

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
КАФЕДРА ГЕОДЕЗІЇ І ГЕОІНФОРМАТИКИ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Рівня вищої освіти «Магістр»

НА ТЕМУ:

«Методика використання ГІС для екологічного моніторингу»

Виконав: студент групи ЗВ-51
Напряму підготовки (спеціальності)
193 «Геодезія та землеустрій»
Проць Д.О.

Керівник: доцент **Бочко О.І.**

Дубляни- 2024

ЗМІСТ

	ВСТУП	
1	Теоретичні основи екологічного моніторингу та ГІС	6
1.1	Поняття та значення екологічного моніторингу	6
1.2	Геоінформаційні системи як інструмент моніторингу	9
1.3	Сучасні підходи до використання ГІС у моніторингу довкілля	15
2	Методика використання ГІС для екологічного моніторингу	20
2.1	Етапи створення ГІС-проєкту для моніторингу	20
2.2	Технології дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) у екологічному моніторингу	27
2.3	Аналіз супутникових даних як основа створення ГІС	31
3	Практичне застосування ГІС для екологічного моніторингу	42
3.1	Створення ГІС-проєкту для моніторингу стану довкілля	42
3.2	Методика створення тематичних карт	49
3.3	Програмне забезпечення для створення ГІС	54
4.	Охорона навколишнього середовища	60
	ВИСНОВКИ	63
	БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК	65

УДК 911.3:502.1(075)

Метою написання кваліфікаційної роботи є обґрунтування підходу до проведення геоінформаційного моніторингу навколишнього середовища зі створенням первинних оціночних картографічних моделей, що визначають його стан у цілому та за окремими компонентами.

На основі поставленої мети доцільно для виконання виділити головні завдання:

- розкрити вимоги для врахування у процесі створення системи моніторингу довкілля на основі ГІС;
- представити систему методологічних принципів побудови системи моніторингу та відповідної географічної інформаційної системи для її реалізації;
- на етапі розроблення пропонованої ГІС розкрити принципи ефективності її функціонування щодо можливості вирішення поставлених задач;
- визначити вимоги до інформаційного забезпечення ГІС моніторингу навколишнього середовища, її структуру та архітектуру;
- представити алгоритм моніторингу довкілля на основі ГІС на прикладі створення результуючих картографічних моделей оціночного функціонального типу

ВСТУП

Моніторинг навколишнього природного середовища є комплексною науково-інформаційною системою, яка передбачає регулярні, безперервні та довгострокові спостереження, оцінку та прогноз змін стану природи з метою виявлення негативних тенденцій та розробки рекомендацій для їх усунення або пом'якшення. Цей моніторинг охоплює широкий спектр завдань у галузі охорони навколишнього середовища. Він створює оптимальні мережі спостережень на основі визначених параметрів, зібраних у єдину інформаційно-технологічну систему, що дає змогу проводити оцінку та прогнозування стану навколишнього середовища для розробки управлінських рішень на різних рівнях.

Ці спостереження є ефективними за умови використання географічних інформаційних систем (ГІС), які є важливою частиною моніторингу довкілля. Вони дозволяють збирати великі обсяги різноманітної інформації, обробляти її та наочно представляти просторові закономірності в природокористуванні. Створення та використання таких ГІС сприятиме реалізації національної системи екологічного моніторингу та регіональних екологічних програм відповідно до вимог чинного законодавства.

У зв'язку з активізацією робіт з розроблення національної інфраструктури геопросторових даних в Україні, після прийняття відповідного закону, загальні дані моніторингу довкілля можуть стати доступними для всіх користувачів, залежно від їхніх прав та категорії. Відкритість даних сприятиме більшому розумінню стану навколишнього середовища серед громадян, поліпшенню планування та управління природоохоронною діяльністю, покращенню громадського контролю та зміні поведінки людей щодо довкілля.

Для досягнення ефективності в застосуванні ГІС для моніторингу довкілля необхідно узагальнити основні принципи їх розробки на теоретичному, методологічному та методичному рівнях. Екологічний моніторинг є важливим інструментом для оцінки стану навколишнього природного середовища та своєчасного виявлення негативних змін, які можуть впливати на здоров'я людини і біорізноманіття. З розвитком технологій та

збільшенням обсягу екологічних даних важливу роль у здійсненні ефективного моніторингу стали відігравати географічні інформаційні системи (ГІС). ГІС надають можливість інтегрувати, аналізувати та візуалізувати просторові дані, що дає змогу отримати цілісну картину стану довкілля та приймати обґрунтовані рішення щодо його охорони.

Методика використання ГІС для екологічного моніторингу передбачає застосування різноманітних технологій для збору, обробки та аналізу просторово-орієнтованих даних, що дозволяє оцінювати вплив антропогенних та природних факторів на стан екосистем. Вона охоплює широкий спектр задач, від спостереження за змінами в землекористуванні до аналізу забруднення водних та повітряних ресурсів. Важливість ГІС у цій сфері обумовлена їх здатністю обробляти великі обсяги даних у реальному часі, що дозволяє не лише моніторити зміни, а й прогнозувати можливі екологічні ризики.

Метою цієї роботи є дослідження методичних підходів до використання ГІС для екологічного моніторингу, зокрема в контексті збору та обробки екологічних даних, а також розробка практичних рекомендацій для застосування цих технологій на місцевому та національному рівнях.

1. Теоретичні основи екологічного моніторингу та ГІС

1.1 Поняття та значення екологічного моніторингу

Державна система моніторингу довкілля - це система спостережень, збирання, оброблення, аналізу, зберігання та обміну інформацією про стан довкілля, вплив на нього, прогнозування його змін та розроблення науково обґрунтованих рекомендацій для прийняття ефективних управлінських рішень в Україні з метою забезпечення досягнення Цілей сталого розвитку.

Державна система моніторингу довкілля включає такі підсистеми:

- а) моніторинг атмосферного повітря;
- б) моніторинг вод;
- в) моніторинг земель і ґрунтів;
- г) моніторинг лісів;
- ґ) моніторинг біологічного та ландшафтного різноманіття;
- д) моніторинг у сфері управління відходами;
- е) моніторинг геологічного середовища;
- є) моніторинг впливу фізичних факторів (температура, шум, вібрація, іонізуюче та неіонізуюче випромінювання).

Порядок функціонування державної системи моніторингу довкілля та її підсистем встановлюється Кабінетом Міністрів України.

Органи державної влади, на які законом покладено повноваження щодо здійснення моніторингу довкілля, несуть відповідальність за його здійснення, оприлюднення екологічної інформації, отриманої в результаті такого моніторингу, та забезпечують доступ до неї відповідно до закону.

Органи державної влади разом з науковими установами Національної академії наук України або іншими науковими установами, які проводять комплексні наукові дослідження навколишнього природного середовища та природних ресурсів, забезпечують організацію короткострокового і довгострокового прогнозування змін навколишнього природного середовища, які мають враховуватися під час розроблення та виконання програм і заходів щодо економічного та соціального розвитку України, у тому числі щодо

охорони навколишнього природного середовища, використання і відтворення природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки.

Порядок роботи державної системи моніторингу довкілля та її підсистем визначає комплекс заходів, завдання та механізм взаємодії органів, що відповідають за моніторинг навколишнього середовища. Це стосується функціонування системи та її підсистем у відповідних режимах.

У випадках підвищеної готовності чи реагування на надзвичайні екологічні ситуації, а також для запобігання їх виникненню та завчасного реагування на потенційні загрози, забезпечується технологічна сумісність систем і інформаційна взаємодія. Це стосується даних державної системи моніторингу довкілля та її підсистем, що використовуються для:

- моніторингу надзвичайних ситуацій,
- прогнозування загроз,
- інформування у сфері цивільного захисту.

Відповідно до порядку, встановленого Кабінетом Міністрів України, державна екологічна автоматизована інформаційно-аналітична система для управлінських рішень та доступу до екологічної інформації інтегрується із системою моніторингу та прогнозування надзвичайних ситуацій в Україні.

З метою надання адміністративних та інших публічних послуг у галузі охорони навколишнього природного середовища створюються загальнодержавна екологічна автоматизована інформаційно-аналітична система забезпечення прийняття управлінських рішень та доступу до екологічної інформації та її мережа, що передбачає створення, збирання, одержання, зберігання, використання, поширення, охорону, захист інформації, а також електронну взаємодію між фізичними та юридичними особами, фізичними особами - підприємцями, органами державної влади, органами місцевого самоврядування та їх посадовими особами. Положення про загальнодержавну екологічну автоматизовану інформаційно-аналітичну систему забезпечення прийняття управлінських рішень та доступу до екологічної інформації та її мережу затверджується Кабінетом Міністрів

України". Функціонування державної системи моніторингу довкілля та її підсистем здійснюється на таких рівнях:

- а) національний (державний) рівень;
- б) регіональний рівень;
- в) локальний (місцевий) рівень;

З метою підвищення ефективності функціонування державної системи моніторингу довкілля та її підсистем можуть утворюватися регіональні центри моніторингу довкілля, порядок створення та примірне положення про які затверджуються центральним органом виконавчої влади, що забезпечує формування державної політики у сфері охорони навколишнього природного середовища. Система державного моніторингу охоплює три рівні, рисунок 1.1.



Рис 1.1 Система державного екологічного моніторингу.

Державна система моніторингу довкілля - це система спостережень, збирання, оброблення, аналізу, зберігання та обміну інформацією про стан довкілля, вплив на нього, прогнозування його змін та розроблення науково обґрунтованих рекомендацій для прийняття ефективних управлінських рішень в Україні з метою забезпечення досягнення Цілей сталого розвитку.

Державна система моніторингу довкілля включає такі підсистеми:

- а) моніторинг атмосферного повітря;
- б) моніторинг вод;
- в) моніторинг земель і ґрунтів;
- г) моніторинг лісів;
- ґ) моніторинг біологічного та ландшафтного різноманіття;
- д) моніторинг у сфері управління відходами;
- е) моніторинг геологічного середовища;
- є) моніторинг впливу фізичних факторів (температура, шум, вібрація, іонізуюче та неіонізуюче випромінювання).

Порядок функціонування державної системи моніторингу довкілля та її підсистем встановлюється Кабінетом Міністрів України. Органи державної влади, на які законом покладено повноваження щодо здійснення моніторингу довкілля, несуть відповідальність за його здійснення, оприлюднення екологічної інформації, отриманої в результаті такого моніторингу, та забезпечують доступ до неї відповідно до закону.

Органи державної влади разом з науковими установами Національної академії наук України або іншими науковими установами, які проводять комплексні наукові дослідження навколишнього природного середовища та природних ресурсів, забезпечують організацію короткострокового і довгострокового прогнозування змін навколишнього природного середовища, які мають враховуватися під час розроблення та виконання програм і заходів щодо економічного та соціального розвитку України, у тому числі щодо охорони навколишнього природного середовища, використання і відтворення природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки.

1.2. Геоінформаційні системи як інструмент моніторингу

Геоінформаційні системи (ГІС) — це сучасні технологічні платформи, які забезпечують збір, обробку, аналіз, моделювання та візуалізацію просторових даних. Вони відіграють важливу роль у моніторингу навколишнього середовища, дозволяючи ефективно відстежувати зміни природних і антропогенних процесів.

Використання геоінформаційних систем (ГІС) дозволяє оперативно отримувати необхідну інформацію, відображати її на картографічній основі, оцінювати поточний стан екосистем та прогнозувати можливі зміни.

Основні можливості ГІС для моніторингу екологічної ситуації на конкретній території:

- введення, зберігання, накопичення та обробка цифрових картографічних і екологічних даних;
- створення тематичних карт, що показують актуальний стан природних систем;
- аналіз динаміки екологічних змін у просторі та часі з побудовою графіків, таблиць і діаграм;
- моделювання розвитку екологічної ситуації в різних умовах, залежно від кліматичних факторів, характеристик забруднень та рівня фонових концентрацій;
- отримання узагальненої оцінки стану об'єктів природного середовища на основі різномірної інформації.

Екологічні проблеми часто потребують швидкого реагування, а ефективність заходів напряду залежить від своєчасної обробки та подання даних. У комплексному екологічному підході значну роль відіграють обсяги первинної інформації, які повинні бути достатніми для обґрунтованих висновків.

Просте накопичення даних не забезпечує належної ефективності: інформація має бути структурованою, доступною та систематизованою відповідно до потреб дослідження. Важливо мати можливість поєднувати різномірні дані, порівнювати їх, аналізувати та візуалізувати у наочному форматі — у вигляді таблиць, схем, карт, діаграм або креслень.

Організація даних, їх візуалізація, аналіз та інтерпретація залежать від досвідченості та підходів дослідника, а також від технічних засобів, які він використовує. На етапі обробки даних важливу роль відіграє апаратне та програмне забезпечення, яке дозволяє ефективно вирішувати поставлені завдання. Сучасні геоінформаційні системи є потужним інструментом для

створення карт основних параметрів довкілля і широко використовуються у всьому світі для моніторингу та управління природними ресурсами.

Геоінформаційна система є потужним інструментом для аналізу навколишнього середовища та вивчення окремих видів флори та фауни в просторовому та часовому контекстах.

Якщо визначено конкретні умови для існування певного виду тварин, такі як наявність пасовищ, місць для розмноження, кормових ресурсів, джерел води, вимоги до чистоти навколишнього середовища, геоінформаційна система дозволяє швидко виявити регіони з оптимальними параметрами для підтримки або відновлення популяції цього виду.

На етапі адаптації нового виду до нових умов геоінформаційна система є ефективним інструментом для моніторингу наслідків заходів, оцінки їх ефективності, виявлення проблем та пошуку шляхів їх вирішення. Інтегровані функції геоінформаційної системи сприяють успішному проведенню міждисциплінарних досліджень, об'єднуючи різні типи даних для їх відображення на картографічних зображеннях.

До таких досліджень відносяться, наприклад: – аналіз впливу різноманітних факторів (природних, демографічних, економічних) на здоров'я населення; – кількісна оцінка впливу параметрів навколишнього середовища на стан локальних і регіональних екосистем; – оцінка доходів землевласників в залежності від типів ґрунтів, кліматичних умов, відстані від міст; – визначення чисельності та щільності ареалів рідкісних видів рослин залежно від висоти місцевості, нахилу та експозиції схилів.

Геоінформаційна система спрощує процес публікації картографічної продукції різних видів. Використовуючи вбудовану мову програмування (наприклад, ARC/INFO ARC Macro Language (AML)), можна розробляти програми для автоматичного створення різноманітних карт, графіків, діаграм і таблиць. Прості програмні продукти, такі як ArcView GIS, дозволяють навіть недосвідченим користувачам переглядати та працювати з даними, що містяться в базах геоінформаційної системи. За допомогою таких інструментів будь-який

користувач може зчитувати та друкувати карти, збережені, наприклад, на CD-ROM у форматі ARC/INFO.

Оскільки створення паперових карт за допомогою геоінформаційних систем значно спрощене та дешевше, з'являється можливість отримати велику кількість різноманітних природних карт. Завдяки простоті копіювання та виробництва картографічної продукції, цю можливість можуть використовувати науковці, викладачі та студенти. Стандартизація формату карт і їх компоновання слугують основою для збору та демонстрації даних, обміну інформацією між навчальними закладами та створення єдиної бази даних на рівні регіонів і національному рівні.

Також можна розробляти спеціальні карти для землевласників, щоб ознайомити їх з планованими природоохоронними заходами, схемами буферних зон та екологічних коридорів, що можуть бути створені в даному районі та вплинути на їх земельні ділянки.

Джерелами оновленої інформації можуть бути результати наземних зйомок або дистанційні спостереження, здійснені з повітряного транспорту та космосу. Використання геоінформаційних систем є ефективним для моніторингу умов життя місцевих і привнесених видів, виявлення причинно-наслідкових зв'язків, оцінки позитивних та негативних наслідків природоохоронних заходів для екосистеми в цілому та її окремих компонентів, а також для прийняття оперативних рішень щодо коригування заходів залежно від змін зовнішніх умов. Таким чином, усі моніторингові дані повинні бути прив'язані до конкретних об'єктів. Важливо зазначити, що при роботі з конкретними об'єктами активно використовуються географічні інформаційні системи, які дозволяють працювати з різними цифровими картографічними матеріалами та оперативно доповнювати їх актуальними моніторинговими даними.

Отже, при використанні геоінформаційних систем всі дані на різних масштабах зберігаються на комп'ютерних носіях і можуть бути використані в подальшому.

Головною метою геообробки є надання інструментів і основ для виконання геоінформаційного аналізу та управління географічними даними. Можливості моделювання та аналізу, які забезпечує геообробка, роблять ArcGIS потужною та повноцінною геоінформаційною системою. Геообробка охоплює великий набір інструментів для вирішення різноманітних геоінформаційних завдань, від простих операцій, таких як побудова буферів і накладання полігонів, до більш складних, наприклад, регресійного аналізу та класифікації зображень.

Багато завдань, які потрібно автоматизувати, можуть бути досить простими, наприклад, перетворення даних з одного формату в інший. Однак є й такі завдання, що вимагають креативного підходу та послідовного виконання операцій моделювання і аналізу складних просторових відносин, зокрема: – розрахунок оптимальних маршрутів через транспортну мережу; – прогнозування поширення природних пожеж; – аналіз і виявлення закономірностей; – визначення територій, схильних до зсувів; – прогнозування повеней через зливи.

Геообробка базується на єдиному середовищі для перетворення даних. Кожен стандартний інструмент геообробки здійснює операції з набором даних в ArcGIS і створює новий набір даних як результат своєї роботи. Кожен інструмент виконує певну, але важливу операцію з географічними даними.

Геообробка дозволяє створювати ланцюжки інструментів, де результат роботи одного інструменту стає вхідними даними для наступного. Це дає змогу створювати нескінченну кількість моделей геообробки, що дозволяє автоматизувати процеси та вирішувати складні завдання.

Геостатистика є важливою складовою для аналізу та прогнозування просторових і просторово-часових явищ. Цей розділ статистики спеціалізується на роботі з даними, що містять просторові координати, і надає можливість оцінювати, як змінюються ці значення в різних точках простору.

Основні особливості геостатистики:

- Спочатку геостатистичні інструменти були розроблені для просторової інтерполяції даних, де вимірювання не проводились. Тепер вони також

надають інформацію про невизначеність результатів, що важливо для прийняття обґрунтованих рішень.

- Аналіз у геостатистиці пройшов еволюцію від простих одновимірних моделей до більш складних багатовимірних, що дозволяють враховувати додаткові дані для створення точніших прогнозів.

Геостатистика широко застосовується в різних галузях, включаючи:

- Гірничодобувна галузь: Оцінка обсягів мінеральних ресурсів і прийняття рішень щодо економічної рентабельності проектів. Регулярне оновлення даних дозволяє визначати, які породи підлягають обробці, а які є відходами.
- Екологія та науки про навколишнє середовище: Оцінка рівня забруднення і його впливу на екологію та здоров'я людини. Геостатистика допомагає визначити, чи потребує забруднення усунення.
- Ґрунтознавство: Використовується для картування рівнів поживних речовин в ґрунті (наприклад, азот, фосфор, калій) та вивчення їх зв'язку з урожайністю, а також для розрахунку оптимальних доз добрив.
- Метеорологія: Прогнозування температури, опадів і інших погодних явищ, таких як кислотні дощі.

Геостатистика дозволяє створювати моделі, які не тільки дають точні прогнози, але й дозволяють оцінювати ризики та невизначеність, що є важливим аспектом для прийняття інформованих рішень у багатьох наукових і прикладних областях.

Методи геостатистики, доступні в додатку Geostatistical Analyst для ArcGIS, дозволяють створювати просторові моделі для оцінки значень, що знаходяться поза місцями вимірювань, а також визначати ступінь невизначеності цих оцінок. Основний процес застосування геостатистичних методів починається з ретельного аналізу даних. На першому етапі здійснюється картографування даних, що дозволяє наочно відобразити важливі характеристики, такі як сильні просторові тренди або аномалії, які можуть виникнути через неправильний вибір масштабу або методів збору даних. Крім

того, важливо виявити щільно зібрані зони, де можуть бути потрібні методи дефляції або декластеризації для коректного інтерполяційного аналізу.

Наступним етапом є побудова геостатистичної моделі, яка залежить від попереднього дослідження даних. Модель може включати кілька етапів, таких як попередня обробка для видалення просторових трендів, трансформація даних для досягнення відповідності нормальному розподілу та декластеризація для компенсації нерівномірного вибору даних. Важливо не лише покладатися на самі дані, а й враховувати додаткові відомості про явище, що вивчається, для налаштування моделі та досягнення більш точних результатів.

Одним з ключових аспектів геостатистичних методів є оцінка невизначеності інтерпольованих значень. Це дозволяє отримати не тільки прогнози для певних точок, а й зрозуміти, як ці значення можуть змінюватися в залежності від умов. Такий підхід є важливим для прийняття обґрунтованих рішень, оскільки він надає точніші та надійніші дані для подальшого використання. Геостатистичні методи застосовуються в таких галузях, як екологія, гірничодобувна промисловість, сільське господарство, метеорологія.

1.3 Сучасні підходи до використання ГІС у моніторингу довкілля

Згідно з призначенням, геоінформаційна система (ГІС) є інформаційною системою, що забезпечує збирання, зберігання, обробку, доступ, відображення і поширення просторово-орієнтованих даних. Це система, яка дозволяє працювати з даними, прив'язаними до конкретних географічних точок чи територій.

З точки зору програмно-інформаційної реалізації, ГІС складається з електронних карт, баз даних, що містять інформацію про об'єкти на карті, та програмного забезпечення, яке дозволяє зручно працювати з картами і даними в інтегрованій системі.

ГІС-технологія — це технологічна основа для створення таких систем, що дозволяє реалізувати їхні функціональні можливості. Розвиток ГІС-технологій є важливим напрямком в застосуванні сучасних досягнень

обчислювальної та космічної техніки в різних сферах, таких як господарство, оборона, охорона навколишнього середовища, наука і управління.

В світі вже функціонують сотні тисяч геоінформаційних систем, і завдяки постійному вдосконаленню технічних засобів, розвитку нових технологій і міжнародному співробітництву в створенні глобальних систем дослідження Землі, ГІС-технології стають дедалі важливішими в екологічній діяльності, зокрема в організації та експлуатації систем моніторингу навколишнього середовища.

Важливо, що в рамках ГІС досліджується не тільки географічна інформація, а й всі процеси та явища на земній поверхні, в економіці та у суспільстві (рис. 1.2).

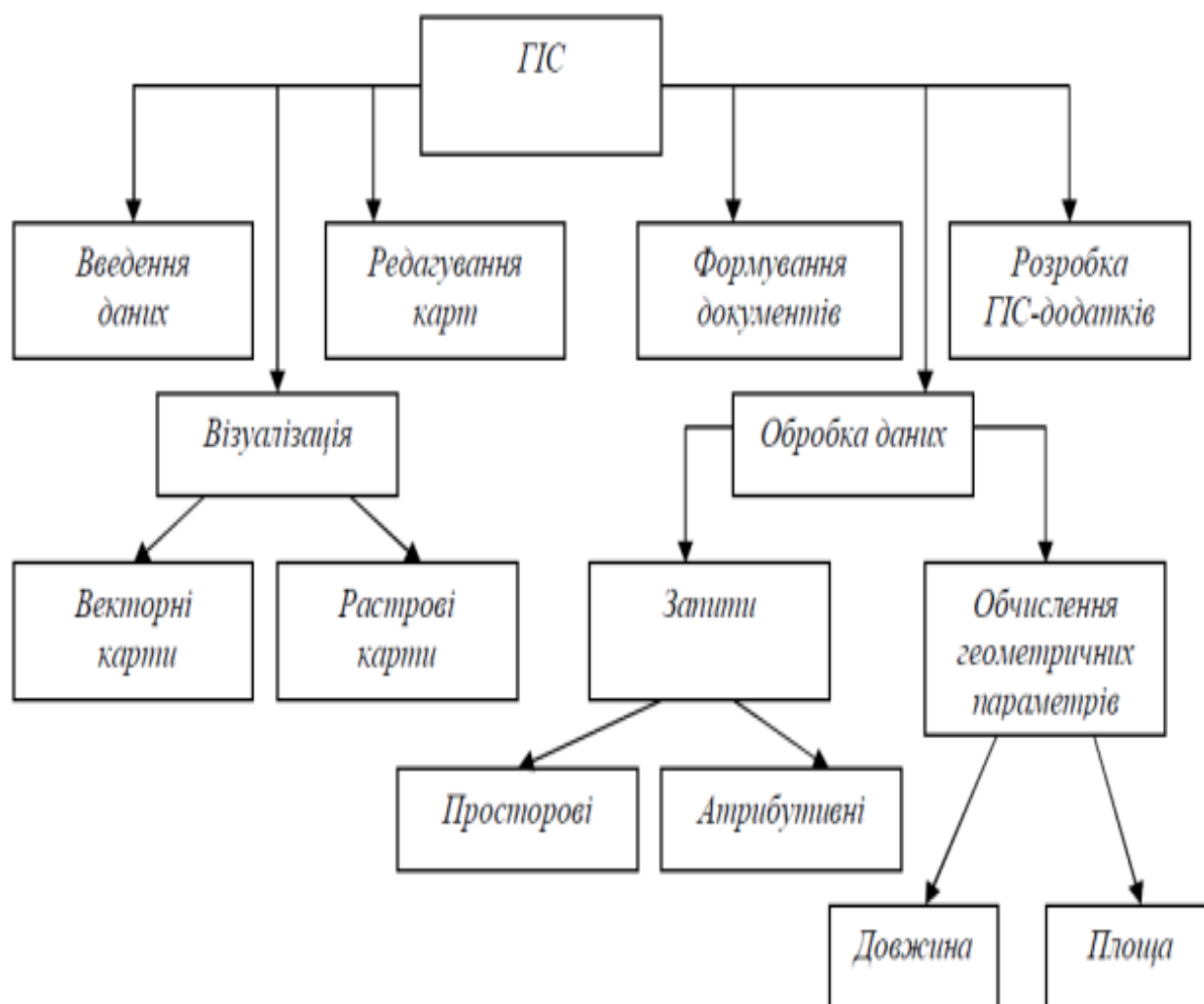


Рисунок 1.2 – Основні функції ГІС

Основою структури геоінформаційної системи (ГІС) є набір інформаційних шарів. Кожен шар представляє собою сукупність однотипних просторових об'єктів, що належать до певної теми або класу об'єктів на визначеній території та мають спільну систему координат для позиціонування. При створенні ГІС важливо правильно вибрати базові шари, які в подальшому будуть використовуватись для об'єднання та узгодження всіх даних системи.

У практичному застосуванні ГІС-технологій виникає низка проблем. Однією з основних є вибір програмної оболонки ГІС, або ГІС-пакета. Стандартні ГІС-пакети, такі як ArcGIS або MapInfo, є складними і дорогими продуктами, освоєння яких вимагає високого рівня знань та навичок. Тому для навчальних цілей можуть бути використані більш прості в'юери, наприклад ArcExplorer або MS Map, що входять до складу MS Office.

До обов'язкових ознак ГІС відносять:

- просторову (координатну) прив'язку даних;
- відображення просторово-часових зв'язків об'єктів;
- наявність інформації у базах даних про об'єкти карт;
- можливість оперативного оновлення баз даних;
- створення нової інформації шляхом аналізу та синтезу наявних даних;
- забезпечення наукової підтримки прийняття управлінських рішень.

На етапі створення запропонованої геоінформаційної системи (ГІС) важливо передбачити можливість оцінки її ефективності, зокрема в контексті вирішення поставлених завдань. Ефективність ГІС можна оцінити за кількома критеріями: відповідністю її призначенню, досягнутими результатами при використанні за призначенням, а також витратами на створення і експлуатацію системи. Це дозволяє визначити, наскільки система відповідає вимогам та чи є її використання доцільним з точки зору економічної та практичної ефективності.

Головною проблемою у освоєнні ГІС-технологій є відсутність достатньої кількості електронних карт з відповідними атрибутивними даними, які поширюються безкоштовно. Новітні технології дозволяють створювати нові напрямки в картографії, такі як цифрове картографування та формування

картографічних банків даних, які відображають реальний світ. Географічні інформаційні системи та картографічні банки даних і знань стали основою для розвитку геоінформаційного картографування.

Методи спостереження за елементами навколишнього середовища поділяються на дві основні групи:

-Контактні методи спостережень і вимірювань включають безпосередні вимірювання або вимірювання параметрів стану навколишнього середовища через попередній відбір проб.

-Дистанційні методи зондування Землі (ДЗЗ) є неконтактними методами вимірювань, де прилади, які використовуються для збору даних, знаходяться на відстані від об'єктів, що досліджуються. Зазвичай ці прилади встановлюються на авіаційних або космічних носіях, але можливе їх розміщення на інших носіях, наприклад, на плавучих засобах для дослідження акваторій.

Методи дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) з космосу мають кілька ключових переваг:

- Висока оглядовість дозволяє одночасно отримувати інформацію про великі території.
- Перехід до неперервного просторового розподілу показників з можливістю одержання більш детальних даних порівняно з дискретними вимірюваннями в окремих точках.
- Отримання даних з важкодоступних районів, де неможливо здійснити прямі вимірювання.
- Високий ступінь генералізації інформації, що дозволяє ефективно аналізувати великі масиви даних.

Ці переваги найбільш помітні в сфері глобального моніторингу, де важлива оглядовість і генералізація даних, а також для національного моніторингу країн з великими територіями. Водночас, методи ДЗЗ також можуть бути корисними для регіонального моніторингу, де вони успішно доповнюють контактні методи вимірювання і в деяких випадках навіть можуть їх перевершувати за інформативністю.

Сучасні ГІС-пакети (ArcGIS, Mapinfo, мають спеціальні програмні інструменти для автоматизованого нанесення об'єктів на карту заданим умовним позначенням за координатами, що надходять із приймачів GPS, які в свою чергу, мають можливість передавання координат у комп'ютер без дублювання їх вручну. При використанні GPS-пристроїв слід пам'ятати, що вони, як правило, не забезпечують визначення координат всередині приміщення – їм заважає бетон, метал, навіть густі гілки дерев. Якщо супутники недоступні, GPS-пристрій показує координати місця, де він ті супутники востаннє ідентифікував

В сучасній системі моніторингу довкілля важливу роль відіграють GPS-приймачі, які, у поєднанні з ГІС-технологіями та методами ДЗЗ, значно покращили картографування об'єктів та явищ у природному середовищі.

Для електронних карт регіонального моніторингу стандартними масштабами є 1:100 000 та 1:200 000, що забезпечує точність координат на рівні 10 і 20 метрів відповідно. Враховуючи, що навіть найдешевші GPS-пристрої можуть забезпечити точність на рівні 10-20 метрів, це робить їх зручними для таких завдань. Проте сучасні GPS-пристрої часто мають вищу точність, що дозволяє ще більш детально і точно здійснювати моніторинг.

2. Методика використання ГІС для екологічного моніторингу

2.1. Етапи створення ГІС-проєкту для моніторингу

Створення ГІС-проєкту для моніторингу включають кілька ключових кроків, які забезпечують ефективне впровадження технології в процес спостереження та оцінки стану навколишнього середовища. Спочатку необхідно визначити мету моніторингу, що включає конкретні завдання, які повинні бути вирішені за допомогою ГІС. Після цього важливо провести попередній збір та аналіз даних, що дозволить визначити джерела інформації, її типи, а також забезпечити якість та точність зібраних даних. На наступному етапі створюється модель ГІС, яка включає бази даних, карти та інструменти для їх обробки. Після цього здійснюється інтеграція даних з різних джерел у єдину систему, що дозволяє проводити комплексний аналіз. Важливим етапом є тестування системи на предмет коректності роботи, а також оцінка її здатності до вирішення поставлених завдань. Завершальним етапом є впровадження ГІС в роботу, де забезпечується навчання користувачів, а також постійне оновлення даних для підтримки актуальності інформації.

На методологічному рівні створення ГІС для моніторингу докiлля базується на системному підході, який передбачає аналіз об'єкта дослідження як частини складної, цілісної системи, що складається з підсистем, між якими існують функціональні зв'язки. Цей підхід дозволяє забезпечити узгодженість різних компонентів системи та їх взаємодію, що є критичним для ефективного проєктування та використання ГІС.

Системний підхід в контексті ГІС моніторингу докiлля включає кілька взаємопов'язаних аспектів. Перший з них — наукове використання комп'ютерних технологій, що сприяє автоматизації процесів збору, обробки та систематизації інформації, а також виведення результатів. Це забезпечує ефективну організацію роботи в ГІС. Другий аспект — методологія та методика проєктування, розробки та експлуатації ГІС. Це реалізується через поєднання

різних наукових методів, принципів і практичних алгоритмів на всіх етапах створення системи.

Окрім того, важливим є створення концептуальної та методичної основи для формування єдиної системи картографічних моделей. Ці моделі, що можуть варіюватися за типами класифікацій, є основним результатом геоінформаційного моніторингу навколишнього середовища, даючи можливість детально аналізувати стан екосистем у цілому та за конкретними компонентами.

Застосування ГІС для вирішення різних завдань, у різних організаційних схемах і з різними вимогами, вимагає індивідуального підходу до процесу проектування. Процес проектування ГІС можна розглядати через п'ять основних етапів.

Перший етап — аналіз системи прийняття рішень. На цьому етапі необхідно визначити всі типи рішень, для прийняття яких потрібна інформація. Важливо врахувати потреби на кожному рівні і для кожної функціональної сфери, що беруть участь у процесі.

Другий етап — аналіз інформаційних вимог. Тут визначається, який саме тип інформації необхідний для прийняття кожного рішення. Це дозволяє чітко сформулювати вимоги до даних, що будуть використовуватися в системі.

Третій етап — агрегування рішень, тобто угруповання завдань, для яких потрібна одна й та ж інформація для прийняття рішень. Цей етап дозволяє створити більш структуровану систему збору та обробки інформації.

Четвертий етап — проектування процесу обробки інформації. На цьому етапі розробляється реальна система збору, зберігання, передачі та модифікації інформації. Важливо врахувати можливості персоналу в контексті використання обчислювальної техніки та програмного забезпечення, яке буде використовуватися для обробки даних.

П'ятий етап — проектування та контроль над системою. Це заключний етап, на якому створюється і впроваджується сама система. Оцінюється її працездатність з різних точок зору, і при необхідності здійснюється

коригування. Важливо, щоб система була гнучкою та адаптованою до змін, оскільки будь-яка система має свої недоліки.

Геоінформаційні технології покликані автоматизувати трудомісткі операції, що раніше потребували значних витрат часу, енергії та психологічних ресурсів від людини. Однак різні етапи технологічного ланцюга можуть піддаватися більшому чи меншому рівню автоматизації, що залежить від правильної постановки вихідних завдань.

Важливими етапами також є формулювання вимог до використовуваних інформаційних продуктів і вихідних матеріалів. Наприклад, це може стосуватися вимог до роздрукованих карт, таблиць або документів, а також до можливості пошуку і обробки цих документів. Для цього створюється документ під умовною назвою «Загальний список вхідних даних».

Наступним кроком є визначення пріоритетів і черговості створення системи з урахуванням таких параметрів, як територіальне охоплення, функціональне охоплення та обсяг даних. Це допоможе ефективно спланувати процес створення ГІС і забезпечити максимальне використання даних на всіх етапах.



Рис 2.1 Динаміка застосування методології розробки системи геоінформаційного моніторингу довкілля

Застосування методології розробки системи геоінформаційного моніторингу докільля ґрунтується на певних принципах, які можна поділити на дві основні групи. Перша група включає регламентні принципи, що визначають основи створення та функціонування ГІС моніторингу:

- Принцип об'єктивності, що узгоджується з характеристикою об'єкта та предмета моніторингу навколишнього середовища. Це забезпечує точність і достовірність результатів.

- Принцип систематичності спостережень за станом довкілля, що передбачає чітке визначення інтервалів, термінів і періодів спостережень, обґрунтованих на теоретичному рівні.

- Принцип багаторівневості, що стосується територіальних рівнів збору, систематизації та подання результатів моніторингу навколишнього середовища.

- Принцип узгодженості нормативного й методичного забезпечення, що означає розробку методик відповідно до вимог регламентних документів, зокрема на рівні державної системи екологічного моніторингу (ДСМД) та регіональних екологічних програм.

- Принцип узгодженості програмного та технічного забезпечення, що полягає в сумісності обраних програмних продуктів із технічними вимогами (операційні системи, пам'ять комп'ютера) для забезпечення ефективної роботи ГІС.

- Принцип інтероперабельності, що стосується здатності геоінформаційних ресурсів і технічних засобів взаємодіяти в середовищі ГІС, зокрема здатності адаптуватися до різних апаратних баз і програмних забезпечень.

- Принцип оперативності проходження інформації між ланками системи, який забезпечується через комунікаційні канали і функціонал ГІС.

- Принцип відкритості інформації для населення, який передбачає загальнодоступність даних і інтеграцію ГІС моніторингу в національну інфраструктуру геопросторових даних (НІГД), що дозволяє полегшити доступ

до даних і генерувати необхідні документи, включаючи картографічні матеріали, для аналізу стану навколишнього середовища та прогнозування.

Другу групу принципів для створення ГІС моніторингу довкілля складають принципи, які забезпечують необхідний стан інформації на різних етапах роботи системи. Це включає такі принципи:

- Принцип повноти інформації, що означає необхідність охоплення всіх складових реальної дійсності, які підлягають моніторингу, щоб забезпечити всебічне розуміння екологічної ситуації.
- Принцип достовірності, який визначає правильність сприйняття інформації, її точність та безпомилковість, що дає можливість користувачам бути впевненими у правильності наданих даних.
- Принцип сучасності, що полягає в необхідності забезпечення актуальності інформації для її використання у ГІС, оскільки лише своєчасні дані можуть бути корисними для оперативних рішень.
- Принцип комплексності в оцінці екологічної інформації, що виявляється в картографічному охопленні всіх ієрархічних територіальних рівнів моніторингу, від національного до локального рівня. Це дозволяє забезпечити більш точне уявлення про стан довкілля на різних масштабах.
- Принцип багатоваріантності представлення результатів, що передбачає можливість різнобічної оцінки екологічних ситуацій та представлення результатів через кілька варіантів. Це може включати використання різноманітних даних, систем чи алгоритмів для однієї і тієї ж екологічної ситуації, що дозволяє отримати різні інтерпретації результатів з урахуванням точності та надійності отриманих даних. Багатоваріантність також включає можливість використання різних способів картографічного зображення для надання точних і достовірних результатів геоінформаційного картографування. На рисунку 2.2 показано етапи створення проєкту ГІС в програмному забезпеченні ArcGIS

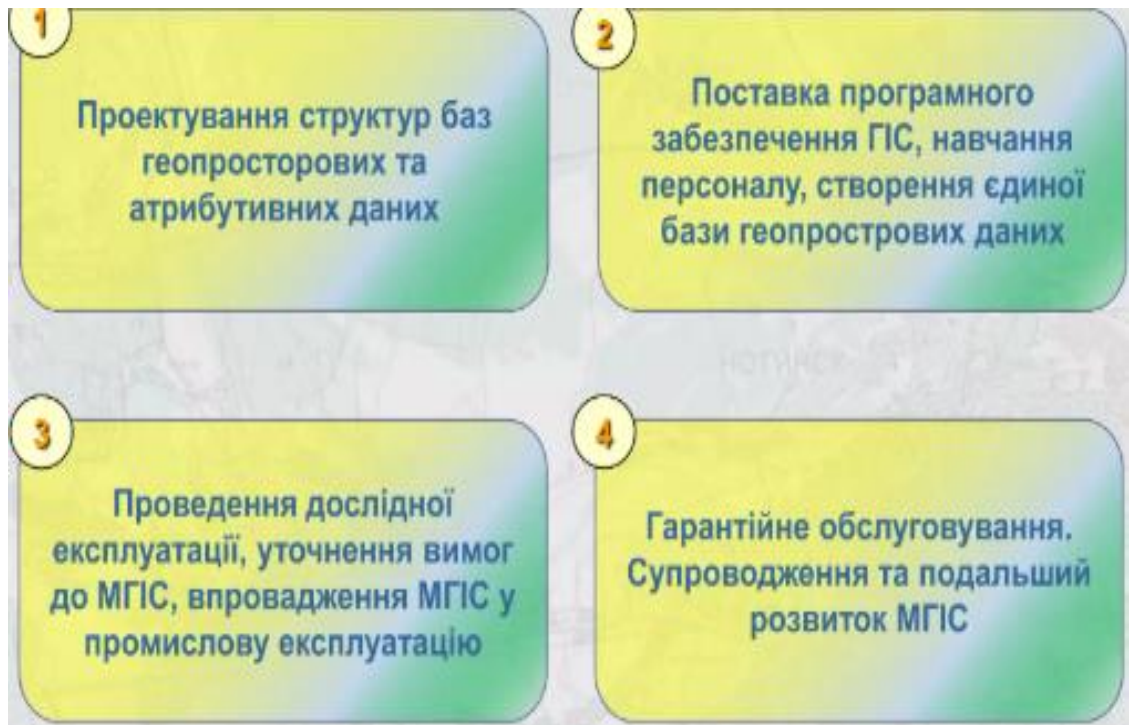


Рисунок 2.2 Етапи створення проекту ГІС в програмному забезпеченні ArcGIS

ArcGIS є комплексною системою, яка дозволяє збирати, організувати, керувати, аналізувати, обмінюватися і розподіляти географічну інформацію. Будучи світовим лідером серед платформ для побудови і використання геоінформаційних систем (ГІС), ArcGIS використовується людьми по всьому світу для застосування географічних знань у практичній сфері державного управління, бізнесу, науки, освіти та ЗМІ. Платформа ArcGIS дозволяє публікувати географічну інформацію для доступу і використання будь-якими користувачами. Система доступна в будь-якій точці, де можливе використання веб-браузерів, мобільних пристроїв у вигляді смартфонів, а також настільних комп'ютерів.

ArcGIS побудований на базі даних геоданих, що використовує об'єктнореляційний підхід для зберігання просторових даних. Ця база даних служить "контейнером" для наборів даних, що зв'язують просторові функції з атрибутами. База геоданих може також зберігати інформацію про топологію, яка дозволяє моделювати поведінку просторових об'єктів, таких як перехрестя доріг, з правилами, що визначають відношення між цими об'єктами.

Для роботи з базами даних геоданих важливо розуміти класи функцій, які представлені точками, лініями або багатокутниками. Кожен формфайл може містити тільки один тип функцій, проте база геоданих здатна зберігати кілька класів функцій або типів функцій в одному файлі.

Бази даних геоданих в ArcGIS можуть бути представлені трьома типами: "файлова база даних геоданих", "особиста база даних геоданих" або "корпоративна база даних геоданих" (раніше відома як SDE або ArcSDE). Файлова база даних, яка була введена в ArcGIS версії 9.2, зберігає дані в папці з іменем .gdb. Вона має подібну до покриття структуру, але насправді є більш складною. Ця база дозволяє працювати з кількома користувачами, має майже не обмежений розмір (не більше 1 ТБ на таблицю за замовчуванням) і не має великих обмежень по розміру даних, що дозволяє зберігати великі обсяги просторових даних.

Особисті бази даних геоданих зберігають дані у форматі Microsoft Access, використовуючи поле BLOB для зберігання геометричних даних. Цей тип файлів можна обробляти за допомогою бібліотеки OGR для конвертації в інші формати файлів. Однак ці бази мають обмеження розміру 2 ГБ і працюють лише в операційних системах Windows. Вони також дозволяють здійснювати адміністрування бази, включаючи управління користувачами і резервне копіювання, через ArcCatalog або ArcGIS Pro.

Корпоративні бази даних геоданих використовуються в багатокористувацьких середовищах і засновані на потужних системах управління базами даних (СУБД) таких, як PostgreSQL, Oracle, Microsoft SQL Server, DB2 і Informix. Вони керують аспектами управління базами даних, тоді як ArcGIS займається управлінням просторовими даними, що забезпечує масштабованість і ефективність в обробці великих обсягів даних.

Користувачі можуть використовувати ArcGIS Online для розширення можливостей ArcGIS для робочого столу, ArcGIS для сервера, додатків ArcGIS та API ArcGIS та SDK для виконання. Користувачі також можуть додавати багато типів карт, шарів, додатків, інструментів та файлів до ArcGIS Online. Можна додавати шейп-файли, електронні таблиці, файли KML, сервіси OGC

WMS и WMTS, кешовані картографічні сервіси, файли GeoRSS и GPS, а також легко комбінувати дані та карти, надані іншими користувачами. Esri регулярно оновлює галерею базових карт за допомогою ресурсів комерційних постачальників даних з усього світу. На основі даних організації легко створити веб-сервіси, щоб будуть доступними для усіх співробітників організації. Публікація даних в захищеному хмарному середовищі Esri у вигляді кешованих або динамічних сервісів відповідає всім сучасним стандартам захисту інформації із збереженням авторських прав. Організація за бажанням може надати доступ до різних даних лише співробітникам організації, або робити їх загальнодоступними. Дані з різних джерел можна перетворити в інформативні інтерактивні карти. Організація може використовувати не тільки власні дані, але й дані сторонніх організацій, до яких має доступ. Можна налаштовувати зовнішній вигляд карт, додавати умовні позначення та спливаючі вікна, що містять графіки, фото- та відеоматеріали, гіперпосилання, щоб зробити карту ще більш інформативною і зручною в роботі.

2.2 Технології дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) у екологічному моніторингу

Системи дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) є сучасними технологіями, які дозволяють спостерігати та вимірювати енергетичні й поляризаційні властивості власного та відбитого випромінювання від поверхні Землі, океанів та атмосфери. Це відбувається у різних діапазонах електромагнітних хвиль, що дозволяє ефективно описувати місце розташування, характер та часову мінливість природних параметрів, явищ, ресурсів Землі, а також антропогенних об'єктів і процесів.

Сьогодні значний прогрес у розвитку обчислювальної техніки та математично-програмного забезпечення сприяє значному спрощенню завдань ДЗЗ. Завдяки цьому інформація, отримана з космічних супутників, стала доступною не тільки спеціалізованим підприємствам, а й широкому загалу

користувачів, які вивчають і аналізують дані про навколишнє середовище та його зміни.

Доступність методів обробки, інтерпретації та поширення даних ДЗЗ, а також вторинної обробки результатів, стала важливим фактором розвитку цієї галузі. Тепер дистанційне зондування є важливим інструментом для моніторингу природних ресурсів, екологічної оцінки, планування територій та дослідження кліматичних змін.

На сьогодні десятки країн активно розробляють та експлуатують власні космічні апарати ДЗЗ або купують відповідні технології у провідних світових лідерів цієї галузі, таких як США, Франція, Канада, Індія та Європейське космічне агентство. Ця співпраця дозволяє глобально обмінюватися інформацією та розширювати можливості використання ДЗЗ для вирішення нагальних екологічних та економічних завдань.

Дистанційне зондування Землі (ДЗЗ) є одним з пріоритетних напрямків космічної діяльності України. Стрімкий розвиток засобів та технологій прийому, обробки, зберігання та передачі інформації дистанційного зондування Землі забезпечується:

- розвитком ГІС-технологій на основі інформації дистанційного зондування Землі, що отримана з космічних супутників;
- розширенням можливостей доступу споживачів до інформації дистанційного зондування Землі через локальну мережу Інтернет;
- збільшенням можливостей зберігання інформації дистанційного зондування Землі та результатів її обробки;
- збільшенням об'ємів та номенклатури продуктів обробки інформації, яка отримана з космічних супутників;
- впровадженням сучасних методів сумісної комп'ютерної обробки різного виду інформації (оптико-електронної, радіолокаційної та ін.), яка отримується від космічних супутників у різний час;
- розширенням мережі станцій прийому в реальному масштабі часу інформації дистанційного зондування Землі;

- розвитком мережі зв'язку та збільшення їх пропускну́ї здатності для забезпечення оперативного використання територіально розподіленої бази даних.

Розвиток української космічної системи дистанційного зондування Землі має здійснюватися з урахуванням світових тенденцій розвитку цієї галузі.

Під час дистанційного дослідження поверхні Землі джерелом інформації про об'єкти є їхнє випромінювання, яке може бути як власним, так і відбитим.

Випромінювання поділяється на два види: природне та штучне. Природне випромінювання включає природне освітлення поверхні Землі сонячним світлом або теплове випромінювання самої Землі. Штучне випромінювання утворюється, коли об'єкт освітлюється спеціальним джерелом для реєстрації випромінювання приладом.

Електромагнітне випромінювання складається з хвиль різної довжини, що охоплюють діапазон від рентгенівських до радіохвиль. У екологічних дослідженнях використовується обмежена частина спектра — від оптичних хвиль до радіохвиль із довжинами від 0,3 до 3 метрів.

Особливістю дистанційного зондування є наявність проміжного середовища між об'єктами та реєструючими приладами, що впливає на якість отриманого випромінювання. Основними чинниками цього середовища є атмосферна товща і хмарність.

Атмосфера Землі здатна поглинати електромагнітне випромінювання на певних довжинах хвиль. Проміжки спектра, у яких випромінювання не поглинається атмосферою, називаються **"атмосферними вікнами"**. Саме завдяки цим проміжкам можливе отримання зображень поверхні Землі за допомогою дистанційного зондування. На схемі (рисунок 2.3) блакитним кольором позначено ділянки спектра, що поглинаються атмосферою, а жовтим — "атмосферні вікна", через які можна реєструвати супутникові зображення.

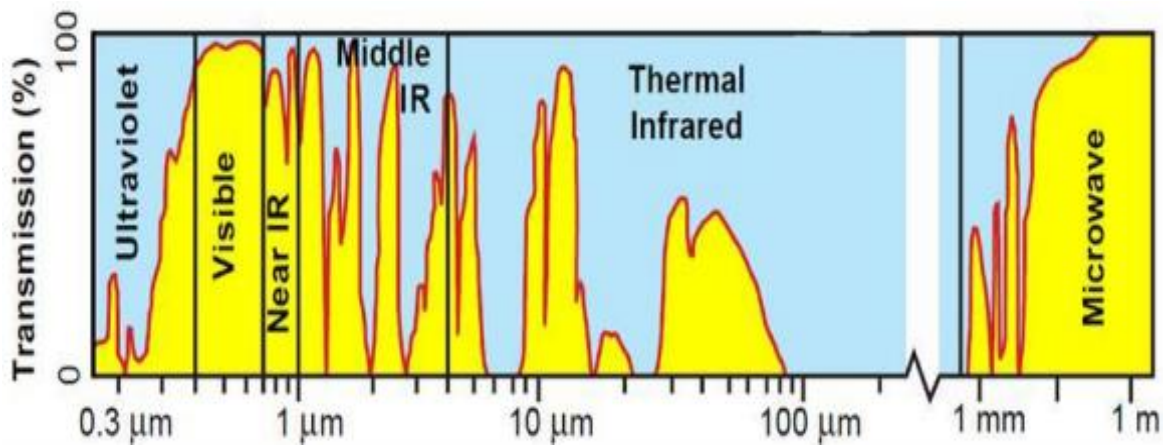


Рис.2.3 – Атмосферні вікна

Усі знімальні системи функціонують виключно в тих спектральних діапазонах, які відповідають вікнам прозорості атмосфери.

Сьогодні актуальним є впровадження сучасних методів дистанційного зондування Землі на основі супутникових даних та програмного забезпечення, що дозволяє автоматизувати процес аналізу отриманої інформації. Такі дослідження можуть стати основою для розробки систем моніторингу стану рослинного покриву на певних територіях.

Зокрема, у межах цієї роботи обрана методика була застосована для аналізу динаміки стану рослинних угруповань на території Чорнобильської зони. На її основі можна створити інформаційну моніторингову систему, що дозволить визначати загальну площу рослинного покриву досліджуваної території, оцінювати його якісний стан і показники продуктивності, а також прогнозувати зміни цих показників у часі [15].

Технології дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) є важливим інструментом для моніторингу ґрунтового покриву та управління земельними ресурсами. Вони забезпечують можливість отримання актуальної інформації про стан ґрунтів, їхні зміни та деградаційні процеси на досліджуваних територіях. Завдяки супутниковим даним можна ефективно картографувати ґрунти, визначати їхні фізичні та хімічні характеристики, а також оцінювати рівень ерозії, засолення та зниження родючості.

Супутникові знімки дозволяють виявляти деградацію земель, спричинену ерозією, опустелюванням або інтенсивною сільськогосподарською

діяльністю. Зокрема, мультиспектральна та гіперспектральна зйомка допомагає аналізувати спектральні характеристики ґрунтів і визначати їхній якісний стан, а радарні дані дозволяють моніторити вологість ґрунтів незалежно від погодних умов. Технологія лазерного сканування (LiDAR) забезпечує моделювання рельєфу, що допомагає виявляти ерозійно-небезпечні ділянки.

Моніторинг земельних ресурсів за допомогою ДЗЗ дозволяє оцінювати зміни землекористування, зокрема вирубку лісів, розширення сільськогосподарських площ та урбанізацію. Систематичний аналіз супутникових даних сприяє виявленню впливу сільськогосподарської діяльності на ґрунти, наприклад, забруднення пестицидами або втратою органічного вмісту.

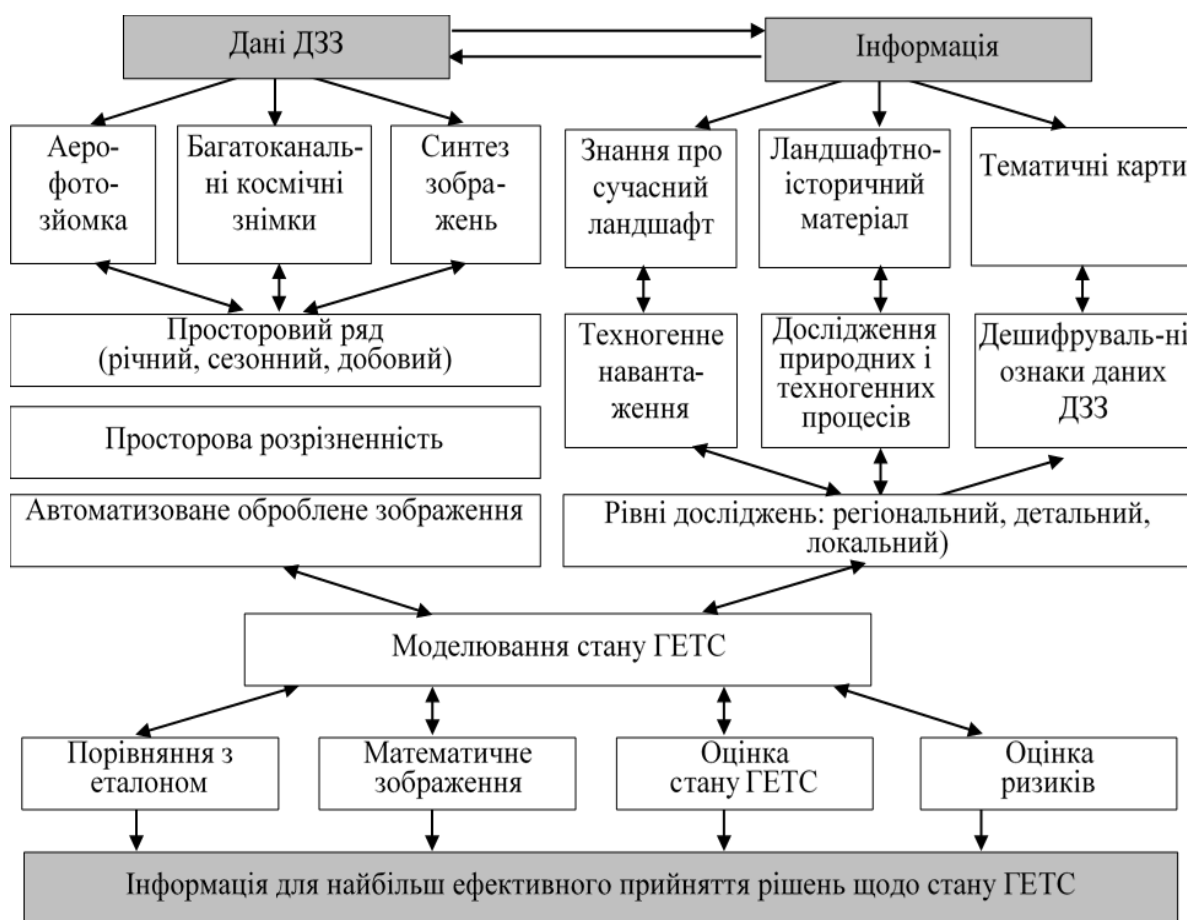
Геоінформаційні системи (ГІС) у поєднанні з даними ДЗЗ дають змогу автоматизувати процес аналізу, створювати тематичні карти ґрунтів і прогнозувати динаміку їхнього стану. Зокрема, використання індексів, як-от NDVI для рослинності чи SAVI для ґрунтів, дозволяє отримати кількісні показники змін у покритті територій.

Таким чином, технології ДЗЗ відкривають нові можливості для моніторингу ґрунтового покриву та управління земельними ресурсами. Вони допомагають визначати деградаційні процеси, прогнозувати зміни та впроваджувати заходи для раціонального використання земель. Це є необхідним для підтримки родючості ґрунтів, запобігання екологічним ризикам і забезпечення сталого розвитку природних ресурсів.

2.3 Аналіз супутникових даних як основа створення ГІС

Космічні технології є ідеальний засіб глобального, постійного та надійного екологічного моніторингу навколишнього природного середовища. Передусім це оповіщення, гідрологія, картографування, ведення лісового та сільського господарства, радіаційна й хімічна розвідка, а також передавання отримуваних даних.

Особлива увага приділяється використанню супутникових даних у геоінформаційних системах (ГІС), де результати дистанційного зондування Землі з космосу постійно оновлюються і є важливим джерелом даних для створення природничо-ресурсних кадастрів та інших застосувань, що охоплюють різноманітні масштаби (від 1:2 000 до 1:10 000 000). Кожен аерокосмічний знімок містить два типи інформації: вимірювальну та семантичну [3]. Точність вимірювальної інформації залежить від фотограмметричної якості знімка, а обсяг семантичної інформації — від просторової та радіометричної роздільної здатності зображення, розміру кадру та інших факторів. Ці чинники визначають, що точність, повнота та надійність аерокосмічних даних про об'єкти зондування завжди мають певні обмеження. Схема дослідження геоекотехнічних систем за допомогою ДЗЗ, коли основним об'єктом вивчення є геозображення, представлена на рисунку 2.4



2.4 Схема вивчення геотехнічних систем за матеріалами ДЗЗ

Розроблений метод комплексного оцінювання ризиків життєдіяльності для умов можливих аварій на хімічно–небезпечних об'єктах з урахуванням негативного впливу екзогенних геологічних процесів орієнтований на здійснення кількісної оцінки ризиків.

Основна цінність геоінформаційних систем (ГІС) полягає в їхній здатності обробляти різномірну інформацію, що стає можливим завдяки використанню географічного (просторового) положення як загального ключа для всіх наборів даних. ГІС зазвичай представляють інформацію у вигляді карт, використовуючи символи для інтеграції даних з різних джерел у єдину географічну систему координат. За допомогою карти користувач може зрозуміти своє місцезнаходження, визначити розташування об'єктів і процесів, їх просторовий розподіл, способи доступу до них через автодороги або інші маршрути, а також побачити, що межує з цими об'єктами та що знаходиться поблизу. При інтерактивній роботі з картою на комп'ютері ГІС може також надавати нову інформацію, якої немає на карті, наприклад, зміни характеристик з часом, як-от вміст шкідливих речовин у ґрунті на певній території, чи знайти найефективніший маршрут для переміщення з однієї точки в іншу, змодельовати реакцію на новий об'єкт та визначити необхідні відновлення в системі. Ці можливості ГІС зумовлені тим, що географічні інформаційні системи, по суті, є системами керування базами даних, які здатні розпізнавати та обробляти просторові взаємозв'язки.

Для забезпечення моніторингу глобальних навігаційних супутникових систем та контролю за використанням їх інформації, Кабінет Міністрів України схвалив пропозицію Національної космічної агенції України (НКАУ) та Національної академії наук щодо створення державної мережі моніторингу глобальних навігаційних супутникових систем. Це було закріплено Постановою від 7 квітня 2003 року № 486 (рис. 2.5).



Рис. 2.5 Дані дистанційного зондування землі (ДЗЗ) у системі моніторингу довкілля

До державної мережі моніторингу глобальних навігаційних супутникових систем входять розташовані на території України пункти спостереження, що належать до сфери управління Національної космічної агенції, Національної академії наук, Міністерства екології та природних ресурсів, Міністерства освіти і науки, а саме:

- Астрономічна обсерваторія Національного університету «Львівська політехніка».
- Лабораторія космічних досліджень Ужгородського національного університету.
- Миколаївська астрономічна обсерваторія.
- Центр приймання і оброблення спеціальної інформації НКАУ та контролю за навігаційним полем Національного центру управління та випробувань космічних засобів, м. Дунаївці Хмельницької області.

- ВАТ «АТ "Науково-дослідний інститут радіотехнічних вимірювань"», м. Харків.
- Центр приймання інформації Державного науково-виробничого підприємства «Обрій», с. Слов'янка Чернігівської області.
- Головна астрономічна обсерваторія, Національна академія наук, м. Київ.
- Полтавська гравіметрична обсерваторія Інституту геофізики імені С. І. Суботіна

Основним завданням КосмоГІС є своєчасне та регулярне надання даних дистанційного зондування Землі для органів державного управління та моніторингу. Це включає надання результатів первинної тематичної обробки даних ДЗЗ, таких як космокарти, ортокосмокарти, тематичні карти, наприклад, з радіаційною температурою поверхні, а також результатів тематичної обробки даних із застосуванням наземної завірочної інформації, таких як тематичні карти або ГІС-проекти за запитами користувачів.

Супутникові дані дистанційного зондування Землі є важливим інструментом для вирішення різноманітних завдань контролю стану навколишнього середовища, серед яких:

- Визначення метеорологічних характеристик, таких як вертикальні профілі температури, інтегральні показники вологості, типи хмарності.
- Моніторинг динаміки атмосферних фронтів, ураганів і складання карт великих стихійних лих.
- Визначення температури підстилаючої поверхні та оперативний контроль за забрудненням ґрунтів і водних ресурсів.
- Виявлення великих або постійних викидів промислових підприємств.
- Виявлення великих пожеж і визначення зон підвищеного ризику пожеж у лісах.
- Виявлення теплових аномалій та викидів тепла від великих виробництв і теплових електричних станцій у мегаполісах.
- Моніторинг та прогнозування сезонних паводків і розливів річок.
- Виявлення і оцінка масштабів великих повеней.

Більшість процесів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) проводяться в камеральних умовах, ґрунтуючись на координатно-часовій системі, яка формується в результаті геодезичних робіт, та методах комп'ютерної обробки просторових даних. В результаті ДЗЗ отримують просторово-координовану інформацію у вигляді координат точок, оригіналів карт та планів різної точності і детальності, що можуть бути представлені як в аналоговій, так і в цифровій формах.

Картографія займається створенням та складанням видавничих оригіналів карт, планів та атласів різного змісту, призначення, точності та детальності, а також їх тиражуванням, як в аналоговому, так і в цифровому форматах. Картографічні процеси здійснюються здебільшого за допомогою комп'ютерної обробки просторово-координованих даних, отриманих в процесі геодезичних робіт, ДЗЗ та цифровізації карт.

Геоінформаційні системи (ГІС) дозволяють вивчати, аналізувати і моделювати навколишнє середовище з урахуванням просторових аспектів, оцінювати його стан і динаміку, прогнозувати можливі зміни та приймати просторові рішення на основі обробки просторово-координованої інформації.

Геоінформаційні процеси виконуються в камеральних умовах за допомогою комп'ютерної обробки просторово-координованих даних. В результаті геоінформаційної обробки формуються моделі геопростору різного призначення та змісту, аналітичні характеристики геопростору, а також просторові рішення, що використовуються для планування та управління територіями, функціонування об'єктів життєдіяльності людини, а також для ефективного використання природних ресурсів.

Зазвичай геометрична прив'язка знімків дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) здійснюється за допомогою топографічних карт, оскільки вони є доступними та забезпечують просторову коректність. Проте, у випадках, коли на карті відсутні вузлові поворотні пункти або коли картографічне зображення зазнало значних змін після публікації, топографічні карти стають непридатними.

В такому випадку можна застосувати технології GPS як ефективну альтернативу для отримання просторових даних в універсальній системі координат. Точкові, лінійні або полігональні дані можуть бути отримані в реальному часі або близько до нього. Дані опорних точок, отриманих на вибраних поворотних пунктах, можна використовувати для прив'язки аерокосмічних зображень до поверхні досліджуваної території. Однак, навіть точні GPS-дані, отримані на площині, не можуть замінити аерокосмічне зображення полігональних даних у 2D форматі.

Наведене свідчить, що технології ДЗЗ, ГІС, GPS внутрішньо доповнюють одна одну за своїми первинними функціями. Кожна з наведених технологій має свої обмеження. Проте при їх інтеграції відбувається синергетичний ефект, який дозволяє розширити галузі їх застосування. Наприклад, інтеграція GPS, ДЗЗ і ГІС у сполученні з наземними системами моніторингу виявилась надзвичайно ефективним засобом управлінського аналізу й одержання просторових даних для регіонального управління водними ресурсами [8]. Така інтеграція необхідна для ефективних методів вибіркового застосування пестицидів і добрив, підвищення ефективності землеробства і зменшення впливу на навколишнє середовище [9, 10]. Результати інтеграції перед усім необхідні для управління ресурсами і моніторингу навколишнього середовища, прийняття рішень при виникненні надзвичайних ситуацій і оперативного картографування. Інтеграція даних ДЗЗ, GPS і ГІС в загальному випадку може відбуватись за чотирма моделями: лінійною, діалоговою, ієрархічною і комплексною. Лінійна інтеграція є найбільш загальним випадком. Ієрархічна інтеграція найбільш доцільна при застосуванні у прецизійному землеробстві і моделюванні навколишнього середовища доцільна в умовах невизначеності, надзвичайних ситуаціях і оперативному картографуванні. Лінійна структура моделі передбачає різний рівень пріоритетів для трьох її компонентів. У цій моделі ГІС займає провідну роль, оскільки саме тут здійснюється весь просторовий аналіз.

Відповідно, система GPS підпорядкована і її основна функція полягає в наданні позиційних даних. Дані, що надходять від GPS, у базі ГІС не виділяються, оскільки між GPS і ГІС немає прямого зв'язку. Технології GPS у цій моделі виконують допоміжну роль, виступаючи своєрідною з'єднувальною ланкою між ДЗЗ і іншими даними в базі даних ГІС.

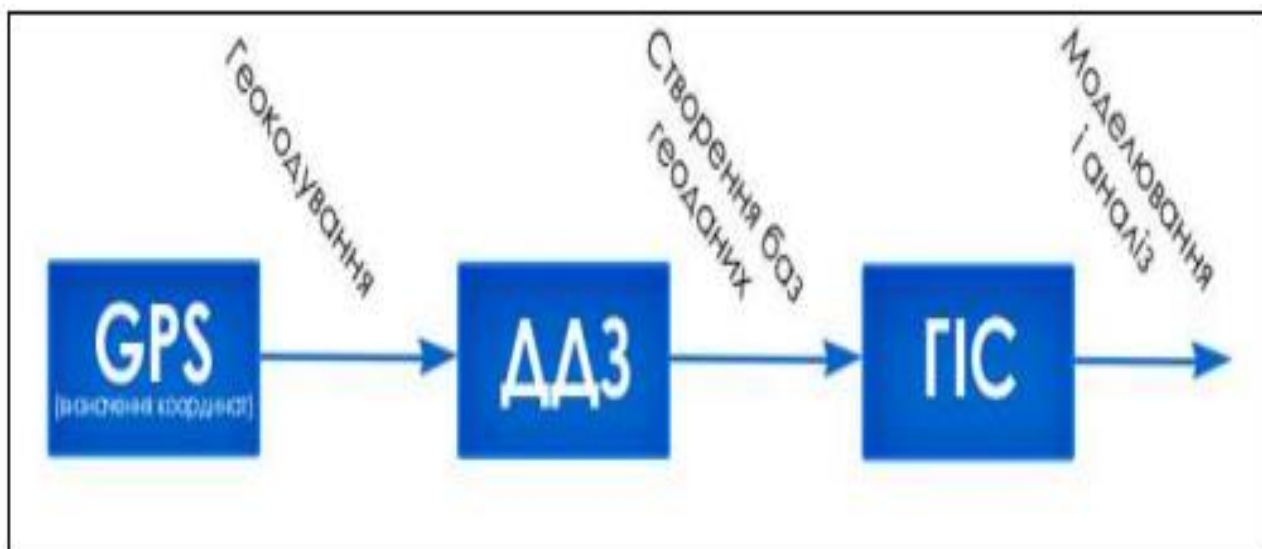


Рис. 2.6 Лінійна модель інтеграції

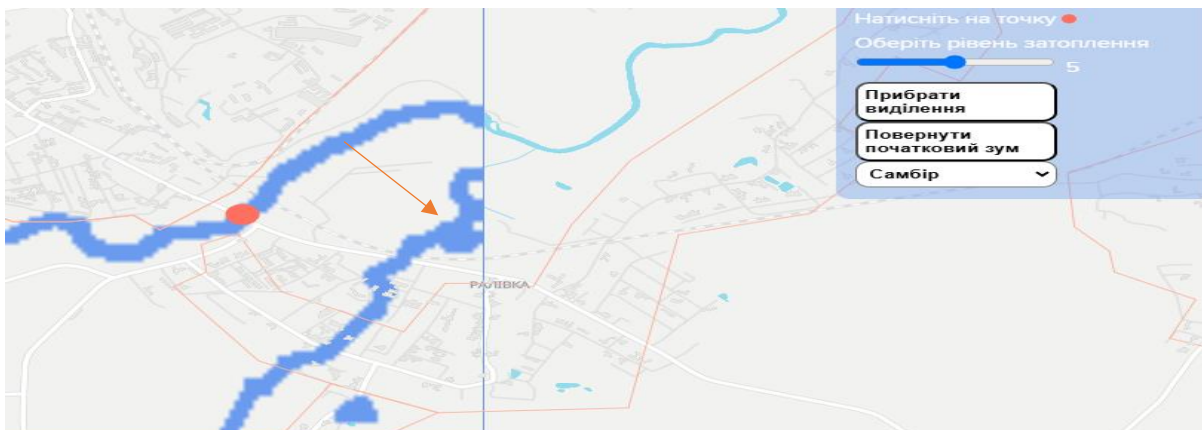
У цій моделі інтеграція даних GPS з ДЗЗ відбувається в трьох часових режимах: синхронному, незалежному та пост-обробки, що здійснюється до інтеграції з ГІС. Синхронна інтеграція зазвичай реалізується при використанні системи одночасного запису GPS, встановленої на носії апаратури ДЗЗ, для отримання позиційних параметрів і параметрів орієнтації сенсора. Наприклад, система GPS може спрямовувати дослідження уздовж певних ліній, орієнтувати знімальну апаратуру на фіксовані відстані та записувати координати кожної фотографії. Ці параметри застосовуються для корекції даних ДЗЗ або для триангуляції аерознімків.

Для демонстрації можливостей використання даних ДЗЗ та ГІС при моніторингу змін довкілля на рис. 2.7 представлено моделювання підтоплень територій під час весняної повені для різних рівнів забезпеченості р. Дністер, Львівської області, межах м. Самбір, с. Бистриця, с. Стрваж. При нульовому рівні та при п'ятому рівні підтоплення.

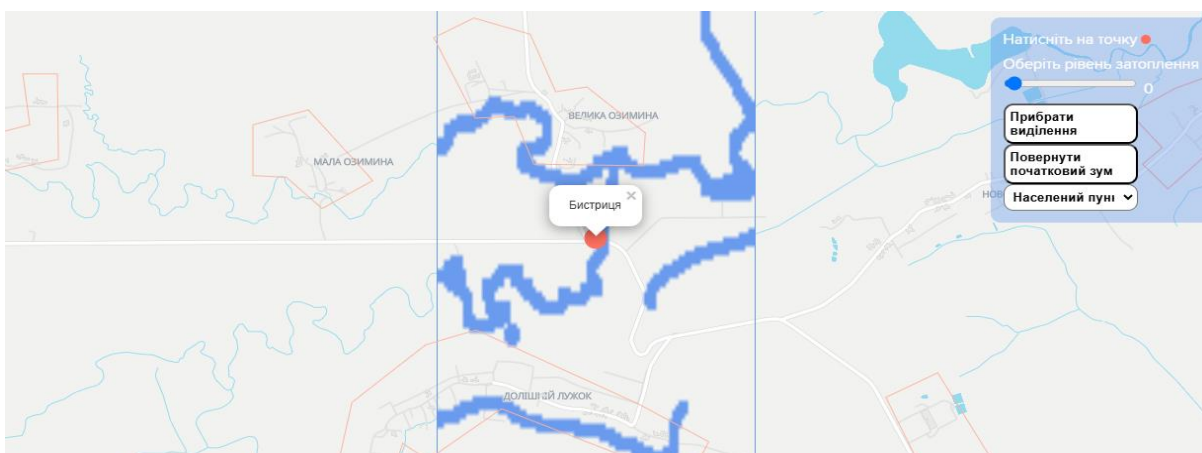
м. Самбір, нульовий рівень підтоплення



м. Самбір, п'ятий рівень підтоплення



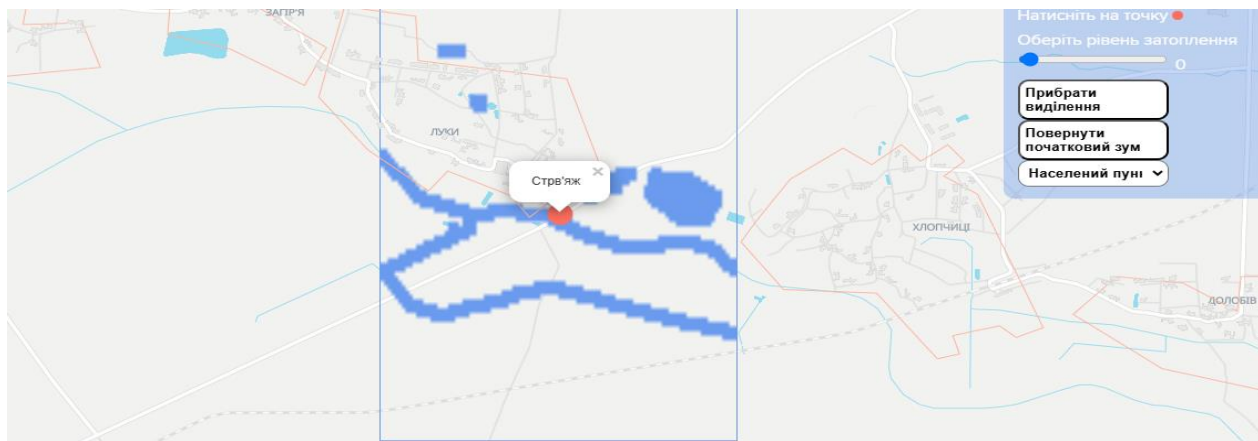
с. Бистриця, нульовий рівень підтоплення



с. Бистриця, п'ятий рівень підтоплення



с. Стрв'яз, нульовий рівень підтоплення



с. Стрв'яз, п'ятий рівень підтоплення



Циклічна природа інтеграції за цією моделлю ускладнює оцінку внеску кожної компоненти. Залежно від конкретної мети та вимог застосування, одна з компонент (GPS, ДЗЗ, GIS) може виступати домінуючою. Ступінь інтеграції ГІС, GPS та ДЗЗ визначається практичним застосуванням геопросторової інформації, її точністю, повнотою та необхідним часом для формування даних.

Аналіз показує, що використання технологій ДЗЗ та ГІС дозволяє швидко та економічно ефективно оцінювати як поточний стан територій, так і зміни, що відбулися за певний період часу. Інтеграція ДЗЗ з векторними тематичними шарами ГІС дає можливість швидко ідентифікувати об'єкти на

знімках, проводити пошукові запити, здійснювати різні види геоінформаційного аналізу та оперативно оновлювати картографічні матеріали. Дані ДЗЗ коригуються і геокодуються за допомогою GPS, після чого інтегруються в ГІС за визначеними біофізичними характеристиками на досліджуваних ділянках. Інтеграція GPS, ДЗЗ і ГІС повинна використовуватися для моніторингу природних ресурсів та навколишнього середовища.

3. Практичне застосування ГІС для екологічного моніторингу

3.1 Створення ГІС-проєкту для моніторингу стану довкілля

ГІС-проєкт для моніторингу стану довкілля — це інтегрована система збору, обробки, аналізу та візуалізації екологічних даних, яка дозволяє ефективно оцінювати стан навколишнього середовища, виявляти проблемні зони, прогнозувати екологічні зміни та приймати обґрунтовані рішення.

Створення ГІС-проєкту для моніторингу стану довкілля включає кілька етапів. Спочатку визначається мета проєкту, наприклад, оцінка стану довкілля, прогнозування екологічних змін чи виявлення зон ризику. На основі мети формулюються завдання, серед яких збір даних, їх інтеграція, аналіз і візуалізація. Наступним кроком є збір вихідних даних із різних джерел, таких як супутникові знімки, наземні спостереження, картографічні ресурси та соціально-економічна інформація.

Дані обробляються для забезпечення їх точності та сумісності, після чого створюється структура проєкту з тематичними шарами, які відображають компоненти довкілля, наприклад, якість води, стан ґрунтів, рівень забруднення повітря чи рослинність. Зібрані дані аналізуються для визначення динаміки змін, побудови прогнозів і оцінки взаємозв'язків між природними та антропогенними факторами.

Результати аналізу візуалізуються у формі карт, графіків або діаграм. Вони можуть бути представлені через інтерактивні веб-платформи для забезпечення доступу до інформації широкому колу користувачів. ГІС-проєкт інтегрується з іншими системами моніторингу та використовується для розробки заходів із збереження природного середовища, а також для прийняття управлінських рішень.

Створення такого проєкту забезпечує оперативність, точність і зручність у роботі з екологічною інформацією, а також дає змогу прогнозувати майбутні зміни та ризику. Завдяки ГІС можна проводити комплексний аналіз екологічних даних і розробляти ефективні стратегії збереження довкілля.

Активні техногенні зміни у довкіллі вимагають адекватного реагування директивних органів влади та природоохоронців. В зв'язку з тим, що довкілля і природні ресурси мають складну багатокomпонентну будову, оцінку їх екологічної безпеки для збалансованого використання можна виконати тільки з використанням сучасних ІТ, ДЗЗ та ГІС. Сучасний стан довкілля є глобально зміненим. Від природних територіальних комплексів – ландшафтів – відбувається перехід до природно-антропогенних геосистем (ПАГС) або геоекологічних структур шляхом геохімічних змін. Тому екологічна безпека та екологічна оцінка на усіх ієрархічних рівнях – від територій держави, регіонів, областей до районів, населених пунктів і окремих підприємств або екологічний аудит та моніторинг довкілля є важливим засобом збереження стійкої рівноваги у системі природагосподарство-людина. Саме тому кваліфікаційна робота присвячена вдосконаленню систем моніторингу довкілля на територіальному рівні адміністративних районів.

Кліматичні ресурси, ґрунтовий покрив, земельні та рослинні ресурси є важливими компонентами природного середовища. Оцінка сучасної екологічної ситуації на досліджуваній території є базовим етапом екологічного аналізу, коли встановлюється початковий екологічний фон, який стане точкою відліку для подальших змін.

У кожному компоненті ландшафту — ґрунтах, воді, повітрі тощо — міститься безліч хімічних елементів, які в певних концентраціях не лише не шкодять людині, а й є необхідними та корисними. Середній вміст цих елементів у земній корі (літосфері) називають кларком. Аналогічні кларки розраховані й для ґрунтів, вод та інших компонентів.

Однак у кожному регіоні, залежно від його геологічної будови, типу ґрунтів, географічних умов і зональних особливостей, існують свої характерні середні значення вмісту певних елементів.

Проте в кожному регіоні, залежно від геологічної будови, типу ґрунтів, географічної зональності та інших природних чинників, встановлюються свої характерні середні значення вмісту елементів. Такі значення називають регіональним геохімічним фоном.

Регіональний геохімічний фон може бути як вищим, так і нижчим за кларк. Аномальним вважається лише той вміст елементів, який перевищує спочатку кларк, а потім і геохімічний фон. Саме аномалії у складі можуть мати негативний вплив на геоекосистеми. Якщо вміст елемента перевищує гранично допустимі концентрації (ГДК), він стає токсичним і несе ризик для здоров'я людини.

Для визначення аномального вмісту хімічного елемента застосовується формула: $C_a = C_i - C_f - C_k$, де:

- C_i — концентрація елемента в досліджуваному компоненті ландшафту,
- C_f — природний фон,
- C_k — кларк елемента.

Значення кларків для елементів відомі і наведені у літературних джерелах, тоді як природний фон необхідно розраховувати на основі конкретних фактичних даних.

При проведенні екологічних досліджень у певному районі визначається оптимальна мережа екологічних полігонів, на яких проводиться відбір проб із різних природних середовищ. Аналіз проб дозволяє отримати конкретні дані про вміст хімічних елементів у кожній точці, що формують базу даних для подальших досліджень.

Мережа екологічних полігонів повинна охоплювати всі ландшафти території з використанням кількох точок відбору проб, залежно від масштабу карти. Оптимальною вважається така мережа, в якій відстань між полігонами на карті становить приблизно 1 см.

Середній вміст хімічного елемента визначається як значення, що характеризує не менше 2/3 (66,7%) проб, виключаючи 1/3 (33,3%) проб із мінімальними та максимальними значеннями.

На еколого-техногеохімічних картах розповсюдження елементів у природному середовищі наносяться ізолінії рівних концентрацій (ізоконцентрати). Ці ізолінії не повинні бути розташовані на рівній відстані, як на деяких геохімічних картах, а мають відповідати характерним інтервалам

концентрацій. Це дозволяє передати хвильово-рйчастий характер розподілу елементів у довкіллі та правильно відобразити їх поширення.

Для оцінки ступеня накопичення хімічного елемента в певному середовищі використовується коефіцієнт концентрації (K_c), який є показником аномальності. Він визначається як співвідношення реального вмісту елемента в точці до його фонового значення за формулою: $K_c = \frac{C_i}{C_f}$ де:

- C_i — реальний вміст елемента в досліджуваному компоненті ландшафту (мг/кг);
- C_f — природний фон елемента (мг/кг);
- K_c — коефіцієнт концентрації.

Цей коефіцієнт допомагає оцінити ступінь забруднення або природної аномальності вмісту елемента у довкіллі.

Користуючись базою даних з вмісту елементів, можна розрахувати коефіцієнти концентрації елементів в окремих компонентах довкілля для усіх екологічних полігонів. Сумарний показник забруднення (Z_c або СПЗ) компонента геоекосистеми (наприклад, ґрунтів) розраховується за формулою В.М. Гуцуляка [5]: $Z_c = \sum_{i=1}^n K_{ci}$ (3) де n – загальна кількість врахованих хімічних елементів (сумуються значення $K_c \geq 1$). Сумарні показники забруднення того чи іншого компонента ландшафту характеризують його стійкість по відношенню до антропогенного навантаження. Якщо останнє не перевищує здатність ландшафту до самоочищення, то виникають екологічні ситуації різної складності, які і оцінюються кількісно. Користуючись базою даних з коефіцієнтів концентрації (K_c) елементів та сумарних показників забруднення (Z_c), можна побудувати карти розподілу цих параметрів на території досліджуваного району. При цьому, такі карти можна будувати як шляхом інтерполяції від точки до точки, тобто «вручну», так і в автоматизованому режимі з допомогою ПЕОМ, користуючись програми COREL DRAW та ін. Аналіз таких карт (рис. 1) показує, що забруднення ґрунтів Hg, As, Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Cr та іншими важкими металами (ВМ) накопичуються в основному в гумусовому (0-10см від поверхні) і ілювіальному

(30-50см) горизонтах ґрунтового профілю. Якщо досліджувані ділянки віддалені від можливих джерел забруднення (промислові підприємства м.Рогатина, автомобільні дороги тощо), то розподіл ВМ по площі і по профілю більш-менш рівномірний, що видно з побудованих карт (рис. 1). Виявлено також, що валовий вміст Cu, Zn, Co, зосереджений в ілювії, а Pb – у гумусовому горизонті. Можливо певну роль відіграє також ефект геохімічного бар'єру, зумовленого карбонатними породами, що залягають серед пісків міоцену у вигляді лінз.

Розподіл важких металів виявив кілька аномальних зон, де вміст забруднювачів у 3-5 разів перевищує природний геохімічний фон та ГДК. На карті сумарного забруднення (рис. 3.1), яка об'єднує всі поелементні техногеннеохімічні карти, перевищення фонових значень зафіксовано в районі міста Стрий та на північний схід від нього, а також у долині річки Стрий, Подібні карти були створені для ґрунтових вод, атмосферного повітря та снігових опадів шляхом прозорого накладання поелементних техногеннеохімічних карт. Після комплексного аналізу цих карт можна створити екологічну карту, використовуючи ландшафтну основу.

Для проведення такого аналізу необхідно поступово дослідити максимально можливу кількість компонентів довкілля, що вимагає проведення екологічного аудиту, алгоритм якого виглядає наступним чином: (, , , , , , ,),
 $ДС \text{ Тсф } ЗС \text{ Тсф } ФС \text{ Тсф } ПД \text{ Тсф } АТ \text{ Тсф } ГД \text{ Тсф } ГМ \text{ Тсф } ГФ \text{ Тсф } ЛТ \text{ Тсф } Ер = f(4)$

де Ер — екологічна ситуація на досліджуваній території, ЛТ, ГФ, ГМ, ГД, АТ, ПД, ФС, ЗС, ДС — природний стан літосфери, геофізичної, геоморфологічної, гідросфери, атмосфери, педосфери, фітосфери, зоосфери та демосфери, Тсф — техногенний вплив на компоненти геоекосистеми.

$$\text{Тсф} = f(\text{ВМ}, \text{ПС}, \text{МД}, \text{НФ}, \text{РР} \dots \text{та ін.}), (5)$$

де ВМ — важкі метали, ПС — пестициди, МД — мінеральні добрива, НФ — нафтопродукти, РР — радіоактивні речовини та ін.

Комплексні карти сучасної екологічної ситуації, або екологічні карти та карти геоекологічного районування (рис. 3.1), як результат екологічного

аудиту, створюються шляхом комп'ютерного прозорого накладання покомпонентних карт, які є результатом накладання поелементних та покомпонентних екологічних і техногеннохімічних карт на ландшафтну карту.

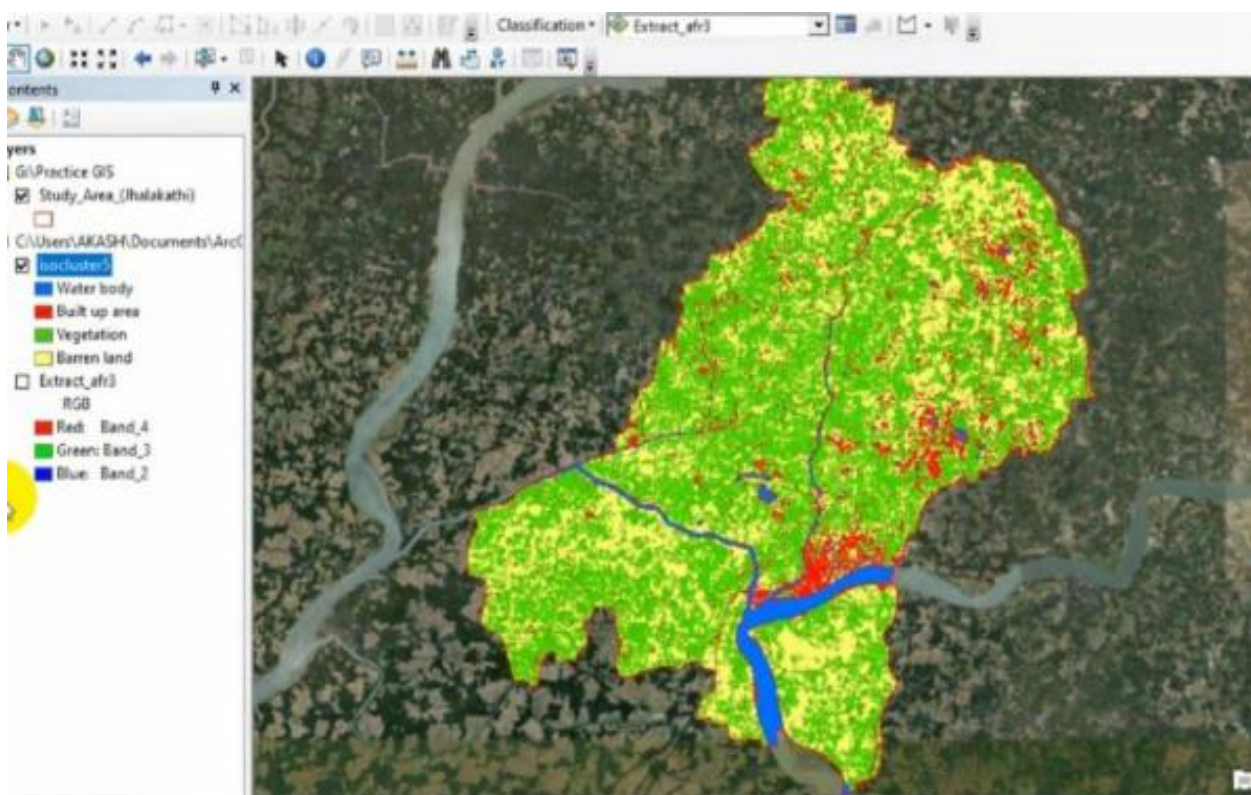


Рис. 3.1 Геоєкологічного районування зони підтоплення

Побудовані картографічні схеми демонструють, що просторовий розподіл геоєкологічних структур з різними екологічними станами потребує розробки індивідуальних заходів для оптимізації та покращення стану навколишнього середовища. Для цього необхідно організувати екологічний моніторинг, включаючи систему проектних профілів та геоєкологічних полігонів.

Геоінформаційний аналіз природних умов, ресурсів і екологічного стану території Богородчанського передгірського та гірського району дозволив отримати значний обсяг геохімічних даних. В результаті автор пропонує окремо визначити загальний Сф, природний Сф п і техногенний Сф т геохімічних фонових значень.

Побудова техногеохімічних карт з окремим визначенням природного і техногенного геохімічних фонів ґрунтів (рис. 3.2), а також прозоре комп'ютерне

накладання цих карт, дозволило виявити контури спільних аномально-техногенних вмістів усіх забруднювачів та сформувати картосхему техногенного сумарного показника забруднення ґрунтів. Подібні покомпонентні картографічні схеми були створені для ґрунтових вод та атмосферного повітря, а прозоре комп'ютерне накладання попередніх покомпонентних техногеохімічних карт дозволило сформувати інтегровану карту, яка поєднує попередні поелементні та покомпонентні еколого-техногеохімічні карти, що відображають просторовий розподіл забруднень на території.

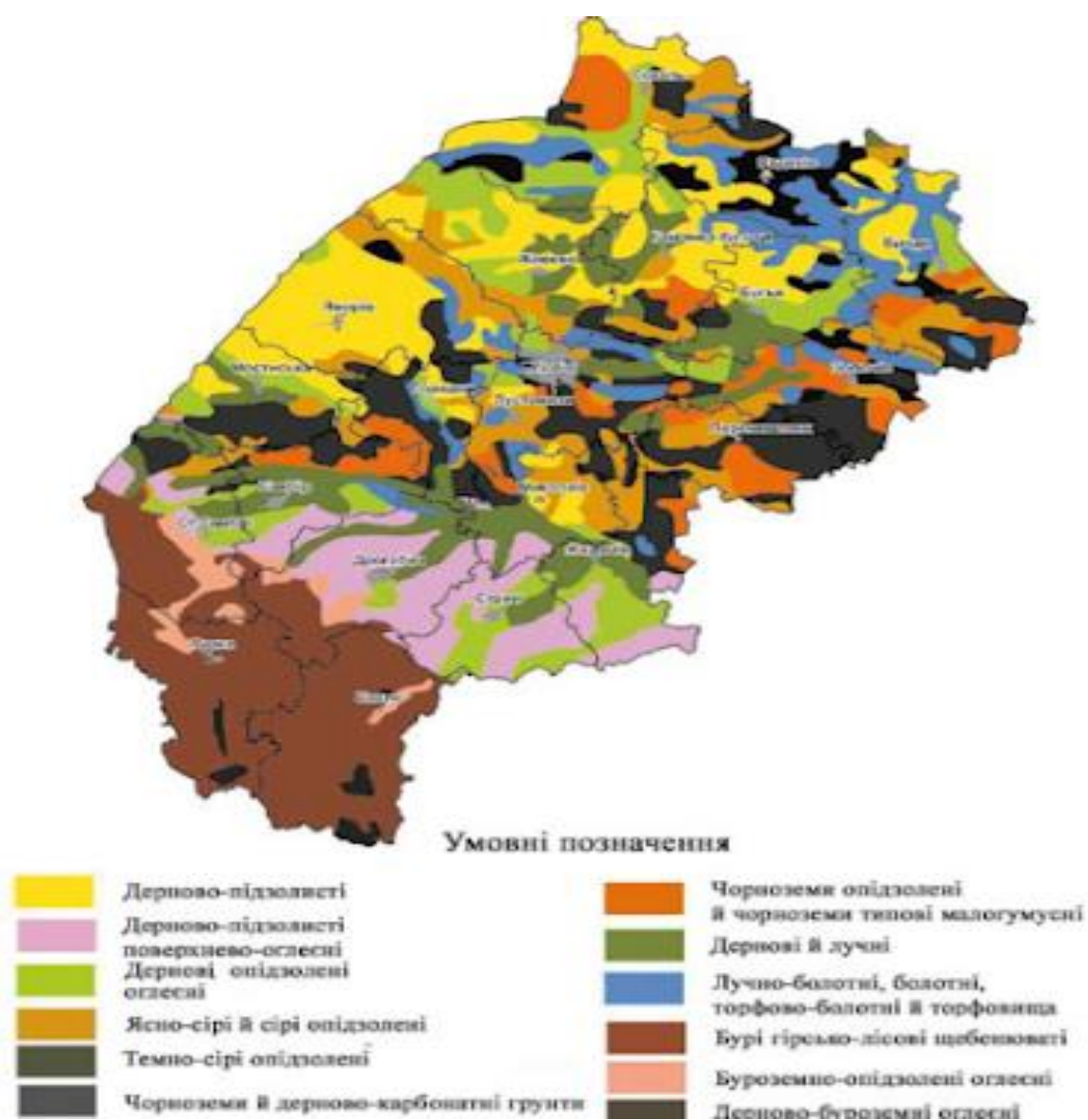


Рис 3.2 Техногеохімічні карти з окремим визначенням природного і техногенного геохімічних фонів ґрунті

Таким чином, комплексну геоекологічну оцінку компонентів навколишнього середовища ми виконали за допомогою комп'ютерної інтеграції спочатку поелементних еколого-техногеохімічних карт, а потім покомпонентних карт. Використання сучасних ГІС-технологій дає змогу максимально автоматизувати цей процес і створювати комп'ютерні багатоконпонентні моделі для постійного екологічного моніторингу та забезпечення екологічної безпеки територій, що допомагає в розробці стратегій їх сталого розвитку. Для вдосконалення моніторингу та екологічного аудиту територій пропонується більш повно використовувати матеріали дистанційного зондування Землі (ДЗЗ).

3.2 Методика створення тематичних карт

Для покращення якості інтерактивної обробки пропонуються різні підходи. Одним з таких є метод візуальної обробки інформації, який базується на виділенні та групуванні необхідних даних і їх поданні у візуальній формі. Дані, представлені графічно, дозволяють швидше виявляти певні явища порівняно з табличними або текстовими відомостями.

Ефективність візуальної обробки інформації полягає в тому, що вона залучає до процесу прийняття рішень резерви образного та асоціативного мислення. Подання ситуації у вигляді образів об'єднує інформацію і дозволяє спеціалісту в певній області приймати рішення швидше і точніше.

Візуальна обробка інформації включає комплекс технологій, що базуються на:

1. Групуванні вихідних даних і їх співставленні з характеристиками графічних образів;
2. Використанні методів комп'ютерної графіки для об'єднання, аналізу та представлення інформації;
3. Застосуванні об'єктно-орієнтованого підходу для побудови моделей графічних та неграфічних об'єктів;

4. Використанні інтелектуальних або напівінтелектуальних графічних інтерфейсів.

Візуальна обробка використовує різні системи комп'ютерної графіки, включаючи бази даних моделей (шаблонів об'єктів) і бази даних процедур (методів обробки). Прикладом цього підходу є візуальне програмування, яке дозволяє не лише писати програми традиційним способом, але й оперативно створювати програмні проекти без необхідності традиційного програмування та створення графічного інтерфейсу.

Візуальна обробка на рівні користувача спрощує процес обробки даних і знижує вимоги до спеціальних знань у програмуванні та в предметній області. Вона дозволяє зручніше групувати дані для користувача і зберігати їх, мінімізуючи потребу в спеціалізованій підготовці.

Ефективність технологій візуальної обробки інформації залежить від розвитку методів збору даних, структурування інформації, побудови сценаріїв і використання технологій. Великий обсяг достовірної інформації про різні аспекти явищ є основою для стійкості його динаміки і ефективності корпоративних рішень, на основі яких можна створювати надійні моделі розвитку цих явищ.

ГІС для масового користувача виникли як системи підтримки прийняття рішень, що використовують візуальні методи ділової та комп'ютерної графіки. З цієї точки зору ГІС можна вважати особливим видом систем комп'ютерної графіки. Як система обробки комп'ютерної графіки, ГІС є еволюцією САПР (систем автоматизованого проектування). Головною особливістю є те, що ГІС дозволяє візуально представляти різні об'єкти і явища в єдиній системі поверхні Землі.

Інтегровані можливості візуальної обробки інформації в ГІС дають змогу визначити їх ще одним способом: ГІС можна розглядати як автоматизовану інтегровану інформаційну систему, призначену для обробки просторово-часової тематичної інформації, де основою інтеграції даних є просторове локалізування, а основою інтеграції технологій обробки є технології візуальної обробки інформації.

Графічні моделі, що зберігаються в ГІС, є основою візуальної обробки інформації. Це цифрові карти і цифрові моделі. Цифрова карта дозволяє змоделювати звичайну карту за допомогою комп'ютерної графіки, тоді як цифрова модель точніше відображає реальне розміщення точок на місцевості.

Цифрові карти зручні для простішої візуальної обробки інформації, оскільки працюють з двовимірними зображеннями. Їх обробка вимагає менше обчислювальних ресурсів, і саме вони використовуються для підтримки прийняття рішень. Цифрові моделі використовуються при проектуванні та моделюванні. Обробка тривимірних цифрових моделей вимагає значних обчислювальних ресурсів і аналітичних засобів, оскільки забезпечує широкий спектр проекційних перетворень, що потребує більш потужних ресурсів порівняно з обробкою цифрових карт.

Візуальна обробка інформації дає змогу користувачеві працювати з графічними даними без необхідності переглядати табличні атрибутивні дані, що значно підвищує швидкість обробки та аналізу. Наприклад, класична організація запитів в базах даних вимагає використання спеціальних мов, таких як SQL або QBE. ГІС має ці можливості, як і будь-яка інформаційна система, але додатково вона дозволяє організовувати запити безпосередньо через маніпуляції з графічними даними та графічним інтерфейсом.

Використання візуальної обробки інформації є ефективним методом застосування інтелектуальних ресурсів, інформаційних потоків, телекомунікацій, а також мультимедійних та геоінформаційних технологій для управління та підтримки процесу прийняття рішень. Спеціалісти з різних галузей вже починають усвідомлювати важливість цього компонента в системі управління, і тому зростає увага до геоінформаційних систем як інструментів для управління та підтримки прийняття рішень.

Моделювання просторово-локалізованих об'єктів визначається як клас моделювання просторово-часових об'єктів, організованих таким чином, що кожен графічний об'єкт пов'язаний з однією або кількома таблицями бази даних.

Основу такого моделювання, як частини ГІС-технологій, складають перетворення, засновані на теоретико-множинних відносинах, законах формальної логіки, алгоритмах обробки зображень та інших методах, що є окремими науковими напрямками, не обов'язково пов'язаними з географією.

Об'єктами моделювання є просторові графічні об'єкти і об'єкти бази даних ГІС, географічність яких визначається їх позиційною прив'язкою до точок референт-еліпсоїда, а не лише до карти. При більшості процедур геоінформаційного моделювання ця географічність не порушується і не впливає на процеси моделювання, тому немає сенсу говорити про "географічне моделювання" в таких випадках.

Геоінформаційне проектування включає спеціальні технології:

- Геогруповання — побудова тимчасово динамічної графічної моделі шляхом об'єднання графічних об'єктів у більш великі об'єкти.
- Буферизація — процедура побудови полігональних об'єктів навколо заданих ареалів, лінійних і точкових об'єктів за допомогою параметрів буферизації.
- Генералізація — процедура об'єднання графічних об'єктів та зміни їх видимості при зміні масштабу, а також отримання нових атрибутивних даних.
- Комбінація — процедури композиції або декомпозиції графічних об'єктів на основі відношень між ними.
- Геокодування — процедура координатної прив'язки даних однієї таблиці до даних другої, відповідної таблиці.
- Об'єднання даних — процедура створення атрибутів нових об'єктів на основі відношення атрибутів вихідних об'єктів.

При геоінформаційному моделюванні реальне явище спрощується та схематизується, і ця "схема" описується за допомогою спеціального апарату. Цей процес називається формалізацією або формалізованим описом, що включає елементи явищ і їх взаємозв'язки.

При моделюванні важливо виділяти об'єкти, які беруть участь у процесі моделювання, від тих, які не беруть участі. Ця процедура називається активізацією об'єкта, і вона застосовується в графічних редакторах.

Процес комбінації просторових об'єктів включає:

1. Об'єднання об'єктів — поширена процедура, яка використовується, коли один з об'єктів є визначаючим, наприклад, об'єднання материкової частини країни та острова в одну територію.
2. Виділення об'єктів — дозволяє розділити великий об'єкт на менші частини за допомогою шаблонів.
3. Видалення фрагментів — за допомогою шаблону можна видалити частину об'єкта, що накладається на інший об'єкт, наприклад, видалити територію озера з карти адміністративної одиниці.
4. Додавання вузлів — дозволяє додавати нові точки в полігоні з збереженням або зміною топології, наприклад, при внесенні нової вулиці на карту з перетином з іншими вулицями.

При створенні нового об'єкта потрібно визначити його атрибути та співвіднести з таблицею даних, причому об'єкт може бути створений як шляхом укрупнення, так і розбиттям більш великого об'єкта.

Отже, цей тип моделювання створює умовну (тематичну) карту за допомогою індивідуальних значень, де тематичною змінною є територія нового згрупованого об'єкта. Основною характеристикою такої тематичної карти є її тимчасовий характер, тому її необхідно аналізувати і, при потребі, зафіксувати за допомогою спеціальних процедур.

Виходячи з цього, можна зробити висновок, що технологія моделювання, заснована на побудові геогруп, являє собою процес створення динамічної моделі графічних даних та їх атрибутів, яка служить для аналізу і підтримки прийняття рішень.

Атрибутивні дані зберігаються у табличній формі в базі даних ГІС. Тому для створення нових об'єктів на основі об'єднання їх атрибутів використовуються можливості інтерфейсу ГІС для роботи з табличною інформацією, зокрема через команди на кшталт "Злиття в таблиці".

Процедура злиття атрибутивних даних у таблиці дозволяє формувати нові графічні об'єкти шляхом об'єднання існуючих, подібно до процесу групування. Атрибутивні дані для нових об'єктів, отримані таким методом, розраховуються за допомогою процедур узагальнення. Ключова відмінність цієї процедури від геогрупування полягає в технологічному аспекті. У цьому випадку з'єднання об'єктів відбувається через об'єднання табличних даних, без залучення графічних об'єктів. В процедурі геогрупування з'єднання об'єктів відбувається виключно через графічні об'єкти, без застосування табличних даних. В обох випадках створюється тимчасова модель, яка за необхідності може бути зафіксована.

3.3 Програмне забезпечення для створення ГІС

Використання програмного забезпечення **ArcGIS 9** та **Microsoft Access** є потужною комбінацією для розробки геоінформаційних систем (ГІС), оскільки обидва інструменти пропонують широкий спектр можливостей для обробки, візуалізації, аналізу та управління даними.

ArcMap від Esri є основним компонентом для роботи з геопросторовими даними в рамках ГІС. Ось деякі з основних можливостей:

1. Візуалізація – дозволяє ефективно відображати географічні дані та виявляти приховані тенденції через графічне представлення.
2. Створення карт – ArcMap дає можливість створювати карти, що максимально відображають дані і вимоги користувача. Ви можете налаштувати карти для більшої точності та зрозумілості.
3. Рішення – використовуючи географічні дані, ArcMap допомагає вирішувати такі задачі, як "де знаходиться певний об'єкт?", "скільки об'єктів є в межах певної території?" та інші.
4. Представлення результатів – ArcMap дає змогу створювати високоякісні карти для друку, а також інтерактивні зображення, які можуть включати діаграми, таблиці, фотографії та інші мультимедійні елементи.

5. Розробка – налаштування інтерфейсу ArcMap і створення нових інструментів дозволяють автоматизувати процеси та розробляти прикладні системи.

Microsoft Access

Microsoft Access — це потужна система управління базами даних, яка є особливо корисною для організації та управління даними в ГІС-проектах:

1. Створення таблиць – дозволяє організувати і зберігати різноманітні дані у вигляді таблиць, що зручно для подальшої обробки та аналізу.
2. Операції з даними – в Access можна додавати, редагувати та видаляти дані, що важливо для підтримки актуальності бази даних.
3. Запити та звіти – дозволяє створювати запити для вибірки потрібної інформації і формувати звіти, що допомагає в аналізі даних.
4. Інтерфейс користувача – доступ до даних через форми та інтерфейси, що спрощує роботу з базою даних і покращує користувацький досвід.

Взаємодія ArcGIS та Access

Комбінація ArcGIS для візуалізації просторових даних та Access для зберігання і обробки атрибутивних даних дозволяє створювати повноцінні ГІС-рішення. Важливою перевагою є інтеграція цих двох продуктів, де ArcGIS використовує дані з Access для побудови карт та аналізу, а також імпортує або експортує таблиці та запити для автоматизації процесів і покращення ефективності роботи.

Ця система забезпечує гнучкість в управлінні даними та створенні інтерактивних карт, що дозволяє користувачам приймати більш обґрунтовані та ефективні рішення на основі просторово-часових даних.

ArcGIS — це потужна платформа для роботи з географічною інформацією, яка дозволяє розміщувати, обробляти та аналізувати просторові дані. Однією з основних переваг ArcGIS є доступність через інтернет, що дозволяє користувачам отримувати доступ до географічних даних за допомогою веб-браузерів, мобільних пристроїв (смартфонів та планшетів) і настільних комп'ютерів. Це дозволяє користувачам працювати з даними з будь-

якої точки світу, маючи доступ до необхідних інструментів для аналізу та візуалізації.

Основні можливості ArcGIS включають:

1. Веб-карти та інтерактивні карти — це дозволяє користувачам переглядати і взаємодіяти з картографічними даними. Веб-карти можна створювати, публікувати та редагувати онлайн, що робить їх зручними для розповсюдження даних серед великої кількості користувачів.
2. Аналітичні інструменти — ArcGIS надає потужні інструменти для геопросторового аналізу, включаючи моделювання, просторове планування та обчислення. Це дозволяє користувачам проводити детальний аналіз на основі даних та створювати складні аналітичні моделі.
3. Мобільний доступ — завдяки мобільним додаткам, користувачі можуть працювати з географічними даними навіть на ходу. Це особливо корисно для польових робіт, де необхідно збирати та редагувати дані безпосередньо на місці.
4. Різноманітні формати даних — ArcGIS підтримує роботу з різними форматами географічних даних, що дозволяє інтегрувати дані з різних джерел і використовувати їх для аналізу.
5. Спільна робота та обмін даними — ArcGIS дозволяє легко ділитися даними, картами та результатами аналізів з іншими користувачами або організаціями. Це забезпечує спільну роботу і покращує прийняття рішень на основі спільно використовуваної інформації.

Усі ці функціональні можливості роблять ArcGIS надзвичайно потужним інструментом для вирішення широкого спектру завдань, від простого перегляду карт до складного просторового аналізу та моделювання.

ArcGIS Pro — це потужний 64-розрядний багатопотоковий додаток, який є ідеальним інструментом для професіоналів у галузі геоінформаційних систем. Він дає змогу працювати з географічними даними в 2D і 3D форматах, що дозволяє користувачам отримувати більш глибоке уявлення про просторові об'єкти та їх взаємозв'язки в різних вимірах. Крім того, ArcGIS Pro дозволяє

автоматизувати завдання та робочі процеси, що значно підвищує продуктивність при роботі з великими даними.

Основні можливості ArcGIS Pro:

Робота з 2D та 3D даними — інтеграція двовимірних і тривимірних карт дозволяє одночасно працювати з різними типами даних, що сприяє більш точному моделюванню об'єктів і аналізу їх просторових взаємодій.

1. Автоматизація процесів — ArcGIS Pro пропонує інструменти автоматизації, що допомагає скоротити час на виконання рутинних завдань. За допомогою скриптів та моделей геообробки можна значно полегшити процес обробки та аналізу даних.

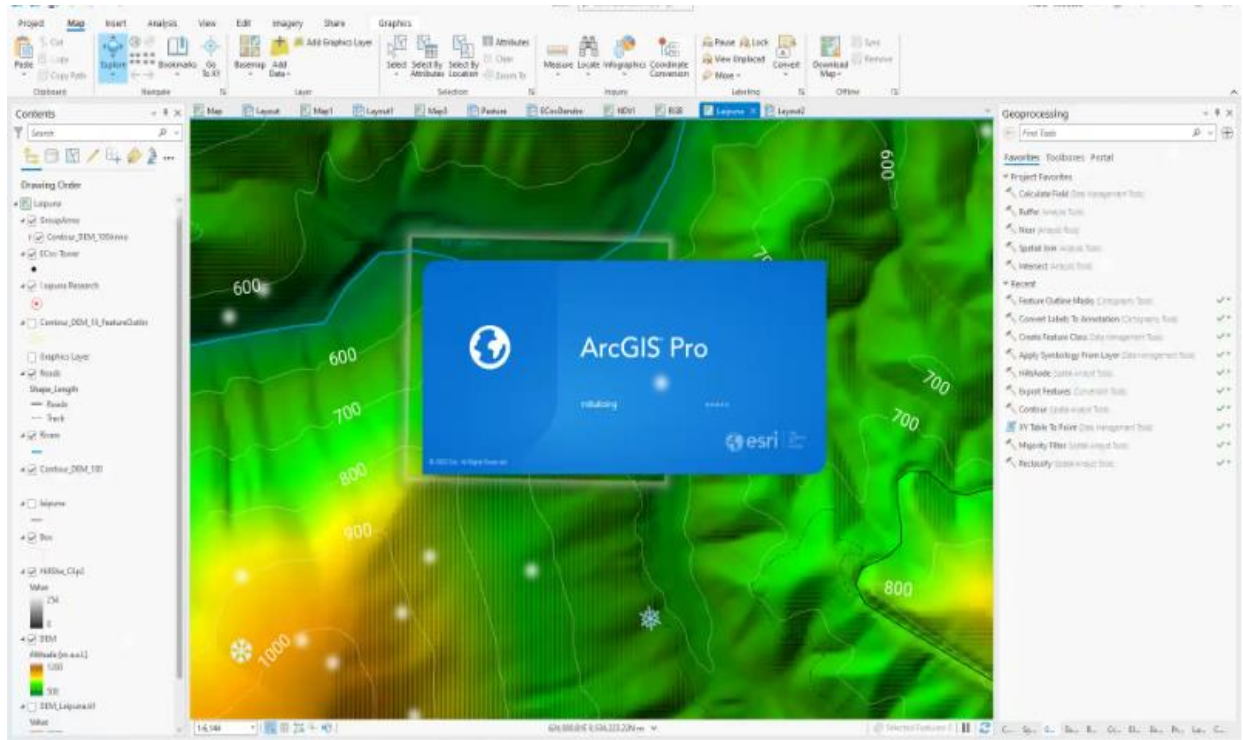
2. Публікація та співпраця — додаток дозволяє публікувати карти та дані на веб-платформах, а також забезпечує тісну співпрацю в межах організації, що підвищує ефективність командної роботи та доступність даних для різних користувачів.

3. Використання сучасних обчислювальних технологій — завдяки 64-розрядному архітектурі, ArcGIS Pro ефективно використовує потужність сучасних комп'ютерних систем, що дозволяє обробляти великі обсяги даних з високою швидкістю.

4. Широкі можливості для редагування та геообробки — ArcGIS Pro надає повний набір інструментів для редагування даних, геообробки та виконання аналітичних операцій, що дозволяє перетворювати просторові дані в цінну інформацію для прийняття рішень.

5. Інтуїтивно зрозумілий інтерфейс — хоча ArcGIS Pro є потужним інструментом, його інтерфейс спроектований так, щоб він був легким у використанні, що полегшує процес навчання та застосування програми.

Завдяки цим можливостям, ArcGIS Pro є важливим інструментом для ГІС-фахівців, які працюють з картами, просторовими даними та виконують складні геоаналітичні задачі.



3.3 Головне меню та вкладка шари середовища ArcGIS Pro

ArcGIS пропонує широкий спектр нових інструментів для створення 3D-візуалізацій, зокрема для фотогенічних моделей міст. Ці 3D-карти інтегрують точні географічні дані, включаючи можливість запити інформації у форматі 3D, поєднуючи надійність даних з естетичністю та зручністю 3D-візуалізації. Завдяки функції анімованих об'єктів, можна створювати захоплюючі ролики, що демонструють результати аналізу або візуалізують зміни протягом часу.



Рис. 3.4 Визначення ділянок низької рослинності

На рисунку 3.4 показано визначення ділянок низької рослинності на полі для мінімізації площі для інспектування за допомогою EOSDA Crop Monitoring. Інформаційно-комунікаційні технології (ІКТ) для сільського господарства, які використовують супутникові дані в поєднанні з алгоритмами глибокого навчання, значно спрощують процес моніторингу і управління агрономічними ризиками.

Завдяки вегетаційним індексам на платформі EOSDA Crop Monitoring, можна виявляти різноманітні загрози на полях, такі як забур'яненість або хвороби рослин. За допомогою ГІС-технологій, на індексній карті відображаються конкретні ділянки з низькою вегетацією, що дозволяє скаутам зосередитися на певних частинах поля, замість того, щоб інспектувати всю площу. Перевіривши ці ділянки, скаут може оперативно надіслати знімки з деталями загроз на зазначеній території через мобільний додаток EOSDA Crop

Зі зростанням населення планети екологічний моніторинг стає важливою складовою забезпечення сталого розвитку. ГІС-технології відіграють ключову роль у цій сфері, дозволяючи здійснювати детальний моніторинг стану навколишнього середовища. Вони допомагають вченим, урядам та екологічним організаціям ефективно відслідковувати зміни в екосистемах, виявляти негативні тенденції та розробляти заходи для запобігання екологічним катастрофам.

ГІС використовуються для оцінки якості води, повітря та ґрунтів, а також для вивчення впливу людської діяльності на природні ресурси. Крім того, за допомогою геоінформаційних систем можна відстежувати зміни в біорізноманітті, прогнозувати наслідки природних катаклізмів та антропогенного впливу, а також створювати карти, які відображають рівень забруднення чи деградації природних середовищ.

Таким чином, ГІС-технології є важливим інструментом для ведення екологічного моніторингу, допомагаючи приймати обґрунтовані рішення для збереження екологічної рівноваги та стійкості природних систем.

4. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Широке використання геоінформаційних технологій для прийняття рішень у сфері управління та охорони природних ресурсів передбачене Законом України “Про національну програму інформатизації” і Постановою Кабінету Міністрів України “Про заходи по створенню електронної інформаційної системи “Електронний уряд””. Проте це питання сьогодні недостатньо врегульоване у єдиній інфраструктурі геопросторових даних, порядку використання і обміну інформацією, а головне – у фінансуванні необхідних заходів. Найпоширенішим у наш час є застосування ГІС-технологій інвентаризаційного плану, зокрема, для вирішення завдань природоохоронної діяльності. З огляду на це, природоохоронні ГІС – кращий приклад того, що збільшення інформації на тлі ведення природоохоронної діяльності, з одного боку, і посилення вимог до оперативності опрацювання інформації для прийняття управлінських рішень, з іншого боку, спонукають до активного впровадження геоінформаційних технологій. Тільки ГІС може забезпечити зручні способи введення, зберігання, пошуку і аналізу інформації, а також оформлення і друку, необхідних текстово-графічних звітних матеріалів. Прикладом комплексного використання даних “інвентаризаційних” ГІС з інструментальними можливостями геопросторового аналізу може слугувати геоінформаційне забезпечення робіт із формування регіональної і місцевої екологічної мережі, де потрібний комплексний аналіз інформації, що стосується структури землекористування, видів угідь, рельєфу, розміщення природних і напівприродних територій, природно-заповідних об’єктів і територій, населених пунктів і багатьох інших чинників для формування меж структурних елементів екомережі. Використання геоінформаційних систем дає змогу виконувати одночасний аналіз багатовимірних даних з використанням цифрових карт, спрощує процедури екологічного прогнозу та оцінку комплексного впливу на природне середовище, уможливорює оперативне виявлення аномалій і прийняття необхідних заходів для їхнього усунення.

Охорона природи – це збереження та раціональне використання природних багатств. Матеріальні блага, умови життя і здоров'я людей значною мірою залежать від стану природи та її ресурсів. Сьогодні, коли природні ресурси вичерпуються, забруднюються води і повітря, посилюється ерозія ґрунтів, зникає багато видів рослин і тварин, створюється загроза самому існуванню людства. Сільськогосподарська діяльність суспільства, спрямована на вирощування необхідної кількості екологічно чистих продуктів харчування, супроводжується руйнівним впливом на основі екологічних чинників довкілля: землю, воду, довкілля, природні фітоценози. Природні екологічні системи здатні до самоочищення, вони мають певну буферність стосовно побічних включень і несприятливих впливів на навколишнє середовище. Але буферність не є безмежною, вона діє лише в певних обмежених рамках, має обмежену ємкість. Штучне насичення довкілля шкідливими для природної екосистеми речовинами в кількості, яка перевищує її буферну здатність до очищення, руйнування динамічної рівноваги, і сприяють погіршенню довкілля, руйнування природних ресурсів.

Всі природні компоненти ландшафтної сфери, а саме рельєф, гірські породи, води, ґрунти, рослинний і тваринний світ знаходяться у внутрішньому взаємозв'язку і розвитку, як одне ціле вони вивчають самостійною галуззю фізичної географії – ландшафтознавством. Всі природні компоненти ландшафтної сфери несуть слід антропогенної діяльності.

Враховуючи значне перетворення ландшафтів нашої країни, останнім часом все більша увага приділяється визначення рівня антропогенної перетворюваності ландшафтів планується і розробляються заходи по перетворенню їх в природний стан.

Крім цього доцільно розрахувати коефіцієнт неоднорідності ґрунтового ареалу, аранжуючи компоненти за показниками ступеня перетворення, визначаючи загальний індекс антропогенного перетворення. Оцінка структурних змін в ландшафтах під впливом меліоративних заходів повинна починатись з розрахунку показників характеристик елементарних ґрунтових ареалів, тобто агрогруп ґрунтів, типів земель, сільськогосподарських земель.

Аналізуючи природні умови для потреб землевпорядкування, поряд із впливом антропогенних факторів необхідно враховувати і природні тенденції розвитку ландшафтів, можливість прояву несприятливих природних процесів для сільського господарства. Останні діють повільніше, але масштабніше. Раціональним можна рахувати такий вплив, при якому забезпечується правильний ресурсобіг, розширення відтворення природних ресурсів, ландшафтів.

ВИСНОВОК

Методика використання геоінформаційних систем (ГІС) для екологічного моніторингу є потужним інструментом для ефективного управління природними ресурсами та охорони навколишнього середовища. Використання ГІС-технологій дозволяє здійснювати точний та своєчасний моніторинг стану довкілля, виявляти зміни екологічної ситуації, а також оцінювати наслідки різних антропогенних та природних впливів на екосистеми.

У процесі роботи були розглянуті основні принципи та методи, які дозволяють за допомогою супутникових знімків і спеціалізованих програмних продуктів створювати просторові моделі для вивчення та моніторингу екологічного стану різних територій, зокрема водних ресурсів, лісових угідь та природних заповідників. Одним із основних результатів роботи стало формулювання методики, яка забезпечує інтеграцію просторових даних з різних джерел для комплексного аналізу екологічного стану і прогнозування змін у довкіллі.

Процес розробки та впровадження цієї методики вимагає постійного оновлення даних, а також налаштування систем моніторингу для конкретних екологічних умов. Використання ГІС-технологій дозволяє не лише швидко і точно отримувати необхідні дані для аналізу, але й здійснювати ефективне управління природними ресурсами на різних рівнях – від локального до національного.

Завдяки ГІС можливе створення інтегрованих платформ для збору, обробки та візуалізації екологічних даних, що забезпечує ефективне використання цих технологій у сфері екологічного моніторингу та управління природними територіями. В перспективі, з розвитком технологій і удосконаленням програмного забезпечення, роль ГІС у екологічному моніторингу буде лише зростати, сприяючи більш ефективному реагуванню на екологічні виклики та забезпеченню сталого розвитку.

Таким чином, розроблена методика використання ГІС для екологічного моніторингу є важливим кроком на шляху до удосконалення процесів

управління довкіллям, підвищення ефективності природоохоронних заходів та забезпечення екологічної безпеки на всіх рівнях.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Боклаг В.А. Зарубіжний досвід у сфері державного управління земельними ресурсами / В.А. Боклаг // Актуальні проблеми державного управління : зб. наук. пр. – Х. : Магістр, 2011. – № 2. – С. 392–398
2. Бусуйок Д. Законодавче та правове регулювання моніторингу земель в Україні / Д. Бусуйок // Підприємництво, господарство і право. – 2012. – № 8. – С. 56-59.
3. Використання ГІС та ДЗЗ у землекористуванні. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції, 14-16 листопада 2012 р. – Миколаїв:КП «Миколаївська обласна друкарня», 2012. – 96 с.
4. Дорожинський О.Л. Фотограметрія / Дорожинський О.Л. Тукай Р. – Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2008. - 356 с.
5. Журнал сучасного сільського господарства «Агросектор» №2 (2) 2009.
6. Закон України «Про землеустрій» від 22 травня 2003 р // Новітнє земельне законодавство України: Збірник нормативно–правових актів.– Х.: «Одіссей», 2004.
7. Запорожець О. І Основи охорони праці / Запорожець О. І., Протоєрейський О. С., Франчук Г. М.: Підручник. – К.: Центр учбової літератури, 2009. – С. 214-215
8. Зацерковний В.І. ГІС та бази даних. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.google.com/search?q>
9. Ковтун О.В. Фрагменти з історії використання дистанційних методів у картографуванні ґрунтів / Ковтун О.В. // Історичні записки: Збірник наукових праць / Східноукраїнський ун-т імені Володимира Даля. — Луганськ, 2008. — С. 148-153 127
10. Корецький А.В. Удосконалення правового регулювання охорони земель / А.В. Корецький // Економічні науки. – 2010. – № 6. – С. 204– 210.
11. Лопирев М.І. Проектування і впровадження еколого-ландшафтних систем землеробства в сільськогосподарських підприємствах. Методичне керівництво / М.І. Лопирев. - Воронеж: Витік, 1999.- 186 с.

12. Мозальова М. В. Правові засади моніторингу ґрунтів: автореф. дис. ... канд. юрид. наук: 12.00.06 / М. В. Мозальова; Нац. ун-т «Юрид. акад. України ім. Ярослава Мудрого». – Х., 2011. – 20 с.
13. Моніторинг земельних відносин в Україні: 2017-2018: статистичний щорічник / За участі: Нізалов Д, Данкевич В., Івінська. - К., 2019. – 168 с.
14. Новаковський Л.Я. Теоретичні основи сучасного землеустрою / Новаковський Л.Я, Третяк А.М : Землевпорядний вісник №3,1999. - с 3
15. Петриченко В. Моніторинг земель як рятівний круг / В. Петриченко, С. Балюк, В. Медведєв // Урядовий кур'єр. – 2014. – 12 квітня. –№ 68. – С.8-13
16. Позняк Е. В. Правові засади здійснення моніторингу об'єктів підвищеної небезпеки // Актуальні проблеми становлення і розвитку права екологічної безпеки в Україні: Матеріали наук.- практик. Круглого столу, 28 березня 2014 р., м. Київ / ред. кол. М. В. Краснова [та ін.]; Київський нац. ун-т ім. Т. Шевченка. – Чернівці: Кондратьєв А. В., 2014. – С. 65-68
17. Сайко В.Ф. Наукові підходи щодо раціонального землекористування в умовах здійснення аграрної реформи / В.Ф. Сайко // Вісн. аграр. науки. – 2000. – № 5. – С. 5–10
18. Служба охорони ґрунтів України: актуальність, функції, перспективи / В.В. Медведєв, С.Ю. Булигін, О.Г. Тараріко, ВІ. Бураков // Агрохімія і ґрунтознавство (Спец. вип. до V з'їзду УТГА). –Ч.1. –Х., 1998. – С. 11– 15.
19. Ступень М.Г. Теоретичні основи державного земельного кадастру / Ступень М.Г., Гулько Р.Й., Микула О.Я. – Львів: Вид-во «Новий Світ2000», 2006. – 336 с.
20. Третяк А.М. Землевпорядне проектування: теоретичні основи і територіальній землеустрій/ А.М. Третяк. – К. : Вища освіта, 2006. – 528 с.
21. Trofymchuk O. Geo-information Technologies for Decision Issues of Municipal Solid Waste / O. Trofymchuk, V. Trysnyuk, N. Novokhatska, I. Radchuk // Journal of Environmental Science and Engineering. – 2014. – № 3. – С. 183-187

22. Черпіцький О.З. Еколого-економічні механізми захисту земельних ресурсів від деградаційних процесів у ринкових умовах / О.З. Черпіцький, Д.С. Добряк. – К. : Урожай, 2007. – 144 с.
23. Шворак А.М. Моніторинг земель в системі управління земельними ресурсами / Шворак А.М., Сохнич А.Я., Кисіль Л.Ф. / Використання та впорядкування земель. – Зб. наук праць. - Львів, 1995. – С. 41-47
24. Юридична енциклопедія: в 6 т. / [редкол.: Ю. Шемшученко та ін.]. – К.: Укр. енцикл., 2001. – С. 764. 129
25. Екологічний моніторинг довкілля. Офіційний портал Міністерства 130 захисту довкілля та природних ресурсів України, 2019. – Режим доступу: <https://mepr.gov.ua/content/ekologichniy-monitoringdovkillya.html>
26. Закон України «Про охорону земель» : прийнятий 19 червня 2003 року № 962-IV [Електронний ресурс] : Законодавство України. Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/962-15>.
27. Закон України «Про державний контроль за використанням та охороною земель» : прийнятий 19 червня 2003 року № 963-IV [Електронний ресурс] : Законодавство України. – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/963-15>.
28. Закон України «Про пожежну безпеку» від 24.12.2008 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0235-09>
29. Закон України «Про Державний земельний кадастр» № 1983-VIII від 23.03.2017, ВВР, 2017, № 25 КМУ / Урядовий портал [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/3613-17> (дата звернення 20.12.2024).
30. «Земельний кодекс України» (№ 2768-III від 25.10.2001) / Урядовий портал [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/3613-17> (дата звернення 20.11.2024).
31. Закон «Про оцінку земель» (№ 1378-IV від 11.12.2003) / Урядовий портал [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/3613-17> (дата звернення 20.11.2024).

32. Закон України «Про землеустрій» (№ 742–IV від 15.05.2003) / Урядовий портал [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/3613-17> (дата звернення 1.12.2024).
33. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» (№ 1264–XII від 25.06.91) / Урядовий портал [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/3613-17> (дата звернення 20.11.2024). 131
34. Закон України «Про державну експертизу землевпорядної документації» (№ 1808–IV від 17.06.2004) / Урядовий портал [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/3613-17> (дата звернення 26.11.2024).
35. Закон України «Про стандартизацію» (№ 1315–18 від 05.06.2014) / Урядовий портал [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/3613-17> (дата звернення 20.11.2024).
36. Закон України «Про топографо-геодезичну та картографічну діяльність» (№ 353–XIV від 23.12.98) / Урядовий портал [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/3613-17> (дата звернення 20.11.2024).
37. Закон України «Про інформацію» (№ 2657–XII від 02.10.92) / Урядовий портал [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/3613-17> (дата звернення 10.11.2024).
Постанова Верховної Ради України «Про затвердження порядку виконання земельно–кадастрових робіт та надання послуг на платній основі державним органам земельних ресурсів» № 1619/КМУ від 01.11.2000 р., / Урядовий портал [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/1619-2000-%D0%BF> (дата звернення 15.11.2024).
38. Порядок використання повітряного простору безпілотними повітряними суднами [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://avia.gov.ua/bezpilotni-povitryani-sudna-2/>

39. Про земельну реформу : Постанова Верховної Ради УРСР від 18 грудня 1990 року № 563-ХІІ [Електронний ресурс] : Законодавство України. – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/563-12>. 60.Річні звіти Державного космічного агентства України за 2013, 2014 рр. [Електронний ресурс] — Режим доступу: <http://space.com.ua/nsau>. (дата звернення 19.12.2024).