

**С. В. ТІТОВА, Т. В. ДУДУН**

**ГЕОГРАФІЧНІ КАРТИ ТА  
КАРТОГРАФІЧНИЙ МЕТОД  
ДОСЛІДЖЕННЯ**

**2 ТОМ.**

**КАРТОГРАФІЧНИЙ МЕТОД ДОСЛІДЖЕННЯ**

**Київ 2017**

УДК 528.8(075)  
ББК 26.13я73  
Д 48

Рецензенти:  
академік НАН України, д-р геогр. наук Л.Г. Руденко  
д-р геогр. наук І.П. Ковальчук

*Затверджено вченою радою географічного факультету  
Київського національного університету імені Тараса Шевченка  
(протокол № 5 від 11.05.17)*

Авторський колектив: С. В. Тітова, Т. В. Дудун

**Д Д 48**

Географічні карти та картографічний метод дослідження (1 том - Географічні карти) (2 том — Картографічний метод дослідження) / Т. В. Дудун, С. В. Тітова. // упоряд. С. В. Тітова. – К., 2017. – 150 с.

У другому томі посібника, який має назву “Картографічний метод дослідження” висвітлено сутність особливостей використання географічних карт в наукових та практичних дослідженнях. Розглянуто питання технічних прийомів аналізу карт та досліджень, які можна проводити за картами. Визначено чинники, які впливають на точність досліджень, а також розкрито перспективи розвитку картографічного методу в комплексі інших географічних методів, зокрема розглядаються основні можливості ГІС-аналізу для цілей картографічного методу дослідження.

Посібник розрахований для студентів і фахівців напряму підготовки “Геодезія, картографія та землевпорядкування”.

УДК528.8(075)  
ББК26.13я73

**ISBN 978-966-439-239-3**

© Т. В. Дудун, С. В. Тітова, 2017

ВПЦ “Київський університет”

## ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	6
РОЗДІЛ 1. ВИКОРИСТАННЯ КАРТОГРАФІЧНИХ ТВОРІВ У НАУКОВІЙ ТА ПРАКТИЧНІЙ РОБОТІ	
ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ	
1 Поняття про картографічний метод дослідження	7
2 Карта як засіб пізнання дійсності та джерело інформації	10
РОЗДІЛ 2. КАРТОГРАФІЧНА ІНФОРМАЦІЯ	16-20
1 Сучасне уявлення про картографічну інформацію	16
2 Картографічна тріада: знак, образ, інформація	18
РОЗДІЛ 2. СИСТЕМА ПРИЙОМІВ АНАЛІЗУ КАРТ	21-48
1 Класифікація прийомів	21
2 Візуальний аналіз та опис за картами	25
3 Графічні прийоми аналізу карт	26
4 Графоаналітичні прийоми аналізу карт	30
5 Прийоми математико-картографічного моделювання	39
РОЗДІЛ 4. ГЕНЕРАЛІЗАЦІЯ ТА ОЦІНКА ТОЧНОСТІ ПРИ КАРТОГРАФІЧНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ	49-58
1 Генералізація та картографічні дослідження	49
2 Чинники, які впливають на точність досліджень	52
3 Картографічна точність	54
4 Технічна точність	55
5 Генералізація із використанням комп'ютерних технологій	56
РОЗДІЛ 5. ОРГАНІЗАЦІЯ КАРТОГРАФІЧНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ	59-69
1 Використання, перетворення карт та організація картографічного дослідження	59
2 Вивчення за картами структури картографічних образів	61
3 Вивчення за картами просторових взаємозв'язків	63
4 Вивчення динаміки явищ	65
5 Картографічне прогнозування	67
РОЗДІЛ 6. МОЖЛИВОСТІ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ГІС-АНАЛІЗУ В КАРТОГРАФІЧНОМУ МЕТОДІ ДОСЛІДЖЕННЯ	70-83
1 Основні поняття геопросторового аналізу	70

2	Просторове моделювання і типи географічних моделей реального світу	72
3	Концептуальна модель вирішення просторових задач	77
4	Ідентифікація та основні типи географічних об'єктів	79
	РОЗДІЛ 7. ЗАДАЧІ ГІС-АНАЛІЗУ	83-141
1	Візуальний аналіз місця розташування даних	83
2	Аналіз кількісних даних місця розташування	95
3	Аналіз щільності об'єктів	99
4	Сутність аналізу просторових змін	105
5	Розуміння та аналіз просторових патернів	119
6	Просторова залежність і просторова автокореляція	126
7	Аналіз просторових патернів безперервних явищ	129
8	Оцінка недостовірності результатів при моделюванні просторових сценаріїв	137
	РОЗДІЛ 8. ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ КАРТОГРАФІЧНОГО МЕТОДУ В КОМПЛЕКСІ ІНШИХ ГЕОГРАФІЧНИХ МЕТОДІВ ТА ВИКОРИСТАННІ ГІС-АНАЛІЗУ	142-149
1	Комплексне використання картографічного методу та інших методів	142
2	Роль картографічного методу на різних етапах спеціальних досліджень	143
3	Перспективи та шляхи розвитку картографічного методу дослідження	144
	ПІСЛЯМОВА	146
	СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ	147-150

## ПЕРЕДМОВА

Сучасна картографія — це захоплююча пізнавальна наука, яка за допомогою карт досліджує просторове розміщення явищ природи та суспільства, їх зв'язки, динаміку; наука яка здатна проникати в механізми функціонування процесів у часі та просторі, прогнозувати їх подальший розвиток. За останні десятиріччя стрімкий прогрес картографії та суміжних з нею дисциплін призвели до появи нових методів, технологій, напрямків картографування й до створення нових типів картографічних творів. На сьогодні, картографію важко уявити без тісної взаємодії із аерокосмічним зондуванням, геоінформатикою та телекомунікацією. Електронні карти, та атласи, анімації, трьохвимірні картографічні моделі та інші геозображення стають звичними засобами досліджень для географів, геологів, екологів та інших спеціалістів.

Зміст та структура другого тому посібника відповідає програмі курсу “Тематичні карти та картографічний метод дослідження. Модуль 3 - Картографічний метод дослідження” для студентів картографів географічних факультетів університетів, а також курсу “Картографічний метод дослідження та ГІС-аналіз” для студентів магістрів 1 року навчання за напрямом підготовки “Картографія”. Картографічний метод дослідження є “наскрізним” в географії, а карта була й залишається одним з основних засобів пізнання світу, тому цей підручник буде цікавим й для суміжних напрямків підготовки студентів географів.

Другий том посібника присвячено саме картографічному методу дослідження, в якому докладно розглядаються питання технічних прийомів аналізу карт та дослідження, які можна проводити за допомогою карт, а також розкриваються перспективи розвитку картографічного методу дослідження в комплексі інших географічних методів.

Автори посібника намагалися структурувати розділи посібника, щоб вони були компактні, зручні для сприйняття, а матеріал в них був зрозумілий та забезпечувався довідковим матеріалом.

Цей підручник написано на основі багатолітнього досвіду викладання картографічного методу дослідження на географічному факультеті Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Автори щиро вдячні всім викладачам і співробітникам кафедри геодезії та картографії, які прийняли участь в обговоренні рукопису, а також вельмишановним рецензентам посібника.

**РОЗДІЛ 1**  
**ВИКОРИСТАННЯ КАРТОГРАФІЧНИХ ТВОРІВ**  
**У НАУКОВІЙ ТА ПРАКТИЧНІЙ РОБОТІ**

**ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ**

**1. Поняття про картографічний метод дослідження**

Високий рівень розвитку сучасної картографії призводить до постійного розширення сфери її діяльності. Продовжуючи удосконалювати всебічну методику та технічні засоби картографування, розробляючи нові типи карт, сучасна картографія починає ставити та вирішувати нові проблеми, яких раніше не було. Однією з таких проблем є розроблення сучасних методів використання карт в господарській практиці та наукових дослідженнях.

Можливість використання географічних карт в якості засобів дослідження відома досить давно. З античного часу до наших днів карти служать для систематизації знань, створення теорій та розвитку філософських уявлень про світ. Способи використання карт для наукового пізнання та практичної діяльності, отримання при читанні карти якісної та кількісної інформації мають розвиток вже довготривалий час. Ще у первісному суспільстві картографічні малюнки та спрощенні плани слугували для орієнтування у просторі задовго до виникнення писемності, для розуміння взаємного розміщення об'єктів і явищ навколишнього середовища та для практичних потреб. Такі карти вказували місця полювання, випасу тварин, розташування угідь та сусідніх поселень, а головне — стежки, річки, дороги, орієнтири.

У Давньому Єгипті, античній Греції та Римі вже застосовувалися прості способи визначення за картами відстаней, підрахунку площ, що також можна пов'язувати із розвитком математики. Епоха Великих географічних відкриттів у свій час, надає поштовх розвитку цілої системи досить досконалих на той час методів використання карт. Великий картограф Герард Меркатор (1512-1594 рр.), якого називають «Королем Картографів», відчував необхідність практичного використання картографічних творів, які він створював, тому супроводжував їх настановами та вказівками по використанню.

Перші ідеї використання карт для наукового дослідження відносяться до кінця XVIII - початку XIX ст., коли систематизація великої кількості фактичного матеріалу, який був накопичений до цього часу науками про Землю (географією, геологією, кліматологією), призвела до створення перших наукових карт, а також підґрунтям цього є інтенсивний розвиток топографічного й, особливо, тематичного картографування.

Саме систематизація великого фактичного матеріалу, накопиченого до цього часу усім попереднім розвитком географії та її окремих галузей спонукало до необхідності створення науково-обґрунтованого картографічного зображення, що спостерігало суспільство в природі. В

свою чергу, картографічне узагальнення цього фактичного матеріалу на великих територіях надало імпульс до розвитку співставлення географічних досліджень в різних напрямках, а карти стали слугувати засобом таких досліджень.

За картами були визначені різні глобальні закономірності, виявлено зв'язки одних явищ з іншими, тощо. Це праці Ф. Бьюша, який у 1783 році саме за картами досліджував розташування найважливіших хребтів та річок земної кулі. В 1817 році Олександр Гумбольдт, намагаючись з'ясувати картину розподілу тепла на земній кулі, вперше створив карту ізотерм та відкрив за нею кліматичні зони, а також визначив зональність рослинного покриву. Дещо пізніше, В. В. Докучаєв на основі картографічного аналізу довів наявність зональності географічного середовища в цілому.

Ще один з яскравих прикладів — відкриття А. Вегенером за картами вражаючої подібності окреслень східного узбережжя Південної Америки та західного узбережжя Африки, що надало імпульс ідеї мобілізму, дрейфу континентів та теорії глобальної тектоніки плит.

Центральною фігурою в історії використання карт є видатний картограф, географ, геодезист А. А. Тілло (1839-1899), який визначив закономірність зв'язку рельєфу із геологічною будовою, що створило основи виникнення сучасного морфоструктурного аналізу в геоморфології, а також розробив методи аналізу за картами вікових змін магнітних полів, глобальних орографічних та гіпсометричних й геологічних закономірностей.

Класичним зразком використання карт для наукових досліджень є роботи Д. Н. Анучіна, в яких досліджується еволюція зображення рельєфу від давніх карт до гіпсометричних та їх співставлення із геологічною картою, що створило умови виникнення гіпотези про походження головних вершин та низовин.

Проблеми картометрії розроблялися також іншими вченими серед яких: Ю. М. Шокальський, Г. А. Гінзбург, В. Н. Ченцов, Ю. С. Фролов, Н. М. Волков, тощо.

Галузь використання картографічного методу дослідження надзвичайно велика. В сучасній фізичній та економічній географії, геології та геофізиці тільки деякі дослідження не використовують науковий аналіз картографічних матеріалів. Наведемо в якості прикладу лише одне висловлювання, яке характеризує роль карти в науковому дослідженні. Геоморфолог Я. Д. Зеккель писав: *“Коли геоморфолог досліджує природу будь-якої місцевості, карта допомагає йому досконало розібратися з нею, коли ж його цікавлять великі території за охопленням, які неможливо дослідити, роль карти суттєво змінюється, вона вже не підручний засіб, а головний та неподільний об'єкт вивчення. Велику кількість особливостей геоморфологічної будови території можна спостерігати безпосередньо у полі, але лише в межах визначених ділянок, що створює порушення загальної уяви про рельєф ... Тоді карта надає про них більшу або найменшу, або повну, й що саме головне, загальну уяву про рельєф”*.

В 1948 році К. О. Саліщев вперше запровадив, а в 1955 році уточнив поняття та

*визначення картографічного методу дослідження, охарактеризувавши його, як метод дослідження географічних карт для опису, аналізу та пізнання явищ, для отримання нових знань і характеристик, для вивчення процесів розвитку, встановлення просторових взаємозв'язків та прогнозу явищ.*

Саме в такому розумінні термін “*картографічний метод дослідження*” увійшов тепер в наукову літературу та виробничу практику, й саме в такому розумінні він буде використовуватися в подальшому викладенні. Картографічний метод має велику кількість прийомів, способів аналізу та вивчення карт, які далі будемо називати просто *прийоми аналізу карт*. Ці прийоми можуть бути *якісними та кількісними*. Окрім цього, вони поділяються за технічними засобами: можна виділити графічні, статистичні, геоінформаційні та інші прийоми.

Дуже важливим є те, що *картографічний метод* – це камеральний метод дослідження. З цією обставиною пов'язані його основні надбання: економічність, швидкість, а також деякі недоліки, які вимагають в певних випадках польової, експедиційної перевірки висновків, отриманих при аналізі карт.

Сьогодні картографічний метод дослідження всебічно розробляється використовуючи сучасні здобутки картографії, математики, комп'ютерних технологій та ін. Постійно проводять пошук оригінальних прийомів аналізу карт, удосконалюється технічна база методу. Кількість різних прийомів аналізу карт та їх модифікацій, які були запропоновані у різні часи різними авторами для вирішення багаточисельних наукових завдань є надзвичайно різноманітними та важко піддаються обліку.

Фахівець, який застосовує картографічний метод дослідження, перш за все картограф, повинен досконало та вільно “читати карту”, знати принципи її укладання, способи відображення та технології видання, а також вміти орієнтуватися в прийомах аналізу карти, знати їх можливості, володіти основними технічними навичками, мати уявлення про точність дослідження, які проводяться за картами різного масштабу. “*Читаючи карту - ми дізнаємося нової мови, інтерпретуючи карту, ми починаємо говорити за допомогою цієї мови*” (англійський географ Ж. Дьорі).

Безумовно, використання картографічного методу в конкретному географічному дослідженні допускає більш чи менш глибоке знання основ даної географічної дисципліни. Окрім того, необхідно мати чітке уявлення про роль та місце картографічного методу в комплексі інших географічних методів дослідження, з метою того, щоб аналіз карт не замінював, а органічно доповнював інші спеціальні дослідження.

Для того, щоб чітко уявляти взаємовідношення картографічного та інших методів дослідження, наведемо порівняння картографії та математики (К. О. Саліщев): “*Математика не вивчає конкретно існуючих явищ або конкретних видів руху матерії, що відноситься до завдань*



механіки, фізики та інших наук. Однак, конкретні явища, всі види руху можуть в принципі вивчатися за допомогою математичного методу. Аналогічно математиці, картографія як наука, не включає у коло своїх завдань пізнання тих явищ та процесів, які вивчаються окремими природно-історичними та суспільними науками, але карти використовуються для вивчення будь-яких природних та суспільних явищ в їх географічному розміщенні, поєднанні та розвитку.

Використання математичного методу, наприклад, у фізиці потребує не тільки знання математики, а й правильного вибору фізичних передумов для математичної обробки та фізичного трактування результатів, які отримано математичним шляхом, це галузь роботи фізики. Таким же чином, геологічне знімання та трактування геологічних карт – справа геолога. Але розробка питань використання карт як особливого методу та способу дослідження належить тільки картографії, як розробка та удосконалення математичного методу – математиці” [19].

Розробка методики конкретного використання різних видів карт (геологічних, геоморфологічних, кліматичних та інших) для цілей дослідження відноситься до відповідних галузей знань, в нашому випадку — до геології, геоморфології, кліматології. Однак, розробку загальних питань картографічного методу дослідження правильно відносити до інтересів картографічної науки. Оскільки, географічні карти служать одним з основних способів географічних досліджень, безумовно, географи повинні знати можливості та способи картографічного методу і в межах своїх інтересів працювати над його удосконаленням.

Картографічний метод дослідження сьогодні вже оформлено в особливий розділ картографії, в якому розглядаються питання використання карт для пізнання зображених на них явищ та процесів.

## **2. Карта як засіб пізнання дійсності та джерело інформації**

Історичні аспекти розвитку картографії свідчать про те, що з одного боку, карти відображали успіхи у пізнанні навколишнього середовища людиною, а з іншого – надавали можливість вивчати реальний світ, вирішувати за їх допомогою численні практичні, а з часом і наукові завдання. Перші приклади застосування карт в наукових цілях відносяться до XVIII – XIX ст., коли систематизація великого за обсягом фактичного матеріалу, який було накопичено в науках про Землю, призвела до створення перших тематичних карт, які дали поштовх для нових досліджень. Саме за картами відкрито: географічну зональність природних явищ, закономірності річних і вікових коливань магнітного поля Землі, великі магнітні аномалії, подібність в абрисах континентів тощо. За картами вивчають взаємозв'язки об'єктів, їх структуру, розвиток у просторі й часі, прогнозують розміщення й розвиток об'єктів (*нагадаємо, що під об'єктами розуміються подані на картах предмети, явища та процеси реальності*).

У процесі використання карти виконують різні функції [2]:

1. *Комунікативна*, яка полягає у збереженні й передачі просторової інформації про навколишній світ;
2. *Пізнавальна*, суть якої полягає у вивченні об'єктів природи та суспільства та здобутті нових знань про них;
3. *Оперативна* – безпосередній зв'язок з вирішенням різних практичних завдань (наприклад з навігації, управлінням сільським господарством тощо);
4. *Конструктивна функція* карти проявляється під час розробки й реалізації господарських та соціальних проектів;
5. *Прогностична роль* карти, яку можна розглядати як продовження пізнавальної і яка надає можливість передбачати просторові й часові зміни у поширенні об'єктів, а також їх стан.

Принципова можливість наукового дослідження за картами закладена в тому, що точна та детальна карта складена на суворій науковій основі, документально фіксує різноманітну та досить багатокількісну інформацію про географічне середовище й, одночасно, сама слугує джерелом об'єктивної інформації при різних дослідженнях. В підтвердження цього положення розглянемо процес реєстрації інформації на карті для її наступного аналізу та перетворення.

У зв'язку з цим, узгодимо термінологічну базу. Так, термін “*явище*”, будемо далі застосовувати для позначення будь-якого явища, процесу або об'єкту відображеного на карті. “*Вихідною інформацією*” будемо рахувати всі дані про об'єкти, процеси та явища, які містяться в навколишньому географічному середовищі.

У процесі створення карти вихідна інформація перетворюється, причому характер перетворення залежить від призначення карти, від потрібної точності та детальності зображення, масштабу та проекції, від прийнятого способу зображення та ряду чисто технічних операцій, які пов'язані зі складанням та виданням карти. Великий вплив на перетворення вихідної інформації мають наукові та методичні принципи, які є покладено в основу укладання карти, а також навички та науковий досвід картографа.

Картографічне зображення явищ, яке отримується за результатом подібних перетворень будемо називати “*інформація, що спостерігається*”. Однією із особливостей карти є те, що все картографічне зображення складається із системи умовних позначень. Іншими словами, інформація, яка передається на карті, кодується на ній у вигляді умовних знаків. Процес читання карти, це фактично “*декодування*”. Використовуючи поняття теорії інформації, можна сказати, що “... картографічне зображення – це образнознакова модель, яка відтворює ту чи іншу частку дійсності у схематизованому (генералізованому) та наочному вигляді ” – ці слова належать К. О. Саліщеву [19].

Карта, як модель дійсності задовольняє ряд умов, головними з яких прийнято рахувати

геометричну подібність та географічну відповідність явищ зображених на картах айдносно існуючих у природі. Для наукових досліджень за картами надзвичайно важливим є те, що карта дозволяє окремо роздільно вивчати багато чинників, які в природі діють спільно. В цьому полягає принцип вибірконості картографічних моделей. Причому, можливе скільки завгодно точніше наближення до об'єктів, які існують в природі, тобто поліпшення ступеня подібності моделі та об'єкта.

Всі технічні прийоми, інструменти, науково-методичні принципи картографування, а також система умовних позначень – одним словом, всі засоби, які дозволяють перейти від вихідної інформації до інформації спостережень можна позначити поняттям – *“реєструючий канал”*.

Підкреслимо, ще раз, що таке перетворення інформації із одного виду в інший не є тільки механічною операцією, як наприклад, при фотографуванні місцевості з літака. В реєструючому каналі відбувається досить складна наукова обробка вихідної інформації. Зазвичай вона пов'язана з розробкою класифікацій, побудовою легенд, генералізацією та вибором способу зображення явищ.

В подальшому, при застосуванні карт для наукового дослідження, інформація спостереження, в свою чергу, піддається перетворенню, яке знов таки залежить від завдань дослідження, його теоретичного обґрунтування, від достовірності робочих гіпотез, від технічних прийомів та їх точності, і в кінцевому рахунку від кваліфікації дослідника.

Результатом цього нового перетворення є *“вихідна інформація”*. Вона може бути представлена у формі описів, аналітичних залежностей, графіків, таблиць або нових карт. В процесі перетворення виникає нова система кодування, яка зручніше для вирішення конкретного завдання.

Всі технічні прийоми аналізу карт, нові картографічні побудови та способи їх інтерпретації, наукові та теоретичні положення, робочі гіпотези – все, що сприяє переходу від інформації спостережень до вихідної, можна поєднати одним поняттям – *“дослідницький канал”*.

Тобто можна зробити висновок, що *картографічний метод дослідження є спосіб переходу від інформації спостережень (картографічне зображення) до вихідної інформації (результат дослідження)*.

Дуже важливим є те, що картографічний метод дослідження не безпомилковий. Існує велика кількість причин, які знижують якість вихідної інформації. Це систематичні помилки картометричних вимірювань, неточності інтерпретації та ін. Причому, будь-яка ланка дослідницького каналу, починаючи із робочої гіпотези та закінчуючи вимірювальними інструментами може містити свої спотворення. В теорії інформації їх називають *“шумами”* або *“перешкодами”*.

Відмітимо, що дослідницький канал найбезпосереднішим чином впливає не тільки на

якість, але й на обсяг вихідної інформації. Чим досконаліші окремі ланки цього каналу (інструменти, теоретичні обґрунтування, способи інтерпретації та ін.), тим більший об'єм інформації буде отримано в результаті дослідження при інших рівних умовах. Не буде помилкою сказати, що весь розвиток картографічного методу у кінцевому рахунку має напрямок на пошук та вдосконалення тих прийомів аналізу карт, які дозволяють отримувати необхідний об'єм інформації з найменшими спотвореннями.

Можливість вирішувати за допомогою карт багато наукових і практичних завдань обумовила формування такого розділу картографії як *використання карт*. Він вивчає особливості та напрямки застосування картографічних творів (карт, атласів, глобусів та ін.) в різних сферах практичної, наукової, навчальної діяльності, розробляє методика роботи з картографічними творами та оцінку надійності одержаних за допомогою карт результатів. Методики використання карт розробляються не тільки картографами, але й фахівцями тих галузей де широко використовуються картографічні твори, а спільна співпраця різних фахівців призводить до кращого використання карт, тобто застосування карт завжди розвивалося та продовжує свій розвиток на стику картографії з іншими науками про Землю та суспільство. За висловом К. О. Саліщева, “важливо не тільки мати хорошу карту, але й вміти працювати з нею, беручи від неї все, що вона може дати” [19].

***Картографічний метод – це метод застосування карт для пізнання зображених на них явищ.***

Пізнання розуміється як вивчення за картами структури, взаємозв'язків, динаміки та еволюції явищ за часом та у просторі, прогноз їх розвитку, отримання якісних та кількісних характеристик та ін. Застосування карт тісно пов'язано з їх складанням, тобто виникає система “створення - використання карт” головний зміст якої полягає у наступному:

1. джерелом вихідної інформації слугує навколишнє середовище. При картографуванні вибіркові спостереження перетворюються в карти, тобто створюються моделі цієї дійсності;

2. при картографічному моделюванні відбувається складна наукова обробка даних, яка пов'язується з абстрагуванням, аналізом та синтезом, що визначається метою та призначенням карти. На процес моделювання впливають рівень знань, ступінь вивченості об'єкта, науково-методичні принципи картографування, логіка класифікацій, рівень генералізації зображення, система умовних позначень та інші чинники;

3. у процесі, за ходом наступного застосування карт відбуваються нові перетворення інформації, які також залежать від мети дослідження, кваліфікації та досвіду дослідника, застосування технічних засобів, алгоритмів та програм і ін., при цьому будь-який ланцюг дослідження, починаючи з вихідної гіпотези та закінчуючи вимірювальними інструментами вносять спотворення до результату, тому отриманий результат необхідно завжди співвідносити з

реальною дійсністю, інтерпретувати його та при необхідності вносити корективи.

Таким чином, в системі «створення - використання карт» (рис 1.2.1) існують два тісно пов'язаних методи [2]:

- картографування, або картографічний метод відображення, мета якого складається у переході від реальної дійсності до карти (моделі);
- картографічний метод дослідження, який використовує карти (моделі) для пізнання дійсності.

Ці методи перетинаються та мають зворотні зв'язки, а при інтерактивному комп'ютерному створенні карт, особливо при застосуванні геоінформаційних технологій, дуже важко розпізнати, де закінчується створення та починається використання та перетворення карти. Наприклад: оцінкові та прогнозні карти створюються за результатом трансформування та синтезу декількох аналітичних карт, в цьому випадку, вихідні карти є джерелом для створення, вони стають матеріалом для дослідження та синтезу.



Рис .1.2.1 Система «створення - використання карт»

Однак, ці два методи чітко розрізняються. Наприклад: ґрунтознавець може використовувати в своїх дослідженнях геоморфологічну та геоботанічну карти, при цьому він не торкається процедур їх створення, або геоморфолог – топографічну карту, хоча він не брав участі у зйомці місцевості та ін.

Використання карт базується на вмінні читати їх. Читання карти треба розуміти як процес відтворення реальної дійсності за її зображенням на карті. Під час читання карти користувач

поглядом переміщується від одного позначення чи груп позначень до іншого, у різних напрямках, порівнює їх, повертається до вже переглянутого, спостерігає окремі елементи. Читання карти є підґрунтям для аналізу й оцінки інформації, яка отримується за її допомогою.

***Контрольні запитання:***

1. Що входить в поняття “картографічний метод дослідження?”
2. Які функції виконують карти в процесі їх використання?
3. Визначення картографічного методу дослідження.
4. Що таке система “створення-використання карт” та її головний зміст?
5. Які методи входять в систему “створення-використання” карт?

## РОЗДІЛ 2

### КАРТОГРАФІЧНА ІНФОРМАЦІЯ

#### 1. Сучасне уявлення про картографічну інформацію

Поняття “інформація” існує в науковому розумінні з 1948 року, воно було запропоновано К. Шенноном. Цей термін фактично пов'язав інформацію, що міститься в повідомленні зменшенням невизначеності, а для оцінки кількості інформації було введено ентропійну міру [2].

Ймовірно-статистичний підхід набрав найбільшу популярність, але не залишився поодиноким. При комбінаторному підході кількість інформації розглядається, як функція числа елементів кінцевої множини в їх комбінаторних відношеннях. В топологічному трактуванні інформація пов'язується з різними просторовими структурами, а при алгометричному підході, який був запропонований у 1965 році А. Н. Колмогоровим, мірою кількості інформації, яка знаходиться в одному об'єкті відносно іншого, стає “довжина” програми, на підставі якої перший об'єкт однозначно перетворюється в другий. Існують інші трактування інформації, наприклад семантична теорія інформації в лінгвістиці, логіко-прагматична концепція у кібернетиці тощо [1, 5].

Проблеми визначення поняття “інформації” змушують звернутися до слів Н. Виннера у 1958 р., про те, що інформація є інформація, а не матерія або енергія, що ставить інформацію в ряд фундаментальних наукових категорій. Саме так поняття “інформація” трактується в картографії, де інтуїтивна уява про картографічну інформацію пов'язана із відображенням на карті відомостей про розміщення, властивості, зміни в часі, зв'язках, відношеннях об'єктів та явищ реальної дійсності. Робоче визначення картографічної інформації для вирішення практичних завдань, створення та використання карт як заходу пізнання необхідне не тільки для усунення термінологічного непорозуміння, але й для того, щоб ввести критерії оцінки якості та кількості картографічної інформації, яка отримується за картами, дослідження умов її передачі та сприйняття, розробки методики її аналізу та перетворення в процесі дослідження.

Сьогодні, під картографічною інформацією розуміють зміст карти, дані, які відображаються на карті; дані, які отримуються за картою; кількість умовних позначень; ймовірність появи того чи іншого знаку; різноманіття знаків; спосіб географічного відображення тематичного змісту тощо.

В картографії інформація традиційно пов'язувалася зі знаковими системами. В 1966 р. М. К. Бочаров говорив про те, що інформація стає інформацією лише після встановлення відповідності між змістом та формою. В 1967 р. В. І. Сухов безпосередньо пов'язав картографічну інформацію із навантаженням карти на одиницю площі, й на основі ймовірно-ентропійного

підходу намагався оцінити “інформаційну ємність” карти уявляючи її як деяку сукупність графічних символів. В 1970 Р. Г. Хаке визначав картографічну інформацію як повідомлення про предмет та його зміст за допомогою графічного зображення, запропонувавши поділити карту на растрові точки відповідно до роздільної здатності ока та розглядати точку як можливий дискретний знак.

Треба додати, що ймовірно-статистичний підхід до розуміння картографічної інформації зустрів багаточисельний супротив, до ряду критичних висловлювань приєдналися К. А. Саліщев, А. М. Берлянт, А. Робінсон тощо, які підкреслювали, що формула ентропії не відображає самого поняття “інформація” й не дозволяє “визначити” кількість інформації, або “інформативність” карти, яку неможна ототожнювати із “каналом зв'язку”.

Великий внесок в розуміння сутності картографічної інформації було зроблено О.Ф. Асланікашвілі, який вказав, що інформація передається “просторовою поведінкою” картографічних знаків, формою їх локалізації, конфігурацією, взаємним розміщенням, а не тільки закодованим значенням.

Недостатність існування уявлень про картографічну інформацію пояснюється двома обставинами, а саме:

1. Картографічна інформація зазвичай розглядається як властивість карти. Між тим картографічна інформація не може бути чимось іншим як тільки результатом взаємодії носія інформації (карти) та отримувача інформації (читача). Поза цією взаємодією дослідження інформаційних властивостей карти не має ні якого сенсу.

2. Причина обмеженого трактування картографічної інформації в тому, що у всіх визначеннях, так чи інакше, існує формула: “картографічний знак — картографічна інформація”, а це є прямим відображенням шеннонівської теорії зв'язку, де інформація безпосередньо пов'язується з сигналами: “сигнал-інформація”.

Карта, на відмінну від інших засобів комунікації, надає не послідовність сигналів (знаків), а множину знаків одночасно, що створює можливість їх просторової комбінації, тобто складання, взаємного перекриття, сусідства, об'єднання, перетину тощо. В цьому полягає принципова відміна карти від інших засобів комунікації.

Вузьке інформаційне трактування картографічної інформації не дає можливості оцінити та виміряти об'єм інформації, який може отримати читач, оскільки картографічна інформація не вичерпується навантаженням карти, а має прояв через відношення між зображуваними явищами (взаємозв'язки, залежність, положення, конфігурація тощо). Частина картографічної інформації присутня на карті ніби у схованому вигляді та не піддається формально-інформаційній оцінці. Між тим, саме “захована картографічна інформація” викликає найбільшу зацікавленість у читача карти. Наприклад, на великомасштабній геоботанічній карті картографом відображаються рослинні



асоціації, їх сполучення, а геоморфолог, аналізуючи карту, вміє “розпізнавати” на ній інформацію про склад та властивості поверхневих відкладів, про режим підземних вод, про розміщення корисних копалин, індикаторами яких слугують ті чи інші рослинні асоціації, тощо. Зрозумілим є те, що інформація завжди існувала на карті, але дослідники не завжди можуть її розпізнати, а також явним є те, що накопичення, перетворення та співставлення різних елементів інформації в процесі створення карти та роботи з нею призводить до її збагачення.

Намагаючись зрозуміти сутність картографічної інформації, ніяк не можна забувати, що карта не тільки знакова, а й образно-знакова модель дійсності. Це має принципове значення для розуміння картографічної інформації.

## 2 . Картографічна тріада: знак-образ-інформація

Можна сформулювати два принципи, які слід покласти в основу визначення картографічної інформації:

- картографічна інформація є результатом взаємодії картографічного зображення та читача карти (або автоматичного засобу);
- визначення картографічної інформації повинно враховувати образно-знаковий характер картографічної моделі.

В такому трактуванні картографічна інформація не є навантаження карти, не є кількістю картографічних знаків, не є ймовірністю їх виникнення або ступенем їх різноманіття, *картографічна інформація є результатом сприйняття картографічних образів*. Це визначення враховує образність картографічної моделі й підкреслює, що картографічна інформація виникає лише у системі “карта - читач карти (розпізнавальне обладнання)”. Тому у відповідності з таким трактуванням *поняття картографічної інформації*, доцільно використовувати взаємопов'язані складові картографічної тріади: “*картографічний знак — картографічний образ — картографічна інформація*”. Слід зауважити, що між знаком та сформульованим образом і отриманою інформацією немає суворої детермінованості. Одні й ті ж знаки (зображувальні засоби) можуть створювати різні картографічні образи, але й різні позначення здібні формувати у читача ідентичні образи. Наприклад, для відображення ареалів застосовують умовні знаки кордонів, штриховки, значків, підписів, а щільність населення можна відобразити не тільки картограмою, але й точковим способом або ізолініями. Таким чином, картографічний знак не має повної детермінованості відносно картографічного образу. У більшості випадків, вибір конкретного знаку в межах деякої множини позначень визначається традицією, естетичними вказівками, існуючими уявленнями про сприйняття знаків читачами. Тому, наприклад, певний ефект досягається використанням на карті природних кольорів (зеленого - для ліса, синього — для води тощо), використання знаків, які нагадують об'єкт за формою призводить до того, що звичні, традиційні або стандартні позначення

сприяють швидкому формуванню звичних картографічних образів. Перевага таких знаків — швидкість реакції читача карти. Разом з цим, не можна нехтувати тим, що нестандартні, оригінальні знаки здатні викликати нові, несподівані картографічні образи.

Між картографічними образами та картографічною інформацією також не існує повної та однозначної відповідності. Один і той же картографічний образ, але по різному сприйнятий та трактований читачем, здатен надати різну інформацію. Наприклад, зображення заболоченої місцевості на карті надає одному досліднику інформацію про ґрунтово-рослинний покрив, а іншому — про інженерно-геологічні умови та придатність території для різних видів будівництва.

Діалектика відносин між знаками, образами та інформацією така, що не дивлячись на відсутність однозначної відповідності між ними, картографічний образ має визначену стабільність у свідомості читача. Факт формування картографічних образів за допомогою різних сполучень, поєднань, суміщень дозволяє спостерігати певну аналогію з математичною (логіко-математичною) комбінаторикою.

Розглядаючи картографічну інформацію як результат сприйняття картографічних образів можна сказати, що читач карти отримує цілу систему взаємопов'язаних трактувань, деякий набір відомостей про об'єкт, який вивчається, причому ці варіанти інтерпретації допускають кількісну (картометричну) оцінку. Інша обставина полягає в тому, що деякі комбінації, правильно побудовані із формальної точки зору, можуть не мати сенсу в межах змістовної інтерпретації, тобто не мають корисних для читача відомостей. Всі ці уявлення про формування системи картографічних образів дозволяють стверджувати, що картографічна інформація, яка отримується читачем з будь-якої карти не дорівнює кількості графічних елементів. Кількість картографічних образів значно перебільшує кількість знаків, причому деякі системи картографічних образів створюються саме картографом-укладачем, а інші картографічні образи виникають на карті незалежно від його волі.

**Читання карти** — основа всіх способів отримання картографічної інформації. Це може бути просторове орієнтування, визначення картометричних показників, отримання статистичної вибірки або повне трансформування картографічного зображення в математико-картографічну модель. В будь-якому випадку все починається з візуального огляду та читання карти. В даному процесі умовно можна розрізнити три етапи:

- попередній огляд зображення та отримання початкової картографічної інформації;
- уточнення та деталізація картографічного образу та картографічної інформації, яка супроводжується самостійним навчанням читача;
- кінцева фіксація картографічного образу та змістовна інтерпретація картографічної інформації.

Безумовно, існують відміни в характері читання при загальному огляді карти, вивченні окремих об'єктів та деталей зображення, співставлення їх в межах однієї карти або у порівнянні з

різними картами, але дуже важливо підкреслити, що в будь-якому випадку читання карти виконується з певною метою. Ця мета буває чітко сформульована або виражається інтуїтивно, але вона завжди присутня в процесі читання карт. Алгоритм цілеспрямованості читання карти може бути представлено наступним чином як це зазначено на схемі (рис. 2.2.1), де насиченістю кольорів відображено етапи отримання інформації з карти безпосередньо при її читанні.



Рис . 2.2.1. Схема алгоритму цілеспрямованого читання карт

**Контрольні запитання:**

1. Що таке картографічна інформація?
2. Що входить в картографічну тріаду?
3. Що таке читання карти?

## РОЗДІЛ 3

### СИСТЕМА ПРИЙОМІВ АНАЛІЗУ КАРТ

#### 1. Класифікація прийомів

Під час роботи з картами застосовують різні прийоми аналізу. Картографічні дослідження можна проводити за однією картою або їх серією чи атласом.

*Способи досліджень за однією картою* такі:

- *вивчення картографічного зображення без перетворення*, яке складається з візуального аналізу, опису, вимірювання та інших операцій для одержання цілісного уявлення про об'єкт, що вивчається;

- *перетворення картографічного зображення*, яке полягає в трансформуванні його в іншу форму зручну для вирішення конкретного завдання. Результатом такої роботи є *похідні карти*. Найбільш поширеними є такі шляхи їх створення:

- *спрощення картографічного зображення* шляхом збереження на картах тих елементів змісту, які відповідають темі дослідження, наприклад, залишають на ній ті ділянки рельєфу, які є сприятливими для сільськогосподарських робіт; одним із шляхів спрощення є вичленовування певних об'єктів;

- *перехід до узагальнених зображень*, які відбивають головні риси об'єктів, наприклад, проведення на гіпсометричній карті схематизованих горизонталей за лініями основних вододілів, внаслідок чого окреслюються великі первинні форми рельєфу, не ускладнені вторинними формами, пов'язаними з процесами ерозії й денудації;

- *введення на карти нових показників*, які краще задовольнятимуть напрямок дослідження, наприклад, заміна абсолютних показників відносними, які полегшують порівняння об'єктів різної розмірності. З такими перетвореннями часто пов'язують заміну одних способів картографічного зображення іншими більш зручними для порівняльного аналізу, наприклад, проведення на карті стоку, складеного способом локалізованих діаграм, ізоліній, що спрощує зіставлення його з картами опадів та випаровування, для яких способів ізоліній є традиційним тощо;

- *розкладання картографічного зображення на складові*, метою якого є виділення й роздільне вивчення чинників, котрі визначають розміщення та розвиток об'єктів, наприклад, розкладання топографічної поверхні на базові поверхні й залишкові форми рельєфу.

Під час комплексних географічних досліджень перетворення інформації з вихідної карти може бути багаторазовим. Наприклад, за зображенням рельєфу на топографічній карті складають карту морфоізогіпс, яка перетворюється потім на карту ухилів тектонічного рельєфу; остання може стати основою для карти аномальних ухилів рельєфу.

*Способи роботи з серіями карт або з картами атласу такі:*

- *порівняння різночасових карт*, які подають стан об'єкта у різні моменти часу, з метою виявлення його зміни, динаміки, ритміки, прогнозування подальшого розвитку;
- *спільне вивчення карт різної тематики*, які подають характеристику різних явищ і процесів на певній території, з метою виявлення зв'язків між ними, отримання комплексних характеристик, районування території за сукупністю ознак;
- *вивчення карт-аналогів* (тобто карт, які подають одні й ті самі об'єкти, але у межах різних територій, котрі можуть бути значно віддаленими одна від одної) з метою виявлення подібності в просторовій організації об'єктів та закономірностей їх розміщення, загальних рис розвитку тощо;
- *спільний аналіз різномасштабних карт* однієї тематики й території з метою виявлення закономірностей та структур різного рівня: глобальних, регіональних, локальних.

Усі прийоми безпосередньої роботи з картою поділяють на чотири групи, які відрізняються, насамперед, *за характером отримання результатів та технічною осначеністю:*

- 1. *Описи*** (загальні та за елементами змісту карти);
- 2. *Графічні прийоми*** (двомірні та тримірні графіки тощо);
- 3. *Графоаналітичні прийоми*** (картометрія та морфометрія);
- 4. *Математико-картографічне моделювання*** (математичний аналіз, математична статистика, теорія інформації)

Кожна із вказаних груп включає чисельну кількість способів та їх модифікацій, які загалом складають єдину систему, яка дозволяє досліджувати об'єкти з різних боків. Важливо мати на увазі, що всі групи прийомів доповнюють одна одну, їх можна застосовувати у сукупності. Класифікація прийомів аналізу карт представлена на графічній моделі (рис. 3.1.1)

Всі прийоми аналізу карт змінюються в залежності від технічного оснащення. Існують різні рівні механізації та автоматизації дослідження за картами:

- *візуальний аналіз*, тобто читання карт, окомірне співставлення та зорова оцінка об'єктів, що вивчаються;
- *інструментальний аналіз* - застосування вимірювальних засобів та механізмів;
- *комп'ютерний аналіз*, який повністю виконується автоматично або в інтерактивному режимі із використанням спеціальних алгоритмів, програм або геоінформаційних систем.

Всі прийоми на різних рівнях механізації та автоматизації можуть бути використані для роботи з окремою картою або із серіями карт та атласів.

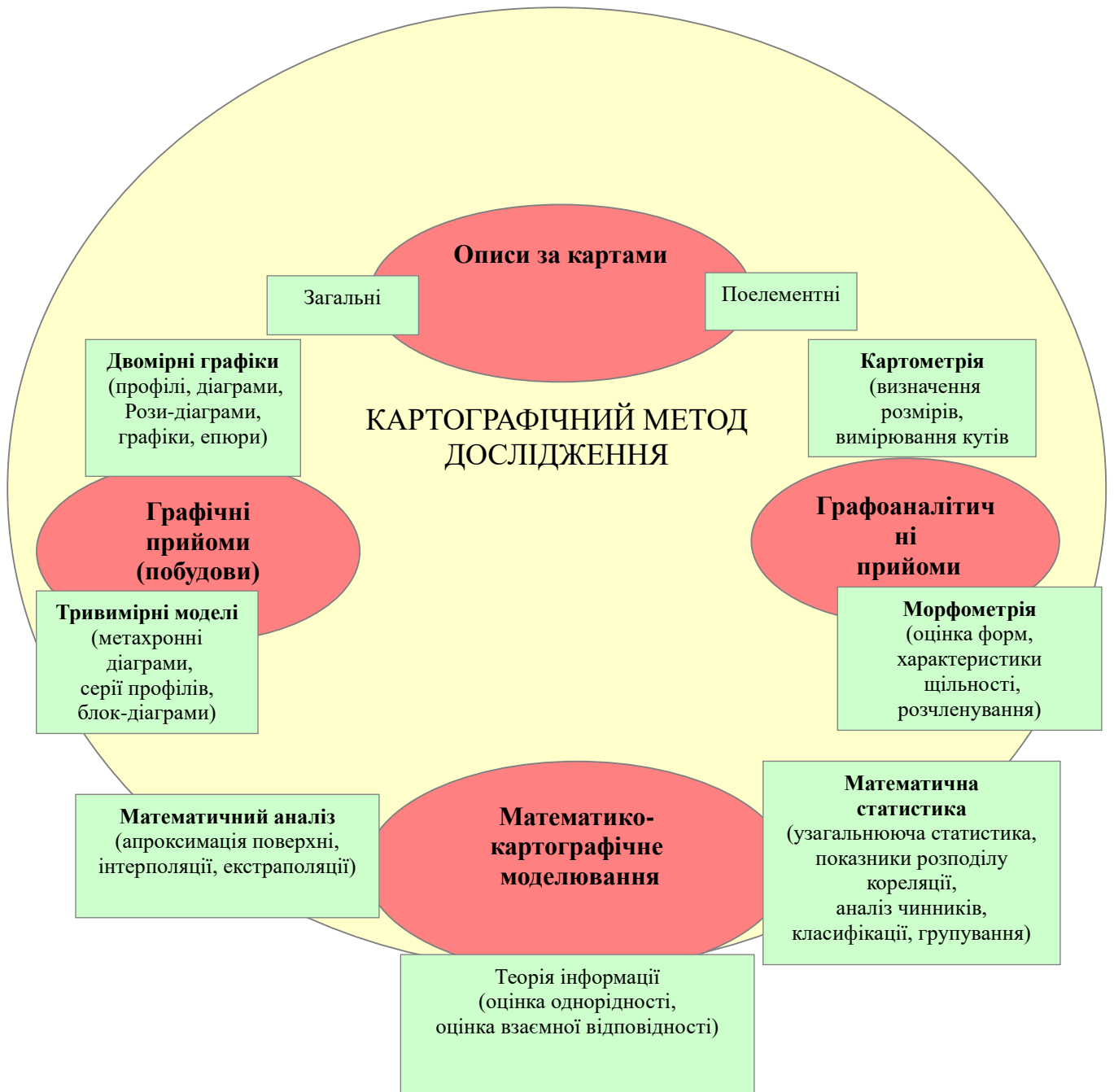


Рис. 3.1.1. Класифікація прийомів аналізу карт

*Аналіз карти* – це встановлення елементів і властивостей карти, її придатності до використання в конкретних цілях (ознайомлення з місцевістю, одержання кількісних показників тощо).

*Оцінка карти* – це висновок про її якість, ступінь її придатності для вирішення поставленого завдання.

*Якість карти* є ступенем придатності її для використання за призначенням.

Таку характеристику карти обумовлюють сучасність і наукова обґрунтованість змісту, його повнота, докладність та достовірність; доцільність вибору елементів математичної основи, способів картографічного зображення; геометричну точність положення точок, ліній, абрисів тощо.

Роботу з аналізу й оцінки карт рекомендується здійснювати у такій послідовності: загальне ознайомлення з картою; встановлення елементів математичної основи; вивчення легенди, тобто умовних позначень й текстових пояснень до них; читання карти. Читання проводять спочатку за окремими елементами, що дозволяє краще зрозуміти подане на карті. Потім здійснюють комплексне читання, що дає змогу виявити зв'язки, взаємну погодженість і “вагу” всіх елементів її змісту.

***Результати аналізу загальногеографічної карти подають за такою схемою:***

- *вихідні відомості:* назва; підзаголовні дані (пояснення або доповнення до назви, авторський колектив тощо); вихідні дані (місто і рік видання, назва видавництва); надзаголовні дані (назва установи, від імені якої видається карта; особливості оформлення (кількість фарб тощо));

- *математична основа:* головний масштаб; картографічна проекція (особливості побудови, характер спотворень, величина, спрямування та розподіл спотворень); географічна доцільність вибору проекції (цілісність зображення території тощо);

- *географічний зміст:* водні об'єкти (види, класифікація за режимом, складом води, господарським значенням; характерні риси гідрографічної сітки; умовні позначення); рельєф (форми й типи, способи зображення та їх особливості, наприклад, доцільність кількості ступенів шкали висот і глибин); рослинність і ґрунти (прийнята класифікація і система умовних позначень); населені пункти (класифікація за людністю й політико-адміністративним значенням; характерні риси розселення з урахуванням виробничо-функціональних особливостей кожного, положення відносно рельєфу, річок та інших елементів місцевості, умовні позначення); політико-адміністративний поділ (кордони, межі, центри та інші адміністративні дані, умовні позначення); економіка й культура (типи об'єктів, особливості розміщення, умовні позначення); шляхи сполучення (види, класифікація, умовні позначення тощо); підписи (які категорії об'єктів мають географічні назви, пояснювальні підписи якісних та кількісних відмінностей як змінюються розмір, колір і характер шрифтів);

- *елементи оснащення:* легенда, форми масштабу, рамка, позарамкове оформлення, відповідність елементів цільового призначення карти;

- *додаткові дані:* текстові, графічні тощо;

- *комонування:* розміщення поданої території та середнього меридіану відносно рамки, елементів оснащення і додаткових даних.

Завершує аналіз карти оцінка її якості з висновком про можливість використання в подальшій роботі (окремо чи у складі серії карт, з усіма елементами змісту або частково тощо).

За наведеною схемою можна подати й *аналіз тематичної карти* з тією лише різницею, що її картографічне зображення включає дві частини (географічну основу і тематичний зміст), які слід

розглядати окремо. Крім того, слід враховувати, що на такій карті більше уваги приділяють тематичній частині, змінюється роль такого її елементу, як математична основа, внаслідок чого на ній часто немає картографічної сітки. Більшого значення набуває легенда, урізноманітнюється композивання.

Аналіз карти може бути проведено за скороченою програмою, якщо це відповідає його цілеспрямованості; в тому разі, наприклад, коли предметом дослідження є певний елемент природи без його зв'язків з іншими, тоді аналіз обмежується цим елементом змісту.

## **2. Візуальний аналіз та опис за картами**

*Візуальний аналіз та опис за картами* – традиційні й загальновідомі прийоми, які не втратили свого значення і у наш час. Незаперечна перевага їх полягає в тому, що вони надають можливість скласти образне і, що важливо, цілісне уявлення про об'єкт, котрий вивчається, з яким завгодно ступенем узагальнення. Якість аналізу залежить від професійної підготовки дослідника, глибини його знань, розуміння сутності досліджуваного об'єкта, притаманних йому рис тощо. Візуальний аналіз дозволяє встановити наявність на картах тих чи інших об'єктів, визначити їх властивості, особливості просторового розміщення й зв'язків, наявність аномалій тощо. На підставі аналізу створюється цілісний картографічний образ, одержання якого іншими прийомами у більшості випадків не є можливим. Слід зазначити, що аналізувати візуально можна як окрему карту, так і серію карт та карти атласу.

Перш ніж проводити візуальний аналіз карти, слід переконатися, чи є вона придатною за своїми якостями для вирішення поставленого завдання, інакше кажучи, провести аналіз самої карти, тобто техніка візуального аналізу карти дуже проста, але все ж таки підпорядковується деяким обов'язковим умовам, а саме: по-перше - необхідно оцінити якість самої карти, її сучасність, детальність, принципи складання, характер спотворень, які можуть виникнути завдяки картографічній проекції; по-друге – необхідно вивчити легенду, приділяючи головним чином увагу принципам класифікацій зображених явищ і способам відображення цих явищ.

Основний принцип проведення візуального аналізу – *від загального до окремого*, тобто спочатку слід виявити головні характеристики об'єкта, що вивчаються за картою, а потім зупинитися на деталях і окремих відмінностях, які підтверджують головні риси. Результати візуального аналізу подаються у вигляді *опису*. Описи можуть бути загальними комплексними (загальногеографічні описи) або поелементними (опис тільки карстового рельєфу).

Наприклад, при загальногеографічному опису природи території за картами зазвичай дотримуються наступного порядку: географічне положення території, її адміністративна приналежність, геологічна будова, корисні копалини, рельєф, гідрографія, клімат, ґрунти, рослинний та тваринний світ, природне районування. Безумовно, цей порядок може бути змінено у



відповідності до конкретних завдань; деяким розділам буде приділено більше уваги, інші – відсуваються на другий план. Можливо, що опис буде стосуватися тільки рельєфу, або окремої особливості рельєфу – скажемо, карстових форм та ін.

Основні вимоги до опису: *логічність, підпорядкованість і послідовність висловлень; добір та систематизація фактів; введення в опис елементів порівняння, аналогії, зіставлення з використанням кількісних показників*. Опис завершується оцінкою об'єктів і чіткими висновками. Доцільно супроводжувати його таблицями, графіками та схемами. Обсяг і структура опису визначаються конкретним завданням дослідження. Наприклад, опис природних явищ за серією карт або за картами атласу може мати такі розділи: географічне положення території, адміністративна приналежність, рельєф, геологічна будова, корисні копалини, гідрографія, клімат, ґрунти, рослинність, тваринний світ, ландшафтне (фізико-географічне) районування. Описи, головним чином, базуються на візуальному аналізі карт, дозволяють створити образне та цілісне уявлення про об'єкт, що вивчається та зробити висновки щодо синтетичного характеру, застосовуючи для цього неформальні підходи.

Сьогодні, коли для аналізу картографічного зображення розроблені точні та об'єктивні картометричні, математичні, статистичні та інші прийоми, мова про які піде нижче, візуальний аналіз карти, який супроводжується науковим описом, не втрачає своєї цінності. Залишаючись в значній мірі якісним способом характеристики явищ, візуальний аналіз має перевагу перед іншими прийомами аналізу карт: він може дати скільки завгодно загальних уявлень про предмет, який вивчається та дозволяє зробити висновки синтетичного характеру, тоді як більшість кількісних прийомів надають, як правило, детальну та поглиблену характеристику будь-якої однієї сторони явища. Тому візуальний аналіз широко використовуються на попередній стадії дослідження для загального ознайомлення із об'єктом, що вивчається.

Важливо зауважити на наступному: якісний та кількісний аналізи картографічного зображення не можуть замінюватися або витискати один одним, вони повинні застосовуватися рівномірно та в комплексі – це служить однією із обов'язкових умов правильної відповідності аналізу та синтезу в дослідженнях.

### **3. Графічні прийоми аналізу карт**

*Графічні прийоми* включають побудову за допомогою карт профілів, розрізів, графіків, діаграм, блок-діаграм та двох- трьохмірних графічних моделей.

Чисельну кількість графічних побудов можна систематизувати наступним чином:

1.  $P=f(x)$   $P=f(y)$  - профіль за визначенням на карті напрямком  $x$  або  $y$ ;

2.  $P=f(z)$  - вертикальний розріз, для побудови якого необхідно використання набору карт різних рівнів (різних висот або глибин);

3.  $P=f(t)$  - часовий розріз, який створюється за серією різночасових карт;
4.  $P=f(x,y)$  - картографічне зображення (проекція на горизонтальну площину);
5.  $P=f(x,z)$  або  $P=f(y,z)$  - фронтальне зображення, тобто проекція об'єкта на вертикальну площину;
6.  $P=f(x,t)$  або  $P=f(y,t)$  або  $P=f(z,t)$  - метахронний (різночасовий) розріз, для створення якого використовуються серії різночасових карт або різнорівневі (різновисотні) карти;
7.  $P=f(x,y,z)$  - блок-діаграма або об'ємний трьохмірний рисунок об'єкта, на якому зображення поверхні суміщується із вертикальними розрізами;
8.  $P=f(x,y,t)$  або  $P=f(x,z,t)$  або  $P=f(y,z,t)$  - метахронна блок-діаграма побудована за серією різночасових та різнорівневих карт, причому одна із вісей блок-діаграми вказує зміни стану об'єкта в часі.

*Профілі й розрізи* мають найбільше поширення. Спосіб побудови профілів загальновідомий. По горизонталі уздовж обраного на карті напрямку відкладаються відстані, а по вертикалі наносяться значення профільованого параметру. Масштаби прийняті для горизонтальної та вертикальної шкали можуть бути різними, іноді для наочності масштаб вздовж однієї із вісей збільшується. Самі шкали можуть бути лінійними або нелінійними, наприклад логарифмічними. Перше уявлення про профіль та його побудову подається в топографії. Це побудова за заданим на карті напрямком, уздовж якого вивчається зміна позначок висоти земної поверхні. Горизонтальний і вертикальний масштаби профілю як правило, є різними. За допомогою профілів подають характеристику й інших об'єктів.

Для того, щоб виявити залежність між неоднорідними об'єктами, будують *комплексні профілі*, на яких уздовж обраного за картою напрямку відображають кількісні або якісні зміни кожного з елементів дослідження, наприклад, рельєфу, геологічної будови, ґрунтів, рослинності, опадів, температури повітря тощо. Такі профілі дозволяють точніше встановити межі природного районування, виділити ландшафти за різними ознаками, проаналізувати залежність між природними або соціально-економічними об'єктами, наприклад, між ґрунтами, рослинністю, зволоженням і температурним режимом, або між розвитком промисловості та розподілом трудових ресурсів тощо. Головною перевагою профілю є його наочність.

*Розрізи* (або перерізи) будують за серіями карт і подають на них розподіл певного показника об'єкта залежно від двох чинників, наприклад, розподіл температури залежно від висоти над рівнем океану (один чинник) і широти уздовж певного напрямку (другий чинник).

*Графіки* складають, насамперед, для виявлення особливостей динаміки розвитку чи зміни стану об'єктів. Будують такі графіки за різночасовими картами. Окремим видом графіків є *епюри*, які відображають різні просторові проекції й перетворення об'єктів, завдяки чому графіки набувають особливої наочності. Графіки та епюри - це прийоми наочної характеристики часових

$$L_i = k \sum_{j=1}^n l_{ij}$$

та просторових залежностей різних явищ, які вивчаються за допомогою карт. Графіки можуть використовуватися для аналізу серії карт, наприклад, для побудови звивистих змін кількості опадів за сезонами, або для аналізу явищ, локалізованих на одній карті. Добре відома гіпсометрична звивиста – графік, який показує розподіл висот та глибин земної поверхні за площею, ця звивиста отримується шляхом аналізу лише однієї гіпсометричної карти.

Дані, одержані за картами, зручно аналізувати за допомогою *діаграм*. За формою вони можуть бути лінійними, компактною форми або об'ємними, якщо будуються за даними однієї карти, або такими як у способі локалізованих діаграм, якщо є результатом аналізу кількох різночасових карт певної тематики.

Під час картографічних досліджень часто використовують *рози-діаграми*, які добре передають основні й підпорядковані напрямки лінійно витягнутих об'єктів на певній території (течій, тектонічних тріщин, річкових долин, шляхів міграції тварин тощо). Довжина (**L<sub>i</sub>**) кожного проміння рози-діаграми **i**-го азимуту пропорційна сумарній довжині лінійних елементів того ж азимуту [2]: де **k** – масштабний коефіцієнт, *l<sub>ij</sub>* – довжина **j**-го лінійного елемента даного азимуту, а **n** – кількість елементів.

Зв'язки між явищами, які показано на картах різної тематики, можна наочно відобразити та проаналізувати на *блок-діаграмах*. Блок-діаграма є одним з прийомів спільного вивчення карт різної тематики. Найбільше відомі геолого-геоморфологічні блок-діаграми, які показують співвідношення форм рельєфу та побудови надр, блок-діаграми ґрунтів – зв'язок між рельєфом, ландшафтами та профілем ґрунтового покриву, океанологічні блок-діаграми відображаючи фізико-хімічні властивості водних мас, розподілу течій, живих організмів тощо. Для побудови блок-діаграм застосовують різні види проектування:

- *аксонометричні* блок-діаграми проектують за допомогою системи паралельних променів, таким чином, що б центр проектування знаходиться в нескінченості, при цьому деформуються кутові відповідності, але горизонтальний масштаб блок-діаграми по всіх вісях залишається постійним, що дуже зручно для проведення вимірювань.

- *перспективні* блок-діаграми, в цьому випадку промені виходять з однієї або двох точок, що надає більше виразності зображенню. Змінюючи положення точок перспективи, можна “повертати” блок-діаграми або нахилити їх, забезпечуючи найбільш вигідний огляд та підкреслюючи цікаві деталі.

- якщо по одній з вісей задати шкалу часу, то можна побудувати *метахронні блок-діаграми*.

Вони відображають зміну стану явища за часом, фактично така блок-діаграма синтезує інформацію, отриману наприклад, з 10 карт.

Для побудови блок-діаграм можна користуватися традиційною технологією, виводити трьохмірні зображення на екран комп'ютера, а також використовувати графічні, анімаційні програми, які дозволяють змінювати масштаби за будь-яким напрямком, підбирати найбільш вигідний ракурс огляду і навіть обертати блок-діаграми на екрані, розглядаючи їх з різних боків.

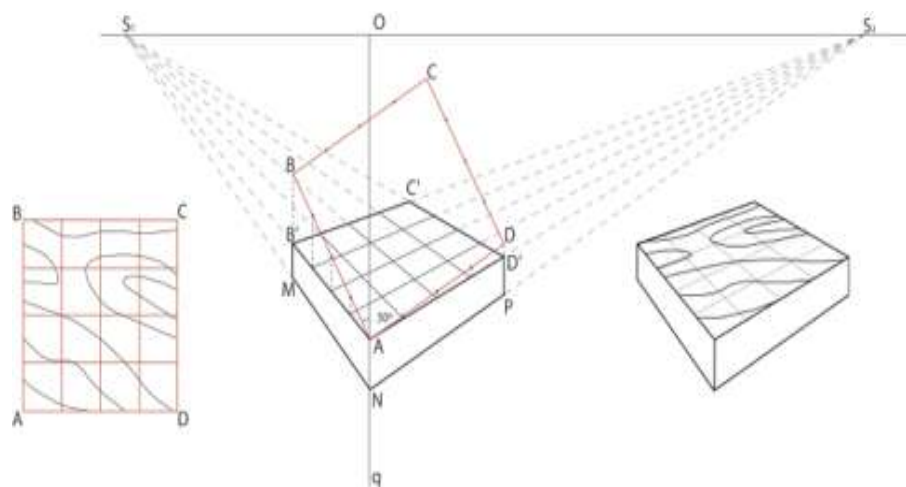
Блок-діаграма – це тривимірна побудова, яка поєднує у собі перспективне зображення поверхні, повздовжній та поперечний профілі.

Блок-діаграми бувають різними за своєю тематикою. Найбільш поширені геологічні та геоморфологічні блок-діаграми, що демонструють будову земної поверхні одночасно з геологічними чи геоморфологічними розрізами. Існують також геофізичні, ґрунтові, ландшафтні, кліматичні, океанографічні блок-діаграми (рис. 3.3.1).

Таким чином, блок-діаграми представляють собою один із графічних способів сумісного вивчення тематичних карт різного змісту. Завдяки своїй наочності та тривимірності, вони допомагають краще представити взаємозв'язки між явищами, провести виміри та кореляції.

При побудові блок-діаграм використовують прийоми аксонометричного, афінного та перспективного проектування. У перспективній проекції проєктуючі промені виходять з однієї (чи з двох точок), що дає більш наочне та природне зображення.

До графічних прийомів відносяться також дії з поверхнями, які показані на різних картах: графічне складання, віднімання однієї поверхні від другої, множення на число та інші. Цим користуються при балансових розрахунках, наприклад, для оцінки об'єму знесеного ерозією та перевідкладеного матеріалу, сумарної кількості опадів за декілька місяців тощо.



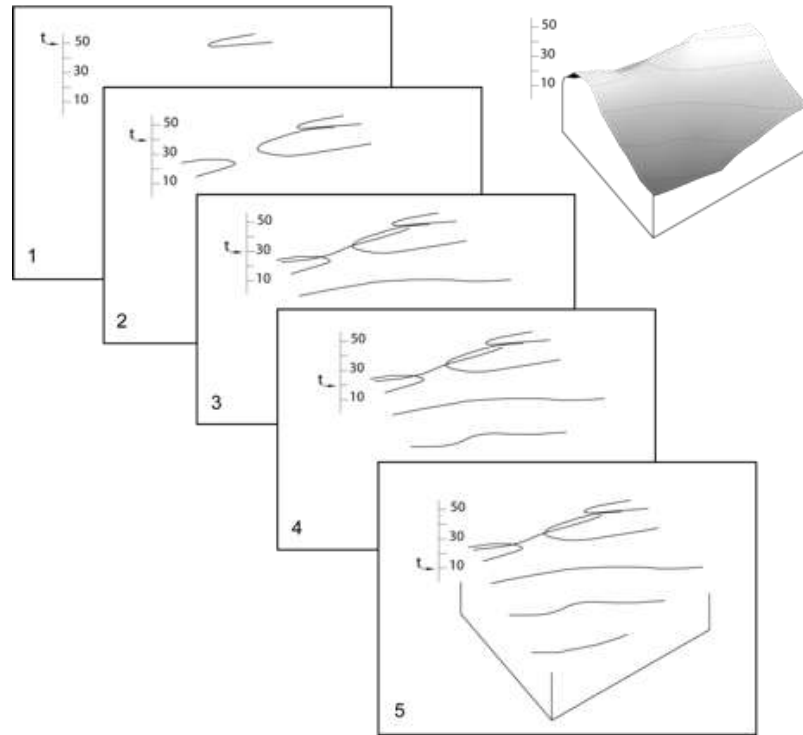


Рис. 3.3.1. Побудова блок-діаграми

#### 4. Графоаналітичні прийоми аналізу карт

До графоаналітичних прийомів відносять *картометрія* і *морфометрія*, які забезпечують вимірювання та отримання кількісних показників по картах.

*Методи картометрії* дозволяють безпосередньо вимірювати наступні показники:

- географічні та прямокутні координати;
- довжини прямих та звивистих ліній, відстані;
- площі;
- об'єми;
- вертикальні та горизонтальні кути та кутові величини.

*Картометрію* розглядають як вимірювання за картою кількісних параметрів об'єктів: координат, довжин і відстаней, висот, площ, кутів, напрямків тощо, тобто це способи і точність вимірювань по картах. Найбільше обґрунтована теорія і практична сторона картометрії в роботах Н. М. Волкова, О. В. Маслова, Г. А. Гінзбурга, П. А. Рижкова, О. М. Берлянта [2,3], щодо тематичних карт, а саме точності кількісних визначень розглянута в роботах К. О. Саліщева [19].

Картометричні прийоми отримали найбільш широке застосування у фізичній географії і геоморфології. Це й зрозуміло, оскільки топографічні і гіпсометричні карти, які зображують рельєф способом горизонталей, дозволяють проводити всі без виключення види вимірювань.

На відміну від картометрії, *морфометрія* займається розрахунком показників форми та структури об'єктів. Кількість їх достатньо велика — до декількох сотень — та не піддається

охопленню. Найбільше застосовують наступні групи показників та коефіцієнтів:

- окреслення (форма) об'єктів;
- кривизна ліній та поверхні;
- горизонтальне розчленування поверхні;
- вертикальне розчленування поверхні;
- схили та градієнти поверхні;
- щільність, концентрація об'єктів;
- густота, рівномірність мереж;
- складність, подрібнення, однорідність або неоднорідність контурів.

В геоморфології існує цілий розділ, який називають “*морфологія рельєфу*”, таким чином, під терміном “*морфометрія*” розуміють не тільки прийоми вимірювання форм рельєфу, але й наукову дисципліну, яка характеризує типи рельєфу земної поверхні, їх форми та розміри.

Таке двоєке розуміння терміну “морфометрія” створює незручності, а з методичної точки зору служить причиною непорозумінь. Очевидно, існуючий розділ геоморфології вірно було б називати “геометрією рельєфу”, як це неодноразово пропонував А. С. Девдаріані. Карти, які створені за допомогою морфометричних прийомів, мають назву *морфометричних карт*.

Завдання *морфометрії* – отримати кількісні параметри форми і структури об'єктів. Морфометричні показники обчислюють за картометричними вимірами, здебільшого вони є відносними величинами, які подають співвідношення між довжинами та площами, довжинами та висотами, площами та кутами нахилу, а також густотою об'єкта, ступіню розчленування його поверхні, звивистістю ліній і контурів тощо, тобто морфометричні показники є відносними.

Наприклад, горизонтальне розчленування – це відношення сумарної довжини ерозійних форм до одиниці площі, звивистість ліній – відношення довжини кривої до довжини плавної оконтурюючої, щільність – кількість об'єктів на одиницю площі тощо. Частіше обирається відношення до площі, тому питання про розміри ділянок, в межах яких будуть проводитися обчислення тих чи інших показників є дуже важливим моментом. Від цього буде залежати точність розрахунків та репрезентативність морфометричних показників, тому можливе існування трьох варіантів розрахунків:

- за регулярною геометрично правильною сіткою квадратів, шестикутників, кіл та ін. (цей спосіб зручний тим, що площі осередків рівновеликі);
- за природними ареалами (природними районами, ландшафтами, водозабірними басейнами);
- за ключовими ділянками.

За результатом та на підставі обчислених показників складаються морфометричні карти. Більшість з яких є відомими та входять до складу атласів, наприклад, морфометричні карти

рельєфу, щільність населення, густота шляхів сполучення тощо. Ці карти виконуються у вигляді ізолінійних (точніше псевдоізолінійних) полів або у формі картограм за розрахунковими осередками або ареалами. У зв'язку з цим набув розвитку такий розділ картографічного методу дослідження як *тематична морфометрія*, серед основних напрямків, якої маємо геоморфологічну морфометрію, морфометрію планет і небесних тіл, морів і океанів, ґрунтів, рослинного покриву, ландшафтометрію, соціально-економічну морфометрію тощо.

Вимірювання об'єктів за великомасштабними (топографічними) картами було розглянуто у курсі топографії, тому зараз основну увагу приділимо особливостям деяких робіт за дрібномасштабними картами.

*Довжину* об'єктів на картах можна встановити за допомогою способів, які не завжди розглядаються у топографії – це *ймовірнісні методи*, які входять до *ймовірнісної картометрії* застосування яких значно спрощує одержання сумарних величин протяжності великої кількості об'єктів. Один з ймовірнісних способів дозволяє значно спростити кількісні вимірювання за картами за рахунок деякого зниження точності. Так, для вимірювань пропонується використовувати метод відомого французького вченого XVIII ст. Бюффона Ж., який полягає у наступному: на ділянку, яка вимірюється, накладають палетку паралельних ліній або квадратів зі стороною  $d$ , після чого підраховують кількість перетинів ( $m$ ) ліній палетки із звивистими лініями (горизонталі, гідрографічна сітка). Тоді сумарна довжина звивистих ліній ( $\Sigma l$ ) обчислюється на основі досить простої ймовірнісної залежності:

$$\Sigma l = 0,25 \pi m d$$

Досвід показує, що відносна похибка при цьому складає в середньому 5% і лише у рідких випадках сягає 10%, що задовольняє вимоги більшості географічних, геологічних, екологічних завдань. Точність вимірювань можна збільшити за рахунок кількісних вимірювань. В комп'ютерних технологіях палетки паралельних ліній або квадратів замінюють порядковим скануванням зображення та фіксацією кількості перетинів звивистих ліній з лініями сканування. Подібні ймовірнісні способи розроблені і для визначення площ та об'ємів.

Для оцінки точності ймовірнісного способу доцільно використовувати великомасштабну топографічну основу. На ділянку карти з горизонталями (або з гідромережею) потрібно помістити сітку квадратів, як показано на рис. 3.4.1 і підрахувати число перетинів  $m_1$ . Потім змінити положення сітки, повернувши її на  $22,5^\circ$ , і знову підрахувати кількість перетинів  $m_2$ .

Повертаючи кожний раз сітку на  $22,5^\circ$ , отримаємо чотири значення  $m_1, m_2, m_3, m_4$  та обчислимо  $\Sigma l_1, \Sigma l_2, \Sigma l_3, \Sigma l_4$ .

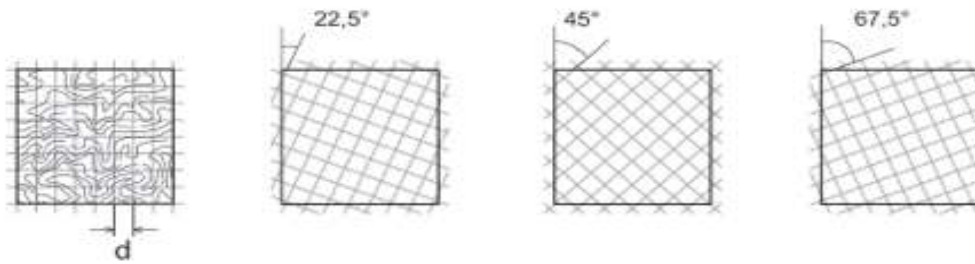


Рис. 3.4.1. Різні положення сітки квадратів при підрахунку числа перетинів ліній сітки з горизонталями.

За допомогою циркуля-вимірювача з постійним розхилом  $a=1,5$  або  $a= 2,0$  мм виміряють загальну довжину горизонталей  $\Sigma l_0$ . Підраховують відхилення та середню квадратичну похибку.

На практиці необхідно знати також відносну помилку ( $f_{\Sigma l}$ ), яка обчислюється відношенням середньої квадратичної помилки до істинного значення величини, що вимірюється.

Отримане значення відносної помилки не дозволяє з упевненістю судити про точність способу, оскільки воно розраховане всього лише за чотирма вимірами. Тому необхідно провести додаткові виміри на інших ділянках і взяти середнє із значень  $f_{\Sigma l}$ . Слід враховувати, що при переході до іншого типу рельєфу, який характеризується іншою звивистістю, відносна похибка способу також стане іншою. Те ж саме станеться, якщо використовувати сітку квадратів іншого розміру. Всі обчислення заносяться в таблицю (див. Табл. 3.4.1 ).

Оцінка точності ймовірного способу вимірювання довжин звивистих ліній

Таблиця 3.4.1.

№ ділянки	$m$	$\Sigma l_i$ , км	$n$ , км	$\Sigma l_0$	$\Delta l_i$	$\Delta l_i^2$	$\pm \mu$	$f_{\Sigma l} \%$
1	52	4,08	84,5	4,22	-0,14	0,02	0,14	3,30%
	53	4,16			-0,06	0		
	56	4,4			0,18	0,03		
	52	4,08			-0,14	0,02		

Площу об'єктів краще визначати за картами, складеними у рівновеликих проекціях (тоді не треба вводити поправок на спотворення). Одним з найбільше зручних та універсальних способів є вимірювання площ за картами за допомогою палетки. При користуванні квадратними палетками, площу  $P$  отримують за досить простою формулою:

$$P = a^2 n$$

де,  $a$  – сторона квадрату або відстань між точками, а  $n$  – кількість точок.



Одним з найбільш зручних способів вимірювання площ за картами, які мають спотворення, складається в згущенні сітки меридіанів та паралелей, та поділення площ на вузькі пояси та зони в межах яких коливання масштабу можна рахувати незначними. В залежності від потрібної точності та властивостей самої проекції ширина поясу може змінюватися від  $20-3'$  до  $3-4''$ .

На картах з нормальними циліндричними, конічними або азимутальними проекціями в яких вздовж паралелей зберігається один і той самий масштаб і спотворення не залежать від довготи, площі об'єктів можна визначити за зонами між згущеними паралелями. Всередині зон визначають коефіцієнти  $k$ , за допомогою якого вираховують площу  $p$  кожної із зон. Загальна площа об'єкта  $P$  дорівнюватиме [2],:

$$P = p_1 k_1 + p_2 k_2 + \dots + p_n k_n$$

Об'єм об'єктів визначають під час вивчення балансу речовин у природі, наприклад, об'ємів знесених і відкладених гірських порід, льодовиків, опадів, стоку річок, запасів води у сніговому покриві тощо. Дослідження виконують за гіпсометричними, бариметричними, гідрологічними, кліматичними та іншими картами.

Якщо об'єкт зображений на карті в ізолініях, то його об'єм ( $V$ ) можна представити як суму об'ємів окремих шарів ( $h_i$ ), що знаходяться між площинами перерізу.

Інший графоаналітичний спосіб вимірювання об'ємів вимагає попередньої побудови кумулятивної кривої. За картою вимірюють площі всіх висотних ступенів, що знаходяться між сусідніми ізолініями, а потім підраховують накопичені значення площ. Після цього будують графік, на якому за вісею ординат відкладають інтервали висотних ступенів, а за вісею абсцис — накопичені величини площ, що відповідають цим інтервалам. З'єднавши точки на графіку плавною кривою, отримують кумуляту або інтегральну криву розподілу висот. Широко відомим прикладом кумуляти є гіпсографічна крива.

Площа, обмежена кумулятивною кривою і ординатами її крайніх точок, відповідає шуканому об'єму. Цю площу можна виміряти безпосередньо на графіку та виразити її у прийнятому для графіка масштабі (рис.3.4.2).

Одним з найбільш простих технічних прийомів визначення об'ємів за картами є спосіб об'ємних палеток. Відносна помилка визначення об'ємів за допомогою цього способу становить для великомасштабних карт 1-3%, а для середньо- і дрібномасштабних карт 2-5% залежно від розмірів території та ступеня спотворення площ на карті. Така точність задовольняє вимоги багатьох географічних досліджень.

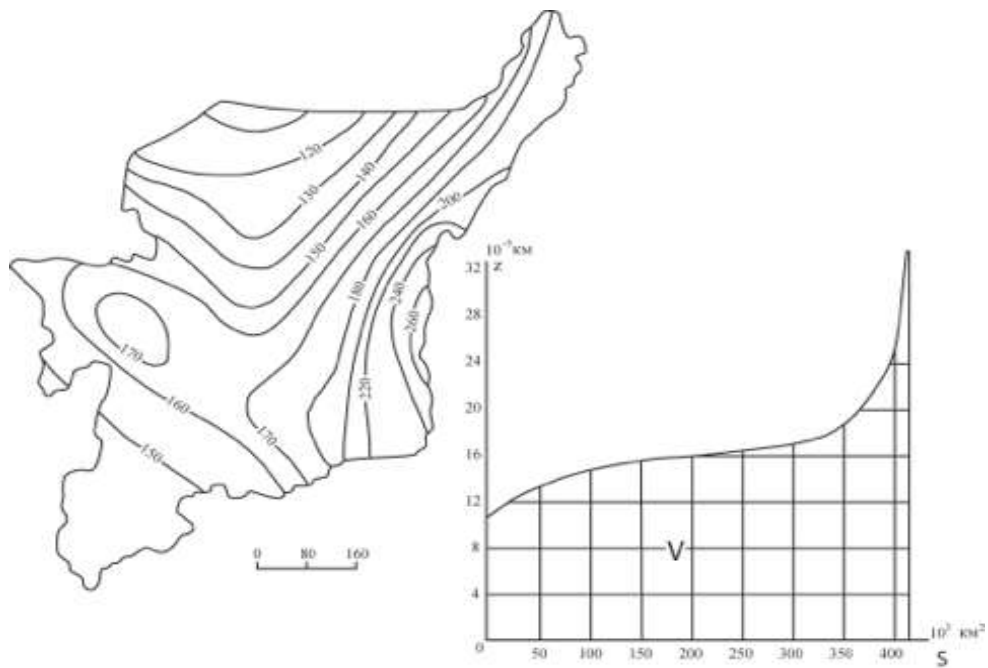


Рис. 3.4.2. Приклад побудови кумулятивної кривої на фрагменті карти запасів води.

На рис. 3.4.3. зображено ділянку карти з ізолініями та блок-діаграма тієї ж ділянки. Об'єм ( $V$ ) блок-діаграми можна представити як об'єм  $n$ -ої кількості навкіс зрізаних призм кожна з площею основи  $s$ . На блок-діаграмі показано, що основою призм є квадрати, але в загальному випадку основою може бути будь-який правильний багатокутник, наприклад, шестикутник. Середня висота ( $z_i$ ) кожної призми визначається за картою в центрі квадрата шляхом простої інтерполяції між ізолініями.

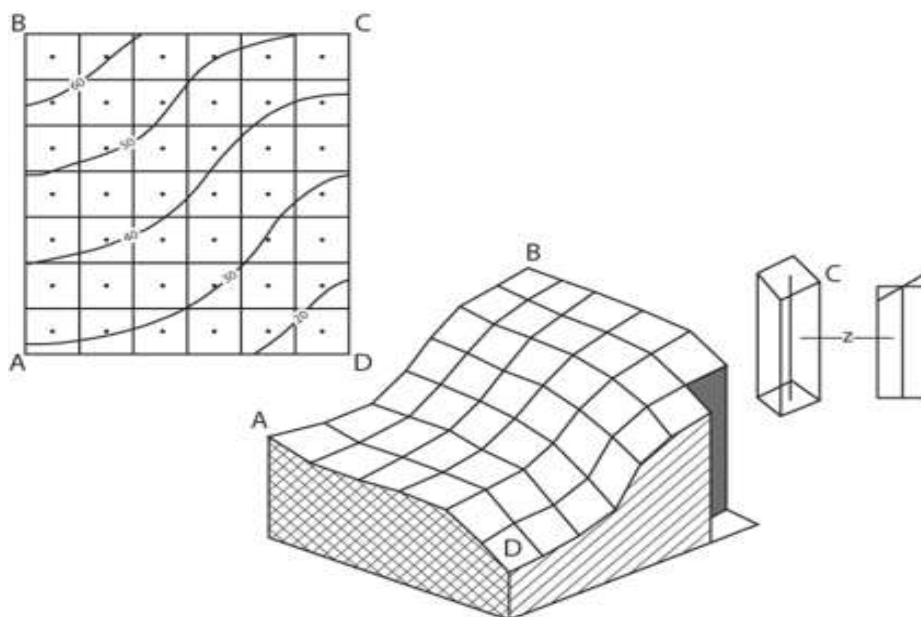


Рис. 3.4.3 Ділянка карти з ізолініями та блок-діаграма тієї ж ділянки

Об'єм всієї блок-діаграми обчислюється за формулою [2]:

$$V = sZ_1 + sZ_2 + \dots + sZ_n$$

де  $s$  - площа основи кожної призми (у км<sup>2</sup>);

$z_i$  - апліката явища, що зображена на карті, визначена в центрі основи;

$n$  - число точок, в яких визначені значення  $z_i$ .

З формули видно, що даний спосіб обчислення обсягу не вимагає попереднього вимірювання площ. Досить розмістити на карті палетку рівномірно розташованих точок, визначити  $z_i$  в кожній точці, підсумувати їх і помножити на величину  $s$  основи палетки;  $s$  повинна бути виражена в км<sup>2</sup>, а  $\sum z_i$  — в км. Цей спосіб обчислення об'ємів можна назвати способом об'ємної палетки, або способом П. К. Соболевського (за ім'ям вченого, що застосував в 1932 р. палетку з квадратною основою для обчислення об'ємів рудних тіл).

Точність підрахунку збільшується, якщо в основі палетки замість квадратів взяти шестикутники, які краще вписуються в контури території. Палетка шестикутників (рис. 3.4.4) будується на міліметровці з таким розрахунком, щоб відстань між точками в рядку дорівнювала  $R$ , відстань між рядками  $d$ .

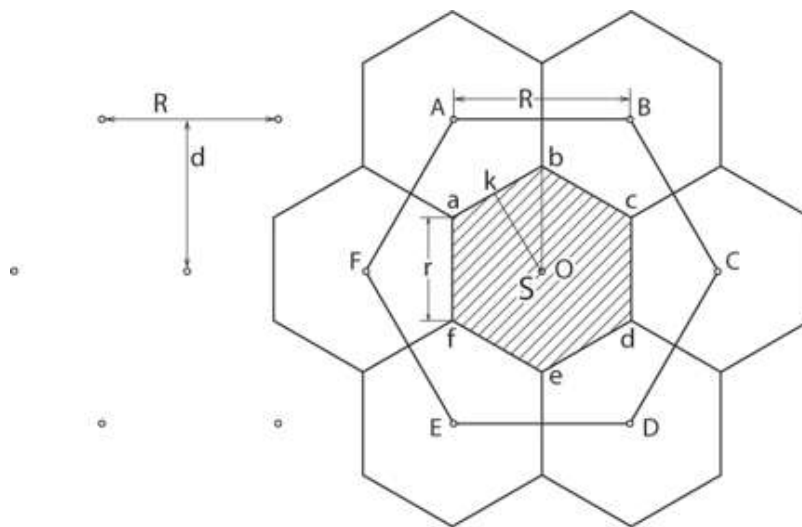


Рис. 3.4.4. Схема об'ємної палетки з шестикутником в основі

R=0,20 см	d = 0,17 см
0,40	0,36
0,50	0,43
1,00	0,87
1,20	1,00
1,50	1,30

2,00	1,73
2,50	2,16
3,00	2,60

Відомо, що площа території обчислюється тим точніше, чим дрібніша основа палетки, тобто чим більше число точок  $n$ . При збільшенні числа  $n$  зростає також і точність визначення середньої висоти (рис. 3.4.5).

Для отримання 3-5% відносної помилки при підрахунку об'ємів необхідно розташувати на карті не менше 30-35 точок, причому відстань між ними не повинна перевищувати 0,8-1,0 см. Якщо потрібно отримати більш точний результат, то значення об'ємів підраховують двічі, зміщуючи палетку на половину  $R$ . Для наближених оцінок об'ємів можна користуватися значенням  $R$  в межах до 2,0-2,5 см, але число точок не повинно бути менше 30 [2].

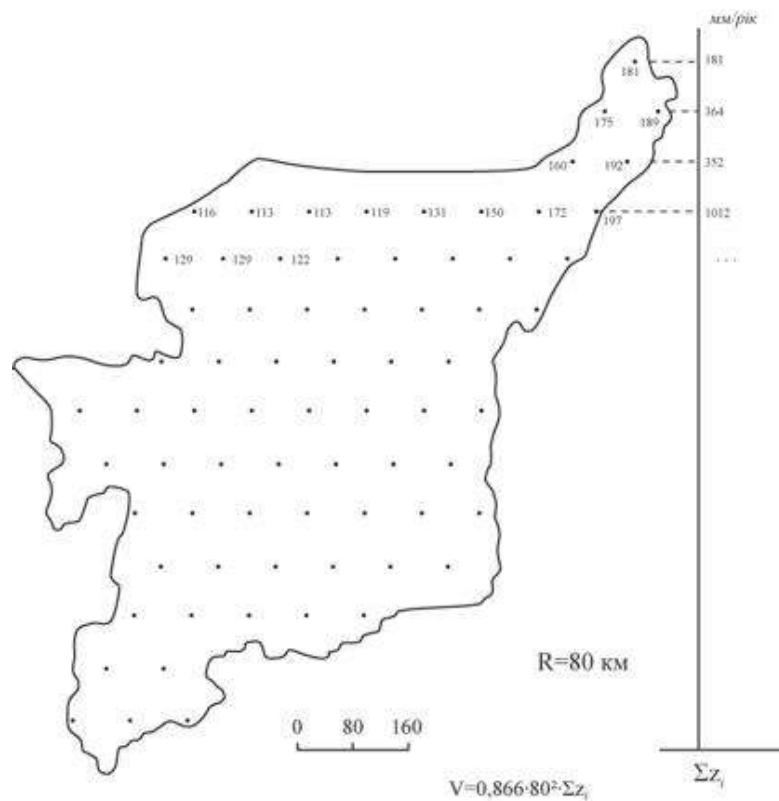


Рис. 3.4.5. Схема визначення об'єму по карті за допомогою об'ємної палетки

$$V = 0,866 R^2 (h_1 + h_2 + \dots + h_n)$$

Якщо точка палетки припадає на межу об'єкта, то значення, наприклад, її висоти,

приймається за половину визначеної. Маємо гексагональну палетку з відстанню між її точками в 1 см, що у масштабі карти дорівнює 100 км. Ізолінії проведено через 20 м. Значення точок всередині контуру підсумовано по рядках (їх три) і у цілому [2],:

$$V = 0,866 \times 100^2 \times 1,898 = 166\,424,68 \text{ км}^3$$

Густоту однорідних об'єктів може бути відображено двома показниками.

Перший (**Q**) відображає кількість об'єктів **n** на одиницю площі **P**:

$$Q = nP$$

Другий показник **T** передає безпосередньо щільність і дає відношення площі **p**, яка зайнята будь-якими об'єктами, до площі району **P**:

$$T = p : P \times 100\%$$

Показники **Q** і **T** збігаються для точкових об'єктів, площі яких дорівнюють одиниці, в інших випадках вони є різними. Значення показників частіше підраховують у межах природного районування (ландшафт, басейн річки тощо) або адміністративного поділу території.

*Звивистість* контуру об'єктів характеризується кількома показниками. Найчастіше - це показник відносної звивистості **α**, який визначають:

$$\alpha = l : s$$

*Звивистість загальних обрисів* об'єкта **β** визначається як відношення **s** до довжини прямої **α**, яка замикає кінці лінії:

$$\beta = s : d$$

*Загальну звивистість* об'єкта **γ** відбивають рівняння:

$$\gamma = \alpha\beta \text{ або } \gamma = l:d$$

З трьох показників найчастіше використовують показник **α**. За ним складають, наприклад, карти звивистості річок, якщо звивини контуру є приблизно однаковими, можна скористатися показником **ε**, який є відношенням кількості звивин **n** до лінії **s**, тобто:

$$\epsilon = n : s$$

*Розчленованість* об'єкта відображають два показники. Один з них – горизонтальна розчленованість поверхні **D**, або густота розчленування. Щоб отримати цей показник, слід виміряти довжину **L** усіх ліній, які розчленовують певну ділянку поверхні **P**, тобто

$$L = l_1 + l_2 + \dots + l_n, \text{ тоді } D = L : P \text{ км/км}^2$$

*Вертикальна розчленованість* **A**, або глибина розчленування – другий з показників. Його підраховують за рівнянням:

$$A = h_{\max} - h_{\min},$$

де  $h_{\max}$  і  $h_{\min}$  - максимальне й мінімальне значення висоти (глибини), які спостерігаються у межах природних районів, ландшафтів, басейнів річок тощо, а також складових геометричних сіток (квадратів, шестикутників, кіл). За одержаними значеннями, які віднесено до центрів визначених ділянок, можна побудувати ізолінії.

## 5. Прийоми математико-картографічного моделювання

*Математико-картографічне моделювання* полягає, з одного боку, в побудові математичних моделей об'єктів реального світу за даними, що взяті з карт, а з другого – у створенні за цими моделями нових карт. Перетворення математичної моделі на картографічну дозволяє результати дослідження зробити наочними як за окремими етапами, так і в цілому, перевірити точність математичних перетворень та географічну правильність одержаного результату. Отже, маємо ланцюжок: *карта* → *математична модель* → *нова карта*.

Принципова можливість використання математичних методів під час аналізу карт базується на тому, що положення об'єктів на карті визначається функцією  $z = f(x, y)$ , тобто кожна точка карти з координатами  $x$  та  $y$  має тільки одне значення  $z$  відображеного об'єкта. Зв'язки між кількома об'єктами можуть виражатися як функціональними, так і статистичними залежностями, бути функціями не тільки простору, а й часу. Математичні перетворення дозволяють позбавитися несуттєвих подробиць у характеристиці об'єктів, замінити складні й невідомі залежності на більш прості й відомі тощо.

Прийоми математичного моделювання є різноманітними, їх застосування у картографічних дослідженнях потребує високої математичної підготовки. Найбільш розробленими й успішно застосовуваними у географічних дослідженнях є прийоми теорії апроксимації, математичної статистики та деякі розділи теорії інформації.

*Апроксимація*, або наближене подання складного через простіше застосовується, якщо об'єкти (через свою складність) не можуть бути виражені відомими функціями. Будь-яку складну поверхню, яка зображена на ізолінійній карті можна апроксимувати, тобто наближено вона буде мати наступний вигляд:

$$Z = f(x, y) + \varepsilon$$

де  $f(x, y)$  – апроксимуюча функція,  $\varepsilon$  - певний неапроксимований залишок.

Наближення вважається точнішим, якщо залишок незначний. Найпростіший приклад апроксимації: схили окремих форм рельєфу як правило, мають складний профіль з перемінним ухилом на різних його ділянках; апроксимовані зображення мають вигляд прямих, що з'єднують

початок і кінець схилів. Апроксимація поверхні досить трудомісткий процес, тому застосування сучасних комп'ютерних технологій значно спрощує виконання цього завдання. Комп'ютерне моделювання дозволяє виконувати апроксимацію для поверхонь будь-якої складності, при цьому дозволяє розраховувати рівняння вищого порядку, яке складається іноді з декілька членів розкладення.

*Прийоми математичної статистики.* Бузумовно, карти надають можливість отримання різноманітної інформації й дуже часто в результаті проведення досліджень за картами виникає необхідність наявності швидких способів визначення числових показників. Необхідність таких способів відчутна тому, що кількість завдань, які вирішуються за допомогою карт, потребують наближених, але не грубих результатів.

Дослідження картографічного зображення може дати ефективні результати тільки в тому випадку, коли вивчаються не окремі взяті об'єкти, а велика їх кількість, наприклад зображення всіх річок або населених пунктів на будь-якій достатньо великій ділянці карти. Таке вивчення називається *статистичним*. Воно є одним із способів пізнання об'єктивних законів дійсності. В процесі статистичного вивчення явищ виявляють статистичні закономірності, які мають силу для всієї маси об'єктів та явищ в цілому. В окремо взятому явищі вони можуть й не проявитися. Статистичні дослідження відкривають, у так званому хаосі предметів або явищ порядок, статистичний зв'язок й тим самим можна стверджувати про наявність причинних зв'язків у явищі, що вивчається

*Математична статистика — розділ математики, яка присвячується математичним методам систематизації, обробки та використання даних для наукових та практичних висновків.*

Для правильного застосування статистичних методів при дослідженні картографічного зображення необхідно перш за все зрозуміти основні поняття математичної статистики.

Основна особливість статистичного дослідження полягає в тому, що предметом вивчення є будь-яка сукупність речей, явищ або подій.

Розвиток і розміщення явищ, зображених на картах, їх взаємні зв'язки, далеко не завжди вдається уявити у вигляді функцій. Частіше вони описуються не функціональними, а статистичними залежностями. Зазвичай це відбувається, коли явище, що вивчається залежить від кількості чинників, таким чином з повною достовірністю не можна передбачати сумарний ефект їх взаємодії, тоді говорять, що дане явище носить випадковий характер, а кількісні величини, які характеризують його в даний момент ( або в даній точці), називають *випадковими величинами* або *варіантами*.

Картографічне зображення в ряді випадків можна розглядати як зображення кількості змінюючих випадкових величин. Масові, якісно-однорідні кількості випадкових величин (або випадкових явищ) називаються *статистичними сукупностями (генеральна та вибіркова)*.

*Генеральна сукупність — це група об'єктів, які мають якісну однорідність, тобто це вся кількість однорідних величин.* Наприклад, кількість населених пунктів, річок або інших об'єктів на ділянці земної поверхні, яка досліджується. В більшості випадків всі об'єкти генеральної сукупності не можуть бути вивчені внаслідок недоступності або внаслідок великої трудоемності. Тоді вивчається тільки частка цієї сукупності — *вибіркова сукупність*.

*Вибіркова сукупність або вибірка, уявляє собою деяку частину генеральної сукупності.*

Статистичні сукупності однорідних явищ утворюють на картах *статистичну поверхню*. Існують реальні статистичні поверхні, наприклад топографічна поверхня, баричні поля або абстрактні поверхні, наприклад, поле середньорокових температур. Статистична поверхня може бути безперервною (наприклад, відмітки глибини дна світового океану) і дискретною (наприклад, кількість кратерів на місяці). На картах статистичні поверхні частіше відображаються способом ізоліній, але також вони можуть відображатися й точковим способом, картограмою тощо. Вони мають максимуми (гребні), мінімуми (западини), схили і т. п., тобто володіють деяким *статистичним рельєфом*.

Ознайомившись з вихідними поняттями, перейдемо до визначення мети, якою служать прийоми математичної статистики при картографічних дослідженнях. Ця *мета складається в аналізі та вивченні просторових, часових статистичних сукупностей і статистичних поверхонь, які зображені на картах*.

Статистичні прийоми знайшли саме широке застосування при аналізі карт і сьогодні. Вони інтенсивно розвиваються і є найбільш розповсюдженими. Існує ряд узагальнюючих робіт серед яких можна назвати роботи М. К. Бочарова, С. А. Ніколаєва, А. Робінсона, В. А. Червякова.

Оскільки вивчення всієї генеральної сукупності є надзвичайно трудомістке, а інколи й не можливе до виконання завдання, то в конкретних дослідженнях зазвичай аналізується вибірка, й на підставі аналізу вибірки створюється висновок про всю генеральну сукупність. Такий метод вивчення називають *вибірковим методом*, який знаходиться в основі отримання будь-яких статистичних показників та характеристик, тому до вибірок, які взято з карти, існують певні вимоги: *вони повинні бути значно великими*, характерними для даної сукупності, окрім цього *вони повинні бути випадково взятими*, тобто цілком незалежними від особливостей картографічного зображення і рівномірно охоплювати всю площу карти, що вивчається. Всі ці вимоги будуть виконані, якщо на карті розмістити систему рівномірно розповсюджених точок й в кожній точці визначити значення  $X_i$ , такими точками можуть бути перетини сітки географічних меридіанів та паралелей, лінії кілометрової сітки, вершини сітки квадратів тощо.

Якщо на графіку по одній вісі наносити значення інтервалів, а по іншій відкладати відповідні частоти або частоти, то отримаємо графічне зображення вибірки у вигляді *гістограми*, полігона або звивистого розподілу.



Прийоми математичної статистики застосовують при вирішенні за картами таких основних завдань: визначення узагальнюючих статистичних показників зображених на карті об'єктів; вивчення форми й тісноти зв'язків між об'єктами, зображеними на різних картах; оцінки ступеня впливу окремих чинників на об'єкт, що досліджується; виділення головних чинників.

Показниками математичної статистики є: *часність, мода* (найбільш часто зустрічається, на даній ділянці карти величина), *медіана* (величина, яка розділяє впорядковану вибірку навпіл), *середнє арифметичне* (є часткою від ділення суми всіх варіантів на їх кількість), *середнє зважене арифметичне* (розраховується із врахуванням відносної ваги кожного варіанту або кожного інтервалу в межах вибірки), *розмах* (амплітуда ряду варіантів, отриманих з ділянки карти, яка аналізується), *або амплітуда значень, коефіцієнти варіації* (є визначене у відсотках відношення середньоквадратичного відхилення до середньоарифметичного), *кореляції тощо*.

Для характеристики взаємозв'язку між двома явищами, зображеними на різних картах, використовуються безрозмірні величини, названі коефіцієнтом кореляції та кореляційним відношенням. Коефіцієнт кореляції  $r$  обчислюється в тому випадку, коли зв'язок між явищами  $A$  та  $B$  може вважатися прямолінійним; кореляційне відношення  $\eta$  служить для оцінки криволінійної залежності.

Числові значення  $r$  знаходяться в межах від  $-1$  до  $+1$ . Якщо  $r$  дорівнює  $+1$  чи  $-1$ , це вказує відповідно на повний прямий або повний зворотній зв'язок. Коли  $r$  близький до нуля, то зв'язок між явищами відсутній. При  $r \geq |0,7|$  зв'язок вважається істотним. Значення кореляційного відношення  $\eta$  змінюються від  $0$  до  $1$  та мають тіж властивостями.

Для розрахунку показників зв'язку з обох карт необхідно отримати дві вибірки. З цією метою на карти суворо скоординовано розміщують дві сітки рівновіддалених точок і в кожній точці знімають значення  $a$  та  $b$ . До цих вибірок висувають певні вимоги. Вибірki повинні бути досить великими (не менше 30 пар значень), характерними для даного явища, випадково взятими і повинні рівномірно охоплювати всю досліджувану по карті площу. Ці вимоги повною мірою задовольняє вибірка, отримана за сіткою точок, які розташовуються на всій території рівномірно і абсолютно випадково щодо самого картографічного зображення.

Перш ніж визначати тісноту зв'язку, необхідно мати уявлення про його форму, для чого слід побудувати графік, відкладаючи на вісях значення  $a_i$  та  $b_i$ . Точки на графіку утворюють поле кореляції за виглядом, якого можна судити про тісноту та форму зв'язку. Якщо точки дають великий розкид, розташовуються безсистемно, то це свідчить про відсутність зв'язку між явищами. Якщо ж поле кореляції витягується у вигляді більш-менш вузької смуги, значить зв'язок між явищами існує, причому чим вужча ця смуга, тим зв'язок сильніший. У крайньому випадку смуга може стати лінією, яка називається лінією регресії і відображає функціональну залежність  $b=f_1(a)$  чи  $a=f_2(b)$ . Далі, якщо смуга поля кореляції досить прямолінійна, то зв'язок між явищами можна

оцінити коефіцієнтом кореляції. У тих випадках, коли поле кореляції явно викривлене, необхідно звернутися до обчислення кореляційного відношення.

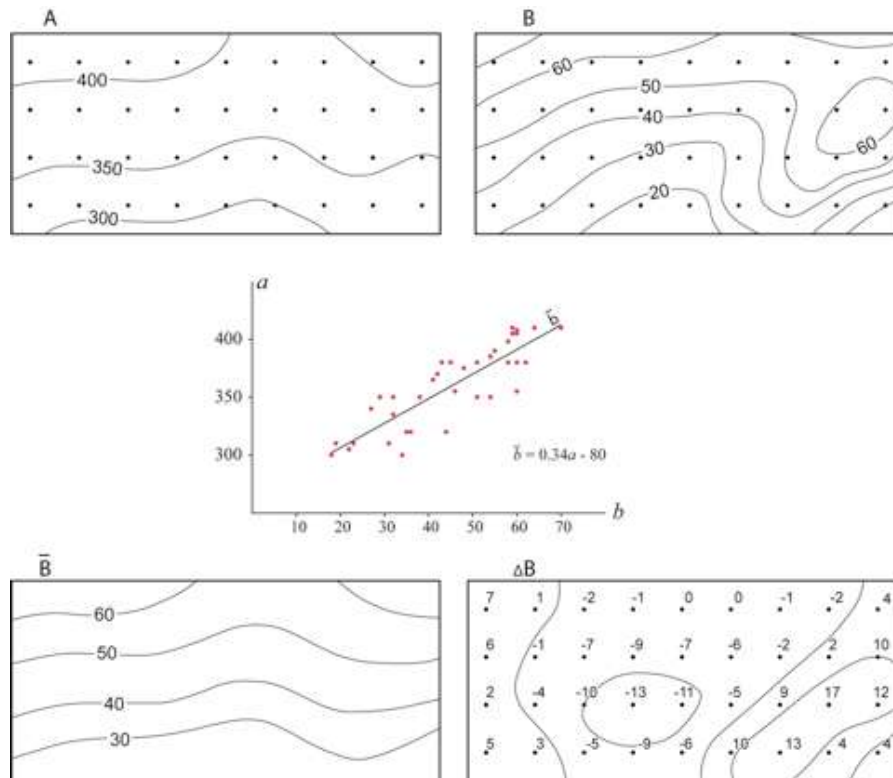


Рис. 3.5.1 Схема побудови поверхонь регресії та відхилень: А та В – вихідні карти; графік поля кореляції та лінія регресії;  $\bar{B}$  – поверхня регресії;  $\Delta B$  – поверхня відхилень

На рис. 3.5.1 показані дві ділянки карт з ізолініями явища *A* (опади, мм/рік) і *B* (стік з поверхні, мм шару). На обидві карти поміщено сітку точок ( $n = 36$ ).

У нашому прикладі поле кореляції утворює досить вузьку смугу і зв'язок між явищами *A* та *B* прямолінійний. Коефіцієнт кореляції розраховується за наступною формулою:  $\sigma$

$$Y = \frac{\sum \delta_a \delta_b}{\sigma_a \sigma_b}$$

$\delta_a$  та  $\delta_b$  - центральні відхилення кожного значення  $a_i$  та  $b_i$  від відповідних середніх:

$$\delta_a = a_i - \bar{a} = a_i - \frac{\sum a_i}{n}$$

$$\delta_b = b_i - \bar{b} = b_i - \frac{\sum b_i}{n}$$

$\sigma_a$  та  $\sigma_b$  – середні квадратичні відхилення по  $a$  та  $b$ :

$$\sigma_a = \sqrt{\frac{\sum a_i^2}{n}} \quad \sigma_b = \sqrt{\frac{\sum b_i^2}{n}}$$

де  $n$  – число пар даних, отриманих з карт;

Середня квадратична помилка коефіцієнта кореляції вираховується за формулою:

$$\delta_Y = \pm \frac{1 - Y^2}{\sqrt{n}}$$

Остаточне значення коефіцієнта кореляції записується у вигляді:

$$Y = \frac{\delta_a \delta_b}{n \sigma_a \sigma_b} \pm \sigma_Y$$

Встановивши наявність тісної залежності між явищами  $A$  та  $B$ , можна скласти рівняння поверхні регресії та поверхні відхилень від регресії й зобразити їх картографічно.

Оскільки зв'язок між явищами лінійний, рівняння має вигляд:

$$\bar{b} = f(a) = ka + c$$

де  $k$  та  $c$  – коефіцієнти, які визначають із співвідношень:

$$k = Y \frac{\delta_B}{\delta_A}$$

$$c = \bar{b} - k\bar{a}$$

Рівняння регресії в числовій формі:

$$\bar{b} = 0,348 - 80$$

Підставляючи значення  $a_i$ , знаходимо  $b_i$  поверхні регресії, наносимо їх на карту та проводимо ізолінії. Поверхня регресії показує якби змінювалося явище  $B$ , якби воно залежало тільки від  $A$  (наприклад, як би змінювався стік з поверхні, якби він залежав лише від опадів).

Дані обчислюють відхилення фактичних значень  $b$  від розрахункових в кожній точці:

$$\Delta b_i = b_i - \bar{b}_i$$

Наносимо їх на карту та отримаємо поверхню відхилень, яка відображає вплив інших чинників, аномальних по відношенню до знайденої залежності.

Інтерпретація карти відхилень повинна ґрунтуватися на знанні конкретної географічної обстановки та чинників, що впливають на розміщення явища. На рис. 3.5.2 зображена карта поверхні відхилень у розподілі стоку щодо річної кількості опадів для території України. На карті наочно проявляється вплив височин на збільшення стоку. Позитивні відхилення спостерігаються на східному схилі Карпат, на Волино-Подільській та Приазовській височинах, в Кримських горах. Крім того, аномальне збільшення стоку в порівнянні з малою кількістю опадів відзначається в посушливих районах півдня Причорноморської низовини.

У тих випадках коли ряд даних, за якими можна визначити зв'язки невеликий, а самі дані не можуть бути одержані з великою точністю, вираховують *ранговий коефіцієнт кореляції*  $\gamma$ .

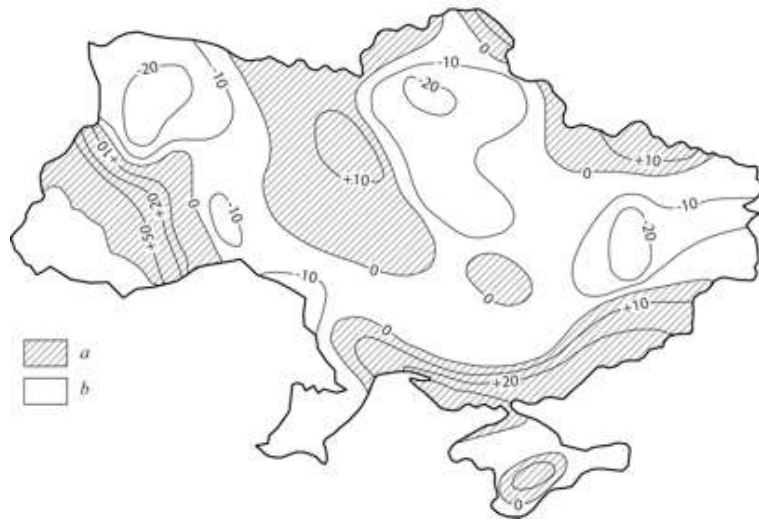


Рис. 3.5.2 Карта відхилень в розподілі стоку відносно річної кількості опадів для України: *a* – області позитивних відхилень; *b* – області негативних відхилень.

Ранг - це порядковий номер певного значення кількісного показника. Ранговий коефіцієнт доцільно використовувати, наприклад, під час аналізу картограм, кількісні показники яких відносяться до певних площ, а ряд показників відносно невеликий (дорівнює кількості районів області чи самих областей). Визначають коефіцієнт за рівнянням [2]:

$$Y = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n (P_{ai} - P_{bi})^2}{n^3 - n}$$

де  $d = p_a - p_b$ ,  $p_a$  і  $p_b$  - ранги одного і того самого району на картах **A** і **B**,  $n$  – кількість **d**, яка збігається з кількістю районів на карті.

Ранговий коефіцієнт відбиває залежність між об'єктами так само як і коефіцієнт парної кореляції і змінюється теж від +1 до -1.

Хід обчислень можна пояснити на прикладі: беремо дві картограми території, які поділено на п'ять районів. Для визначення рангів слід виписати з першої карти *A* значення за легендою кожного з п'яти районів і визначити їхні ранги  $p_a$  у порядку зменшення кількісного показника, тобто ранг 1 буде надано району з найбільшим числовим значенням (це район 2 з густотою населення 41-50 жит./км<sup>2</sup>). У випадках, коли кілька районів мають однакові показники, кожному з них надають середнє значення рангів, які було надано районам під час ранжирування (районам 3 і 4 карти *A* спочатку приписано ранги 4 і 5, тому остаточні їх значення становлять 4,5 і 4,5). Послідовність  $p_a$  за номерами районів є такою: 2; 1; 4,5; 4,5; 3. Таку саму роботу проводять і за другою картою визначаючи ранги  $p_b$ . Вони становлять такий ряд чисел: 3,5; 1; 5; 3,5; 2. Подальші обчислення виконують за схемою: беруть різниці рангів  $d$  (у наведеному прикладі  $n=5$ ), підносять їх у квадрат та підсумовують одержані значення ( $\sum d^2 = 4,5$ ), потім визначають за рівнянням ранговий коефіцієнт, який складає +0,8, що свідчить про тісний зв'язок між об'єктами.

Статистичному вивченню можуть бути доступні всі елементи змісту карти. Для отримання найбільш достовірних результатів статистичного дослідження картографічного зображення необхідно ці дослідження проводити за картами великих масштабів, які правильно та докладно передають всі елементи місцевості, але не виключається можливість того, що виявлення деяких характеристик може бути проведена й за картами дрібних масштабів.

Статистичні дослідження необхідно проводити за певною програмою. При вивченні будь-якого елемента карти необхідно визначити розміри ділянки, спосіб вибіркового дослідження, точність з якою слід проводити виміри. Визначення оптимальної кількості спостережень є досить важливою умовою правильного дослідження. Мала кількість спостережень може призвести до грубих результатів, а досить об'ємна кількість спостережень, з точки зору економічних поглядів недоцільна.

Спостереження елементів змісту карт можна проводити за ділянками, які обмежені рамками (аркуші карт, окремі ділянки правильної або неправильної форми всередині аркушів), за природними ділянками (материк, географічний район, ділянка, яка обмежена лініями водоподілів або річок тощо) або за розділами класифікацій, яка прийнята у практиці картографічних робіт.

Наприкінці спостережень, цифровий матеріал окремих об'єктів для подальшого вивчення поділяють на групи, потім обраховують показники, які використовувалися для вияву закономірностей розподілу об'єктів за ознаками та зв'язками між ними.

Одночасно складаються таблиці та графіки для наочного уявлення числових характеристик, а також для зведення характеристик, які використовувалися при роботі з картою та перероблення настанов та інструкцій в якості матеріалу для встановлення норм відбору та навантаження карти.

Статистичні спостереження полягають у підрахунках великої кількості лінійних та площинних об'єктів, тому швидкість вимірювань грає суттєву роль.

Розрахунок кореляції складає основу для формування більш складних видів аналізу: *регресійного, дисперсного, факторного* тощо. Дуже часто при дослідженні ставиться завдання визначити основні чинники, які визначають розвиток, розміщення того чи іншого явища. Це завдання вирішує багатомірний *факторний аналіз*. Він дозволяє звести до мінімуму (два або чотири головних чинника) досить великі сукупності вихідних показників, які характеризують складне явище або процес.

*Інформаційний аналіз* використовує *ентропію* (у теорії інформації – це міра невизначеності ситуації). Для картографічного зображення вона відбиває ступінь його однорідності (неоднорідності). Ентропію  $H(A)$  певної системи  $A$  визначають як суму добутків ймовірностей  $W_i$  різних станів цієї системи на логарифм цих ймовірностей, узятих із зворотнім знаком [2]:

$$H(A) = -\sum_{i=1}^n W_i \log_2 W_i$$

якщо  $H(A) = 0$ , зображення є однорідним, складається з одного об'єкта (ареалу, району). Зі збільшенням кількості ареалів  $H(A)$  зростає і має максимальне значення  $H(A)_{\max}$ , якщо  $w_1 = w_2 = \dots = w_n = 1/n$ , де  $n$  – кількість ареалів. Крім абсолютної ентропії, використовують відносну ентропію  $H(A)_r$  [2]:

$$H(A)_r = H(A) : H(A)_{\max}$$

За інформаційними функціями зручно оцінювати однорідність і взаємні зв'язки об'єктів на картах, складених способом якісного фону (геологічних, ґрунтів, рослинності, ландшафтній, економічного районування тощо).

Використання прийомів математичного моделювання у картографії є прогресивним явищем, але не слід перебільшувати його значення. Застосування прийомів математичного моделювання потребує розчленування об'єкта на частини, спрощення складних зв'язків, вилучення побічних чинників, введення багатьох попередніх умов і обмежень тощо. Формальні математичні методи, які значною мірою об'єктивізують результати досліджень, мають поєднуватися з якісним аналізом і описом об'єктів з чіткою географічною їх інтерпретацією. Якщо математичні шляхи не знаходять географічного тлумачення, вони не беруться до уваги як такі, що не відтворюють стан об'єктів, їх особливості, зв'язки тощо.

#### ***Контрольні запитання:***

1. Які існують способи досліджень за картою?
2. На які чотири групи поділяють прийоми при роботі з картою, за характером отримання результатів та технічною оснащеністю?
3. З якою метою проводять візуальний аналіз та опис за картами?
4. Графічні прийоми аналізу карт та їх призначення.
5. Призначення графоаналітичних прийомів аналізу карт.
6. Прийоми математико-картографічного моделювання.
7. В чому полягає значення методів математичної статистики при дослідженні картографічного зображення?
8. Що таке інформаційний аналіз?

## РОЗДІЛ 4

### ГЕНЕРАЛІЗАЦІЯ ТА ОЦІНКА ТОЧНОСТІ У КАРТОГРАФІЧНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ КАРТ

#### 1. Генералізація і картографічні дослідження

Вивчення питань точності було б не досить повним без розгляду впливу генералізації, цієї невід'ємної властивості карти на картографічні дослідження. За відомим визначенням, *картографічна генералізація – це відбір головного, суттєвого та його цілеспрямоване узагальнення, яке має на меті зображення на карті дійсності в її основних, типових рисах і характерних особливостях, відповідно призначенню, тематиці і масштабу карти.* Генералізація — одна із головних наукових проблем в картографії. Картографічне моделювання без неї в будь-якій формі неможливо. В теорії картографії першочергову увагу приділяють науково-методичним принципам, змістовному та формально-математичному обґрунтуванню генералізації, коп'ютеризації та автоматизації, однак недостатньо розроблені проблеми, які відносяться до впливу генералізації на трансформацію та достовірність картографічних образів й пов'язаного з цим питанням інформативності карт.

При роботі з тематичними та топографічними картами, особливо середньо- та дрібномасштабними, генералізація стає головним чинником, який впливає на технічну та картографічну точність кількісних визначень.

Генералізація проводиться в декількох напрямках. Перш за все, узагальнюється легенда карти, причому відбувається заміна дрібних підрозділів класифікацій новими більш узагальнюючими. Встановлюються цензи і норми відбору, узагальнюються кількісні та якісні характеристики об'єктів, спрощуються, схематизуються окреслення об'єктів. В той же час, намагаються більш суттєво відобразити на карті деякі важливі географічні особливості і тому інколи свідомо перебільшують окремі об'єкти, зміщують їх зображення тощо.

Генералізація передбачає:

- дотримання, за можливості, геометричної точності зображення;
- збереження географічної правдоподібності.

Треба наголосити на тому, що ці дві мети знаходяться у діалектичному протистоянні, оскільки геометрична точність дуже часто порушується на перевагу змістовній відповідності. Тому, внаслідок цього протиріччя генералізації прийоми аналізу, які потребують високої картографічної точності, ефективні тільки для тих карт де генералізація мінімальна. Й навпаки, у тих випадках, коли необхідно відволіктися від складних деталей, виявити головні закономірності та взаємозв'язки зручно використовувати оглядові, надто генералізовані карти. На генералізованій карті геометрична точність часто порушується завдяки чому страждає географічна подібність.

Цією обставиною пояснюється суперечність впливу генералізації на картографічне дослідження. Прийоми аналізу, які потребують високої картографічної точності, виявляються ефективними тільки для тих карт де генералізація мінімальна. І навпаки, в тих випадках, коли необхідно відхилитися від ускладнюючих деталей, виявити головні географічні особливості і взаємозв'язки, зручно використовувати оглядові, надто генералізовані карти, які сприяють виявленню взаємозв'язків між явищами.

Наприклад, при генералізації гіпсометричного зображення на картах середніх та дрібних масштабів для збереження географічної правдоподібності зображення форм рельєфу при розрідженому перетину горизонталей допускається зміщення окремих горизонталей вгору або донизу по схилу “затягування” горизонталей вгору за тальвегом тощо. Подібне порушення геометричної точності спотворює схили рельєфу та схили річкових долин. Тому аналіз профілю річок за допомогою різних морфометричних побудов можна проводити тільки за топографічними картами великих масштабів.

Відбір та узагальнення елементів гідрографічної сітки на топографічних картах середнього масштабу призведе до зміни кількості і загальної довжини водотоків. Відбувається так зване “загублення густоти” річкової мережі, тому безумовно, для отримання дійсних значень густоти ерозійного розчленування рельєфу необхідно використовувати великомасштабні карти.

Генералізація також впливає не тільки на морфометричні, але й на статистичні показники, які визначаються за картами. При переході до більш дрібних масштабів зникає більшість “випадкових” деталей зображення, тому, наприклад, коефіцієнти кореляції, розраховані за генералізованими картами, як правило, декілька збільшені в порівнянні з дійсними. Теж саме відноситься до апроксимації. Сума квадратів відхилень значень фактичної поверхні від апроксимуючої внаслідок впливу картографічної генералізації зменшується.

Для того щоб скласти вірне уявлення про вплив генералізації на картографічні дослідження наведемо протилежний приклад із геоморфології. Величину неотектонічних піднятих з достатньою точністю характеризує звичайна гіпсометрична карта, яка відображає всі перевищення земної поверхні над рівнем моря. Однак, дрібні деталі ерозійного розчленування маскують макроформи земної поверхні, які створені переважно тектонічними рухами. Причому, це маскування залежить від збільшення масштабу карти, тому для вивчення первинно тектонічних форм рельєфу, які обумовлені переважно сучасними рухами, краще використовувати оглядові гіпсометричні карти на яких рельєф зображений з більшою генералізацією, виключенням деталей і виділенням основних особливостей.

Генералізація, якщо вона базується на дійсних наукових принципах, дозволяє отримати якісно нове картографічне зображення. Зміна класифікацій в легенді карти, узагальнення кількісних характеристик, підкреслення головних рис явищ – все це призводить до переходу від



конкретних понять до абстрактних, якісно нових.

Вивчення генералізації з прагматичної точки зору, тобто із позиції користувача картографічної продукції, тривалий час знаходилася у тіні, хоча ця складна та багатопланова проблема має безпосередньо відношення до раціонального втілення картографічного методу в науку та практику. У більшості випадків генералізація покращує сприйняття картографічних образів, але вона створює й перешкоди для точних кількісних визначень.

Можна вказати декілька основних напрямків, за якими досліджуються прагматичні аспекти генералізації. Перш за все, ведеться пошук об'єктивних (кількісних) критеріїв геометричної точності генералізації, щоб за допомогою абсолютних або відносних показників порівняти та оцінити карти із різною ступеню генералізації. З практичної та теоретичної точок зору важливо вивчити, в який ступені генералізація впливає на отримання основних (фонових) просторових закономірностей розміщення явища, яке співвідношення масштабів тематичних карт та порядку вияву за ними просторових структур. Найбільш ймовірнісний шлях вирішення завдання пов'язаний із залученням різномасштабних космічних знімків.

Враховуючи те, що генералізація ускладнює отримання точних кількісних (картометричних) показників або характеристик (довжини, площі форми тощо), більшість дослідників намагаються розробити методику введення редуційних поправок для різних видів вимірювань та карт різних масштабів. При цьому виявлено, що на тематичних картах величини спотворень залежать не тільки від масштабу, але й від тематики карти, тобто визначаються властивостями самого об'єкту картографування та принципами його генералізації.

Основними напрямками дослідження прагматичної сторони генералізації є:

1. пошук об'єктивних абсолютних та відносних критеріїв оцінки геометричної точності генералізації;
2. вивчення впливу генералізації на способи отримання та аналізу картографічної інформації;
3. аналіз співвідношення масштабів карт (перш за все тематичних) та порядку вияву за ними просторових структур та систем;
4. оцінка впливу генералізації на точність картометричних та морфометричних визначень, які виконуються за середньо- та дрібномасштабними картами;
5. вивчення прояву генералізації при обчисленні за картами статистичних показників та параметрів розподілу.

Розробка нових прийомів аналізу карт дуже рідко супроводжується оцінкою їх точності, це пояснюється суб'єктивними чинниками: емпіричне використання нової методики значно спрощує процес дослідження, ніж визначення її точності. Але існують й об'єктивні причини. Справа в тому, що спотворення результатів дослідження за картами залежить від кількості чинників, з яких одні

можна оцінити кількісно, за допомогою прийомів теорії помилок та математичної статистики, а інші такий оцінці не підлягають і говорити про них можливо лише в залежності від навичок, наукової зрілості дослідника.

Карти використовуються для вирішення великої кількості наукових та господарських завдань, в різних географічних та соціально-економічних ситуаціях, тому необхідно визначити особливі підходи до оцінки точності, яка б враховувала конкретну ситуацію та умови дослідження. Тому на наш погляд, доцільно розглянути основні чинники, які визначають точність дослідження за картами.

## **2. Чинники, які впливають на точність досліджень за картами**

Питання про точність досліджень за картами належить до числа найскладніших та найменш розроблених серед інших питань застосування картографічного методу.

Порівняно не складно визначити точність вимірювань та розрахунків за картами. Цим займається картометрія і геометрія випадкових помилок. Значно складніше встановити як впливають на точність науково-методичні принципи і робочі гіпотези, які покладено в основу кожного конкретного дослідження.

Відомо, що кількість наукових та практичних завдань, які вирішуються за допомогою картографічного методу, потребують особливого підходу до рішення цих проблем. Навряд чи можна запропонувати універсальні критерії оцінки точності, а головне, наукової достовірності результатів, отриманих при аналізі карт. Однак доцільно перерахувати основні чинники, які визначають точність досліджень за картами. Перш за все, точність найбезпосереднішим чином залежить від цілей та завдань дослідження. З цим пов'язаний вибір картографічних джерел, технічних прийомів, об'ємів вимірювань та розрахунків, розробка методики дослідження, тобто подальший процес аналізу карт.

Іншим важливим чинником є точність вихідних карт або *картографічна точність* досліджень. Вона, в свою чергу, залежить від математичної основи і масштабу карти, від її сучасності, достовірності і повноти змісту, від ступеня генералізації зображення, а також від технології створення та видання карти.

Третім, не менш впливовим чинником слід рахувати точність технічних прийомів аналізу карт або так звану *технічну точність* досліджень. Вона визначається спотвореннями кількісних визначень і точністю вимірювальних засобів.

Точність вимірювань за картами залежить і від природи об'єкта, що вивчається, від того, наскільки чітко передаються його просторові межі. Наприклад, фізико-географічні зони, гірські хребти, окремі види ґрунтів, антиклінальні підняття тощо, не мають різких меж, контури їх викреслюються умовно. Часто умовними можуть бути й часові межі розвитку будь-якого явища,

зображеного на карті, скажемо, момент зародження циклону, межі неотектонічного етапу тощо, безумовно, що розміри та швидкість змін цих явищ можуть бути визначені лише наближено.

Наприкінці, ще один чинник: *коректність робочих гіпотез*, які покладено в основу дослідження. Очевидно, що якщо вивчення будь-якого явища виходить із невірних припущень, то навіть найдостовірніші карти і комп'ютерні технології не зможуть привести до істинних результатів.

*Надійність картографічного методу* – це його здатність забезпечувати вірне рішення поставленого завдання. Однак, наскільки отримані результати відповідають дійсності, тобто надійність результатів, їх рівень можна визначити, якщо оцінити їх *точність й достовірність*.

*Точність* є кількісною оцінкою результатів дослідження. *Достовірність досліджень* – це якісна оцінка відповідності результатів дослідження, інтерпретації їх відповідно до сучасних уявлень про об'єкт дослідження. Оцінка надійності – досить складне завдання, так як спотворення результатів залежать від багатьох причин, із яких одні визначаються, користуючись методами теорії помилок, картометрії та математичної статистики, а інші не мають точних оцінок, та судити про них можна лише в залежності від навичків, досвіду, наукової кваліфікації дослідника та інших суб'єктивних чинників.

Перш за все рівень надійності досліджень визначається *метою і завданнями*, поставленими дослідником. Саме мета обумовлює вимоги до точності результатів дослідження, вибір потрібних карт, методу роботи, обсяг вимірювань, обчислень тощо, тобто все це можна віднести до *концептуальних джерел помилок*, які базуються на неточності, недоліках вихідних концепцій, неточності інтерпретації результатів. Наприклад, визначення за топографічними картами ступеня розчленованості рельєфу може бути виконано з різною метою, а отже, й точністю. Виявлення ділянок, перспективних для пошуку нафти й газу, потребує тільки окреслення території з інтенсивним розчленуванням. Така робота не вимагає значної точності. Розробка протиерозійних заходів потребує точного виділення на карті ділянок, де розвивається глибинна ерозія, можливі зсуви, осідання ґрунту тощо. Чим точніше окреслені на карті ці ділянки, тим ефективнішими будуть рекомендовані захисні заходи. Найбільші вимоги до точності морфометричних досліджень ставляться під час проектування промислового, шляхового та іншого будівництва.

### **3 . Картографічна точність**

*Картографічна точність*, або точність кількісних визначень за картою зумовлена тільки властивостями цієї карти. Картографічна точність залежить від математичної основи карти (перш за все її проекції й масштабу), сучасності, достовірності і повноти змісту, ступеня генералізації зображення, технології складання й видання карти тощо. Нагадаємо, що математична основа топографічних карт дозволяє звести помилки планового положення об'єктів до 0,5-0,75 мм у

масштабі карти, вони більші в гірських і менші у рівнинних районах. Помилка висотного положення об'єктів дорівнює 0,3-0,5 висоти перерізу рельєфу на карті. Максимальні помилки є вдвічі більшими за вказані.

На дрібномасштабних картах, якими є більшість тематичних карт, точність положення об'єктів значною мірою залежить від особливостей картографічної проєкції. На картах невеликих та середніх за розміром території (наприклад, адміністративна область, фізико-географічний район, окрема держава) спотворення дорівнюють в основному 0,5-1% і лише в окремих місцях досягають 3%. На картах великих територій (материк, океан, півкуля, уся Земля) спотворення в центральних частинах не перевищують 2-5%, але значно зростають до країв.

Впливає на картографічну точність й генералізація зображення. Як відомо, від неї залежить ступінь детальності поданого на карті, узагальнення змісту та географічних елементів. На тематичних картах помилки в положенні об'єктів, які пов'язані з генералізацією, дорівнюють у середньому 0,6-1,2 мм (а інколи й 3 мм) у масштабі зображення. Однак доведено, що ці помилки майже не впливають на такі статистичні або морфометричні показники, котрі визначають за картами як коефіцієнти кореляції, густина об'єктів, співвідношення площ, зайнятих різними ареалами тощо. *Невідповідність змісту карти сучасним уявленням про зображений об'єкт* може привести до збільшення у десятки разів помилок картографічного зображення та значно зменшує надійність досліджень за такими картами.

Слід зазначити також вплив на точність одержаних за картою даних, *географічних особливостей об'єкта досліджень (географічні джерела помилок)*. Важливо як чітко виражені просторові межі об'єкта, наскільки вони стабільні, рухливі, мінливі у просторі й часі. Так, фізико-географічні зони, гірські пояси, ареали поширення тварин тощо, не мають різких просторових меж, вони є умовними. Нечітко визначеними є часові межі тектонічних етапів та інших об'єктів.

Надійність залежить також від правильності робочої гіпотези, за якою досліджується об'єкт, наукового досвіду дослідника, рівня вивченості об'єкта, несприйняття або невірною сприйняття думок, ідей, нечіткість формулювань завдання, висновків тощо - складають *комунікативні джерела помилок*.

Визначає рівень надійності одержаних результатів також *підтвердженість дослідження – кількісна міра збігу (розбіжності) результатів, одержаних за картами, з даними безпосередніх спостережень або інших незалежних і більш точних методів*.

#### **4. Технічна точність**

*Технічна точність* дослідження пов'язана з надійністю вимірювальних приладів, обчислювальної техніки, алгоритмів та програм, захищеністю баз даних та методикою проведення самих вимірювань. На практиці прагнуть того, щоб відносні помилки вимірювань не

перевищували заданих меж.

Під час визначення загальної оцінки результатів вимірювань і обчислень за картами враховують сукупний вплив картографічної й технічної точності.

На тематичних картах точність вимірювань залежить також від застосованого способу картографічного зображення (табл. 4.4.1).

Таблиця 4.4.1

Точність кількісних визначень за тематичними картами залежно від способу картографічного зображення

Спосіб картографічного зображення	Точність кількісних визначень
<b>Локалізовані значки:</b>	
за ступінчастою шкалою	33%
за абсолютною безперервною шкалою	3-6%
структурні	5-10%
<b>Картограма, картодіаграма</b>	33%
<b>Локалізовані діаграми</b>	5-10%
<b>Точковий спосіб</b>	2-3%
<b>Знаки руху:</b>	
ширина знаку	2,5-5%
азимут знаку	0,8-1,6%
<b>Ізолії</b>	0,1-0,2 величини віддалення

Всі дослідження, які виконуються за картами, можна із деякою долею умовності розділити на три групи за точністю отриманих результатів:

1. *Точні дослідження*, при яких вимірювання і кінцеві результати отримуються з точністю максимально можливою для даної карти і даного прийому її аналізу. При таких дослідженнях намагаються ретельно врахувати та виключити всі можливі помилки, проводять контрольні вимірювання, незалежні розрахунки. Помилки у визначенні довжин і площ не повинні перевищувати 1%, а для кутів - 1°.

2. *Дослідження середньої точності*, коли за умовами роботи допускається, що помилка результату не повинна перевищувати визначено припустимого ліміту. В цьому випадку спотворення найменш заданої точності взагалі не враховуються. Це дозволяє інколи суттєво

скоротити об'єм та строки робіт. В практичному використанні картографічного методу як показує досвід, частіше всього проводяться саме ці дослідження середньої точності. Помилки вимірювання довжин та площ становлять не більше 3-5%, а кутів - 3°.

3. *Наближені дослідження*, які виконуються з низькою точністю й зазвичай використовуються для попередніх розрахунків. Вони проводяться без застосування складних технічних прийомів, часто візуальним шляхом. Саме такі дослідження дозволяють скорегувати детальність наступних, більш точних досліджень, в основному на підставі візуального аналізу виконують з невеликою точністю: 6-10% для довжин і площ та до 8° - для кутів. Фактично наближені дослідження дозволяють вірно спланувати подальші, більш точні дослідження того чи іншого об'єкта або явища.

На практиці за тематичними картами найчастіше проводять дослідження середньої точності, наближені дослідження виконують на попередніх стадіях роботи для правильного планування подальшого проведення досліджень.

## 5. Генералізація із використанням комп'ютерних технологій

В автоматизації (комп'ютеризації) картографічну генералізацію завжди вирізняють дві сторони: *семантична й геометрична*.

Генералізація якісних характеристик проходить шляхом об'єднання класифікаційних ознак об'єктів та в поєднанні позицій в легенді із врахуванням ієрархічної структури явища. Це виконується у автоматичному режимі за допомогою одно- або багатопараметричних класифікацій. Найбільш просто реалізується цензовий відбір об'єктів.

Вимоги картографічної генералізації накладають жорсткі обмеження на автоматизацію геометричної (просторової) складової. Тут не підходять методи формального (механічного) згладження окреслень, автоматичне розпізнавання ієрархії геометричних структур складає основне завдання комп'ютерного розпізнавання образів.

Автоматизація узагальнення даних різна в залежності від способу їх відображення — *растрового або векторного*. При генералізації растрових даних їх значення перераховуються із врахуванням сусідніх пікселів. Алгоритми оперують одночасно з кількісними та якісними характеристиками статистичних або атрибутивних даних. Значно складнішою є просторова генералізація векторних даних, яку розглянемо окремо.

*При генералізації ліній* проходить геометричне маніпулювання із ланцюжками координатних пар  $(x, y)$ . Комп'ютерні операції за змістом співпадають із традиційними процедурами картографічної генералізації.

*Спрощення* — операції, які дозволяють виключити зайві координатні пари, виходячи із заданого геометричного критерію (наприклад, відстані між точками або зміщення від центральної

лінії).

*Згладження* — забезпечує зсув координатних пар для усунення дрібних звивин та зберігання тільки найбільш великих загинів ліній. Як правило, згладження оцифрованої лінії використовується для зменшення спотворень кодування, рахуючи при цьому, що це якісно покращує таку лінію.

*Зміщення об'єктів* — здійснює зсув об'єктів, щоб при зменшенні масштабу запобігти їх зливанню або накладанню; більшість алгоритмів переміщення об'єктів у векторному форматі орієнтовано на інтерактивний режим.

*Коректування* — у спрощеній набір даних запроваджують деякі деталі (наприклад, для підкреслення особливостей узбережжя); один із способів пропонує розчленування лінії шляхом введення додаткових точок для досягнення подібності з оригіналом.

*Злиття* — об'єднання двох сусідніх об'єктів при зменшенні масштабу, наприклад, паралельні лінійні об'єкти (контур лісу або дорога) у дрібному масштабі можуть зливатися.

Алгоритм спрощення ліній відрізняється критеріями вибору точок, а саме:

1. *Алгоритм незалежних точок* дуже простий та ніяк не враховує топологічні зв'язки із іншими координатними парами: відкидається або кожна  $n$  - на точка (наприклад, третя, десята), або випадково обирається  $1/n$  частка набору координатних пар.

2. *Алгоритм локальної обробки* забезпечує виключення координатних пар із врахуванням положення сусідніх точок, визначається наступними критеріями:

- евклідова відстань між точками (довжина відрізка оцифрованої лінії);
- змінення кутів між сусідніми відрізками лінії;
- комбінація перших двох критеріїв.

Існує різні розширення алгоритмів локальної обробки, в них пошук відбувається не тільки серед сусідніми точками, а оцінюються й відрізки лінії. Величина пошуку визначається різними критеріями, в тому числі складністю ліній, щільністю координатних пар, початковою точкою пошуку.

*Використання теорії фракталів.* Спрощення та згладження, безперечно, покращують загальний вигляд лінії, але при цьому враховуються лише геометрія лінії не звертаючи уваги на географічні особливості. Для деяких об'єктів (доріг, річок) такі методи цілком виправдовують себе, однак при цьому залишається багато неврахованих та й просто загублених природних особливостей.

Треба зазначити, що деяка кількість географічних об'єктів (узбережжя морів, океанів, річки, державні кордони тощо) там де вони проведені за природними контурами — мають фрактальну властивість *само подібності*. На сьогодні розроблені алгоритми, які дозволяють використовувати фрактальні властивості для генералізації лінійних об'єктів. Існує такий спосіб генералізації при

якому зберігається фрактальна розмірність лінії, наприклад, за допомогою додавання деталей оцифрованих або вже генералізованих ліній при збільшенні масштабу.

У 1981 році Г. Даттон застосував концепцію самоподібності для удосконалення виду оцифрованих ліній, додаючи кутість, яка відповідала б збільшенню роздільної здатності, з тим щоб зберегти фрактальну розмірність оригінальної лінії. Для цього точки оцифрованої лінії, починаючи з першої переміщують так, щоб кут, який створюється сусідніми відрізками, прийняв задане значення, а його вершина змістилася на половину відстані між сусідніми точками. Значення кута підбирають таким чином, щоб пропорції між сусідніми відрізками забезпечували локальну самоподібність та звивистість фрактальної лінії. Таким чином, зберігається географічна подібність, але втрачається геометрична точність лінії.

#### ***Контрольні запитання:***

1. Яким чином пов'язані генералізація та картографічні дослідження?
2. Які чинники впливають на точність досліджень за картами?
3. Поняття картографічної точності.
4. Що таке технічна точність та від чого вона залежить?
5. Які особливості проведення генералізації при використанні комп'ютерних технологій?



## РОЗДІЛ 5

### ОРГАНІЗАЦІЯ КАРТОГРАФІЧНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

#### 1. Використання, перетворення карт та організація картографічного дослідження

Особливості та можливості використання карт при картографічному методі дослідження в більшості випадків залежить від характеру карт та цілей дослідження. Галузева карта, зміст якої обмежено одним елементом геосистеми або навіть його окремою ознакою, допускає лише вивчення просторового розміщення такого елемента, та за необхідністю його кількісних характеристик (величини, інтенсивності тощо). Комплексна карта, яка поєднує ряд елементів геосистеми, відкриває шлях до дослідження їх взаємозв'язків та функціонування, що значно розширює можливі межі дослідження. В повну силу комплексне картографування проявляється у серіях карт, що визначає більшу ефективність спільного аналізу карт геосистеми.

*Спільний аналіз карт різної тематики* широко використовується для вивчення взаємозв'язків, наприклад між рельєфом, ґрунтами та рослинністю. Він дозволяє встановити просторову відповідність явищ й таким чином отримати для конкретних наук та практик основу для подальших досліджень щодо вияву причинно-наслідкових зв'язків. Досить продуктивним є спільний аналіз карт взаємопов'язаних явищ, наприклад опадів, поверхневого стоку та випаровування, який дозволяє охарактеризувати водний баланс території, її вологість, поповнення підземних вод. Важливо, що карти дають добрі можливості для вивчення взаємозв'язків, які безпосередньо спостерігаються в природі, наприклад, між кліматичними умовами та захворюваністю населення.

*Спільний аналіз різночасових карт*, показує зміни у просторовому положенні явищ, відкриває шлях до вивчення динаміки та розвитку досліджуваних геосистем або їх елементів. Це можуть бути карти, які відображають дійсність на момент їх створення (наприклад, топографічні карти за зйомками різних років) або карти, які складено за різночасовими джерелами, наприклад, за даними перепису населення. Інтервали різночасових карт встановлюються відповідно до характеру досліджуваних явищ: при аналізі синоптичних процесів за картами інтервали обмежуються годинами, а при вивченні вікових рухів земної кори збільшуються до десятків років або навіть до століть. При співставленні різночасових карт виявляють зміни у просторовому положенні явищ (наприклад, переміщення берегової лінії, ареалів розселення тварин тощо); зміни у стані явищ (наприклад, зростання населених пунктів тощо); заміщення одних явищ іншими (зміна порід складу лісів тощо); ритми періодичних явищ; загальні тенденції розвитку явищ. При цьому можливо не тільки вимірювати за картами абсолютні показники, а й визначати їх напрямок, середню швидкість та інші характеристики.

Використання картографічного методу дослідження може бути пов'язано з *перетворенням*

*карт* для отримання похідних картографічних зображень, які спеціально призначені для зручності аналізу з конкретною метою:

- спрощення карт за допомогою збереження на них тих елементів або показників, які доцільні для конкретного аналізу, наприклад, збереження на карті крутизни схилів тільки тих градацій крутизни, які цікаві для сільськогосподарського використання (виділяють ділянки, де змив практично відсутній) або у дорожньому будівництві тощо;

- перехід до узагальнених зображень, які підкреслюють головні риси об'єктів (наприклад, заміна реальних горизонталей схематизованими, за результатом чого на карті з'являються первинні форми рельєфу та усуваються накладені форми ерозійного та денудаційного розчленування);

- запровадження на карті нових показників, які краще задовольняють інтереси дослідження, наприклад заміна абсолютних величин відносними показниками, які полегшують співставлення явищ різної розмірності;

- заміна одних способів зображення іншими, більш зручними для порівняльного аналізу (наприклад, перехід до ізоліній на картах стоку, які значно спрощують співставлення цих карт з картами опадів та випаровуванням, що також значно спрощує перехід до висновків про водний баланс території).

Будь-яке дослідження поділяється на етапи. Це необхідно для планування дослідницької діяльності, її впорядкованості, напрямку за оптимальним шляхом. Постійне спілкування з картами, цими точними та детальними графічними документами, які вміщують великий обсяг інформації, що знаходиться в контурах, дрібних звивинах, в тонкості відтінків кольору, формує у дослідника навички акуратного та педантичного, в кращому розумінні цього слова, відношені до наукової роботи.

*Картографічне дослідження включає наступні етапи:*

- 1) – постановка завдання;
- 2) – підготовка до вивчення об'єкта;
- 3) – дослідження;
- 4) – інтерпретація (розкриття змісту) одержаних результатів.

*На першому етапі* формулюють мету дослідження (наприклад, оцінка перспектив пошуку корисних копалин у певному районі); обирають шляхи й принципи використання карт (для досягнення вказаної мети необхідно виявити зв'язки між рельєфом та геологічними структурами за гіпсометричними, геолого-геоморфологічними, геофізичними картами); визначають вимоги до точності результатів.

*На другому етапі* підбирають необхідні карти, оцінюють повноту їх змісту, точність, сучасність тощо, а також те, як вони доповнюють одна одну, з погляду придатності для вирішення поставленого завдання. Проведений аналіз дозволяє визначити основні й допоміжні карти,

оптимальний їх склад (дуже велика кількість карт ускладнює дослідження, може “розмити” його цілеспрямованість). На цьому етапі обирають також прийоми аналізу, технічні засоби, програмне забезпечення.

*Третій етап* складається з одержання перших результатів, які дозволяють попередньо оцінити правильність постановки завдання, вибору карт і прийомів роботи з ними. Якщо потрібно, в дослідження вносять певні уточнення (добирають чи відкидають деякі карти, уточнюють прийоми аналізу тощо). Робота на цьому етапі супроводжується складанням нових похідних карт, проміжних моделей. Закінчується етап одержанням запланованих даних.

Заключний, *четвертий етап* є найвідповідальнішим у дослідженні. Його метою є встановлення відповідності між одержаними формалізованими даними (такими, наприклад, як результати математичних обчислень) і певною системою фактів, закономірностей і поглядів на суть об'єкта дослідження з врахуванням географічних особливостей характеру його просторового розміщення. Інтерпретація закінчується висновками і практичними рекомендаціями (в нашому прикладі – висновком про можливість поширення корисних копалин і особливості організації пошукових робіт). Уразі потреби формують висновки та рекомендації з методики організації аналогічних досліджень.

## **2. Вивчення за картами структури картографічних образів**

Вивчення за картами структури явищ та процесів це виявлення та аналіз їх елементів, розміщення у просторі, конфігурації, порядку (рівнів) та ієрархії. Кінцева мета завжди стоїть у пізнанні просторової організації геосистем, її генезису, розкритті механізму функціонування. Один з найбільш інформативних способів вивчення структури — *аналіз конфігурації картографічних образів*, тобто вивчення геометричного рисунка зображення. За зовнішнім виглядом об'єкта можна говорити про його морфологію, генезис, про чинники, які брали участь у його формуванні. Так наприклад, паралельний рисунок гідрографічної сітки, скоріше за все, говорить про систему тріщинуватості, яку мають річкові долини, а радіальне розтікання водотоків — про куполообразні тектонічні підняття. Деревовидна конфігурація ґрунтових контурів, говорить про приуроченість до долин річок, а віяловий рисунок характерний для природних об'єктів, які формуються на дельтах річок тощо.

Картографічний метод дозволяє ефективно виявляти *просторові закономірності та аномалії*, тобто типові, стійкі, широко розповсюдженні структури та відхилення від них. Карти, які мають велику оглядовість, начебто спеціально пристосовані для виявлення загальних закономірностей глобального та регіонального рівнів. В значній мірі цьому сприяє й генералізація, яка звільняє зображення від дрібних деталей та посилює головні й найбільш суттєві ознаки.

Нагадаємо, що завдяки оглядовості карт були встановлені такі важливі закономірності

географічної структури, як зональність, єдина система серединно-океанічних хребтів та рифові зони тощо.

На фоні закономірностей також вдається визначити аномалії - ознаки, які суперечать загальним закономірностям на даній території. Дуже важко дати вичерпне визначення поняття “аномалія”, яке застосовується до картографічного образу. Ще складніше вказати систему прийомів, яка виявляє такі аномалії, однак вони дуже легко розпізнаються при наявності досвіду дослідження.

Вивчаючи структуру явищ часто намагаються відділити основні компоненти від другорядних. Відділити аномалії від фону допомагає операція *розкладання картографічного зображення на складові*, яку можна виконувати за допомогою усереднення, апроксимації або фільтрації. В задачі про розкладання приймається, що відображене на карті явище ( $z$ ) є результат сукупного впливу основного, найбільше впливового, фонового чиннику ( $z_{\phi}$ ), який залежить від причин регіонального, а іноді навіть глобального масштабів, та додаткових чинників ( $z_3$ ), які накладаються на загальний фон та ускладнюють картину, їх називають *залишковими* або *аномальними*:

$$z = z_{\phi} + z_3$$

Фонова поверхня передає головні, найбільш великі риси структури, залишкова поверхня, відображає розміщення аномалій, відхилень, другорядних деталей. Аналогічний ефект досягається й при розрахунку апроксимуючої поверхні та відхилень від неї, при цьому враховують, що фонова складова описується деякою не випадковою функцією, тобто, члени апроксимуючого рівняння дорівнюють членам рівняння розкладання на складові, а саме:

$$Z = f(x, y) + \epsilon = Z_{\phi} + Z_3$$

Поглиблене вивчення структури явищ потребує перетворення картографічного зображення, тобто трансформування його з метою створення похідних карт та отримання за ними нової інформації. Розрізняють декілька способів цих перетворень:

- *вичленування* — виділення на карті цікавих для дослідника компонентів складної геосистеми та зняття інших деталей. Виділення елементів подається в наочному та зручному для даного дослідження вигляді, наприклад у вигляді випрямлених елементів гідрографії або рельєфу;

- *схематизація* — усунення другорядних деталей зображення та уявлення картографічного зображення у спрощеному вигляді. Так, при схематизації гіпсометричного зображення та зняття деталей ерозійного розчленування проявляється основна первинно-тектонічна структура рельєфу;

- *деталізація* - перетворення протилежного виду, яке має на меті зробити зображення більш детальним. Наприклад, на топографічній карті можна деталізувати зображення ерозійної сітки, якщо провести по вигинам горизонталей тальвеги часових водотоків;

- *континуалізація* — заміна дискретного картографічного зображення безперервним, що

завжди пов'язують із поняттям “географічне поле”. Наприклад, карту розселення перетворюють у карту щільності населення, карту лісів — у карту лісистості, тощо. Такі перетворення дають уявлення про абстрактний рельєф явища, на похідних картах добре читаються максимуми та мінімуми розподілу, їх дуже зручно корелювати із іншими ізолінійними картами.

- *дискретизація* - обернене перетворення, яке має на меті переведення неперервного зображення у дискретний вигляд. Прикладом може слугувати інтерполяція за сіткою точок при побудові цифрових моделей за картами, що створюються способом ізоліній та картограм.

Засобами подібних перетворень часто слугують *графічні оператори* — сітки рівномірно або нерівномірно розташованих точок, геометричних осередків, в кожній з яких проводиться перерахунок вихідних даних та отримуються похідні показники. Якщо, ці осередки (квадрати, коло тощо) перекриваються за площею, то їх називають *ковзаними операторами*.

Перетворення поділяються на *одноразові* та *багаторазові*. В свою чергу, *багаторазові* перетворення бувають *паралельними* та *послідовними*.

При паралельних перетвореннях за існуючою картою отримують зразу ж декілька похідних карт, наприклад за топографічною картою будують карти розчленованості рельєфу, нахилів поверхні, схилів тощо.

При послідовному перетворенні, карту *A* послідовно перетворюють в карту *B*, її в свою чергу — в карту *C* й так маємо: *A-B-C.....-N*. Припустимо, за картою рельєфу будують спочатку карту глибини розчленування, потім послідовно — похідні карти інтенсивності змиву, ерозійної небезпеки, карту ґрунтових заходів по захисту тощо. При вивченні структури складних явищ часто застосовують деревовидні перетворення, які поєднують паралельні та послідовні варіанти.

### **3. Вивчення за картами просторових взаємозв'язків**

Аналіз й кількісна оцінка внутрішніх та зовнішніх зв'язків та взаємозалежностей між геосистемами їх підсистемами та окремими компонентами — одне з центральних завдань в науках про Землю. У їх вирішенні картографічному методу належить головна роль завдяки невичерпному різноманіттю карт різної тематики. За ними зручно оцінювати зміни зв'язків у просторі, виділяти основні та другорядні залежності, а також виконувати індикаційні дослідження, тобто передбачати розміщення одних явищ по іншим.

Для вивчення взаємозв'язків використовують широкий арсенал технічних прийомів. Найпростіші з них — візуальний аналіз та описи взаємозв'язків. З графічних прийомів ефективно суміщення контурів явищ, що аналізуються, на загальній основі — *графічний оверлей*, за результатом чого виявляють співпадаючі, частково співпадаючі й зовсім не співпадаючі контури. Вони трактуються як відображення взаємозв'язків різної сили.

Більшість залежностей наочно простежуються за комплексними профілями та розрізами,

при суміщенні роз-діаграм, які складаються за серіями карт, а також на блок-діаграмах та метахронних діаграмах.

Дійсно, найкращі можливості для вивчення й кількісної оцінки взаємозв'язків явищ надає апарат теорії кореляції та інформаційний аналіз: коефіцієнти кореляції, показники взаємної відповідності, тощо ( Див. Роділ 2).

Слід мати на увазі одну дуже важливу особливість картографічного методу дослідження. При порівнянні карт зв'язок явищ завжди проявляється через відповідність картографічного зображення.

Однак, припущення про те, що чим більше ступінь співпаданння контурів або подібність рисунка ізоліній, тим сильніша залежність між явищами, не завжди вірно та справедливо. Трапляється, що просторову відповідність можна спостерігати й між явищами, які незалежні або досить слабо залежні між собою. Наприклад, на картах гірських територій часто кидається в вічі узгодженість рисунка ізоліній найрізноманітніших явищ, наприклад розподіл температур та опадів тощо. Формальний розрахунок коефіцієнта кореляції може привести до парадоксальних висновків.

Таким чином, тільки географічний аналіз причино-наслідкових відношень дозволяє стверджувати про реальні залежності між явищами.

При дослідженні геосистем важливим моментом є простеження змін взаємозв'язків на території, від місця до місця, виявлення зон, де вони значні й де вони слабкі або зовсім відсутні. Для цього створюються спеціальні *карти взаємозв'язків*, які відображають їх просторові варіації. В залежності від способу побудови отримують різні типи таких карт:

- *карти районування за ступенем взаємної відповідності*, які складають шляхом графічного оверлею та окреслення контурів районів повної та часткової відповідності;
- *картограми взаємозв'язків*, де показники кореляції розраховані за одиницями територіального поділу, зазвичай за адміністративними районами;
- *карти ізокорелят*, на яких проведені ізолінії рівних коефіцієнтів кореляції за даними, які розраховуються у ланцюжках регулярної або нерегулярної сітки;
- *карти ентропії контурів*, на яких взаємна відповідність явищ оцінюється за допомогою показника ентропії для кожного окремого контуру, ареалу, ландшафтного виділу, водозбірного басейну.

Чим докладніше та детальніше відображено варіації взаємозв'язків, тим цікавішою видається карт для просторового аналізу.

#### **4. Вивчення динаміки явищ**

Для вивчення динаміки явищ та процесів, тобто виникнення, розвиток, зміни в часі та просторі, використовують різночасові карти, на яких одні й ті ж об'єкти зображені у різні моменти

часу. До різночасових відносяться карти, які складені та видані в різні роки (наприклад, давні та сучасні топографічні карти), або карти, складені одночасно, але які фіксують різні моменти часу (помісячні карти температур повітря), а також карти-реконструкції (палеогеографічні, історико-географічні тощо).

За різночасовими картами вивчають зміни різних типів:

- повільні зміни (наприклад, тектонічні рухи, зміщення берегової лінії або русел річок), для виявлення яких необхідні карти, які розділені великими проміжками часу;
- швидкі зміни (зміна синоптичної ситуації, екологічної ситуації), аналіз яких можна проводити тільки за серіями карт, які розділені дрібними часовими інтервалами;
- періодичні або циклічні зміни (сезонні, фенологічні явища тощо) — в цьому випадку застосовують різночасові карти, які відображають характерні фази розвитку явища або процесу;
- епізодичні або катастрофічні зміни (землетруси, лавини тощо) — для їх вивчення необхідні карти, які фіксують моменти до та після настання явища.

Співставлення однорідних карт, які відносяться до різних років, є одним із найзастосованіших способів дослідження динаміки явищ. Наприклад, за топографічними картами вивчають зміни у розміщенні поселень, зростання міст, перебудову та розвиток залізничних та автомобільних шляхів, зміни у рельєфі (особливо при розвитку яро-балкової сітки), гідрографії (положення дельти річок), у рослинному покриві (зміни у розміщенні лісів та площі боліт), загальні зміни географічного ландшафту тощо. Часто подібні дослідження однорідних карт не тільки відкривають загальні тенденції та закономірності процесу, але й дозволяють визначити його інтенсивність, наприклад середню швидкість зростання ярів в районах розвитку ерозійних процесів тощо. Можливість дослідження динаміки явищ за допомогою співставлення різночасових карт зростають при зверненні до тематичних карт, але в даному випадку, важливим є те, що ці карти повинні бути близькими в трактуванні та мірі генералізації досліджуваних явищ. Просте наочне співставлення карт дає лише загальне враження. Воно уточнюється при суміщенні рисунка вказаними в інших розділах прийомами (Див. Розділ 2) та підкріплюється картометричними визначеннями та розрахунками.

Особливо дієвими для вивчення розвитку явища, яке зображено на карті є спеціально призначені показники та способи для відображення просторової динаміки (поточної, сезонної, вікової). В якості прикладу карт поточних процесів назовемо синоптичні карти, на яких за одночасними спостереженнями метеорологічних станцій наносять відомості про погодні умови на значних територіях Земного простору, а потім за цими ж даними відображають ізобари, фронти, зони з опадами тощо. Саме ці карти служать надійним заходом для аналізу руху та еволюції повітряних мас та прогнозу погоди. Залучення серії карт для ряду строків (моментів часу) посилює

обґрунтування висновків про направленість та інтенсивність процесів.

Передача сезонних явищ — мета фенологічних карт. Їх основне завдання є у просторовій фіксації строків наступу сезонних явищ — природних та господарських, наприклад визначення фаз у житті рослин та тварин (цвітіння, плодоношення, поява пташенят тощо), строків польових сільськогосподарських робіт та інше.

Досить плодотворним є сумісне використання галузевих динамічних карт, які відносяться до взаємопов'язаних явищ, для встановлення існуючих між явищами зв'язків та взаємодії. Прикладом такого використання можуть бути карти комплексних атласів.

Взаємозв'язки між явищами, в яких відсутня вікова або сезонна залежність (наприклад, між розоренням земель та розвитком ерозії в районах, схильних до ерозії), досліджують за допомогою аналізу відповідних галузевих карт, які відносяться до декількох дат або епох, за можливості найхарактернішими.

Для визначення залежності процесу від географічних умов аналізують карти інтенсивності процесу та карти чинників, які впливають на даний процес. Наприклад, залежність процесу ерозії від експозиції, крутизни та довжини схилів може бути встановлено при співставленні карти розмитості та густоти розчленування схилів з картами довжини ліній стоку, кутів нахилу та розподілу схилів за експозицією, причому для цієї залежності можна знайти кількісні показники.

Всі способи зображення можуть передавати динаміку явищ, а деякі з них - знаки руху та більшість ізоліній — спеціально призначені для цього. Їх доцільно використовувати, коли виникає необхідність перетворення карт у форму, яка полегшує аналіз чинників динаміки.

Результати порівняння карт представляють на картах динаміки або дуже часто просто суміщають контури явища на різні дати. За такою картою зручно виконувати визначення, наприклад, підрахувати величини приросту площі дельти, середню швидкість тощо. Наочну уяву про динаміку дають ізолінії змін, наприклад, для відображення неотектонічних рухів складають карти з ізолініями рівних величин підняття (ізоанабази) та пониження (ізокатабази). Інших способів відображення динаміки — складання карт різності стану явища на дві або декілька дат. Для характеристики змін ландшафтів, ґрунтового та рослинного покриву складають спеціальні карти динаміки ареалів. Це досягається суміщенням двох карт (графічного оверлея) давнього та сучасного станів на загальній основі. Легенда карти динаміки побудована у матричній формі: по вертикалі подаються умовні позначення первинного стану (наприклад, природний ландшафт), а по горизонталі — вторинний стан (ландшафт, який змінено господарською діяльністю). Позначення у клітинах матриці вказують характер трансформації.

Будь-яка підсумкова карта динаміки може служити для кількісної оцінки перебудов, наприклад для картометричного аналізу щодо перерозподілу земель та ступеня її господарської освоєності, це дуже суттєво для економічної оцінки природних ресурсів території.



Картометричними прийомами можна визначити кількісні показники динаміки. Прирости координат ( $\pm\Delta x$ ,  $\pm\Delta y$ ) характеризують просторове переміщення точкових об'єктів, зміну довжин, площ, об'ємів тощо. Разом з величиною змін можна встановити їх напрямок (вектор), визначити швидкість змін за той чи інший відрізок часу  $\Delta t$ . Якщо на отриману карту динаміки додати чинники сучасного техногенного впливу та врахувати їх інтенсивність, то з'явиться основа для прогнозу майбутніх станів середовища в цілому.

## 5. Картографічне прогнозування

*Прогнозування* — одна з фундаментальних проблем в науках про Землю та суспільство. Узагальнення накопиченого досвіду спонукає кожну науку на визначеному етапі розвитку звертатися до прогнозу. Правильний прогноз підтверджує зрілість та істинність теорії, її ефективність, тому наукове підтвердження стає логічним продовженням та цілісністю багатьох досліджень. В історії науки, особливо в географії, знайдеться багато прикладів блискучих прогнозів, які зроблено за допомогою картографічного методу дослідження.

В науках про Землю та суспільство прогноз розуміється по-різному. Географи та екологи зазвичай трактують його як передбачення майбутніх ситуацій, геологи — як передбачення невідомих структур та родовищ корисних копалин, економісти та соціологи — як виявлення тенденцій розвитку. Саме картографічний метод зближує ці підходи.

*Прогноз за картами розглядається як вивчення явищ та процесів, недоступних сучасному безпосередньому дослідженню.* Це значить, що прогнозування не обмежується гіпотезами про розвиток явищ або процесів у майбутньому. Можна прогнозувати й сучасні, але ще невідомі явища, наприклад нафтогазоносність територій або стан надр Марсу. Суттєвим є лише те, що передбачуване явище є недоступним для прямого вивчення в теперішній час.

В основі прогнозу лежать *картографічні екстраполяції*, які у широкому розумінні трактуються, як розповсюдження закономірностей, отриманих у ході картографічного аналізу будь-якого явища, на недосліджену частку цього явища, на іншу територію та на інший час. Перевагою картографічних екстраполяцій є те, що вони добре пристосовані для прогнозування, й часових та просторових закономірностей. У практиці прогнозування за картами широко застосовуються також відомі в географії методи аналогій, індексації, експертні оцінки, розрахунок статистичних регресій тощо.

Існує три види прогнозу за картами:

- прогноз в часі, який ґрунтується на екстраполяції динамічних тенденцій, які виявлено за різночасовими картами;
- прогноз у просторі, який опирається на взаємозв'язки та аналогії, встановлені за картами різної тематики;

- просторово-часовий прогноз, який узагальнює обидва названих вище види прогнозу та який дозволяє передбачати тенденції розвитку та еволюції явища у просторі, що прогнозується.

При картографічній екстраполяції особливе значення набирають карти фонові поверхні (Див. Розділ 2). За їх допомогою можна передбачати головні, характерні, фонові риси явища, не вдаючись до деталей, а також можливі не сподівані випадковості. Карти фонові поверхні застосовуються при прогнозуванні за часом та у просторі. Так, маючи серію фонових поверхонь  $\Phi\Pi-A, \Phi\Pi-B, \dots, \Phi\Pi-N$ , можна за допомогою регресійних моделей екстраполювати поверхню  $\Phi\Pi-N+Q$ , де  $N+Q$  — поверхня, що прогнозується (якщо проводиться прогноз у просторі). Окрім того, моделі фонових поверхонь також застосовуються й для інтерполяції. За мереєю карт  $\Phi\Pi-A, \Phi\Pi-B, \dots, \Phi\Pi-N$  можна розрахувати поверхню  $\Phi\Pi-K$ , де значення  $K$  знаходиться в інтервалі:  $A < K < N$ .

Географічні прогнози в часі класифікуються наступним чином:

- прогнози довгострокові (декілька десятиріч)
- середньострокові (три-п'ять років)
- короткострокові (менше одного року)

Ця класифікація досить умовна, так як більшість залежить від природи самого явища. Скажемо, прогноз погоди або врожайності на рік вперед - це довгостроковий прогноз, а для ерозійних процесів або неотектонічних рухів й 10-20 років — короткий термін.

Достовірність прогнозних карт залежить від завчасності екстраполяції, від характеру самого явища, його стабільності, рухливості, циклічності, від достовірності й повноти вихідних карт, а також від стійкості виявлених тенденцій, тісноти взаємозв'язків, що в більшості визначається самою методикою прогнозування. В залежності від ступеня достовірності прогнозні карти поділяють на карти попередніх, ймовірних прогнозів та дуже ймовірнісного прогнозу, а також карти перспективного розрахунку.

### **Контрольні запитання:**

1. В чому полягає використання та перетворення карт?
2. Яким чином проводиться вивчення за картами структури картографічних образів?
3. Яким чином проводять вивчення за картами просторових взаємозв'язків?
4. Як вивчають динаміку явищ за картами?
5. Що таке картографічне прогнозування?

## РОЗДІЛ 6

### МОЖЛИВОСТІ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ГІС- АНАЛІЗУ В КАРТОГРАФІЧНОМУ МЕТОДІ ДОСЛІДЖЕННЯ

#### 1. Основні поняття геопросторового аналізу

*Геопросторовий аналіз – це процес пошуку просторових закономірностей у розподілі географічних даних і взаємозв'язків між об'єктами. Це визначення подано Енді Мітчелом. Геопросторовий аналіз є свого роду унікальною лінзою, через яку вивчаються події, структури й процеси, які відбуваються на землі або поблизу поверхні нашої планети. В результаті аналізу географічної інформації отримують якісно нову інформацію й виявляють досі невідомі закономірності [15].*

Методи просторового аналізу працюють у ряді просторових і часових масштабів. При вивченні просторового аналізу наступні аспекти є суттєвими:

- *Область.* Областю геопросторового аналізу є поверхня Землі, оболонка над нею при аналізі топографії й атмосфери, оболонка під нею при аналізі ґрунтових вод і геології.

- *Масштаб.* Масштаб сутностей геопросторового аналізу простягається від невеликих об'єктів (наприклад, записи археологів про місця знахідок шматочків керамічних виробів розміром декілька сантиметрів або меж власності виміряних до міліметра) до глобальних (наприклад, аналіз температури поверхні моря і глобального потепління).

- *Час.* Аналіз простягається в минулий час (наприклад, історичні дослідження міграції населення, вивчення структури археологічних місцезнаходжень або детальне картографування руху континентів) і в майбутній час (наприклад, спроби передбачити напрямки ураганів, танення льодових або зростання міських районів).

Геопросторовий аналіз використовує географічну інформацію, яка є базовою інформацією для побудови на ній структур і аргументів, які забезпечують повноту просторового аналізу. В принципі немає ніяких обмежень щодо складності просторових аналітичних методів, які, можливо, знайшли застосування в світі, і можуть бути використані для стимулювання цікавих ідей та підтримки практичних дій і рішень. Насправді деякі методи можуть бути простіші, корисніші і глибочіші, ніж інші. Геопросторовий аналіз виконували і раніше, в докомп'ютерний час. Відомі, наприклад, графічні рішення з використанням накладення прозорих карт одну на іншу. Одними з перших були дослідження доктора Джона Сноу за допомогою карт кластерів спалаху холери, що трапилася в Лондоні 1854 року в районі Broad Street.

Сьогодні геопросторовий аналіз існує на стику між людиною і комп'ютером. Обидві частини в ньому відіграють важливу роль – з одного боку, шлях людської інтуїції зі всією його розпливчатістю і неформальністю, і з іншого боку, шлях формального, точного просторового

аналізу світу.

*Геоінформаційні системи* відрізняються від інших інформаційних систем саме тим, що мають ефективні можливості аналізу просторових даних і на його основі виконують просторове моделювання об'єктів і явищ. ГІС є інструментом просторового аналізу. ГІС – це не просто комп'ютерна система для створення карт, хоча вона може створювати карти на різних рівнях, у різних проекціях. ГІС є аналітичний інструмент. Основною перевагою ГІС є те, що вона дозволяє визначити просторові відносини між об'єктами карти. ГІС не зберігає карту в будь-якому загальноприйнятому розумінні цього слова і не зберігає певний образ або уявлення про географічні області. Замість цього ГІС зберігає дані, за якими можна викреслити потрібний вид згідно з певною метою.

*ГІС-аналіз – це геопросторовий аналіз, що виконується засобами геоінформаційних систем і технологій.* ГІС-аналіз – одна з головних функцій ГІС, яка виконує потужну роботу геопроектингу, щоб виробляти додаткову і аналітичну інформацію, використовуючи різні аналітичні засоби ГІС. Аналітичні можливості ГІС дозволяють отримати відповіді на безліч просторових запитів, вирішити велику кількість просторових задач у різних предметних галузях. Використовуючи ГІС-аналіз, можна комбінувати інформацію з багатьох незалежних джерел і отримувати нові набори інформації (результати), застосовуючи багаті і витончені просторові оператори. Заснований на ГІС, просторовий аналіз відкриває нові шляхи до розуміння просторової неоднорідності та просторових залежностей, які можуть зробити просторовий аналіз багатим джерелом інформації.

У літературі використовують різні підходи до висвітлення ГІС-аналізу. Часто висвітлюються різні аналітичні функції або набори аналітичних функцій того чи іншого програмного продукту й під цим найчастіше розуміється просторовий аналіз. В інших випадках подається вирішення окремих задач або набору задач просторового аналізу. Нарешті, можна зустріти виклад рішення задачі й одночасно функцій, які сприяють вирішенню задачі. Все це говорить про відсутність єдиного підходу до відображення ГІС-аналізу.

Єдині позиції до висвітлення ГІС-аналізу можуть бути вироблені на основі системного підходу. *У контексті системного підходу можна вважати, що аналіз – це процес, який включає об'єкт, предмет і методологію дослідження.* Тому доцільно для системного висвітлення великої галузі ГІС-аналізу розглянути, з одного боку, об'єкт і предмет аналізу, які складають суть задач ГІС-аналізу, й з іншого боку, методологію ГІС-аналізу, яка визначається технологіями та інструментарієм дослідження. При цьому слід звернути увагу на органічний зв'язок об'єкта, предмета та методології дослідження. При розгляді задач ГІС-аналізу в багатьох випадках можуть бути розглянуті й засоби вирішення задач, а при дослідженні засобів ГІС-аналізу інколи можуть розглядатися і сфери їх застосування. Спільне використання цих класифікацій істотно полегшує

розуміння основної проблеми і подальший розвиток наукової теорії.

## 2. Просторове моделювання і типи географічних моделей реального світу

Географічні інформаційні системи моделюють наш світ. Всі ГІС будуються на основі формальних моделей, що описують розміщення у просторі об'єктів і процесів. Географічні моделі нашого світу утворюють інформаційну основу ГІС-аналізу. Моделі є корисними і використовуються в широкому спектрі застосувань ГІС від простої оцінки до передбачення майбутнього ландшафту. У минулому моделювання часто було необхідним в парі з ГІС зі спеціальним програмним забезпеченням, призначеним для функціонування у сфері динамічного моделювання. Але із зростанням потужності апаратного і програмного забезпечення ГІС тепер можна повернутися до дослідження цього співвідношення. Моделювання в ГІС порушує низку важливих питань, включаючи питання про перевірку ролі масштабу, точності, проектування об'єктів інфраструктури з метою сприяння обміну моделями.

Термін "моделювання" використовується в декількох різних контекстах у світі ГІС, тому доцільно роз'яснити його зміст. Є два особливо важливих значення.

- По-перше, модель даних визначається як набір очікуваних даних – шаблон, у яких можуть бути встановлені дані необхідні для конкретного застосування. Наприклад, таблиця – дуже простий приклад моделі даних; рядки таблиці відповідають групі або класу реальних можливостей таких як округи, озера або дерева, а стовпчики відповідають різним характеристикам об'єктів, іншими словами атрибутам. Цей шаблон таблиці виявиться дуже корисним, оскільки він забезпечує оптимальний збіг характеру даних у багатьох застосуваннях ГІС. По суті, моделі даних ГІС дозволяють користувачеві створювати уявлення про те, як виглядає світ.

- По-друге, модель (без кваліфікаційних даних) є представленням одного чи кількох процесів, які як вважають, відбуваються в реальному світі, іншими словами, про те як влаштований світ. Модель є комп'ютерна програма, яка приймає цифрове представлення одного або декількох аспектів реального світу і перетворює їх, щоб створити нове уявлення. При комплексному підході необхідно розрізнити такі типи географічних моделей реального світу:

- аналогові й цифрові моделі;
- дискретні й безперервні моделі;
- індивідуальні й агреговані моделі;
- статичні й динамічні моделі;
- клітинні автомати;
- агентні моделі.

*Аналогові моделі* є найпоширенішим типом. Аналогова модель визначається як масштабна модель уяви системи реального світу, в якій кожна частина реальної системи змодельована у

мініатюрі. Дуже розповсюдженими аналоговими моделями реального світу є паперові топографічні, географічні й тематичні карти. Успіх аналогових моделей залежить від ступеня розширення системи, бо робота системи в масштабі моделі ідентична роботі реальної системи. Ключовим показником аналогової моделі є її масштаб або представницька фракція, співвідношення відстані між двома точками в моделі до відстані між відповідними точками в реальному світі. В аналоговій моделі всі аспекти системи повинні бути масштабовані на таке ж співвідношення і для дійсної моделі.

У *цифровій або розрахунковій моделі* всі операції проводяться з використанням комп'ютера. Дані зібрані в модель даних і закодовані з використанням різних схем кодування, які зменшують відповідні аспекти реального світу до структур з нулів та одиниць. Сама модель також кодується в такому ж обмеженому алфавіті як комп'ютерна програма або програмне забезпечення. Цифрові моделі не мають представницької фракції, оскільки немає відстані в моделі у порівнянні з відстанню в реальному світі. Замість цього рівень географічної деталізації фіксується просторовою роздільністю або розміром найменшого просторового об'єкта, представленим в базі даних. Для растрових даних це розмір окремої чарунки або пікселя. Коли набір ГІС-даних створюється шляхом цифрування паперової карти, корисно використовувати просте правило: просторова роздільність набору даних становить близько 0,5 мм в масштабі карти. Іншими словами, карта масштабу 1:24 000 має просторову роздільність близько 12 м. Коли така інформація, що надходить від векторних даних, недоступна, важко присвоїти значення просторової роздільності, бо розмір найменшого полігона може бути визначений представленим явищем, а не зображенням.

Крім *просторової роздільності*, *часова роздільність* також має велике значення в динамічних моделях, оскільки вона визначає довжину часового кроку моделі. Будь-яка динамічна модель походить від дискретної послідовності таких кроків, кожен з яких представляє певний проміжок часу, бо програма намагається передбачити стан системи в кінці часового кроку на основі введення на початку часового кроку. Просторова і часова роздільності повинні відповідати реальному характеру модельованого процесу. Наприклад, у моделюванні атмосфери для прогнозів погоди немає сенсу використовувати просторову роздільність 1 м або часову роздільність 1 сек, тому що процеси, що впливають на атмосферу, реагують на зміни. З іншого боку, 1 м та 1 сек мають бути цілком розумним рішенням для моделі невеликої річки або струмка. Просторова і часова роздільності визначають зв'язок між реальним світом і моделлю реального світу, яка будується за допомогою комп'ютера. Обидві ніколи не будуть однаковими, звичайно, і будь-яке цифрове відображення залишить користувачеві якийсь ступінь непевності про реальний світ через деталі, які присутні в реальному світі в дрібнішому розділенні, ніж у моделі. Модель атмосфери, наприклад, навряд чи представляє хвилинні, місцеві та нетривалі коливання тиску, викликані польотом птахів. Звідси випливає, що передбачення моделі будуть дещо невизначеними в тому

сенсі, що вони залишають розробника моделі в невіданні щодо точної природи реальних результатів.

*Дискретні моделі* імітують процеси, що відбуваються між дискретними утвореннями, такими як сили, що діють між небесними тілами і керують їх рухом, або поведінку людей або тварин при їх взаємодії в просторі. У концепції дискретних об'єктів географічний простір порожній за винятком випадків, коли він зайнятий точковими, лінійними або площинними об'єктами, які можуть перекидатися один одного, необов'язково використовуючи вільний простір, і неможливо визначити їх кількість. Концепція дискретних об'єктів працює найкраще при описі та поданні біологічних організмів або створених діяльністю людини просторових об'єктів, таких як будівлі, транспортні засоби або пожежні гідранти.

*Безперервні моделі*, з іншого боку, є моделями в термінах змінних, які є безперервними функціями місця, наприклад, атмосферного тиску або температури, кислотності ґрунту або вологості, або висот землі. Концепція безперервного поля описує географічний світ серією безперервних карт, кожна з яких представляє зміни визначеної змінної над поверхнею Землі. У покритті немає пробілів: є тільки одне значення для кожної змінної в кожному місці. Ця точка зору працює найкраще в описі зміни фізичних величин. Моделі атмосфери будуються з використанням цієї точки зору, хоча результати часто інтерпретуються в прогнозах погоди з точки зору поведінки дискретних об'єктів – максимумів, мінімумів і фронтів. Моделі безперервного поля, як правило, виражають знання роботи фізичної системи в термінах частинних похідних диференціальних рівнянь, які пов'язують значення, рівень зміни в часі, просторові градієнти і просторову кривизну у безупинно мінливих кількостях. Рівняння в частинних похідних повинні бути вирішені в рамках процесу чисельного наближення, використовуючи або кінцево-різницеві методи, які являють собою безперервну зміну як растр фіксованої просторової роздільності, або звичайно-елементні методи, що використовують поліноміальні функції над нерегулярними трикутниками і чотирикутниками. Так звані гравітаційні або просторові моделі взаємодії є відмінним прикладом дискретної моделі, оскільки вона може бути використана для прогнозування величини взаємодії. Ця взаємодія може відбуватися у формі числа мігрантів або кількості торгових поїздок між дискретним джерелом і дискретним призначенням, аргументуючи за аналогією з гравітаційним каламбуром, який існує між двома небесними масами. Просторові моделі можна представити *гібридними моделями*, які поєднують аспекти обох підходів, наприклад, моделі, в яких дискретні об'єкти, що представляють транспортні засоби або організми, які ведуть себе у відповідності з локальним значенням безперервного поля.

*Індивідуальні моделі.* В принципі можна моделювати будь-які системи за допомогою набору правил про механічну поведінку основних об'єктів системи. Поведінка натовпу, наприклад, може бути змодельована за допомогою кількох правил про поведінку кожного індивідуума, а розвиток

структури землекористування на площі може бути змодельовано через низку правил, які описують поведінку кожної особи, що приймає рішення. Але при такому підході для багатьох систем кількість основних об'єктів є занадто великою для практичного використання. Моделі безперервного поля вирішують цю проблему шляхом заміни окремих об'єктів з безперервно мінливими оцінками таких абстрактних властивостей, як щільність людей в натовпі або середня швидкість і прискорення молекул води, що розглядаються як безперервні рідини.

*Агреговані моделі.* Інший підхід полягає в об'єднанні (агрегуванні) окремих об'єктів у єдине ціле і моделюванні системи через поведінку цих агрегатів. Таким чином, багато моделювань систем організму людини відбувається на агрегованому рівні ділянок перепису або шляхів, і багато моделювань гідрологічних систем відбувається з великими системами, які агрегують райони в цілісні вододіли або ділянки потоків. Великі системи ігнорують зміни (в т. ч. поведінки) і процеси всередині цілісного утворення, які знаходяться нижче просторового розділення для відображення. З часом підвищення потужності та місткості комп'ютерів зробили моделювання на індивідуальному рівні практичнішим, і сьогодні можна будувати моделі з участю мільйонів і навіть мільярдів об'єктів. Проблема визначення початкових умов залишається актуальною. Однак вона часто є результатом реальних обмежень під час збору даних, отже часто потрібне використання дорогих людських ресурсів. Така технологія як дистанційне зондування, забезпечує часткове рішення, що надає початкові умови на великих площах, щоб охарактеризувати в хорошому просторовому розділенні, але оптичне дистанційне зондування обмежене у своїй здатності бачити крізь хмари і відрізнити області на основі властивостей відповідно до дослідницької моделі.

*Статистичні моделі.* Моделі можуть бути статичними, якщо вхід і вихід відповідають одному й тому ж моменту часу, або динамічними, якщо вихід представляє пізніший момент часу, ніж вхід. Спільним елементом у всіх цих моделях є робота ГІС в кілька етапів, чи будуть вони використані для створення комплексних показників від вхідних шарів або для представлення часових кроків у роботі динамічного процесу. Статичні моделі часто набувають форми показників, поєднуючи різні матеріали для створення корисного виходу. Наприклад, універсальне рівняння втрати ґрунтів комбінує шари, що відображають інформацію про схили, якість ґрунту в сільськогосподарській практиці, а також інші властивості для оцінки кількості ґрунту, яка буде втрачена в результаті ерозії з одиниці площі в одиницю часу.

*Динамічні моделі,* з іншого боку, становлять процес, який змінює або перетворює деякі аспекти поверхні Землі з перебігом часу. Сучасні прогнози погоди створюються на основі динамічних моделей атмосфери. Динамічні моделі річкового стоку використовуються для прогнозування повеней від штормів, а динамічні моделі людської поведінки використовуються для прогнозування дорожніх заторів.

У клітинному автоматі просторові варіації представлені у вигляді растра фіксованої



роздільності, кожній чарунці якого призначено один з кінцевої безлічі певних станів. Для роботи клітинного автомата потрібні завдання початкового стану всіх чарунок і правила переходу чарунок з одного стану в інший. На кожній ітерації, використовуючи правила переходу і стану сусідніх чарунок, визначається новий стан кожної чарунки. Зазвичай правила переходу однакові для всіх чарунок і застосовуються відразу до всієї ґратки. Такі моделі часто використовуються для вивчення процесів розширення міст, і в цьому випадку можливі стани, ймовірно, будуть обмежені двома: нерозвинені та розвинені. На кожному часовому кроці наступний стан кожного осередку визначається числом правил, заснованих на властивостях і на стані чарунки і її сусідів. Наприклад, правила для моделі простого міського розширення можуть бути наступними:

- якщо чарунка в даний час нерозвинена, перетворити в розвинену чарунку з ймовірністю, яка залежить від нахилу чарунки, близькості до основних транспортних зв'язків, зонінгу чарунки, числа її найближчих сусідів, які вже розвинені;

- якщо чарунка в даний час розвинена, залишити без змін.

*Агентна модель* – це ряд взаємодіючих активних об'єктів, які відображають об'єкти і відносини в реальному світі. З точки зору практичного застосування агентне моделювання можна визначити як метод імітаційного моделювання, який досліджує поведінку децентралізованих агентів і те як ця поведінка визначає поведінку всієї системи в цілому. При розробці агентної моделі інженер вводить параметри агентів (це можуть бути люди, транспортні засоби, міста, тварини і т. д.), визначає їх поведінку, розміщує їх у деяке навколишнє середовище, встановлює можливі зв'язки, після чого запускає моделювання. Індивідуальна поведінка кожного агента утворює глобальну поведінку модельованої системи. У агентної моделі динамічна поведінка системи представлена через правила, що регулюють дії низки автономних агентів. Такі моделі можна розглядати як узагальнення клітинного автомата, в якому агенти можуть пересуватися у просторі, а не обмежуватися чарункою раstra, але в інших випадках розташування агентів може бути нерелевантним до моделі. Агент-орієнтоване моделювання знайшло багато цікавих застосувань для географічних явищ. Наприклад, були прикладені деякі зусилля, щоб застосувати агент-орієнтоване моделювання в галузі землекористування та земельного покриття з особливим акцентом на процеси, які призводять до більшої фрагментації ґрунтового-рослинного покриття в результаті розвитку і, таким чином, проблеми для видів, які вимагають спеціального природного середовища проживання. Одним із чинників, який призвів до недавнього підвищення інтересу до агентних моделей, є поява об'єктно-орієнтованої парадигми в розробці програмного забезпечення. Відомий науковець Бетті (Batty) описав концепцію моделювання дії індивідуумів в складних географічних ландшафтах шляхом будівництва безлічі паралельних, незалежних програмних модулів, кожен з яких представляє дії і рішення одного актора в системі. Об'єктно-орієнтовані мови зробили його набагато легшим для осмислення і побудови таких систем моделювання, які

дуже відрізняються в архітектурі програмного забезпечення від традиційного серійного підходу до обчислень.

### **3. Концептуальна модель вирішення просторових задач**

Геопросторовий аналіз доцільно виконувати в наступній послідовності [ 11, 12].

*1. Постановка задачі. Постановка задачі включає: чітке формулювання завдання; визначення мети аналізу; визначення критеріїв аналізу.*

*2. Поділ задачі на логічні частини.* Після того як мета визначена, необхідно: а) поділити задачу на послідовність логічних частин (підзадач), б) виявити елементи та відносини, які необхідні для вирішення цих частин; в) створити необхідні набори даних для формування моделі представлення. При розділенні задачі на підзадачі визначаються кроки, необхідні для її виконання. Впорядковуючи підзадачі, ми починаємо будувати загальну картину того, що належить зробити. Після того як визначили підзадачі, необхідно виявити елементи і їх відносини, які відповідають встановленим цілям. Елементи будуть моделюватися за допомогою моделей подання, а їх відносини – за допомогою моделей процесів. Специфіка задачі найчастіше визначає і вибір типу аналізу, і метод, найефективніший в даному випадку та спосіб інтерпретації результатів. Від характеру проблеми залежить також необхідна детальність рішення, яка в свою чергу, визначає витрати на отримання даних, придбання або оренду необхідних програмних засобів і обчислювальних потужностей. Саме на цьому етапі формується відповідність між масштабом проблеми і засобами, необхідними для її вирішення. Важливим чинником, який значною мірою визначає детальність дослідження та метод розв'язання певної задачі, є уявлення про призначення результатів аналізу. В одному випадку треба провести попередні дослідження, щоб оцінити правомірність обраного методу або виділити значимі чинники. На цьому кроці ми повинні також визначити сукупність необхідних наборів даних. Після визначення наборів даних, їх потрібно представити у вигляді набору шарів (моделі представлення). Повна модель (складена з послідовності підзадач, моделей процесів і наборів даних) дає вам уявлення реального світу, яке ми можемо використовувати для прийняття рішень.

*3. Вивчення вхідних наборів даних.* Тип даних і об'єктів, доступних для проведення даного дослідження, значною мірою визначає специфіку методу, який буде використаний і досягну точність результату. З іншого боку, щоб отримати якісну інформацію, потрібно забезпечити відповідний рівень вихідних даних. Як правило, база геоданих вже може існувати. Потрібно чітко уявляти, якою інформацією ми маємо і що ще потрібно отримати або створити. Створення нових даних, у свою чергу, може стати причиною появи нових атрибутів даних у таблиці або навіть нових шарів карти. На цьому етапі може виникнути необхідність підготовки даних для

просторових операцій, в тому числі зміни даних, перетворення одиниць вимірювання і системи координат, додавання даних, конвертації даних з одного формату в інший. Оцінка вихідних даних – найважливіший етап аналітичного процесу. Саме в цей момент визначається принципова можливість реалізації обраних методів аналізу та отримання результату заявленої якості.

*4. Виконання аналізу.* Виконання аналізу включає *вибір методу аналізу та обробку даних.*

*Вибір методу аналізу.* Майже завжди є кілька шляхів отримання необхідної інформації. При виборі шляху слід спиратися на такі положення:

- По-перше, при виборі методу завжди виникає дилема: оперативність або точність аналізу. Оперативність аналізу виникає, коли потрібно швидко оцінити ситуацію в цілому і прийняти рішення. При цьому користуються простими, добре перевіреними методами, які не потребують суттєвих витрат на отримання детальної та всебічної вихідної інформації про стан об'єкта. Отриманий результат буде мати невисоку точність і відображати тільки загальні характеристики процесу, який вивчається. Точність аналізу потрібна для отримання достовірної та повної вихідної інформації і також вона вимагає збільшення витрат часу і зусиль на обробку даних.

- По-друге, метод аналізу визначається моделлю наявних даних. Векторні дані є найзручнішими, коли необхідно зберігати точне місце розташування вихідного об'єкта, працювати з дискретними об'єктами, кордонами або моделювати лінійну мережу. Растрові дані доцільно використовувати для аналізу безперервних явищ. Тріангуляційні дані доцільно використовувати для аналізу поверхонь. Сучасні ГІС дозволяють інтегрувати в процесі аналізу ці типи даних. У разі необхідності перетворення можна конвертувати растрові дані у векторні і, навпаки, за допомогою вмонтованих функцій.

- По-третє, залежно від обраних моделей даних вибираються і засоби їх обробки. Сучасні ГІС мають велику кількість аналітичних засобів просторових і атрибутивних даних. Просторовий аналіз певного набору даних може включати операції, наприклад, вилучення об'єктів, побудови буферних зон, накладення буферних зон на інші шари, роботу з об'єктами, які потрапили в буферні зони, та інші операції. Набір засобів аналізу визначається при інтерпретації критеріїв аналізу, виділених на етапі 1. Кожне твердження в постановці проблеми може транслюватися в ряд операцій аналізу.

*Обробка даних.* Як тільки вибрано метод, необхідно побудувати ланцюжок його реалізації засобами ГІС. Кожна просторова операція сприяє отриманню нової інформації. У більшості випадків аналізу потрібний набір операцій з безліччю шарів. При роботі з векторними наборами даних вони виконуються ступінчастим чином – два вхідних шари використовуються для формування нового шару, цей проміжний шар оброблюється спільно з третім шаром, щоб формувати інший проміжний шар, і так далі до досягнення бажаного результуючого шару карти.

При роботі з растровими наборами даних є можливість одночасної обробки декількох шарів, алгоритм якої реалізується в растровому калькуляторі (Raster Calculator). Наявність модуля будівника моделей процесів (Model Builder) в ArcGIS надає можливість аналітику автоматизувати виконання алгоритму моделі без залучення програміста.

5. *Оцінка і відображення результатів* У процесі оцінки результатів виконується інтерпретація результатів, визначається об'єктивність і достатність отриманої інформації. Якщо необхідно, то приймається рішення про повторення аналізу з іншими параметрами або уточнення аналізу, або застосування іншого методу. ГІС дозволяє порівняно легко і оперативно зробити необхідні зміни і отримати новий результат. Можна також оперативно порівняти результати різних аналізів і побачити, який з підходів виявився кращим. Результати аналізу можуть бути представлені у вигляді карти, діаграми, значень в таблиці – фактично нової інформації. Необхідно вирішити, яку інформацію виносити на карту як групувати значення для найкращого відображення даних.

6. *Реалізація результату* Після того як була вирішена просторова задача і вибрано модель, яка найкращим чином дозволяє досягти мети, поставленої на *етапі 1*, реалізується поставлена мета.

#### **4. Ідентифікація та основні типи географічних об'єктів**

У геоінформаційних системах географічні об'єкти відображаються двома основними типами моделей: *векторними і растровими*. У *векторній моделі* географічні об'єкти представляються графічними примітивами – точковими, лінійними і полігональними просторовими об'єктами. У *растровій моделі* географічні об'єкти представляються матрицею чарунок. Кожен шар – це один атрибут. Розмір чарунки визначає точність відображення географічних об'єктів і результату аналізу. Для просторового аналізу важливою є інформація про те, що являє собою географічний об'єкт як він виглядає, а також - інформація про структуру, просторову цілісність, характер мінливості об'єктів.

Наш світ складається з безлічі географічних об'єктів, які для виконання аналізу доцільно декомпонувати за типами. Тип географічних об'єктів визначають сутність процесу аналізу, вибір методу і порядку аналізу. Відповідно до класифікації, представленої Енді Мітчеллом, географічні об'єкти можуть являти собою: *дискретні явища, безперервні явища, об'єкти, узагальнені за площею*.

*Дискретні географічні об'єкти* – це окремі макротіла, явища реального земного простору.

Кожен дискретний об'єкт:

- відмежований від інших об'єктів у просторі або в часі,
- завжди займає точно визначене місце розташування в просторі.

Прикладами дискретних географічних об'єктів можуть бути колодязі, дороги, трубопроводи, будівлі, квартали, зони. Характерні ознаки дискретного явища:

- наявність досліджуваної ознаки тільки в межах об'єкта;
- незмінність значення даної ознаки в точці протягом лінійного відрізка або в межах площі.

Дискретні явища моделюються точковими, лінійними або полігональними просторовими об'єктами (рис 6.4.1).

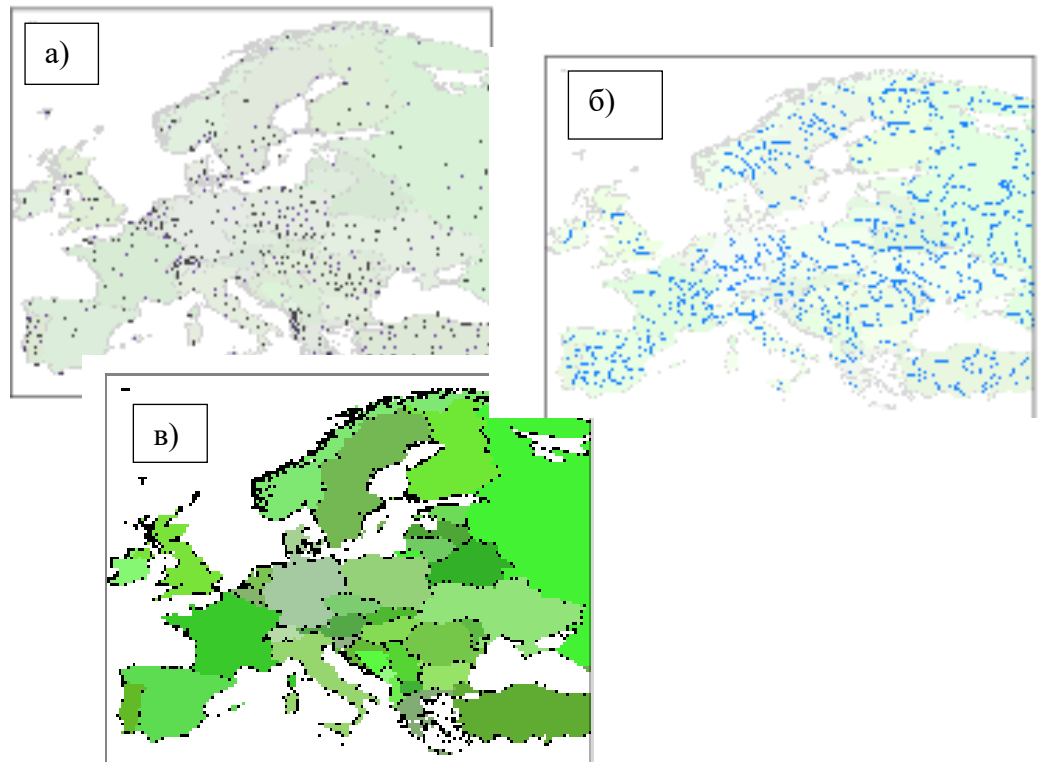


Рис. 6.4.1. Дискретні просторові об'єкти: точкові (а), лінійні (б), полігональні (в)

*Безперервні явища* (поля) характеризують територію в цілому, а не окремі об'єкти (рис. 6.4.2). Безперервні явища – це явища, які змінюються у просторі постійно та не мають проміжків. Наприклад: поверхні, опади, температура можуть вимірюватися в будь-якому місці території і характеризувати її в цілому. Безперервність явищ виявляється в тому, що неможливо вказати проміжки на площі поширення явищ, в яких би вони були відсутні. Незважаючи на те, що дані змінюються безперервно, межами вказують дискретну зміну величини (наприклад, типи ґрунтів). Безперервні об'єкти заповнюють всю моделюючу поверхню, "пронизуючи" один одного, їх можна трактувати як властивості простору або самої модельованої поверхні. Безперервні дані представляють у вигляді:

- безперервних поверхонь, підкреслюючи зміни кількісного показника із зміною місця;
- регулярних або нерегулярних множин точок; ГІС оцінює наявність даних цього типу за щільністю спостережень;
- обмежених площ, які вміщують дані одного типу; межа площі вказує на дискретну зміну

показника на площі.

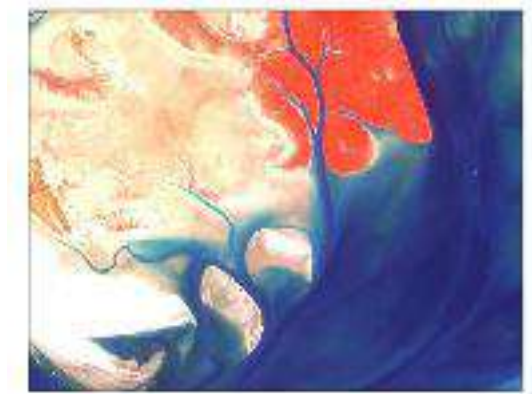


Рис. 6.4.2. Безперервні явища

*Об'єкти, узагальнені за площею* (рис. 6.4.3 ), відображають узагальнену характеристику або концентрацію окремих об'єктів у межах даної області. Об'єкти, узагальнені за площею, характеризують загальну кількість інших об'єктів у межах даної площі або їх узагальнені показники. Значення показника характеризує площу в цілому, а не кожену точку окремо. Статистичні показники узагальнюються для певної території. Узагальнені показники характерні для адміністративних районів, поштових відділень тощо. Приклад об'єктів, узагальнених за площею: кількість будинків у межах району, щільність вулично-дорожньої мережі, населення житлових кварталів. Дані можуть надходити вже в узагальненому, агрегованому вигляді. Наприклад, ділова інформація узагальнюється в межах виробничих, адміністративних або інших ланок.

Дані можуть бути створені шляхом:

- статистичного аналізу – за кодом, який визначає їх приналежність до якоїсь площі;
- оверлейного аналізу – графічно виділяються об'єкти, розміщені в межах зазначених площ.

Узагальнювати можна як дискретні так і безперервні події.



Рис. 6.4.3 Об'єкти, узагальнені за площею

За *структурою* географічні об'єкти поділяються на елементарні (прості), складені та складні.

- Елементарний об'єкт не має складових частин (наприклад, окрема будівля).

- Складений об'єкт утворюється групою інших об'єктів за певним (спрямованим) порядком при утворенні об'єкта, який визначається (наприклад, окрема будівля, що складається з частин).

- Складний об'єкт утворюється групою інших об'єктів (елементарних, складених, складних), порядок проходження, яких при утворенні об'єкта, що визначається не фіксований (наприклад, ансамбль будівель).

За *формою існування* географічні об'єкти поділяються на *матеріальні (реальні) і абстрактні (віртуальні)*.

– Реально існуючі географічні об'єкти, явища і події можуть сприйматися або безпосередньо за допомогою органів чуття, або опосередковано із застосуванням приладів.

– Віртуальні об'єкти можуть не існувати в реальності, але бути відображеними. До них належать об'єкти, що існували в минулому, існування яких передбачається в майбутньому і уявні. Уявними об'єктами є межі, червоні лінії, горизонталі, проєктовані споруди і т. п.

#### ***Контрольні запитання:***

1. Визначення та поняття геопросторового аналізу.
2. Що таке просторове моделювання та типи географічних моделей реального світу?
3. В чому полягає мета коцептуальної моделі вирішення просторових задач?
4. Що таке ідентифікація та основні типи географічних об'єктів?

## РОЗДІЛ 7

### ЗАДАЧІ ГІС-АНАЛІЗУ

#### 1. Візуальний аналіз місця розташування даних

Існують багато можливостей людини щодо візуального аналізу даних. За словниковим визначенням термін "візуальний" означає "видимий неозброєним чи озброєним оком, зоровий". Значимість візуалізації впливає з фізіологічних особливостей людини, які полягають в тому, що зір забезпечує людині отримання близько 80-90 % інформації. Візуалізація інформації має фундаментальне значення для отримання знань із карт. Користувач безпосередньо працює з даними, представленими у вигляді візуальних образів. Візуальний аналіз даних покликаний залучити людину до процесу пошуку знань в даних. Працюючи з візуальним представленням, людина може заглибитися в дані, зрозуміти їх суть, зробити висновки і безпосередньо взаємодіяти з даними. Основна ідея полягає в тому, щоб представити великі обсяги даних в такій формі, де людина могла б побачити те, що важко виділити алгоритмічно.

Візуалізація даних надає можливість виконання просторового аналізу шляхом візуального спостереження – візуального аналізу карти. Здавна для відображення географічних об'єктів і їх місцеположення використовуються карти. Карти – це моделі реального світу, які дозволяють вивчати оригінал – навколишній світ. Інформація, представлена на карті, містить знання про географічні об'єкти, географічні місця. Вона також може містити в собі приховані знання, закономірності й тому при відповідному аналізі здатна надати вплив при прийнятті рішень в різних галузях людської діяльності. Карти використовують для того, щоб пізнавати окремі місця і побачити як виглядають об'єкти і де вони розташовані. На карті наочніше проявляється характер просторового розподілу об'єктів, що дозволяє виявити зв'язки між ними і краще зрозуміти географічну область, яка досліджується. Візуальне вивчення карти надає можливість оцінки закономірностей у розподілі об'єктів, причин просторових взаємозв'язків.

Сучасні інформаційні технології поєднують величезні обчислювальні ресурси сучасних комп'ютерів з творчим та гнучким мисленням людини. Геоінформаційні системи розвивають методи візуалізації інформації для передачі просторових взаємозв'язків географічних об'єктів. ГІС також забезпечує управління візуалізацією інформації. На екран виводяться тільки ті об'єкти або безліч об'єктів, які становлять інтерес у цей момент. Здійснюється перехід від комплексних карт до серії взаємопов'язаних шарів даних. При цьому поліпшується структурованість інформації, і отже, підвищується ефективність її обробки і аналізу. У ГІС - карта стає динамічним об'єктом. За допомогою нових технологій на картах користувачі здатні візуально оцінювати великі об'єкти й маленькі далеко вони знаходяться або близько. Користувач в реальному часі може рухатися навколо об'єктів або кластерів об'єктів і розглядати їх з усіх боків. Візуальний аналіз даних



особливо корисний, коли про самі дані мало що відомо і цілі дослідження до кінця не зрозумілі. За рахунок того, що користувач безпосередньо працює з даними, представленими у вигляді візуальних образів, які він може розглядати з різних боків і під будь-якими кутами зору, він може отримати додаткову інформацію, яка допоможе йому чіткіше сформулювати цілі дослідження.

*Просторовий аналіз* пов'язаний з пошуком структури області на карті. Підключення даних, в першу чергу, вказує на об'єкти, де вони знаходяться, але не може пояснити, чому вони там знаходяться. При *візуальному аналізі* карти вирішуються такі задачі:

- розпізнавання образів;
- ідентифікації об'єктів;
- оцінка відносного розташування об'єктів;
- оцінка розподілу об'єктів;
- визначення просторових відносин об'єктів;
- виявлення тенденцій;
- оцінки місцевості в режимі реального часу, в різних масштабах, в різних розмірностях простору;
- швидкої обробки інформації.

*Традиційні карти* – це плоскі (двовимірні – 2D) моделі реального світу. Для них виконується 2D візуалізація даних. Візуалізація передається за допомогою символів як окремих об'єктів, так і груп об'єктів. Символи формуються маркерами, лініями, заливанням, кольором і текстом. У ГІС можливості картографічної візуалізації визначаються потужним арсеналом засобів виведення графіки, які підтримують штрихування, заливку, заповнення текстурою, колір, пріоритети, прозорість, видимість, маскування тощо. Колір є одним з фундаментальних властивостей символів і елементів карти. Додаток ArcMap дозволяє використовувати як окремі кольори з палітри кольорів для індивідуальних об'єктів, так і колірні шаблони (Graduated colors). Серед колірних шаблонів особливе значення має градуїований колір (Color Ramp), яким створюється візуальний ефект, що легко розуміється. На підставі атрибутивних даних змістову частину об'єктів зображують графічно, використовуючи різні символи або колір. При цьому атрибути повинні бути кодовані способом, який може бути використаний для аналізу даних. У разі двовимірних моделей візуалізація реалізується перетворенням цифрових даних в зображення на основі певних правил і алгоритмів.

Робота з картою вимагає наявності знань про умовні позначення на карті. Умовні позначення – своєрідна мова карт. Знаючи їх можна навчитися читати карти, представляти і оцінювати за ними характер місцевості та ландшафти. Значення кожного символу, використаного на карті, описується у легенді карти. Легенда карти пов'язує атрибути з географічними об'єктами. Легенда карти – це ключ, за допомогою якого ідентифікують об'єкти, що представлені на карті.

Окрім того, багато символів на топографічних картах визначаються за умовою (умовні символи, знаки) і можуть бути інтерпретовані без легенди. З вище викладеного зрозуміло, що читання карти вимагає розуміння 2D символів. Читання карти означає інтерпретацію символів. За допомогою інтерпретації символів плоскої карти користувач повинен спочатку штучно побудувати концептуальну модель місцевості в своїй свідомості, а потім виконувати візуальний аналіз карти.

Відчуття структури (розумова модель) реального світу залежить від освіти, підготовленості, відповідальності, мети організації, де людина працює, й від того, що деякі частини земного простору мають велику значимість у порівнянні з іншими частинами. Для підготовленого користувача візуальний аналіз карти можна представити як єдиний процес генерації концептуальної моделі місцевості та розв'язання задач аналізу. Побудова концептуальної моделі місцевості по карті може виявитися складним або нерозв'язуваним завданням для користувача не знайомого з легендою карти, який не володіє просторовим мисленням. Враховуючи картографічно складене відображення деяких місцевостей, це може бути важким завданням навіть для найбільш підготовленого користувача.

Програмні продукти ГІС мають розвинені засоби 2D символізації точкових, лінійних і полігональних моделей географічних об'єктів на карті.

Наприклад, у ArcGIS Desktop головним засобом для 2D картографування та візуалізації є ArcMap. Символи графічно описують, класифікують або ранжують географічні об'єкти, мітки та анотації на карті, щоб знайти і показати якісні й кількісні співвідношення. Залежно від типу геометрії, яку вони відображають, використовують один з чотирьох типів символів – маркер, лінія, заливка або текст. Вони, як правило, застосовуються до груп об'єктів шару. У ArcMap [34] використовуються наступні засоби символізації (Symbology):

- відображення об'єктів єдиним символом (Features);
- відображення об'єктів для показу категорій (Categories);
- відображення кількісних даних (Quantities);
- відображення об'єктів методом діаграм (Charts);
- відображення об'єктів на підставі декількох атрибутів (Multiple Attributes). ArcMap

бібліотека включає великі набори символів.

Найпростіший спосіб показати на карті розміщення об'єктів – відобразити їх одним символом (Single symbol). Можна відображати таким способом дані будь-якого типу. У цьому випадку можна отримати точну відповідь на питання, де розташовані об'єкти й де вони відсутні. Відображення на карті розташування об'єктів прояснює приховані факти і тенденції й допомагає приймати рішення.

*Відображення об'єктів для показу категорій.* Розбиття даних на групи і проведення аналізу всередині груп є важливим прийомом аналізу, що постійно використовується в практичній роботі.

Категорія описує набір об'єктів з однаковим значенням атрибута. Засоби відображення ГІС дозволяють розділити об'єкти на групи, використовуючи для кожної категорії різні умовні позначення. Відображення об'єктів за категоріями допомагає підкреслити функціональне призначення місця розташування об'єкта. Наприклад, якщо є дані про земельні ділянки з атрибутом, що описує тип землекористування (житлові, комерційні або громадські землі), можна використовувати різні знаки для відображення кожного типу землекористування. Відображення об'єктів цим способом дозволяє бачити, де розташовані об'єкти, і до якої категорії вони належать. Це зручно, якщо ви маєте намір застосувати його до певної категорії об'єктів. Наприклад, проектувальник може використовувати карту землекористування, щоб позначити ділянки для репланування. У загальному випадку для відображення категорій ArcMap дозволяє призначати символ для кожного унікального значення (Unique values) як автоматично – на підставі колірної схеми, так і вручну – шляхом вибору символів для кожного значення атрибута. Для відображення об'єктів за категоріями вибір кількості категорій буде визначати детальність подання явища на карті. Більшість людей може легко аналізувати до семи категорій в одному шарі. Досвідчені користувачі можуть досить легко інтерпретувати і складніші карти. Навпаки, менш підготовлені користувачі краще зможуть сприйняти карту з меншою кількістю категорій. Об'єкт може належати більш ніж до однієї категорії. У такому випадку комплексне використання одразу декількох категорій може виявити нові закономірності.

*Відображення кількісних даних.* Кількісні дані дозволяють відобразити будь-яку кількісну характеристику об'єкта. При відображенні на карті кількісних даних можна або присвоїти кожному значенню його власний знак, або згрупувати значення в класи і використовувати окремий знак для кожного класу. Якщо відображається лише кілька значень (менше 10), можна присвоїти кожному значенню свій символ. У багатьох випадках значення даних бувають настільки численні, що відобразити їх окремо неможливо, і тому доведеться об'єднати їх у класи або класифікувати. ArcMap дозволяє автоматизовано класифікувати дані, використовуючи стандартні схеми класифікації.

*Подання кількості кольором.* Кількісна характеристика може бути представлена числом, часткою, відсотками, або рангом, наприклад, "високий", "середній", "низький". Кількісні дані на карті краще відобразити за допомогою градуйованих кольорів (Graduated colors). Наприклад, можна показати велику кількість опадів темнішими відтінками синього кольору. Для відображення кількості класифікують дані, щоб згрупувати об'єкти з близькими значеннями в окремі класи, кожний з яких буде відображатися одним символом. У багатьох випадках слід нормувати дані перед їх відображенням. При нормуванні даних їх необхідно ділити на значення іншого атрибута, отримуючи в результаті відношення. Нерідко частки дають чіткіше відображення, ніж необроблені дані. Наприклад, поділ усієї кількості населення на площу дає кількість населення на одиницю

площі, або його щільність. Крім того, нормування даних зменшує розпорошення у значеннях, виходячи з розміру області або кількості об'єктів у кожній області. Таким чином, бажано використовувати нормування даних при відображенні кількісних даних по областях.

*Подання кількості градуїваним або пропорційним символом.* Можна виділяти кількисні на карті, змінюючи розмір символу. Наприклад, місто з високою чисельністю населення може бути зображено на карті окружністю більшого діаметра. Подання кількості можливо градуїваним або пропорційним символом. Для відображення просторових об'єктів градуїваним символом кількісні значення групуються в класи. В межах класу всі об'єкти відображаються однаковим символом. Не можна розпізнати значення окремого об'єкта, можна тільки визначити, що його значення лежить в межах певного інтервалу. Пропорційний символ представляє дані точніше. Розмір пропорційного символу залежить від певного значення. Проблеми з пропорційними символами можуть виникати в тих випадках, коли є занадто багато значень – відмінності між символами можуть не сприйматися.

*Подання кількості щільністю точок.* Альтернативний метод представлення кількості – точковий спосіб зображення (Dot density). Точковий спосіб використовують для представлення кількісного атрибута на площі. Кожна точка – це певне число просторових об'єктів, наприклад, 100 осіб або 10 дорожньо-транспортних пригод в межах якої-небудь області. Точковий спосіб відображає щільність графічно замість того, щоб показувати значення щільності. Точки довільно розташовуються всередині кожної області та не відповідають реальним місцезонам об'єктів. Чим більше точок, тим вища щільність об'єктів у цій області. Значення та розмір точки підбираються так, щоб вони не були розташовані дуже близько та не закривали собою зображення, і так само розташовувались не надто далеко, що б не ускладнювати сприйняття щільності.

*Відображення об'єктів методом діаграм.* Діаграми представляють величезний обсяг кількісної інформації в легкій для сприйняття формі. Відображення даних методом діаграм застосовується в тому випадку, якщо шар містить ряд пов'язаних кількісних атрибутів, які потрібно порівняти. Кругові діаграми використовуються, якщо потрібно показати частку кожної категорії в загальній кількості. Стовпчасті діаграми краще відображають співвідношення категорій між собою. Стекові діаграми дозволяють оцінити обидва показники. Наприклад, при картографуванні складу населення за регіонами можна використовувати кругову діаграму, щоб показати процентне співвідношення чисельності етнічних груп у кожному регіоні.

*Відображення об'єктів на підставі декількох атрибутів.* Географічні дані зазвичай містять набори різних атрибутів, що представляють просторові об'єкти. Зазвичай для відображення даних використовують один атрибут. Коли вибираєте спосіб зображення для даних на підставі більш ніж одного атрибута, ми створюємо комплексне зображення. Такий спосіб відображення даних дозволяє передати більше інформації, однак він також робить карту важчою для інтерпретації.

*Відображення поверхонь TIN-моделями.* TIN-моделі використовуються для представлення явищ, що мають суцільне поширення на території, таких як рельєф земної поверхні або градієнт температури. Зазвичай TIN відображають за допомогою кольорово-тіньового рельєфу, щоб візуалізувати висоти. Тіньовий рельєф імітує сонячне освітлення на поверхні землі. Додавання кольору дозволяє легко розрізнити хребти, долини, схили пагорбів і їх відносну висоту. Такий спосіб візуалізації допомагає краще зрозуміти особливості розташування об'єктів. Інструменти візуалізації дозволяють відобразити будь-яку з трьох характеристик поверхні – ухил, експозицію (аспект) і висоту – на карті й навіть отримати імітацію рельєфу, побудовану з використанням тіней.

*Набір інструментів для управління відображенням шарів* ArcMap надає також набір інших інструментів, які дозволяють керувати відображенням шарів:

- налаштувати прозорість шарів;
- встановлювати базовий масштаб фрейму даних, щоб бачити як символи будуть відображатися в реальному розмірі на екрані або на папері;
- використовувати рівень відображення символів, щоб визначати порядок відображення символів шару;
- використовувати різні рівні маски для приховування частини шарів.

У порівнянні з 2D візуалізацією істотна перевага *просторової тривимірної 3D візуалізації* даних полягає в тому, як ми бачимо інформацію. Ми живемо в тривимірному світі. Тривимірна візуалізація імітує просторову реальність. 3D візуалізація дозволяє глядачеві природно сприймати тривимірну модель земного простору, часто без спеціальної підготовки або знання легенди. Вона забезпечує те інтуїтивне розуміння, якого не можна досягнути при розгляді звичайного двовимірного зображення. 3D візуалізація дозволяє фізично уявити частину земного простору й оцінити його. 3D візуалізація дозволяє також швидше розпізнавати образи і розуміти зміни в ординаті. Нарешті, 3D-моделі можна використовувати як зручний інтерфейс для запиту середовища, що відображається. Створення 3D реалістичних схем вимагає значного збільшення ресурсів. Разом з тим практика останніх років свідчить про те, що попит на 3D моделі стрімко зростає. Спостерігається стійкий перехід від традиційних 2D ГІС до 3D ГІС. Зі збільшенням обчислювальної потужності комп'ютерних систем істотна перевага 3D візуалізації стимулює розробку складних інструментів ГІС, за допомогою яких можна створювати детальні 3D моделі для комплексу об'єктів реального світу. При цьому вимоги розвиваються від 3D візуалізації до 3D аналізу з підтримкою топології.

3D моделі земного простору стають все більш значущими. Їх застосовують принаймні у багатьох сферах людської діяльності. Це, перш за все, міське планування, кадастр, екологічний моніторинг, телекомунікації, сфера громадських аварійно-рятувальних робіт, ландшафтне планування, транспорт, моніторинг ринку нерухомості, гідрографічна діяльність, управління,

військове застосування та ін. Найбільш поширений приклад – тривимірні моделі міст. На сьогоднішній день створені реалістичні 3D моделі багатьох міст світу. Як правило, ці моделі зображають міста або схеми з довкілля у трьох вимірах з різним ступенем уваги до деталей і художнього рендерингу. Детальні 3D моделі вражають. Технології, які існують сьогодні, дозволяють створювати візуально приголомшливі та деталізовані моделі міського середовища таким чином, щоб полегшити взаємодію й розуміння того, чого ще не має в багатьох моделях. Потреби в 3D моделях міст зростають і розвиваються швидкими темпами в різних сферах використання. Міські проєктувальники, архітектори, міські дизайнери й фахівці з планування землекористування, фахівці транспорту все частіше використовують тривимірні інструменти візуалізації. Громадяни й посадові особи можуть візуалізувати вплив проєктів міського дизайну на використання землі й зонувати зміни або уявити результати інтелектуальних ініціатив. 3D моделі міст використовують у сфері електронного уряду (E-Government) для сталого управління міським господарством .

Тривимірні моделі використовуються в адміністративно-господарському управлінні для створення, збереження і спільного використання інформації про структури господарських об'єктів і їх активів (рис.7.1.1) .

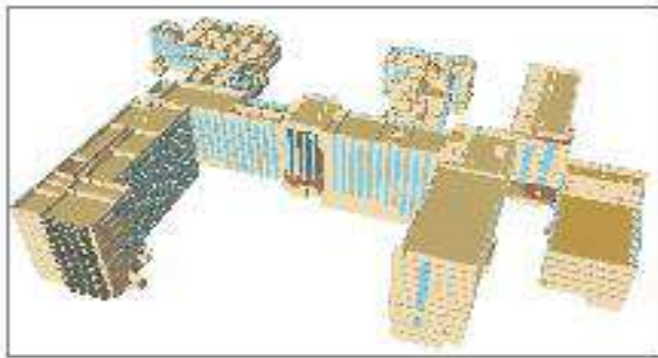


Рис. 7.1.1. Тривимірна модель Харківської академії міського господарства

*Геометрична 3D модель* є найбільш простою моделлю. Вона утворюється тривимірною поверхнею, натягнутими растровими або векторними даними, витягнутими по висоті векторними об'єктами для додання тривимірних властивостей. Властивості 3D схем можна змінювати, використовуючи освітлення, тіні чи прозорість, встановлюючи розтягнення рельєфу по вертикалі (рис 7.1.2).

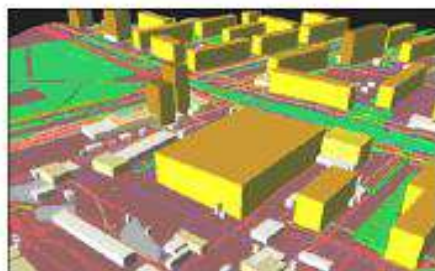


Рис. 7.1.2. Геометрична 3D модель міста [30]

Сучасні ГІС дозволяють створювати *реалістичні 3D* схеми, що підвищують відчуття реальності й, тим самим, сприяють якіснішому візуальному аналізу. Компонентами реалістичних 3D схем можуть бути модель поверхні рельєфу, аеро- або космічні зображення, топографічна основа, підповерхні, 3D реалістичні моделі будівель, споруд (наприклад, мости), архітектурних елементів (наприклад, статуї), вуличної фурнітури, рослинності та ін (рис. 7.1.3).



Рис. 7.1.3. Реалістична 3D модель міста

Щоб зробити найбільш реалістичні 3D схеми, використовують різні засоби – правила перспективи, текстури, тонкі зміни кольору, глибини відображення, розташування джерел світла. Туман або серпанок можуть збільшити відносну відстань у межах схеми. Нарешті, сезонні уявлення за допомогою, наприклад, снігу або зелених дерев можуть штучно підвищити відчуття реальності. Для фотореалістичного моделювання будівель кожен фасад (вертикальну або невертикальну площину) необхідно пов'язати з реалістичною текстурою, яка представлена кольоровим RGB зображенням. Для текстурування дахів та стін використовуються різні методи. Для текстурування дахів використовуються ортофотознімки, а для текстурування стін – знімки портативної ручної камери (рис. 7.1.4.).

а)



б)



Рис. 7.1.4. Геометрична модель (а) і текстурована модель (б)

*Віртуальні 3D моделі* (рис. 7.1.5) представляють об'єкти віртуальної реальності уявного тривимірного простору. Сфера візуального сприйняття перетворюється на основний канал зв'язку з

віртуальною реальністю. Віртуальність – це реальність, заснована на силі уяви, ідеалізації, прийомах відходу від впливу матеріальності. Під "віртуалізацією" необхідно розуміти процеси, які створюють якусь "іншу", ідеально-фантазійну (імажинативну) реальність, що заміщує повсякденне життя й вплив матеріальних чинників на життя суспільства.

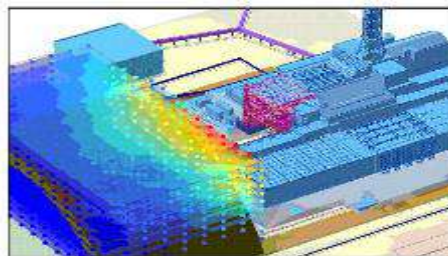


Рис. 7.1.5. Віртуальна 3D модель ЧАЕС [34]

Як приклад віртуальної 3D моделі на рис. 7.1.6 представлений інтерфейс ArcScene з ізометричним зображенням тривимірної моделі ЧАЕС, що відображає потужності експозиційної дози гамма-поля на ділянці будівництва нового безпечного конфайнмента (арки). Найважливішим результатом такого моделювання є як сама 3D візуалізація об'єктів віртуальної реальності, так і можливість проведення розрахунків доз опромінення персоналу, який буде зайнятий у будівництві НБК на кожному окремому робочому місці.

На сьогодні розроблено безліч алгоритмів візуалізації. Програми тривимірного моделювання мають можливості, що дозволяють одержувати зображення об'єктів з високим ступенем реалістичності. При цьому відчуття природності і реалізму багато в чому створюється завдяки правильній освітленості сцени і відтворенню природних явищ, що виникають при поширенні світла. Нині використовуються дві категорії тривимірного представлення об'єктів: заснована на поверхнях і заснована на об'ємах. Традиційна 3D графіка ґрунтується на уявленні об'єктів поверхнями, як правило – полігональними. Для такого подання за останнє десятиліття були розроблені спеціалізовані апаратні засоби рендерингу. *Рендеринг (rendering)* – це процес відтворення за допомогою комп'ютера тривимірного зображення з урахуванням кольору, тіней, віддзеркалень, інших світлових ефектів, які дають можливість відтворити глибину об'єкта на двовимірному екрані.

Багато алгоритмів місцевості засновані на фрактальній геометрії, яка підтверджує концепцію самоподібності (self similarity). З самоподібності випливає інваріантність просторової структури і функцій при зміні масштабу, тобто те, що з'являється в одному масштабі, повторюється в іншому. Форма місцевості може бути описана фрактальною розмірністю поверхні.

В якості альтернативи поверхонь досліджували також представлення об'єктів у вигляді об'ємів. Наші екрани складаються з двовимірного масиву пікселів, кожен з яких представляє одиницю площі. Об'єм – це тривимірний масив кубічних елементів (вокселів – voxel), які



представляють одиниці 3D простору. Подібно до того як екран може використовуватися для зберігання двовимірних об'єктів, наприклад, ліній і цифрових картин, об'єм потрібен для зберігання тривимірних геометричних об'єктів і тривимірних картин. Головним недоліком об'ємів є їх розмір. Об'єм із середньою роздільністю  $256 * 256 * 256$  вимагає зберігання 16 млн. вокселів. Щоб згенерувати зображення тривимірного об'єкту на 2D екрані, потрібно обробити всю цю кількість вокселів. Однак об'єм має й низку важливих переваг: він може представляти об'єкт всередині, а не тільки зовнішній шар. Рендеринг і обробка залежать не від складності або типу об'єкта, а тільки від об'єму розділення.

*Програмні засоби 3D символізації.* Програмні продукти ГІС мають розвинені засоби 3D відображення й аналізу. До таких програмних продуктів належать, передусім, розширення ArcGIS 3D Analyst (ESRI Inc.), Imagine VirtualGIS (ERDAS Inc.), GeoMedia Terrain (Intergraph Inc.), PAMAP GIS Topographer (PCIGEO MATICS) та інші. Моделі можуть бути також розроблені з використанням стандартного програмного забезпечення CAD, пакетів, таких як 3D Studio Max, або мов програмування, таких як C++ і VRML (Virtual Reality Modeling Language). ArcGIS Desktop (ESRI Inc.) має три підпрограми, які можуть бути використані для картографування, візуалізації та аналізу: *ArcMap*, *ArcScene*, *ArcGlobe*.



Рис. 7.1.6. Три головні картографічні підпрограми в ArcGIS Desktop

Підпрограма *ArcMap* використовується для роботи з двовимірними картами, для яких виконується 2D візуалізація даних. Головними засобами для тривимірної візуалізації і аналізу є два спеціалізованих додатка ArcGlobe і ArcScene, які розміщені в розширенні ArcGIS 3D Analyst.

Підпрограма *ArcScene* – це 3D-в'ювер, що добре підходить для генерації перспективних сцен, які дозволяють переміщуватися і взаємодіяти з 3D об'єктами і растровими даними. Дані зазвичай відображаються за допомогою плоскої проекції. ArcScene підтримує комплекс 3D символіки ліній і текстур, а також створення поверхонь і відображення TIN. Всі дані завантажуються в пам'ять, що надає можливість порівняно швидкої навігації, панорамування і масштабування функціональності. Векторні об'єкти відображаються у вигляді векторів, растрові дані – залежно від заданого розділення.

Підпрограма *ArcGlobe* є частиною розширення *ArcGIS 3D Analyst*. Просторово прив'язані дані розташовуються на тривимірному глобусі, імітуючи відображення об'єктів у реальному світі. Всі дані відображаються на різних рівнях деталізації, які організують в мозаїки. Цей застосунок оптимізований для візуалізації географічних даних на сфері в глобальному масштабі. *ArcGlobe* дозволяє створювати тривимірні види, в яких можна виконувати різні дії з даними геоінформаційних систем, зокрема переглядати, аналізувати і створювати анімації. У *ArcGlobe* можна завантажувати векторні та растрові дані, космічні знімки й аерофотознімки, прості графічні елементи і графіку у вигляді 3D символів. Ця підпрограма призначена для роботи з дуже великими наборами даних і дозволяє плавну візуалізацію, панорамування, масштабування як растрових, так і векторних даних у реальному часі. Для досягнення максимальної продуктивності використовується кеш даних, який буде організовувати і копіювати дані джерела в мозаїки рівнів деталізації. Векторні об'єкти, як правило, растерізуються і відображаються відповідно до їх асоційованого рівня деталізації, який допомагає в дуже швидкій навігації та відображенні.

Розширення *ArcGIS 3D Analyst* надає повноцінне рішення для тривимірної візуалізації й аналізу просторових даних. Воно підтримує тривимірні символи, які імітують об'єкти реального світу, що дозволяє розширити можливості візуалізації й моделювання навколишньої дійсності. ГІС-об'єкти можуть бути представлені за допомогою різноманітних 3D символів, таких як будинки, автомобілі або нафтові вишки для точкових об'єктів, текстури трав'янистої, водної та інших поверхонь для полігональних об'єктів, трубопроводи та інші лінійні текстури для протяжних лінійних об'єктів.

Тривимірний аналіз можна проводити, використовуючи не тільки растрові поверхні або дані TIN. Повноцінними учасниками обчислень стали мультипатчі (об'ємні об'єкти). У набір інструментів *3D Analyst* додані можливості перетину мультипатчей, побудови зон видимості і лінії горизонту. Ці інструменти значно полегшують планування забудови і створення віртуальних міст. Всі інструменти з аналізу поверхні тепер доступні для використання з набором даних *Terrain*.

При тривимірному аналізі доцільно використовувати тривимірні перспективні відображення. Для створення тривимірних зображень областей або точок істотне значення має місце спостереження, Z- фактор, розташування джерела світла.

- Точка спостереження. Точка спостереження визначає, які об'єкти є видимими у відображенні, бо вищі об'єкти можуть перекривати об'єкти позаду себе. Можна також визначити координати спостерігача і цілі, розташованої в полі зору, поряд з кутом спостерігача вище поверхні. Оскільки напрямок огляду може змінюватися для кращого відображення закономірностей в широких межах між північчю і півднем, важливо дати користувачеві орієнтування на північ або відобразити добре впізнавані об'єкти.

- Z-фактор. При створенні тривимірного відображення можна задавати величину, названу

"z-фактором", яка збільшує діапазон зміни поверхні по висоті й полегшує візуальну оцінку відмінностей. Ця величина множить на значення кожного об'єкта. Наприклад, при використанні величини Z-фактора 2 район, який має 20 відсотків дитячого населення, отримає нове значення – 40. Мета використання z-фактора полягає в тому, щоб зробити помітними зміни поверхні, але таким чином, щоб не спотворити відмінності між величинами.

- Джерело світла. Точка розташування джерела світла в сукупності з Z-фактором визначає як розподіляються тіні на поверхні, і таким чином, наскільки помітні будуть на ній об'єкти. Положення джерела світла визначається двома параметрами: напрямом і кутом падіння. Напрямок, з якого виходить світло, визначається в градусах від 0 до 359 (де напрямом 0 є напрямком на північ). Якщо ступінь покриття тіннями важливий, можна відрегулювати напрямом підсвічування експериментальним шляхом. Кут фактично визначає висоту джерела світла над горизонтом і також виражається в градусах. Чим нижчий кут, тим довші тіні.

- Відображення перспективи. Для відображення безперервних даних перспектива реалізується засобами шкали кольорів або тіней. Можна також відображувати ізолінії і підписувати їх, щоб зробити рисунок чіткішим і забезпечити його точними значеннями. Можна показувати окремі точки і області одним кольором або визначити кольори на основі категорій.

## **2. Аналіз кількісних даних місця розташування**

Географічні об'єкти реального світу описуються кількісними та якісними даними. Тому в багатьох випадках недостатньо знати географічну структуру тільки сукупності об'єктів однієї категорії. Найбільш повним буде представлення об'єктів спільно з їх кількісними даними.

*Кількісні дані* (рис. 7.2.1) зазвичай характеризують чисельність, кількість, ступені або ранжовані значення, наприклад, дані про кількість опадів і чисельність населення. Вивчення географічної структури кількісних даних є одним з аспектів аналізу місця розташування. Аналіз розташування кількісних даних дозволяє порівнювати об'єкти на основі їх кількісних характеристик, визначаючи місця, що відповідають заданим критеріям або виявляючи просторові зв'язки між кількісними показниками об'єктів, виявляти де «більше», де «менше» (Mapping the most and least). Аналіз розташування кількісних даних ефективно виконується за допомогою відображення даних на карті. Географічна структура кількісних даних представляється на карті географічними об'єктами, які відображаються відповідно до їхніх кількісних показників. На карті відображаються кількісні дані, щоб визначити об'єкти, які відповідають певним критеріям, встановити закономірності розподілу кількісних показників. Відображення об'єктів, яке ґрунтується на кількісних показниках, додає новий рівень інформації до відомостей про їхнє місцеположення. Наприклад, інформація про місця розташування шкіл може бути корисною для міського планувальника. Однак, відображення ще й числа школярів у зазначених місцях набагато

краще відобразить картину даного розташування.

Нанесення на карту об'єктів з однотипними значеннями дозволяє візуально порівняти кількісні характеристики цих об'єктів. Знання типу об'єкта допоможе вибрати оптимальний спосіб відображення. Можна відображати величини пов'язані з дискретними об'єктами, безперервними явищами або даними узагальненими по області.



Рис. 7.2.1 Приклад відображення кількісних показників транспортних вузлів

Дискретними об'єктами можуть бути точки на місцевості, лінії або області. Точкові та лінійні об'єкти, зазвичай, розподіляються за допомогою шкали символів, тоді як області позначають заливкою або штрихуванням відповідно до їх кількісних показників.

Безперервні явища можуть являти собою області або поверхні безперервного розподілу будь-яких значень. Области умовної однорідності безперервних явищ, зазвичай, відображаються різними кольорами; зміни параметрів поверхні можуть бути позначені відтінками кольору, ізолініями або тривимірною перспективою. Дані, узагальнені за площею, частіше відображають шляхом призначення глибини відтінків одного кольору для кожної області відповідно до величини узагальненої характеристики або кількості об'єктів кожного класу в кожній області. Узагальнюють також лінійні об'єкти або навіть області.

*Типи кількісних показників.* Знання типу числового показника допомагає вибрати кращий спосіб для відображення даних. Числові показники можуть бути представлені кількістю, відносними величинами, категоріями або рангами. *Кількість і величина* є узагальненими характеристиками об'єктів. *Кількість* (count) позначає фактичне число об'єктів на карті. *Величина* (amount) – узагальнене значення, що характеризує кожний об'єкт. Використання кількості або величини дозволяє чисельно зіставляти однотипні об'єкти. Можна відображати кількість і величину як дискретних об'єктів, наприклад, число службовців на кожному підприємстві, так і безперервні явища, наприклад, щорічні опади у певному місці. Дані про число або кількість відображаються на карті, якщо необхідно показати як значення реальних вимірів так і відносні величини. При відображенні чисельних даних на значення може впливати безліч різноманітних

чинників, що може призвести до створення недостовірної карти. Наприклад, при створенні карти, яка показує обсяг продажу в кожному районі, значення обсягу продажів буде залежати також від чисельності населення району. Якщо узагальнюються дані щодо площі (використовуючи категорії "кількість" або "величина"), може відбуватися спотворення реальної закономірності розподілу, якщо розміри областей дуже різняться. У цьому випадку краще використовувати відносні величини. *Відносні величини* відображають зв'язок між двома величинами. Відносні величини утворюються шляхом ділення однієї величини, що характеризує елемент на іншу. Використання відносних величин дозволяє нівелювати різкі відмінності між розмірами областей або кількістю об'єктів у них так, що відображення розподілу цих величин стає зрозумілішим. Ця властивість робить застосування відносних величин особливо корисним при використанні узагальнених за площею величин. *Найвідоміші відносні величини – середнє, частка і щільність.* *Середнє* застосовується для порівняння величин, що узагальнено характеризують яке-небудь місце. Щоб отримати середнє необхідно розділити сумарне значення об'єктів на їх кількість. Наприклад, розподіл кількості людей у кожному районі на кількість будинків, розташованих на тій же території, дасть середню кількість людей на будинок. *Частки* показують, яку частину цілого складає дана кількість. Щоб обчислити частки, необхідно розділити одномірні величини. Наприклад, при розподілі числа 18 30-річних жителів кожного району на кількість усього населення отримаємо відносну кількість людей віком від 18 до 30 в кожному районі. Частки часто виражаються у відсотках. Значення часток відображаються на карті, якщо ми хочемо мінімізувати різницю, обумовлену різною площею районів або різною кількістю об'єктів у їхніх межах. Частки створюються шляхом ділення двох значень даних, що також називається нормуванням даних. Наприклад, ділення кількості об'єктів на займану площу дає значення на одиницю площі, тобто щільність (частоту). Показник *щільності* відображає ступінь концентрації об'єктів у різних місцях. Щоб обчислювати щільність, необхідно розділити значення параметра узагальненого за площею на величину цієї площі. Результат – кількість на одиницю площі. Наприклад, розділивши населення області на її площу в квадратних кілометрах, можна отримати кількість людей на квадратний кілометр. Щільність добре відображає розподіл, коли розмір областей, якими ми оперуємо суттєво змінюється. Наприклад, маленькі та великі райони можуть мати приблизно однакову кількість людей, але різну щільність.

*Ранги.* Ранги дозволяють упорядкувати об'єкти в інтервалі від високого до низького. Вони відображають відносні, а не виміряні величини. Ранги корисні, коли прямі вимірювання або кількісна характеристика залежать від цілої низки чинників. Ранги відображаються на карті, якщо потрібні відносні вимірювання, а реальні значення не важливі. Щоб вказувати ранги, можна використовувати ознаки опису (наприклад високий, помірний, низький) або числа (наприклад від 1 до 10). Так як ранги відносні, можна представляти тільки місце об'єкта по порядку, а не визначати

наскільки вище або нижче інших дане значення. Наприклад, ми можемо уявити, що об'єкт з рангом "3" є вищим ніж "1", "2" – нижчим ніж "4", але ми не знаємо наскільки вище або нижче вони один від одного. Ранги часто присвоюються на підставі атрибута об'єкта (типу або категорії) або комбінації атрибутів.

*Відображення кількісних даних.* Істотним засобом для аналізу структури кількісних даних є спосіб відображення кількісних показників на карті. Необхідно якомога чіткіше представити кількісні дані на карті, зробити карту простою і відображати на ній тільки ту інформацію, яка потрібна для виявлення необхідних закономірностей. ГІС надає низку можливостей для відображення числових значень на карті. Наносячи на карту власні, неугальнені за площею значення, відображається реальне місце розташування даних. Однак при наявності великої кількості значень цей підхід вимагає істотних зусиль для осмислення винесеної на карту інформації. Відображення власних значень необхідно також при ухваленні рішення про угруповання даних у класи. Якщо на карту наносяться ранги, кожний тип символу відповідає певному рангу. Якщо кількість рангів перевищує вісім чи дев'ять, необхідно перегрупувати їх у класи, оскільки велика кількість різних символів на карті ускладнює розпізнавання. Втім, це можна зробити, просто призначаючи один і той самий символ суміжним рангам. Якщо відображається не більше 11-12 унікальних значень або кількість розкритих об'єктів не перевищує 20, можна також використовувати власні значення для відображення відношень або кількісних показників.

*Використання класів.* При нанесенні на карту кількісних показників з метою виявлення закономірностей розподілу завжди існує проблема вибору між поданням точних значень даних або узагальнення зазначених значень за площею. Зазвичай загальне число, кількість і співвідношення групуються в класи, бо кожен об'єкт потенційно має різне значення. Це особливо важливо, якщо діапазон значень великий. Якщо кожне значення представлено на карті унікальним символом, і було вибрано відображення точних значень об'єктів на карті, то оцінити ситуацію можна лише при невеликій кількості значень. Використовують класи тільки тоді, коли необхідне швидке зіставлення даних великих територій або карту планується використовувати для громадського обговорення. Класи об'єднують об'єкти з подібними значеннями, привласнюючи їм однаковий символ. Це дозволяє бачити розподіл об'єктів з подібними значеннями. Призначення діапазону класу вкаже такі об'єкти до якого класу вони будуть належати, що, в свою чергу, визначить вигляд карти. Змінюючи класи одних і тих же вихідних даних можна створювати різні карти.

*Пошук закономірностей.* Карта, яка оптимально представляє інформацію, дозволяє порівнювати різні її частини, щоб бачити закономірності розподілу найвищих і найнижчих величин. Візуальне переміщення між мінімумами і максимумами на поверхні дозволяє позначити місця з різкими і плавними змінами і може дати глибше уявлення про зв'язки між ділянками на

місцевості. Аналіз залежностей між місцезонами об'єктів і їхньою величиною часто допомагає зрозуміти як поведуться явища. Зміна величини в межах області може бути різкою або плавною. Карта поверхні розподілу доходу могла б допомогти маркетинговій фірмі визначити області цілеспрямованої реклами. На карті, наприклад, видно, що більшість підприємств має невелике число службовців, виняток становить лише одне. Планувальник транспортної служби хоче знати, де саме розташоване це підприємство.

При узагальненні даних слід звертати увагу на характер областей, що досліджуються оскільки це може впливати на відображення закономірностей. Так, кілька великих областей можуть зіпсувати певні закономірності. І навпаки, використання великої кількості маленьких областей може представити занадто багато місцевих змін, щоб побачити загальні закономірності. Часто подання даних змінюється залежно від рівня узагальнення. Це знаходить своє відображення в видимих закономірностях розподілу. Дані, зібрані для маленьких областей, можуть у підсумку характеризувати і великі області, але не навпаки. Наприклад, якщо відомо кількість учнів середньої школи у кожному кварталі, можна отримати загальну їхню кількість у районі. Але з кількості школярів у районі не можна дізнатися їхню кількість у кожному кварталі району. Щоб дати розгорнуте уявлення про те, що робиться на досліджуваній ділянці місцевості, може знадобитися кілька карт.

### 3. Аналіз щільності об'єктів

Одна з характеристик місцезонами – *щільність (density) розташування об'єктів* на місцевості. Щільність характеризує концентрацію, густину об'єктів на місцевості. Щільність об'єктів на певній території виражається кількістю об'єктів, що припадають на одиницю площі цієї території. Щільність визначається місцем розташування об'єктів відносно території. Просторовими об'єктами, для яких визначають їхню щільність, можуть бути точкові або лінійні об'єкти. Дані належать до однорідної площинної характеристики, найчастіше до гектара або квадратного кілометра. Наприклад, щільність населення міста можна уявити кількістю жителів, що припадають на один квадратний кілометр; щільність дорожньої мережі можна представити кілометрами доріг, що припадають на квадратний кілометр. Щільності об'єктів для різних місць відображаються на картах, що надає можливість оцінити концентрацію об'єктів на місцевості. Карти щільності досить ефективні як для оцінки характеру розташування індивідуальних об'єктів, так і для картографування областей різних розмірів. Відображення щільності особливо актуальне, коли такі області картографування як райони або округи значно змінюються в розмірі. Якщо показати на карті кількість людей на район, у великих районах вийде більша кількість людей, ніж в менших. Насправді при високій щільності населення менші райони можуть мати більшу кількість жителів на квадратний кілометр.

Щільність може характеризувати як розташування об'єктів (наприклад, підприємств), так і числових характеристик об'єктів (наприклад, кількість службовців на кожному підприємстві). Отримані в результаті закономірності можуть бути різними. Склалися два підходи до моделювання щільності об'єктів території:

- моделювання щільності дискретними областями;
- моделювання щільності безперервними полями.

*Моделювання щільності дискретними областями.* Дискретними областями, в яких можуть бути розташовані об'єкти різної щільності, є площинні об'єкти реальності, наприклад, ділянки землі, квартали, зони, адміністративні райони, країни... Вони представляються полігональними об'єктами й розташованими в них точковими або лінійними об'єктами. Значення щільності  $D$  отримують для кожної дискретної області як результат ділення загального числа або узагальненого значення  $V$  точкових або лінійних об'єктів області на площу  $S$  цієї області:  $D=V/S$ . На карті кожна область зафарбовується відповідно до отриманої величини. Таким чином легко виявити області вищої щільності (рис. 7.3.1).



Рис. 7.3.1. Фрагмент карти щільності населення міста по кварталах

Недолік методу моделювання щільності дискретними областями полягає у наступному:

- фіксуючи на карті місце розташування великої кількості об'єктів, важко побачити зміну їх концентрації у різних місцях;
- складно визначити точне місце аномалії.

Можна також використовувати карту, що представляє щільність розташування дискретних об'єктів (людей, дерев, злочинів) шляхом узагальнення окремих об'єктів у будь-яку умовну точку. Кожна точка представлена вказаною кількістю об'єктів, наприклад, 1000 чи 100. Точки розташовані безладно всередині кожної області не відображають фактичного розташування об'єктів. Чим вища концентрація отриманих таким чином точок, тим вище щільність реальних об'єктів у цій області. Відображення на карті щільності у вигляді точкових об'єктів наочніше, ніж проста вказівка величини щільності або відображення кожного об'єкта окремо. Крім того, точки розташовані по всій представленій області полегшують розуміння карти.



Другий підхід полягає в *моделюванні щільності безперервними полями*, які називають "поверхнями щільності". Поверхні щільності відображають безперервне розташування об'єктів. Вони добре відображають місця концентрації точкових або лінійних об'єктів. Карта, що відображає поверхню щільності, дозволяє виміряти концентрацію об'єктів на одиницю площі в будь-якій точці місцевості, точніше зіставляти області або визначати, чи відповідають вони заданим критеріям. Наприклад, точки можуть відображати кількість населення в містах, а потрібно побачити щільність населення в регіоні. За даними перепису населення можна дізнатися число мешканців у кожному місті. Оскільки мешканці кожного міста не живуть усі в одній точці, обчислення щільності дозволить створити поверхню, яка показує теоретичне розташування населення по території. Можна створювати поверхню щільності за окремими точками або лінійними об'єктами, наприклад, дорогами або потоками, які можуть являти собою:

- місця розташування об'єктів (клієнтів, злочинів або колодязів);
- точки мережі спостережень (проби якості води в межах озера), які часто розташовуються регулярно і використовуються для відображення на карті безперервних явищ. Аналіз щільності дозволяє проаналізувати числові показники деяких явищ і їх розташування по всій території. Ці показники вимірюються в кожному місці карти.

Поверхня щільності зазвичай створюється в ГІС як растровий шар. Кожній чарунці такого шару присвоюється значення щільності (наприклад, кількість підприємств на квадратний кілометр). Цей підхід забезпечує найбільш конкретну інформацію, але вимагає великих зусиль для виконання. Щільність можна обчислювати *простим методом або методом ядра*. При обчисленні щільності *простим методом (Simple Density)* підсумовуються значення всіх об'єктів у області пошуку, а потім діляться на розмір області пошуку.

*Обчислення щільності точок.* Поверхня щільності створюється в ГІС як шар растра. Програма обчислює величину щільності для кожної чарунки шару. Щоб створити поверхню щільності точок, програма оцінює область пошуку – оточення навколо центра чарунки. Область пошуку визначає користувач як коло заданого радіуса захоплення. Визначивши кількість об'єктів, які потрапляють в задане оточення, система ділить її на площу заданого оточення. Значення щільності присвоюється поточній чарунці. Чарунці, в радіус захоплення якої не потрапив жоден об'єкт, значення не присвоюється. Потім обчислення переміщується до наступної чарунки і робиться те ж саме. Таким чином, створюється поле чарунок зі значеннями щільності відносно кожної чарунки, сукупність яких і утворює безперервну поверхню (рис. 7.3.2).

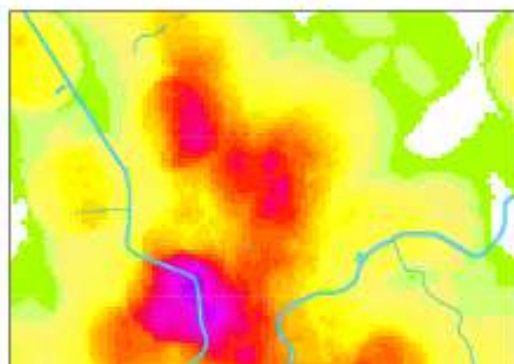


Рис. 7.3.2. Поверхня щільності автотранспорту

Якщо використовуються значення об'єктів замість їхньої кількості, ГІС узагальнює значення всіх об'єктів, що потрапляють в задане оточення, і ділить отримане число на площу оточення. Так, якщо ми будемо карту щільності розподілу службовців, ґрунтуючись на їх кількості на кожному підприємстві, програма розпізнає підприємства, що потрапляють в оточення, і загальне число службовців розділить на площу даного оточення. Якщо необхідно створити поверхню щільності за даними, узагальненими за площею, можна використовувати геометричні центри, або "центри тяжіння" певних областей типу поштових округів, щоб створити поверхню щільності за величинами, привласненими кожній області. Це найкраще працює, якщо ми використовуємо велику кількість рівномірно розподілених точок. Наприклад, ми можемо використовувати центри тяжіння районів, щоб створити поверхню щільності населення. Це дає можливість краще виявити закономірності розподілу на карті без сприйняття щільності по полігонах.

*Обчислення щільності ліній.* Поверхня щільності ліній (рис. 7.3.3) утворюється щільністю лінійних об'єктів у околиці кожної чарунки вихідного растра. Щільність розраховується в одиницях довжини лінійних сегментів на одиницю площі. Поверхні щільності ліній ефективні в аналізі щільності доріг, маршрутів міського транспорту, забезпеченості інженерними комунікаціями території, аналізі впливу видачків на середовище проживання тварин тощо.



Рис.7.3.3. Чарунка растра і коло, що використовуються з метою визначення довжини для щільності ліній

*Створення поверхні щільності методом ядра.* Обчислення щільності методом ядра (Kernel Density) працює аналогічно простому обчисленню, за винятком того, що точки або лінії, що лежать ближче до центру (ядра) області пошуку, отримують для відповідної чарунки растра більше значення ваги, ніж точки або лінії біля краю області пошуку. Метод вагових коефіцієнтів використовує математичну функцію для підвищення значень об'єктів, розташованих ближче до

центру чарунки. Ваги призначаються як близько розташованим об'єктам, так і тим, що знаходяться за межами радіуса захоплення. Кожній чарунці поверхні розраховується і призначається величина (навіть дуже маленька для найвіддаленіших об'єктів). В результаті при згладжуванні враховується велика площа поверхні щільності, а розподіл об'єктів виходить більш гладеньким. У багатьох випадках, використовуючи метод вагових коефіцієнтів, отримують карту, простішу для розуміння.

*Обчислення щільності точок методом ядра.* Методом ядра обчислюється щільність точкових об'єктів навколо кожної чарунки вихідного растра. Згладжені вигнуті поверхні встановлюються над кожною точкою. Значення поверхні буде найбільшим в місці розташування точки; воно зменшується із збільшенням відстані від точки, досягаючи значення 0 при відстані, що дорівнює радіусу пошуку від точки. Об'єм під поверхнею дорівнює значенню області для точки або 1, якщо воно не зазначено. Щільність в кожній чарунці вихідного растра розраховується шляхом складання значень всіх поверхонь ядра, де вони покривають центр растрової чарунки. Збільшення радіуса не буде суттєво змінювати розрахункові значення щільності. Хоча більше точок потрапить у великий радіус, це число буде розділено на велику площу при розрахунку щільності. Основний ефект більшого радіуса в тому, що щільність визначають, враховуючи більшу кількість точок, яка може бути далі від растрового осередку. Це призводить до більш узагальненого растра. Методом ядра може бути обчислена щільність лінійних об'єктів навколо кожної чарунки вихідного растра. Згладжені вигнуті поверхні встановлюються над кожною лінією. Значення поверхні буде найбільшим на лінії; воно зменшується із збільшенням відстані від лінії, досягаючи значення 0 при відстані, що дорівнює радіусу пошуку від точки. Поверхня визначається тим, що обсяг під поверхнею дорівнює добутку довжини лінії і значення поля. Щільність в кожній чарунці вихідного растра розраховується шляхом складання значень всіх поверхонь ядра, де вони покривають центр растрової чарунки.

*Відображення щільності на карті.* Для відображення щільності на карті можна використовувати *кольорові заливки* областей, які ґрунтуються на щільності розподілу величин всередині них або на створені поверхні щільності. Можна відображати поверхню щільності, використовуючи шкалу кольорів або ізолінії. Оскільки кожна чарунка поверхні має унікальну величину щільності, необхідно класифікувати ці значення щоб систематизувати зображення. Можна визначити параметри класів вручну або використовувати можливості ГІС в реалізації стандартних схем класифікації. ГІС надає можливість користувачеві самому визначити кількість класів для розміщення значень щільності. Велика кількість класів нівелює візуальний ефект. Якщо класів занадто багато, тобто більше ніж 15 або близько того, інформації на карті не додається, оскільки кольори починають змішуватися і класи важко розрізняються. Використання малої кількості класів (менше ніж три чи чотири) виявить області з найвищою щільністю, але не зможе відобразити тонкощів розподілу. Поверхні щільності зазвичай відображають у відтінках одного

кольору. Але якщо застосували метод класифікації за середньоквадратичним відхиленням, доречно використовувати відтінки двох кольорів: одного для величин, що нижчі середнього значення, а іншого – для величин, які вище середнього значення. Зазвичай області вищої щільності відображаються темнішими кольорами, бо більшість людей асоціює темніший колір з поняттям "більше". Однак, можна створити ефектну карту, використовуючи світлі кольори для вищої щільності, оскільки людське око переважно тяжіє до світлих, а не до темних областей.

*Використання ізоліній.* Більшість видів програмного забезпечення ГІС, включаючи ArcGIS Desktop, створює ізолінії поверхні автоматично. Ізолінії добре показують інтенсивність зміни поверхні – чим щільніші ізолінії, тим інтенсивніше зміна. Краще вибрати переріз горизонталей, який виявляє закономірності в областях плавної зміни поверхні, не домагаючись адекватного відображення аномальних ділянок. Комбінація ізоліній з кольоровим градуванням поверхні щільності дозволяє користувачеві швидко виявляти області найвищої щільності, а також оцінити інтенсивність зміни.

*Перегляд результатів.* Закономірності відображені на карті частково залежать і від того як створювалася поверхня щільності:

- поверхня щільності може показати як проходить зміна величини в межах області;
- на результат, отриманий за допомогою поверхні щільності, впливає також розподіл вихідних точок; чим більша кількість вихідних точок і рівномірніший їхній розподіл, тим більш надійнішими будуть виявлені закономірності;
- проміжки між вихідними точками можуть слугувати мірою оцінки відображення даних;
- у місці, де з'явилася в результаті аномалії щільність, може зовсім не бути конкретного об'єкта, бо ГІС обчислює величини в межах оточення кожної чарунки;
- при створенні поверхні щільності в процесі інтерполяції даних аномально високі або низькі величини можуть зникати. Все це спрощує і робить наочнішим розподіл, але неминуче відводить від конкретного місця аномалії, тому рекомендується відображати точки розташування вихідних об'єктів або безпосередньо на поверхні щільності, або на окремі карти.

#### **4. Сутність аналізу просторових змін**

Просторові зміни завжди відбуваються зі зміною часу. Тому відповідь на цей запит, поперше, становить спробу визначити зміни, що відбулися у просторі й часі на певній території. В запиті йдеться про просторово-часові зміни (Spatio-temporal changes). Відповідь може також становити спробу визначити тенденції (Trends) цих змін на певній території. Цей тип запиту може включати обидві частини для того щоб визначити, які зміни відбулися в районі дослідження з перебігом часу і якими є тенденції цих змін за вказаний період.

*Цілі аналізу просторових змін.* Виділяють наступні цілі аналізу просторових змін:

- Передбачення майбутніх змін, прийняття рішення про вживання заходів впливу або практичної діяльності. Відображаючи на карті положення рухомих об'єктів у певні моменти часу, можна глибше вникнути у причини їхньої поведінки. Наприклад, метеоролог може вивчати маршрути ураганів для прогнозування їхньої появи в майбутньому.

- Прогнозування майбутніх потреб. Наприклад, керівник поліції може вивчати, яким чином із місяця в місяць змінюється злочинність у різних районах міста, щоб планувати маршрути патрульної служби. Планувальник транспортної мережі може враховувати тенденції зміни дорожнього руху, щоб вчасно підвести додаткові вулиці до швидкісних доріг та магістралей.

- Оцінка ефективності вжитих заходів. Керівник поліції, наприклад, може протягом півроку до та після операції наносити на карту місця затримання розповсюджувачів наркотиків, щоб оцінити ефективність вжитих заходів. Аналітик ринку роздрібної торгівлі може відслідковувати зміни в обсязі продажів до та після рекламної кампанії, оцінюючи ефективність реклами.

ГІС надає можливість відстежувати зміни, показуючи місце розташування та стан об'єктів на кожен момент часу, або розрахувати і відобразити на карті зміни, що відбулися з кожним об'єктом за встановлений період. Зберігаючи і зіставляючи карти різних дат, ГІС може виконувати часовий аналіз. Знання типу зміни й типу досліджуваного об'єкта, а також уявлення про інформацію, яку припускаєте отримати внаслідок аналізу, допоможе прийняти рішення про спосіб відображення змін.

*Аспекти аналізу змін.* Різні дисципліни по-різному розуміють зміни, й, отже, мають різні погляди на компоненти аналізу. При аналізі просторово-часових змін виділяються істотні аспекти, які вимагають однозначного розуміння:

- типи змін;
- типи об'єктів;
- час спостережень;
- масштаб і швидкість зміни.

*Типи змін.* Географічні об'єкти можуть змінювати місце розташування, геометрію або властивості. *Зміна місцеположення.* Відображення на карті зміни місця розташування об'єкта дає можливість визначити закономірності його поведінки та передбачити зміну стану. Наприклад, можна відобразити на карті щомісячні зведення пересування ураганів, щоб відстежити періодичність їхньої появи. Створивши карту сезонних перельотів птахи сапсан, можна визначити масштаби міграції цього виду. *Зміна розмірів або властивостей* об'єкта. Відображення на карті змін розмірів або властивостей об'єкта дає можливість простежити, як змінилися умови в цьому місці. Можлива також зміна типу об'єкта, наприклад, зміна типу рослинного покриву в басейні річки за останні 20 років. *Зміни кількісних показників* об'єкта. Зміни можуть стосуватися

кількісних показників об'єкта, наприклад, приріст кількості населення в кожній області за останні 20 років або сезонні коливання вмісту окису вуглецю в повітрі. Зміни місця розташування не виключають можливості зміни властивостей. Певний чинник може змінити місце розташування і властивості об'єкта в один і той же час. Прикладом може служити ураган, у якому швидкість вітру змінюється залежно від того, над якою поверхнею він пересувається: водою або сушею.

*Типи об'єктів просторових змін.* Знання типу об'єктів просторових змін допомагає визначити найкращий метод відображення зміни, що досліджується. Слід розрізняти два типи об'єктів просторових змін: 1) *рухомі об'єкти*, 2) *об'єкти, що змінюють властивості або розміри*.

*Рухомі об'єкти.* На карті можна відображати фізичні переміщення як дискретних об'єктів, так і просторових явищ. *Дискретні об'єкти:* рух кожного дискретного об'єкта у просторі можна простежити. Якщо це такий точковий об'єкт, як ураган, автомобіль або тварина, є можливість відобразити його маршрут точками за шляхом руху. Якщо це лінійні об'єкти, що змінюють напрямок, наприклад як річкове гирло, то вони змінюють позицію на карті. Зміну форми площинного об'єкта, наприклад, зони пожежі, можна відобразити в будь-який момент часу. Площинні об'єкти часто становлять контур, який розширюється або стискається, наприклад, при розливі нафти, пожежі в лісі чи розвитку міської території. *Просторові явища:* такі події як злочини або землетрус, становлять собою просторові явища, що виникають у різних місцях. Тоді як кожна окрема подія відбувається в одній точці, серія подій може мати просторовий розвиток і відобразитися на карті для того, щоб показати рух явища в часі.

*Об'єкти, що змінюють властивості або розміри:* на карті можна відображати зміни властивостей або розмірів дискретних об'єктів, узагальнених за площею даних, безперервних категорій або безперервних числових значень. *Дискретні об'єкти* можуть змінювати властивості або величину пов'язаної з ними атрибутивної інформації. Прикладами можуть служити ділянки, на яких за десятирічний період змінився характер землекористування, вулиці зі зміною напрямку і швидкості руху протягом доби. *Дані, узагальнені за площею* (це агреговані дані), відсотки або інші кількісні показники, що характеризують сукупність об'єктів, розташованих у межах області, наприклад, щорічна зміна населення області. *Безперервні категорії* відображають тип об'єкта в точці, наприклад, тип рослинного покриву. Вони можуть бути представлені у вигляді областей або поверхні. *Безперервні значення*, це такі безперервні величини як рівні забруднення території, які можуть бути отримані в будь-якій точці поверхні. Зазвичай ці дані вимірюються в таких фіксованих точках, як станції контролю якості повітря, й інтерполюються з метою створення безперервної поверхні.

*Час спостережень.* Як уже зазначалося, просторові зміни завжди відбуваються зі зміною часу. У сучасному розумінні час характеризує загальні та специфічні властивості. До загальних властивостей часу належать: *одномірність, незворотність, спрямованість завжди від минулого до*

*майбутнього, тривалість, яка виражає послідовність існування та зміни стану об'єктів. Специфічними формами часу є конкретні періоди існування об'єктів, одночасність подій, ритм процесів, швидкість зміни станів, темпи розвитку.*

Тривалість утворюється з виниклих один за іншим моментів або періодів часу. Вибір моментів часу, а також виділення часових інтервалів, протягом яких проводяться спостереження, багато в чому визначають процес виявлення просторових закономірностей на карті.

*Моделі часового ряду.* У процесі аналізу використовують *три основні моделі оцінки часових змін.*

- Тенденція – зміна між двома (або більше) моментами часу. Тенденції відображають збільшення або зменшення величини, що досліджується в часі або її просторові зміни.

- Цикл – зміни, що повторюються в певний період часу, наприклад, раз на день, місяць або рік. Цикли показують повторювані закономірності в поведінці об'єктів, які наносяться на карту.

- Стан "до" та "після" – умови, що попередні події й стали його результатом. Відображення на карті умов "до" та "після" події в процесі оцінки наслідків дозволяє спостерігати вплив на цей стан. Можна виявити кожен із зазначених закономірностей у досліджуваному наборі даних. Наприклад, якщо ви оцінюєте рівні двоокису сірки, виміряні щогодини протягом 10 років, можна нанести на карту середньорічні рівні, щоб побачити тенденцію зміни забруднення за роками. Існує також можливість зіставити на карті середньорічні рівні "до" або "після" певної дати, наприклад, дати введення нових регулюючих правил, щоб побачити, який вплив вони чинили. Ці закономірності можна так само виявляти в комплексі. Наприклад, можна показати, як змінилися денні цикли забруднення протягом декількох років.

*Розподіл часу спостереження.* При аналізі змін визначається місце розташування (або параметри) об'єктів у два (чи більше) моменти часу, а також узагальнюються основні параметри об'єкта за певний період або кілька періодів. У цьому випадку необхідно вирішити, скільки моментів часу показати на карті та які інтервали встановити між ними.

*Використання часових зрізів або узагальнень.* Часові зрізи відображають стан процесу в певний момент часу й використовуються для відображення таких постійно мінливих в часі величин як кількість населення, рослинний покрив чи якість повітря. У будь-який момент часу є наявне певне значення цієї величини. Узагальнення використовується для картографування місць дискретних подій, які не є постійними в часі, тобто, у будь-який момент часу подія або відбувається, або не відбувається. Наприклад, можна відображати на карті розташування пожеж, що сталися протягом декількох років (відображення на карті пожеж, що відбуваються в будь-який момент не дасть уявлення про їхній розподіл). Так само можна узагальнити значення безперервного явища протягом заданого періоду часу. Наприклад, узагальнити щоденні дані про

температуру повітря в місті в середньомісячний показник. При узагальненні слід підрахувати кількість подій, що відбулися, знайти суму значень або розрахувати інші статистичні дані. Можна так само узагальнити та відобразити на карті дискретні події в межах встановлених кордонів, наприклад, кількість ударів блискавки поруч із кожною опорою ліній електропостачання під час грози.

*Вибір часової шкали.* Для визначення тенденції зміни необхідно визначити часовий інтервал, кількість часових зрізів і тривалість періоду узагальнення. Тривалість, розділена на кількість часових зрізів, дає інтервал. І навпаки, тривалість, розділена на інтервал, дає кількість часових зрізів. Якщо дані були зібрані тільки на кілька моментів часу, інтервал визначається сам собою. Однак, якщо є низка спостережень, можна вибрати часовий інтервал самостійно. Наприклад, якщо наявна середньорічна кількість населення за областями за 20-річний період, можна показати приріст населення за один, п'ять чи шість років. Для користувачів закономірності будуть більш зрозумілими, якщо використовувати систематичний часовий інтервал. Взагалі, часовий інтервал має бути доволі тривалим, щоб показати відмінність між двома станами, але не пропускати важливої інформації. Наприклад, зміна населення з року в рік може не дуже відрізнятися, але подекадні зміни можуть проявлятися краще. Необхідна кількість використовуваних часових зрізів залежить від характеру змін. Якщо зміни протікають повільно та рівномірно, кілька широко розподілених часових зрізів можуть точно виявити загальну картину. Однак, у цьому випадку є небезпека пропустити важливі зміни, які могли відбутися у проміжках. Наприклад, відображення на карті кількості населення в 1990 і 2010 рр. показує значну зміну між цими датами. Але якщо показати демографічну ситуацію в 1990, 2000 і 2010 рр., можна побачити, що найбільша зміна відбулася якраз між 1990 і 2000 роками. Для відображення на карті циклів необхідно або показати часовий зріз, або узагальнити дані за період, залежно від того й наносити на карту дискретні події або безперервні явища. Що стосується дискретних подій, краще узагальнити їх, ніж використовувати дані на момент часу. Це значно спрощує й полегшує розуміння даних. Для безперервних явищ зручніше використовувати часові зрізи, наприклад, що показують вміст озону в 9 ранку, 3 дня, 9 вечора й 3 ранку. Із іншого боку, можна узагальнити дані за період, наприклад, показати середній вміст озону між 6 годинами ранку та полуднем, полуднем й 6 годинами вечора, і т. д. Узагальнення згладжує екстремальні значення, полегшуючи розуміння основних закономірностей зміни. У іншому випадку може знадобитися організувати цикл. Наприклад, можна розбити добовий цикл на двадцять чотири періоди по одній годині, на чотири періоди по шість годин або два періоди по 12 годин. Таким же чином, річний цикл ділиться на дванадцять місяців або на чотири пори року. Невелика кількість підрозділів добре відображає тенденцію. Однак, чим нестійкіша зміна, тим більше підрозділів необхідно використовувати. Наприклад, якщо наноситься на карту кількість дощових опадів в області, відображення ситуації



за сезонами буде достатнім, оскільки зміна між порами року більш значна, ніж між місяцями. Також буде потрібно вирішувати про тривалість періоду спостережень, тобто, скільки циклів включати в дослідження. Якщо досліджуються наслідки такої катастрофи як ураган або пожежа, краще використовувати часові зрізи, зроблені до та після події. Бажано при цьому вибрати дати як найближчі до події, оскільки, чим довший проміжок часу до події, тим більша кількість чинників може вплинути на результат. Якщо наноситься на карту наслідки поточних подій, корисно буває узагальнити їх за періодами часу. При чому період має бути достатньо довгим, щоб дати можливість побачити результати події або дії.

*Масштаб і швидкість зміни.* При вивченні зміни розмірів або властивостей об'єкта на карті можна відображати масштаб і швидкість зміни. Кількісна оцінка змін краща, ніж просте відображення різночасних обставин з виділенням об'єктів, які зазнали істотних змін.

*Оцінка масштабу зміни.* При кількісній оцінці змін віднімаються різночаснові числові значення, пов'язані з кожним об'єктом. Наприклад, можна відняти кількість населення 2000 року за кожен область з кількістю населення в 2010 році, щоб отримати зміну населення між 2000 і 2010 рр. Можна розрахувати різницю у відсотках, розділивши кінцеве значення на початкове і помноживши на 100. Нанесення на карту відсоткового показника дає можливість оцінити відносні зміни значень об'єктів від їх вихідних величин. Особливо ефективний цей підхід при оцінці змін числової характеристики об'єкта. Наприклад, можна відображати на карті відсоток зміни кількості населення за областями, щоб дізнатися у якій області населення зростає швидше. Области з великою кількістю населення, зазвичай, мають більший абсолютний приріст, але відсоток об'єктивніше відображає дану характеристику. Для оцінки зміни типу або категорії об'єктів додасте площу ділянок кожної категорії на кожен період часу і розрахуєте абсолютну чи відносну різницю між ними.

*Оцінка швидкості зміни.* Специфічною властивістю часу є швидкість зміни станів. Для того щоб оцінити швидкість зміни, різницю між двома різновіковими значеннями потрібно розділити на кількість часу, що розділяє дати вимірювань. Результатом є середня зміна за одиницю часу. Наприклад, можна відняти кількість населення в 1990 р. в кожній області з кількості населення в 2010 р. і розділити це значення на 20 для отримання приросту населення за рік. Це – середнє число за двадцятирічний період, і воно не обов'язково точно характеризує приріст у будь-якому році цього інтервалу. Однак такий спосіб дуже зручний для зіставлення об'єктів. Наприклад, можна нанести на карту швидкість зміни кількості населення в кожній області і побачити де зростання було швидшим, а де повільнішим.

*Підходи до аналізу просторово-часових змін.* Протягом багатьох років дослідники розробили способи оброблення часу в межах структур.

*Один підхід до визначення змін полягає у використанні концепції регіону як сукупності*

невеликих площ. Ранні моделі ГІС-даних були топологічними, а це означає, що вони включають інформацію про такі топологічні властивості як суміжність і зв'язність. Модель покриття була розроблена, щоб представляти розбиття двовимірного простору на непересічні та просторові полігони. Наприклад, у США всі кордони графства, які коли-небудь існували, спочатку картографували, створюючи дуже велику кількість дрібних базових величин. У моделі покриття вони представлені у вигляді набору дуг, кожна дуга визначає межу між двома сусідніми. Карта меж округів часто змінювалася з моменту здобуття незалежності відповідно до того, як нові райони поділяли на округи, межі графств змінювали, а округи поділяли або об'єднували. Округи в будь-який момент часу можуть бути створені заново, обравши дуги, які поділяють штати в цей час, й зібравши їх в області для формування регіонів того часу. Та ж сама концепція основних одиниць часто виникає в обґрунтуванні декількох класифікацій земель, де інтегрованим блоком місцевості визначається площа земельної ділянки, яка є однорідною й суміжною відносно класифікації. Усі оригінальні карти можуть створюватися заново з картою інтегрованих блоків місцевості шляхом зміни відповідних дуг.

*Інший підхід* полягає у відстеженні місць незалежно рухомих об'єктів. Наприклад, сукупність індивідів можна відстежувати за допомогою GPS; їхнє місце розташування буде зареєстрованим на кожний заданий інтервал часу. Подібні методи часто використовуються для відстеження тварин. По суті, цей тип даних дає низку ліній у тривимірному просторі, що утворюються двома просторовими вимірами (за горизонталлю) і часом (вертикально), з обмеженнями, коли кожна лінія перетинає лише один раз будь-який горизонтальний зріз (фіксований час) моделі.

*Третій підхід* подає кожен період часу як простий знімок (здебільшого растр) і зміни в часі як упорядковану послідовність таких знімків. Цей підхід застосовують у галузі дистанційного зондування. Рухомі об'єкти не є частиною знімка, хоча вони могли б бути виявлені за допомогою тієї чи іншої форми оброблення зображення та представлені з використанням відстеження шляху.

*Інструменти аналізу просторово-часових змін.* Програмне забезпечення *ArcGIS 10* пропонує безліч інструментів для роботи з часовими даними: від найпростіших функцій обчислення часових атрибутів до аналізу ситуації в режимі реального часу. Таблиці бази геоданих підтримують будь-яку кількість атрибутивних полів типу *Date* для зберігання інформації про дату початку події, її завершення і тривалість. Спеціальні функції дозволяють обчислювати значення полів типу *Date* відповідно до вимог подальшого аналізу: додавати інтервал до дати (*DateAdd*), повертати інтервал між датами (*DateDiff*) і вказану частину дати (*DatePart*) (наприклад, день року або день тижня). Додаткові інструменти геооброблення розширюють можливості роботи з часовими полями, а також дозволяють конвертувати текстові або числові значення у формат *Date*.

У програмному забезпеченні *ArcGIS 10* для відображення часових даних достатньо у

властивостях шару *ArcMap* (у новій закладці *Час (Time)*) вказати у якому атрибутивному полі зберігається інформація про час подій і задати такі параметри перегляду як швидкість або часовий інтервал.

Для відображення явищ, що мають характер накопичення, наприклад, історії розвитку торговельної мережі, достатньо одного атрибутивного поля – рік відкриття торговельного вузла. Для ілюстрації змінних подій (вогнища, поширення пожеж) використовуються атрибутивні поля початку події та її завершення. Вікно *Time Slider* дозволяє переглядати стан даних на будь-яку дату, переміщуючи повзунок часу, або запускати автоматичний перегляд об'єктів. Відображення тимчасових даних можна здійснювати в циклічному режимі або з накопиченням даних. Швидко і просто налаштування відображення шарів за часовими даними дозволяє підвищувати якість карт, що створюються. Відображення таких даних одразу для декількох шарів карти дозволяє створити комплексну динамічну карту, що описує історію виникнення й розвиток явищ і процесів у просторі та часі. Для підвищення якості, інформативності та наочності карти динамічне відображення застосовується не тільки до просторових об'єктів, але й до каталогів растрів і наборів даних *Мозаїка*, а також до діаграм, заголовка та інших елементів карти. Крім того, динамічні шари, які відображаються за часовими даними, можна публікувати за допомогою *ArcGIS Server* у вигляді картографічних веб-сервісів. Використання в *ArcGIS 10* анімації, а не нової властивості відображення шару з тимчасового атрибута, виправдане в тому випадку, коли необхідно поєднати показ тимчасових змін з такими ефектами, як прозорість, масштабування або кут огляду даних. Наприклад, необхідно показати розвиток транспортної мережі з масштабуванням даних із розширенням межі міста. В *ArcGIS 10* анімація тимчасових даних створюється автоматично за заданими налаштуваннями відображення шару в закладці *Час (Time)*. Інструмент *Capture Keyframe (Кадр захоплення)* дозволяє задати екстенти, за якими буде переміщуватися вид даних під час перегляду анімації, а швидкість переміщення між екстентами задається у вікні *Animation.Manager (Менеджер анімації)*.

Динамічний показ даних, побудований на властивості відображення шарів або анімації, можна експортувати в окремий файл (наприклад, із розширенням *.Avi* або *.Mov*) для подальшої інтеграції з іншими додатками.

У *ArcGIS* додатковий модуль *Tracking Analyst* становить потужний інструмент візуалізації й аналізу низок даних на основі поєднання параметрів часу, місця розташування й атрибутів. За допомогою *Tracking Analyst* можна відображати та вивчати динаміку розвитку різних подій чи явищ, створювати системи спостереження за об'єктами в реальному режимі часу, планувати хід розвитку подій у прив'язці до простору та часу, забезпечувати управління та координацію оперативних дій, здійснювати моніторинг явищ і подій. *Tracking Analyst* дає можливість приймати, відображати та вивчати інформацію про зміну місця розташування об'єктів і подій у різний час.

Події та явища описуються у *Tracking Analyst* набором наступних параметрів:

- час–дата й час події;
- місце розташування – географічне місце розташування події;
- атрибути – специфічні характеристики і властивості події.

Дані у *Tracking Analyst* можуть відображатися як набори окремих точок, у вигляді ліній, полігонів і траєкторій (маршрутів). Кожен шар має свій власний тимчасовий екстент, що визначає обсяг і час відображення конкретних даних. Широкий вибір символів дозволяє по-різному відображати дані залежно від характеристик часу. Для наборів даних з часовими характеристиками можливе комбінування звичайних і тимчасових символів. В залежності від параметра часу символи точкових об'єктів можуть змінювати свій колір, розмір і сам значок символа, лінійні та полігональні символи можуть змінювати тільки колір. Можливе відображення траєкторій переміщення об'єктів. За допомогою широкого спектра включених до *Tracking Analyst* інструментів дані, що мають тимчасовий характер, можуть записуватися у вигляді анімаційних файлів, відображатися на картах у вигляді графіків, інтерактивно програватися, а також аналізуватися. Вони дозволяють відображати щільність просторових подій у часі у вигляді діаграм (даних годин), використовуючи різні методи визначення щільності. Можна задавати різні дії (підсвічування, приховування та поява об'єкта), що ґрунтуються на атрибуті або просторовому взаємозв'язку об'єктів. Встановлюючи часовий зріз, можна одночасно відображати дані про події, які вже відбулися, відбуваються в реальному часі, а також прогнозуються або плануються, "програвати" послідовність зміни цих даних. *Tracking Analyst* дозволяє відображати інформацію, що надходить у реальному часі, наприклад, використовуючи з'єднання з *Tracking Server*. За допомогою цього модуля можна також обробляти раніше отримані часові ряди і проводити історичний аналіз розвитку явищ.

Програмний продукт *Tracking Server* надає набір інструментів для здійснення централізованого моніторингу за пересуванням і зміною стану багатьох об'єктів і явищ у реальному часі. Вирішення таких завдань затребуване в діяльності транспортних підприємств, оборонних відомств, оперативних служб і в багатьох інших сферах. *Tracking Server* є центром збору та передачі інформації, з яким може пов'язуватися широкий спектр користувачів додатків. За допомогою *Tracking Server* можна отримувати, посилати та відображати дані в реальному часі. Для проведення подальшого аналізу *Tracking Server* дозволяє зберігати дані в різних форматах, включаючи *ArcSDE*, персональні бази геоданих або шейп-файли. *Tracking Server* дозволяє легко створювати власний Інтернет-сайт моніторингу (*Tracking Web site*). *Tracking Server* надає рішення для збору й відправки даних з багатьох джерел і форматів як настільних, так і *Web-додатків*. Отримані дані можна зберегти у вигляді файлів або скерувати їх до настільних і *Web-додатків користувачів*. *Web-користувачі*, фактично, є простими *Web-додатками* для картографічного

відображення та оперативного спостереження за поточними змінами. Такі настільні додатки як *ArcGIS Desktop* з додатковим модулем *Tracking Analyst*, дають користувачам потужні можливості для інтеграції тимчасових і просторових (географічних) даних, проведення аналізу даних як у реальному часі, так і певний період часу. *Tracking Server* допомагає здійснювати моніторинг за різними об'єктами або явищами, відстежуючи всі зміни в реальному часі.

Сьогодні широко використовуються також дані відеоспостережень: камери дорожнього руху, спостереження за атмосферними явищами, моніторинг віддалених об'єктів. Відеодані, що мають простори і тимчасові дані, усе частіше стають необхідною частиною комплексного аналізу ситуації. В *ArcGIS 10* є можливість додавати відеодані як шар у підпрограмі *ArcGlobe*. До відео шарів можна застосовувати налаштування прозорості, видимості, а також задавати час початку відображення, тривалість і часовий пояс відеоряду. Суміщення відеос шарів з показом тимчасових даних дозволяє відобразити найбільш повну картину того, що відбувається в певний момент або період часу. *ArcGIS 10* пропонує широкий набір інструментів для роботи з часовими даними, використовуючи які можна повною мірою вивчити як минуле вплинуло на сьогоднішній і змодельовати майбутнє. Візуалізація часових даних дозволяє включати динаміку в карти будь-якої складності: від простої візуалізації розвитку торговельної мережі до складної тривимірної блок-діаграми, відображаючи дані в режимі реального часу.

*Способи відображення просторових змін.* Просторові зміни можна відображати за допомогою: *часових рядів; картографічного стеження; карт кількісної оцінки змін.*

*Створення часових рядів.* Часовий ряд – це набір карт для кожного часового інтервалу або моменту часу, що показують на них розташування або параметри об'єктів. Часові ряди добре відображають зміни в точці простору, у дискретних областях або поверхнях. Оскільки карта складається для кожного часового зрізу, необхідно заздалегідь визначити кількість карт і значущість величин, що відображаються. Часові ряди використовуються щоб показати *зміну місця розташування, розмірів або властивостей об'єкта.*

*Відображення зміни місця розташування об'єкта.* Часові ряди ефективно відображають закономірності руху якщо в аналіз включено безліч окремих об'єктів, наприклад, дзвінки до служби порятунку за певний період. Якщо відобразити дану ситуацію за допомогою карти стеження кількість розрізнених об'єктів на одній карті ускладнить її сприйняття. Часові ряди корисні при відображенні руху невеликої кількості таких великих окремих об'єктів як зона пожежі або розлив нафти, що розвиваються протягом декількох днів. При створенні карти обов'язково необхідно показати й деякі нерухомі об'єкти для прив'язки. Наприклад, при відображенні на карті ДТП необхідно нанести одні й ті ж вулиці міста на всю серію карт.

*Відображення зміни розмірів об'єкта.* Часові ряди, зокрема, добре підходять для відображення зміни розмірів дискретних областей і поверхонь, особливо, якщо зміна істотна.

Якщо ж вони невеликі, більш прийнятною може виявитися кількісна оцінка. Якщо досліджується зміна розмірів або кількості то необхідно класифікувати значення для кожної карти. При цьому необхідно враховувати весь діапазон зміни значень об'єктів на всіх картах. В одних випадках допускається використання для "розбивки" набору унікальних для кожної карти класових діапазонів, вони дозволяють краще розкрити закономірності кожної з них. Хоча це ускладнює швидке розпізнавання змін між картами, оскільки користувачеві доведеться зіставляти зміни однієї й тієї ж величини за різними легендами. Більш традиційний підхід – використання однієї схеми класифікації до всього діапазону даних на всіх картах. Попередньо можна використовувати гістограму для визначення розривів між класами, а потім вручну встановити однакові для всіх карт діапазони. Використання природної "розбивки" дозволяє автоматично групувати дані. Однак, якщо їхні значення змінюються істотно, може виникнути ситуація, коли більшість значень потраплять в один або два класи. Наприклад, кількість населення на картах, що характеризують демографічну ситуацію минулих років, може згрупуватися в нижніх класах, а на більш сучасних – у верхніх. Класифікація "квантиль" із однаковими інтервалами добре зарекомендувала себе стосовно оцінки часових змін. Квантиль дає можливість показати часові зміни порядку ранжирування об'єктів (незважаючи на те, що реальні значення можуть збільшитися або зменшитися в будь-якому класі). Рівні інтервали добре відображають кількісні зміни величин будь-якого класу.

*Відображення зміни властивостей об'єкта.* Досліджуючи зміни властивостей об'єктів можна виявити і зміну їх категорій. Зазвичай таке можливо у випадку накопичення низки історичних даних або інформації, зібраної з різних джерел, які спочатку використовувалися для інших цілей. У цьому випадку також можна використовувати наявні категорії кожної карти або створювати нові, які можна застосувати до всіх карт одночасно. Використання наявних категорій найбільш точно відобразить обстановку на кожній окремій карті, хоча може ускладнити їх зіставлення. Цей підхід застосовується, якщо однотипні категорії на різних картах схожі або мало відрізняються. Якщо відображається кілька категорій, то їх у разі необхідності можна узагальнити в одну. У деяких випадках категорії, розрішені для одного моменту часу, можна легко узагальнити для іншого часового періоду, наприклад, одна карта може показувати різні категорії лісу: сосна, ялина, модрина й так далі, – які можуть бути на іншій карті згруповані в загальну категорію "хвойні ліси".

*Кількість карт, яка необхідна для відображення дійсності.* Якщо наявна кількість карт не достатня для спостережень, необхідно вирішити, якою кількістю карт її краще представити.

Представлення декількох різних за часом карт може полегшити сприйняття. З іншого боку, показ більшої кількості карт близьких за часом може розкрити закономірності, які не відображаються в першому випадку. Достатньо важко оцінювати одночасно більше п'яти-шести карт. Досвід показує, що відображення декількох графічних додатків, зазвичай, задовольняє певні

ВИМОГИ.

*Створення карт стеження.* Карта стеження – окрема карта, що показує розташування об'єктів в заданий момент або інтервал часу. Карта стеження створюється для показу руху дискретної точки, лінійного об'єкта або меж області (рис. 7.4.1) Такий спосіб відображення добре показує поступальний рух окремих об'єктів (таких, як ураган або пожежа) або подій, що мають просторовий розвиток (наприклад, зміна криміногенних зон міста).



Рис. 7.4.1. Траєкторія руху урагану Irene 28.08.2011 р.

*Відображення окремих об'єктів.* Для нанесення на карту переміщень окремих об'єктів, представлених точками, таких як ураган або вантажівка, наноситься положення кожного об'єкта в кожний момент часу. Якщо відстежується поведінка декількох об'єктів то можна позначити їх різними кольорами, якщо аналізується траєкторія руху об'єкта, то викреслюється лінію, що сполучає точки його розташування в кожний момент часу. Чим коротшим часовий інтервал, тим точніше лінія відобразить траєкторію проходження об'єкта. Використання малої кількості вузлових точок або великих інтервалів часу спрощує траєкторію, внаслідок чого дрібні зміни напрямку можуть бути втрачені. Звичайно, зміни властивостей або розмірів об'єкта показують різними кольорами або символами. Для того щоб показати зміни розміру (наприклад, швидкості вітру, урагану), використовують шкалу кольорів або символів. Для того щоб показати ступінь зміни на карту наносять точки через рівні проміжки часу. Наприклад, якщо відображається розташування урагану кожну годину то легко побачити де він набирає швидкість, а де знижував. Швидкість зміни можна визначити, вимірявши довжину лінії, що з'єднує точки розташування об'єкта в кожний момент часу, і розділивши її на минулий час. Відобразити швидкість зміни можна використовуючи під час креслення ліній, шкалу кольорів або символів. Зрозуміло, що цей показник є узагальненим, оскільки об'єкт не обов'язково рухається видимою на карті траєкторією.

*Відображення лінійних об'єктів.* Лінійні об'єкти часто наносять на карту під час оцінки наслідків подій. Прикладами можуть служити дослідження берегової лінії до та після шторму або гирла річки до та після повені. Для відображення руху лінійних об'єктів використовують різні кольори для відображення кожного моменту часу або ж робляться відповідні підписи для кожного

з них. Можна використовувати кольори або символи для того, щоб показати зміни властивостей або величини об'єкта. Наприклад, різними кольорами можна показати зміни берегової лінії до та після шторму, шкалу символів можна використовувати для відображення змін у дорожньому русі до та після реконструкції.

*Відображення безперервних явищ.* Для того щоб показати зміну безперервного явища, що займає певну площу, наприклад, лісової пожежі або розливу нафти, викреслюють межі області на кожний момент часу. Якщо необхідно показати й інші об'єкти, наприклад, чи існував раніше рослинний покрив в області, що охоплена пожежею, досить накреслити лише контури. Для розрахунку зміни площі об'єкта з часом, наприклад, площі, спаленої за годину пожежі, потрібно розділити різницю у площі на час пожежі. Відображаючи на карті зміни площі за рівні проміжки часу можна побачити швидкість зміни. Наприклад, якщо нанести на карту межі пожежі кожні шість годин, то можна бачити де і в який бік змінюється швидкість руху вогню.

*Відображення подій.* Щоб показати тенденцію в розвитку якогось явища, представленого дискретними подіями, використовують різні кольори для кожного періоду часу. Наприклад, можна відображати на карті однотипні захворювання, певними кольорами за місяцями їхньої реєстрації, щоб оцінити їх щомісячну кількість. Таким чином, можна з'ясувати переміщення зони захворювання. Щоб оцінити наслідки якої-небудь події, відображають події, які виникли до потрібної дати, одним кольором, а події, що відбулися після – іншим. Наприклад, нанести місця пориву інженерних комунікацій на певній території одним кольором, а пориви після ремонту – іншим кольором, щоб побачити як діяльність, що пов'язана з ремонтом комунікацій змінила свій напрямок. Щоб показати циклічність змін, відображаються події кольором, що відповідають певному періоду, коли вони відбулися. Наприклад, показують дзвінки до служби порятунку кольором, який відповідає часу доби, коли вони були зроблені: уранці, удень, увечері або уночі. Однак слід пам'ятати, що відображення більш ніж шести періодів на карті робить її важкою для сприйняття. За наявності декількох подій в одній точці використовується процентна діаграма, щоб показати закономірність протягом періоду реєстрації.

*Відображення кількісної оцінки змін.* Кількісна оцінка змін полягає в отриманні різниці різночасових значень. Карта кількісної оцінки змін відображає об'єкти відповідно до різниці значень, що отримуються в початковий та кінцевий момент часу. Нанесення на карту кількісних змін проводиться з метою відображення величини, процентного відношення, ступеня зміни об'єкта або швидкості зміни. Кількісну оцінку змін можна виконати для дискретних об'єктів, результатів узагальнення за площею, а також безперервних категорій або числових значень.

*Відображення змін дискретних об'єктів.* При аналізі дискретних об'єктів отримані в підсумку значення зберігаються в таблиці даних шару за принципом: одне значення для початкового моменту часу й одне – для кінцевого. Початкове значення віднімається від кінцевого



значення і різниця записується в новий стовпчик таблиці. Якщо вимірювання проводяться у фіксованих точках, можна використовувати для представлення змін точкові символи. Окремі об'єкти зручно відображати різними кольорами або символами, що відповідають величині розрахованих значень. Зміна параметрів лінійного об'єкта проходить за його довжиною. Наприклад, інтенсивність руху змінюється за довжиною дороги, концентрація забруднювача – за довжиною річки. У таких випадках для відображення величини зміни зручно використовувати шкалу лінійних символів. Для площинних об'єктів, таких як ділянки землі, використовують шкалу кольорів, яка відповідає величині змін. Наприклад, при відображенні на карті відносної зміни оцінкової вартості кожної ділянки землі, використання градації кольорів допомагає зрозуміти у якому районі дані зміни проходили більш інтенсивно.

*Відображення змін даних, узагальнених за площею.* Оцінка зміни даних, узагальнених за площею, нічим не відрізняється від аналогічної оцінки дискретних об'єктів. Відображені на карті значення також зберігаються в таблиці даних шару. Початкове значення віднімається від кінцевого, при цьому записується різниця в новий стовпчик таблиці. Наприклад, при розрахунку змін кількості населення в кожному районі в період від 1990 р. до 2010 р. кількість населення в 1990 р. вираховується з кількості населення в 2010 р. Щоб побачити, який район мав більший відносний приріст, розраховується процентна зміна кількості населення. Щоб показати зміни одразу для декількох моментів часу можна створити графік тренду для кожного району або одразу для всіх районів. Такий графік потім виноситься в легенду. Таким чином, можна показати зміну кількості населення районів через кожні п'ять років з 1990 по 2010 рр. У деяких випадках внаслідок аналізу деякі об'єкти можуть отримати негативні значення приросту. Наприклад, населення в деяких районах може зменшитися. У цьому випадку при створенні карти можна встановити діапазон і символи класу таким чином, що негативні значення позначені на карті одним кольором, а позитивні – іншим, бажано контрастним. Користувачі карти зможуть швидко побачити, де значення зменшилися, а де – збільшилися.

*Відображення змін безперервних категорій або класів.* Розрахунок змін для таких безперервних категорій як рослинний покрив, має на увазі зіставлення декількох шарів, кожен з яких представляє свій момент часу. Для того щоб розрахувати зміни в категоріях або класах безперервних величин, можна нанести на карту тільки ті області, які зазнали змін, розрахувати зміни площі кожної категорії і показати результат у формі таблиці або діаграми. Створення карти площинних змін виконується з використанням як векторних, так і растрових даних. Використовуючи векторні дані методом накладання створюється новий шар, що містить коди вихідних дат. Потім обираєте ті об'єкти, для яких коди не співпадають. Використовуючи растрові дані, створюється новий шар шляхом зіставлення значень комірок двох вихідних шарів. Розрахунок площинної зміни категорій включає одержання суми площ, які займає кожна категорія

на кожний момент часу. Потім, зв'язавши таблиці за кодом категорії, оцінюють часові зміни площі кожної категорії й заносять їх у новий стовпчик. Можна так само розрахувати відносні зміни у процентах. Цей метод не потребує створення нового шару, що відображає площинні зміни, тому потрібно створити таблицю або діаграму, щоб проілюструвати винесену на карту інформацію. Для розрахунку відносної зміни площі категорії можна використовувати як векторні, так і растрові дані. При використанні векторних даних порівнюється два шари. Потім створюєте таблицю частоти, заносючи до неї коди категорій на кожний момент часу і додаєте відповідні площі. Як наслідок з'явиться таблиця, яка показує площинні зміни кожної комбінації початкових і подальших категорій. Після цього кожній комбінації присвоюється своє значення, таблиця частоти з'єднується з таблицею даних шару, і кожний район відбивається на карті відповідно до нового коду. При використанні растрових даних ГІС порівнює два вихідні шари і створює матрицю, що містить комбінацію початкового й кінцевого кодів у кожному осередку області. На карті кожній чарунці призначається колір відповідно до заданої комбінації. Найбільша кількість комбінацій, які рекомендується виносити на карту одночасно – шість. У деяких випадках можна виявити, що параметри категорій за досліджуваній період змінилися, особливо, якщо маємо справу з історично близькими даними або з даними, які спочатку призначалися для інших цілей. У цьому випадку можна використовувати існуючі категорії або ж створити нові, які враховують особливості обох часових зрізів.

*Відображення змін безперервних даних.* Може виникнути необхідність визначити зміни в безперервних даних, що сталися за певний час. Це можуть бути карти щільності, що відображають, наприклад, щільність злочинів на квадратний кілометр, чи вартість поверхні землі за квадратний метр. Або це можуть бути такі інтерпольовані значення, як розподіл концентрації забруднювача в повітрі за площею, отриманий за даними пунктів відбору проб. Для створення карти змін між двома поверхнями віднімаються дані шари. ГІС розраховує різницю між кожною коміркою першого шару й відповідного осередку другого. Отримана внаслідок карта показує розподіл інтенсивності змін за площею.

*Вибір методу відображення змін.* При виборі методу відображення змін можна враховувати наступні рекомендації:

1. використовувати часові ряди, якщо показується рух або зміна властивостей об'єкта протягом двох або більше часових відрізків;
2. використовувати карти стеження, якщо показується рух об'єкта між двома або більше моментами часу або відображається періодичність зміни;
3. кількісну оцінку змін використовуйте тоді, коли показуються чисельні відмінності в параметрах об'єкта між двома моментами часу.

## 5. Розуміння та аналіз просторових патернів

*Патерн* – багатозначний термін, значення якого варіюється залежно від галузі знань. Слово "pattern" означає: зразок, модель, шаблон, форма, система, структура, схема, картина, розподіл. У контексті найважливішої задачі ГІС-аналізу – отримання знання про відносини об'єктів у просторі – для терміна "просторовий патерн" у багатьох випадках доцільно використовувати значення "просторова структура". Термін "структура" походить від латинського structure – будова, розташування, порядок. Структура – сукупність стійких зв'язків системи, яка забезпечує її цілісність і подібність до самої себе, тобто збереження основних властивостей при різних зовнішніх і внутрішніх змінах. Структура – це стійка форма зв'язків між елементами системи. У низці випадків термін "просторовий патерн" асоціюється з "формою просторового розподілу" об'єктів, порядком, системою розташування, розміщення географічних об'єктів на місцевості. У просторовому аналізі виконується процес пошуку, становлення й пояснення географічних структур. Унаслідок процесу описуються й порівнюються просторові структури різних місць. При цьому особливо значущими є два аспекти:

1. Який зв'язок між двома або кількома наборами даних, що займають теж місце. Наприклад, можна побачити безпосередній зв'язок між висотами різних регіонів і кількістю опадів, які випадають в них.

2. Усі географічні явища різняться за своєю інтенсивністю у просторі. Наприклад, розглянемо коефіцієнти народжуваності по всій території окремої країни. В одних районах народжуваність висока, а в інших – низька. Щоб відповісти на це питання повністю, маємо описати й пояснити ці структури.

Виділення просторових структур – це складне питання, що вимагає застосування арсеналу потужних засобів просторового аналізу. Виділення структури об'єкта – найважливіший складник вивчення об'єкта як системи. Основні кроки виділення структури наступні:

- виділення безлічі елементів системи;
- визначення просторових розташувань елементів простору;
- виділення зв'язків (відносин) між елементами, які є інваріантними за певних змін системи.

Вивчення просторових патернів має на меті знаходити певні закономірності в розташуванні об'єктів і причини такого розташування останніх. При виконанні аналізу необхідно визначити:

- територіальне охоплення;
- форму розташування, розподілу об'єктів;
- типи просторових відносин з іншими об'єктами;
- визначають просторові відносини;
- кількісні та якісні значення зв'язків;

- статистичні характеристики структур;
- причини розташування об'єктів.

Слід також зазначити, що зміст аналізу визначається предметною галузю й методами самого аналізу. Аналіз просторових патернів відіграє важливу роль у вирішенні задач у багатьох сферах. Спектр галузей застосування досить широкий: містобудування, земельні ресурси, транспортні системи, торгівля, сільське господарство, демографія, навколишнє середовище, корисні копалини, охорона здоров'я, тваринний і рослинний світ. В одних випадках географічні змінні відображаються у вигляді патернів точок, патернів ліній або патернів районів. В інших випадках патерни становлять безперервний розподіл змінних по області дослідження. Аналіз просторових патернів має відповідну специфіку в разі подання:

1. дискретних географічних об'єктів (точкових, лінійних і полігональних);
2. безперервних явищ (полів).

*Види просторового розташування точкових об'єктів.* Найбільш поширені методи аналізу просторових розподілів застосовуються до патернів точкових об'єктів. Багато точкових об'єктів реального світу зустрічаються у великих кількостях: міста у країні, будинки в місті, тварини на природі, природні області в державі, дерева в лісі, навіть рослини в саду зустрічаються не поодиноці. Не всі вони розподілені рівномірно в межах цих областей. Кожен набір об'єктів має певне просторове розміщення (pattern). Можна помітити, що за особливостями цього просторового розміщення стоять певні процеси, що визначають їх. При вивченні відображення сукупності об'єктів однієї категорії на карті можуть бути виділені наступні види розташування об'єктів (рис.7.5.1):

- а) згруповане (кластерне) розташування (clustered distribution);
- б) однорідне розташування (regular, uniform, dispersed distribution);
- в) випадкове розташування (random distribution).

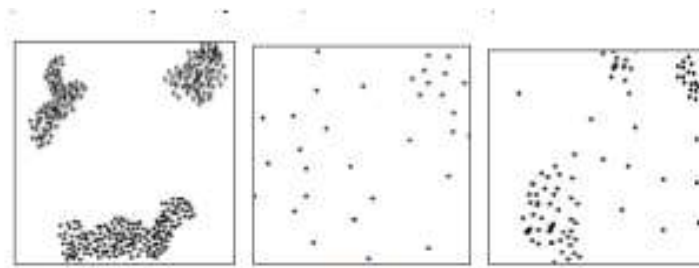


Рис. 7.5.1. Картини точкових розподілів: а) згруповане, б) однорідне, в) випадкове

У випадку а) розташування точкових об'єктів за галузями дослідження має кластерний патерн (clustered pattern) – об'єкти розташовуються групами, збираються в тісні групи. Точки можуть становити ділянки економічної діяльності (роздрібної торгівлі та сервісних функцій), які

часто групуються навколо таких місць з високою доступністю й високим потенційним прибутком як вулиці загальноміського значення.

У випадку б) розташування точкових об'єктів за галузями дослідження має однорідний патерн (dispersed pattern) – об'єкти перебувають на однаковій відстані один від одного. Розподіл є рівномірним (uniform distribution), кількість точок на одиницю площі в кожній малій підобласті така ж як і в будь-якій іншій підобласті. Безліч точок, рівномірно розподілених на всій досліджуваній території, свідчить про систематичний просторовий процес розташування. Якщо точки розташовані у вузлах сітки, розділені однаковими інтервалами по всій області, то рівномірний розподіл називається регулярним (regular distribution), подібно до розглянутої раніше регулярної сітки відбору точок даних на поверхні. Модель має регулярний тип просторової організації.

У випадку в) розташування точкових об'єктів за галузями дослідження має випадковий патерн (random pattern) – об'єкти однаково можуть перебувати в будь-якому місці. Просторові структури мають випадковий характер, відсутність домінуючої тенденції або кластеризації, або дисперсії. Патерн випадково розподілених точок у просторі логічно припускає, що для його створення працює процес просторово випадкових подій (пуассонівський процес). Виявлення закономірностей частково залежить і від масштабу карти. Збільшуючи або зменшуючи масштаб, можна побачити нові залежності, нерозрізнені раніше.

*Методи аналізу точкових патернів.* Розташування точкових об'єктів може утворювати різні проміжні структури (рис. 7.5.2) від кластерного до дисперсного розподілу. Для категоризації точкових патернів, для порівняння різних структур розташування точкових об'єктів потрібен просторовий аналіз точкових патернів.

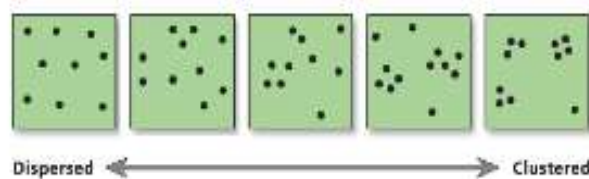


Рис. 7.5.2. Варіанти розташування точкових об'єктів

Сьогодні набули поширення наступні методи аналізу точкових патернів:

- аналіз щільності;
- аналіз найближчого сусіда;
- аналіз квадратів;
- аналіз полігонів Тіссена.

*Аналіз щільності.* Найпростішим мірилом точкового розподілу є щільність (density) точок.

Вона визначається внаслідок ділення кількості точок на загальну площу на якій вони розташовані. Щільність населення, забудови, дерев і т. д. широко використовуються в якості мірил компактності точок. Порівнюючи щільності подібних об'єктів у різних галузях, можна порівнювати механізми, які діють у цих сферах. При порівнянні точки в тому ж місці, але в різні моменти часу, можна побачити зміни щільності в часі. Наприклад, можна виявити, що щільність населення в міській місцевості змінюється із змінами щільності забудови, або що щільність дерев знижується із їх розвитком і зростанням конкуренції за простір і сонячне світло. Навіть цей простий статистичний показник легко вираховується на растрових і векторних даних та може дати безліч корисних ідей.

*Аналіз найближчого сусіда.* Локальні відносини всередині пар точок найчастіше визначаються методом аналізу точкових розподілів, який називають аналізом найближчого сусіда (nearest neighbor analysis). В основу методу покладено процедуру визначення евклідової відстані від кожної точки до її найближчого сусіда (ВНС) і порівняння цієї величини із середньою відстанню між сусідами. Обчислення цього статистичного показника включає визначення середньої ВНС серед усіх можливих пар точок, що близько лежать (такі точки визначаються як найближчі до обраної точки). Середня ВНС дає міру розрідженості точок у розподілі. Це цінно само по собі, оскільки в деяких випадках точкові об'єкти можуть конфліктувати, якщо вони розташовані дуже близько один до одного. Наприклад, відомо, що багатьом тваринам потрібен певний життєвий простір, і коли він перетинається з простором іншого представника того ж виду можливий конфлікт. Середню ВНС можна порівняти з трьома можливими розподілами: випадковим, регулярним і кластерним. Для кожного з цих випадків обчислюється індекс, із яким можна порівняти результати:

- для критерія випадкового розподілу індекс розподілу обчислюється шляхом ділення одиниці на подвоєний квадратний корінь з щільності точок  $D$  (Density):  $R = 1/2 \sqrt{D}$ ;
- для критерія максимальної неуважності (dispersion) індекс розподілу обчислюється шляхом ділення 1.07453 на квадратний корінь з щільності точок:  $R = 1,07453 / \sqrt{D}$ ;
- для критерія максимального групування (абсолютно кластерний патерн), коли точки розташовані біля іншої, мінімальне значення індексу розподілу завжди дорівнює нулю.

Існують також і інші методи визначення кластеризації, засновані на інших статистичних показниках.

*Аналіз квадратів.* Набір квадратів, або квадратних чарунків, накладається на досліджувану територію і визначається кількість точок у кожному чарунку. При цьому важливим є вибір розміру чарунки. Різні розміри чарунки відображають різні рівні середньої частоти точок і дисперсії (рис. 7.5.3).

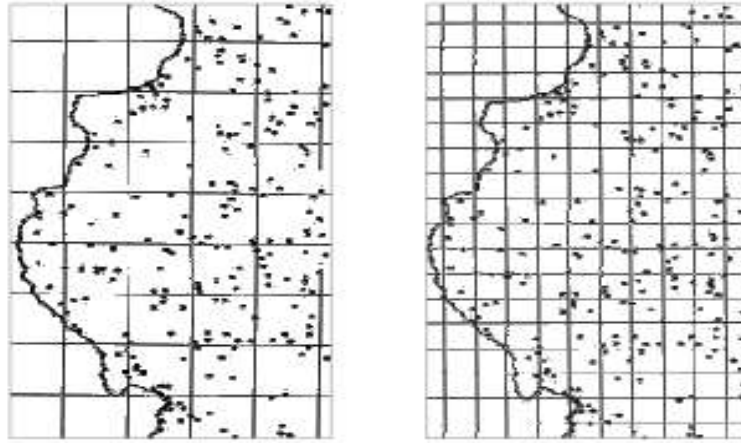


Рис. 7.5.3. Різні розміри чарунок території, що досліджується

У методі *аналіз квадратів (Quadrat Analysis)* підраховується варіабельність (variability), мінливість у кількості точок на осередок. Поширений метод аналізу дискретних зоологічних і агрономічних даних опирається на рівномірність точкового розподілу. Точками тут можуть бути окремі рослини, мурашники й т. д. Якщо кожний квадрат містить приблизно однакову кількість точок, то розподіл рівномірний. Якщо розподіл дійсно рівномірний, то припускається, що немає істотного механізму, який керує розташуванням об'єктів. У стандартному методі аналізу квадратів для рівномірного розподілу передбачається, що приблизно одна й та ж кількість об'єктів перебуватиме в кожній підобласті, дорівнюватиме кількості об'єктів, поділених на кількість підобластей.

Хоча цей метод може вважатися суто статистичним, він може бути реалізований у деяких ГІС, особливо в растрових. Як і раніше, результати аналізу вказують на те, що якщо розподіл не є статистично випадковим (тобто він є або рівномірний, або кластерний), то можна спробувати визначити можливу причину, розумно вибравши набір показників для порівняння з точковим покриттям. Наприклад, рівномірність розподілу може бути регулярною як плодіві дерева в саду, або випадковою, що більш властиво деревам у лісі. У першому випадку в кожній підобласті зустрічатиметься однакова кількість точок, у другому випадку ця кількість буде різною.

*Аналіз полігонів Тіссена.* Точкові розподіли можуть також характеризуватися за допомогою полігонів Тіссена, діаграм Діріхле та діаграм Вороного. Вони засновані на ідеї, що можна наростити полігони навколо точок, щоб показати їх можливі зони впливу на інші точки покриття. Кожна точка оточена одиночним неправильним багатокутником. Багатокутник має одну важливу властивість – будь-яка точка всередині нього розташована ближче до окресленої точки, ніж будь-яка інша точка покриття. І навпаки, кожна точка поза полігоном ближча до деякої іншої, ніж до окресленої. Іншими словами, межа кожного полігону дає навколишній точці найменшу можливу область впливу. Кожна точка покриття буде мати власний полігон Тіссена (рис. 7.5.4), що показуватиме область виключно її впливу.

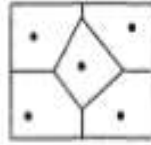


Рис. 7.5.4. Полігони Тіссена

Аналіз точкового розподілу можна виконати за статистичними характеристиками площ для полігонів Тіссена. Наприклад, при роботі з моделлю гравітації можна вважати, що між точками діють сили тяжіння. До того ж, розмір точки, наприклад, міста, часто безпосередньо пов'язаний із силою такого впливу. Більшість випадків застосування полігонів Тіссена пов'язане з визначенням впливу точкових даних, що становлять торгові центри, фабрики чи інші об'єкти економіки. Якщо змінюється положення спільної межі суміжних полігонів залежно від розміру або іншого параметра окреслюваних ними точок, то отримане розбиття ще краще уявлятиме реальний вплив об'єктів на навколишній простір. Маючи таку інформацію, фахівець з економічного розміщення може визначити, наприклад, яка частина населення міста (на основі близькості), швидше за все, буде регулярно відвідувати планований торговий центр. Полігони Тіссена використовується не тільки в економічній географії, але й, наприклад, при виявленні просторових розподілів рослинності.

*Аналіз просторових відносин з іншими об'єктами.* Закономірності розташування об'єктів однієї категорії, виявлені на карті, часто визначаються просторовими відносинами з іншими об'єктами. Об'єкти певної категорії можна згрупувати відповідно до об'єктів іншої категорії у вигляді:

- лінійного розташування – розташування об'єктів має лінійну форму;
- прикордонного розташування – об'єкти розташовані біля меж полігональних об'єктів;
- концентрованого розташування – розташування об'єктів відносно центру тяжіння.

Прикладами можуть бути пункти роздрібною продажу, банки й підприємства сфери обслуговування згруповані вздовж головних магістралей та місць перетину вулиць. Або, наприклад, розташування шкіл щодо житлових районів. Можна знайти пояснення побаченим закономірностям, ґрунтуючись на відомому уявленні про це місце або подібні місця. Наприклад, карта міста показує, що структури багатьох міст подібні. Центральна частина – громадська, ділова, комерційна зона; прилегла до неї частина – промислова; далі – багатосімейні житлові будинки, на околицях – приватні житлові будинки; потім – сільгоспугіддя. Така закономірність розвитку характерна для більшості міст. Закономірності, виявлені на карті, можуть пояснити, чому предмети розташовані там де розташовані. Наприклад, спостерігається добре виражена закономірність розподілу рослинних формацій, пов'язана з впливом висот рельєфу на умови росту різних видів рослинності (рис. 7.5.5).



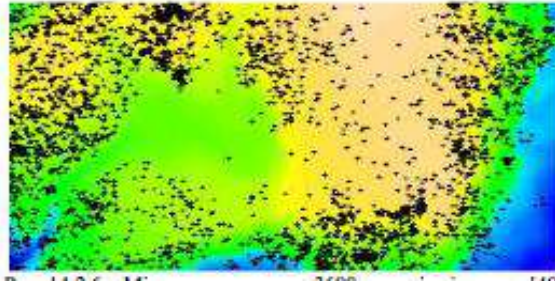


Рис. 7.5.5. Місцерозташування 3600 дерев і гряд висот

Розглядаючи карту, можна просто відстежувати одночасно декілька залежностей. Однак, з'ясувати, чи є приховані закономірності в розподілі даних або визначити їх значущість, можна тільки з використанням статистики, яка дозволяє кількісно оцінити зв'язки між об'єктами.

## 6. Просторова залежність і просторова автокореляція

Поверхня Землі видається майже неймовірною різноманітністю – від пейзажів Тібетського плато до пустель Австралії та міських проблем Лондона або Токіо. Не зважаючи на просторові неоднорідності, будь-хто, вивчаючи поверхню Землі докладно, буде вражений тим, що умови здебільшого зберігаються локально, і що не можна розділити поверхню на регіони, які демонструють істотну внутрішню подібність. Наприклад, пустельні райони характеризуються відсутністю опадів, вологі тропічні ліси – рясними опадами та густою рослинністю, а полярні регіони – сильним холодом. Умови у близьких точках не становлять незалежного зразка; замість цього вони показують чудові рівні взаємозалежності. Звичайно, є винятки, коли умови змінюються дуже швидко на коротких відстанях, наприклад, між рівнинами Індії й високими Гімалаями, чи між прибережними та суміжними з океаном рівнинами. Загальний термін для позначення цього явища – просторова залежність. Просторова залежність є ключовою концепцією для розуміння й аналізу патернів просторових явищ. Просторова залежність присутня в кожному напрямку. Вона стає слабшою збільшенням дисперсії в даних локалізації.

Узагальнюючи можна сказати, що більшість об'єктів, природних чи соціальних, пов'язані відносинами, які залежать від відстані. Якщо виявляються забруднення навколишнього середовища на певному місці в озері, достатньо ймовірно, що поблизу цього зразка розташовані також забруднені місця. Або, що присутність дорослого дерева гальмує розвиток інших, таким чином гальмування зменшується з відстанню, і за межами певного радіусу будуть знайдені інші великі дерева.

*Просторова автокореляція.* Величину просторової залежності можна виміряти за допомогою низки статистичних даних про просторову автокореляцію. Термін "просторова автокореляція" походить від статистичної концепції кореляції, що використовується для

вимірювання відносин між двома випадковими величинами. Прийменник "auto" означає, що вимірювання кореляції проводиться з тією ж самою випадковою величиною в різних місцях у просторі. Якщо є систематичний характер у просторовому розподілі змінної, його можна пов'язувати з просторовою автокореляцією. Вважається, що в часових даних наявна серійна автокореляція, коли близькі за часом значення більш схожі одне на одного, ніж далеко віддалені одне від одного в часі. У просторових же даних існує просторова автокореляція, якщо виміряні поблизу одне від одного значення більш схожі, ніж далеко рознесені у просторі. Можна виміряти подібність або відмінність будь-якої пари сусідніх полігонів або полігонів у межах цього району. Подібності та відмінності наводяться для всієї просторової структури, вимірюючи величину просторової автокореляції чи просторової залежності.

Ступінь просторової автокореляції залежить від структури розташування у просторі різних полігонів:

- якщо суміжні полігони, що розташовані поблизу більш подібні або мають близькі значення, має місце позитивна (сильна) просторова автокореляція, яка формує кластерний патерн;
- якщо суміжні полігони, що розташовані поблизу не подібні або не мають близьких значень, наявна негативна (слабка) просторова автокореляція, яка формує дисперсний патерн;
- якщо немає систематичного характеру у просторовому розподілі змінної, просторова автокореляція дуже мала або взагалі відсутня, просторовий розподіл полігонів становить випадковий патерн.

Більшість статистик ґрунтується на припущенні, що значення спостережень у кожному зразку незалежні один від одного. Позитивна просторова автокореляція може порушити це, якщо зразки були взяті з прилеглих областей. *Визначення просторової автокореляції має такі цілі: 1) виміряти силу просторової автокореляції за картою, 2) перевірити припущення про незалежність або випадковість.* Просторова автокореляція як концептуально, так і емпірично двовимірний еквівалент надмірності. Вона визначає екстент у якому відбувається подія, яка укладена в полігональну одиницю або яка робить більш імовірним настання події в сусідніх полігональних одиницях.

У ГІС просторова автокореляція використовується для статистичного описового вимірювання як значення атрибута географічно пов'язаних об'єктів, що змінюється залежно від відстаней і напрямків між ними. Для оцінки просторової автокореляції використовують різні показники; усі вони засновані на тій же ідеї: перевірити як просторова залежність змінюється шляхом порівняння значень зразка і його сусідів.

Поширення знаходять в наступних засобах статистики просторової автокореляції:

- матриця близькості (Proximity matrix) – для даних відносин і інтервальних даних;

- статистика з'єднань (Join Counts Statistic) – для бінарних номінальних даних;
- індекс  $I$  Морана (Moran's  $I$ ) – для інтервальних або відносних даних;
- коефіцієнт  $C$  Гірі (Geary's  $C$ ) – для інтервальних або відносних даних.

*Матриця близькості полігонів.* Матриця близькості полігонів створюється на підставі простих характеристик розташування полігонів – мір близькості полігонів. Для побудови матриці близькості в якості елементів використовуються наступні міри близькості розташування полігонів: *найближчий сусід, найближчий центроїд, найближча відстань.*

- Найближчий сусід. Для полігона  $X$  розрізняють сусідів першого порядку (у напрямку ходів тури в шахах) та сусідів високого порядку (у напрямку ходів королеви в шахах).

- Найближчий центроїд. Є кілька способів виміряти відстань між будь-якими двома полігонами. Поширеною практикою є використання центроїда багатокутника, що становить полігон. Існують різні способи визначення центроїда полігона. Взагалі форма полігона впливає на розташування його центра тяжіння. Полігони незвичайної форми можуть генерувати центроїди, розташовані в небажаних місцях.

- Найближча відстань. Один зі способів визначити відстань між будь-якими двома об'єктами залежно від відстані їхніх найближчих частин. Особлива ситуація з відстанню найближчих частин складається, коли два об'єкти знаходяться поряд і відстань між двома об'єктами дорівнює 0.

За елементами в матрицях близькості часто визначають вагу при розрахунку просторової статистики автокореляції або у просторових моделях регресії. У таких випадках матрицю близькості полігонів можна використати для визначення вагової матриці.

*Статистика з'єднань.* При роботі з полігональними покриттями можна створювати бінарні карти (binary maps), на яких є тільки дві категорії полігонів, що характеризують певний показник як хороший чи поганий для шуканого рішення. Наприклад, можуть бути погані й хороші ґрунти для просапних культур, хороші й погані ухили для будівництва, хороші й погані аспекти для встановлення сонячних батарей. Можливість визначення розподілів деяких з цих показників може бути корисною, тому що необхідно розміщувати будинки, рослини або сонячні батареї однією великою групою (що характерно для кластерних розподілів), а не розрізнено. Виявлення розподілу таких об'єктів певної галузі як розмиті поверхні. Прості заходи розташування полігонів в найближчому осередку визначаються як умова контакту полігональних об'єктів один з одним, але вони не дають уявлення про патерни утворені цими полігонами. Для цього застосовується статистичний показник – статистика з'єднань (Join counts). В цьому випадку: з'єднання – це загальна межа двох суміжних полігонів. Статистика з'єднань підраховує кількість з'єднань у полігональному розподілі та характеризує структуру з'єднань кожного покриття. Статистика з'єднань не пов'язана тільки з бінарними картами, але вони краще ілюструють покриття, і відносно просто перейти від багатокатегоріальних карт до бінарних (що є звичайною практикою),

розглянемо тільки випадки бінарних полігональних карт.

*Індекс I Морана.* Статистичний індекс I Морана (Moran's I), розроблений Патріком Мораном (Patrick AP Moran) в 1950, залишається де-факто стандартом міри просторової автокореляції. Просторова автокореляція – характеристика кореляції між суміжними місцями у просторі. Просторова автокореляція є комплексною порівняно з одномірною кореляцією, оскільки остання кореляція багатовимірна (тобто 2 або 3 вимірювання у просторі) і багатоспрямована. Індекс I Морана – міра глобальної просторової автокореляції. Значення індексу I Морана перебувають у діапазоні від  $-1$  до  $+1$ . Негативні значення вказують на негативну просторову автокореляцію; позитивні значення – на позитивну просторову автокореляцію. Нульове значення вказує на випадковий просторовий патерн.

*Коефіцієнт C Гирі.* Коефіцієнт C Гирі (Geary's C) – міра локальної просторової автокореляції. Ця статистика була розвинена Роєм Гирі (Roy C. Geary). Значення коефіцієнта C Гирі перебуває у діапазоні від 0 до 2. Нуль означає відсутність просторової автокореляції. Значення менше 1 вказують на позитивну просторову автокореляцію. При  $C = 0$  має місце ідеальна позитивна просторова кореляція. Значення більше 1 свідчать про негативну просторову кореляцію. При  $C = 2$  має місце ідеальна негативна просторова кореляція.

*Індекс I Морана зворотний коефіцієнту C Гирі,* але не ідентичний. Індекс Морана застосовується для більш глобальних показників у той час, як коефіцієнт Гирі більш чутливий до відмінностей у невеликому радіусі.

## **7. Аналіз просторових патернів безперервних явищ**

*Безперервні явища,* або поля (continuous field), характеризують територію в цілому, а не окремі об'єкти. Безперервними є фізичні та соціоекономічні явища, наприклад, поверхні, опади, температура, тиск, щільність населення, які можуть вимірюватися в будь-якому місці території і характеризувати її в цілому. Безперервність явищ виявляється в тому, що не можливо вказати проміжки на площі поширення явищ, у яких би вони були відсутні. Безперервні географічні об'єкти моделюються поверхнями. Безперервні об'єкти заповнюють усю поверхню; їх можна трактувати як властивості простору або самої модельованої поверхні. Поверхні у свою чергу формують патерни. Таким чином, вивчення та аналіз патернів безперервних явищ має на меті вивчення їх властивостей. Багато патернів, які не є очевидними у вихідних даних, можна отримати з існуючої поверхні шляхом виконання аналітичних операцій. До них належать затінений рельєф, ізолінії, кут схилу, аспект, відмивання, напрямок стоку, кривизна й виїмки або насипи. Ці топографічні похідні дають можливість ефективно пов'язати дані в реальному світі та проаналізувати їх у зв'язку із змінами місцевості.

*Моделі представлення поверхонь.* Поверхня (surface) – це об'єкт 3-вимірного простору, який

становить безперервно розподілені значення  $Z$  в області, визначеній значеннями абсцис  $x$  і ординат  $y$ . Поверхня – це шматок площині, який піддається безперервним перетворенням (рис. 7.7.1).

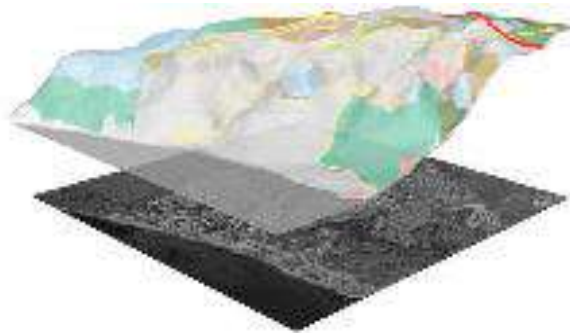


Рис. 7.7.1. Тривимірна модель земної поверхні [Kingston Centre for GIS]

Подання поверхні у своїй простій формі зберігає  $x$ ,  $y$  і  $Z$  значень, з яких  $x$ ,  $y$  визначають місце розташування зразка, а значення  $Z$  становить зміни властивостей. Поверхні можна представляти (рис.7.7.2):

- векторними моделями: масивами точок; ізолініями; триангульованими нерегулярними мережами;
- растровими моделями: – ґрідами.

Точкові моделі поверхні (Points) становлять точкову дискретизацію безперервної поверхні. Утворюючі поверхню дані подаються у вигляді регулярної або нерегулярної сітки. Регулярна сітка зазвичай призводить до надмірності даних на ділянках з мінімумом інформації й їх нестачі в місцях, які потребують високої детальності. Нерегулярна сітка може підвищити точність відображення й роздільну здатність моделі поверхні.

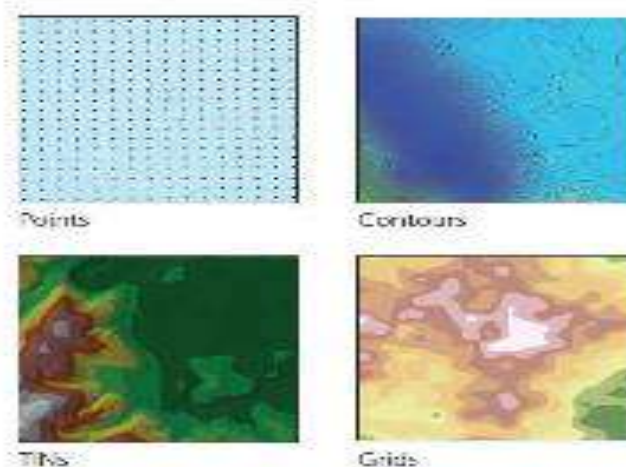


Рис . 7.7.2. Методи представлення поверхні

*Ізолінії та горизонталі* (Contours) використовуються для визначення загальних властивостей вздовж лінії. Ізолінія – це полілінія, що з'єднує точки з однаковим значенням  $Z$

(наприклад, висоти, температури, опадів, забруднення або атмосферного тиску). Розподіл таких поліліній визначає поширення значень на поверхні. Там, де значення змінюється повільно, ізолінії перебувають далеко одна від одної. Там, де значення змінюється різко, ізолінії наближаються один до одного. Горизонталі корисні для представлення рельєфу, оскільки вони дозволяють одночасно визначати пологі та круті схили (за відстанню між ізолініями) і гірські хребти й долини (сходження й розходження ізоліній). Наприклад, може знадобитися знання рівня земної поверхні у визначених точках і вивчення загальної висотної картини земної поверхні.

*Триангульована нерегулярна мережа (TIN)* становить структуру векторних даних, що використовується для зберігання й відображення моделі поверхні. TIN розділяє географічний простір за допомогою набору нерегулярно розташованих точок даних, кожна з яких має  $x$ -,  $y$ - й  $Z$ -значення. Ці точки з'єднані ребрами, які формують безперервні трикутники, які не перекриваються і створюють безперервну поверхню, яка відображає місцевість.

*Грид (ESRI Grid)* – це структура ESRI просторових даних, яка визначає простір у вигляді масиву чарунок однакового розміру, які розташовані в рядках і стовпчиках. У разі ґрид-представлення поверхні кожна чарунка містить значення атрибута  $Z$ . Розташування чарунок у географічному просторі відходить від свого положення щодо початку ґрида. Ґрид-уявлення поверхні вважається функційною поверхнею, тому що для будь-якого місця  $x$ ,  $y$  він зберігає тільки одне значення  $Z$  предметної області (безперервного явища). Функціональні поверхні безперервні, оскільки для будь-якого  $x$ ,  $y$  має місце одне й тільки одне значення  $Z$ , незалежно від напрямку з якого  $x$ ,  $y$  наближаються до точки. Функційні поверхні є 2,5-вимірними поверхнями, а не 3-вимірними. У них значення  $Z$  – це атрибут, а не третя координата у списку координат. Функційні поверхні використовуються для представлення:

1. поверхні місцевості (terrestrial surface), яка зображує земну поверхню, наприклад, цифрова модель рельєфу (digital elevation models – DEM);
2. математичної поверхні (mathematical surface), що заснована на математичних виразах;
3. статистичної поверхні (statistical surface) – поверхні зі статистичними значенням параметра  $Z$ , наприклад, демографічними та іншими типами даних.

*Розуміння інтерполяції поверхонь.* Моделювання поверхні – вирішення задачі інтерполяції значень, отриманих у точках спостережень зі значеннями  $x$ ,  $y$ ,  $Z$ . Вихідними даними для створення безперервних (або прогнозованих) поверхонь є значення дискретних точок вибірки. Інтерполяція – це процедура, що використовується для прогнозування значень чарунок у місцях, які не мають точок заміру. Вона заснована на принципі просторової автокореляції чи просторової залежності з вимірюванням ступеня відношення або залежності між ближніми й дальніми об'єктами. Просторова автокореляція визначається, якщо значення взаємопов'язані. Якщо значення взаємопов'язані, вона визначає просторовий патерн. Ці кореляції використовуються для

вимірювання:

1. подібності об'єктів в області;
2. ступеня, з яким просторові явища корелюють із собою у просторі;
3. рівня взаємозалежності між змінними;
4. природи (сутності) і сили взаємозалежності.

Для створення ґрида поверхні розроблено декілька інструментів інтерполяції. Є безліч способів, щоб отримати прогноз для кожного місця, і кожен метод розглядається в якості моделі. У кожній моделі є різні припущення про створення даних, а також про призначення деяких моделей для застосування в конкретних умовах, наприклад, одна модель може бути причиною локальної зміни краще, ніж інша. Кожна модель дає передбачення за допомогою різних розрахунків. Існують дві категорії методів інтерполяції: *детермінований* і *геостатистичний*. *Детерміновані методи* інтерполяції поверхонь засновані на вимірних точках або математичних формулах. *Геостатистичні методи* інтерполяції засновані як на статистичних моделях, що враховують автокореляції, так і на математичних функціях. Геостатистичні методи використовуються для моделей передбачення поверхні, які також включають певний ступінь впевненості й точності прогнозів. Характеристики інтерпольованої поверхні можна контролювати шляхом обмеження вхідних точок, що використовуються для розрахунку значень вихідної чарунки. Це може бути зроблено за рахунок обмеження кількості точок замірів або області з якої беруться точки вимірів. Значення максимальної кількості точок вибірки використовує точки, найближчі до місця вихідної чарунки, поки буде досягнуто максимальну кількість чарунок. Крім того, вказівка фіксованого радіуса в одиницях карти дозволить вибирати тільки вхідні точки в радіусі віддалення від центру вихідної чарунки, якщо немає достатньої кількості точок у межах цього радіусу.

При генеруванні поверхні також можна враховувати бар'єри, які відображають лінії розлому, скелі, річки та інші просторові об'єкти, які створюють лінійний розрив у поверхні. Багато інструментів інтерполяції включають бар'єри, які визначають і управляють поведінкою поверхні у плані плавності й безперервності. Бар'єри необхідні, тому що іноді операції інтерполяції не можуть бути виконані через просторові об'єкти, такі як лінії розлому, дамби, скелі та струмки, які створюють лінійний розрив на поверхні. За допомогою бар'єрів зміни в поведінці поверхні можна описати й посилити.

*Більшість методів інтерполяції можна розділити на два головні типи – на глобальну і локальну інтерполяцію* щодо вибраних точкових даних. *Глобальна інтерполяція* використовує всі відомі точки вибірки для оцінки значень в інтерпольованих місцях. *Локальна інтерполяція* використовує точки вибірки в певному колі для оцінки значень в інтерпольованих місцях.

*Методи інтерполяції можуть також бути класифіковані як точні або неточні.* При використанні *точної інтерполяції* прогнозовані значення в точках, для яких значення даних відомі,

будуть відомими значеннями. *Неточні методи* інтерполяції не пов'язані цим обмеженням, тобто значення даних, що спостерігаються й інтерпольовані значення для цієї точки не обов'язково ті ж самі. Різні методи інтерполяції майже завжди дають різні результати. Побудовані поверхні згодом використовуються в ГІС-моделюванні та аналізі поряд з їх тривимірною візуалізацією.

*Методи інтерполяції поверхонь.* Останнім часом придатність ГІС для просторової інтерполяції поліпшуються шляхом інтеграції передових методів у ГІС, а також шляхом зв'язування ГІС з системами, призначеними для моделювання, аналізу та візуалізації безперервних полів. З безлічі існуючих методів інтерполяції тут представлені ті, які набули поширення в ГІС-програмах. В ArcGIS геопроектинг містить наступні інструменти Spatial Analyst для інтерполяції поверхонь:

- обернено зважені відстані (IDW);
- природний окіл (NaturalNeighbor);
- тренд (Trend);
- сплайн (Spline);
- крігінг (Kriging);
- топо в растр (Toro to Raster).

*Метод "Обернено зважені відстані".* Метод "Обернено зважені відстані" (рис.7.7.3) (Inverse Distance Weight – IDW) виходить з припущення, чим ближче одна до іншої розташовані точки вимірювань, тим більше вони схожі, тим більший їх взаємний вплив. Метод IDW визначає значення чарунки з використанням лінійно-зваженого поєднання безлічі точок вибірки. Вага, яка призначається, є функцією відстані вхідної точки від місця вихідної чарунки: чим більша відстань, тим менша вага значень. Для точного опису топографії для чарунки, значення якої не виміряне, потрібно вибрати точки оточення, які демонструють цю подібність поверхні. Оскільки більш близькі значення мають бути більш схожими, на розрахунок значення чарунки вони чинитимуть більший вплив, ніж далекі значення.



Рис. 7.7.3 Патерн поверхні інтерпольованої методом IDW

*Метод "Природний окіл".* Метод інтерполяції "Природний окіл" (рис.7.7.4) (Natural Neighbor) використовує середньозважене значення локальних даних, яке засноване на концепції координат природного околу, обумовленого полігонами Тіссена. Рівняння, що використовується в



інтерполяції природного околу, ідентичне тому, яке використовується при інтерполяції методом IDW. Алгоритм методу інтерполяції природного околу знаходить підмножину вхідної вибірки до точки запиту й застосовує ваги до їхніх значень, які залежать від площ відповідних природних околиць. Метод інтерполяції місцевий, він використовує підмножину вибірки навколо оцінюваної чарунки. Поверхня проходить через вхідні зразки і є гладкою скрізь, за винятком місць вхідних зразків.



Рис. 7.7.4. Патерн поверхні інтерпольованої методом Natural Neighbor

Метод інтерполяції природної околиці (Natural Neighbor) має низку позитивних властивостей: метод може ефективно працювати з великими наборами вхідних точок; може бути використаний як для інтерполяції, так і для екстраполяції, і взагалі добре працює з кластерами розподілених точок.

Метод "Тренд" (рис.7.7.5) – це глобальна поліноміальна інтерполяція, яка становить загальні тенденції зміни поверхні в різних напрямках. Поверхня тренда відповідає гладкій поверхні, визначеній математичною функцією (поліномною) до точок вхідної вибірки. Поверхня тренда змінюється поступово й захоплює великомасштабні патерни в даних. Цей метод використовує набори точок у межах заданого околу за якими будується поверхня найкращого наближення на основі математичних рівнянь типу поліномів або сплайнів. Ці рівняння є нелінійними залежностями, які апроксимують криві або інші форми числових послідовностей. Метод Тред мінімізує відхилення поверхні відносно вхідних значень. Поверхня будується так, що для кожної вхідної точки загальна кількість відмінностей між фактичними значеннями й розрахунковими (наприклад, дисперсії) буде якомога меншою. Для побудови поверхні найкращого наближення, кожне зі значень околиці підставляється в рівняння. Із рівняння виходить одне значення та присвоюється точці, яка інтерполюється. Процес триває і далі для інших цільових точок.



Рис. 7.7.5. Патерн поверхні інтерпольованої методом Trend

Тип рівняння, що використовується (ступінь полінома) визначає звивистість поверхні. Чим вищий порядок полінома, що використовується для зображення поверхні, тим більше її коливань можна врахувати.

Метод "Сплайн" (Spline) (рис. 7.7.6) – це метод оцінки значень, що використовує математичну функцію, яка мінімізує в цілому кривизну поверхні. Це призводить до гладкої поверхні, яка проходить точно через вихідні точки. Він може передбачити хребти й долини в даних і є кращим методом для представлення плавно мінливою поверхні явищ, таких як температура. Математичний сплайн використовує поділ кривої на ділянки, де точки прикладання сил розділяють область визначення кривої на відрізки. На кожному такому відрізку сплайн становить параболу третього ступеня:  $y=ax^3 + bx^2 + cx + d$ . Параболи всіх відрізків разом утворюють гладку безперервну криву. Базисний сплайн (В-сплайн) будують стандартним чином на регулярній мережі. В-сплайни забезпечують безперервність поля з точністю до другої похідної включно. В особливих випадках переходять до базису зі сплайнів п'ятого ступеня, але це може призвести до появи зайвих "хвиль" на поверхні, які моделюється.

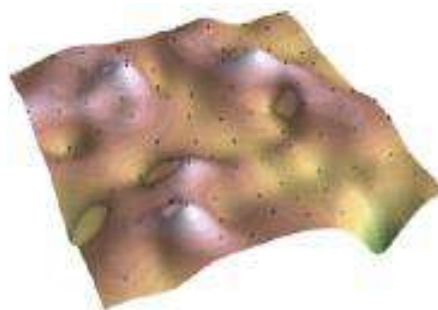


Рис. 7.7.6. Патерн поверхні інтерпольованої методом Spline

Метод "Крігінг" (рис. 7.7.7) (Kriging від автора Daniel G. Krige) – потужний геостатистичний метод інтерполяції поверхонь для різних застосувань, таких як моделювання забруднення навколишнього середовища, топографія, ґрунтознавство, геологія, медицина та ін. Крігінг оптимізує процедуру інтерполяції на основі статистичної природи поверхні. Крігінг ґрунтується на статистичних моделях, які включають автокореляції, тобто статистичні зв'язки між вимірними точками. Цей метод не тільки дає можливість отримати прогноз поверхні, але й забезпечує певну ступінь впевненості й точності прогнозів. Крігінг обробляє поверхні, вважаючи їх сформованими трьома незалежними складниками:

1. Перша з них, що називається дрейфом або структурою поверхні, становить поверхню загального тренду території в певному напрямку.

2. Друга – невеликі відхилення від цієї загальної тенденції типу маленьких піків і западин, які є випадковими, але все-таки пов'язаними одні з одними просторово (просторово корельовані).

3. Третя – випадковий шум, який не пов'язаний із загальною тенденцією й не має просторової автокореляції.



Рис. 7.7.7. Патерн поверхні інтерпольованої методом Kriging

Метод **"Топо в растр"** (рис. 7.7.8). За інтерполяцією значень висот для растра, метод "Топо в растр" (Toro to Raster) накладає обмеження, які забезпечують гідрологічно коректну цифрову модель рельєфу, яка містить пов'язані структури дренажу і правильно представляє хребти й потоки за вхідними даними горизонталей. Він використовує ітеративний метод інтерполяції кінцевих різниць, який оптимізує обчислювальну ефективність локальної інтерполяції без втрати безперервності поверхні глобальної інтерполяції. Він був спеціально розроблений для інтелектуальної роботи з вхідними горизонталями.

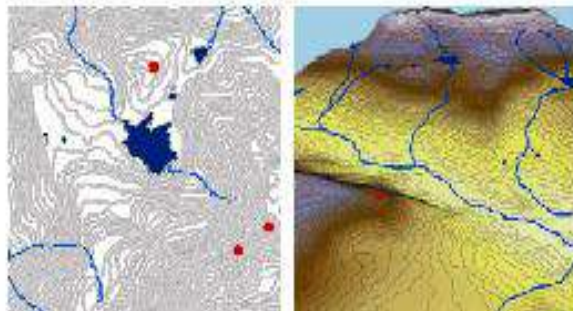


Рис. 7.7.8. Патерн поверхні інтерпольованої методом Toro to Raster.

## 8. Оцінка недостовірності результатів при моделюванні просторових сценаріїв

Одно з перших питань, яке вимагає розуміння при прогнозуванні просторових сценаріїв, якість або недостовірність (похибка) прогнозованих даних. Ця проблема є складною і

багатозначною. Проблема оцінки недостовірності результатів при виконанні операцій просторового аналізу концептуально представлена у статті [26]. Тут далі використані концептуальні матеріали цієї статті, оскільки детальний виклад вимагає великих ресурсів і виходить за межі навчального посібника.

Операції обробки даних складаються з одного або більшої кількості алгоритмів, які створюють нові просторові дані з певних вихідних даних. Багато з цих алгоритмів забезпечують оцінку або прогнозування нових даних, які асоціюються з новими просторовими об'єктами. По суті, результуючі оцінки та прогнозування є невизначеними. Для того щоб бути корисними для прийняття рішень, геопроектинг має також пропонувати користувачам ГІС шлях кількісної оцінки цієї невизначеності, щоб можна було оцінити її вплив на висновки зроблені з геопроектингу даних.

Інструменти просторової обробки даних (такі, як побудова буфера, оверлейної операції, об'єднання та перетин, інтерполяція) дозволяють досліджувати, поєднувати й інтерпретувати географічні дані, отримані з різних джерел. Вони утворюють важливі складові базової моделі, яка приймає вхідні дані (векторні покриття, шейп-файли або растрові ґриди) і асимілює їх значущим способом для одержання вихідної інформації. Ця інформація сприяє комплексній інтерпретації вихідних даних, які можуть виявитися більш придатними застосування. Геометричні властивості просторових об'єктів вихідних даних часто змінюються, щоб сформувати нові просторові об'єкти. При цьому функції вхідних значень атрибутів можуть передаватися новим просторовим об'єктам. Тому загальна мета моделювання може полягати в тому, щоб зрозуміти як припущення, параметри і зміни пов'язані з вхідними даними і як працююча модель впливає на результати вихідних даних і на висновки зроблені з них. Коли дані не точні або модель не є точною, недостовірність може тільки зростати з кожною операцією геообробки. У таких випадках бажані ймовірнісні основи для побудови моделі з інструментами геообробки.

*Використання ймовірнісної основи геообробки.* Інформація про те наскільки попередні прогнози далекі від передбачуваної реальності, вирішальна. Якби ми мали цю інформацію, вибір моделі був би легким. Хоча зазвичай така специфічна інформація відсутня, часто маємо набагато більше даних, ніж уявляємо. Наприклад, можна знати, що конкретні сценарії більш ймовірні, ніж інші і здатні визначити кількісно, наскільки ці дані узгоджуються з вигаданою моделлю. Навіть коли ми не знаємо ймовірності різних сценаріїв у цілях планування можна прийняти кілька сценаріїв "Що коли..?", які відображають цю невпевненість у реальності обраної моделі, а потім оцінити наслідки наших припущень. Оцінка того наскільки неправильними можуть бути припущення і якими можуть бути реальні й потенційно серйозні наслідки, витрати часу, ресурсів і грошей не визначено. Однак, цю невизначеність (щодо реальності й впливу припущень і оцінок на висновки та рішення) можна інтегрувати з моделлю із використанням ймовірнісної основи. Можемо використовувати ймовірнісну інтерпретацію надання інформації, яка може бути

надзвичайно корисною для прийняття рішень. Розглянемо наступні сценарії геообробки:

- Функція буфера використовується для створення зони з певною дистанцією відносно просторових об'єктів у шарі. Звідки ми знаємо, що використовується відстань? Що станеться з нашими результатами та висновками, коли ми трохи змінимо відстань? Із урахуванням обраної відстані, наскільки неправильними можуть бути наші висновки? Це останнє питання може мати величезні наслідки для екологічної оцінки, яку, наприклад, намагаємося встановити, коли люди живуть поруч зі шкідливими чинниками навколишнього середовища.

- Щоб знайти найбільш відповідне місце для нового парку, ми могли б накласти карти щільності населення та карти відстаней проїзду до потенційного нового парку, маючи намір знайти новий парк у районі, який би був легко доступним для великої кількості людей. Хоча ми, безумовно, можемо визначити поняття про "легко доступний" і "велика кількість людей", наприклад, "у межах 5 кілометрів" і "5000 осіб", для цілей планування більш бажане вивчення рекомендованого розташування нового парку як функцію декількох варіантів для цих значень. Ми могли б також зважити важливість кожного компонента у визначенні місця розташування нового парку, наприклад, ймовірно, більш важливо, обслужити велику кількість людей, а їхня наближеність до парку менш значуща. Таким чином, використовуючи калькулятор растрів, можна об'єднати дві карти із встановленням внеску щільності населення на 60 % і вкладу відстаней до 40 %. Однак, а ні густота населення, а ні відстані поїздки не відомі з усією точністю. Який вплив чинить ця невизначеність на рішення щодо розміщення нового парку? Крім того, як зміняться висновки та рекомендації, коли змінимо співвідношення вкладів 60/40? Який вплив чинить наша невизначеність на реальне ставлення до висновків і рекомендацій? Чи є стратегія, яка може звести до мінімуму ризик розміщення нового парку в небажаному місці?

- Операції геообробки часто призводять до вихідних даних, отриманих внаслідок агрегування або дезагрегування вхідних даних. Наприклад, коли використовуються операції геообробки об'єднання та перетину, можна призначити атрибутивні дані новоствореним об'єктам. Інший поширений приклад пов'язаний із використанням цифрової моделі рельєфу (DEM). Дані DEM існують у кількох дозволах і часто збільшені або зменшені, щоб забезпечити оцінку висот, необхідні на певному масштабі для даних геологічних або гідрологічних додатків. Просторові методи інтерполяції, такі як крігінг і обернено зважених відстаней, часто використовуються, щоб включити до карти змінні оточення, значення яких потім агрегуються з метою пов'язати їх із здоров'ям населення й узагальненою інформацією про хвороби для адміністрування областями. І тим не менш, растрові перетворення, у тому числі процедури агрегації й дезагрегації, забезпечують тільки оцінку атрибутів, що пов'язані з новоствореними просторовими об'єктами, а не істинні значення. Інформація про точність отриманих оцінок є критичною для ухвалення рішень.

- У сільському господарстві агрономи часто розраховують функції втрат, які можуть бути визначені у грошових одиницях на основі економічної вигоди і які є наслідком добрив. Необхідна кількість добрив – різниця між кількістю, рекомендованою для конкретних культур, і присутньою у ґрунті. Рекомендована величина добрив залежить від бажаної врожайності, поточних цін на врожай, вартості добрив і кількості різних поживних речовин у ґрунті. Інформація про поживні речовини у ґрунті відображається (як правило, з використанням крігінгу) за декількома зразками ґрунту, які регулярно розташовуються по всьому полю. Хоча крігінг забезпечує міру недостовірності пов'язану із прогнозуванням поживних речовин ґрунту в будь-якому місці в області, йому важко перевести цю недостовірність у недостовірність відносно рекомендованої величини внесення добрив, а потім в економічні наслідки цієї рекомендації. Коли кількість необхідних добрив зменшити, урожай не буде оптимальний і тоді розраховуються втрати в одиницях вартості на кожен кг добрив. Крім того, коли кількість добрив переоцінено, дорогі хімічні речовини застосовані без необхідності, й тоді можна розрахувати вартість нових добрив. Таким чином, важливо оцінити в одиницях вартості діапазон витрат, які можуть виникнути в результаті нашої (спочатку) невизначеної карти поживних речовин ґрунтів. Агроном бажає мінімізувати максимально можливі втрати, а це вимагає оцінки всього ймовірного розподілу кількості добрива в кожному місці поля, а не тільки прогнозування середньої кількості.

*Точність просторових даних.* Точність просторових даних вже давно є дуже важливою проблемою користувачів ГІС. Похибки місцеположення (позиційні) зустрічаються, коли географічні координати точкового об'єкта точно не відомі. Це може бути пов'язано з помилкою вимірювання, спотвореннями проєціювання, недостовірними даними, таких як подання площинних/растрових чарунок точками або похибками звітності. Похибки місцеположення завжди існують, і навіть невеликі географічні похибки можуть істотно впливати на просторовий аналіз. Наприклад, просторова близькість, як правило, розраховується з використанням відстаней між парами заданих місць, а похибки в координатах місця розташування призведуть до похибок в результатах растрових методів інтерполяції. Коли ці растрові шари потім використовуються в якості вихідних в інші функції або операції геообробки, похибки поширюються шляхом розрахунків, і незначні похибки можуть швидко додаватися до більших похибок коли багато розрахунків уже виконано. Коли недостовірні місцеположення буферизовані, атрибутивні значення з іншого шару можуть бути неправильно класифіковані. Користувачам ГІС необхідно переконатися, що похибки місцеположення не надто вплинули на їх результати і висновки, після цього вони отримують можливість відстежувати або коригувати їх. Багато прикладів показують, що складний просторовий аналіз не може бути досягнутий за допомогою традиційних, детермінованих методів геообробки окремо. Але вони дають підґрунття для виділення ключових

позицій і для використання в ймовірнісній геообробці:

1. Розподіл ресурсів: оцінка сценаріїв "Що, коли..?".

2. Кількісний аналіз ризиків: метою аналізу ризиків є опис ймовірності подій, що відбуваються й можливі наслідки у разі їх проведення. Аналіз ризиків є складовою управління бізнесом, політикою рішень з охорони навколишнього середовища, глобальних моделей зміни клімату та водних ресурсів.

3. Похибка розповсюдження: ГІС-користувачі часто мають інформацію про діапазон похибок даних, розподіл похибки параметрів моделі і / або карти або функціональний опис вихідної реальності. Ця інформація може бути включена статистично як частина процесу моделювання. Похибка поширення притаманна геообробці і органи, що приймають рішення, повинні взяти результуючу невизначеність до уваги.

4. Прийняття рішень: дані та моделі введення завжди недосконалі і функції геообробки, що виробляють оцінки, не завжди істинні. Використання ймовірнісного геопроектингу може допомогти у підготовці рішень.

Чинники невизначеності, що виникають з різних джерел, можуть вплинути на результати та висновки просторового аналізу. Помилкові дані, які використовуються без врахування їх внутрішньої невизначеності, швидше за все, призводять до інформації сумнівної цінності. Це особливо вірно, коли результати операцій геообробки даних складають основу більшої частини просторового аналізу, проведеного в межах ГІС. Ідеї, представлені тут, можна інтегрувати в межах існуючих структур ГІС:

- Хоча методи для оцінки невизначеності в операціях геообробки видаються комплексними, тільки три нові компоненти мають додаватися: 1) уведення до розподілу / альтернативні значення / функції нечіткої належності, 2) інтерфейс діалогів користувача, який дозволяє мати кілька виходів (набори значень або розподілів), 3) варіанти постобробки.

- Середовище геообробки ГІС здебільшого гнучке, достатнє для виконання багатьох складних інструментів, а аналіз невизначеності та аналіз чутливості можуть розглядатися як паралельні процеси для стандартних можливостей моделювання в даний час.

- Вихідні / подальші розподіли можуть бути візуалізовані та проаналізовані за допомогою графіків, пов'язаних із картами та іншими об'єктами. Розподіл може бути апроксимований і компактно збережений із використанням суміші гаусових розподілів.

- Широка послідовна інформація може бути збережена у вигляді часових рядів даних.

Резюмування цієї інформації позначеними способами вимагатиме творчого підходу. Тим не менш, оцінка невизначеності внаслідок геообробки може значно підвищити корисність просторового аналізу в ГІС.

***Контрольні запитання:***

1. Для чого проводиться візуальний аналіз місця розташування даних?
2. Що таке аналіз кількісних даних місця розташування?
3. В чому полягає мета та методи проведення аналізу щільності об'єктів?
4. В чому полягає сутність аналізу просторових змін?
5. Визначення поняття “патерн”.
6. Що таке просторова залежність і просторова автокореляція?
7. Аналіз та методи просторових патернів безперевних явищ.
8. Як проводиться оцінка недостовірності результатів при моделюванні просторових сценаріїв?



## РОЗДІЛ 8

### ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ КАРТОГРАФІЧНОГО МЕТОДУ В КОМПЛЕКСІ ІНШИХ ГЕОГРАФІЧНИХ МЕТОДІВ

#### 1. Комплексне застосування картографічного та інших географічних методів

До цього часу мова йшла про те, які географічні завдання можуть бути сформульовані та вирішені за допомогою картографічного методу і з якою точністю. Конкретні приклади із геоморфології, кліматології, ґрунтознавства тощо, підкреслюють, що картографічний метод безумовно ефективно застосовується в різних спеціальних дослідженнях, тоді виникає питання, яке положення займає картографічний метод в конкретних геоморфологічних, кліматичних та інших дослідженнях, де використовуються велика кількість інших експедиційних, лабораторних та камеральних методів.

Вибір тих чи інших прийомів аналізу карт, їх застосування та інтерпретація отриманих результатів, ступінь достовірності цих результатів, обґрунтованість висновків та прогнозів – все це залежить від того, яке місце відводиться картографічному методу в системі інших методів.

Якщо рахувати аналіз карт способом дослідження, то слід припустити, що результати такого аналізу абсолютно вірні і не потребують додаткового підтвердження, наприклад, польовим спостереженням, зауважимо, що така точка зору популярна серед деяких географів та геологів. Однак, необхідно визнати, що вона помилкова. Справа в тому, що аналізуючи карти, географ в кожному конкретному випадку не тільки опирається на знання основних законів та процесів, які вивчаються, але й завжди намагається порівняти, підтвердити або спростувати дані, отримані при аналізі карт, з даними інших методів, якщо не знайдено підтвердження, не можна бути впевненим в дійсності висновків, оскільки більшість явищ, маючи різну природу, отримують на картах одне й те ж географічне відображення, тому необхідно комплексне застосування картографічного та інших методів.

Комплексне застосування методів не тільки охороняє від однобічного підходу у вивченні явищ, не тільки підвищує надійність та достовірність результатів дослідження, але й взаємно збагачує різні методи, сприяє їх розвитку і удосконаленню. Така співпраця веде до виникнення нових прийомів на стиках різних методик. В якості одного, найбільш яскравого прикладу, вкажемо на проникнення аналітичних прийомів аналізу і розкладання фізичних полів із геофізики в картографію.

Пошук місця картографічного методу дослідження в системі інших географічних методів має ще один аспект. Це його відповідність і зв'язок з такими методами як комплексне картографування, геодезичний метод, аерофотокосмічний метод та ін.

Комплексне тематичне і топографічне картографування є основою для картографічних

досліджень, оскільки тільки наявність різних карт за тематикою, атласів складає базу для ефективного застосування і удосконалення всіх багаточисельних прийомів аналізу карт. Це положення не потребує доказу. Одночасно з цим, перетворення картографічного зображення надає матеріал для створення нових карт, тобто для розвитку тематичного картографування. В попередніх параграфах в якості прикладів називалися морфометричні карти рельєфу, які є результатом картографічних досліджень, в той же час являють собою один із розділів тематичного картографування. Картографічний метод дослідження має велике значення для створення карт фізико-географічного і прикладного районування, ландшафтних карт і карт оцінки природних явищ тощо.

## **2. Роль картографічного методу на різних етапах спеціальних досліджень**

Розглянемо роль і значення картографічного методу на окремих етапах спеціальних досліджень природних явищ, виходячи із уявлення про необхідність комплексного застосування різних методів.

В період підготовки, дослідження, вивчення та аналізу карт, які є в наявності, картографічний метод дозволяє порівняно швидко створити перше уявлення про основні особливості явища, що вивчається. В цей період необхідно ознайомитися з об'єктом дослідження з літературних джерел, провести приблизне районування території, враховуючи при цьому, які прийоми аналізу карт можуть бути застосовані в кожному з районів в залежності від їх фізико-географічних особливостей. В подальшому слід зробити підбірку карт, обрати масштаб в якому будуть виконуватися основні побудови. Крім цього, необхідно вивчити досвід аналогічних картографічних досліджень та оцінити, наскільки суттєві прийоми аналізу карт придатні для вирішення завдання. Може бути, що необхідно модифікувати ці прийоми, змінити порядок їх застосування або вибрати нові, які будуть точніше відповідати меті дослідження.

Аналіз карт не є механічним процесом, який виконується по встановленій програмі. У кожному конкретному випадку він потребує серйозної наукової творчості.

Значення попередніх висновків, отриманих за допомогою картографічного методу, надзвичайно велике, перш за все тому, що вони допомагають раціонально і економно спланувати подальшу роботу. Ознайомившись з результатами аналізу карт, визначають, які результати і в якому об'ємі потребують перевірки та уточнення, яким вибіркоким або суцільним методом повинна бути виконана ця перевірка. Якщо плануються польові дослідження, то слід вибрати доцільний напрямок маршрутів, ключових ділянок.

В процесі спеціальних досліджень відбувається перевірка попередніх висновків та збір нових матеріалів. Співставлення з даними інших методів дозволяє уточнити критерії та принципи інтерпретації кількісних характеристик, прослідкувати взаємозв'язки явищ. При цьому інколи

може виникнути необхідність у проведенні нових досліджень за картами, застосування інших, більш ефективних прийомів аналізу.

На заключному етапі відбувається кінцева ув'язка і узагальнення результатів, отриманих картографічним та іншими спеціальними методами. Окрім цього, в процесі досліджень можуть бути складені нові карти, аналіз яких надає важливі доповнення відомостей для кінцевих висновків і практичних рекомендацій. Таким чином, при правильній організації спеціальних досліджень, картографічний метод тільки допомагає на всіх етапах.

### **3. Перспективи та шляхи розвитку картографічного методу дослідження**

Картографічний метод має всі властивості наукового методу. Він має чітко окреслене коло завдань, пов'язаних з аналізом картографічного зображення, рід суворо визначених технічних прийомів. Метод надійний та економічний, дозволяє отримувати достовірні результати при дослідженнях природи та соціально-економічних явищ. При всьому цьому картографічний метод відзначається ще однією важливою властивістю – здібністю до постійного розвитку і удосконалення.

Сучасний розвиток проходить за декількома напрямками. Один із найголовніших – це удосконалення технічної бази методу із застосуванням комп'ютерних технологій. Якщо графічні і графоаналітичні прийоми аналізу карт добре розроблені, то в розробці прийомів математичного аналізу і комп'ютерних алгоритмів ведеться розробка і удосконалення. Компанія ESRI приділяє підвищену увагу популяризації ГІС-технології та впровадженню географічного мислення в навчальний процес. За оцінками аналітиків відомої компанії Daratech, Inc., програмне забезпечення ESRI займає провідні позиції у сфері освіти. Відповідно до стратегії ESRI дистриб'ютори цієї компанії реалізують довгострокову програму підтримки навчальних закладів, спрямовану на розвиток ГІС-освіти. ГІС – це універсальний інструмент дослідника. Функції просторового аналізу застосовується в більш ніж 100 дисциплінах, що охоплюють багато напрямків наукових і прикладних досліджень. Сьогодні ця технологія є однією з найбільш популярних і корисних інструментів у наукових дослідженнях. ГІС – це не просто одна з сучасних інформаційних технологій. ГІС допомагає сформувати в людей новий погляд на світ, що забезпечує його комплексне сприйняття і краще розуміння взаємозв'язків між його складниками. Це прогресивний спосіб мислення, спосіб пізнання навколишнього світу, інструмент, що сприяє перебудові нашого світогляду. Фундаментальне розуміння ролі ГІС представлене президентом ESRI Джеком Данджермондом в статтях про географічний підхід [15], [11], яке полягає в тому, що використання географічних наук за підтримки ГІС призведе до покращення вирішення проблем, а також більш глибокому розумінню нашого світу. ГІС-аналіз, до якого віднесені вихідні концепції, задачі ГІС-аналізу й аналітичні засоби значно розширюють можливості картографії, надаючи цифрові

інструменти, які створюють геопросторові дані, моделі географічних процесів, візуалізацію даних тощо. ГІС допомагає застосовувати географічні знання для покращення проведення досліджень. Наприклад, при виборі маршруту для нового шосе - ГІС і географічний підхід та картографічний метод дослідження може бути використаний для розгляду фізичних і людських чинників, якими слід керуватися для його побудови та оформлення: навколишнього середовища, існуючого землекористування, місцевості й соціальних наслідків, а також інженерних обмежень і витрат. Врахування усіх цих чинників особливо важливий, коли намагаються піти на складні компроміси. Географічний підхід та картографічний метод дослідження забезпечують необхідну основу для ГІС-аналізу та допомагає забезпечити точні результати. Географічний підхід та картографічний метод дослідження, що підтримуються географічною інформаційною системою (ГІС) у якості основи для розуміння нашого світу й застосування географічних знань застосовуються для вирішення проблем і визначення напрямків поведінки людини.

Великі перспективи відкриває подальший розвиток комплексного тематичного картографування й особливо створення карт нового типу спеціально призначених для проведення за ними наукових досліджень.

Особлива увага повинна приділятися теоретичним проблемам картографічного методу, зокрема слід більш детально вивчати вплив генералізації на картографічне дослідження, оцінити точність різних прийомів, обрати критерії об'єктивної оцінки об'єму інформації, яка знаходиться на картах різного масштабу та інші питання.

Постійним завданням при дослідженні будь-яких явищ природи залишається пошук нових, найбільш об'єктивних принципів інтерпретації результатів аналізу карт. Тому співпраця між картографічним методом дослідження та іншими географічними, геологічними, геофізичними методами тільки збагатить новими ідеями та оригінальними прийомами наукові дослідження.

### ***Контрольні запитання:***

1. Чому комплексне застосування картографічного та інших географічних методів складають перспективи розвитку картографічного методу дослідження?
2. Яка роль картографічного методу на різних етапах спеціальних досліджень?
3. Які, на вашу думку, перспективи та шляхи розвитку картографічного методу дослідження на сучасному етапі застосування ГІС технологій?

## ПІСЛЯМОВА

Матеріал навчального посібника є каркасом теоретичної частини базових курсів *«Тематичні карти та картографічний метод дослідження. М-3 - Картографічний метод дослідження» та курсу «Картографічний метод дослідження та ГІС-аналіз»*. Вивчення цього теоретичного матеріалу підлягає опрацюванню та закріпленню при практичному освоєнні традиційних методів та прийомів, якими оперує картографічний метод дослідження і програмних пакетів ГІС для розуміння сутності, можливостей ГІС-аналізу.

Обговорюючи в цьому посібнику проблеми картографічного образу, інформації, представлення інформації різними засобами відображення, трансформації та інтерпритації, ми намагалися охопити й суміжні питання, які перш за все відносяться до картографічного моделювання, використання карт та застосування ГІС-аналізу в цьому процесі. В посібнику розглянута ціла низка питань, які розкривають властивості карт як моделей дійсності, процесу формування та перетворення картографічних образів, виникнення картографічної інформації, причому не тільки за допомогою традиційних способів та методів картографічного методу дослідження, а й за допомогою сучасних геоінформаційних систем із застосування основних можливостей ГІС-аналізу.

Сучасна картографія багатогранна, вона активно проникає у всі науки про Землю – це наука, яка за допомогою карт розкриває сутність нашого світу, описує фізичні й культурні моделі нашої планети і процесів. Вона допомагає здобути знання про те, що відбувається, дає прогнози того, що може статися, і надає систематичну інформацію для планування і прийняття рішень. Картографічний метод дослідження допомагає краще зрозуміти різні просторові явища і їх взаємозв'язки, такі як відносини між змінами в землекористуванні, поверхневій гідрології, повенях багатьох управлінських і біорізноманітності, все це створює основу для суспільства стати більш усвідомленим і обізнаним щодо того, як наша сукупна поведінка впливає на еволюцію планети в цілому.

Навчальний посібник орієнтований на формування у фахівців знань в сфері просторового аналізу засобами геоінформаційних систем і технологій, а також методів та прийомів картографічного методу дослідження за допомогою використання географічних карт. Разом із тим матеріал посібника може виявитися корисним як для студентів інших спеціальностей, так і фахівців, які впроваджують передові інформаційні технології в бізнес-процеси при вирішенні певних завдань.

## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ

### Основні джерела

1. Аврутин.В. Д. О трехмерной модели городского пространства Санкт-Петербурга / В. Д. Аврутин, В. Ю. Руденко, А. Ю. Ломтев. – М. : Data+, ArcReview, No 4 (51) 2009.
2. Берлянт А. М. Образ пространства: карта и информация.– М.: Мысль,1986.– 240 с.
3. Билич Ю. С., Васмут А. С. Проектирование и составление карт. – М.: Недра, 1984.– 364 с.
4. Буч Гради. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений на C++. Второе издание / Гради Буч ; пер. с англ ; под ред. И. Романовского и Ф. Андреева. – Калифорния. : Rational Санта-Клара, 2006. – 380 с.
5. Время в ArcGIS 10 / Д. А. Третьяченко. – М. : Дата+, ArcReview, No 4 (55), 2010.
6. Географічна інформація – Еталонна модель : Нац. стандарт України (ДСТУ ISO 19101:2002(E)). – К. : Держспоживстандарт України, 2005. – 65 с.
7. Геоинформатика: учебник для студ. высш. учебн. заведений / Е. Г. Капралов, А. В. Кошкарёв, В. С. Тикунов и др.; под ред. В. С. Тикунова. В 2 кн. Кн1 – 2-е изд. перераб. и доп. – М. : Издательский центр "Академия", 2008. – 384 с.
8. Гохман В. ГИС, ГИС, ГИС... / В. Гохман. – М. : Data +, ArcReview, No 4 (47) 2008. – с. 1, 2.
9. ДеМерс М. Н. Географические информационные системы. Основы / ДеМерс М. Н. ; пер. с англ. – М. : Дата+, 1999. – 491 с.
10. Зейлер М. Моделирование нашего мира : Руководство ESRI по проектированию базы геоданных / М. Зейлер ; пер. с англ. – М. : СП ООО Дата+, 2004. – 254 с.
11. Іщук О. О. Просторовий аналіз і моделювання в ГІС : Навч. посібник / О. О. Іщук, М. М. Коржнев, О. Е. Кошляков; за ред. акад. Д. М. Гродзинського. – К. : Вид.-поліграфічний центр "Київський університет", 2003. – 200 с.
12. Кащавцева, А. Ю. Моделирование речных бассейнов средствами ГИС [Текст] / А. Ю. Кащавцева, В. Д. Шипулин – Учен. записки ТНУ им. В. И. Вернадского. Серия : "География", Т. 24 (63), No 3. 2011. – С. 85– 92
13. Леонов А, Tracking Analyst. Динамическая визуализация и анализ пространственно-временных изменений / А. Леонов. – М.: Дата+, ArcReview, No 3 (30), 2004.
14. Меліка Л. І. Просторове моделювання кар'єру / Л. І. Меліка, В. Д. Шипулін – Учен. записки ТНУ им. В. И. Вернадского. Серия: "География", Т. 24(63), No 3 2011. – С. 122– 131
15. Митчелл Энди. Руководство по ГИС Анализу. Часть 1 : Пространственные модели и взаимосвязи / Энди Митчелл ; пер. с англ. – К., ЗАО ЕСОММ Со ; Стилос, 2000. – 198 с.

16. Остроух В.І. Технологія комп'ютерної підготовки географічних карт-основ // Вісник геодезії та картографії.– 2004.– №1(32).– С.21–24
17. Постоєнко О. В. Геоінформаційна система для управління складним майновим комплексом вищого навчального закладу / О. В. Постоєнко, В. Д. Шипулін. – Вчені записки ТНУ. Серія: Географія, Т. 23 (62). 2010 г. No 2. с. 242–251.
18. Палеха, Ю. Н. Анализ распределения плотности населения крупнейшего города средствами ГИС / Ю. Н. Палеха, В. Д. Шипулин // Ученые записки Таврического национального университета, серия Географическая, Том 17(56) No 2 – Симферополь, 2003
19. Салищев К. А. Проектирование и составление карт.– М.: Изд-во МГУ, 1987.–240 с.
20. Стюарт Рич. Географические информационные системы (ГИС) для административно-хозяйственного управления / Стюарт Рич, Кевин Х. Дэвис. – IFMA Foundation. ; пер. с англ. – М. : Дата+, 2011.
21. Шипулин В. Д. Анализ распределения транспортных средств Харькове [Текст] / В. Д. Шипулин, Е. С. Серединин, И. М. Патракеев // М. : DATA +, ArcReview No 2 (41). 2007.
22. Шипулін В. Д. Основні принципи геоінформаційних систем : Навч. посібник / В. Д. Шипулін ; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х. : ХНАМГ, 2010. – 326 с.
23. Чоговадзе Г. Г. Информация: информация, общество, человек / Г.Г.Чоговадзе. – М.:ООО Дата+, 2003. – 320 с.
24. A Frame work for Understanding, Managing, and Improving Our World GIS – The Geographic Approach. By Jack Dangermond. – Esri, ArcNews Online, Fall, 2007
25. Assessingthe Uncertainty Resultingfrom Geoprocessing Operations/ К. Krivoruchko, С. Crawford // GIS, Spatial Analysis, and Modeling / David J. Maguire, Michel Batty, and Michael F. Goodchild, editors. – ESRI Press, Redland, California, 2005. – 483 p. – p. 67– 90.
26. ArcGIS 9. Using ArcGIS Spatial Analyst. – ESRI, 2002.  
Chrisman Nicholas. Exploring Geographical Information Systems. 2 edition John Wiley & Sons. – 2003. – 306 p.
28. GIS, Spatial Analysis, and Modeling / David J. Maguire, Michel Batty, and Michael F. Goodchild, editors. – ESRI Press, Redland, California, 2005, – 483 p.
29. Geospatial Analysis – a comprehensive guide. 3rd edition © 2006– 2011 de Smith, Goodchild, Longley // Mike de Smith – Edinburgh, Mike Goodchild – Santa Barbara, Paul Longley – London. – Matador, 2009.
30. Goochland County Creates Emergency Management Incident Interface / Qiana Foote, Lowell Ballard. – Esri, ArcNews, Spring. – 2009.
31. Taking the "Geographic Approach". – Esri, ArcWatch, September. – 2007.
32. Tobler W. A computer movie simulating urban growth in the Detroit region. – Economic

Geography, 46(2) : (1970). – p. 234–240

33. Understanding GIS : The Arc/Info Method. – Redlands, CA : Environmental Systems Research Institute, Inc., 1990.

34. Using ArcMap. – ESRI, 2006. – 435 p.

35. Principles of Geographic Information Systems. Rolf A. de By (ed.). Second edition.– Enschede, The Netherlands, 2001. – 490 p.

36. The NCGIA Core Curriculum in GIScience / Goodchild, M F., Kemp K. K., eds. – NCGIA University of California, Santa Barbara CA., 2000.

37. What if All the Polar Ice Melted / Paul Jordan – Esri Map Book, 25, p. 82– 83.

#### **Додаткові джерела**

1. Spatial Analyst. Руководство пользователя / пер. с англ. – М. : СП ООО Дата+, 2004.

2. Geostatistical Analyst. Руководство пользователя / пер. с англ. – М. : СП ООО Дата+, 2004.

3. 3D Analyst. Руководство пользователя / пер. с англ. – М. : СП ООО Дата+, 2004.

4. Spatial Analyst Tutorial / Arcgisdesktop 10.0, help. – Esri, 2010.

5. Geostatistical Analyst Tutorial / Arcgisdesktop/10.0/ help. – Esri, 2010.

6. Network Analyst Tutorial / Arcgisdesktop/10.0/ help. – Esri, 2010.

7. 3D Analyst Tutorial / Arcgisdesktop/10.0/ help. – Esri, 2010.

#### **Інтернет джерела**

1. <http://www.csiss.org/classics/content/8/>

2. [http://dic.academic.ru/dic.nsf/fin\\_enc/27996](http://dic.academic.ru/dic.nsf/fin_enc/27996).

3. <http://www.sli.unimelb.edu.au/gisweb/>.

4. <http://www.ncgia.ucsb.edu/>.

5. <http://www.wikiprogress.org/index.php/Event:U>

6. [http://gps-club.ru/gps\\_news/detail.php?ID=46682](http://gps-club.ru/gps_news/detail.php?ID=46682).

7. <http://www.esri.com/industries/planning/business/visualization.html>.

8. <http://aamgroup.com/publications/scanning-the-horizons/>

9. [http://www.photogrammetry.ethz.ch/tarasp\\_workshop/papers/takase](http://www.photogrammetry.ethz.ch/tarasp_workshop/papers/takase).

10. [http://www.sociolog.net/virt\\_NPokrovsky](http://www.sociolog.net/virt_NPokrovsky).

11. <http://chornobyl.in.ua/3d-model-chaes.html>.

12. <http://www.masters.donntu.edu.ua/2003/fvti/anoprienko/library/lib4>.

13. <http://www.udel.edu/johnmack/frec480/cholera/cholera2.html>.

14. <http://www4.ncsu.edu/~jssmith4/NR595Portfolio/thiessen.html>.

15. <http://www.vliz.be/vmcddata/marbound/methodology.php>.



16. <http://support.esri.com/en/knowledgebase/GISDictionary/term/>.
17. [http://www.powershow.com/view/c48a8ZjZmO/SP\\_A\\_TIAL\\_P\\_A\\_TTERN](http://www.powershow.com/view/c48a8ZjZmO/SP_A_TIAL_P_A_TTERN)
18. <http://ebookbrowse.com/lec-15-spatial-pattern-analyses-pdf-d145272617>.
19. <http://www.csiro.au/files/files/piph>.
20. <http://www.powershow.com/view/c48a8->
21. [www.esri.com/news/arcuser/0610/nospin.html](http://www.esri.com/news/arcuser/0610/nospin.html).
22. <http://www.esri.com/news/arcnews/spring01articles/tornado-alley.html>.
23. <http://www.esri.com/news/arcnews/summer09articles/one-hundred-ways.html>.
24. <http://www.esri.com/news/arcnews/spring06articles/domestic-consequence.html>.
25. <http://www.esri.com/news/arcnews/spring04articles/brussels-international.html>
26. <http://www.esri.com/news/arcnews/fall07articles/los-angeles-california.html>
27. <http://www.esri.com/news/arcuser/1207/peoria.html>.
28. <http://www.esri.com/news/arcuser/0611/mapping-the-market-to-create-healthy-banks.html>.
29. <http://www.esri.com/news/arcnews/summer10articles/virtual-city.html>
30. <http://www.whatifinc.biz/>.
31. <http://www.whatifinc.biz/documentation.php>.
32. <http://www.whatifinc.biz/publications.php>.
33. <http://www.esri.com/news/arcnews/summer03articles/land-use-impacts.html>.
34. <http://www.esri.com/news/arcnews/fall02articles/formulating-sustainable.html>
35. <http://www.esri.com/news/arcnews/spring02articles/farmland.html>.
36. [http://www.esri.com/industries/planning/business/support\\_systems.htm](http://www.esri.com/industries/planning/business/support_systems.htm)
37. <http://www.esri.com/news/arcwatch/0907/feature.html>.
38. <http://www.esri.com/news/arcnews/fall07articles/gis-the-geographic-approach.html>.