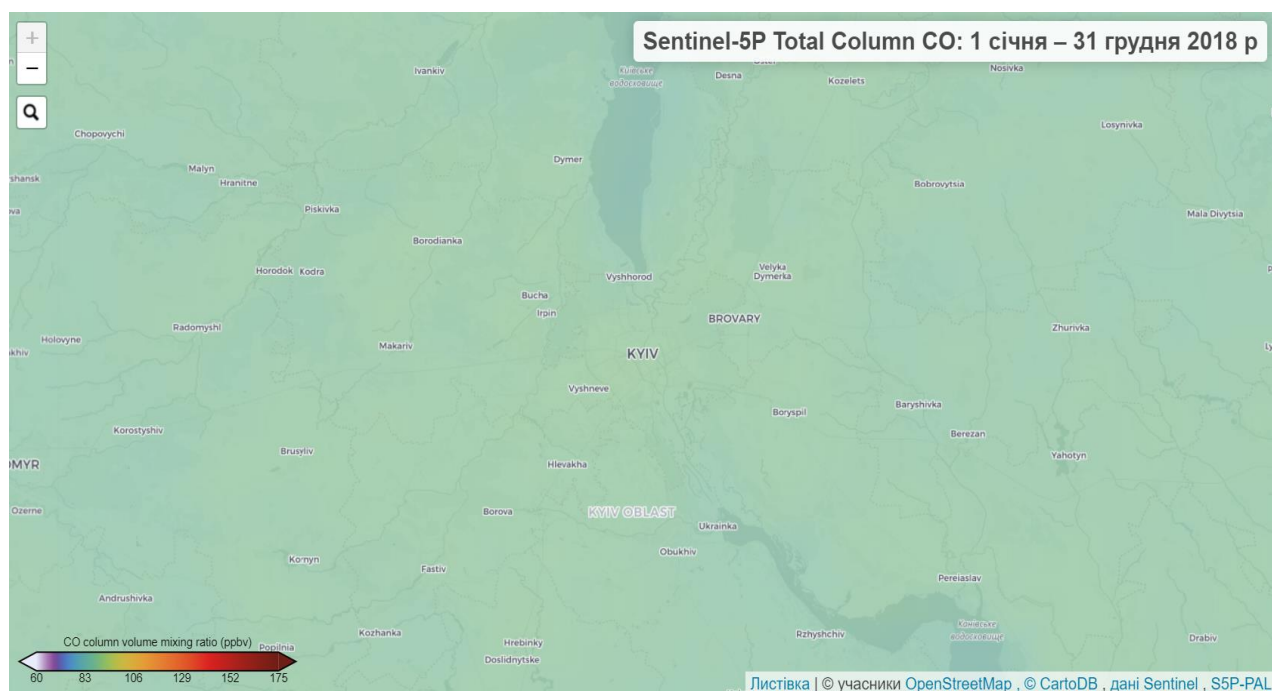


Крім даних з постів спостереження, важливим джерелом інформації про якість атмосферного повітря є дані ДЗЗ. Супутникові знімки дозволяють отримувати інформацію про концентрації деяких забруднюючих речовин, таких як діоксид азоту, аерозолі, формальдегід тощо, з високою просторовою роздільною здатністю. Для аналізу забруднення атмосферного повітря в Києві можуть бути використані дані з таких супутників, як Sentinel-5P, Landsat, MODIS та інших.

На малюнку 3.2, 3.3, 3.4, наведений приклад роботи програмного забезпечення Sentinel-5P та зібраних даних у діапазоні декількох років над Київською областю.

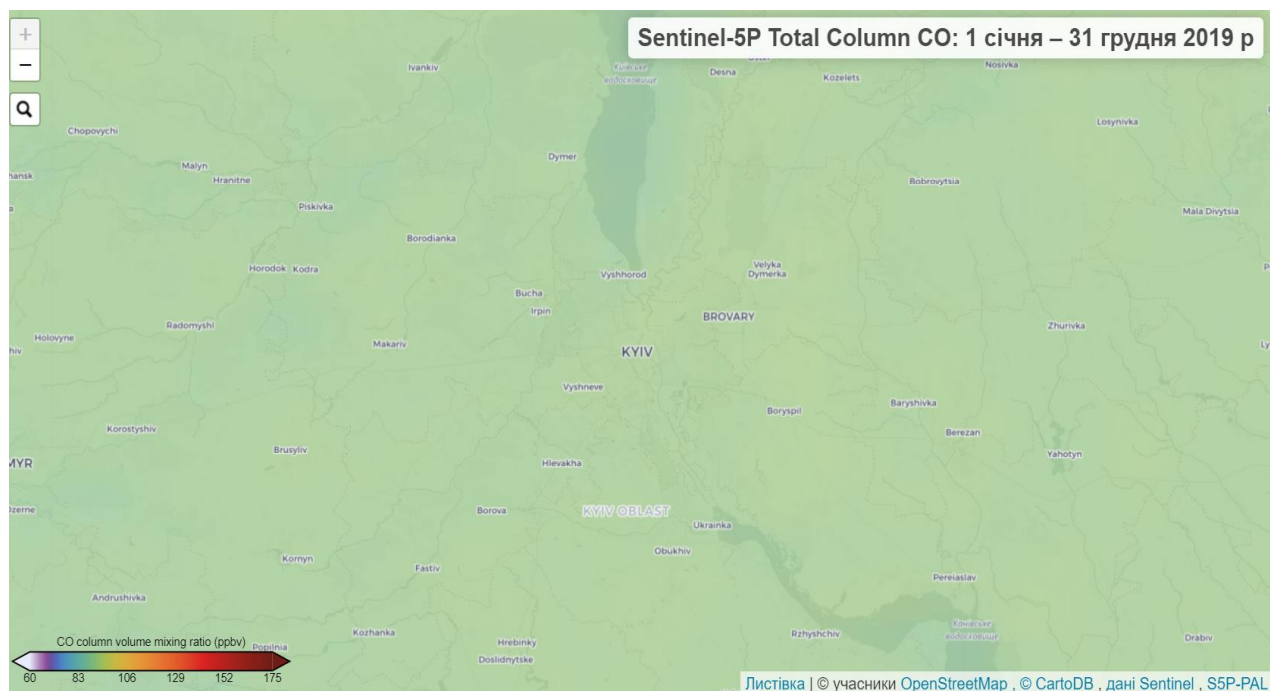
Малюнок 3.2

Викид вуглекислого газу CO в періоді 1 січня – 31 грудня 2018 р.



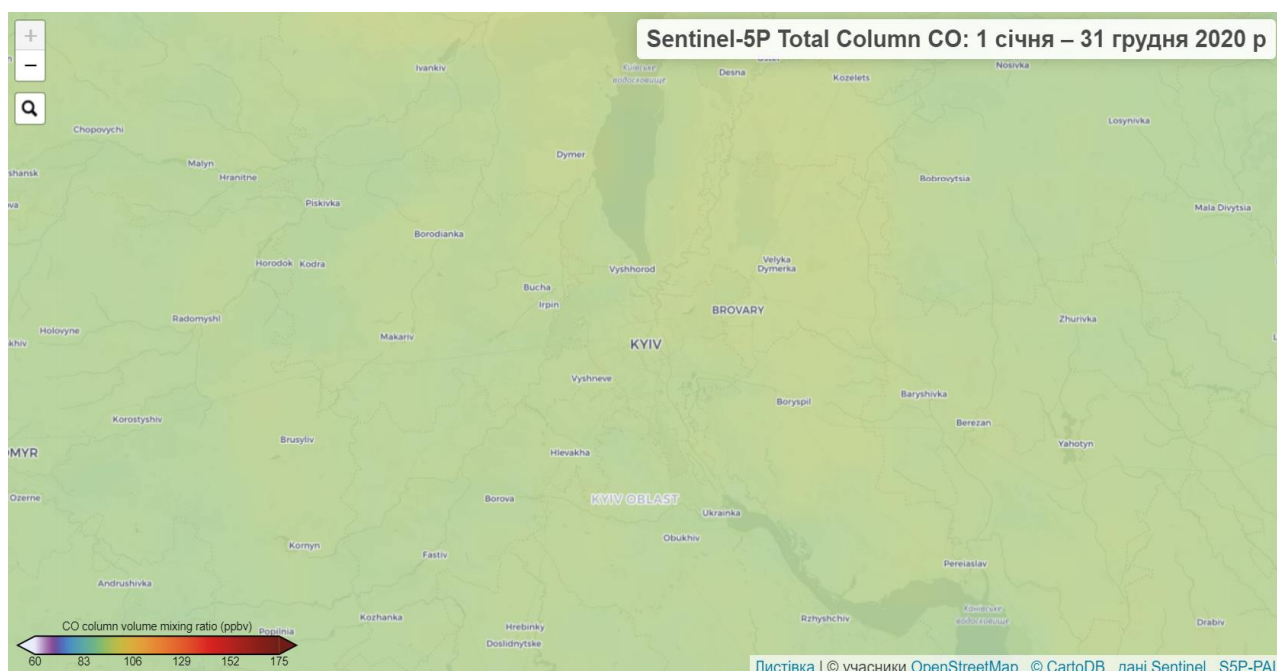
## Малюнок 3.3

Викид вуглекислого газу CO в періоді 1 січня – 31 грудня 2019 р.



## Малюнок 3.3

Викид вуглекислого газу CO в періоді 1 січня – 31 грудня 2020 р.



Для підготовки даних про якість атмосферного повітря для аналізу в ГІС необхідно провести їх попередню обробку та структурування. Дані з постів спостереження та супутникові знімки мають бути приведені до єдиної системи

координат та проєкції, а також конвертовані у формати, сумісні з ГІС-програмами (наприклад, шейп-файли або геотифи). Крім того, може знадобитися проведення додаткової обробки даних, такої як фільтрація шумів, заповнення пропусків, усереднення значень за певний період тощо [10].

Іншим важливим типом геопросторових даних для аналізу забруднення атмосферного повітря є дані про джерела забруднення. До таких джерел належать промислові підприємства, ТЕЦ, котельні, автомобільні дороги тощо. Дані про розташування та характеристики джерел забруднення можуть бути отримані з різних джерел, таких як державні реєстри підприємств-забруднювачів, бази даних про дозволи на викиди, дані про інтенсивність автомобільного руху тощо. Ці дані мають бути геокодовані (прив'язані до координат) та структуровані у вигляді атрибутивних таблиць з інформацією про тип джерела, обсяги викидів, режим роботи тощо. У таблиці 3.6 наведено приклад атрибутивної таблиці з даними про основні підприємства-забруднювачі атмосферного повітря в Києві.

Таблиця 3.6

Дані про основні підприємства-забруднювачі атмосферного повітря в м. Києві

<b>Назва підприємства</b>	<b>Адреса</b>	<b>Широта</b>	<b>Довгота</b>	<b>Викиди, т/рік</b>
ПАТ "Київенерго" СВП "Київські ТЕЦ" ТЕЦ-5	вул. Промислова, 4	50.394444	30.616667	8725.3
ПАТ "Київенерго" СВП "Київські ТЕЦ" ТЕЦ-6	вул. Пухівська, 1А	50.590278	30.635556	4562.8
ПрАТ "Дарницький вагоноремонтний завод"	вул. Алматинська, 71	50.409722	30.651389	1326.5
ПАТ "Київгаз"	вул. Кудрявська, 7	50.460278	30.484722	896.2
КП "Київтеплоенерго"	пл. І. Франка, 5	50.446111	30.516389	781.9

Для комплексного аналізу забруднення атмосферного повітря в Києві також необхідні дані про природні та антропогенні фактори, які впливають на поширення та розсіювання забруднюючих речовин в атмосфері. До таких факторів належать рельєф місцевості, метеорологічні умови (швидкість та напрямок вітру, температура повітря, вологість тощо), наявність зелених насаджень, щільність забудови тощо. Ці дані можуть бути отримані з різних джерел, таких як топографічні карти, цифрові моделі рельєфу (ЦМР), метеорологічні станції, супутникові знімки тощо.

Для підготовки даних про природні та антропогенні фактори для аналізу в ГІС необхідно провести їх геопросторову прив'язку та структурування. Топографічні карти та ЦМР мають бути конвертовані у растрові або векторні формати, сумісні з ГІС-програмами. Метеорологічні дані мають бути приведені до єдиної системи координат та проєкції, а також усереднені за певний період (наприклад, за добу або місяць). Дані про зелені насадження та забудову можуть бути отримані шляхом класифікації супутникових знімків або векторизації карт землекористування.

Важливим аспектом підготовки геопросторових даних для аналізу забруднення атмосферного повітря є забезпечення їх якості та повноти. Дані мають бути перевірені на наявність помилок, пропусків та викидів, а також на відповідність метаданим та стандартам якості. У разі необхідності, дані можуть бути доповнені або уточнені шляхом інтерполяції, екстраполяції або комбінування з іншими джерелами інформації.

Після збору та підготовки геопросторових даних вони можуть бути інтегровані в єдину ГІС-базу даних для подальшого аналізу та моделювання. ГІС-база даних має містити набори даних з єдиною системою координат та проєкцією, а також мати зручну структуру для доступу та управління даними. Для зберігання та управління геопросторовими даними в ГІС можуть використовуватися різні моделі даних, такі як векторна, растрова або об'єктно-реляційна.

Таким чином, збір та підготовка геопросторових даних є важливим етапом в процесі аналізу екологічної проблеми забруднення атмосферного повітря в Києві із застосуванням ГІС-технологій. Цей етап вимагає ретельного планування, вибору відповідних джерел даних, проведення попередньої обробки та структурування даних, а також забезпечення їх якості та повноти. Від якості та повноти зібраних геопросторових даних залежить достовірність та надійність результатів аналізу та моделювання забруднення атмосферного повітря в місті.

### **3.3 Аналіз та моделювання екологічної проблеми з використанням ГІС**

Після збору та підготовки геопросторових даних про забруднення атмосферного повітря в Києві наступним етапом є їх аналіз та моделювання з використанням ГІС-технологій. Застосування ГІС дозволяє виконувати комплексний просторовий аналіз екологічної ситуації в місті, виявляти закономірності та фактори, що впливають на забруднення атмосферного повітря, а також прогнозувати зміни якості повітря під впливом різних сценаріїв.

Одним з основних методів аналізу забруднення атмосферного повітря в ГІС є просторова інтерполяція даних моніторингу. Просторова інтерполяція дозволяє отримати безперервне поле концентрацій забруднюючих речовин на основі дискретних вимірів на постах спостереження. Для просторової інтерполяції даних про забруднення атмосферного повітря в Києві можуть бути використані різні методи, такі як метод зважених відстаней (IDW), крігінг, сплайн-інтерполяція тощо. Вибір методу залежить від характеру вихідних даних, просторового розподілу постів спостереження, а також від цілей дослідження [19].

Окрім просторової інтерполяції, ГІС дозволяють виконувати різноманітні операції просторового аналізу для дослідження факторів, що впливають на забруднення атмосферного повітря. Наприклад, за допомогою оверлейного аналізу можна виявити зв'язки між розташуванням джерел забруднення та зонами з підвищеними концентраціями забруднюючих речовин. Також можна

аналізувати вплив метеорологічних умов на поширення забруднюючих речовин, використовуючи дані про напрямок та швидкість вітру, температуру та вологість повітря тощо.

Важливим напрямком застосування ГІС в аналізі забруднення атмосферного повітря є моделювання дисперсії забруднюючих речовин. Моделі дисперсії дозволяють прогнозувати поширення забруднюючих речовин в атмосфері з урахуванням метеорологічних умов, характеристик джерел забруднення, рельєфу місцевості тощо. Для моделювання дисперсії забруднюючих речовин в Києві можуть бути використані такі моделі, як AERMOD, CALPUFF, ADMS-Urban та інші.

Результати моделювання дисперсії забруднюючих речовин можуть бути використані для оцінки ризиків для здоров'я населення та екосистем, а також для розробки заходів з управління якістю атмосферного повітря. Наприклад, на основі результатів моделювання можна визначити зони з перевищенням гранично допустимих концентрацій забруднюючих речовин та розробити рекомендації щодо зниження викидів від основних джерел забруднення.

Для оцінки ефективності різних сценаріїв управління якістю атмосферного повітря в ГІС можуть бути реалізовані спеціальні інструменти підтримки прийняття рішень. Ці інструменти дозволяють проводити багатокритеріальний аналіз альтернативних варіантів зниження викидів забруднюючих речовин з урахуванням економічних, соціальних та екологічних факторів. Наприклад, за допомогою ГІС-інструментів можна оцінити ефективність впровадження екологічно чистого громадського транспорту, модернізації промислових підприємств, озеленення міських територій тощо.

Важливим аспектом аналізу та моделювання забруднення атмосферного повітря в ГІС є верифікація та валідація отриманих результатів. Верифікація передбачає перевірку коректності вихідних даних, методів аналізу та налаштувань моделей. Валідація полягає в порівнянні результатів моделювання з фактичними даними моніторингу якості атмосферного повітря. Для валідації можуть бути використані статистичні методи, такі як розрахунок коефіцієнтів

кореляції, середньої абсолютної похибки, квадратичного кореня із середньоквадратичної похибки тощо.

В таблиці 3.7 наведено результати валідації моделі AERMOD для прогнозування середньорічних концентрацій діоксиду азоту в атмосферному повітрі Києва за 2020 рік. Для валідації були використані дані з 16 стаціонарних постів спостереження за забрудненням атмосферного повітря. З таблиці видно, що модель демонструє високу точність прогнозування, з коефіцієнтом кореляції 0,87 та середньою абсолютною похибкою 0,008 мг/м<sup>3</sup>.

Таблиця 3.7

Результати валідації моделі AERMOD для прогнозування середньорічних концентрацій діоксиду азоту в атмосферному повітрі м. Києва у 2020 році

Показник	Значення
Коефіцієнт кореляції (R)	0.87
Середня абсолютна похибка (MAE), мг/м <sup>3</sup>	0.008
Квадратичний корінь із середньоквадратичної похибки (RMSE), мг/м <sup>3</sup>	0.011
Відносна похибка (RE), %	12.7

Результати аналізу та моделювання забруднення атмосферного повітря в Києві з використанням ГІС можуть бути представлені у вигляді карт, графіків, таблиць та інших видів візуалізації. Ці результати можуть бути використані для інформування громадськості про стан атмосферного повітря в місті, а також для підтримки прийняття управлінських рішень в сфері охорони атмосферного повітря.

Таким чином, аналіз та моделювання екологічної проблеми забруднення атмосферного повітря в Києві з використанням ГІС є потужним інструментом для комплексної оцінки стану атмосферного повітря, виявлення основних джерел та факторів забруднення, а також для розробки ефективних заходів з управління якістю повітря. Застосування ГІС-технологій дозволяє підвищити обґрунтованість та прозорість процесу прийняття рішень в сфері охорони атмосферного повітря, а також забезпечити ефективне використання ресурсів для досягнення цілей сталого розвитку міста [15].

## **РОЗДІЛ 4. ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ ГІС В ЕКОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ**

### **4.1 Сучасні тенденції розвитку геоінформаційних технологій для вирішення екологічних задач**

Геоінформаційні технології стрімко розвиваються, відкриваючи нові можливості для вирішення екологічних задач. Сучасні тенденції розвитку ГІС спрямовані на підвищення ефективності збору, обробки, аналізу та візуалізації геопросторових даних, забезпечення їх інтероперабельності та доступності для широкого кола користувачів.

Однією з ключових тенденцій є розвиток веб-ГІС та хмарних геоінформаційних технологій. Веб-ГІС дозволяють користувачам отримувати доступ до геопросторових даних та функціональних можливостей ГІС через мережу Інтернет за допомогою веб-браузера. Це забезпечує можливість децентралізованого збору, оновлення та спільного використання екологічної інформації, створення розподілених систем екологічного моніторингу [34].

Хмарні геоінформаційні технології, такі як ArcGIS Online, Google Earth Engine, надають доступ до обчислювальних ресурсів та сховищ геопросторових даних через мережу Інтернет. Вони дозволяють ефективно виконувати ресурсоемні задачі обробки та аналізу великих обсягів даних, створювати масштабовані веб-сервіси та додатки. Використання хмарних ГІС в екологічних дослідженнях дозволяє скоротити витрати на створення та підтримку власної інфраструктури, забезпечити гнучкий доступ до геоінформаційних ресурсів.

Іншою важливою тенденцією є розвиток інтегрованих геоінформаційних платформ, які поєднують функціональні можливості ГІС, даних дистанційного зондування, систем управління базами даних, інструментів аналітики та моделювання. Такі платформи дозволяють ефективно вирішувати комплексні задачі екологічного моніторингу, оцінки впливу на довкілля, управління

природними ресурсами. Прикладами інтегрованих платформ є ArcGIS Enterprise, Hexagon Geospatial, MapInfo Pro.

Значна увага приділяється розвитку інструментів обробки та аналізу даних дистанційного зондування в середовищі ГІС. Сучасні сенсори супутникових систем, такі як Landsat, Sentinel, WorldView, надають зображення земної поверхні з високою просторовою та часовою роздільною здатністю. Інструменти ГІС дозволяють ефективно обробляти та аналізувати ці дані для вирішення різноманітних екологічних задач - моніторингу стану рослинного покриву, оцінки наслідків стихійних лих, виявлення несанкціонованих звалищ відходів тощо.

Одним з методів використання геоінформаційних систем є можливість швидкого та детального дослідження невеликих територій за допомогою БПЛА, який дозволяє оперативно отримувати детальні зображення та 3D-моделі певної місцевості, проводити моніторинг об'єктів та процесів у режимі реального часу. Інтеграція даних з БПЛА в середовище ГІС відкриває нові можливості для картографування наслідків надзвичайних ситуацій, оцінки стану інфраструктурних об'єктів, контролю за дотриманням природоохоронних вимог.

Важливою тенденцією є поширення стандартів та специфікацій для забезпечення інтероперабельності геопросторових даних та сервісів. Стандарти, розроблені організаціями Open Geospatial Consortium (OGC) та International Organization for Standardization (ISO), такі як Web Map Service (WMS), Web Feature Service (WFS), Geography Markup Language (GML), визначають правила обміну та спільного використання геоінформаційних ресурсів. Дотримання цих стандартів дозволяє створювати розподілені системи екологічного моніторингу, які об'єднують дані та сервіси з різних джерел.

Активно розвиваються методи та інструменти геопросторового аналізу даних у режимі реального часу. Поточкова обробка даних з сенсорних мереж, станцій моніторингу якості повітря та води, систем відеоспостереження дозволяє виявляти надзвичайні екологічні ситуації, приймати оперативні управлінські рішення. Для цього використовуються технології обробки великих

геопросторових даних (Big Geo Data), інструменти інтелектуального аналізу даних (Data Mining), машинного навчання [3].

Значна увага приділяється розвитку методів та інструментів просторового моделювання та прогнозування екологічних процесів. Сучасні ГІС-пакети, такі як ArcGIS, QGIS, включають модулі для створення та аналізу цифрових моделей рельєфу, гідрологічного моделювання, моделювання атмосферного розповсюдження забруднюючих речовин, оцінки ерозійних процесів. Розвиваються також спеціалізовані системи екологічного моделювання, такі як MIKE, Delft3D, AERMOD.

Перспективним напрямком є поєднання ГІС з технологіями Інтернету речей (Internet of Things, IoT). Сенсорні пристрої, які вимірюють параметри навколишнього середовища (якість повітря, води, ґрунту), можуть передавати дані в режимі реального часу до геоінформаційних платформ. Це дозволяє створювати системи оперативного моніторингу стану довкілля, раннього попередження надзвичайних ситуацій, управління "розумними" містами та інфраструктурою.

Розвиваються методи та інструменти геовізуалізації, які дозволяють представляти результати екологічних досліджень у зручній для сприйняття формі. Сучасні ГІС-платформи підтримують створення інтерактивних карт, 3D-сцен, анімацій, що забезпечує ефективну комунікацію з різними групами користувачів. Розробляються спеціалізовані рішення для веб-картографування, такі як ArcGIS Online, Mapbox, CARTO, які дозволяють створювати привабливі та функціональні картографічні додатки [4].

Значна увага приділяється розвитку інструментів колективного створення та використання геопросторових даних (Volunteered Geographic Information, VGI). Краудсорсингові ГІС-платформи, такі як OpenStreetMap, Wikimapia, дозволяють користувачам додавати та редагувати геопросторову інформацію, створювати детальні карти місцевості. Ці дані можуть використовуватись для вирішення екологічних задач, наприклад, для картографування зелених зон міст, моніторингу несанкціонованих сміттєзвалищ.

Перспективним напрямком є використання ГІС в поєднанні з мобільними технологіями для залучення громадськості до екологічного моніторингу та контролю. Мобільні додатки дозволяють користувачам збирати дані про стан навколишнього середовища (наприклад, фіксувати місця незаконних рубок лісу, скидів забруднених вод), які можуть бути інтегровані в середовище ГІС та використані для прийняття управлінських рішень. Такі проекти, як Грінпіс Рейнджерс, екоМапа, показують ефективність краудсорсингового підходу до збору екологічної інформації.

Важливою тенденцією є розвиток методів та інструментів оцінки невизначеності та якості геопросторових даних. Екологічні дані часто характеризуються неповнотою, неточністю, різномірністю. Для коректної інтерпретації результатів аналізу та моделювання необхідно враховувати фактори невизначеності, використовувати методи геостатистики, стохастичного моделювання. Розвиваються стандарти та специфікації для оцінки та документування якості геопросторових даних, такі як ISO 19157, що дозволяє користувачам оцінювати придатність даних для вирішення конкретних задач.

Значна увага приділяється питанням інтеграції ГІС з системами підтримки прийняття рішень (СППР) в галузі управління природними ресурсами та охорони довкілля. СППР дозволяють поєднувати різномірну інформацію (екологічну, економічну, соціальну), будувати сценарії розвитку ситуації, оцінювати наслідки різних управлінських рішень. Геоінформаційні технології забезпечують просторову складову СППР, дозволяють враховувати територіальні особливості та взаємозв'язки при прийнятті рішень.

Перспективним напрямком є поєднання ГІС з технологіями доповненої (AR) та віртуальної (VR) реальності. AR дозволяє накладати цифрову інформацію на зображення реального світу в режимі реального часу, що відкриває нові можливості для візуалізації екологічних даних безпосередньо на місцевості. VR дозволяє створювати реалістичні 3D-моделі територій та об'єктів, проводити віртуальні польові дослідження, моделювати сценарії розвитку екологічних ситуацій.

Розвиваються методи та інструменти геоінформаційного картографування екосистемних послуг. Вони дозволяють оцінювати та візуалізувати просторовий розподіл вигід, які екосистеми надають людському суспільству (наприклад, забезпечення чистою водою, регулювання клімату, рекреаційні можливості). Картографування екосистемних послуг дозволяє враховувати їх вартість при прийнятті рішень щодо використання природних ресурсів, планування розвитку територій.

У сфері екологічної освіти та просвіти ГІС використовуються для створення інтерактивних навчальних матеріалів, віртуальних екскурсій, ігрових додатків. Це дозволяє в наочній та захоплюючій формі знайомити учнів та студентів з екологічними концепціями, проблемами збереження біорізноманіття, сталого розвитку. Прикладами освітніх ГІС-проектів є Globe, EcoSchools, які залучають молодь до збору та аналізу екологічних даних.

ГІС відіграють важливу роль у забезпеченні прозорості та підзвітності в галузі охорони довкілля та управління природними ресурсами. Геоінформаційні портали та сервіси відкритих даних дозволяють надавати громадськості доступ до інформації про стан навколишнього середовища, результати екологічного моніторингу, дозвільні документи на природокористування. Це сприяє залученню громадськості до контролю за дотриманням природоохоронного законодавства, попередженню корупційних ризиків.

Розвиток геоінформаційних технологій відкриває нові можливості для міжнародного співробітництва у сфері охорони довкілля. ГІС дозволяють створювати транскордонні системи екологічного моніторингу, обмінюватися даними та досвідом, координувати зусилля щодо вирішення спільних екологічних проблем. Прикладами міжнародних ГІС-ініціатив є програма Copernicus Європейського Союзу, яка надає вільний доступ до даних дистанційного зондування та сервісів для моніторингу стану довкілля.

Таким чином, сучасні тенденції розвитку геоінформаційних технологій спрямовані на підвищення ефективності та оперативності вирішення екологічних задач, забезпечення доступності та інтеперабельності екологічної

інформації, підтримку прийняття обґрунтованих управлінських рішень. Інтеграція ГІС з даними дистанційного зондування, технологіями Інтернету речей, краудсорсингу, доповненої та віртуальної реальності відкриває нові перспективи для екологічних досліджень та природоохоронної діяльності. Розвиток ГІС сприяє формуванню екологічної свідомості суспільства, залученню громадськості до збереження довкілля, прозорості та підзвітності в галузі управління природними ресурсами.

#### **4.2 Проблеми та шляхи вдосконалення застосування ГІС в екологічних дослідженнях**

Незважаючи на значні переваги та потенціал використання геоінформаційних систем в екологічних дослідженнях, існує ряд проблем та викликів, які потребують вирішення для підвищення ефективності та надійності результатів.

Однією з головних проблем є забезпечення якості та повноти вихідних геопросторових даних. Екологічні дослідження часто потребують інтеграції різнорідних даних з різних джерел (дані польових спостережень, дистанційного зондування, статистичні дані тощо), які можуть мати різний ступінь точності, детальності та актуальності. Помилки та неточності у вихідних даних можуть значно спотворювати результати аналізу та моделювання. Тому важливим завданням є розробка ефективних методів та процедур контролю якості геопросторових даних, їх гармонізації та стандартизації [17].

Іншим викликом є врахування просторової та часової неоднорідності екологічних процесів. Багато екологічних явищ характеризуються значною мінливістю в просторі та часі, наявністю локальних особливостей та аномалій. Традиційні методи просторового аналізу та моделювання, які використовуються в ГІС, часто базуються на припущеннях про однорідність та стаціонарність процесів. Для більш адекватного відображення реальності необхідно розвивати

методи, які враховують просторову та часову неоднорідність, такі як геостатистика, локально-адаптивні моделі, методи машинного навчання.

Важливою проблемою є також врахування невизначеності при моделюванні та прогнозуванні екологічних процесів. Екологічні системи є складними та динамічними, на них впливає багато факторів, які не завжди можна точно виміряти або спрогнозувати. Ігнорування невизначеності може призводити до надмірно оптимістичних або песимістичних оцінок, неефективних управлінських рішень. Тому актуальним напрямком є розвиток методів оцінки та пропагації невизначеності в ГІС-моделях, таких як стохастичне моделювання, аналіз чутливості, байєсівські підходи.

Значною проблемою є інтеграція екологічних та соціально-економічних даних в рамках ГІС. Сталий розвиток територій потребує врахування не лише екологічних, а й соціальних та економічних аспектів природокористування. Однак просторові шкали та рівні агрегації екологічних та соціально-економічних даних часто не співпадають, що ускладнює їх спільний аналіз. Необхідно розвивати методи та моделі, які дозволяють інтегрувати різномірні дані в єдиній системі, враховувати взаємозв'язки між екологічними та соціально-економічними процесами.

Важливим напрямком вдосконалення є розвиток інструментів для підтримки прийняття рішень в галузі управління природними ресурсами та охорони довкілля. ГІС мають потенціал для інтеграції з системами підтримки прийняття рішень (СППР), які дозволяють враховувати різні критерії та обмеження, будувати сценарії розвитку ситуації. Однак існуючі СППР часто мають обмежені можливості щодо роботи з просторовими даними та моделями. Необхідно розвивати методи та інструменти, які дозволяють ефективно поєднувати функціональність ГІС та СППР, створювати користувацькі інтерфейси для різних груп стейкхолдерів.

Перспективним напрямком є розвиток веб-ГІС та хмарних технологій для забезпечення доступності та інтероперабельності екологічних даних та сервісів. Веб-ГІС дозволяють організувати ефективний обмін та спільне використання

геопросторових ресурсів, створювати розподілені системи екологічного моніторингу. Однак впровадження веб-ГІС стикається з проблемами стандартизації форматів даних та інтерфейсів, забезпечення безпеки та конфіденційності інформації. Необхідно розвивати стандарти та протоколи для інтеграції екологічних даних та сервісів, створювати спеціалізовані геопортали та інфраструктури просторових даних.

Значні перспективи має поєднання ГІС з технологіями краудсорсингу та громадської науки (citizen science) для збору та актуалізації екологічних даних. Залучення громадськості до збору даних про стан навколишнього середовища за допомогою мобільних додатків та веб-платформ дозволяє значно розширити просторове покриття та часову роздільну здатність спостережень. Однак, використання краудсорсингових даних в ГІС потребує розробки ефективних методів контролю якості, фільтрації шуму, валідації даних. Необхідно розвивати стандарти та протоколи для інтеграції краудсорсингових даних в професійні ГІС, створювати інтуїтивно зрозумілі інтерфейси для користувачів [22].

Актуальною проблемою є підготовка кваліфікованих фахівців в галузі застосування ГІС для вирішення екологічних задач. Ефективне використання сучасних геоінформаційних технологій потребує не лише технічних навичок роботи з програмним забезпеченням, а й глибокого розуміння екологічних процесів, методів просторового аналізу та моделювання. Необхідно вдосконалювати навчальні програми підготовки фахівців з геоінформатики та екології, розвивати міждисциплінарні освітні проекти, запроваджувати сучасні методи навчання з використанням ГІС.

Таким чином, вдосконалення застосування ГІС в екологічних дослідженнях потребує комплексного підходу, який включає розвиток методів контролю якості та інтеграції даних, врахування просторової неоднорідності та невизначеності, поєднання з системами підтримки прийняття рішень, впровадження веб-технологій та краудсорсингу, підготовку кваліфікованих фахівців. Вирішення цих проблем дозволить підвищити ефективність та

достовірність результатів екологічних досліджень, забезпечити їх практичне впровадження в природоохоронну діяльність та сталий розвиток територій.

### **4.3 Перспективні напрямки подальших досліджень з використанням ГІС в екології**

Одним з ключових напрямків є подальший розвиток методів інтеграції даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) та ГІС для вирішення екологічних задач. Сучасні системи ДЗЗ, такі як супутники Sentinel, Landsat, PlanetScope, надають величезні обсяги даних з високою просторовою та часовою роздільною здатністю. Інтеграція цих даних з наземними спостереженнями та екологічними моделями в середовищі ГІС дозволяє отримувати більш повну та достовірну інформацію про стан та динаміку екосистем, ефективніше вирішувати задачі моніторингу землекористування, оцінки біорізноманіття, прогнозування врожайності тощо. Перспективними є дослідження, спрямовані на розробку методів автоматизованої обробки та інтерпретації даних ДЗЗ, калібрування та валідації екологічних моделей за супутниковими даними.

Важливим напрямком є розвиток методів моделювання та прогнозування екологічних процесів з використанням ГІС та даних з різних джерел. Екологічні системи є складними та динамічними, на них впливає багато взаємопов'язаних факторів - кліматичних, геоморфологічних, антропогенних. Для адекватного опису та прогнозування поведінки таких систем необхідно розробляти комплексні моделі, які враховують просторові та часові закономірності, зворотні зв'язки, нелінійні ефекти. Перспективними є дослідження з розробки багатомасштабних та багатокритеріальних моделей, які дозволяють інтегрувати дані з різних джерел та рівнів деталізації (локальні польові спостереження, регіональні кліматичні моделі, глобальні моделі загальної циркуляції атмосфери та океану). Важливими напрямками є також розвиток методів аналізу невизначеності та чутливості екологічних моделей, дослідження можливостей використання ГІС та даних ДЗЗ для калібрування та валідації моделей [2].

Актуальним напрямком досліджень є застосування ГІС для оцінки та картографування екосистемних послуг. Екосистемні послуги - це вигоди, які людина отримує від функціонування екосистем, такі як забезпечення продовольством, регулювання клімату, підтримання біорізноманіття, культурні та рекреаційні цінності. Картографування та оцінка екосистемних послуг є важливим інструментом для обґрунтування управлінських рішень, планування сталого розвитку територій, розробки схем плати за екосистемні послуги. Перспективними є дослідження, спрямовані на розробку методів просторової оцінки екосистемних послуг з використанням даних ДЗЗ, екологічних та соціально-економічних моделей, залучення стейкхолдерів до процесу оцінювання та картографування.

Важливим напрямком є використання ГІС для дослідження та прогнозування впливу змін клімату на екосистеми та біорізноманіття. Зміни клімату, такі як підвищення температури, зміна режиму опадів, збільшення частоти екстремальних явищ, можуть призводити до зміщення ареалів видів, трансформації екосистем, втрати біорізноманіття. ГІС-моделювання дозволяє оцінювати потенційні зміни придатності місцезростань для видів при різних сценаріях зміни клімату, прогнозувати динаміку ареалів та міграційні шляхи, виявляти райони, які потребують першочергових заходів з адаптації та збереження біорізноманіття. Перспективними є дослідження з розробки динамічних моделей біорізноманіття, які враховують не лише кліматичні, а й ландшафтні, едафічні фактори, можливості розселення видів.

Іншим перспективним напрямком є застосування ГІС для оптимізації планування природоохоронних територій та екологічних мереж. Створення ефективної та репрезентативної системи природоохоронних територій є важливим інструментом збереження біорізноманіття та забезпечення сталого розвитку. ГІС-моделювання дозволяє оцінювати ефективність існуючих природоохоронних територій, виявляти прогалини в охопленні різних типів екосистем та оселищ рідкісних видів, планувати створення нових об'єктів з урахуванням просторової зв'язності, репрезентативності та стійкості до

зовнішніх впливів. Перспективними є дослідження з розробки методів багатокритеріальної оптимізації мереж природоохоронних територій, які враховують не лише екологічні, а й соціально-економічні та організаційні фактори.

Актуальним напрямком є використання ГІС для дослідження та управління інвазійними видами. Інвазійні види - це види, які проникають у нові екосистеми та можуть завдавати значної шкоди біорізноманіттю, здоров'ю людей, економіці. ГІС-моделювання дозволяє оцінювати потенційні ареали поширення інвазійних видів на основі даних про їх екологічні ніші та шляхи розселення, прогнозувати динаміку популяцій та наслідки інвазій, планувати заходи з контролю та ерадикації. Перспективними є дослідження з розробки методів раннього виявлення та оперативного реагування на інвазії, залучення даних краудсорсингу та громадського моніторингу для відстеження поширення інвазійних видів [17].

Важливим напрямком є застосування ГІС для дослідження та управління екосистемами міських територій. Урбанізація є одним з найбільш інтенсивних процесів трансформації ландшафтів, який має значний вплив на біорізноманіття, кліматичні умови, якість життя людей. ГІС-моделювання дозволяє оцінювати структуру та функції зелених зон міст, планувати розвиток екологічної інфраструктури, управляти міськими екосистемними послугами. Перспективними є дослідження з розробки методів оцінки зв'язності та фрагментації міських зелених зон, моделювання впливу міського середовища на біорізноманіття, планування багатофункціональних зелених коридорів та екологічних каркасів міст.

Окремим перспективним напрямком є розвиток партисипативних ГІС та залучення громадськості до збору та використання геоданих для вирішення екологічних проблем. Партисипативні ГІС передбачають активну участь місцевих громад та зацікавлених сторін у створенні, аналізі та застосуванні геопросторової інформації. Це дозволяє враховувати місцеві знання та потреби, підвищувати обізнаність та залученість громадськості до процесів прийняття рішень. Перспективними є дослідження з розробки методів та платформ для

краудсорсингового збору екологічних даних, інтеграції знань місцевих громад в ГІС-моделі, використання партисипативного картографування для вирішення конфліктів природокористування.

Таким чином, перспективні напрямки подальших досліджень з використанням ГІС в екології охоплюють широке коло питань - від розвитку методів інтеграції даних ДЗЗ та екологічного моделювання до застосування партисипативних підходів та залучення громадськості. Ці напрямки відображають сучасні тенденції розвитку геоінформаційних технологій, потреби сталого управління природними ресурсами та адаптації до глобальних екологічних викликів. Подальші дослідження в цих напрямках дозволять підвищити ефективність використання ГІС для вирішення екологічних проблем, забезпечити інформаційну підтримку прийняття збалансованих управлінських рішень та досягнення цілей сталого розвитку.

## **РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ПІД ЧАС РОБОТИ ЗА КОМП'ЮТЕРОМ НА ПІДПРИЄМСТВІ**

Сучасні розробки в технологіях виробництва та сучасний рівень техніки передбачають постійну автоматизацію та оптимізацію виробничих процесів. Сьогодні неможливо увести компанію, яка веде свою професійну діяльність без використання комп'ютерних технологій. У зв'язку з масштабністю робіт, які виконуються працівниками за допомогою комп'ютерів, українське законодавство чітко визначає норми та вимоги використання підприємствами комп'ютерної техніки, а також охорону праці при роботі з комп'ютерами

### **5.1 Загальні положення з охорони праці під час роботи за комп'ютером**

1. Вимоги з охорони праці поширюються на всі види підприємства та незалежно від виду діяльності. Та затвердженні наказом Мінсоцполітики від 14.02.2018 № 207

2. Ці Вимоги розроблено на основі Директиви 90/270/ЄЕС від 29 травня 1990 року про мінімальні вимоги безпеки та здоров'я при роботі з екранними пристроями (п'ята рамкова Директива у значенні частини 1 статті 16 Директиви 89/391/ЄЕС) [13].

3. Допускаються до самостійної роботи на комп'ютері лише особи, які пройшли медичний огляд та не мають медичних протипоказань, а також отримали інструктаж з безпеки при користуванні комп'ютером.

4. Основне обладнання робочого місця - монітор, клавіатура, миш, робочий стіл, стілець; допоміжне обладнання - навушники, підставка для ніг, настільна лампа.

Загальні обов'язки роботодавця

1. Роботодавець повинен поінформувати працівників під розписку про умови праці та наявність на їх робочих місцях небезпечних та шкідливих

виробничих факторів (фізичних, хімічних, біологічних, психофізіологічних), які виникають під час роботи з екранними пристроями та ще не усунуто, а також про можливі наслідки їх впливу на здоров'я працівників відповідно до вимог статті 5 Закону України „Про охорону праці” [13].

2. Роботодавець повинен надати всі комфортні умови праці які відповідають умовам нормативно правових документів, забезпечити дотримання умов законодавства щодо прав працівників та інструкцію використання до початку роботи працівника за комп'ютером та будь-якими електронним пристроєм.

3. Проінформувати працівника щодо екстрених ситуацій, що робити та як їх усунути. Перевірити його дієздатність та самопочуття перед початком роботи.

## **5.2 Обов'язки та умови користувача комп'ютерної техніки під час та після роботи**

Перед початком роботи, користувач повинен ознайомитися з технікою безпеки, яку надає роботодавець або рекомендує методичний посібник по експлуатації електронного приладу. Сюди входить правильне використання пристрою, робота з ним та техніка поведінки під час екстрених ситуацій.

Умови безпеки використання перед та під час роботи з комп'ютером:

1. Правильне розташування комп'ютерного робочого місця:

Першочергово слід перевірити наявність живлення комп'ютера, справність всіх портів, розеток та самого приладдя. Це займе всього декілька хвилин, але зможе убезпечити вас від подальших проблем, таких як: несправність техніки та небезпека для здоров'я.

Переконайтеся, що ваш стіл та стілець відповідають вашому зросту та забезпечують зручне розташування перед комп'ютером. Робоче місце повинно бути спроектованим для роботи та мати оптимальний простір для зміни робочого

положення та рухів. Не загромождайте стіл сторонніми предметами, які ніяк не стосуються вашої роботи.

Під час роботи за комп'ютером тримайте спину та шию прямими, а руки на одному рівні з клавіатурою. Руки в ліктьовому суглобі повинні утворювати кут, подібний 90 градусам. Ступні повинні щільно та прямо прилягати до підлоги, ноги повинні бути зігнуті у колінному суглобі. Відстань від очей до екрана повинна становити 400-800 мм в залежності від розмірів об'єктів на екрані, та бути перпендикулярна до площини монітора.

Налаштуйте клавіатуру та мишу так, щоб вони були зручними для вас. Розмістіть клавіатуру на відстані 90-200 мм від краю стола.

## 2. Регулярні перерви:

Кожні 45-60 хвилин робіть короткі перерви, під час яких розтягуйте м'язи та робіть вправи для очей, шиї та тулуба. Під час перерв можна виконати прості фізичні вправи для покращення кровообігу по всьому тілу, або ж коротеньку прогулянку на свіжому повітрі. Вправи рекомендується робити подалі від електронної техніки. Запорука гарної роботи – гарне самопочуття.

## 3. Оптимальне освітлення та вентиляція:

Забезпечте достатнє природне або штучне освітлення робочого місця. Якщо світла виявилось замало, рекомендується встановити та використати настільну лампу, скористатися спеціальними налаштуваннями комп'ютера або ж перейти працювати у достатньо освітленому приміщенні.

Важливо також забезпечити належну вентиляцію приміщення, де ви працюєте. Якщо в місці, де ви працюєте, немає вентиляційних отворів, скористайтеся вікном або дверима. Простір слід провітрювати декілька разів на день, а також робити вологе прибирання від органічного пилу. Вологе прибирання допоможе підтримати не тільки чистоту в просторі, а й в подальшому усунути проблеми з диханням, такі як астма, алергія на пил тощо.

## 4. Використання спеціальних програм та налаштувань:

Використовуйте програми, які дозволяють регулювати яскравість та колір екрану для зменшення напруги на очі. Це збереже ваші очі від подальшої втоми та проблем з ними.

#### 5. Дотримання правил гігієни:

Регулярно мийте руки перед роботою за комп'ютером та після перерв. Використовуйте антисептичні серветки для очищення клавіатури та миші. Не тримайте їжу та напої на одному столі з комп'ютером, та не допускайте потрапляння вологи в комп'ютерне приладдя.

Умови безпеки використання після закінчення роботи:

1. Після закінчення роботи збережіть всі ваші робочі файли та поетапно вимкніть комп'ютер, натиснувши мишкою знизу на моніторі кнопку «Пуск» - «Завершення роботи». Переконайтеся, що техніка вимкнулась.

2. Ретельно огляньте свій робочий простір, за яким ви працювали, на наявність бруду, сторонніх предметів та приведіть його до ладу. Поставте на місце робоче приладдя (якщо це потрібно).

3. Вимкніть подачу живлення до комп'ютера та вимкніть штучне освітлення.

### **5.3 Вимоги та обов'язки під час аварійних ситуацій**

Під час роботи з комп'ютером можливі такі небезпечні фактори:

#### 1. Фізичні:

Електромагнітне випромінювання, ультрафіолетове випромінювання, інфрачервоне випромінювання, статична електрика, забрудненість повітря, вологість або сухість повітря, шум, недостатнє освітлення та інші.

#### 2. Хімічні:

Високий вміст різних речовин у повітрі, таких як двоокис вуглецю, озон, аміак, фенол, формальдегід та інші.

#### 3. Психофізичні:

Напруга зору, уваги, інтелектуальне та емоційне навантаження, монотонність роботи та інші психологічні аспекти.

4. Біологічні:

Високий вміст мікроорганізмів у повітрі робочого приміщення.

5. Інші:

Небезпека натрапляння на матеріали або сайти, що мають «віруси», потрапляння під вплив хакерської атаки.

1. У випадку пошкодження електроустаткування, короткого замикання, виявлення обривів електромережі тощо слід негайно вимкнути подачу живлення і повідомити про це роботодавця та представника обленерго.

2. У разі виникнення ситуації, що може призвести до нещасного випадку, аварії на підприємстві тощо слід вимкнути подачу живлення і повідомити про цю ситуацію роботодавцю.

3. У разі нещасного випадку який може загрожувати вашому життю та життю ваших колег, залиште робочу зону та обладнання в тому ж стані, що і до моменту випадку. Обов'язково повідомьте про подію роботодавцю та аварійно-рятувальній службі.

4. Доволі небезпечним фактором під час роботи може бути пожежа. У випадку займання вогнем електропристроїв, виникнення пожежі слід першочергово викликати аварійно-рятувальну службу пожежної безпеки за номером 101 або 112, повідомити керівництво. Якщо є змога, власноруч почати гасіння, скориставшись вуглекислотним або порошковим вогнегасником. Слід зазначити, що гасіння електрообладнання, що знаходиться під напругою, слід проводити тільки після того, як воно було попередньо відключено від основного джерела живлення - електроенергії.

5. У разі виявлення після нещасного випадку потерпілого, слід негайно викликати швидку медичну допомогу за номером 103, та надати першу домедичну допомогу.

## 5.4 Надання першої домедичної допомоги на підприємстві

Вимоги безпеки під час аварійних ситуацій:

Перша допомога – це проведення найпростіших медичних заходів для порятунку життя, зменшення страждань потерпілого від впливу надзвичайної ситуації і попередження розвитку можливих ускладнень. Професійно таку допомогу надають медики, але не завжди швидка допомога може прибути вчасно на місце події. Тому вміння кожного з нас надати першу необхідну допомогу постраждалим до прибуття служб порятунку може відіграти вирішальну роль у порятунку життя людини [6].

Основні принципи при наданні першої домедичної допомоги:

- Доцільність та правильність допомоги;
- Швидке реагування та послідовність роботи;
- Спокій та рішучість дій.

Алгоритм дій надання домедичної допомоги:

1. Перед початком роботи слід оглянути місце події та попідкуватися про власну безпеку та безпеку потерпілого.
2. Зв'язувати стан постраждалої людини. Визначити характер та важкість отриманої травми.
3. Викликати швидку медичну допомогу за номером 103, та передати всі з'ясовані вами данні про потерпілого.
4. Терміново зупинити кровотечу (якщо вона є).
5. Забезпечити прохідність дихальних шляхів, якщо ті заблоковано.
6. У разі відсутності свідомості, ознаки життя у потерпілого – провести серцево-легеневу реанімацію за допомогою рук.
7. Якщо не виявлено підозр на травми кісток, а серцево-легенева реанімація успішно спрацювала – треба перевести потерпілого у стабільне положення тіла.
8. Не залишайте постраждалу людину без нагляду до приїзду швидкої медичної служби.

Якщо ви не впевнені у своїх силах, знаннях, правильності та послідовності дій, краще зверніться за допомогою до інших найближчих поруч вас людей.

## ВИСНОВКИ

В результаті проведеної роботи визначили, що геоінформаційні системи та технології є потужним інструментом для вирішення широкого спектру екологічних задач. Вони забезпечують можливості ефективного збору, зберігання, аналізу, моделювання та візуалізації геопросторових даних, що є необхідним для розуміння та управління складними екологічними процесами та системами.

1. У роботі розглянуто теоретичні основи застосування ГІС в екологічних дослідженнях, включаючи поняття та сутність ГІС, можливості їх використання для вирішення екологічних задач, огляд сучасних геоінформаційних технологій. Практично показано, що ГІС дозволяють інтегрувати різноманітні екологічні дані, виявляти просторові закономірності та взаємозв'язки, моделювати та прогнозувати динаміку екологічних процесів.

2. Проаналізувавши доступність та можливості наявних у відкритому доступі ГІС продуктів, виділили для себе найоптимальніші: ArcGIS та QGIS, адже вони мають всі потрібні інструменти та розширення для проведення вибраного нами екологічного дослідження.

3. Остаточним рішенням стала робота в QGIS, оскільки ця програма є безкоштовною, має зручний та зрозумілий інтерфейс, усі потрібні інструменти та безкоштовні автоматичні оновлення розширень. На базі цієї програми був показаний приклад проведення екологічних досліджень з використанням ГІС, зокрема питання збору та підготовки екологічних даних, застосування методів просторового аналізу та моделювання, візуалізації та інтерпретації результатів. Підкреслено важливість забезпечення якості та повноти вихідних даних, вибору найоптимальніших методів аналізу з урахуванням просторово-часових особливостей екологічних процесів, коректної інтерпретації та представлення отриманих результатів.

На прикладі забрудненості повітря в місті Київ продемонстровано практичне застосування ГІС-технологій для збору та підготовки геопросторових

даних та аналізу екологічної ситуації. Показано, як використання ГІС дозволяє отримати комплексну оцінку стану довкілля, виявити основні чинники впливу.

4. Після проведених досліджень визначили перспективні напрямки розвитку геоінформаційних технологій в екологічній сфері, проаналізували сучасні тенденції та перспективи розвитку ГІС-технологій для вирішення екологічних задач, зокрема в напрямках інтеграції з даними дистанційного зондування Землі, застосування хмарних обчислень та веб-картографування, розвитку методів машинного навчання та просторового моделювання, впровадження краудсорсингу та партисипативних підходів. Розглянуто також проблеми та шляхи вдосконалення застосування ГІС в екологічних дослідженнях, такі як необхідність розвитку стандартів та інфраструктур геопросторових даних, підвищення якості та інтероперабельності даних, інтеграції екологічних та соціально-економічних показників, підготовки кваліфікованих фахівців.

Тож, ГІС є невід'ємною складовою сучасних екологічних досліджень, що забезпечує ефективні інструменти для аналізу та вирішення комплексних проблем взаємодії природи та суспільства. Подальший розвиток та вдосконалення ГІС-технологій відкривають нові можливості для розуміння закономірностей функціонування екосистем, прогнозування їх змін, обґрунтування управлінських рішень щодо охорони довкілля та сталого використання природних ресурсів. Це вимагає тісної співпраці фахівців в галузях геоінформатики, екології, програмування, дистанційного зондування Землі, а також ефективної взаємодії з органами влади, природокористувачами, місцевими громадами та громадськістю. Лише на основі міждисциплінарного, проблемно-орієнтованого та партисипативного підходу можливе успішне впровадження ГІС для вирішення нагальних екологічних викликів сьогодення та забезпечення гармонійного розвитку суспільства і природи.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Андрейчук Ю. М., Ямелинець Т. С. ГІС в екологічних дослідженнях та природоохоронній справі: навч. посібник. Львів: Простір-М, 2015. 284 с.
2. Безвіконний П.В. Потапський Ю.В. Курс лекцій з дисципліни «Географічні інформаційні системи і точне землеробство» для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) освітнього рівня денної та заочної форми навчання спеціальності 201 «Агрономія» – Кам'янець – Подільський:ЗВО «ПДУ», 2023. – 123 с.
3. Геоінформаційні системи і бази даних: монографія / В. І. Зацерковний, В. Г. Бурачек, О. О. Железняк, А. О. Терещенко. – Ніжин: НДУ ім. М. Гоголя, 2014. – 492 с.
4. Геоінформаційні технології в екології [Текст]: навч. посіб. / Пітак І. В. [та ін.]; Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т". – Суми: Сум. держ. ун-т, 2012. 267 с.
5. Геоінформаційні технології: підручник для студ. спеціальності 101 "Екологія" / Пітак І. В. [та ін.]; Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т". – Харків: НТУ "ХПІ"; Друкарня Мадрид, 2019. – 296 с.
6. Дані Міністерства охорони здоров'я України: <https://moz.gov.ua/> .
7. Зацерковний В. І., Бурачек В. Г., Железняк О. О., Терещенко А. О. Геоінформаційні системи і бази даних: монографія. Ніжин: НДУ ім. М. Гоголя, 2014. 492 с.
8. Інформаційні технології: теорія і практика: Тези доповідей VI-ї Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених, 2023 р., м. Харків) [Електронний ресурс] / Редкол.: М. В. Новожилова, І.О. Яковлева, Н.М. Братерська, Г.В. Бакурова, Т.А. Желдак. Електрон. дані. – Харків: ХНУМГ імені О.М.Бекетова, 2023.
9. Касьянов В. В. Організація територій: конспект лекцій для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної форми навчання зі спеціальності 193 – Геодезія та землеустрій, освітньо-професійна програма

«Геодезія, картографія та землеустрій») / В. В. Касьянов, К. А. Мамонов, О. В. Доброходова ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024. – 37 с.

10. Кохан С. С., Востоков А. Б. Дистанційне зондування Землі: теоретичні основи: підручник. Київ: Вища школа, 2009. 511 с.

11. Круглик О.І. Принципи сталого розвитку сільських територій в умовах відбудови економіки: кваліфікаційна робота магістра зі спеціальності 193 «Геодезія та землеустрій». – Полтава, Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2023. – 109 с.

12. Кундельська, Т. В. Оцінка та прогнозування потенційного екологічного ризику від фізичних факторів впливу в урбосистемі (на прикладі м. Івано-Франківська) : дис. ... канд. техн. наук : спец. 21.06.01 "Екологічна безпека" : Дата захисту 12.05.21 / Т. В. Кундельська. - Івано-Франківськ, 2021. - 294 с. : іл., рис., табл. - 182-202.

13. Наказ Міністерства соціальної політики України від 14.02.2018 № 207 Про затвердження Вимог щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями.

14. Нестеренко С. Г. Методи і засоби автоматизації геодезичних робіт : конспект лекцій для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти зі спеціальності 193 – Геодезія та землеустрій / С. Г. Нестеренко, О. В. Афанасьєв ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2023. – 131 с.

15. Поморцева О. Є. Геоінформаційні системи в задачах моніторингу : конспект лекцій для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти всіх форм навчання спеціальності 193 – Геодезія та землеустрій) / О. Є. Поморцева ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2022. – 242 с.

16. Самойлік М. С. Теоретико-методологічні засади управління ресурсно-екологічною безпекою на регіональному рівні; Автореферат, 2015. 40 с.

17. Шипулін В. Д. Основні принципи геоінформаційних систем: навч. посібник. Харків: ХНАМГ, 2010. 312 с.
18. Шипулін В. Д. Ш63 Система земельного адміністрування: основи сучасної теорії : навч. посібник / В. Д. Шипулін ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2016. – 220 с.
19. Юхновська Ю.О. Збалансований розвиток потенціалу туристичної галузі України: теорія, методологія, практика – Рукопис. – Дніпровський національний університет залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна, Дніпро, 2020
20. Ярошко П.В. Моніторинг природо-заповідних територій з використанням ГІС технологій : кваліфікаційна робота. Дубляни 2024. 61 с.
21. Яськова В. Л. Геоінформаційні системи природних об'єктів Полонської територіальної громади : дипломна робота магістра : 101 Екологія / В. Л. Яськова ; Хмельниц. нац. ун-т. – Хмельницький, 2023. – 84 с.
22. Aikaterini Karagiannopoulou, Athanasia Tsertou, Georgios Tsimiklis and Angelos Amditis Data Fusion in Earth Observation and the Role of Citizen as a Sensor: A Scoping Review of Applications, Methods and Future Trends, 2022. 1263 p.
23. Bartlett D., Smith J. GIS for Coastal Zone Management. Boca Raton: CRC Press, 2004. 344 p.
24. Chang K.-T. Introduction to Geographic Information Systems. 5th ed. New York: McGraw-Hill Education, 2008. 464 p.
25. Fu P., Sun J. Web GIS: Principles and Applications. Redlands, California: Esri Press, 2010. 312 p.
26. Goodchild M. F., Guo H., Annoni A., Bian L., de Bie K., Campbell F., et al. Next-generation Digital Earth. Proceedings of the National Academy of Sciences. 2012. Vol. 109, No. 28. P. 11088-11094.
27. Hamed Olfat Automatic Spatial Metadata Updating and Enrichment, 2013. 381 p.
28. IEEE Privacy Protection and Data Security in Cloud Computing: A Survey, Challenges, and Solutions, 2019. 147420 – 147452 p.

29. Karimi H. A. (Ed.). *Big Data: Techniques and Technologies in Geoinformatics*. 2nd ed. Boca Raton, FL: CRC Press, 2014. 448 p.
30. Official ESRI website: <https://www.esri.com/en-us/home> .
31. Paul A. Longley, James A. The Routledge Handbook of Mapping and Cartography, 2019. 618 p.
32. Peter A. Burrough, Rachael A. McDonnell, Christopher D. Lloyd *Principles of Geographical Information Systems* Third edition by Oxford University Press, 2015. 329 p.
33. Sommer S., Wade T. *A to Z GIS: An Illustrated Dictionary of Geographic Information Systems*. 3rd ed. Redlands, California: Esri Press, 2006. 340 p.
34. Tomlin C. D. *GIS and Cartographic Modeling*. Redlands, California: Esri Press, 2013. 204 p.
35. Xuan Zhu *GIS for Environmental Applications*, 2016. 490 p.
36. Zhao, Q.; Yu, L.; Du, Z.; Peng, D.; Hao, P.; Zhang, Y.; Gong, P. An Overview of the Applications of Earth Observation Satellite Data: Impacts and Future Trends. *Remote Sens.* 2022, 14, 1863.