

ТЕМА 1. ГЕОІНФОРМАЦІЙНИЙ ПРОСТОРОВИЙ АНАЛІЗ ТЕРИТОРІЙ. ГІС.

Вже майже кілька десятиріч існує та вдосконалюється стала концепція інтегрованої технологічної платформи для всебічного просторового аналізу і моделювання через ефективне управління географічними даними, їх обробку і результативну візуалізацію – цією технологічною платформою є географічна інформаційна система (Maguire, 2005).

Просторовий аналіз зв'язаний як із загально предметним, так і з тематичним ГІС-моделюванням, без перебільшення, на сакральному рівні. Успіхи в розробці як апаратного, так і програмного забезпечення ГІС, разом із зростаючим інтересом до просторового аналізу і моделювання в природничих і соціальних науках стимулювали розробку нової функціональності в ГІС-платформах і системах моделювання. Останні, як правило, виступали і виступають окремими модулями (*plug-ins* – англ.) при геоінформаційній платформі. Саме завдяки зазначеному в сучасний час з'явилися *інтегровані системи просторового аналізу і моделювання* (ІСПАМ), які еволюціонували у нову сутність від «ГІС-центричних» платформ (*ArcView 3.X, ArcGIS, MapInfo Professional, GRASS, Idrisi, INTERGRAPH*) та від «модель-центричних» (*GoldSim, Repast, Surfer, STELLA, Petrel, Vertical Mapper, SWARM*). Наочним прикладом ІСПАМ є програмне забезпечення *Amber iQ* компанії *Ambercore* (www.ambercoresoftware.com), численні ілюстрації інтерфейсу цього програмного забезпечення наводяться в різних розділах посібника.

В останні роки в суспільній предметній галузі просторового аналізу і моделювання відбувався особливо бурхливий зріст у галузях *геостатистичного моделювання, картографічного аналізу, мережного аналізу, растрового аналізу і векторного оверлею, геообробки і геовізуалізації* (двовимірній/трьохвимірній). Однак, все ще є багато предметних областей, на які існує достатній ринковий попит щодо більш ефективного впровадження по відповідним даним просторового аналізу і ГІС-моделювання. Це, зокрема *дослідницький просторовий аналіз (exploratory spatial data analysis – англ.), моделювання динамічних систем, оптимізація дослідницьких операцій, просторова статистика, візуалізація багатовимірних даних.*

У цьому розділі зверемо увагу на засади просторового аналізу і окремі аспекти загальнопредметного і тематичного ГІС-моделювання. В той же час, розгляд структурних і функціональних особливостей цифрових моделей рельєфу і геоінформаційних моделей докільля, що було здійснено в попередньому, п'ятому розділі, є необхідною передумовою успішного

знайомства читача з предметним матеріалом просторового аналізу і ГІС-моделювання.

Функціональні можливості геоінформаційної системи реалізуються саме в *просторовому аналізі* (ПА), який М. ДеМерс називав «серцем ГІС» (ДеМерс, 1999; 204). Через аналіз географічної інформації ГІС здатна відповісти на будь-яке питання щодо взаємодії просторових відносин між наборами даних, а також підтримувати достатньо широкий спектр операцій аналізу – від простого відображення до складних багатокрокових аналітичних геоінформаційних моделей. Відмінною рисою ГІС-аналізу є та, що результат однієї операції аналізу чи процедури можна використовувати в іншій.

Класики теорії геоінформаційних систем пропонують розглядати просторовий ГІС-аналіз саме автоматизованим поданням комплексу різноманітних видів географічного аналізу, що розроблявся протягом декількох сторіч розвитку географічної думки (ДеМерс, 1999). На думку провідних російських фахівців у галузі ГІС та геоінформатики, просторовий аналіз найчастіше виконується з метою виявлення таких відносин (Капралов, 2004, 2005):

- закономірностей у структурі множини об'єктів або особливостей розподілу об'єктів, а також їхніх характеристик у просторі;
- наявності та виду взаємозв'язків у просторовому розподілі декількох класів об'єктів або окремих характеристик;
- тенденцій розвитку географічних явищ у просторі та в часі.

Серед інших задач просторового аналізу саме ці автори називають, у першу чергу, вибір певного рішення з урахуванням просторових характеристик (наприклад, розстановка антен і визначення їх характеристик для забезпечення безперервним радіозв'язком потягів у процесі руху, вибір оптимального маршруту проїзду в мегаполісі з урахуванням обмежень і прогнозованої швидкості руху вулицями міста та інше). Підкреслюється, що при проведенні просторового аналізу можна використовувати тільки ті подання об'єктів реального світу, які можливо реалізувати за допомогою моделей даних, закладених в систему. Саме ці автори ще раніше підкреслювали, що в ГІС використовуються два основних підходи до опису географічного простору (Кошкарев, 1993):

- підхід, заснований на *структуризації простору*, тобто виділенні просторових об'єктів, посилення на характер їхньої локалізації у просторі, посилення на їхні межі та, в деяких випадках, посилення на взаємозв'язки з іншими об'єктами;
- підхід, заснований на *неструктурованому поданні простору*. У цьому

випадку весь простір, що вивчається множиною чарунок заданого розміру і форми, в яких визначені усереднені параметри або характеристики, відповідні цій частині такого простору. Це можуть бути характеристики, які приймають будь-які значення із заданого інтервалу (температура, солоність, кількість опадів) або характеристики із заданого переліку (ліс, озеро, луг, рілля тощо). Незважаючи на те, що в цьому випадку використовуються назви об'єктів, фактично вони не існують, не визначений характер їхньої локалізації, не задані межі, без виконання процедури структуризації неможливо підрахувати кількість об'єктів, тощо.

Тими ж авторами визначаються основні задачі аналізу, говориться про властивості та характеристики об'єктів або точок простору (Капралов, 2005). Підкреслюється необхідність врахування того, що ці властивості та характеристики також зовсім не однорідні. Перш за все, необхідно розділити всі характеристики на *якісні* та *кількісні*. З кількісними характеристиками можна виконувати різні операції, якісні характеристики можна, головним чином, порівнювати.

Порівнюючи якісні параметри, дослідник, звичайно, намагається відповісти на два питання: *чи співпадають порівнювані характеристики або об'єкти? Чи можна визначити порядок цих характеристик або об'єктів?* Якщо можливо відповісти тільки на перше питання, то говорять, що об'єкти описані в *номінальній шкалі* або в *шкалі категорій*, якщо є можливість відповісти і на друге питання, то об'єкти описані в *ранговій шкалі*.

Щоб визначити місце аналітичних можливостей геоінформаційних засобів у загальній повнофункціональній схемі ГІС, треба звернутися до її дефініції, наведеної в одному з російських підручників (оригінально це визначення належить одному з американських фахівців у галузі ГІС): «ГІС – це інтегрована комп'ютерна система, що знаходиться під управлінням фахівців-аналітиків, яка здійснює збір, зберігання, маніпулювання, *аналіз*, моделювання і відображення просторово співвіднесених даних» (Самардак, 2009; с. 14). На повнофункціональній схемі ГІС із цього літературного джерела вказано місце аналітичних можливостей геоінформаційної системи в її загальній структурі (рис. 6.1).

Будь-яка сучасна ГІС-платформа містить у собі певний набір засобів для аналізу просторово-атрибутивної інформації. Саме використовуючи *аналітичні функції ГІС*, можна отримати відповіді на такі питання, як:

- Де розташований об'єкт *A*?
- Яке розташування об'єкта *A* відносно об'єкта *B*?
- Яка кількість об'єктів *A* розташовується в межах відстані *D* від об'єкта *B*?

- Яке значення має функція Z в точці X ?
- Які розміри об'єкта B ?
- Що вийде в результаті перетину об'єктів A і B ?
- Який маршрут від об'єкта X до об'єкта Y буде оптимальним?
- Які об'єкти розташовані всередині об'єктів X_1, X_2, \dots, X_n ?
- Чи принципово зміниться просторовий розподіл об'єктів після зміни існуючої класифікації?
- Що станеться з об'єктом A , якщо змінити об'єкт і його місце розташування відносно A ?

Багато прийомів ГІС-аналізу виконується через *вибірки* та *запити*, які розглядалися в розділі посібника, що стосувався ГІС-операцій. Тут зауважимо, що запити в ГІС можна задавати, як у межах графічного інтерфейсу користувача (через простий клік мишею на об'єкті), так і за допомогою розвинених аналітичних засобів, які коротко обговорюються в цьому підрозділі монографії. Разом із засобами стандартної мови структурованих запитів *SQL* (*Structured Query Language* – англ.) аналітичні можливості ГІС дають користувачеві потужні інструменти, що настроюються, для обробки й управління просторовою та атрибутивною інформацією.

Основними функціями геоінформаційної системи, пов'язаними з аналізом просторово-атрибутивної інформації, можна вважати ті, що поділяються на дві групи – *атрибутивного аналізу* і *просторового аналізу*.

Можливості *непросторового* (атрибутивного) аналізу полягають у наступному: запит за атрибутами та їхніми відображеннями; пошук цифрових карт та їхня візуалізація; класифікація непросторових даних; картографічні виміри (відстань, напрям, площа); статистичні функції.

Можливості *просторового* аналізу: «оверлейні» операції; аналіз близькості; мережевий аналіз; пошук об'єктів; аналіз видимості-невидимості; прогнозування; картометричні функції; інтерполяція та інші геостатистичні методи; зонування; створення контурів; декомпозиція і об'єднання об'єктів; буферизація; перекласифікація. Таким чином, маються на увазі майже всі базові ГІС-операції, які детально розглядалися у відповідному розділі посібника. Вказаним операціям відповідають такі *функціональні можливості* переважної більшості ГІС-платформ, які стисло характеризувалися в монографії зі структурно-неотектонічного аналізу (Костріков, Черваньов, Спиця, 2013). Певним чином, тут коротко перелічуються ті самі базові ГІС-операції, які детально були розглянуті в четвертому розділі посібника, однак зараз вони характеризуються в дещо іншій площині:

1. *Введення та редагування геоданих*. Саме ця ГІС-функціональність

забезпечує при ПА необхідне аналогово-цифрове перетворення різномасштабних картографічних та інших джерел, їх прив'язку до просторово-координатної мережі, впроваджує імпортування цифрових даних. Введення інформації забезпечують скануванням растрових карт, їх трансформацією і прив'язкою до вибраної системи координат, векторизацією картографічних матеріалів (у ручному режимі, із застосуванням дигітайзерів або спеціальних програм-векторизаторів), а також імпортуванням готових цифрових даних (дані *GPS*-знімання, дистанційного зондування, цифрові моделі рельєфу, тощо). Після введення даних у ГІС зникає проблема зіставлення різномасштабних і різноформатних даних, що нерідко призводить до помилок.

2. *Растрово-векторні операції та процедури.* Вже розглянуті раніше в тексті посібника базові ГІС-операції та процедури надають можливість спільного використання (графічного суміщення) растрових і векторних моделей рельєфу. Особливо цінною для різних задач ПА є можливість експорту у векторний шар-покриття інформації із суміщених і зведених до єдиного масштабу геологічних, тектонічних, ландшафтних та інших растрових карт і створення, таким чином, принципово нових масивів даних, потрібних для подальшого аналізу.

3. *Операції виміру та операції аналітичної геометрії.* З початку впровадження просторового аналізу широко застосовують вимірювальні функції та операції аналітичної геометрії, які використовують для обчислення довжин відрізків прямих і кривих ліній, площ, периметрів об'ємів, характеристик форм просторових об'єктів тощо. Результати таких обчислень у більшості випадків утворюють вихідні дані для проведення подальшого (похідного) просторового аналізу. Сучасні ГІС-платформи налічують майже дві сотні стандартних вимірювальних функцій, процедур і операцій. За допомогою цих засобів отримують атрибутивні дані для побудови, наприклад, морфолого-морфометричних карт, зокрема, ізолонг (обрахунок довжин водотоків певних порядків), інтегрального коефіцієнта розчленування рельєфу (сумарна довжина горизонталей рельєфу в межах елементарної ділянки) та інше.

4. *Полігональні операції.* Ці ГІС-операції спрямовані на визначення положення точки, лінії в межах полігона, накладання полігонів, корекцію меж, злиття полігонів, виявлення і знищення випадкових (паразитних) полігонів. Тобто передбачається вся низка можливих дій з графічним примітивом класу *полігон* (див. розділи 2 і 3). Значення такої ГІС-функціональності дуже важливе для загальногеографічного картографування через ГІС, а особливо –

для *тематичного картографування*. Атрибутивні дані для інтегральної оцінки стану природно-антропогенного довкілля, як правило, зводять до регулярної мережі елементарних полігонів, кожен з яких містить набір інтерпольованих (усереднених) або екстрапольованих (залежно від характеру базової атрибутивної інформації) предметних даних. Наприклад, потрібно оцінити рівень геодинамічного (неотектонічного) впливу на ділянки лінійних об'єктів (транспортних магістралей, трубопроводів) або провести класифікацію за ступенем активності розламних порушень, виникає необхідність перенесення атрибутивної інформації від полігональних об'єктів до лінійних, які їх перетинають (Костріков, Черваньов, Спиця, 2013).

5. *Просторове моделювання (геомодельовання)*. Ця широка функціональність геоінформаційної системи може загально характеризуватися терміном *геоінформаційне моделювання* (Костріков, 2014). Як правило, передбачає побудову і використання просторових об'єктів, визначення їх взаємозв'язків і динаміки процесів, що і є основою двоєдиної сутності «*просторовий аналіз – ГІС-моделювання*». В основу геомодельовання може бути покладений математично-статистичний аналіз просторових розміщень і часових рядів, а наприклад, для різних геологічних застосувань – міжшаровий кореляційний аналіз. У вузькопредметному картографуванні, наприклад, в геоморфологічному, цю функцію застосовують далеко не повною мірою, найчастіше — для кореляційного аналізу різновікових поверхонь з метою визначення ступеня успадкованості рельєфу (морфоструктурного плану) території.

6. *Просторово-аналітичні функції*. Є одним з ключових складових функціональності ГІС. Включають багато компонентів топографічного аналізу і візуалізації, що розглядалися вище: аналіз близькості, розрахунок і аналіз зон видимості, розрахунок і побудову буферних зон. Ці операції використовують, наприклад, для визначення техногенного навантаження, розрахунку зон геодинамічного впливу активних розломів, тощо.

7. *Цифрове моделювання рельєфу й аналіз топографічних поверхонь*. Детально розглядалося в попередньому розділі посібника. В аспекті складової ГІС-функціональності має на меті створення достовірної цифрової моделі рельєфу в межах обраного масштабу досліджень та використання цієї моделі, як базової, для розрахунку похідних морфолого-морфометричних характеристик (кутів нахилу, експозиції, форми схилів, коефіцієнтів вертикального і горизонтального розчленування рельєфу), побудови ізолінійних дво- і тривимірних моделей рельєфу, проведення ліній тальвегів і вододілів, моделювання різнопорядкових базисних, вершинних поверхонь і виконання з

ними деяких математичних операцій. У межах цієї ж функціональності сучасними ГІС передбачено використання різних методів інтерполяції даних, за допомогою яких проводять максимально коректне моделювання різновпорядкованих просторових даних – йдеться про регулярні, лінійно впорядковані та нерегулярні мережі. Ключовою передумовою просторового аналізу через засоби ГІС є те, що проектно-дослідницька послідовність *методологія геоінформатики / конструкція геоінформаційної системи / ГІС-технологія* є саме тими інструментами, які забезпечують географічне мислення і *просторовий погляд* на явища у природно-антропогенному довкіллі – тобто забезпечують *новітній дослідницький підхід*. Вказаний просторовий погляд є *трьохкомпонентним*, як це підкреслюється на наступній ілюстрації, і таким, який забезпечує через геоінформаційний підхід реалізацію в сучасній географії наступних загальнонаукових атрибутів – *Вимірювання, Мислення, Аналізу, Планування і Рішення*.

У самому першому наближенні двома стратегічними цілями просторового аналізу є дві наступні:

- бачити ціле (цілісну картину довкілля);
- керувати місцеположеннями об'єктів (рис. 6.3).

Стратегічна ціль ПА «Бачити Ціле» має на увазі те, що сучасний географ може виявити глибинні *системні феномени* (зразки, зв'язки, тенденції) як у географічній оболонці, так і в соціумі, лише через просторовий аналіз, що впроваджується за допомогою ГІС-засобів.

Стратегічна мета «Керувати Місцеположенням» реалізує вибір певного методу ГІС-аналізу і його реалізацію для задач менеджменту *водозборів*, управління *регіональними громадами*, аналізу *сусідства* природних і антропогенних об'єктів у довкіллі, дослідження різнорангових *соціогеосистем* (див. рис. 6.3).

Обидві стратегічні цілі досягаються через вирішення наступної низки задач просторового аналізу:

- Аналіз місцеположення об'єктів.
- Аналіз розподілу числових показників щодо атрибутів об'єктів.
- Побудова карт щільності явищ.
- Пошук об'єктів усередині певної області.
- Аналіз найближчого сусідства.
- Картування змін.
- Визначення просторових атрибутів об'єктів.
- Розподіл об'єктів по категоріях.

- Пошук та визначення закономірностей розподілу просторових та атрибутивних даних.
- Підготовка до побудови бази геоданих.
- Візуалізація кінцевих результатів.

Вибір адекватного методу аналізу – головна складова, що обумовлює успішне вирішення кожної з цієї низки задач.

Майже завжди при вирішенні тієї або іншої задачі є два або три способи одержання інформації, яка необхідна. Як правило, один метод більш швидкий, однак дає наближенішу інформацію. Інші ж способи можуть зажадати детальніших даних, більшого часу і, відповідно, зусиль на обробку, але забезпечать більш точні результати.

ГІС-користувач обирає *метод аналізу*, виходячи з поставленої проблеми і того, як будуть використані результати цього аналізу. Наприклад, фахівець виконує оперативний аналіз розбійних нападів у місті, щоб виділити найбільш неблагополучні ділянки. Просто оцінити ситуацію можна, відобразивши на карті окремі злочини. Якщо ж інформація готується як доказ для слідства або суду, необхідно точніше обґрунтувати місця, де напади в конкретний період часу траплялися помітно частіше (Митчелл, 2000).







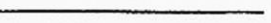






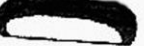



Таким чином, просторовий аналіз є процесом пошуку закономірностей в розподілі певної як просторової, так і атрибутивної інформації та виявлення взаємозв'язків між об'єктами. Просторово-аналітичні методи, які впроваджує ГІС-користувач, можуть бути як достатньо прості (звичайне створення карти), так і надзвичайно складні, наприклад – реалізація в базах геоданих сучасних ГІС-платформ *динамічної поведінки об'єктів довкілля*.

Узагальнюючи розгляд засад просторового аналізу, ще раз коротко визначимо його ключові складові:

- *Постановка проблеми* – яку похідну інформацію планує отримати ГІС-користувач в результаті аналізу.
- *Розуміння даних користувача* – розуміння характеру даних обумовлює метод аналізу, який має обрати ГІС-користувач.
- *Вибір методу аналізу* – детально ця складова охарактеризована у попередньому абзаці тексту.
- *Геообробка (даних)* – після вибору методу аналізу будується послідовність дій для реалізації цього методу через ГІС-засоби.
- *Оцінка результатів* – оцінка результатів аналізу виконується на підставі візуалізації похідної інформації в одному (або в двох, чи у всіх трьох) із Вікон ГІС-інтерфейсу. Нагадаємо, що в середовищі ГІС-платформи існують *Вікно Карти* (MapView – англ.), *Вікно Таблиці* (Browser Window) і *Вікно Графі-*

ка (Graph Window). Під час оцінки результатів ГІС-користувач оцінює об'єктивність, своєчасність і доцільність отриманої інформації. У разі необхідності приймається рішення про повторення аналізу з іншими параметрами вхідної інформації або про застосування іншого методу аналізу.

Просторові об'єкти, які повинні бути відображені на вихідній ГІС-карті, доцільно розділити на *чотири типи*, які можуть бути легко ідентифіковані: *точки, лінії, області і поверхні* (рис. 2.1). Ці чотири категорії об'єктів також є *графічними примітивами ГІС*. Разом вони подають більшість природних і антропогенних феноменів, які ми зустрічаємо щодня в реальному світі. Окремі ж складові, на які можна розкласти даний об'єкт, будуть *просторовими елементами*.

		Точечное	Линейное	Площадное
Объекты реального мира	точечные	 дерево	 цепь валунов	 животные ареал 
	линейные	 аэропорт 	 железная дорога	 речная сеть и водосбор 
	площадные	 пятно химического загрязнения 	 водохранилище	 земельный участок
	объемные	 карьер 	 долина реки	 ирригационный сток

. Картографічне подання просторових об'єктів (за ДеМерс, 1999, с. 28)

У середовищі ГІС об'єкти реального світу явно представлені *трьома типами об'єктів* із зазначених чотирьох. *Точки, лінії та області* можуть представлятися відповідними символами, які студенти розглядали в курсі класичної картографії, *поверхні* ж подаються найчастіше або висотами точок, або певними комп'ютерними засобами, що звичайно розглядаються в межах навчальної дисципліни «комп'ютерна картографія».

Тут же для нас найбільше важливо те, що в ГІС вся інформація – *явно просторова*. Феномени *непросторові* за своєю природою (наприклад, певні

компоненти культурної сфери життя) не можуть безпосередньо досліджуватися в ГІС, якщо тільки їм не привласнити деякі їхні просторові характеристики, що подають їх у певній системі координат.

Процес пошуку просторових характеристикних параметрів (*spatial surrogates* – англ.) дуже складний, тому ми обмежимося обговоренням більш однозначних форм географічної інформації. Зазначені вище графічні примітиви відповідають не тільки звичайним *геометричним вимірам*, але і певним *топологічним правилам*, які визначає предметна галузь *топология*, наука про ті властивості просторових об'єктів, які неможливо метризувати.

Точкові об'єкти – це такі *нульвимірні* об'єкти, кожний з яких розташований тільки в одній точці простору. Відомо, що такі об'єкти, як дерева, будинки, перехрестя доріг і багато інших – точкові. Такі об'єкти визначаються як дискретні, у тому сенсі, що кожний з них може займати в будь-який момент часу тільки визначену точку простору. З метою моделювання вважають, що у таких об'єктів немає просторової довжини, чи довжини ширини, але кожний з них може бути позначений координатами свого місця розташування. Приймається, що точки мають нульову кількість просторових вимірів. *Правила для точок* і реальні точкові об'єкти подаються на двох рис. 2.2 та 2.3.

Лінійні об'єкти подаються як *одномірні* в нашому координатному просторі. Такими «одномірними» об'єктами можуть бути дороги, ріки, границі, огорожі, будь-які інші об'єкти, що істотно довгі й вузькі.

Топологічні правила для лінійних об'єктів, «ліній», наводяться на наступній ілюстрації (рис. 2.4).

Масштаб, при якому ми спостерігаємо ці об'єкти, обумовлює поріг, при перетинанні якого можна вважати, що дані об'єкти не мають ширини. Такий масштаб визначаємо як *пороговий*. Ріки, дороги, огорожі – усі мають два виміри при близькому розгляді. Але чим далі є від них спостерігач, тим тонше вони стають. Поступово вони стають такими тонкими, що неможливо представити їх собі, як щось інше, ніж лінійні об'єкти, тобто стає неможливим виміряти їхню ширину (див. рис.).

Інші лінійні об'єкти, такі як, наприклад, політичні границі, взагалі не мають ширини, оскільки ці лінії навіть не є матеріальними сутностями. Незважаючи на їхню невідчутність, їх можна, проте, подавати як виразно просторові, оскільки вони розділяють дві області географічного простору. Для лінійних об'єктів, на відміну від точкових, ми можемо вказати просторовий розмір простим визначенням їхньої довжини.

Об'єкти, розглянуті з досить близької відстані, щоб мати довжину і ширину,

називаються *областями, площинними об'єктами* або *полігонами*. Приклади площинних, чи «двовірних» об'єктів, включають території, займані двором, містом, або навіть цілим континентом. Відповідно і для площинних об'єктів (полігонів) існують свої правила топології (рис. 2.5).

При визначенні місця розташування області в просторі ми виявляємо, що її границя є лінією, яка починається і закінчується в одній і тій же точці. Крім вказівки місця розташування областей через використання ліній, ми можемо тепер уявити три наступні характеристики: як і для ліній, можна вказати їхню форму й орієнтацію, а тепер ще і площу, яку займає область.

Додавання нового виміру – висоти – до площинних об'єктів, дозволяє нам спостерігати і фіксувати *поверхні*. Хоча ми можемо розглядати будинок із близької відстані й описувати його в термінах його загальної довжини і ширини, нам часто потрібно знати, скільки в ньому поверхів. У такому випадку нам потрібно розглядати будинок не як плоску поверхню, а як тривимірний об'єкт, що має довжину, ширину і висоту.

Поверхню водозбірного басейну ми можемо розглядати на звичайній двовимірній карті, де висоти цієї поверхні відображаються ізолініями або подаються у стандартній топографічній палітрі. Із застосуванням програмного забезпечення ГІС цю поверхню ми подаємо у тривимірному вигляді – через так звану *сцену* (рис. 2.6), причому разом із рельєфом можуть моделюватися інші властивості поверхні, наприклад – вологість ґрунту (див. рис. 2.6).

У природному довкіллі поверхні оточують людину повсюди. Пагорби, долини, гряди гір, скелі та безліч інших утворень можуть описуватися характеристикою їхнього місця розташування, площі, що займана певною формою рельєфу, орієнтації, і тепер, з додаванням третього виміру – висот цих поверхонь. Виявляється, що поверхні складаються з безлічі точок із значеннями висот. Ми говоримо, що вони *безперервні ГІС-об'єкти*, як протилежність *дискретних*, оскільки точки, що їх складають, розподілені без розривів по всій поверхні. Останнє складає суть *растрової моделі даних*. В дійсності, оскільки висота тривимірного об'єкта змінюється від точки до точки, ми можемо також вимірювати величину зміни висоти із переміщенням від одного краю до іншого, тобто *градієнт висоти*. Усі ці феномени, будь-то точкові, лінійні, площинні чи поверхневі, існують у географічному просторі. Всім їм може бути приписане визначене місце розташування, де їх можна легко знайти і візуалізувати за допомогою бази даних ГІС. Ця обставина – одна із найсуттєвіших переваг ГІС-аналізу, яка, власне, і дозволяє вирішувати такі його завдання:

- аналіз місцеположення об'єктів;

- аналіз розподілу числових показників;
- побудова карт щільності;
- пошук об'єктів всередині області;
- аналіз сусідства;
- картування змін;
- визначення просторових атрибутів об'єктів;
- розподіл об'єктів по категоріях;
- пошук та визначення закономірностей розподілу;
- підготовка до побудови бази геоданих;
- візуалізація результатів.

Оскільки дефініції «сучасний просторовий аналіз» і «ГІС-аналіз» є синонімами, зупинимося на окремих аспектах просторового аналізу в наступному розділі підручника.

Загальні положення просторового аналізу в середовищі ГІС

Аналітичні можливості повноформатної геоінформаційної платформи звичайно реалізуються саме через просторовий аналіз, який класик цієї предметної галузі М. ДеМерс називав «серцем ГІС» (ДеМерс, 1999, с. 208). Через це не є зовсім коректним протиставлення, яке роблять деякі вітчизняні автори, «простих методів просторового аналізу» «більш складним засобам... просторового моделювання» (Іщук та інші, 2003).

Саме через аналіз даних геоінформаційна система здатна відповісти на будь-яке питання щодо взаємодії просторових відносин між наборами даних, а також підтримувати достатньо широкий спектр операцій аналізу – від простого відображення до складних багатокрокових аналітичних геоінформаційних моделей (Бескид, 2010). Щодо цього особливо важливо, що в ГІС-аналізі результат однієї процедури можна, а в окремих випадках – необхідно використовувати в іншій.

Класики теорії геоінформаційних систем пропонують розглядати просторовий ГІС-аналіз саме автоматизованим поданням комплексу різноманітних видів *географічного аналізу*, який розроблявся протягом декількох сторіч розвитку географічної думки (ДеМерс, 1999). У зв'язку з цим провідні російські фахівці в галузі ГІС та геоінформатики стверджують, що просторовий аналіз найчастіше виконується з метою виявлення наступних відносин (Капралов и др., 2004; Тикунов и др., 2005):

- закономірностей в структурі множини об'єктів або особливостей розподілу об'єктів, а також їх характеристик у просторі;
- наявності та виду взаємозв'язків у просторовому розподілі декількох

класів об'єктів або окремих характеристик;

- тенденцій розвитку географічних явищ в просторі та в часі.

Серед інших задач просторового аналізу саме вказані автори називають, в першу чергу, вибір певного рішення з урахуванням просторових характеристик (наприклад, розстановка антен і визначення їх характеристик для забезпечення безперервним радіозв'язком потягів у процесі руху, вибір оптимального маршруту проїзду по мегаполісу з урахуванням обмежень і прогнозованої швидкості руху вулицями міста та інші). Також підкреслюється, що при проведенні просторового аналізу можна використовувати тільки ті подання об'єктів реального світу, які можливо реалізувати за допомогою моделей даних, закладених у систему. Відповідно, в ГІС використовуються два основні підходи до опису географічного простору (Кошкарев, 1993):

1) підхід, заснований на *структуризації простору*, тобто виділенні просторових об'єктів, посилення на характер їхньої локалізації в просторі, посилення на їхні межі та в деяких випадках – посилення на взаємозв'язки з іншими об'єктами;

2) підхід, заснований на *неструктурованому поданні простору*. В даному випадку весь простір, що вивчається множиною чарунок заданого розміру і форми, в яких визначені усереднені параметри або характеристики, відповідні цій частині цього простору. Це можуть бути характеристики, які приймають будь-які значення із заданого інтервалу (температура, солоність, кількість опадів) або характеристики із заданого переліку (ліс, озеро, луг, рілля, тощо). Не зважаючи на те, що в цьому разі використовуються назви об'єктів, фактично ці об'єкти не існують, не визначений характер їхньої локалізації, не задані межі, без виконання процедури структуризації неможливо підрахувати кількість об'єктів, тощо.

При визначенні основних задач ГІС-аналізу також говорять про властивості та характеристики об'єктів або точок простору (Тикунов и др., 2005). Підкреслюється необхідність врахування того, що ці властивості та характеристики також зовсім не однорідні. Перш за все, необхідно розділити всі характеристики об'єктів на *якісні* та *кількісні*. З кількісними характеристиками можна виконувати різні операції, якісні характеристики можна, головним чином, порівнювати. Порівнюючи такі характеристики, дослідник-географ звичайно намагається відповісти на два питання: чи співпадають порівнювані характеристики або об'єкти? Чи можна визначити порядок цих характеристик або об'єктів? Якщо можливо відповісти тільки на перше питання, то говорять, що об'єкти описані в *номінальній шкалі* або *шкалі*

категорій, якщо є можливість відповісти і на друге питання, то об'єкти описані в *ранговій шкалі*.

Щоб визначити місце аналітичних можливостей геоінформаційних засобів у загальній повнофункціональній схемі ГІС, звернемося до її дефініції, наведеної в одному з російських підручників (це визначення належить одному з американських фахівців в галузі ГІС): «ГІС – це інтегрована комп'ютерна система, що знаходиться під управлінням фахівців-аналітиків та здійснює збір, зберігання, маніпулювання, *аналіз*, моделювання і відображення просторово співвіднесених даних» (Самардак, 2009, с. 14). Повнофункціональна схема ГІС із цього літературного джерела наводиться на рис. 2.7, де вказано місце аналітичних можливостей

Коротка узагальнена характеристика аналітичних ГІС-засобів може бути подана таким чином (Самарадак, 2003). Будь-яка сучасна ГІС-платформа містить певний набір засобів для аналізу просторово-атрибутивної інформації. Саме використовуючи *аналітичні функції ГІС*, можна отримати відповіді на такі питання, як:

- Де розташований об'єкт *A*?
- Яке розташування об'єкта *A* відносно об'єкту *B*?
- Яка кількість об'єктів *A* розташовується в межах відстані *D* від об'єкта *B*?
- Яке значення має функція *Z* в точці *X*?
- Які розміри об'єкта *B*?
- Що вийде в результаті перетину об'єктів *A* і *B*?
- Який маршрут від об'єкта *X* до об'єкта *Y* буде оптимальним?
- Які об'єкти розташовані всередині об'єктів *X₁, X₂, ..., X_n*?
- Чи принципово зміниться просторовий розподіл об'єктів після зміни існуючої класифікації?
- Що станеться з об'єктом *A*, якщо змінити об'єкт і його місце розташування відносно *A*?

Достатньо прийомів ГІС-аналізу виконується через *запити*. Запити в ГІС можна задавати як у межах графічного інтерфейсу користувача (ГІК) (через простий клік мишею на об'єкті), так і за допомогою розвинених аналітичних засобів, які коротко обговорюються в цьому підрозділі монографії.

Разом із засобами стандартної мови структурованих запитів *SQL* (*Structured Query Language* – англ.) аналітичні можливості ГІС дають користувачеві потужні інструменти, що настроюються для обробки й управління просторовою та атрибутивною інформацією.

Основними функціями ГІС, пов'язаними з аналізом просторово-атрибутивної інформації, можна вважати ті, що поділяються на дві групи –

атрибутивного аналізу і просторового аналізу. Можливості непросторового (атрибутивного) аналізу: запит за атрибутами і їхніми відображеннями; пошук цифрових карт і їхня візуалізація; класифікація непросторових даних; картографічні виміри (відстань, напрям, площа); статистичні функції. Можливості просторового аналізу: «оверлейні» операції; аналіз близькості; мережний аналіз; пошук об'єктів; аналіз видимості-невидимості; прогнозування; картометричні функції; інтерполяція та інші геостатистичні методи; зонування; створення контурів; декомпозиція і об'єднання об'єктів; буферизація; перекласифікація.

Фундаментальним положенням аналізу просторового розташування ГІС-об'єктів, і це вже зазначалося вище, є та обставина, що всі географічні феномени, які асоціюються з цими об'єктами, будь-то точкові, лінійні, площинні чи поверхневі, існують у *географічному просторі*, який і визначається *загальним об'ємним географічним екстентом*. Усім вказаним феноменам у межах цього екстенту може бути приписане визначене місцеположення, де їх можна легко знайти за допомогою бази даних ГІС. Ця обставина – одна із дуже суттєвих переваг ГІС-аналізу, що також вже підкреслювалося вище.

Далі в аспекті цього короткого огляду ГІС-аналізу необхідно зупинитися на деяких характеристиках просторових даних, загальних моделях даних і принципах організації просторової інформації.

Загальновідомим є те, що накопичування і обмін будь-якою, в тому числі географічною інформацією, можливі тільки за допомогою *даних – зафіксованих елементарних фактів*. Поняття «дані» має багато аспектів. Якими можуть бути дані?

1. Первинними фактами, які об'єктивно відповідають у реальному світі – природно-антропогенному довкіллі – об'єктам, предметам або умовам поза залежністю від способу фіксації та інтерпретації цієї відповідності людиною – спостерігачем. Одне дерево вище іншого, а ріка тече в напрямку сходу Сонця незалежно від того, чи спостерігає їх людина, і якщо так, то як вона це сприймає і чи сприймає взагалі. У реальному світі є щось, що може бути зафіксовано нашими відчуттями безпосередньо або з використанням технічних засобів і спеціальних прийомів. На цьому рівні важко, говорячи взагалі, можливий обмін даними: привести когось за руку до ріки і мовчки показати напрямок її плину, але неважко зрозуміти, наскільки обмежені можливості такого обміну, та й чи є він, пос уті, *передачею інформації* – адже без додаткової інформації, хоча б і повідомлених жестом, важко здогадатися, що йдеться саме про напрямок плину ріки.

2. Дані можуть бути зафіксовані тим чи іншим способом, що не включає інтерпретацію, наприклад, записані на магнітному носії електронним датчиком, як сейсмічні сигнали, чи на диск цифрової камери, як фотографії ландшафту.

3. Дані можуть бути безпосередньо в процесі їхньої фіксації тим чи іншим способом проінтерпретовані людиною, наприклад, польова замальовка ландшафту, зроблена географом-ландшафтознавцем, заповнена співробітником соціологічної служби анкета-опитування, словесний опис у польовому щоденнику геолога виходу гірських порід на поверхню.

4. Дані можуть бути закодовані певним чином, наприклад у вигляді звичайної паперової карти із визначеною легендою, у вигляді набору чисел – координат точок виміру глибин океану і самих обмірюваних глибин.

5. Дані можуть бути структуровані чи організовані певним чином, наприклад у вигляді таблиць в результатах перепису населення, чи у вигляді просторової бази даних (*бази геоданих*) у географічній інформаційній системі.

Через узагальнення поняття *географічних даних*, можна спробувати коротко відповісти на питання: «Що таке географічні дані в аспекті ГІС-аналізу?». Це, перш за все, *цифрове подання даних* із двома головними моделями – *векторною* та *растровою*.

У *векторній моделі* подаються такі об'єкти, як точки, лінії або полігони, що, власне, вже зазначалося вище. *Просторові координати* визначають геометрію та положення цих об'єктів. *Растрову модель* надають дані у вигляді матриці рівновеликих чарунок. Чарунки зберігають числову інформацію. Вони можуть подавати знімки (дані дистанційного зондування) або тематичні шари (наприклад, рельєф).

Доцільно окремо зупинитися на *структурі векторних даних*. Останні зазвичай зберігаються як *класи об'єктів*. Клас об'єктів – це набір однорідних об'єктів з атрибутами. Таким об'єктам притаманні: однаковий тип *геометрії*, однаковий *набір атрибутів*, спільний *географічний екстент*. Таким чином, виходячи з того, як водозбірний басейн був описаний у попередніх двох розділах, він, а точніше його *мережа рельєфу* та *руслова мережа* – повністю підпадають під характеристику цього об'єкта.

Растрова інформація зберігається у вигляді *набору растрових даних*. Як вже вказувалося вище, набір растрових даних – це матриця рівновеликих чарунок. Суттєве значення тут має така характеристика як *роздільна здатність* – розмір ділянки земної поверхні, яка подається кожною чарункою растру. Числові значення чарунок можуть бути цілочисловими або із плавальною комою.

Наступне питання – як зберігаються географічні дані – первинні та похідні дані для ГІС? Назвемо лише головне існуюче сьогодні рішення:

- *База Геоданих* (БГД – стандарт збереження даних компанії ESRI);
- БГД – це «контейнер» для:
 - класів просторових об’єктів;
 - наборів растрових даних;
 - автономних таблиць даних;
 - множини інших об’єктів;
- Існує значна кількість інших форматів географічної інформації, як векторних, так і растрових.

Якщо майже загальноприйнятою є думка, що БГД – оптимальне рішення для збереження географічної інформації, то в чому полягають переваги бази геоданих (таке питання тим більш є доречним, оскільки далі у тексті монографії БГД розглядаються лише епізодично)? За загальною думкою, вони вважаються такими:

- ✓ одне середовище для класів просторових об’єктів, наборів растрових даних та таблиць;
- ✓ імпорт та експорт багатьох інших ГІС-форматів;
- ✓ дозволяє динамічно моделювати просторові та атрибутивні відношення між об’єктами;
- ✓ масштабованість (підтримка корпоративного використання і робочих процесів; використовується у відомих СУБД: *Oracle, IBM DB2, Microsoft SQL Server*).

БГД – це досить складна форма організації просторової інформації. Однак, треба окремо додати, що їй передують кілька переважних базових форм такої організації, що прийнято називати *загальними моделями даних*.

Одним із загальноприйнятих принципів – моделей організації просторової інформації – це *пошаровий принцип (пошарова модель)*, який розповсюджується і на візуалізацію результатів для отримання повної картини навколишнього середовища. Суть вказаного принципу полягає в тому, що різноманітна інформація про якусь територію зорганізується у вигляді серії тематичних шарів, що відповідають конкретним потребам.

Загальновідомим є поняття комп’ютерної карти як *набору шарів*. Кожна таблиця бази даних, що містить графічні об’єкти, може бути зображена як шар у вікні карти. Наприклад, будь-який бізнесмен може вивести на екран таблиці його клієнтів, адреси домівок і назв вулиць, кордонів областей. Такі шари можна уявити як прозорі плівки. Кожний шар містить окремий аспект карти. Шари накладаються один поверх одного і дозволяють вам бачити всі аспекти

карти одночасно. Наприклад, один шар містить кордони країни, другий – символи, що визначають положення столиць, третій шар складається з текстових підписів. З накладання цих прозорих шарів один поверх іншого користувач ГІС починає побудову повної карти. Якщо є наявні географічні розміщення, що пов'язані з записами у цій *базі геоданих*, користувач ГІС може відкрити базу як шар у вікні карти. Якщо ні, він може додати їх за допомогою *геокодування* цієї таблиці, тобто виконати один із базових прийомів ГІС-моделювання.

Наприклад, користувач ГІС має таблицю реєстрації викликів швидкої медичної допомоги, куди включені місцезнаходження кожного виклику, дата, вид медичної допомоги. Він має вивести таблицю у вікні карти відповідної ГІС-платформи. Користувач також може вивести таблицю вулиць міста і таблицю районів, що розділені між певними відомствами, як додаткові шари в тому ж вікні карти.

Кожний звичайний шар може бути окремим елементом *тематичного шару* або *теми* (див. рис. 2.8). Кожен шар може містити інформацію, що стосується тільки однієї чи декількох тем. Наприклад, з метою вивчення природних ресурсів такими темами можуть виступати дані з геології корінних порід, геології четвертинних відкладень, з ґрунтів, типів землекористування, висот рельєфу місцевості, гідрографічної мережі, ухилів рельєфу, експозицій схилів, транспортної сітки. Для задач планування розвитку міської території такий набір може включати дані про вулиці, міські інженерні мережі, об'єкти транспортної інфраструктури, різні типи зонування міської території, типи землекористування і групи нерухомості.

Яким чином пошарова побудова ГІС-карт зв'язана з певними завданнями, які вирішуються безпосередньо на площині, на так званих *2D* картах, із, наприклад, такою «плоскою задачею», як *геокодування*, пояснюється на наступній ілюстрації.

Пошарова організація даних припускає, що шари у просторі не мають розривів і що скрізь ми маємо якусь інформацію, хоча б таку як «відсутність об'єкта», чи «немає даних про», чи «наявність відсутності об'єкта». Однак окремі звичайні шари необов'язково повинні в точності відповідати тематичному розподілу. Наприклад, кілька різних шарів може бути присвячено одній і тій самій, в принципі, темі, наприклад, геологічній будівлі на різних рівнях зрізів по глибині.

Інший репрезентативний приклад – окремі шари для поверхових планів кожного поверху будинків, тематика та сама, але через багато аспектів такий розподіл є достатньо зручним. Представлені окремими шарами дані можуть

належать до різних точок поверхні чи до різних періодів на часовій шкалі, наприклад однотипні дані перепису населення за різні роки, карти середніх температур січня за різні роки тощо.

Іншим ключовим підходом, моделлю організації просторової інформації, називається *безшаровий* принцип або *об'єктно-орієнтований* підхід (модель) (рис. 2.10). При впровадженні цього підходу відсутня розбивка інформації на тематичні шари, точніше, відсутнє групування об'єктів у тематичні шари, якими можна маніпулювати як тематичними картами.

У випадку такого підходу групування об'єктів відбувається більш складним способом, відповідно до логічних взаємозв'язків між ними, з побудовою ієрархій, що відповідають їхнім більш загальним і окремим властивостям об'єктів природно-антропогенного довкілля (див. рис. 2.10). Ця друга модель, можливо, є дещо ближчою до структури людського мислення взагалі і, відповідно, до структури мислення користувача ГІС зокрема. Вона особливо ефективна тоді, коли потрібно підкреслити індивідуальні логічні взаємозв'язки об'єктів, але є менш ефективною, якщо необхідно вводити до розгляду також і безперервно розподілені в просторі феномени, такі як рельєф місцевості чи дані про забруднення ґрунту важкими металами.

Втім, варто окремо підкреслити, що якоїсь нездоланної і різкої різниці між цими двома принципами організації просторової інформації, між загальними моделями даних, окремо реалізованими в межах кожного із підходів, немає. Якщо уявити собі такий варіант пошарової організації, коли кожен індивідуальний ГІС-об'єкт є винесеним в окремий тематичний шар, ми одержимо таку структуру, від якої вже недалеко до гнучкості встановлення логічних взаємозв'язків, характерних для об'єктно-орієнтованого підходу. ГІС-подання географічних даних необхідним чином передбачає комплексне представлення *просторової* і *атрибутивної* інформації, що, власне, і забезпечує подальшу *геовізуалізацію* за допомогою цифрових карт та інших наочних матеріалів.

Ми вже зазначали, що цифрові географічні дані треба уявляти як решту шарів, що розташовують один на одному у Вікні Карти певної геоінформаційної системи. Однак ми ще майже не торкалися поняття *таблиць атрибутів* географічних об'єктів цифрової карти. Водночас кожна таблиця бази даних, що містить графічні об'єкти, може бути зображена як шар у вікні карти. Наприклад, користувач ГІС завдяки саме такому поєднаному поданню просторових і атрибутивних даних має змогу вивести на екран табличну

інформацію щодо своїх бізнес-клієнтів, вулиць свого (та інших) міста, кордонів областей (округів) своєї держави.

Атрибутивна інформація щодо ГІС-об'єктів, як правило, зберігається у таблиці по рядках та колонках (рис. 2.11). Наприклад, на наступній ілюстрації атрибути шару вулиць можуть включати назву вулиці (*Street Name* – англ.), її довжину (*Length* – англ.), обмеження швидкості пересування автомобілів (*Speed Limit* – англ.), кількість смуг руху (*Number of Lanes* – англ.), матеріал дорожнього покриття (*Surface Material* – англ.). Така інформація має бути присутня в таблиці атрибутів для кожної вулиці цього міста в певному тематичному шарі вулиць.

У загальному розумінні сортування, обробка й узагальнення атрибутивної інформації є такою ж невід'ємною складовою ГІС-аналізу, як і всі вказані дії з інформацією просторовою. Більше того саме атрибутивну інформацію можна вважати значно більш багатогранною і такою, яка потребує більш складних методів аналізу або різноманітних класифікацій. Така думка, безумовно, має право на життя, хоча якимось чином порівнювати ці два види інформації треба дуже обережно.