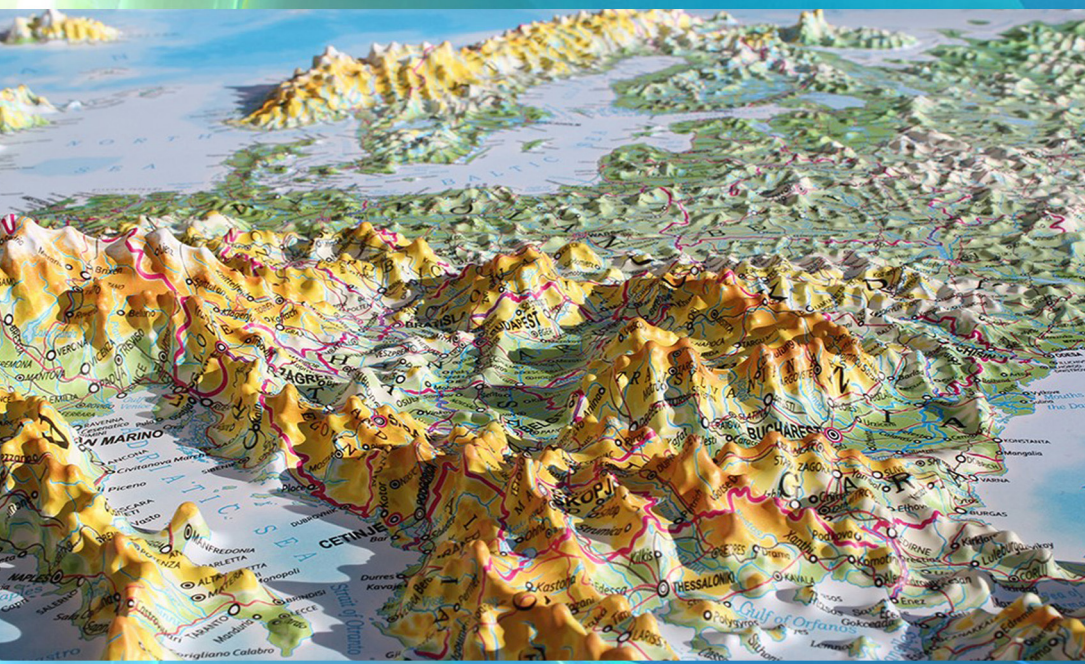


В. І. Зацерковний, В. Г. Бурачек
О. О. Железняк, А. О. Терещенко

ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ І БАЗИ ДАНИХ

Книга 2



**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**В. І. Зацерковний, В. Г. Бурачек,
О. О. Железняк, А. О. Терещенко**

ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ І БАЗИ ДАНИХ

**Монографія
Книга 2**

Ніжин
2017

Рекомендовано до друку Вченою радою
Аерокосмічного інституту Національного авіаційного університету
(протокол № 5 від 25.01.2016 р.)

Рецензенти:

Боровий В. О. – професор, ректор Університету новітніх технологій,
доктор технічних наук;

Шмаров В. М. – професор Національного авіаційного університету,
доктор технічних наук;

Зазуляк П. М. – професор Національного університету "Львівська
політехніка", доктор фізико-математичних наук

Зацерковний В. І., Бурачек В. Г., Железняк О. О., Терещенко А. О.
3-38 Геоінформаційні системи і бази даних : монографія. – Кн. 2 /
В. І. Зацерковний, В. Г. Бурачек, О. О. Железняк, А. О. Терещенко. – Ніжин :
НДУ ім. М. Гоголя, 2017. – 237 с.

ISBN 978-617-527-121-6 (повне зібрання)

ISBN 978-617-527-160-5

У монографії проаналізовано й узагальнено досвід геоінформаційного картографування та моделювання просторових і атрибутивних об'єктів. Досліджено можливості використання різного програмного забезпечення ГІС. Висвітлено можливості і підходи щодо класифікації та кластеризації просторових об'єктів, побудови тривимірних моделей.

Розглянуто сучасні технології обробки геопросторової інформації, моделі, що лежать у їх основі, сучасні напрями застосування ГІС і перспективи їх розвитку.

Монографія містить графічні ілюстрації, що пояснюють роботу ГІС.

Книга може бути корисною для науковців, керівників державних установ, викладачів вищої школи, аспірантів і студентів.

УДК 681.518.3:528
ББК 32.973.202(26.12)

ISBN 978-617-527-121-6 (повне зібрання)
ISBN 978-617-527-160-5

© В. І. Зацерковний, В. Г. Бурачек,
О. О. Железняк, А. О. Терещенко, 2017
© НДУ ім. М. Гоголя, 2017

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	6
1. Особливості геоінформаційного картографування	8
1.1. Загальні відомості про геоінформаційне картографування	8
1.2. Мультимасштабне картографування в середовищі ГІС	13
1.3. Тематичне картографування в середовищі ГІС	16
1.4. Картографічні умовні знаки та особливості їх застосування.....	17
1.4.1. Геометричні умовні знаки та особливості їх застосування	18
1.4.2. Графічні умовні знаки та особливості їх застосування	22
1.4.3. Знаки письма та особливості їх застосування	23
1.5. Правила використання умовних знаків	24
1.6. Застосування картограм і картодіаграм у ГІС	26
1.7. Вимоги до електронних карт, що створюються з метою оцінки вартості міських, селищних, сільських територій	29
1.8. Оперативне картографування.....	30
1.9. Картографічні анімації	31
1.10. Віртуальне картографування	32
1.11. Електронні атласи	34
2. Особливості геоінформаційного моделювання	36
2.1. Загальні відомості про геоінформаційне моделювання.....	36
2.2. Базові категорії геомоделювання	39
2.3. Класифікація геоінформаційного моделювання.....	42
2.3.1. Геогрупування.....	43
2.3.2. Буферизація.....	44
2.3.3. Генералізація.....	45
2.3.4. Комбінування	47
2.3.5. Геокодування	49
2.3.6. Узагальнення даних.....	51
2.3.7. Побудова тематичних карт на основі аналізу та обробки атрибутивних даних.....	52
2.3.8. Ректифікація даних.....	56
2.3.9. Проведення автоматичної класифікації.....	57
3. Системні основи геоінформаційного моделювання	59
3.1. Загальні відомості про системне геомоделювання.....	59
3.2. Обґрунтування необхідності застосування ГІС у моделюванні об'єктів геопростору	64
3.3. Вибір методики і способу зберігання та обробки даних	65
3.4. Особливості геовізуалізації даних.....	70
3.5. Особливості геообробки даних.....	73

4. Кластерний аналіз просторових об'єктів	77
4.1. Загальні відомості про просторовий розподіл об'єктів	77
4.2. Кластерний аналіз, переваги його застосування	78
4.3. Мета використання кластерного аналізу в ГІС	81
4.4. Міри схожості (міри близькості), що використовуються при кластерному аналізі	82
4.5. Характеристики кластерів	84
4.6. Методи кластерного аналізу.....	85
4.6.1. Ієрархічні методи кластерного аналізу.....	87
4.6.2. Неієрархічні методи кластерного аналізу	93
4.6.3. Порівняльний аналіз ієрархічних і неієрархічних методів кластеризації.....	95
5. Аналіз розподілу атрибутивних даних.....	97
5.1. Шкали виміру атрибутивних даних	97
5.2. Номінальні (категоріальні) шкали виміру атрибутивних даних	101
5.3. Порядкові (рангові) шкали виміру атрибутивних даних.....	103
5.4. Інтервальні шкали виміру атрибутивних даних	104
5.5. Основні операції обробки атрибутивної інформації.....	107
5.6. Властивості змінних.	108
6. Способи подання рельєфу на карті	110
6.1. Загальні відомості про рельєф	110
6.2. Способи подання рельєфу на карті	111
6.2.1. Спосіб перспективного зображення рельєфу (за допомогою малюнків)	116
6.2.2. Зображення рельєфу за допомогою штрихування.....	118
6.2.3. Подання рельєфу за допомогою відмивання	126
6.2.4. Подання рельєфу за допомогою горизонталей (ліній рівних висот).....	129
6.2.5. Подання рельєфу за допомогою позначок	135
7. Способи цифрового моделювання земної поверхні в ГІС.....	137
7.1. Загальні відомості про цифрове моделювання земної поверхні	137
7.2. Способи подання поверхонь у ГІС.....	143
7.2.1. Псевдотривимірний спосіб подання поверхонь у ГІС.....	144
7.2.2. Тривимірний спосіб подання поверхонь у ГІС	150
8. Джерела даних для побудови цифрових моделей рельєфу в ГІС ..	156
8.1. Загальні відомості про джерела даних для побудови цифрової моделі рельєфу	156
8.2. Дані геодезичних вишукувань як джерело даних для ЦМР	157
8.3. Карта як джерело даних для ЦМР	158

8.4. Лазерне сканування як джерело даних для ЦМР.....	162
8.5. Лазерні сканувальні системи повітряного базування	169
8.6. Використання інтерферометричних даних для побудови ЦМР.....	176
9. Побудова поверхонь за допомогою інтерполяції.....	181
9.1. Загальні відомості про апроксимацію та інтерполяцію.....	181
9.2. Створення поверхонь за допомогою лінійної інтерполяції	183
9.3. Інтерполяція на основі триангуляції Делоне	184
9.4. Створення поверхонь методом зворотно-зважених відстаней	185
9.5. Створення поверхонь методом природної околиці	190
9.6. Створення поверхонь за допомогою сплайнів	191
9.7. Створення поверхонь за допомогою тренду	195
9.8. Створення поверхонь за допомогою крігінгу.....	197
9.9. Створення поверхонь за допомогою методу радіальних базисних функцій	206
9.10. Порівняння методів створення поверхонь.....	206
10. Інструментарій ГІС для побудови та аналізу поверхонь	208
10.1. Інструментарій ArcGIS для аналізу рельєфу	208
10.2. Інструменти аналізу видимості.....	210
10.3. Інструменти розрахунку об'єму	213
10.4. Інструменти перекласифікації поверхонь.....	219
10.5. Інструменти аналізу відстаней	220
10.6. Інструменти накладання растра	221
10.7. Добування інформації з поверхні.....	222
10.7.1. Вибірка растрів	222
10.7.2. Добування інформації з TIN.....	224
10.7.3. Витяг ізоліній	225
10.7.4. Інструменти аналізу гідрології.....	227
Список використаних джерел.....	229

ПЕРЕДМОВА

*Розумні люди володіють інформацією,
а мудрі – результатом її обробки.*

Широке застосування сучасних інформаційних технологій, теоретичною базою яких є інформатика та геоінформатика, спричинило бурхливий розвиток геоінформаційних технологій (ГІТ), які інтегрували в собі технічні й апаратні засоби, інформаційне, програмне та кадрове забезпечення.

Сьогодні у світі геоінформаційні системи (ГІС) і ГІТ набули настільки широкої популярності, що навіть важко уявити собі галузі і сфери, де вони не застосовуються або не можуть бути застосовані. ГІТ активно використовуються для розв'язку наукових і практичних задач, включаючи планування та управління на локальному, регіональному і державному рівнях, комплексне багатоаспектне дослідження природно-економічного потенціалу в межах крупних регіонів, інвентаризацію і кадастр природних ресурсів, проектування транспортних магістралей і нафтопроводів, екологічний і економічний моніторинг, забезпечення безпеки життєдіяльності тощо.

ГІС і ГІТ настільки міцно увійшли в практику, що опанування навичок геоінформаційного аналізу доволі часто є обов'язковою умовою прийому на роботу. Такий високий попит на геоінформатиків і повсюдне використання цих систем змушують людей, що не мають профільної освіти, активно опановувати сучасні геоінформаційні продукти.

Сьогодні геоінформаційні методи, що первісно використовувався лише вузьким колом фахівців, стали надбанням масових користувачів.

Поява "глобальної павутини" – мережі інтернет та її активний розвиток у всіх регіонах Землі сприяють обміну досвідом серед геоінформатиків і популяризації ГІС у широких колах пересічних користувачів мережі за допомогою геоінформаційних Web-сервісів, які дозволяють візуалізувати й інтегрувати різного роду просторову інформацію, здійснювати доступ до даних і їх публікацію. Однак виникнення on-line сервісів з картографічною інформацією далеко не остання тенденція розвитку сучасної геоінформатики. Web-технології дали імпульс до подальшої інтеграції традиційних зв'язків геоінформатики, картографії і дистанційного зондування: з'явилися геопортали, геоінформаційні Web-сервіси, засновані на матеріалах космічної зйомки Землі, тощо.

Розвиток суспільства, ускладнення його інфраструктури вимагають від нового покоління більш ефективного і продуманого управління ресурсами, оволодіння новими засобами та методами обробки інформації. Це передусім методи обробки й аналізу просторової інформації, методи оперативного розв'язку задач управління, підтримки прийняття рішень, оцінки і контролю динамічних процесів у природі, суспільстві, економіці.

ГІТ надають нові методи і засоби обробки інформації, які забезпечують високу наочність відображення різномірної інформації, потужність і зручність інструментарію для аналізу реальності.

Нарешті, не менш важливим чинником є стратегічне значення геоінформатики. Надзвичайно велика зацікавленість до ГІС і ГІТ, стрімкість їх впровадження, широта сфери застосування, включення їх до низки найбільших державних програм останніх років (наприклад, в кадастрову систему), стратегічне значення геоінформатики дають їй всі підстави претендувати на місце однієї з найбільш перспективних інформаційних технологій.

Геоінформатика (GIS science, geographic information science, geoinformatics) вивчає методи аналізу інформації про локалізовані в просторі об'єкти, явища і процеси реального світу. Наукові дослідження в галузі геоінформаційного аналізу набувають все більшого визнання в світі як один з ключових факторів створення інформаційного суспільства.

На сьогодні в світі розроблено сотні ГІС різного призначення і різного просторового охоплення, які забезпечують можливість збереження, доступу, аналізу і картографічного подання просторової інформації у вигляді інтерактивних електронних карт. Одночасно відбувається експоненціальне зростання обсягів цифрової інформації з географічною прив'язкою, що відноситься природного середовища, інфраструктури та суспільства. Візуалізація і аналіз геоданих є ключем до трансформування геоданих у потужну, вкрай корисну інформацію.

В зв'язку з цим виникають завдання освоєння цієї інформації, завдання її комплексної переробки, використання для прогнозу процесів і явищ, добування з геопросторової інформації нетривіальних закономірностей і знань.

Бурхливий розвиток ГІТ визначає актуальність їх застосування в найрізноманітніших сферах людської діяльності, таких як муніципальне управління, ведення кадастрів природних ресурсів, охорона навколишнього природного середовища, геологічна, соціальна, економічна сфери, прогнозування їх розвитку.

Предметом дисципліни є дослідження методів побудови ГІС, створення геоінформаційних проектів для статистичного аналізу, вивчення і подання просторово-часових даних про природні та антропогенні процеси і їх дослідження за допомогою закономірностей функціонування природних і соціально-економічних систем. Оцінка і прогнозування їх поведінки в умовах антропогенного впливу, а також прийняття управлінських рішень за допомогою ГІТ з раціонального використання та охорони природних ресурсів, обліку ефективності роботи різних галузей економіки держави.

Мета курсу – ознайомлення студентів з основами ГІТ.

Основні завдання курсу – освоєння студентами основ геоінформаційних технологій, набуття навичок побудови геоінформаційних проектів.

Даний курс тісно пов'язаний з іншими дисциплінами інформаційної освіти студентів, у тому числі з інформатикою, цифровою картографією, методами дистанційного зондування Землі, основами ведення кадастрової інформації, організацією моніторингу навколишнього середовища за допомогою ГІТ, геоінформатики, геомаркетингу, статистики тощо.

Метою монографії є забезпечення фахівців матеріалом як для розробки аналітичних ГІС, так і для створення предметно орієнтованих геоінформаційних додатків, призначених для просторово-часового прогнозу в фундаментальних дослідженнях і прикладних сферах.

1. ОСОБЛИВОСТІ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОГО КАРТОГРАФУВАННЯ

*Протягом багатьох століть люди мріяли оволодіти картою, на якій було б відзначено місце, де захований скарб. Вони навіть не могли припустити, що справжнісіньким скарбом є сама карта.
Артур Кларк, письменник-фантаст*

Геоінформаційне картографування (ГК) формується на стику географії, картографії, інформатики, теорії інформаційних систем та інших дисциплін.

Чинниками, які сприяли становленню і розвитку ГК, стали розвиток теорії та методів нової науки геоінформатики, широке впровадження в географію і картографію ГІТ, створення різноманітних геоінформаційних продуктів, геобаз даних, розвиток технічних засобів та методів комп'ютерного картографування.

Саме зв'язок графічного зображення об'єктів на карті з комп'ютерною базою даних надав можливість еволюціонувати функціям карти, перетворивши їх на геоінформаційну модель. Такі моделі нині застосовуються в багатьох галузях практичної діяльності людини і допомагають розв'язувати цілком конкретні практичні завдання.

1.1. Загальні відомості про геоінформаційне картографування

Геоінформаційне картографування – це розділ картографії та геоінформатики, що охоплює теорію і методи створення та використання геоінформаційних моделей, цифрових і електронних карт, інших просторово-часових моделей на основі ГІС і ГІТ.

Впровадження ГІТ в картографію спричинило появу нових типів карт – цифрових і електронних, а також методів їх використання. Всі традиційні задачі, що вимагали витягу інформації з карт та її наступної обробки, були переформульовані в термінах обробки баз даних, оскільки просторовий аналіз у комп'ютерному середовищі передбачає оперування не зображенням, а тими даними, на основі яких воно побудовано [98; 99]. Відбулась трансформація картографічного методу дослідження в геоінформаційно-картографічний, де всі точні операції (картометричні, морфометричні, аналітичні тощо) здійснюються над цифровими записами об'єктів у базі даних, а картографічне зображення є засобом відображення результатів обробки даних, джерелом інформації в процесі візуального аналізу. Сформувався новий практичний підхід до створення карт, що отримав назву "database-driven mapping", або "картографія на основі баз даних" [101]. Він зажадав обов'язкової наявності

програмного середовища, яке б забезпечувало безперервний зв'язок електронної карти і бази даних. Функції цього середовища якраз і виконує ГС.

Геоінформаційне картографування – технологічний процес збору й обробки геоінформації (ГІ), формування геоінформаційних моделей (ГІМ), створення і ведення територіальних банків даних (ТБД), створення цифрових карт місцевості (ЦКМ) і електронних карт (ЕК).

Також під ГК розуміють інформаційно-картографічне моделювання геосистем.

Принципові відмінності між традиційним і ГК наведено на рис. 1.1.

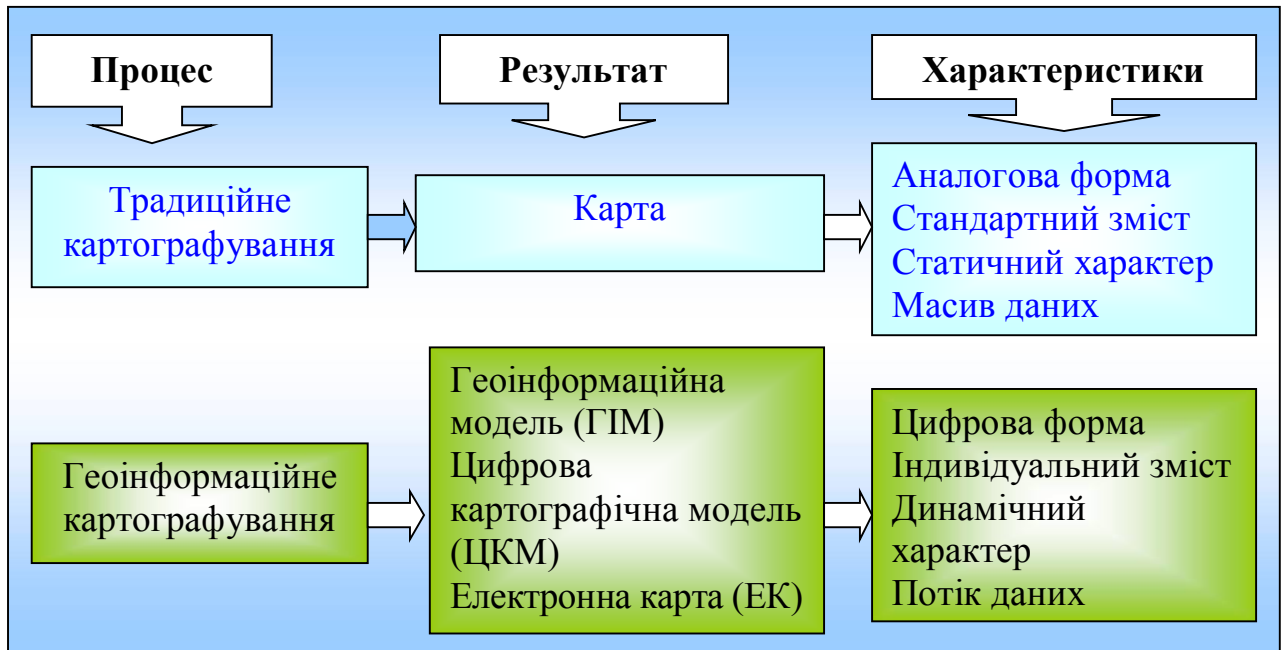


Рис. 1.1. Відмінності між традиційним і геоінформаційним картографуванням

Традиційне картографування спрямоване на підготовку інформації безпосередньо для людини (тобто орієнтоване на людське сприйняття).

ГК спрямоване на підготовку інформації для комп'ютера (тобто орієнтоване на комп'ютерну обробку даних).

Базові поняття ГК:

- просторові об'єкти – видимі і віртуальні об'єкти території;
- просторові відношення – взаємозв'язки об'єктів у просторі;
- просторові властивості – властивості об'єкта в частині його форми, розміру і положення в просторі;
- просторова інформація (геоінформація) – інформація про форму, розмір і положення об'єкта (процесу, явища) у просторі;
- геоінформаційна модель – модель території в просторовому аспекті;
- геоінформаційний процес – процес отримання просторової інформації, моделей об'єктів і території.

При роботі в ГС користувач працює не з цифровою картою, а з її електронним поданням на екрані комп'ютера. Кожен значок на екрані комп'ютера –

це об'єкт карти. Об'єкти карти мають координатний опис – метрику і набір атрибутивних даних (семантику), притаманні саме цьому об'єкту місцевості.

Зовнішній вид об'єкта карти, цифрове кодування, набір обов'язкових і допустимих атрибутів, генералізація (видимість об'єкта при певному масштабі візуалізації), службова інформація і посилання визначаються в цифровому класифікаторі карти.

Об'єктом електронної карти є сукупність цифрових даних (метрика, атрибути (семантика), довідкові дані). Об'єкту карти може відповідати:

- реальний об'єкт (явище, процес) на місцевості (міст, річка, будівля, забруднення території або атмосфери тощо);
- група об'єктів (квартал – група будинків тощо);
- частина об'єкта (при складному опису метрики об'єкта вона може бути розділена на два об'єкти);
- пояснювальні написи, горизонталі, кілометрова сітка тощо.

Таким чином, електронна карта – це скомпонований користувачем набір різних цифрових даних про місцевість (об'єктів карти), що відносяться до певної території. Основою електронної карти може бути векторна або растрова карта місцевості.

Кarti в ГІС відрізняються від звичайних статичних паперових карт тим, що вони є *інтерактивними*, тобто з ними можна взаємодіяти (зменшувати і збільшувати, причому за певних масштабів деякі шари на карті можуть з'являтися або зникати). Вибравши геооб'єкт на інтерактивній карті, можна отримати про нього додаткову інформацію, будувати просторові запити і виконувати аналіз. Наприклад, визначивши межі пошуку, можна знайти всі магазини певного типу недалеко від шкіл (наприклад, у радіусі 200 м) або усі заболочені ділянки на відстані до 500 м від вибраних доріг. Крім того, за допомогою інтерактивних карт здійснюють редагування даних і створюють просторові образи об'єктів.

Сучасні ГІС під час масштабування карт виконують деталізацію залежно від масштабу перегляду. За великої кількості об'єктів можна застосовувати умовні знаки для відображення шарів карти на основі будь-якого вибраного набору атрибутів. Наприклад, кольорова шкала умовних позначень для земельних ділянок може ґрунтуватися на типах їх зонування, а розміри точкових значків для позначення свердловин можуть бути пов'язані з обсягами видобутку.

Серед характерних рис ГК найважливішими є такі:

- системний підхід до відображення й аналізу геосистем;
- високий ступінь автоматизації (за рахунок використання баз цифрових даних);
- інтерактивність картографування, поєднання методів створення і використання карт, а також багатосередовищність, яка дозволяє поєднувати іконічні, текстові, звукові дані, різні зображення та відеодані;
- оперативність створення, що наближається до реального часу, в тому числі з широким використанням даних дистанційного зондування та глобальних систем супутникового позиціонування;

– багатоваріантність, що надає можливість здійснювати різнобічну оцінку ситуацій та оцінювати спектр альтернативних рішень; застосування комп'ютерного дизайну і сучасних графічних засобів, що підтримують як векторну, так і растрову графіку;

– створення зображень нових видів і типів (різні електронні векторні і синтезовані векторно-растрові карти, моделі поверхонь, тривимірні комп'ютерні моделі, анімацію тощо);

– переважно проблемно-практична орієнтація картографування, спрямована на забезпечення прийняття рішень.

ГК поділяється на *галузеве, аналітичне, синтетичне та комплексне*. Зважаючи на це, виділяють різні види і типи картографування.

Галузеве картографування – це створення карт для певної галузі (геологічне, загальногеографічне, ландшафтне, сільськогосподарське, промисловості, лісового господарства тощо).

Аналітичне картографування – це створення карт неузагальнених або мало узагальнених показників певного явища, які найчастіше отримуються на основі поодиноких спостережень. Наприклад, карти окремих метеорологічних чинників, що характеризують їх величину в той або інший момент чи період часу (рис. 1.2): температури повітря, атмосферного тиску, опадів, вітрів тощо; або карти крутизни схилів, глибин, густини розчленування рельєфу (рис. 1.3) тощо.

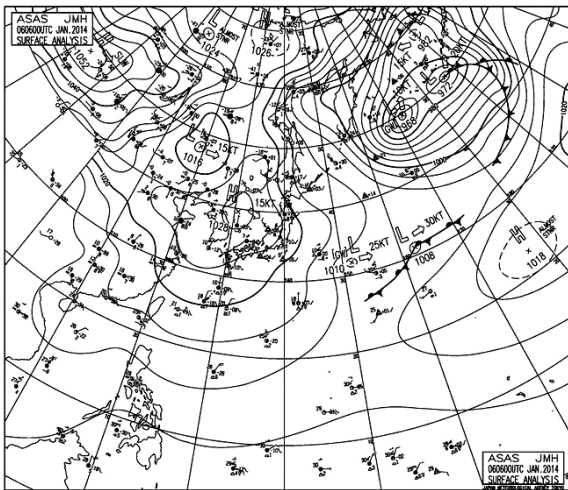


Рис. 1.2. Аналітична карта фактичної погоди

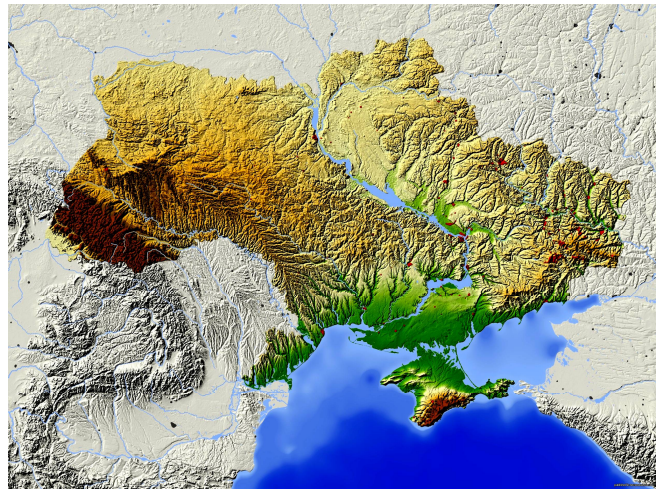


Рис. 1.3. Аналітична карта розчленування рельєфу

Аналітичні карти дають інформацію про певні аспекти або властивості об'єктів (процесів, явищ), їм притаманне відволікання від цілого.

Синтетичне картографування дозволяє створювати карти, які дають цілісне просторове відображення явищ у результаті інтерпретації найбільш істотних показників, їх інтеграції та узагальнення з урахуванням зв'язків між ними. Прикладом можуть слугувати карти кліматичного районування, сільсько-

Мультимасштабна карта – модель геопростору, що призначена для створення і візуалізації генералізованого подання об'єктів у безлічі масштабів.

З точки зору користувача, мультимасштабна карта є електронною картою змінної деталізації.

На відміну від традиційного підходу, в якому між картою і конкретним зображенням або його цифровим записом є однозначний зв'язок "один масштаб – одна карта", мультимасштабні карти являють собою більш широкий клас, у якому одна карта покриває безліч масштабів.

Процес генералізації-деталізації в мультимасштабних моделях відбувається вздовж базисного напрямку, який визначається додатковим просторовим виміром M (рис. 1.7).

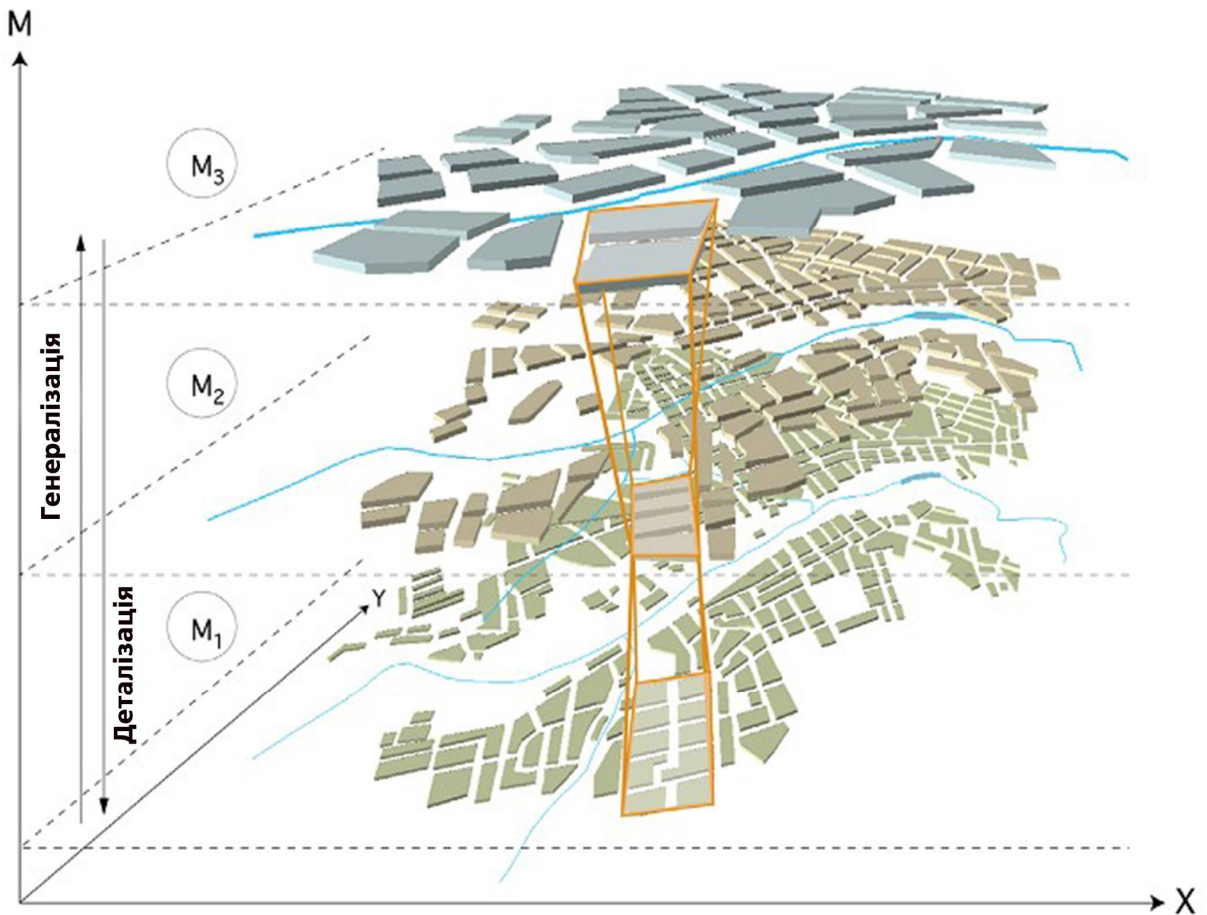


Рис. 1.7. Процес генералізації-деталізації в мультимасштабному просторі ХУМ [119]

Виміри, що відбуваються в процесі генералізації-деталізації, мають нелінійний характер, що підкреслює форма об'єму, поданого на рис. 1.7. Мультимасштабні карти, що породжують на екрані плоскі зображення, є тривимірними, оскільки дозволяють здійснювати перегляд "у глибину", розкриваючи ієрархічну структуру картографованих явищ. Як приклад, на рис. 1.7 виділено об'єм, усередині якого відбувається генералізація безлічі об'єктів однієї ієрархії.

Зображення, що сформоване на основі правил мультимасштабної карти F , являє собою її підпростір при $M=const$, де M – масштаб зображення. Цей підпростір відповідає елементу $E=F(X, Y, M)$ безлічі зображень, що формуються мультимасштабною картою. Зрозуміло, що можуть бути і динамічні просторово-часові мультимасштабні моделі, які можуть мати чотири (X, Y, T, M) , п'ять (X, Y, Z, T, M) і більше вимірів.

Математична основа мультимасштабних карт відрізняється додатковими елементами, які тісно пов'язані з ієрархічною структурою об'єктів (процесів, явищ) картографування. Наприклад, таке явище, як розселення, починається з будинків, що утворюють квартали, потім з кварталів формуються міста. Аналогічно цьому ієрархічну структуру мають повітряні маси атмосфери, рельєф і річкові басейни (рис. 1.8).

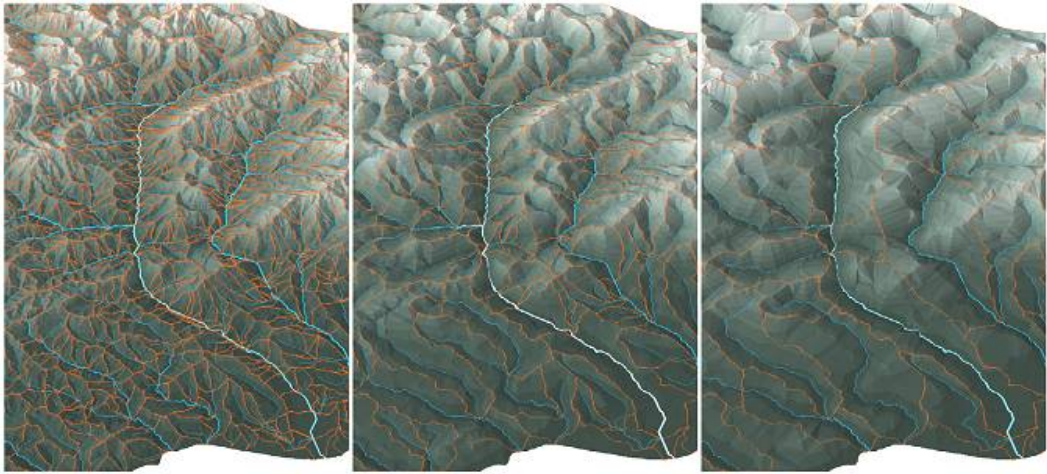


Рис. 1.8. Виділення водозбірних басейнів різного порядку за допомогою генералізації

Кожен рівень ієрархії, залежно від його природи, характеризується певним масштабом, у якому його склад і структура можуть бути чітко відображені у вигляді зображення. Цей масштаб стає базовим для мультимасштабної карти. Набір ієрархічних рівнів визначає ряд базових масштабів [119].

Мультимасштабні карти володіють низкою відмітних властивостей, які дозволяють їх віднести до категорії інтелектуальних геообразень [111]:

- *інтелектуальний механізм*, що дозволяє узгоджено, з використанням правил і алгоритмів генералізації переходити від одного масштабу до іншого;
- *двоспрямований процес генералізації-деталізації*, що дозволяє не тільки зменшувати, але й збільшувати детальність картографічного зображення;
- *додатковий вимір масштабу*, що відповідає за процес генералізації-деталізації в мультимасштабному просторі;
- *додаткові елементи математичної основи* – масштабний діапазон і масштабний ряд.

Варто зазначити, що в науковій літературі, крім терміна "мультимасштабний" (аналогічний англ. терміну "multiscale"), вживаються також "полімасштабний", "багатомасштабний", "кратномасштабний" і "різномасштабний" [119].

1.3. Тематичне картографування в середовищі ГІС

Тематична карта (thematic map) – це карта, що відбиває певний сюжет (тему, об’єкт, явище, галузь) або комбінацію сюжетів.

Тематичне картографування – комплекс заходів і процесів щодо створення тематичних карт і атласів [1].

Тематичні карти є унікальним інформаційним ресурсом завдяки своїй можливості в концентрованому вигляді в наочній формі, яка легко сприймається, представляти величезний обсяг знань як для пересічних громадян, так і для різних організацій, установ та органів державної влади.

ГІС дали поштовх подальшому розвитку тематичних карт, запровадивши нові образотворчі інструменти та нові методики. І що найголовніше – за допомогою ГІС процес створення нової тематичної карти відбувається дуже швидко. Тематичні карти створюються для візуального аналізу просторово розподіленої інформації (рис. 1.9).

Шаблони тематичних карт дозволяють створювати карти на основі вже створених умов (рис. 1.10).

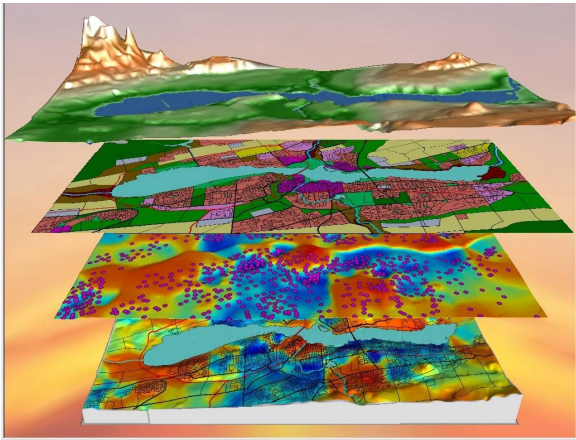


Рис. 1.9. Серія тематичних карт

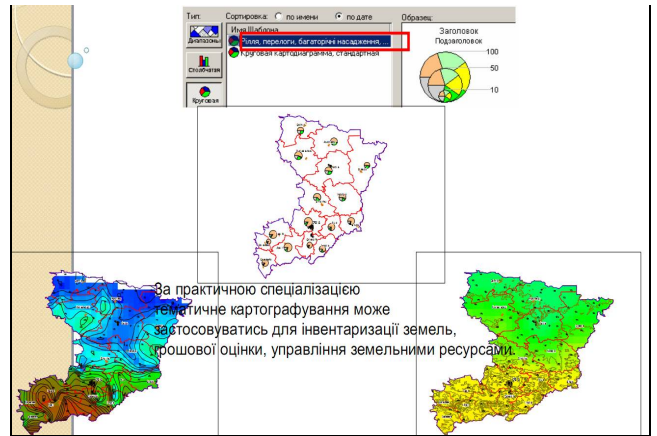


Рис. 1.10. Створення тематичних карт на підставі шаблону

Застосування ГІС в тематичному картографуванні дозволяє:

- створювати і використовувати багатоцільові бази картографічних даних;
- комплексно аналізувати та інтерпретувати великі об’єми розрізних неоднорідних якісних і кількісних даних;
- оцінювати і ранжувати характеристичні ознаки об’єктів дослідження в умовах неоднозначності їх зв’язків з цільовою властивістю цих об’єктів;
- збільшити ступінь вилучення й використання корисної інформації з наявних даних та підвищити детальність і достовірність створюваних карт і прогнозних побудов;
- обмежити залежність кінцевих результатів від суб’єктивних концепцій дослідників та поєднувати формалізовані й експертні методи прийняття рішень;

– контролювати якість прогнозних побудов до початку натурних спостережень, оптимізувати мережу цих спостережень, моделювати різні стратегії використання природного середовища;

– забезпечити оперативну інформаційну підтримку експертних рішень довідковими, фактографічними й аналітичними даними.

Особливістю ГІС є те, що дані (*геометрія* й *атрибутика*) та їх зміст (*семантика*) поділені за логічними (тематичними) групами, які називаються *шарами* і які, в свою чергу, групуються в тематичні карти.

Для того щоб просторові дані були відображені на карті, слід визначити набір правил відображення даних на електронній карті. В деяких ГІС візуалізатори просторових даних називають *символікою* відображення даних.

Виділяють такі розділи тематичного картографування:

– *картографування природи*: геологічне, кліматичне, ґрунтове, геоботаничне тощо;

– *картографування суспільства*: населення, господарства, історичне тощо;

– *картографування взаємодії природи і суспільства*: інженерно-геологічне, екологічне, природоохоронне тощо;

– *створення карт, атласів та інших картографічних творів*.

Атрибутивна інформація, на основі якої будується карта (одне чи декілька полів бази даних), називається тематичною змінною.

Тематична змінна може використовувати вираз, який обчислює нове значення на підставі значень одного чи декількох полів з використанням математичних, логічних і просторових операторів або функцій.

При створенні тематичних карт ГІС дозволяють користуватися сотнями кольорів, різними символами і типами ліній, які дають можливість створювати карти з плавним переходом кольорів, за допомогою тіней більш реально відображати рельєф або інші графічні матеріали.

В основу тематичної карти можна брати відскановані картографічні матеріали, супутникові знімки, фотографії тощо.

1.4. Картографічні умовні знаки та особливості їх застосування

Базовим елементом усіх картографічних зображень є *умовні знаки*, за допомогою яких просторові об'єкти відображуються на карті.

Система умовних знаків утворює мову карти.

Картографічні умовні знаки (conventional signs, (cartographic) symbols, map symbols) – графічні символи, що використовуються на картах для позначення різних об'єктів і явищ реального світу.

Умовні знаки утворюють три відносно самостійні системи знаків:

– *геометричні* (точки, лінії, полігони);

– *графічні* різних форм, розмірів, кольорів (штрихування), які утворюють зміст карти;

– *письмові (спеціальні)* – географічні назви (імена), що пояснюють характеристики об'єктів на карті, надають більш докладні відомості про

зображені на картах об'єкти і явища. Пояснювальні підписи найчастіше передають найменування у скороченій формі: *шах.* – *шахти*, *оз.* – *озеро*, *вдсх.* – *водосховище*. Деякі підписи дають якісну і кількісну характеристику об'єктів: висоту гори, швидкість течії води у річках, якість води в озерах (солоне або гірко-солоне) тощо.

Описані підсистеми умовних знаків дають ключ до розуміння устрою та функціонування мови карт і визначаються певними правилами (стандартами).

Умовні знаки характеризують просторове розташування реальних або абстрактних об'єктів, їх вигляд, форми й розміри, якісні й кількісні особливості, внутрішню структуру, місце в ієрархії однорідних об'єктів.

Сукупності умовних знаків на картах формують картографічні образи зображуваних об'єктів або явищ.

Проте умовні знаки, що розташовані згідно з певними правилами, – це ще не карта. Перетворення умовних знаків на карту відбувається тільки після їх певного розміщення в площині карти відповідно до положення позначуваних ними об'єктів відносно заданої мережі географічних координат. Географічна сітка меридіанів і паралелей разом з геометричними лініями, точками і полігонами – контурами геооб'єктів – утворюють "скелет" карти, її власне картографічну (просторову) складову. Функція цієї картографічної основи – відбити розташування об'єктів картографування відносно обраної системи відліку координат, їх взаємне розташування, просторову форму та орієнтацію. Поєднання умовних знаків з відповідними геометричними елементами, що висвітлює місце розташування геооб'єктів на картографічній основі, й утворює карту.

Розрізняють *позамасштабні умовні знаки* (point symbols), що застосовуються для об'єктів, локалізованих у пунктах, *лінійні умовні знаки* (line symbols) та *площинні умовні знаки* (area symbols) для заповнення площ. Зведення умовних знаків дається в легенді карти.

Візуалізатори набору просторових даних задають правила, за якими будуть обиратися різні умовні знаки для окремих об'єктів з цього набору даних.

1.4.1. Геометричні умовні знаки та особливості їх застосування

У картографії виділяють три основні типи геометричних умовних знаків: *точкові*, *лінійні* та *полігональні*.

Точковими умовними знаками на карті зображують об'єкти або явища, розміри яких в масштабі карти дуже малі (зазвичай менше 1 мм). Кожний точковий умовний знак характеризується координатами розміщення на карті, типом, розміром, кутом повороту і кольорами відображення. При цьому розмір умовного знака вибирається не пропорційно розміру зображуваного об'єкта, а так, щоб він добре сприймався людиною. Саме тому міста на дрібно-масштабних картах зображують точковими умовними знаками у вигляді кіл, а не багатокутників з точними границями, при цьому розмір таких кіл істотно більший за точні багатокутники.

Приклади використовуваних точкових умовних знаків подано на рис. 1.11.

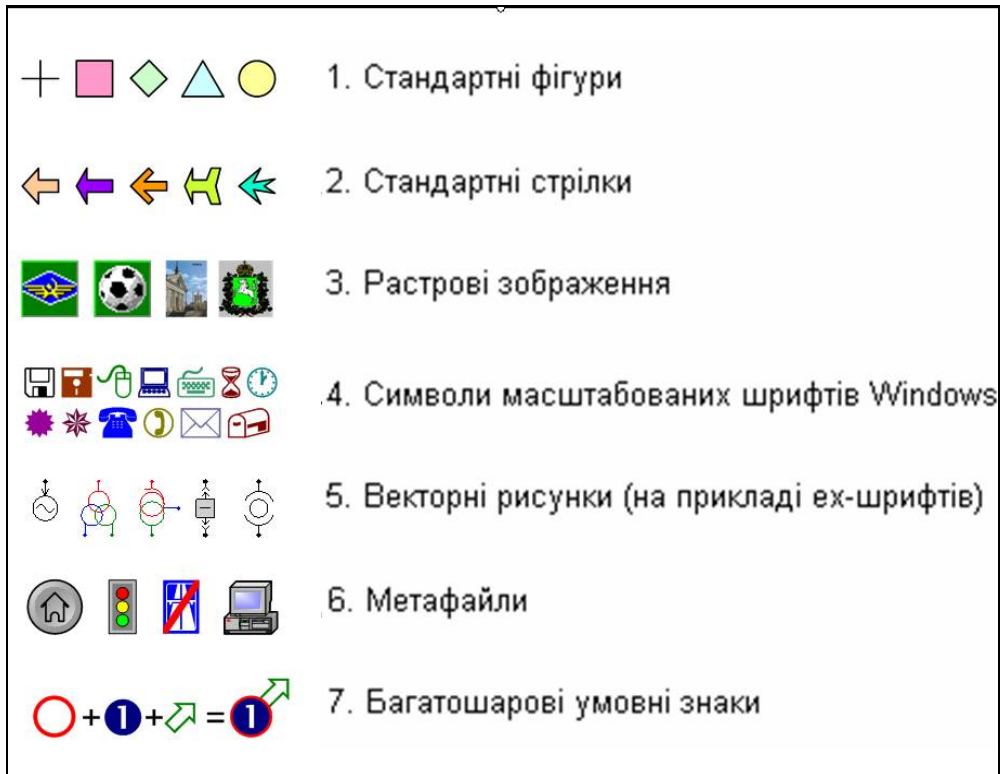


Рис. 1.11. Приклади стандартних точкових умовних знаків, що застосовуються для складання тематичних карт в ГІС

1. *Прості стандартні фігури* (кола, квадрати, ромби, трикутники, перехрестя) дозволяють швидко відображувати точкові об'єкти на екрані монітора. Незважаючи на те, що даний спосіб не відповідає нормам картоскладання, він реалізований у більшості існуючих ГІС.

2. *Стандартні стрілки*. Цей спосіб використовується для відображення точкових об'єктів (подій, явищ), що мають визначену орієнтацію в просторі. Для стрілок задається тип, розмір, довжина і кут повороту. Цей спосіб притаманний більшості ГІС.

3. *Растрові зображення*. Такі умовні знаки задаються у вигляді прямокутного растру, при цьому деякі комірки позначаються як прозорі. Перевагою цього способу є простота задання умовних знаків. До недоліків відносять: растровий характер зображення, помітний при збільшенні карти; технічні складності плавного масштабування і повороту растрів, а також відображення прозорих частин растру; низьку швидкість виведення растрів на монітор порівняно з виведенням векторних малюнків. Однак останнім часом, завдяки удосконаленню програмно-апаратних технологій роботи з растрами, ці недоліки практично нівелювалися.

4. *Символи масштабованих шрифтів Windows* (OpenType, TrueType, Type1). Такі умовні знаки складаються з декількох символів шрифтів, послідовно

накладених один на одного, кожний з яких характеризується своїм індивідуальним розміром, кольором, кутом повороту і зсувом відносно інших символів. Головною перевагою є висока швидкість виведення і якість отриманих умовних знаків на екрані комп'ютера, оскільки зображення символів на екрані здійснюється стандартними засобами ОС Windows, які забезпечують згладжування сходових ефектів символів. Вадюю ж методу є складність створення умовних знаків для пересічних користувачів ГІС, оскільки для цього потрібно створювати нові символи шрифтів ОС Windows за допомогою спеціальних програм редагування шрифтів. Цей спосіб реалізований, наприклад, в ArcGIS.

5. *Векторні рисунки*, що створюються в спеціалізованих векторних редакторах умовних знаків. Даний спосіб є найбільш гнучким, оскільки векторні зображення малюються швидше, ніж іншими способами; якість зображення при друці (але не на екрані) є більш високою, на відміну від інших способів; дозволяє користувачеві швидко і зручно створювати нові умовні знаки. Цей спосіб реалізований, зокрема, в технології ех-шрифтів, що використовується системою IndorGIS.

6. *Метафайли*. Умовні знаки задаються у вигляді векторних зображень, що зберігаються у форматі Windows Metafile. Цей спосіб є достатньо швидким і якісним, однак незручний для користувача, якщо він передбачає створювати нові умовні знаки.

7. *Багаточарові умовні знаки*, що складаються зі знаків, заданих різними вищенаведеними способами. Цей спосіб використовується, наприклад, в ArcGIS, а також у низці інших ГІС.

Лінійними умовними знаками на карті зображують об'єкти або явища, у яких довжина істотно перевищує ширину об'єкта, яка складає зазвичай менше 1 мм. Саме тому на дрібно- та середньомасштабних картах малі річки, магістральні нафтогазопроводи, повітряні лінії електропередачі, автомобільні дороги і залізниці зазвичай зображують лініями.

Кожний лінійний умовний знак на карті повторює певну лінію (ламану або криву), додатково характеризуючись типом знака, товщиною і кольорами відображення.

Лінійні умовні знаки в деяких випадках можуть включати в себе, як складові частини, точкові умовні знаки, що розміщуються вздовж відображуваної лінії через певну відстань або в характерних точках, наприклад, у вузлах відображуваної ламаної. При цьому точкові умовні знаки можуть повертатися разом з лінією або бути однаково орієнтованими. Наприклад, повітряна лінія електропередач (ЛЕП) може бути описана ламаною, вершини якої подають опори, а відрізки ламаної – просвіти між опорами. Лінійний умовний знак, що описує цю ЛЕП, може включати точкові умовні знаки опор, при цьому просвіти між опорами будуть зображені звичайними відрізками прямих.

Способи подачі лінійних умовних знаків подано на рис. 1.12.

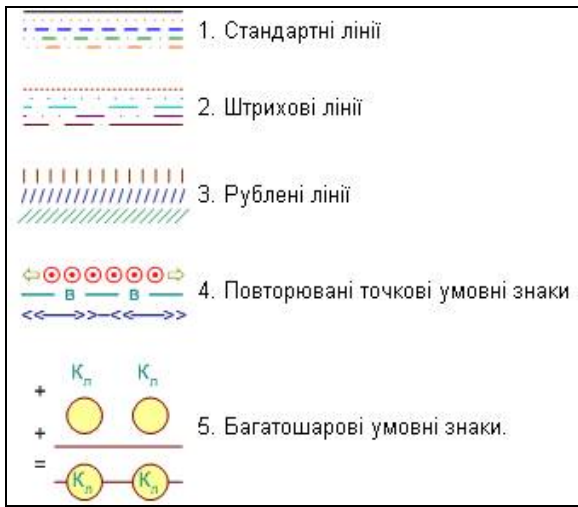


Рис. 1.12. Способи задання лінійних умовних знаків у ГІС

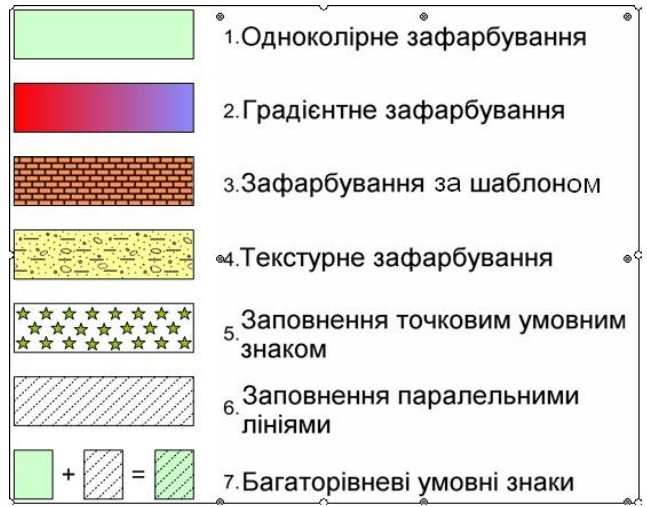


Рис. 1.13. Деякі способи задання площинних умовних знаків у ГІС

1. *Простими стандартними лініями*, промальовування яких здійснюється програмними засобами ОС Windows (реалізована в ОС Windows GDI). Це суцільні, штрихові, пунктирні, штрих-пунктирні і штрих-штрих-пунктирні лінії. При цьому тільки суцільні лінії можуть відображатися не одиничною товщиною. Цей спосіб дозволяє швидко відображати лінійні об'єкти на екрані, однак він не відповідає нормам створення картографічних матеріалів.

2. *Штриховими лініями*, в яких можна задавати товщину і довжину штрихів, а також проміжки між ними. Цей спосіб суттєво поліпшує образотворчі можливості ГІС, але не вирішує проблеми відображення повноцінних умовних знаків.

3. *Рубаними лініями*. У цьому способі вздовж відображуваної лінії з певною періодичністю малюються невеликі відрізки під заданим кутом до лінії. Рубані лінії характеризуються розміром і формою маленьких відрізків, а також проміжками між ними. Даний спосіб реалізований тільки в деяких сучасних ГІС.

4. *Точковими умовними знаками*, що повторюються вздовж лінії з певною періодичністю, а також окремі знаки, які повторюються на кінцях лінії. Цей спосіб реалізується у більшості сучасних ГІС.

5. *Багатошаровими умовними знаками*, що складаються зі знаків, заданих різними вищенаведеними способами. Цей спосіб використовується, наприклад, в ArcGIS, а також у низці інших ГІС.

Основна проблема комп'ютерного зображення лінійних умовних знаків полягає в зображенні кінців ліній і місць перегину. Річ у тім, що для багатьох умовних знаків, що застосовуються в картографії, є різноманітні неформалізовані обмеження, наприклад, якщо лінійний умовний знак є штриховою лінією, то її проміжки не повинні припадати на кінці і точки повороту відображуваної лінії. Саме тому багато лінійних умовних знаків на реальних картах мають неформальну (не строго періодичну) структуру.

Площинними умовними знаками на карті зображують *регулярні* об'єкти або явища, істотно протяжні у масштабі карти і які не можна подати точковими або лінійними умовними знаками. Термін "*регулярні*" означає, що зовнішній вигляд площинного умовного знака не залежить від порядку задання точок у контурі об'єкта. Ті умовні знаки, які не є регулярними, зазвичай відносять до *спеціальних умовних знаків* – особливого підвиду площинних знаків.

Кожний площинний умовний знак на карті заповнює певну замкнуту область і додатково характеризується типом, розміром і кольорами відображення.

1.4.2. Графічні умовні знаки та особливості їх застосування

Площинні умовні знаки складаються з певного спеціального рисунка, який рівномірно заповнює замкнуту область на карті. У низці випадків цей рисунок може складатися з точкових умовних знаків, які з визначеною регулярністю заповнюють усю відображувану область.

Для зображення площинних об'єктів зазвичай використовується (рис. 1.13):

1. *Одноколірне зафарбовування*. Відображувана область фарбується одним кольором. Цей спосіб притаманний всім найбільш поширеним ГІС.

2. *Градієнтне зафарбовування*. У цьому способі відображувана область заповнюється плавним переходом кольорів згідно з певним колірним шаблоном. Цей спосіб реалізований, зокрема, в ArcGIS.

3. *Зафарбовування за шаблоном*. У цьому способі задається матриця розміром 8x8, кожний елемент якої має значення 0 або 1. При промальовуванні вся область заповнюється шаблонами піксельно, використовуючи два кольори для промальовування значень 0 і 1 в матриці. За цим способом не можна масштабувати рисунок, це прийнятно тільки для зображення просторових даних на екрані комп'ютера, оскільки на принтері пікселі настільки малі, що рисунок при друці буде виглядати як звичайне одноколірне зображення. Недоліком є використання тільки двох кольорів. Цей спосіб є морально застарілим, однак є в арсеналі багатьох ГІС.

4. *Текстурне зафарбовування*. Цей спосіб є логічним розвитком попереднього, дозволяючи задати *текстуру* – довільне растрове зображення, яким буде заповнена відображувана область на карті. На відміну від попереднього способу, текстури можуть масштабуватися. Недоліком даного способу є те, що при певному збільшенні стають видимими окремі пікселі текстури. Цей спосіб використовується усіма сучасними ГІС.

5. *Заповнення точковим умовним знаком*. У цьому способі задається довільний точковий умовний знак, який множиться всередині відображуваної області. Якщо точковий умовний знак потрапляє на границю області, що промальовується, то, залежно від налаштувань, він може або не малюватися взагалі або відсікатися вздовж границі області малювання. Цей спосіб притаманний усім ГІС.

6. *Заповнення паралельними лініями.* У цьому способі відображується область заповнюється паралельними лініями під певним кутом і на певній відстані одна від одної. Кожна з паралельних ліній визначається як певний лінійний умовний знак. Цей спосіб реалізований, зокрема, в ArcGIS.

7. *Багатошарові умовні знаки,* що складаються зі знаків, заданих різними вищенаведеними способами. Цей спосіб використовується в ArcGIS і в низці інших ГІС.

Умовні знаки бувають як масштабованими, так і немасштабованими. Для перших розмір задається в одиницях системи координат карти, а тому при збільшенні зображення розмір знака на екрані пропорційно збільшується. В немасштабованих знаках розмір задається в певних одиницях (наприклад, у міліметрах, що дуже зручно, якщо карта готується для друку) або в системі координат екрана (у пікселях), а тому знак на екрані зображується завжди одним розміром незалежно від поточного масштабу відображення.

В більшості ГІС (наприклад, в ArcGIS) усі умовні знаки є немасштабованими. У деяких ГІС (Indorgis) умовні знаки можуть масштабуватись.

1.4.3. Знаки письма та особливості їх застосування

Спеціальними умовними знаками (рис. 1.14) на карті зображують об'єкти або явища, які не вдається подати звичайними площинними умовними знаками. Наприклад, спеціальними умовними знаками на картах відображають різні види схилів. Схили, хоч і займають на карті певну область і мають визначену границю, до звичайних площинних знаків не відносяться, оскільки при заданні форми схилу на карті слід додатково вказати, які відрізки контуру визначають верхню границю схилу, а які – нижню. Ця інформація не може бути збережена у звичайній моделі багатокутника.

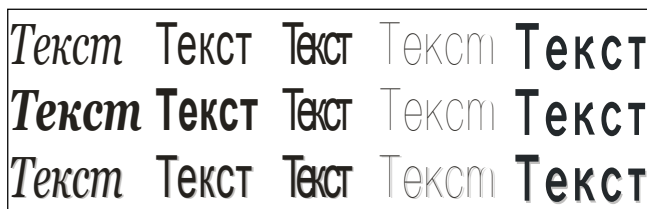


Рис. 1.14. Приклад спеціальних стандартних умовних знаків, що застосовуються для складання тематичних карт

Рис. 1.15. Приклад текстових умовних знаків, що застосовуються для складання карт

Крім точкових, лінійних, площинних, спеціальних, у ГІС до категорії умовних знаків іноді також відносять *текстові умовні знаки* (рис. 1.15), які включають опис способу подання текстових написів на карті.

Кожний текстовий умовний знак характеризується текстом напису, а також типом, розміром і кольором шрифту, що використовується для

відображення написів. Крім того, текстовий умовний знак характеризується кутом нахилу або лінією, вздовж якої повинний бути укладений напис.

На рис. 1.16 подано фрагмент типової топографічної карти, що демонструє застосування різних умовних знаків.

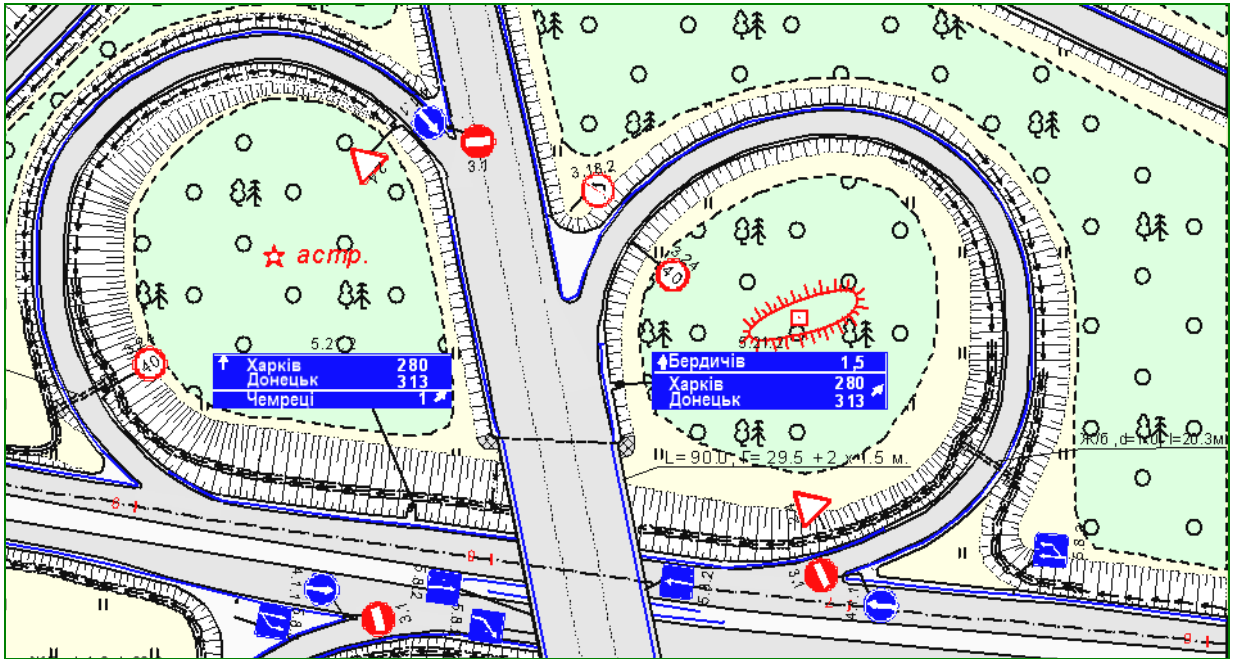


Рис. 1.16. Фрагмент топографічної карти, що демонструє застосування різних умовних знаків

Однією з особливостей умовних знаків, що використовуються традиційною картографією, є те, що їх вибір і розміщення на карті недостатньо формалізовані (дуже багато залежить від індивідуальних особливостей і досвіду картографа). Саме тому, а також через технічні складності програмування, більшість поширених ГІС володіють досить обмеженими можливостями відображення умовних знаків. А це не дозволяє створювати карти у повній відповідності з чинними стандартами складання картографічних матеріалів.

1.5. Правила використання умовних знаків

Правила використання умовних знаків для позначення об'єктів і явищ, поєднання умовних знаків, перетворення одних знаків на інші в процесі картографічної генералізації складають важливі розділи граматики мови карти.

В посібниках з картографії зазвичай виділяють 10 способів формування композицій знаків картографічних зображень, які можна порівняти з формулами правильного виразу змісту мовними картографічними засобами.

1. *Спосіб значків* застосовується для вказівки місця розташування об'єктів, що не виражаються в масштабі карти (на топографічних картах це, наприклад, значки дерев, що стоять окремо, шахт, церков, будинків тощо, на

дрібномасштабних картах – значки родовищ корисних копалин, населених пунктів, туристичних об'єктів тощо). За своєю формою значки можуть бути геометричними (круги, квадрати, трикутники, прямокутники, в тому числі структурні, зі змінюваними розмірами тощо), буквеними (одна або дві букви назви зображуваного об'єкта або явища) і картинними, що нагадують рисунком позначувані об'єкти. У будь-якому разі сенс полягає у вказівці просторової локалізації об'єктів відносно обраної системи відліку і їх взаємного положення.

2. *Спосіб лінійних знаків* використовується для передачі об'єктів і явищ лінійної протяжності, які не виражаються за своєю шириною в масштабі карти (наприклад, для річок, доріг, кордонів).

3. *Спосіб ізоліній* призначений для характеристики рельєфу Землі й інших явищ суцільного поширення по земній поверхні, що мають числовий (кількісний) вираз, – температура, осаді, тиск тощо.

***Ізолініями* (від грец. "іzos" – рівний, однаковий) називаються криві, що з'єднують точки з однаковим кількісним (числовим) значенням.**

Залежно від того, яке явище характеризують ізолінії (висоту рельєфу, температуру повітря, кількість опадів, атмосферний тиск, швидкість вітру тощо), вони будуть називатись по-різному: *ізотерми* (від грец. "терме" – теплота) – лінії, що з'єднують на карті точки з однаковими температурами; *ізогієти* (від грец. "гієтос" – дощ) – лінії, що з'єднують точки з однаковою кількістю опадів; *ізобари* (від грец. "барос" – вага, тяжкість) – лінії, що з'єднують точки з однаковим атмосферним тиском; *ізогінси* (від грец. "гіпсос" – висота), або *горизонталі*, – лінії, що з'єднують точки земної поверхні з однаковою висотою; *ізотахи* (від грец. "тахос" – швидкість) – лінії, що з'єднують точки з однаковою швидкістю вітру, тощо.

4. *Спосіб якісного фону* застосовують для виділення однорідних у якісному відношенні ділянок земної поверхні за природними, соціально-економічними або політико-адміністративними ознаками. Способом якісного фону, наприклад, показуються держави на політичній карті світу або райони на картах адміністративного поділу областей, країв (регіонів), республік, вік гірських порід на геологічній карті, типи рослинності на карті рослинності тощо.

5. *Спосіб локалізованих діаграм* використовують для відображення якихось кількісних характеристик явищ суцільного поширення в конкретних точках (пунктах), наприклад, річний хід температури, кількість опадів по місяцях або розу вітрів по метеорологічних станціях.

6. *Точковий спосіб* застосовують для показу масових явищ, розосереджених по території (населення, посівних або зрошуваних площ, поголів'я тварин тощо). При цьому певна кількість об'єктів (одиниць) явищ, що підлягають картографуванню, позначається фігурками (зазвичай точками-кружками однакового розміру, які визначаються відповідно до цієї кількості). В результаті утворюється наочна пластична картина поширення явища, на якій виділяються міста його концентрації і розсіювання.

За кількістю точок можна визначати розміри (кількість об'єктів) явища.

7. *Спосіб ареалів* застосовують для відображення області розповсюдження якогось явища (не суцільного за полем карти), наприклад, рослин, тварин тощо. Графічне оформлення границі і площі контуру ареалу може бути різноманітним, що дає можливість багатогранної характеристики явища.

8. *Спосіб знаків руху* призначений для показу різних просторових переміщень (перельотів птахів, маршрутів подорожей, міграцій населення, перевезення вантажів, морських течій тощо). Для зображення графічних знаків руху використовуються вектори (стрілки) і стрічки (смуги). За допомогою стрілок і стрічок можна показати шлях, спосіб, напрямок і швидкість переміщення явища, а також деякі інші характеристики (потужність і інтенсивність потоків).

9. *Спосіб картодіаграми* зазвичай використовується для показу у вигляді діаграм кількісних (статистичних) характеристик явищ у межах окремих територіальних одиниць. Спосіб широко застосовується для аналізу й обробки статистично-економічних показників, наприклад, об'єм виробництва, запаси деревини, структура земельного фонду тощо.

10. *Спосіб картограми* застосовують зазвичай для порівняння відносних показників (і інтенсивності) певного явища, приурочених до територіальних одиниць у цілому. Таким чином, наприклад, показують середню щільність населення на 1 км² за адміністративними одиницями, середню лісистість областей тощо. Цей спосіб, як і попередній, широко використовується при аналізі статистичних показників [5; 7; 13; 86; 98].

1.6. Застосування картограм і картодіаграм у ГІС

Картограма – спосіб картографічного зображення, який застосовується для показу відносних статистичних даних шляхом заповнення контурів територіального розподілу кольірними заливками різного тону або штрихуваннями різної щільності згідно з прийнятими інтервальними шкалами.

Побудова тематичних карт і картодіаграм з використанням просторової основи у вигляді точкових, лінійних та полігональних об'єктів і пов'язаних з ними записів з табличних баз даних є однією з найбільш поширених функцій ГІС.

Картограма застосовується у тих випадках, коли виникає потреба візуалізувати територіальний розподіл певної статистичної ознаки між окремими районами для виявлення закономірностей цього розподілу.

На картограмі розподіл досліджуваної ознаки за територією зображується умовними знаками (точками, штрихуванням, кольором, текстурою), що відповідають певним інтервалам значень величини цієї ознаки. Ці умовні знаки покривають контур кожного району.

Картограми бувають *фонові* і *точкові*. На фонових картограмах розподіл досліджуваного явища на території зображується різними кольорами або

фарбуванням територіальних одиниць одним кольором різної інтенсивності (рис. 1.17).

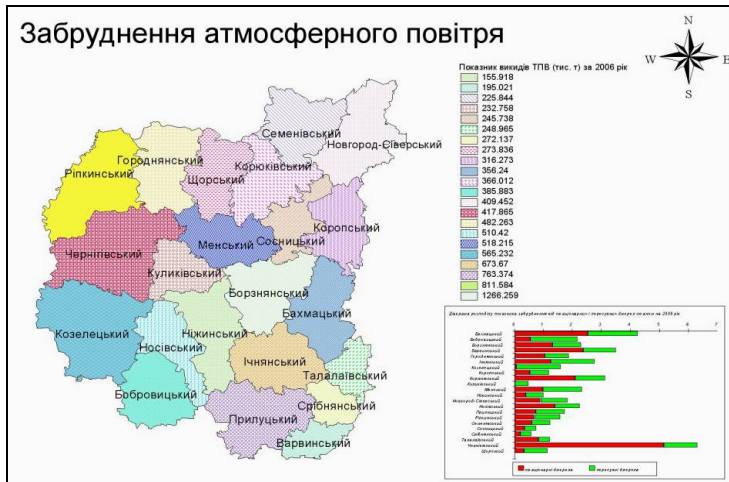


Рис. 1.17. Приклад використання картограми для демонстрації забруднення атмосферного повітря

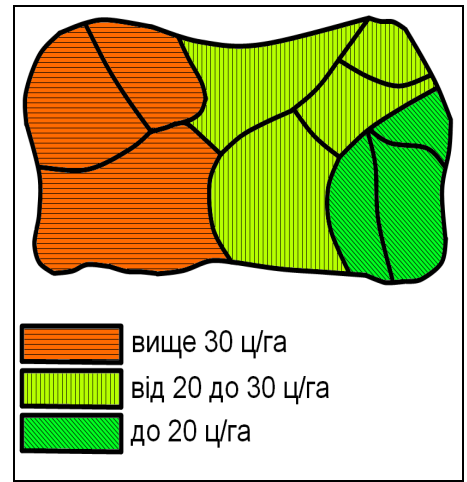


Рис. 1.18. Картограма розподілу районів за врожайністю зернових

За допомогою картограм можна передати інтенсивність явищ у межах адміністративних або природних кордонів (наприклад, щільність населення, захворюваність, смертність, народжуваність, забруднення тощо). У цьому разі явище начебто "розмивається" по всій території картографування і може іноді призводити до хибних візуальних ефектів, наприклад, за наявності на карті малих і дуже малих адміністративно-територіальних утворень.

Часто замість фарбування застосовується штрихування різної інтенсивності або напрямку. Такі картограми використовуються для зображення рівня відносних і середніх величин певних даних за територіями. Наприклад, є дані про врожайність зернових по 10 районах області (рис. 1.18): врожайність до 20 ц/га мають три суміжні райони, 20–30 ц/га – чотири суміжні райони, понад 30 ц/га – три суміжні райони.

Чим інтенсивніше явище, тим густіше штрихування (більша кількість точок) або темніше забарвлення. Така картограма наочно показує географію врожайності зернових культур за районами. Чим більше груп, тим точніше зображення, але кількість груп створює строкатість, знижує наочність. Тому на практиці доцільніше застосовувати не більше чотирьох-п'яти тонів градацій густоти штрихування.

Найчастіше картограми складають за квадратами прямокутної сітки координат, що є зручним для комп'ютерної обробки.

Перевагою картограм є простота їх побудови та сприйняття. До недоліків відносять відсутність можливості показу відмінностей в інтенсивності явищ всередині одиниць територіального поділу, створення неправильного враження про рівномірність розподілу явища та зміну його інтенсивності на кордонах.

Картодіаграма – карта, яка за допомогою діаграмної фігури показує сумарну величину певного статистичного показника в межах кожної одиниці нанесеного на картодіаграму територіального розподілу, наприклад, кількість населення за областями, площу орних земель, вирубки лісу тощо.

Картодіаграма – це поєднання діаграми з картою. Як образотворчі знаки в картодіаграмах використовуються ті або інші фігури, що розміщуються на контурі карти. Картодіаграми дають можливість графічно зобразити більш складні статистико-географічні співвідношення, на відміну картограми. Так, за допомогою картодіаграми можна подати просторову специфіку в структурах досліджуваних статистичних сукупностей, особливості кожного району як єдиного цілого тощо.

При побудові картодіаграми пов'язана з об'єктом інформація візуалізується у вигляді картографічних знаків, що відображують якісні або кількісні характеристики кожного об'єкта.

Як діаграмні знаки в картодіаграмі часто використовують різні геометричні фігури, особливо кола як найбільш прості і зручні фігури для демонстрації порівнюваних кількісних показників на карті (рис. 1.19).

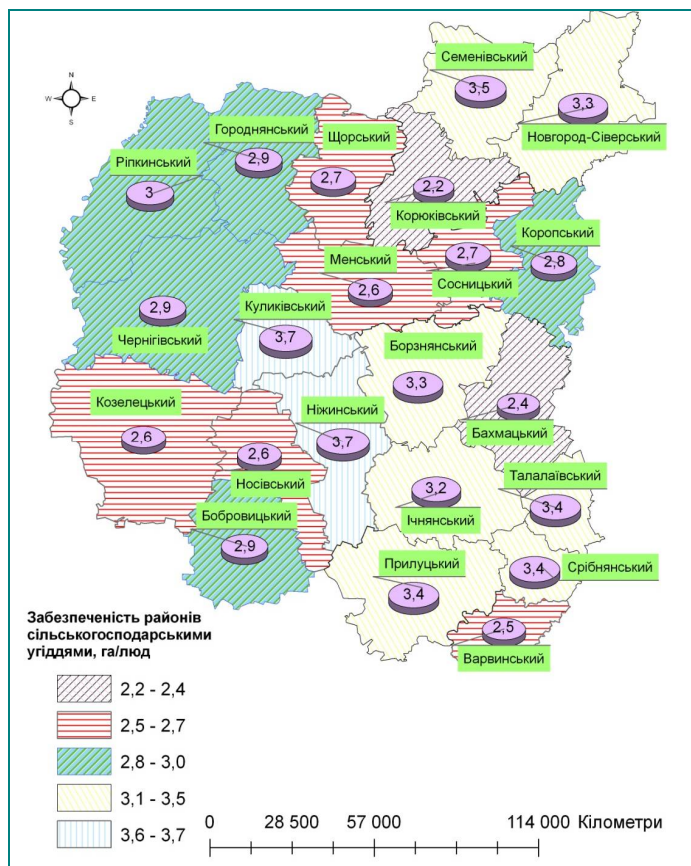


Рис. 1.19. Приклад застосування картодіаграми

Процедура побудови тематичної карти або картодіаграми зазвичай реалізується за допомогою спеціального програмного модуля, що викликається за допомогою пункту меню.

В більшості програмних продуктів ГІС реалізована побудова декількох типів карт за тематичними шаблонами. Користувач має можливість обирати тип створюваної карти, обирати з атрибутивної бази дані характеристики, за якими буде будуватися карта, обирати стиль оформлення карти (колір, тип символу тощо). У найбільш поширених програмних геоінформаційних пакетах використовуються шаблони:

- ранжирувані діапазони;
- стовпчасті картодіаграми;
- кругові картодіаграми;
- ранжирувані символи;
- точки із заданою вагою;
- індивідуальні значення.

1.7. Вимоги до електронних карт, що створюються з метою оцінки вартості міських, селищних, сільських територій

Електронна карта має створюватись у місцевій системі координат або в іншій системі координат на основі растрової або векторної моделі, яка відображає територію населеного пункту в існуючих (та проектних, якщо така є) межах.

При векторизації растрової моделі потрібно обов'язково створити такі інформаційні шари:

- 1) існуючу межу міста (селища, села) (полігональний і (або) лінійний об'єкт);
- 2) осі вулиць та магістралей (лінійний об'єкт);
- 3) квартали житлової забудови (багатоквартирна, садибна, змішана) (полігональний об'єкт);
- 4) квартали дачних і (або) садових товариств (полігональний об'єкт);
- 5) квартали територій громадського використання (полігональний об'єкт);
- 6) квартали рекреаційних територій (санаторії, будинки відпочинку тощо) (полігональний об'єкт);
- 7) квартали промислових територій (полігональний об'єкт);
- 8) квартали комунально-складських територій (полігональний об'єкт);
- 9) водні поверхні (полігональний і лінійний об'єкт);
- 10) зелені насадження загального та спеціального призначення (полігональний об'єкт);
- 11) смугу відводу залізниці (полігональний об'єкт);
- 12) залізничні колії, включаючи колії на промислових і комунально-складських територіях (лінійний об'єкт);
- 13) територію аеропортів та аеродромів (полігональний об'єкт);
- 14) території спецпризначення (військові об'єкти, виправні трудові колонії (ВТК), зони митного контролю, прикордонні смуги тощо) (полігональний об'єкт).

Наявність вищеперерахованих шарів є необхідною умовою при конвертації вже створеної цифрової електронної карти. Загальні вимоги до відображення картографічної інформації карт крупного масштабу визначаються у спеціальній нормативній літературі [122].

Кожний з інформаційних шарів має включати семантичну інформацію або можливість її введення у майбутньому. Наприклад, для осей вулиць цією інформацією є назва вулиці та її ширина, для промислових та комунально-складських об'єктів – назва, адреса, розміри санітарно-захисної зони (м).

У разі оновлення топографічної карти за матеріалами ортофотопланів, земельно-кадастрової або містобудівної інформації слід узгодити координати осей вулиць, кварталів і (в окремих випадках) будівель і споруд.

1.8. Оперативне картографування

Оперативне картографування – це створення і використання карт у реальному або наближеному до реального масштабу часу з метою швидкого (своєчасного) інформування користувачів і впливу на хід процесу.

Реальний масштаб часу характеризує швидкість створення – використання карт, тобто темп, що забезпечує негайну обробку інформації, що надходить, її картографічну візуалізацію для оцінки, моніторингу і контролю будь-яких процесів та явищ, що відбуваються в тому ж темпі.

Оперативні карти призначені для вирішення широкого спектру проблем і передусім – для попередження (сигналізації) про несприятливі або загрозливі процеси, відстеження їх розвитку, складання рекомендацій і прогнозів, вибору варіантів контролю, стабілізації або зміни ходу процесу в найрізноманітніших сферах – від екологічних ситуацій до політичних подій.

Оперативні карти бувають двох типів: одні розраховані на *тривале наступне використання й аналіз* (наприклад, карти підсумків голосування виборців), а інші – на *короткострокове застосування* для швидкої оцінки певної ситуації (наприклад, карти стадій дозрівання сільськогосподарських сходів).

Вихідними даними для оперативного картографування слугують матеріали аерокосмічної зйомки, безпосередні спостереження і заміри, статистичні дані, результати опитувань, переписів, референдумів, кадастрова інформація тощо. А ефективність оперативного картографування визначається трьома чинниками:

- надійністю автоматичної системи, швидкістю введення та обробки даних, зручністю доступу до баз даних;
- задовільною зчитуваністю оперативних карт, простотою їх зовнішнього оформлення, що забезпечує ефективне зорове сприйняття в умовах оперативного аналізу ситуацій;
- оперативністю розповсюдження карт і їх доставки споживачам, у тому числі з використанням телекомунікаційних мереж.

Оперативне відображення стану і змін явищ напряму пов'язано з автоматизованим виготовленням *динамічних карт*. Вони дозволяють відобразити

не тільки структуру, але й сутність явищ та процесів, які відбуваються в земній корі, атмосфері, гідросфері, біосфері і, що найбільш важливо, в зонах їх контакту та взаємодії. Динамічне картографування, крім того, є найефективнішим засобом візуалізації результатом моніторингу.

1.9. Картографічні анімації

В традиційній картографії відомі три способи відображення динаміки явищ і процесів, їх виникнення, розвитку, змін у часі та переміщення в просторі:

– показ динаміки на одній карті за допомогою стрілок або стрічок руху, "зростаючих" знаків і діаграм, ареалів, що розширюються, ізоліній швидкостей зміни явищ тощо;

– показ динаміки за допомогою серій різночасових карт, знімків, фотокарт, блок-діаграм тощо, які фіксують стан об'єктів у різні моменти (періоди) часу;

– складання карт зміни стану явища, коли показується не сама динаміка, а лише результати змін, що відбулись (ареали змін).

ГК істотно розширює можливості відображення динаміки геосистем, вводячи в практику картографічні анімації (мультиплікації) – особливі динамічні послідовності карт-кадрів, що створюють при демонстрації ефект руху. Анімації міцно увійшли в повсякденне життя, вони стали настільки ж звичними, як космічні знімки й електронні карти. Прикладом можуть слугувати телевізійні карти прогнозу погоди, на яких видно переміщення фронтів, областей високого і низького тиску, атмосферні опади.

Розроблено безліч технологій і методик одержання рухомих зображень. Створені комп'ютерні програми, що містять модулі, які забезпечують найрізноманітніші варіанти і комбінації картографічних анімацій:

– переміщення всієї карти по екрану;

– мультиплікаційні послідовності карт-кадрів або 3-вимірних зображень;

– зміна швидкості демонстрації, покадровий перегляд, повернення до обраного кадру, зворотна послідовність;

– переміщення окремих елементів вмісту (об'єктів, знаків) по карті;

– зміна виду елементів вмісту (об'єктів, знаків), їх розмірів, орієнтації, миготіння знаків тощо;

– варіювання забарвлення (пульсація і дефілювання), зміна інтенсивності, створення ефекту вібрації кольору;

– зміна освітленості або фону, "підсвічування" й "затінення" окремих ділянок карти;

– панорамування, зміна проекції та перспективи (точки огляду, ракурсу, нахилу), обертання тривимірних зображень;

– масштабування (зумування) зображення або його частини, створення ефекту "напливу" або віддалення об'єкта;

– створення ефекту руху над картою ("обліт" території), в тому числі з різною швидкістю.

Анімації можна демонструвати з нормальною (24 кадри за секунду), прискореною або сповільненою швидкістю. Звідси виникають абсолютно нові для картографії проблеми часової генералізації, вибору образотворчих засобів, вивчення принципів сприйняття користувачами карт, що рухаються, тощо.

Динамічні зображення додають традиційним статичним картам надзвичайно необхідний дослідникам часовий аспект. У зв'язку з цим виправдане введення поняття *масштабу часу* (часового масштабу). Взагалі, можна вести мову про повільно-, середньо- і швидкомасштабні зображення. Наприклад, одна секунда демонстрації анімаційної карти відповідає (приблизно) одній добі або в одній секунді – один місяць.

1.10. Віртуальне картографування

Подальший розвиток ГІТ привів до створення зображень, які поєднують, властивості карти, перспективного знімку, блок-діаграми і комп'ютерної анімації. Такі зображення отримали назву *віртуальних*. Цей термін має декілька змістових відтінків: можливий, потенційний, неіснуючий, проте спроможний виникнути за певних умов, часовий або недовго існуючий, тобто – нереальний, але аналогічний реальному, який важно відрізнити від реального.

В машинній графіці візуалізація віртуальної реальності передбачає, передусім, застосування ефектів тривимірності й анімації. Саме вони створюють ілюзію присутності в реальному просторі та можливості інтерактивної взаємодії з ним.

У картографії під віртуальними моделями розуміють зображення реальних або уявних об'єктів, що формуються й існують у програмнокерованому середовищі. Як і будь-яке картографічне зображення, вони мають проекцію, масштаб і генералізованість. Сама ж віртуальна реальність – це інтерактивна технологія, яка дозволяє відтворювати реальні і (або) уявні об'єкти, їх зв'язки та відношення в програмнокерованому середовищі.

Вважається, що відмова від умовних знаків, намагання надати віртуальним зображенням "натуральності", об'ємності, природного забарвлення та освітлення створює ілюзію реального існування об'єкта, прискорюючи тим самим процес комунікації і підвищуючи ефективність передачі просторової інформації.

Технологій створення віртуальних зображень може бути дуже багато. Зазвичай спочатку за топографічною картою, аеро- або космічним знімком створюється цифрова модель, потім – тривимірне зображення місцевості. Його фарбують у кольори гіпсометричної шкали або сумішають з фотозображенням ландшафту і далі використовують як реальну модель.

Одна з найбільш поширених віртуальних операцій – "обліт" отриманого зображення. Спеціальні програмні модулі забезпечують управління польотом: рух за обраним напрямком, розвороти, зміну швидкості, показ перспективи.

За допомогою клавіатури і джойстика (маніпулятора в формі рукоятки з кнопками) можна здійснювати політ на заданій висоті, з встановленою

1.11. Електронні атласи

Як відомо, створення паперових атласів – процес тривалий. Доволі часто виникають ситуації, що вони "застарівають" (стають неактуальними) ще в процесі підготовки. Проте економічна ефективність застосування даної інформації напряму залежить від того, наскільки швидко створювані картографічні продукти дійдуть до користувачів і будуть застосовуватись для розв'язання конкретних завдань.

Вдалою альтернативою паперовим атласам є *електронні атласи*. Вони дозволяють значно скоротити терміни складання, використовувати як носії компакт-диски, застосовувати анімації та мультимедійні засоби. Такі атласи зазвичай містять карти високої якості, мають дружній інтерфейс і, як правило, забезпечуються ефективними довідково-пошуковими системами.

Для досягнення цих цілей слід забезпечити:

- організацію геоданих у вигляді просторових об'єктів, розміщених у середовищі СКБД;

- наявність технології оперативного створення картографічних продуктів різних масштабів з бази геоданих і їх використання для складання та підготовки до публікації тематичних карт;

- організація спеціалізованого геопорталу, який надає споживачам і, в першу чергу, органам державної влади оперативний доступ до бази геоданих і створеної на її основі різноманітної тематичної інформації;

- наявність сучасної комп'ютерної та поліграфічної техніки, яка дозволяє ефективно працювати з великими базами даних, швидко складати і, за потреби роздруковувати картографічні продукти.

Існує декілька типів електронних атласів:

- атласи тільки для візуального перегляду ("перегортання"), так звані в'юверні атласи;

- "інтерактивні атласи", які передбачають можливість зміни оформлення, способів зображення і навіть класифікації картографованих явищ, збільшення і зменшення (масштабування) зображення, отримання паперових копій карт;

- "аналітичні атласи", що дозволяють комбінувати і зіставляти карти, здійснювати їх кількісний аналіз та оцінку, виконувати оверлей, просторові кореляції – власне, це і є геоінформаційні атласи;

- атласи, розміщені в комп'ютерних телекомунікаційних мережах, наприклад, інтернет-атласи (веб-атласи). В їх структурі, крім карт і інтерактивних засобів, обов'язково присутні ще й засоби пошуку додаткової інформації та карт у мережі інтернет.

Застосування веб-технологій дозволяє істотно підвищити рівень інтелектуальності створюваних тематичних карт (рис. 1.21).

Кarti комплексних електронних атласів містять різні види інформаційних шарів:

- багатофункціональні базові шари, що використовуються для багатьох карт;

- аналітичні і синтетичні шари з конкретної тематики;
- оперативно оновлювані тематичні шари.

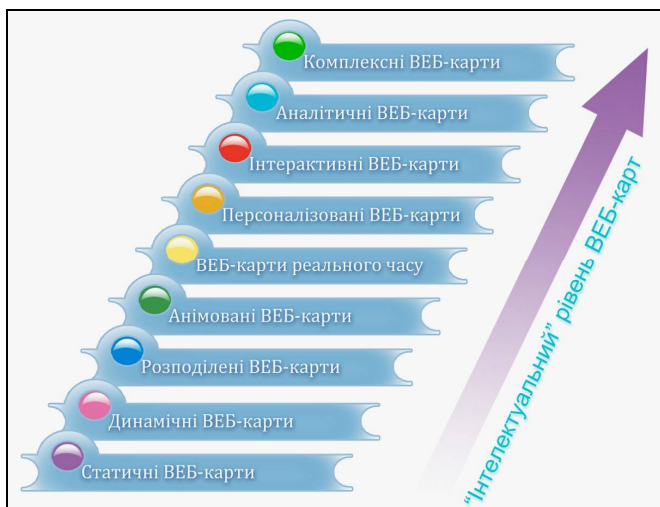


Рис. 1.21. Інтелектуалізація картографічних зображень за допомогою веб-технологій



Рис. 1.22. Етапи створення геотуристичного порталу

Усі вони можуть входити до складу різних карт атласу, наприклад, базовий шар "геологічна будова" можна використовувати не тільки для власне геологічної карти, але з тією або іншою генералізацією – для карт корисних копалин, гідрогеологічної, інженерно-геологічної, геоecологічної тощо. Комбінування шарів істотно спрощує трудомісткі процеси складання і взаємного узгодження карт.

Як приклад на рис. 1.22 наведено алгоритм створення геотуристичного порталу, в межах якого реалізовані публікація та пошук геоінформаційних ресурсів, публікація інформації про геологічні пам'ятки та мультимедійний контент, прості запити (ідентифікація об'єктів, фільтрація атрибутів тощо), підтримка декількох мов, підтримка користувацьких профілів тощо.

За основу взято СКБД PostgreSQL та веб-ГІС ArcGIS Online. СКБД дозволяє вносити інформацію та створювати запити про різні класи, вік, тектонічну структуру пам'яток природи, працювати з просторовими даними за допомогою розширення PostGIS, а також створювати картографічне подання. Для ефективного функціонування розробленого геопорталу передбачено актуалізацію інформації про геологічні пам'ятки та поповнення новими даними. Загалом, веб-картування дозволяє візуалізувати просторову інформацію в наочній та доступній кожному формі.

У більшості країн створено національні електронні атласи, які зазвичай базуються на багатотомних паперових атласах. Однак електронні атласи не завжди повторюють свої паперові прототипи саме через поточне оновлення карт, появу нових сюжетів і навіть часткову зміну структури.

2. ОСОБЛИВОСТІ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

*Той, хто негайно хоче бачити результати своєї праці, повинен йти в чоботарі.
Альберт Ейнштейн*

Геоінформаційне моделювання є відносно молодого галуззю наукових досліджень, яка охоплює широке коло питань створення і використання ГІС, GPS та ДДЗ, пов'язаних з ними математичних методів і алгоритмів, обчислювальних технологій.

За останні роки сфера застосування геоінформаційного моделювання значно розширилась. Зокрема, ГІТ стали одним з основних інструментів при проведенні екологічних досліджень, в оцінці і моніторингу стану природного середовища та ресурсів, у численних інших дослідженнях у різних галузях науки і практики. Можна навести безліч прикладів, у яких потрібно будувати просторові запити і вибірки даних, шукати оптимальне місце розташування об'єктів на місцевості і карті, моделювати переміщення або динаміку поширення того чи іншого процесу (явища), визначати взаємозв'язки та кореляції просторових розподілів.

2.1. Загальні відомості про геоінформаційне моделювання

Геоінформаційне моделювання – інтегративна теорія, яка на новій методологічній основі об'єднує вже відомі методи проектування, укладання, використання та аналізу геоінформаційних моделей для дослідження об'єктів реального світу за допомогою системи упорядкування і трансформації інформації про ці об'єкти.

Геоінформаційне моделювання (ГІМ) можна визначити як моделювання просторових об'єктів, взаємопов'язаних з атрибутивними даними (базами даних) за допомогою математичних методів і програмних засобів ГІС. На відміну від теоретичних методів моделювання, ГІМ є високотехнологічним процесом (за рахунок взаємодії з об'єктами бази даних) і виступає інструментом, який забезпечує збір, збереження, обробку, доступ, відображення та розповсюдження просторово-координованих даних.

ГІМ є засобом інтелектуальної обробки та відображення просторової інформації для одержання нових знань. Комп'ютерне електронно-графічне моделювання, застосування графічних, графо-математичних та електронно-графічних моделей і ГІТ – основа ГІМ.

Теоретичну основу ГІМ становить уявлення про картографо-кібернетичну систему, що функціонує завдяки картографічним даним і алгоритмам,

які описують усі процеси створення й використання карт із залученням цифрової та графічної інформації.

ГІМ полягає в умінні конструювати геоінформаційні моделі та аналізувати їх для вивчення об'єктів реального світу. Його можна розглядати як сучасну ГІТ, яка, на відміну від теоретичних методів моделювання, є технологічним процесом, оскільки взаємодіє з об'єктами бази даних ГІС.

У процесі ГІМ утворюється новий тематичний шар електронної карти, що якісно відрізняється від того, що дослідник бачив раніше. З цієї точки зору, до процедур ГІМ відноситься й *тематична обробка даних ДЗЗ*, оскільки в результаті тематичної класифікації утворюється новий шар – класифіковане зображення. Однак це найпростіший приклад ГІМ. Класифіковане растрове зображення без накладання на нього хоча б якихось векторних шарів не є ГІМ, це просто перефарбована в умовні кольори картина земної поверхні. А ось коли на підставі класифікації створюється тематична карта – це вже ГІМ (етап *image understanding*).

Інтерактивне редагування окремих шарів просторової інформації, навіть за матеріалами аерокосмічних зйомок, до ГІМ не відноситься. А ось створення ресурсних карт за матеріалами тематичної обробки даних ДЗЗ – це вже завдання ГІМ. Побудова графіка або діаграми на основі просторових даних – це, по суті, також ГІМ.

Таким чином, *процес ГІМ відрізняється від звичайних процедур редагування просторової інформації саме комплексним використанням як просторових, так і атрибутивних даних, і це є основною причиною зростаючої популярності ГІТ.*

Моделювання як метод наукового пізнання – це побудова моделі і дії з моделлю [69]. Моделювання в технологічному аспекті може бути розглянуто як форма відображення дійсності [70]. ГІМ дає можливість переносу результатів, отриманих у ході побудови та дослідження моделей, на оригінал і тим самим розв'язує завдання переносу знань [71]. Загальним для ГІМ є використання трьох інтегрованих груп даних – "місце", "час", "тема". Цей вид моделювання є класом моделювання графічних об'єктів, які взаємопов'язані з базами даних і включають п'ять основних типів перетворень:

– *перетворення графічної інформації*, яке зумовлює до зміни графічних і табличних даних;

– *перетворення атрибутивних даних*, що зумовлює до зміни графічних і табличних даних;

– *перетворення графічних об'єктів з одного типу на інший*;

– *побудова цифрових моделей об'єктів, явищ і процесів*;

– *побудова, редагування або модифікація графічних об'єктів на основі відношень між просторовими об'єктами* (без використання графічних редакторів).

Основу ГІМ як спеціальної технології становлять перетворення, що базуються на теоретико-множинних відношеннях, законах формальної

логіки, алгоритмах обробки зображень, технологіях роботи з комп'ютерною графікою, технологіях системи управління базами даних тощо.

Предметну область ГІМ подано на рис. 2.1.

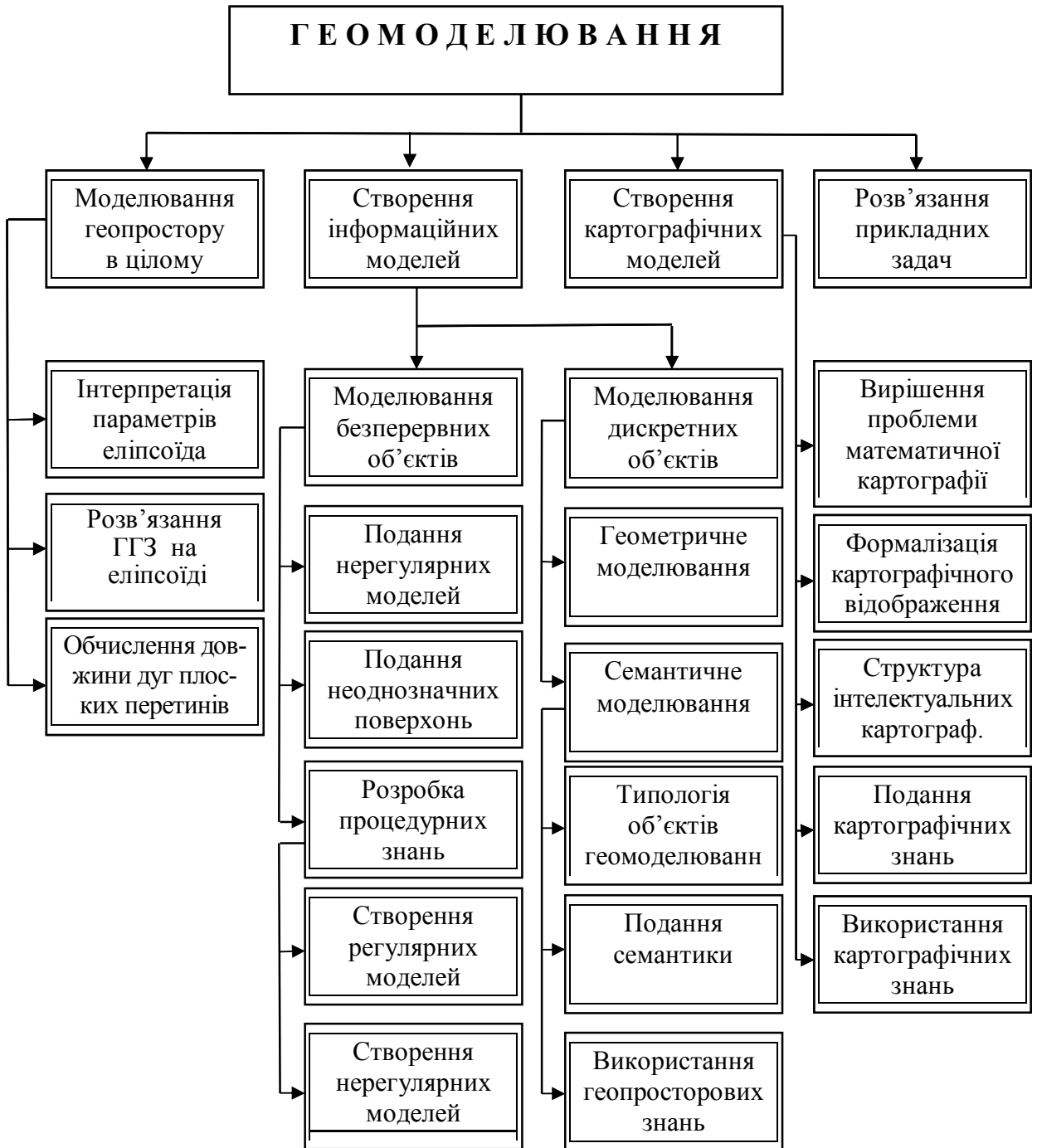


Рис. 2.1. Предметна область геомодельовання

Теорія ГІМ спирається на теорію і методи формування картографічних баз даних та математико-картографічного моделювання, з одного боку, а з іншого – на бази географічних знань, а також на методи геосистемного просторово-часового моделювання і його подання за допомогою картографічної символіки.

ГІМ виступає не тільки як один із засобів відображення явищ і процесів реального світу, але й як об'єктивний практичний критерій перевірки істинності знань [74], яке в підсумку створює нові інформаційні моделі та інформаційні ресурси [75].

Метою ГІМ є або "пояснення того, що є", або "прогнозування того, що буде". Моделювання дозволяє з меншими витратами відтворити процеси взаємодії реального об'єкта і зовнішнього середовища та виявити критерії оптимізації цієї взаємодії. Особливістю ГІМ є опора на просторові відношення [76].

При візуалізації застосовують знакове ГІМ, при якому моделями слугують знакові утворення будь-якого виду: карти; схеми; графіки; креслення; формули; графи; умовні знаки; тайли¹ тощо.

При дослідженні явищ або процесів, при виявленні латентних² зв'язків переважним є математичне моделювання. Математична модель є сукупністю формальних описів (формул, рівнянь, нерівностей, логічних умов), що відображають реальний процес змін стану об'єкта залежно від різних зовнішніх і внутрішніх факторів. Особливістю геоінформаційного математичного моделювання є використання топології [78] і просторових даних. При дослідженні просторових об'єктів широко використовують цифрове моделювання.

2.2. Базові категорії геомоделювання

Основу ГІМ як спеціалізованої ГІТ складають перетворення, засновані на законах формальної логіки і теоретико-множинних відношеннях.

Фундаментальними поняттями і базовими категоріями ГІМ є *об'єкт* та *методи ГІМ*.

Об'єктами ГІМ є природні та суспільно-економічні геосистеми, їх геокомпонентні утворення й елементи. Об'єкт ГІМ визначається його трьома головними визначеностями, а саме *сутнісними, просторовими та часовими* [82].

Сутнісна визначеність включає характеристику різних утворень (об'єкти, їх групи, поєднання, таксони), процесів (руху, розвитку, функціонування, поширення), їх субстанційних властивостей та відношень (розміщення, щільність, концентрація, вплив, взаємодія, зв'язки, ієрархія, суміжність, залежність, відповідність, відстань, тяжіння, сумісність, пропорційність). Картографічна модель відтворює сутність об'єкта, його якісну, кількісну та структурну визначеність. Об'єкти можуть належати до явищ, які не мають зорovo спостережуваних форм існування, виявлятися в дискретній і безперервній формі, в детермінованих та ймовірнісних реалізаціях. Якісна визначеність може бути відображена як в абсолютних, так і відносних показниках, як в статиці, так і в динаміці, в широкому діапазоні просторових і часових масштабів [83].

¹**Тайли** (від англ. *tiles* – плитки) – в цифровій картографії жаргонна назва квадратних растрових зображень рівної величини, якими, як плиткою, буває вимощена поверхня відображення карти.

² Прихований, що знаходиться в потенції.

У процесі ГІМ створювані моделі можуть відтворювати, відображати, імітувати ті або інші принципи організації (структури), функціонування та інші властивості об'єкта. Кожний об'єкт має свою структуру – певний стійкий взаємозв'язок, взаємовідносини і взаємне розташування підсистем, що його утворюють. Будь-яка реальна система є поліструктурною. Найпростішими і в певному контексті відносно нерозчленованими є вихідні, або елементарні, структури. Шляхом накладання різнотипових сукупностей взаємозв'язків одержують комбіновану структуру, яка зазвичай є емерджентною.

Цілісне і взаємообумовлене поєднання часткових структур утворює інтегративну структуру системи, яка найповніше відображає її сутність. За характером зв'язків важливими ознаками структур є їх розмірність і конфігурація. Залежно від розмірності структури можуть бути точковими, лінійними, плоскими і об'ємними [83].

Просторова визначеність полягає в перетворенні просторово-координованої інформації на *дискретну* і *континуальну* форму.

Всі системи, що підлягають ГІМ, – просторові, але мають при цьому різні форми існування: лінійні (межі, систем шляхів сполучення і каналів зв'язку), площинні (системи землекористування, ареали, зони, райони тощо), тривимірні (системи циркуляції вод, атмосфери тощо). Простір, що підлягає ГІМ, може бути або двовимірним (плоскі карти), або тривимірним (рельєфні карти, карти поверхонь і стереоскопічні карти).

Усі геоображення існують в графічному середовищі, тому найважливішим їхнім параметром слугує масштаб, який визначає ступінь зменшення відносно поверхні земного еліпсоїда. Маніпулюючи масштабом, можна розширити або звужити просторове охоплення.

Просторовий масштаб геоображення є функцією його призначення, технічних засобів знімання, забезпеченості фактичним матеріалом, і, одночасно, сам він визначає найістотніші властивості такого зображення. Від масштабу залежить просторове охоплення та обсяг змісту геоображення, його розрізненність, детальність і геометрична точність [83].

Часова визначеність полягає у відображенні об'єктів у статиці, динаміці, ретроспективі, у їх сучасному стані й прогнозі. Елементи часової прив'язки – це дати, часові діапазони, епохи, періоди, ери подій, а також відповідні їм об'єкти, явища і процеси, часовий масштаб і часова розрізненність [83].

Завдання ГІМ – моделювання засобами ГІТ наявності, змісту, стану, динаміки та функціонування різного рангу геосистем. Моделювати можна склад і зміст системи (статичною моделлю), рух і розвиток (динамічною моделлю), функціонування (функціональною моделлю).

Система методів ГІМ включає застосування різних видів моделювання: *географічне, картографічне, математико-картографічне, аерокосмічне, комп'ютерне електронно-графічне* (рис. 2.2).

ГІМ у своєму арсеналі засобів просторового аналізу використовує низку методів, серед яких:

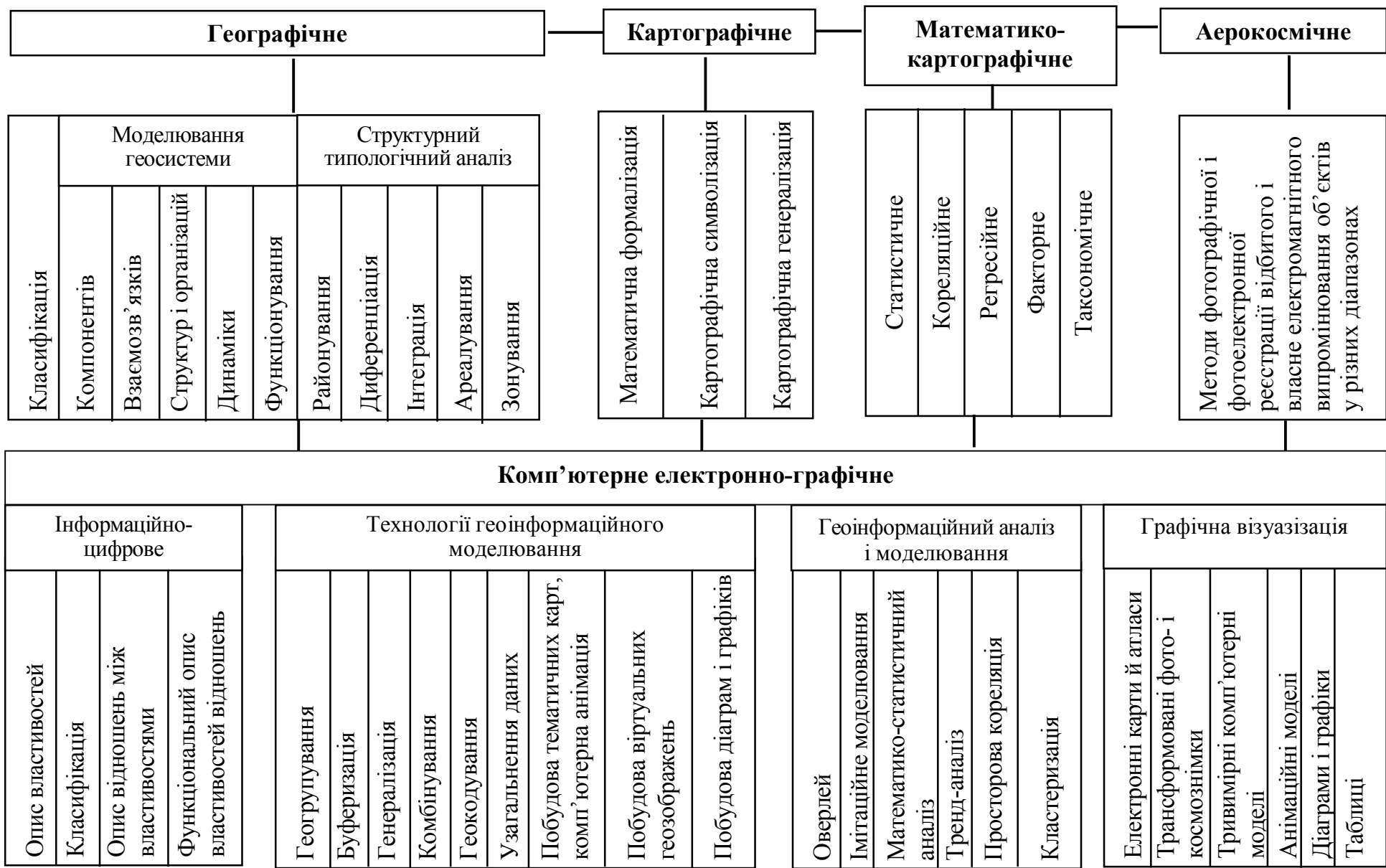


Рис. 2.2. Класифікація методів геоінформаційного моделювання за Т. І. Козаченко

– *мережевий аналіз* – група просторово-аналітичних операцій, мета яких дослідження топологічних і геометричних властивостей лінійних просторових об'єктів, що утворюють деревоподібні чи циклічні мережі (гідрографічні, комунікаційні тощо);

– *аналіз об'єктів у межах буферних зон*, який дозволяє розв'язувати задачі оцінки зони впливу існуючої чи проектованої мережі;

– *операції обчислювальної геометрії*, з допомогою яких обчислюються площі і координати центроїди полігонів, довжини ламаних і кривих ліній тощо;

– *оверлейні операції*, суть яких полягає в накладанні двох різнойменних шарів з генералізацією похідних об'єктів, що створюються при їхньому геометричному нашаруванні, з успадкуванням їх атрибутів.

Крім цих стандартних функцій, в геоінформаційному моделюванні для просторового аналізу використовуються *спеціальні програми*, створені на основі побудови детермінованих і стохастичних моделей, та геоінформаційні додатки для прогнозування ситуації.

2.3. Класифікація геоінформаційного моделювання

За методологічним критерієм виділяють декілька видів ГІМ, яке реалізується як у векторних, так і в растрових ГІС, а саме:

1) *геогрупування* – побудова просторово-часової динамічної моделі шляхом об'єднання сукупностей геооб'єктів у більш великі. Тут використовуються аналітичні залежності і фізичні моделі. Апарат достатньо добре формалізований, тому більша частина процесів може бути автоматизована;

2) *буферизація* – процедура побудови буферних зон для різних типів об'єктів. Апарат – побудова обвідної на заданій відстані від межі об'єктів, а потім об'єднання і видалення перекриттів. Ця процедура також є формальною, тому може виконуватись автоматично;

3) *генералізація* – узагальнення графічних об'єктів і зміна їх відображення при зміні масштабу. Методологічний апарат дуже розмаїтий. Повна формалізація практично неможлива: занадто багато чинників, які потрібно враховувати;

4) *комбінування* – композиція і декомпозиція геооб'єктів на основі відношень між ними. Якщо геогрупування використовується головним чином при роботі з растровими моделями, то комбінування – це методологія для векторних ГІС. Найпростішим прикладом комбінування є одна з операцій редагування полігонів. Комбінування – це, головним чином, методологія прикладного геоінформаційного аналізу (певна просторова вибірка за заданими критеріями). Наприклад, розв'язок транспортних задач здійснюється головним чином за допомогою процедур комбінування. Більшість задач цього типу можуть бути розв'язані методами дискретного аналізу, зокрема, методами теорії графів;

5) *геокодування* – процедура позиціонування (координатна прив'язка) табличних даних. У загальному випадку задача є відносно простою і відноситься до теорії реляційних баз даних;

б) *узагальнення даних* – процедура створення атрибутів нових об'єктів на основі відношень між вихідними. Процедура узагальнення часто включає топологічний аналіз графічних об'єктів, однак загалом вона достатньо добре формалізується. Може бути інтерактивною, проте може бути й суто аналітичною. Наприклад, на основі певних значень показників *A, B, C* розраховується показник *D*, потім виконується групування об'єктів за цим показником. Саме таким чином відбувається побудова карти рослинного покриву за складом рослинності в межах певного контуру. Тут переважно використовується апарат дискретного аналізу і теорії баз даних;

7) *побудова тематичних карт на основі аналізу та обробки атрибутивних даних*. Ця методологія лежить в основі створення легенд. Класифікація здійснюється за одним атрибутом. Якщо потрібна класифікація об'єктів за декількома атрибутами, то використовується кореляційний і факторний аналіз. Врешті-решт, це все методологія розпізнавання, що ґрунтується на багатомірній кластеризації. Однак такий підхід найчастіше використовується при створенні так званих синтетичних карт³. У багатьох випадках новий показник просто розраховується за заданими формулами;

8) *ректифікація даних*⁴. Коли при цьому також ставиться і розв'язується завдання максимально можливого усунення спотворень, зумовлених рельєфом місцевості, то таке RECTИФІКУВАННЯ називають орторектифікуванням;

9) *проведення автоматичної класифікації* ознак геооб'єктів (включаючи растрові) за заданими критеріями.

2.3.1. Геогрупування

Технологія моделювання, що отримала назву *геогрупування*, заснована на відомому в багатьох пакетах комп'ютерної графіки процесі групування (об'єднання зі збереженням зв'язків) графічних (просторових) об'єктів. Відмінність полягає в деяких додаткових можливостях, які *геогрупування* надає користувачу.

По-перше, це можливість одержання на основі об'єднання не одного, а декількох графічних (просторових) об'єктів. Ця частина моделювання, власне, не має жодного відношення ані до географічної інформації, ані до терміна "гео" і є простим розширенням технології групування графічних (просторових) об'єктів у комп'ютерній графіці.

По-друге, процес геогрупування поряд з об'єднанням графічних об'єктів супроводжується об'єднанням їх атрибутів, що зберігаються в базі даних, пов'язаної з графічними об'єктами.

³Синтетичні карти – це карти, що подають цілісну, інтегральну характеристику зображуваних на них явищ на основі об'єднання окремих чи низки показників.

⁴**Трансформування (ректифікація)** – різновид процедур проєкційних перетворень. Застосовується для перетворення координат точок знімка на іншу проєкцію. Окремим випадком є перетворення плоского зображення на плоске з метою усунення перспективних викривлень.

Загальний клас моделювання, окремим випадком якого є геогрупування, визначається як процес побудови візуальних динамічних моделей сукупностей графічних об'єктів з об'єднанням їх характеристик, що зберігаються в пов'язаній з графічними об'єктами базі даних.

Метою геогрупування є побудова нових графічних об'єктів, що називаються *геогрупами*. Процес побудови геогруп полягає в об'єднанні просторових об'єктів в групи відповідно до заданих ознак.

Таким чином, даний вид моделювання створює умовну (тематичну) карту методом індивідуальних значень, у якій тематичною змінною є територія нового згрупованого об'єкта. Особливістю такої тематичної карти є її часовий характер. Її потрібно аналізувати і в разі необхідності зафіксувати за допомогою спеціальних процедур. Технологія моделювання, що заснована на побудові геогруп, – це процес побудови динамічної моделі графічних даних і їх атрибутів як засобу аналізу та підтримки прийняття рішень.

Побудова нових просторових (графічних) об'єктів на основі злиття атрибутивних даних. Атрибутивні дані зберігаються в табличній формі в базі даних ГІС. Тому при побудові нових об'єктів на підставі злиття їх атрибутів використовуються можливості інтерфейсу ГІС для роботи з табличною інформацією, зокрема команди типу "Злиття в таблиці". Формалізовано дана процедура може бути описана секвенцією виду:

$$At(A_1), \dots, At(A_n) \Rightarrow A_1, \dots, A_n$$

і відношенням виду:

$$A_1 \cup A_2 \cup A_i \cup A_k \rightarrow M.$$

Процедури злиття атрибутивних даних в таблиці дозволяють створювати нові графічні об'єкти шляхом об'єднання існуючих об'єктів подібно процесу геогрупування.

Атрибутивні дані нового об'єкта, одержаного таким способом, обчислюються на підставі процедур узагальнення. Відмінність даної процедури від геогрупування – технологічна. В цьому разі об'єднання об'єктів відбувається за табличними даними без використання графічних об'єктів.

В процедурі геогрупування об'єднання відбувається по просторових (графічних) об'єктах без залучення табличних даних. В обох випадках створюється часова модель, яка за потреби може бути зафіксована.

2.3.2. Буферизація

Буфером, або буферною зоною, називають площинну геометричну фігуру, межа якої проходить на заданій відстані від межі вихідної фігури. Процес буферизації означає побудову цифрової моделі певного явища за допомогою процедур ГІМ. При буферизації на основі об'єктів одного типу (точкових, лінійних або полігональних) створюються об'єкти іншого типу.

Так, лінійний або точковий об'єкти слугують основою для створення площинних (полігональних) об'єктів.

Вид буфера визначається його радіусом і формою об'єкта, навколо якого створюється буфер, і способом побудови. Радіус буфера задається або у вигляді константи, або у вигляді колонки таблиці, або у вигляді виразу, що створюється на основі таблиці атрибутів.

Застосування значень табличних даних для побудови буферної зони відноситься до випадку ГІМ, що використовує побудову нових графічних об'єктів на підставі обробки неграфічних (табличних даних).

2.3.3. Генералізація

Генералізація в ГІС – набір процедур класифікації й узагальнення, призначених для відбору й відображення картографічних об'єктів відповідно до масштабу змісту і тематичної спрямованості створеної цифрової карти.

Генералізація – це узагальнення геозображень дрібних масштабів щодо більших, яка здійснюється в зв'язку з призначенням, тематикою, вивченістю об'єкта або технічних умов одержання самого геозображення. Це усунення занадто дрібних або малозначущих деталей при зменшенні масштабу карти.

Відносно моделювання генералізація може розглядатись як група методів, що дозволяє зберегти інформативність навіть при зменшенні об'єму даних.

Розрізняють *картографічну, дистанційну, автоматичну або алгоритмічну і динамічну генералізацію* [80].

Картографічна генералізація (cartographic generalization) – процес відбору та узагальнення зображуваних на карті об'єктів і явищ за певними правилами з урахуванням призначення та масштабу карти, а також особливостей території картографування.

Інакше кажучи, картографічна генералізація полягає у використанні відповідних графічних (умовних) знаків, їх упорядкування на карті, яка дозволяє читачеві побачити за їх графічними формами головні типові риси і характерні особливості відображуваних об'єктів та явищ без деталей, що їх затіняють (рис. 2.3).

Картографічна генералізація необхідна і здійснюється при створенні карт будь-якого масштабу, в тому числі й найкрупнішого.

Вона застосовується і тоді, коли призначення знову створюваних карт вимагає істотного узагальнення (і спрощення) їх змісту порівняно з вихідними картами у тому ж масштабі. Наприклад, при створенні настінних навчальних карт потрібна наочність, тобто спрощення зображення, укрупненість умовних знаків і шрифтів, більша яскравість фарб, ніж для настільних карт, що пояснюється умовами використання карт у класі на значній відстані при їх демонстрації.

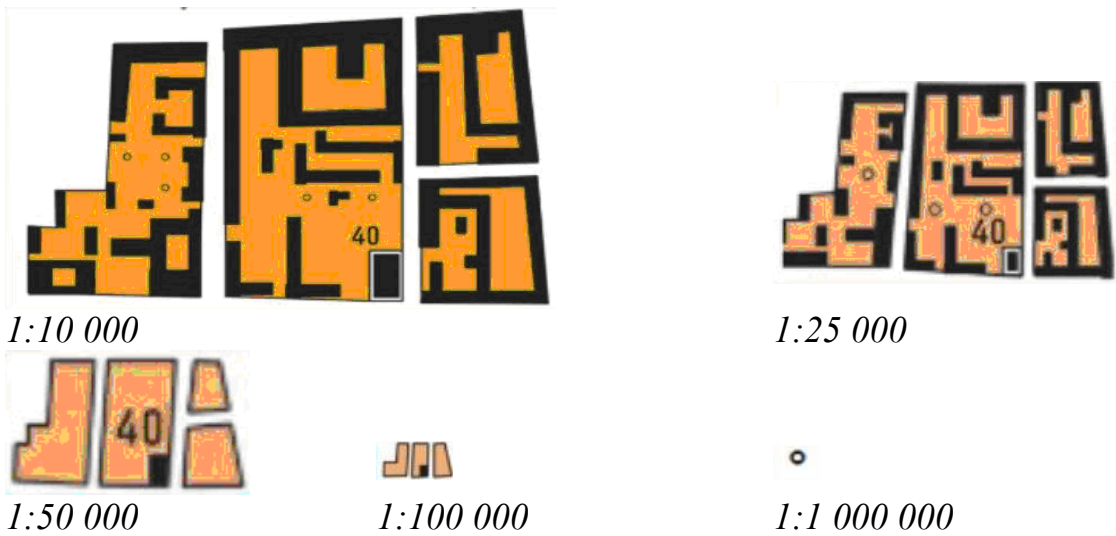


Рис. 2.3. Приклад картографічної генералізації

Основні прийоми генералізації включають відбір об'єктів і характеристик, узагальнення їх якісних і кількісних ознак, спрощення або схематизацію, контурів.

Відбір явищ, що підлягають картографуванню, полягає у виключенні з карти-основи тих елементів, які є надлишковими і неважливими на заново створюваній карті. Зберігаються тільки ті елементи, які є істотними для розкриття змісту карти, відповідають її призначенню і масштабу. Іноді при цьому вводять ценз відбору, тобто встановлюють кількісні або якісні межі відбору. Наприклад, на політичній карті світу можна показати тільки столиці держав (ценз відбору – столиці), можна показати і всі міста з населенням понад 1 млн жителів тощо.

Узагальнення кількісних і якісних ознак полягає в менш детальному показі відмінностей об'єктів, укрупненні інтервалів шкал виміру величин показників, а також скорочення якісних відмінностей об'єктів.

Спрощення контурів – це схематизація геометричних обрисів (контурів) об'єктів і явищ, що зображуються на карті, при збереженні істотних і необхідних особливостей форм та взаємного положення об'єктів картографування і їх частин. Чим дрібніший масштаб створюваної карти, тим більше спрощуються контури, в крайньому разі, відбувається заміна контуру об'єкта позамасштабним знаком, наприклад, кружечком.

При формуванні цифрових карт у просторових базах даних ГІС процедура генералізації може виконуватись автоматично шляхом формування укрупнених контурів і поглинання дрібних, при цьому можна задавати певні параметри, які будуть забезпечувати задану генералізацію. Рівень генералізації цифрових карт визначається також обраним масштабом.

Дистанційна генералізація (remote sensing generalization, optical generalization) – геометричне та спектральне узагальнення зображення на знімках, що виникає внаслідок комплексу технологічних факторів (метод і висота зйомки, спектральний діапазон, масштаб, розрізнення) і природних особливостей (характер місцевості, атмосферні умови тощо).

Автоматична, або алгоритмічна, генералізація (*automated generalization, algorithmic generalization*) – формалізований відбір, згладжування (спрощення) або фільтрація зображення відповідно до заданих алгоритмів і формальних критеріїв.

Динамічна генералізація (*dynamic generalization*) – механічне узагальнення анімацій, що дозволяє спостерігати головні, найбільш стійкі в часі об'єкти і явища за рахунок зміни швидкості демонстрації анімацій [80].

Генералізація просторових даних (*spatial data generalization*), – узагальнення позиційних і атрибутивних даних про просторові об'єкти в ГІС в автоматичному або інтерактивному режимах з використанням операторів генералізації (генералізаційних операторів (*generalization operators*), їх наборів або послідовностей, частина з яких має відповідність у прийомах і методах картографічної генералізації. Серед основних з них: спрощення (*simplification*); згладжування (*smoothing*); зменшення товщини ліній (*line thinning*); розрядка, тобто усунення надлишкових проміжних точок у цифровому запису ліній (*line weeding*); відбір (*reselection*); рекласифікація (*reclassification*); агрегування (*aggregation*), зокрема, об'єднання суміжних полігонів з усуненням границь між ними (*polygon dissolving / merging*); злиття (*amalgamation*); маскування (*masking*); переривання ліній (*omissing*); перебільшення розміру або форми (*exaggeration*); зменшення мірності об'єктів, або згортання.

Оператори генералізації просторових даних можуть застосовуватись глобально (до шару в цілому) або локально (до фрагмента шару, сегмента лінії тощо), обслуговувати суто графічні (позиційні) або структурні перетворення даних.

Втручання користувача в процес автоматичної генералізації просторових даних зазвичай переслідує мету індикації й усунення графічних конфліктів у відображеннях однотипних і різнотипних об'єктів шляхом їх зміщення, або переміщення (*displacement*), мінімізації синергетичних ефектів при багаторазовому застосуванні однотипних або послідовному – різнотипних операторів, зменшення або усунення геометричних і топологічних похибок, контролю цілісності даних і непорушності зв'язку позиційної та атрибутивної частин даних.

2.3.4. Комбінування

Комбінування обраних об'єктів у ГІС передбачає виконання певних операцій з просторовими об'єктами. При ГІМ потрібно виділити об'єкт або об'єкти моделювання серед множини інших, які не беруть участь у процесі моделювання. Ця процедура називається *активізацією* об'єкта і здійснюється за аналогією з усіма існуючими графічними редакторами.

Активізований об'єкт *A* називають також *змінюваним об'єктом*, підкреслюючи цим саму можливість його модифікації і взаємодії з іншими подібними об'єктами, а не те, що цей об'єкт потрібно обов'язково змінювати.

Модель редагування з використанням змінюваного об'єкта дозволяє зробити один із об'єктів A на карті змінюваним, потім обрати або створити інший об'єкт S , який буде використовуватись як шаблон. Новий об'єкт M в межах такої моделі створюється на підставі відношень між A і S :

$$A \times S \rightarrow M,$$

де \times – символ відношення;

\rightarrow – імплікація.

Нагадаємо, що в ГІС є три типи графічних векторних об'єктів: точкові (Pt), лінійні (Ln) і полігональні (Ar). Змінюваний об'єкт і шаблон повинні належати до одного типу.

Домовимося позначати сукупність атрибутів довільного об'єкта O символом $At(O)$, сукупність позиційних даних – символом $Pos(O)$.

Об'єднання об'єктів. Найбільш поширеною процедурою комбінування об'єктів є їх об'єднання. Цю процедуру зручно використовувати, коли один з об'єктів є визначальним, наприклад, материкову частину держави та острови, що відносяться до неї, об'єднують в одну територію:

$$A_1 \cup A_2 \cup A_i \cup A_k \rightarrow M,$$

де k – кількість вихідних об'єктів, що беруть участь в об'єднанні.

В результаті такого виду моделювання створюється новий об'єкт і обчислюються відповідні йому дані.

Виділення декількох об'єктів з одного. Процедури виділення об'єктів дозволяють розбити змінюваний об'єкт на більш дрібні об'єкти, використовуючи певний шаблон. Наприклад, за їх допомогою можна розбити велику територію на складові частини:

$$A \cap S_1 \rightarrow M_1; A \cap S_2 \rightarrow M_2; \dots A \cap S_n \rightarrow M_n.$$

Видалення фрагментів об'єктів шляхом комбінування. Видалення фрагмента змінюваного об'єкта здійснюють аналогічно операції моделювання з декількома об'єктами. Видалити частину змінюваного об'єкта можна шляхом накладання на нього об'єкта-шаблону:

$$A - A \cap S \rightarrow M.$$

Інший підхід – видалення фрагмента змінюваного об'єкта, який не співпадає з об'єктом-шаблоном:

$$A \cap S \rightarrow M.$$

Щоб видалити об'єкт, наприклад озеро, з меж адміністративної одиниці, потрібно створити озеро як шаблон і за допомогою команд ГІС видалити цей фрагмент.

Додавання вузлів шляхом комбінування об'єктів. Процедура моделювання "Додавання вузлів" дозволяє створювати нові точки в полілінії зі збереженням топології або з її зміною, якщо вузол, що додається, з'єднує лінійний об'єкт з іншим.

На відміну від звичайної процедури графічного редагування, додавання вузлів як процедури геоінформаційного моделювання засноване на взаємодії не менше двох лінійних об'єктів. Саме додавання вузлів здійснюється автоматично як результат суперпозиції просторових об'єктів, а не за допомогою вказівок оператора, як в технологіях комп'ютерної графіки:

$$\exists(A_1, A_2) : Pos(A_1) \wedge Pos(A_2) \rightarrow Pos(M).$$

Подібна процедура потрібна, наприклад, при нанесенні на карту нової вулиці, що стикується з уже наявними вулицями. Вона дозволяє точно задати місця перетинання вулиць у вигляді вузлів.

2.3.5. Геокодування

Для відображення на електронній карті даних, що зберігаються в базі даних ГІС, потрібно їх позиціонувати, тобто зв'язати кожний запис таблиці з координатами X і Y .

Геокодування – метод і процес позиціонування просторових об'єктів відносно певної координатної системи і їхніх атрибутів.

При цьому одні таблиці вже можуть мати позиціоновані дані, інші, зокрема, що одержуються в процесі моделювання, можуть бути не позиціоновані.

Існуючі технології ГІС дозволяють присвоювати координати X і Y записам певної таблиці на підставі порівняння інформації з неї з інформацією з таблиці, в якій кожний рядок уже пов'язаний з координатами X та Y . Таку таблицю називають *таблицею пошуку*.

Таким чином, геокодування – процес моделювання, який полягає в присвоєнні координат кожному рядку таблиці пошуку на підставі порівняння її даних з вихідною таблицею:

$$At(S) \wedge At(A) \rightarrow At(A_{pos}) = At(S_{pos}),$$

де \rightarrow – імплікація;

$At(S_{pos})$ – атрибут вихідної таблиці, що відповідає за позиціонування.

В результаті геокодування таблиця пошуку стає позиціонованою, тобто її дані отримують просторову прив'язку.

Оскільки порівняння даних таблиць можна здійснювати різним чином, то існують різні способи геокодування.

При *геокодуванні за певною адресою* порівнюється адреса в таблиці, що кодується, з інформацією про вулиці та адреси в таблиці спеціального формату, що постачається як додаток до конкретної ГІС.

При геокодуванні таблиці по областях (площинних об'єктах) порівнюють назву області в запису з таблиці, що кодується, з назвами областей в таблиці пошуку. В цьому разі рядкам таблиці присвоюються координати X і Y центроїда відповідної області з таблиці пошуку. Центроїд області – це приблизна точка центра області (координати центра описаного навколо області прямокутника).

Результати геокодування можуть бути записані в поле у вигляді числа, що показує, які дії з порівняння були здійснені або чому пошук не вдався. За допомогою коду результату можна знаходити різні типи неопрацьованих записів.

Процес геокодування дозволяє організовувати пошук місця розташування об'єкта на графічному зображенні карти по заданих атрибутах. Знайдений об'єкт позначається символом, визначеним заздалегідь у системних параметрах ГІС (рис. 2.4).

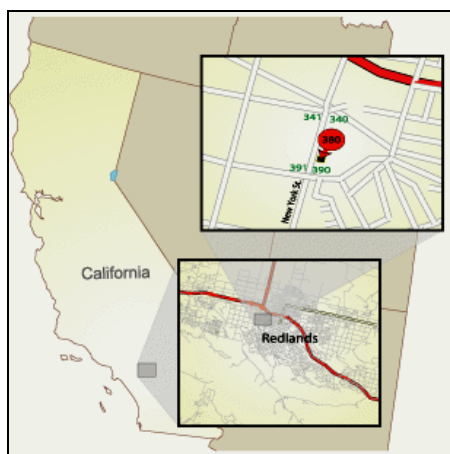


Рис. 2.4. Здійснення геокодування точкового об'єкта

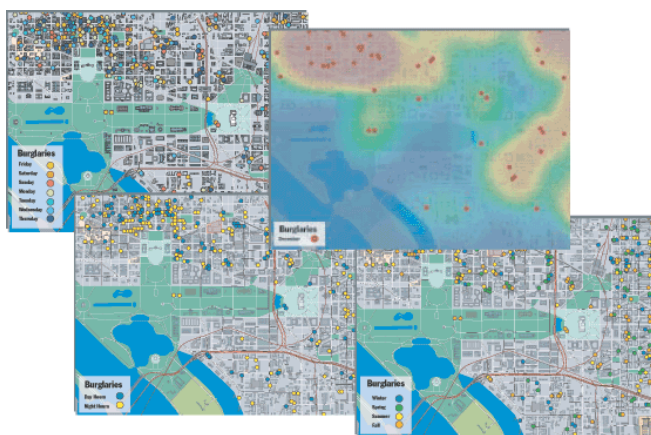


Рис. 2.5. Використання геокодування для знаходження певних закономірностей

За допомогою геокодування можна швидко знаходити місце розташування різних об'єктів (історичні пам'ятки, населені пункти, гори, озера, мости, магазини, вулиці, номери будинків тощо).

Геокодування може використовуватись як для простого аналізу даних, наприклад, в управлінні сферою бізнесу і надання послуг, до визначення методів планування збуту. Використовуючи геокодування, можна просторово відобразити місце розташування об'єктів і в отриманій інформації виявити певні ознаки якихось закономірностей.

Як приклад на рис. 2.5 подано щорічний звіт по крадіжках з геокодуванням місць злочину. Скриншоти показують, як ці адреси поділяються за часом, сезонами, днями тижня, що істотно допомагає фахівцям попереджувати подібні злочини в майбутньому.

Геокодування є одним з ключових моментів в управлінні корпоративними даними. Адже кожна організація має інформацію про адреси своїх клієнтів. Зазвичай, ця інформація подається у вигляді таблиці, що містить ім'я клієнта, адресу, історію взаємовідносин (купівлі-продажу) та деякі інші

додаткові робочі дані, які вдалось зібрати. Геокодування дозволяє на базі цієї інформації створити карту місцезнаходження клієнтів. За допомогою інструментарію ГІС цю інформацію можна використати різними способами: від побудови маркетингових стратегій до виділення окремих цільових класів клієнтів або створення маршрутних карт і інструкцій з проїзду, оптимального планування доставки замовлень, продукції клієнтам тощо (рис. 2.6).

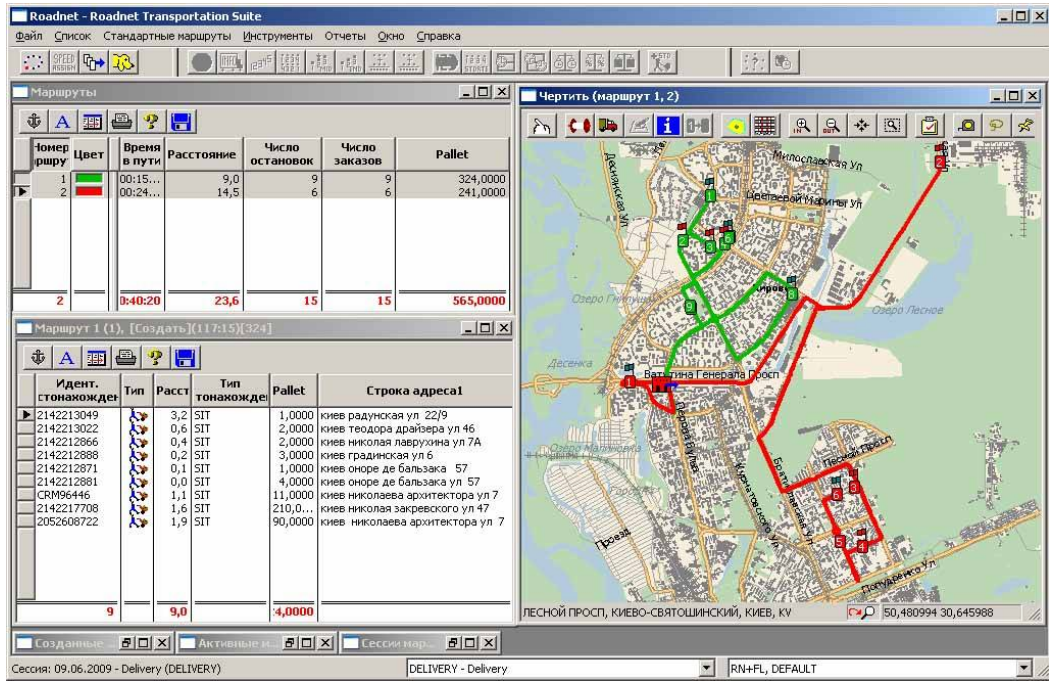


Рис. 2.6. Використання геокодування для оптимальних маршрутів

2.3.6. Узагальнення даних

При створенні нового просторового об'єкта в процесі моделювання слід визначити його атрибути, тобто пов'язати його з таблицею даних. Об'єкт може створюватись як шляхом укрупнення, так і на основі розбивки більш великого на дрібніші об'єкти.

При об'єднанні (композиції) дрібних об'єктів, що мають табличні дані, у великий потрібно задати правила обчислення атрибутів аналогічних даних для створюваного нового об'єкта. Такі процедури ГІМ називають *узагальненням даних вихідних об'єктів*. У процесі узагальнення обчислюються дані для створюваного об'єкта залежно від заданого методу відношень атрибутів. Більшість ГІТ містять такі опції узагальнення даних при об'єднанні об'єктів:

- *сума* – значення атрибутів, що відповідають вихідним об'єктам, додаються, і сума присвоюється новому об'єкту:

$$At(M) = \sum At(A_i), \quad i = 1, \dots, k,$$

де k – кількість вихідних об'єктів;

• *середнє* – обчислюється середнє значення атрибутів вихідних об’єктів і присвоюється атрибуту нового об’єкта:

$$At(M) = \sum At(A_i) / k, \quad i = 1, \dots, k;$$

• *зважене середнє* – різні значення для вихідних об’єктів множаться на різні коефіцієнти (ваги) p . Ваги можна брати з будь-якого числового поля таблиці або обчислювати за значенням характеристики просторового об’єкта (наприклад, використовувати його площу або периметр, які можуть бути відсутніми в таблиці:

$$At(M) = \sum pAt(A_i) / k, \quad i = 1, \dots, k;$$

• *значення* – атрибуту нового об’єкта присвоюється зазначене значення Z :

$$At(M) = Z;$$

• *без змін* – атрибуту нового об’єкта присвоюється значення, що відповідає вихідному об’єкту:

$$At(M) = At(A).$$

При декомпозиції просторових об’єктів використовують процедури роз’єднання даних:

- *пусто* – видаляє значення, яке відповідає змінюваному об’єкту;
- *значення* – зберігає значення, яке відповідає змінюваному об’єкту;
- *пропорційно розміру* – віднімає із значення (що відповідало змінюваному об’єкту) частку, пропорційну розміру вирізаного фрагмента.

Розглянуті процедури легко реалізуються в системах баз даних, електронних таблицях, пакетах статистичної обробки у вигляді стандартних функцій, тому формалізованого опису не потребують.

2.3.7. Побудова тематичних карт на основі аналізу та обробки атрибутивних даних

Тематичне картографування в ГІС має на меті виявити закономірності просторового розподілу атрибутивних (тематичних) ознак об’єктів. При створенні різноманітних карт, картосхем, картодіаграм використовується не метрична, а топологічна модель території (сусідство, зчленування, форма, характер розподілу таксонів за градаціями тематичної ознаки). Схему створення тематичних карт подано на рис. 2.7.

На практиці при створенні тематичних карт доволі часто використовуються дані дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), а тематичне картографування

виконується безпосередньо після класифікації (дешифрування) зображення. Групи пікселів кожного класу перетворюються на векторні примітиви, які максимально повно доповнюються відповідною атрибутивною інформацією.

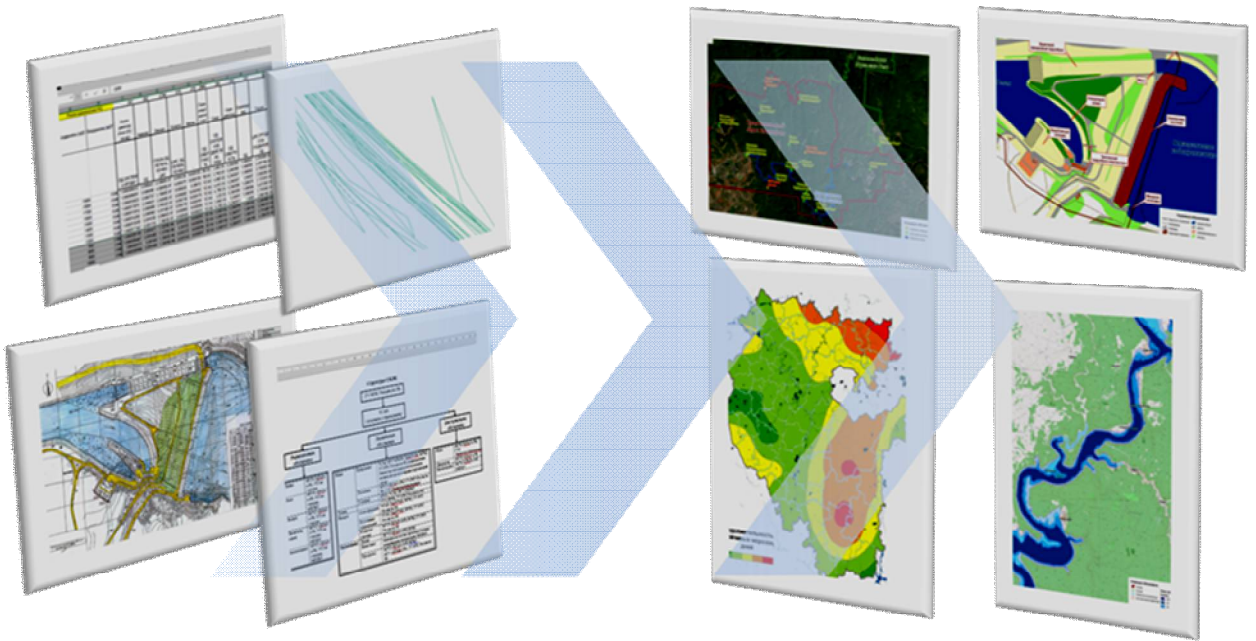


Рис. 2.7. Схема створення тематичних карт

Залежно від мети картографування одержані шари векторних об'єктів можуть бути подані у вигляді окремих тематичних карт – рослинності, ґрунтів, ландшафтів, порушення території, прояву екзогенних процесів тощо. Тематична карта реалізує поставлену мету у вигляді певної моделі, створеної на основі аналізу ознак реальних об'єктів (дешифрування космічних знімків). Як приклад на рис. 2.8–2.10 подано тематичні карти, створені шляхом інтеграції технологій ДЗЗ і ГІС.

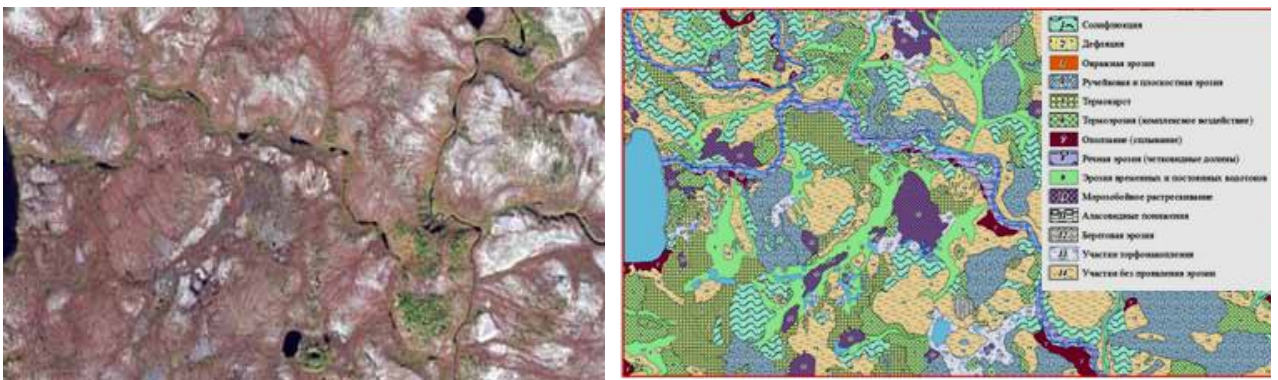


Рис. 2.8. Вихідний космічний знімок і тематична карта ерозійних процесів, що отримана на його основі

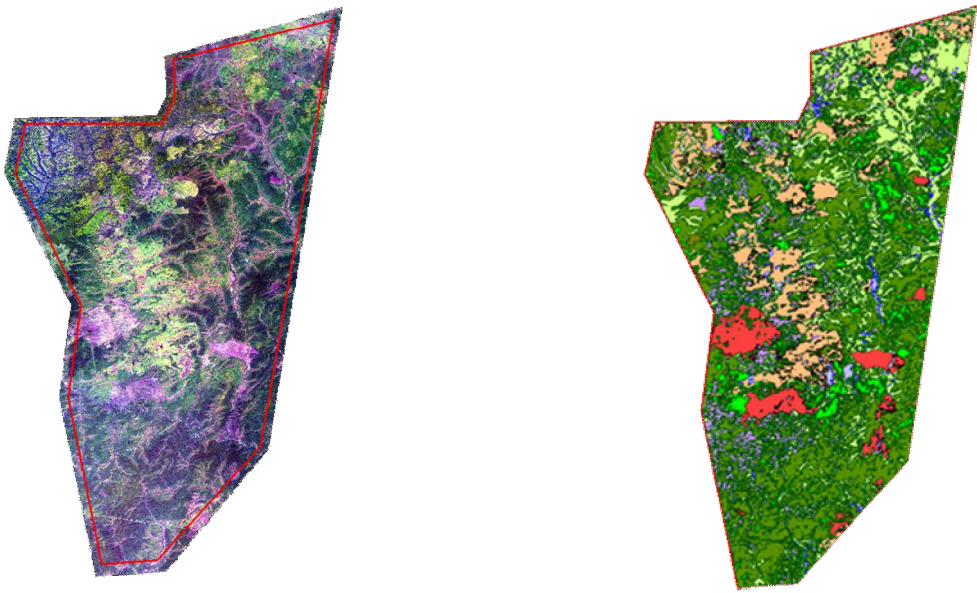


Рис. 2.9. Мозаїка вихідних космічних знімків і ландшафтна карта, що одержана на її основі

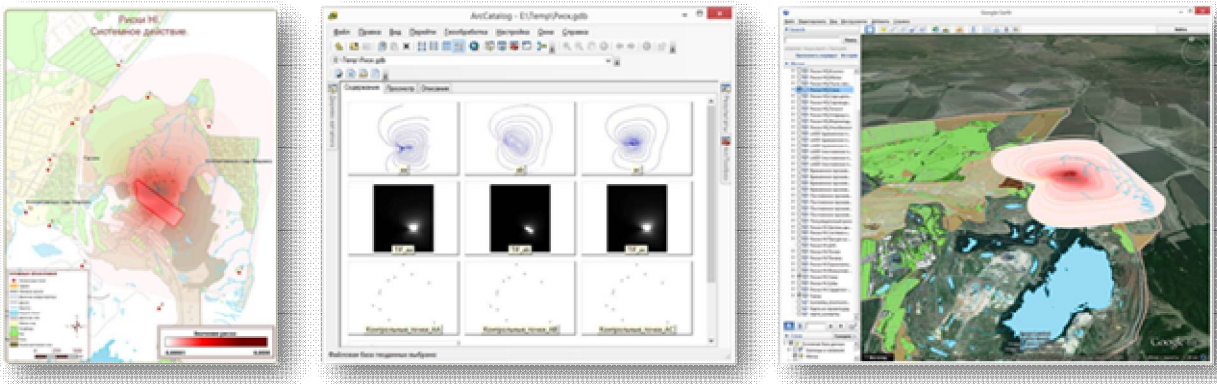


Рис. 2.10. Накладання тематичної карти, моделі забруднення і космічного знімка

У процесі створення карт, у тому числі й тематичних, припустиме використання будь-якої інформації, якщо вона задовольняє певні критерії та стандарти.

Одним із критеріїв застосування просторово-часових даних у ГІС є *точність* – близькість результатів, розрахунків або оцінок до істинних значень (або значень, прийнятих за істинні). Наприклад, точність горизонталі в цифровій базі даних, отриманої на основі дигіталізації по карті, можна оцінити її порівнянням з горизонталлю на вихідній карті.

Розглянемо декілька показників точності в ГІС, а саме *точність обчислення*, *точність виміру*, *точність подання*.

Точність обчислення визначається кількістю значущих цифр після коми, *точність виміру* – кількістю значущих цифр при вимірах, *точність подання* – кількістю розрядів, що описують координатні дані.

Точність обчислень і вимірів неадекватна точності подання. Велика кількість значущих цифр не завжди гарантує точність обчислень або вимірів.

Точність обчислень у ГІС є суттєвим чинником, зазвичай вона набагато перевищує точність самих даних. Більш того, набір спеціальних методів і алгоритмів у низці випадків дозволяє підвищити точність первинних вимірів.

Точність входить до комплексу даних, який визначає дуже важливий показник – *якість даних*.

У багатьох країнах розроблено національні стандарти для цифрових картографічних даних, що застосовуються при оцінці точності цифрових даних. Стандарт виділяє декілька компонентів якості даних:

- позиційну точність;
- точність атрибутів;
- логічну несуперечливість;
- повноту;
- походження.

Позиційна точність виражається ступенем відхилення даних ГІС про місце розташування від істинного положення об'єкта на місцевості. Зазвичай точність карт приблизно визначається товщиною лінії, або 0,4 мм. Це відповідає 10 м у масштабі 1:25 000.

Для перевірки позиційної точності використовують незалежні більш точні джерела, наприклад, карту більш крупного масштабу, систему глобального позиціонування (GPS) тощо.

На підставі відомого в статистиці правила "перенесення помилок" можна оцінити точність, знаючи помилки, що вносяться різними джерелами. Наприклад, при створенні цифрової моделі мали місце такі помилки – 1 мм у вихідному матеріалі, 0,4 мм – на карті, призначеній для цифрування, 0,1 мм – при цифруванні. Тоді загальна погрішність буде дорівнювати:

$$\Delta = \sqrt{1^2 + 0,4^2 + 0,1^2} = 1,08 \text{ мм.}$$

Точність атрибутів визначається близькістю значень атрибута до його істинного значення. Атрибути можуть з часом змінюватись набагато частіше порівняно з позиційними даними.

Залежно від типів даних точність атрибутів може бути виміряна різними способами. Для безперервних атрибутів (поверхонь), наприклад, у полігонах Тиссена, точність виражається як помилка вимірів. Для атрибутів категорій об'єктів, наприклад, класифікованих полігонів, точність залежить від того, чи є категорії прийнятними, достатньо докладними і визначеними, і від того, яка імовірність наявності в даних грубих помилок.

Точність атрибута може бути різною в різних частинах карти, тому набагато корисніше розраховувати просторову варіацію імовірності помилки в класифікації, ніж користуватися узагальненими статистичними показниками.

Поняття *логічної несуперечливості* пов'язане з несуперечливістю даних у базах даних. В середовищі ГІС це поняття поширюється на внутрішню

несуперечливість структур даних і внутрішню топологічну несуперечливість векторних даних. Зокрема, це визначає такі вимоги, як замкненість полігонів, унікальність ідентифікатора полігона, наявність або відсутність вузлів на перетинаннях дуг.

Поняття *повноти* (достатності) даних пов'язане зі ступенем охоплення даними множини відповідних об'єктів. Залежно від правил відбору, генералізації і масштабу визначають кількість відповідних об'єктів для повного опису ситуації, картографічної композиції, явища тощо.

Поняття *походження* включає відомості про джерела даних і операції зі створення бази даних, про методи кодування, час одержання, методи обробки даних, точності результатів обчислень тощо.

2.3.8. Ректифікація даних

При використанні даних ДЗЗ як джерела даних для ГІС часто використовуються аерокосмічні знімки. Коли знімки здійснюються не в надир, то відбувається геометричне спотворення геооб'єктів (рис. 2.11). Наприклад при зніманні прямокутного об'єкта під певним кутом на зображенні він буде виглядати як трапеція. При цифруванні об'єкта для моделювання в ГІС також утвориться трапеція.

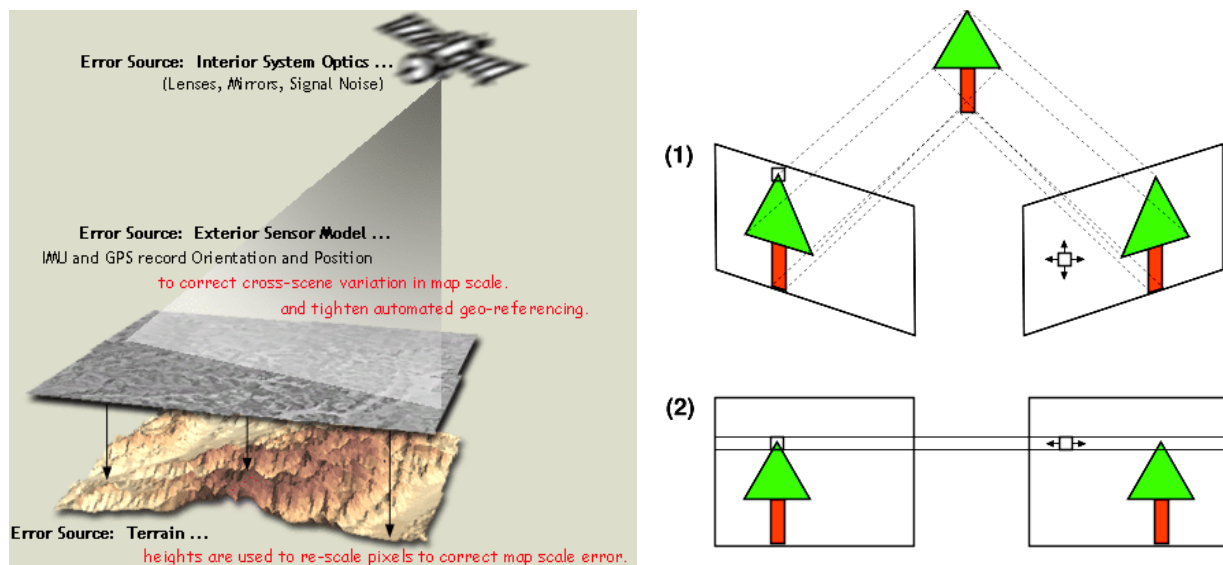


Рис. 2.11. Приклади спотворення реальних розмірів геооб'єктів

Ректифікація даних у ГІС дозволяє виправити це спотворення, і трапеція знову перетворюється на прямокутник, тобто вихідні розміри геооб'єкта будуть відновлені.

Ректифікація пов'язана з проекційними перетвореннями і трансформуванням зображень. Сучасні ГІС включають до 700 проекцій, які дозволяють здійснювати різноманітні перетворення базової цифрової моделі.

Ректифікація може бути *спеціальною або проєкційним перетворенням*.

Спеціальна ректифікація дозволяє здійснювати поряд з проєкційними перетвореннями трансформування знімка не тільки на площину, але й у задану картографічну проєкцію. Це принципово новий вид геоінформаційного моделювання, який до цього не застосовувався в автоматизованих системах.

Проєкційні перетворення виконують відповідно до відомих аналітичних виразів, що описують ці перетворення, і змінюють математичну основу базової цифрової моделі.

2.3.9. Проведення автоматичної класифікації

Однією із проблем, що виникає під час проведення географічних, екологічних, економічних та інших досліджень за допомогою ГІС, є проблема *класифікації* певної інформації.

Класифікація – логічна операція, яка полягає в поділі всієї досліджуваної множини предметів за виявленими подібностями на окремі групи або підпорядковані множини, які називаються класами.

Вихідною інформацією для методів класифікації є багатовимірні дані, що описують досліджувані складні об'єкти, які знаходяться в атрибутивному багатовимірному просторі ознак. Інформація про ознаки об'єктів та зв'язки між ними знаходиться у таблицях вигляду "об'єкт – ознака" та "об'єкт – об'єкт" відповідно.

Метою класифікації є розбиття множини об'єктів на деяку (як попередньо задану, так і не задану) кількість класів таким чином, щоб об'єкти одного класу були максимально подібними за обраними ознаками, а об'єкти різних класів – максимально відрізнялись.

Поділ певних предметів (об'єктів) на взаємопов'язані класи здійснюється за найбільш істотними ознаками, притаманними предметам (об'єктам) цього виду, які відрізняють їх від предметів (об'єктів) іншого виду. При цьому кожний клас займає в утвореній системі певне постійне місце і, в свою чергу, поділяється на підкласи. Проте такий розподіл має відносний характер, оскільки багато об'єктів, завдяки своїй складності, не можуть бути зараховані лише до якогось одного класу. Все залежить від того, на основі чого проводиться класифікація.

Одні й ті ж предмети можна класифікувати по-різному, залежно від того, яка ознака покладена в основу класифікації.

Класи в ГІС об'єднують об'єкти зі схожими значеннями, надаючи їм однаковий символ на карті.

Класифікація об'єктів – це процедура групування на якісному рівні, спрямована на виділення однорідних властивостей.

Всі задачі класифікації підрозділяються на два типи. До задач *класифікації першого типу* відносяться ті, в яких певну множину вимірів потрібно розділити на стійкі групи. Ці задачі називаються *задачами класифікації без вчителя, кластеризації, таксономії, типізації*.

Задачі класифікації *другого типу* характеризуються тим, що вихідні дані вже заздалегідь були розгруповані, потрібно оцінити їх та інформативність щодо сукупності відомих еталонів. Такі процедури називають також *розпізнаванням образів, навчанням з учителем*.

Класифікація методів автоматичного розбиття об'єктів на однорідні групи залежно від наявності апріорної та попередньої вибіркової інформації має такий вигляд (табл. 2.1):

Таблиця 2.1
Систематизація методів автоматичної класифікації

Апріорні відомості про класи	Попередня інформація про вибірки відсутня	Попередня інформація про вибірки присутня
Певна інформація щодо закону розподілу досліджуваного вектора	Класифікація без навчання, розпізнавання образів "без навчання", ієрархічні класифікації	Непараметричні методи дискримінантного аналізу
Генеральні сукупності, задані у вигляді параметричного сімейства законів розподілу ймовірностей з невідомими параметрами	Інтерпретація генеральної сукупності як суміші деяких генеральних сукупностей. Розділення даної суміші за допомогою методики оцінювання параметрів	Параметричні методи дискримінантного аналізу
Досліджувані генеральні сукупності визначені однозначним описом відповідних законів	Класифікація при повністю визначених класах; розрізнення статистичних гіпотез	Навчальні вибірки у цьому разі не потрібні взагалі

Під час проведення автоматичної класифікації просторових даних наявність навчальних вибірок чи повністю визначених законів розподілу зустрічається вкрай рідко. Тому найбільшого розповсюдження в ГІС набули методи розділення суміші розподілів та методи класифікації без навчання.

3. СИСТЕМНІ ОСНОВИ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Сучасні ГІС мають достатньо широкий арсенал можливостей, але постійний розвиток технологій та зростання вимог до інформаційних комплексів висуває потребу вдосконалювати та ускладнювати ГІС, ускладнюючи розрахунки, збільшуючи кількість операцій за одиницю часу, отримуючи тим самим більшу швидкість, точність та достовірність результатів.

Більшість сучасних ГІС здійснюють комплексну обробку інформації, використовуючи функції введення, редагування і збереження даних, моделі растрових і векторних даних та їх симбіоз, трансформації систем координат і картографічних проекцій, вимірювальні операції, операції просторового аналізу і просторового моделювання, побудову цифрових моделей рельєфу та аналіз поверхонь, подання результатів у різних формах та багато різних специфічних, залежно від призначення системи, функцій моделювання.

А оскільки практично всі геооб'єкти мають системні властивості, то визначення системних основ геоінформаційного моделювання сьогодні є актуальним завданням.

3.1. Загальні відомості про системне геомоделювання

Дослідження геооб'єктів у ГІС базується на поняттях і принципах загальної теорії систем та порівняльному аналізі зіставлюваних рішень, що відповідає положенням системного підходу та співпадає з загальними тенденціями в сучасних наукових дослідженнях.

Геооб'єкти зазвичай є складними утвореннями. Залежно від мети дослідження в них можна як виділити окремі компоненти і встановити взаємозв'язки між ними, так і подати їх єдиною цілісністю і досліджувати, розглядаючи її як одну систему.

Загальна теорія систем пропонує холистичний⁵ підхід до дослідження систем.

Предметом досліджень у межах цієї теорії є вивчення: різних класів, видів і типів систем; основних принципів і закономірностей поведінки систем (наприклад, принцип вузького місця); процесів функціонування і розвитку

⁵**Холізм** (лат. *holos* – цілий, увесь) – "філософія цілісності" – напрям у сучасній західно-європейській філософії, який розглядає цілісність світу як наслідок творчої еволюції, що спрямовується нематеріальним і непізнаним "фактором цілісності".

Холізм ототожнюють і застосовують тривалий час як системний підхід, тобто на рівні концептуального методу, коли всі об'єкти розглядають як систему.

систем (наприклад, надповільні процеси, перехідні процеси). У межах теорії систем характеристики будь-якого складно організованого цілого розглядаються крізь призму чотирьох фундаментальних визначальних чинників: *пристрій системи* – ультраструктура; *її поелементний склад*; *поточний глобальний стан системної обумовленості*; *середовище, у межах якого розгортаються всі її організуючі процеси*. У деяких випадках, окрім дослідження зазначених чинників (будова, склад, стан, середовище), допустимі широкомасштабні дослідження організації елементів нижніх структурно-ієрархічних рівнів, тобто інфраструктури системи.

Геооб'єкти характеризуються великою кількістю кількісних та якісних параметрів. До того ж всі ці об'єкти можуть бути розміщені в різних природних, еколого-економічних та соціальних середовищах. Взаємозв'язки (як економічні, так і структурні та соціальні) між об'єктами, ендогенні та екзогенні впливи на систему, як правило, не вдається адекватно описати математично, а якщо це стає можливим, то модель системи є надзвичайно складною і громіздкою. Дослідити таку модель формалізованими методами часто не вдається.

На будь-якому геооб'єкті (території) можна виокремити різномасштабні *структури*.

Структурність є неодмінною основою існування будь-яких систем. У світі немає систем без структури, оскільки відсутність самих елементів або взаємозв'язків між ними не дозволяє говорити про наявність єдиного цілісного утворення, тобто системи.

Просторова організація території та геооб'єктів є ієрархічною і дозволяє моделювати багаторівневу структуру з виділенням істотних над- та підсистемних рівнів.

Дослідження процесів, що відбуваються на певному ієрархічному рівні, вимагає залучення інформації про сусідні рівні, що породжує різні структури і відношення, причому нижчий рівень забезпечує початкові умови – параметри в рівняннях, а вищий – граничні умови, тобто константи. Ключ до розуміння динаміки складних систем – співвідношення обмежень, що накладаються вищою системою, і сил, що породжуються в нижчій системі [124].

Територіальні геосистеми будь-якого масштабу – системи відкритого типу, тобто до істотних факторів розвитку геосистеми відносяться процеси взаємодії із зовнішнім середовищем. Тому опис форми і положення об'єкта повинен визначатись відносно земного простору-часу. Для цього доцільно використовувати *геодезичну систему координат*, яка побудована з метою орієнтації в загальноземному просторі. Простір, у якому дана територія може бути описана в земній геодезичній системі координат, називають *геопростором*.

Геосистемний підхід до моделювання територій і геооб'єктів полягає в тому, що всі об'єкти моделюються як елементи єдиної територіальної системи, причому геоінформація про ці об'єкти характеризується такою структурою: семантика містить географічний опис кожного об'єкта як елемента

геосистеми, а метрика містить координатний опис місця розташування об'єкта в геодезичній системі координат, яка дозволяє створити цифрову модель території в глобальному земному просторі. Таким чином, виділяються географічні і геодезична складові геоінформації.

Основними вимогами геосистемного підходу до подання території як моделі є такі:

- подання має бути системним;
- подання має бути формалізованим і машинозчитуваним;
- подання має бути прив'язане до системи координат земного простору-часу.

Сутність геомодельювання полягає в поданні об'єктів і взаємозв'язків між ними, виходячи з принципу єдності місця і часу. Геоінформаційне моделювання дозволяє упорядкувати всі відомі геооб'єкти і явища відносно простору та часу.

Модель геомодельювання може бути подана у вигляді кортежу:

$$\langle F, f_t, R_r, Sh_i, A_{ik}, S_{ik}, P_m, C_i, W_i, [\langle \text{допоміжні_дані} \rangle] \rangle,$$

де F – мета (або постановка задачі) геомодельювання;

f_t – локальні задачі – складові загальної задачі моделювання;

R_r – відношення між об'єктами на карті;

Sh_i – шейп з об'єктами ландшафту (відповідає локальній задачі f_t);

A_{ik} – атрибутивна таблиця k -го об'єкта i -го шейпу;

S_{ik} – шкала вимірів для атрибутів відповідних наборів даних;

P_m – процеси, які потребують моделювання;

C_i – критерії прийняття оптимального рішення;

W_i – вага набору даних i .

Параметри, наведені у квадратних дужках, вказуються в разі їх наявності та необхідності використання в обчисленнях або для забезпечення наочності карти.

Об'єкти геомодельювання – це такі об'єкти, для яких істотною є характеристика їх просторово-часового розподілу відносно земної системи координат.

Геомодель являє собою складну, ієрархічно організовану систему відкритого типу, що містить закриті (замкнені) підсистеми. Для геомоделі характерним є наявність зворотних зв'язків. Вона включає в себе конкретні об'єкти і абстрактні поняття.

Основним змістом ГІС є робота з геоінформацією, тобто з інформацією, яка має координатну прив'язку до земного простору (позиціонована інформація).

Повноцінний аналіз геоінформації можливий тільки у разі подання цієї геоінформації у вигляді єдиної моделі, яка дозволяє відновлювати структуру,

цілісність і взаємозв'язки між об'єктами та явищами, що характеризують дану територію.

Ядром ГІС слугує геомодель (рис. 3.1), яка включає в себе *бази геоданих* (бази растрових, векторних і атрибутивних даних), *банк знань* і *мову геомоделі*.



Рис. 3.1. Структура геомоделі

Сучасні інформаційні технології дозволяють перетворити вихідний масив розрізненої картографічної, фотограмметричної, геодезичної й тематичної інформації на єдину систему баз даних, яка забезпечує спільну обробку цифрових карт, знімків, таблиць, каталогів тощо. Зрозуміло, що така обробка вимагає певного рівня знань.

Бази геоданих – це спеціальні моделі збереження, обробки і подання геоінформації.

Банк знань – система понять про реальний світ, яка необхідна для аналітичної пізнавальної діяльності в процесі геоінформаційного моделювання. Банк знань дозволяє накопичувати і систематизувати загальні (фунда-

ментальні), тематичні і технологічні знання, які в свою чергу можна класифікувати за рівнем (аксіоматичний, теоретичний, алгоритмічний, евристичний) і за якістю (достовірні, статистичні закономірності, гіпотетичні).

Геомова – засіб відображення і передачі інформації про об'єкти геопростору. "Межі моєї мови означають межі мого світу" [22]. В структурі геомови, необхідної для цифрового моделювання території, правомірно виділити такі складові: параметри геопростору, систему класифікації і кодування, правила цифрового опису, формат цифрового подання і бібліотеку графічних знаків.

Цифрове геомодельювання здійснюється на базі ГІС і розглядається як середовище геомодельювання. ГІС є територіальною системою, тобто у ній обов'язково повинна бути визначена область земного простору, для якої створюється геомодель.

У загальному випадку моделювання об'єктів (процесів, явищ) складається з моделювання трьох основних змістовних складових геомоделі: природної, соціальної (суспільство) та економічної (господарство) компонент. Ще раз підкреслимо: при *аналізі території модель розглядається як частина земного простору*.

Необхідність опису території в координатах геопростору визначає правомірність залучення ГІТ і ГІМ, здатних забезпечити узгодженість та сумісність інформаційних потоків у системі на основі застосування єдиної координатно-часової системи, використання єдиної системи класифікації, кодування, форматів і структури даних [23].

Важливим завданням геомодельювання є формування територіальних баз даних на основі залучення всіх наявних достовірних джерел інформації про територію. Це можуть бути знімки, карти, каталоги, таблиці, текстові описи тощо.

Застосування ГІТ передбачає подання цих матеріалів у цифровому вигляді, який дозволяє здійснити ефективну обробку вихідних даних за допомогою комп'ютерів. Повнота цифрового подання території забезпечується за допомогою побудови цілісної триєдиної геомоделі в растровій, векторній і атрибутивній формах.

Разом з тим слід пам'ятати, що найважливішим суб'єктом, який займається аналізом території, є фахівець з геоінформаційного аналізу. Тому потрібно враховувати психофізіологічні особливості сприйняття інформації людиною. Ці особливості визначають переважне використання геоінформації, що подається в графічному вигляді, тобто геозображень [24]. Основна перевага такої інформації полягає в можливості досягнення необхідної наочності і легкості читання.

Важлива роль в організації процесу геоінформаційного моделювання території відводиться проблемі формування відповідної інфраструктури з урахуванням комплексу нормативно-правових форм і механізмів управління [25], що є в наявності.

3.2. Обґрунтування необхідності застосування ГІС у моделюванні об'єктів геопростору

ГІС, будучи засобом ефективної обробки просторової інформації, як і всі людино-машинні системи в своєму розвитку, підпорядковуються універсальному закону, відповідно до якого частка робіт, що виконуються безпосередньо людиною і яка залежить від її професіоналізму та сумлінності, повинна невинно зменшуватись. Кожна нова технологія, ставши доступною для масового використання, спричиняє перерозподіл функцій підготовки та обробки інформації між людиною і машиною. Використання ГІС суттєво підвищує ефективність організації робіт з початкової підготовки даних, їх збереження та актуалізації. При цьому відбувається зміна структури операцій (процедур), що виконуються людиною в людино-машинному комплексі. Людина-оператор витісняється зі сфери обробки даних, подання їх в комп'ютер у зручному вигляді і може зосередитись на процесі прийняття рішень.

Якість управління територіями і суспільством багато в чому залежать від інформованості осіб, що приймають управлінські рішення. Динамічність життя приводить до того, що *час, необхідний для прийняття рішень, невинно скорочується, а обсяги інформації, яку потрібно опрацювати для об'єктивного дослідження і прийняття рішення, невинно зростають.*

Зростання обсягів накопиченої і доступної інформації призвело до необхідності аналізу великої кількості чинників, що впливають на об'єкти дослідження, а також виявляти нові, на перший погляд неочевидні. При постійно зростаючих вимогах до оперативності і точності прийняття управлінських рішень став практично неможливим розв'язок таких масштабних задач "вручну". В цій ситуації потрібен якісно новий підхід, який би дозволяв використовувати у повсякденній управлінській діяльності підтримку прийняття управлінських рішень на основі просторової інформації, автоматизувати процеси, пов'язані з просторовим аналізом, оскільки без урахування характеристик, що визначаються місцем розташування об'єкта, неможливо системно оцінити проблему й ефективно її вирішити.

Застосування цифрової топографічної основи території дозволить перейти на якісно новий рівень розв'язання завдань із життєзабезпечення і розвитку територіального утворення та земельно-майнового комплексу. Управління територіальними ресурсами і земельно-майновим комплексом вимагає використання достовірних та актуальних планів, схем і карт території регіону, а також однозначної (унікальної) ідентифікації об'єктів при розв'язанні завдань життєзабезпечення і розвитку територіальних утворень.

Вирішити проблеми підвищення якості життя населення, комфортності проживання на території можна тільки за допомогою системи збалансованих показників, аналізувати які доцільно після візуалізації на цифровій карті.

Ці можливості відрізняють ГІС від інших ІС і забезпечують унікальні можливості для їх застосування в широкому спектрі задач, пов'язаних з аналізом і прогнозом явищ та подій, виділенням головних факторів і причин, а також їх можливих наслідків з плануванням стратегічних рішень тощо.

ГІС спроможні інтегрувати і якісно опрацювати усю наявну різноманітну просторову та семантичну інформацію, підвищити ефективність процедур прийняття рішень, забезпечити відповіді на запити і функції аналізу просторових даних, забезпечити подання результатів аналізу в наочному та зручному для сприйняття вигляді.

ГІС дозволяють по-новому, більш глибоко поглянути на проблему, комплексно підійти до її вирішення, надаючи при цьому необхідний інструментарій.

Слід зазначити, що за останні двадцять років ГІС зазнали великих змін, як концептуальних, так і функціональних. Це вже не ті "скромні" програми, за допомогою яких можна було на основі наявних даних створювати карти. Сьогодні ГІС – інтеграційне середовище, яке дозволяє об'єднувати і систематизувати різноманітну інформацію, її потоки, що надходять з багатьох відділів та служб. Все частіше і частіше ГІС ставлять на вершину інформаційної структури відомств і підприємств, хоча на інших стадіях робочого процесу їх використовують і для професійного аналізу даних, і для "чорнової" роботи – введення та підготовки даних.

3.3. Вибір методики і способу зберігання та обробки даних

Під час розроблення ГІС одним із основних питань є вибір методики і способу зберігання та обробки даних. При створенні моделі даних (способу цифрового опису просторових об'єктів), слід врахувати усі вхідні та вихідні параметри, їх структуру, способи збереження, методи збору й обробки даних тощо.

Вибір способу організації даних ГІС має величезне значення, оскільки безпосередньо визначає функціональні можливості створюваної ГІС, а також придатність тих чи інших технологій отримання, введення даних. Від вибору моделі даних залежить як просторова точність подання графічної частини інформації, так і можливість отримання якісного картографічного матеріалу та організації контролю карт. Від способу організації даних у ГІС великою мірою залежить також швидкодія системи, наприклад, під час виконання обчислень, отримання або перетворення даних та візуалізації на екрані.

Зазвичай дані розмежовані та утворюють свого роду рівні. Загалом усі рівні подання даних утворюють ієрархію, яку можна класифікувати та виділити як окремі частини ГІС (рис. 3.2).

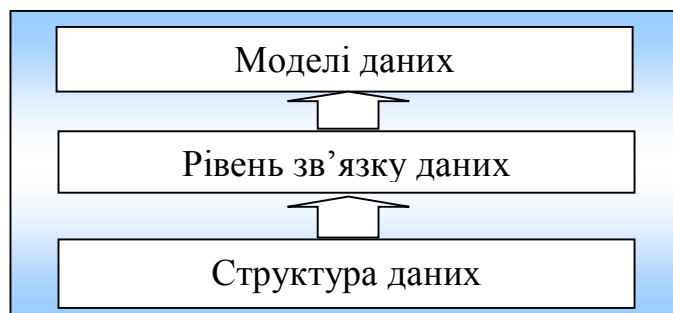


Рис. 3.2. Спосіб організації даних у ГІС

Модель даних є загальною концепцією організації даних у ГІС, які являють собою створені та готові до відображення і перетворення на результат дані. До таких даних можна віднести: тематичні шари, окремі об'єкти візуалізації, полігони, статистичні дані, а також будь-який об'єкт із тематичних шарів ГІС.

Рівень зв'язку даних є проміжним рівнем між сховищем і моделлю даних, відповідно і призначений для зв'язку. Зазвичай це матриці перетворення, векторні дані, посилання, списки та інші специфічні для кожної з ГІС способи структурування даних.

Структури даних – це найнижчий рівень, який максимально деталізує модель даних та уможливорює нормалізацію даних. До цього рівня слід віднести структури файлів, баз даних та типи даних. Елемент кожної моделі даних повинен містити ідентифікатори, атрибути, прив'язку до просторово-часових моделей даних, а також функції перетворення та обробки даних.

Характеризуючи призначення ідентифікатора, зауважимо, що це один із основних параметрів, що бере участь у структуруванні даних. Його призначення – це визначення певних ознак, інформації про об'єкт, яка може динамічно змінюватись, незважаючи на статичність цього об'єкта.

Кожний об'єкт має містити власні атрибути, у яких визначаються базові властивості (наприклад: площа, об'єм, маса, швидкість тощо). Оскільки кожний об'єкт може бути як окремим елементом одного із тематичних шарів, так і конкретним шаром, то потрібна чітка прив'язка до простору та часу.

Для моделювання складної ГІС недостатньо мати інформацію лише про структуру та позицію об'єкта [27]. Інколи може постати гостра потреба визначення реакції груп об'єктів на певні штучно симульовані ситуації. Для цього слід використовувати вбудовані методи поведінки об'єктів, що для кожного із багатьох є специфічними.

Для прикладу можна навести змодельований каменепад. Можна уявити кожен із каменів як багатогранну фігуру. Кожна грань опуклого багатогранника може бути основою, якщо його поставити на горизонтальну поверхню. У правильного багатогранника центр ваги розташований всередині, отож він стійкий, якщо поставити його на будь-яку грань.

Неправильні багатогранники можуть бути нестійкі, якщо встановлені на деякі грані, тобто якщо їх поставити паралельно до основи, вони будуть перевертатися, а отже, неможливо застосовувати ті самі правила для складних фігур. Використання вбудованих методів поведінки дасть максимально чіткі результати при симуляції складних процесів. Завдяки вбудованим методам можна також спростити симуляцію процесів всередині ГІС, розглядаючи її як одну із функцій ГІС.

Одним із основних завдань моделювання ГІС слід вважати можливість об'єднання різноманітних моделей даних [28], структур у інші, створюючи тим самим інший тип або модель даних. Створена модель даних може бути двох видів: *кінцева* та *проміжна*.

Проміжний тип даних призначений для тимчасового утримання цих даних та подальшого формування іншої моделі даних. Відповідно, кінцева

модель даних – це модель, що отримана в результаті розрахунків і може бути використана для візуалізації окремих тематичних шарів об'єктів тощо.

Відповідно до кожного із типів даних, інформацію слід зберігати нарізно, дотримуючись чіткої ізоляції рівнів, щоб запобігти отриманню хибних результатів.

ГІС має зберігати передовсім базові дані та дані, специфічні для конкретної ГІС. Усі дані зберігаються у базах даних, що можна умовно розділити на такі типи:

а) *база геоданих* – це просторова база даних, що містить набори даних, які відображають геоінформацію у контексті загальної моделі даних ГІС. До цих даних слід віднести векторні об'єкти, векторні зображення, растри, топологію, мережі, тривимірні об'єкти, а також усі об'єкти, що входять до складу тематичних шарів і є однією зі складових моделі даних;

б) *база геовізуалізації* – це набір інтелектуальних карт й інших видів, які показують просторові об'єкти та функціональну взаємодію між об'єктами на земній поверхні. У цій базі можуть бути побудовані різні види карт і можуть використовуватися як "вікна в базу даних" [29] для підтримки запитів, аналізу та редагування інформації;

в) *тип геообробки ГІС* – це набір інструментів для одержання нових наборів геоданих з наявних наборів даних. Функції просторових даних отримують інформацію з наборів даних, застосовують до них аналітичні функції і записують одержані результати в нові похідні набори даних. Прикладом може слугувати специфічний тематичний шар, для створення якого було відібрано дані інших тематичних шарів.

Якщо розглянути сучасні, уже створені ГІС, то, наприклад, у програмному забезпеченні ESRI® ArcGIS® ці три види ГІС подано *каталогом* (ГІС як колекція наборів геоданих), *картою* (ГІС як інтелектуальний картографічний вид) і *набором інструментів* (ГІС як набір інструментів для обробки та аналізу просторових даних). Всі вони є невід'ємними складовими повноцінної ГІС і більшою чи меншою мірою використовуються у всіх геоінформаційних додатках.

Якщо комплексно розглядати ГІС як одне ціле, то це особливий тип бази даних про навколишній світ – геобаза даних, основою якої є структурована база даних, яка описує світ у географічному, економічному та інших аспектах.

Створюючи дизайн бази геоданих ГІС, визначають, як відображатимуться різні просторові об'єкти. Наприклад, земельні ділянки зазвичай подаються як полігони, вулиці – як центральні лінії, свердловини – як точки тощо. Ці об'єкти групують у класи об'єктів, в яких кожен набір має єдине географічне відображення.

Кожен набір даних ГІС дає просторове уявлення якогось аспекту навколишнього світу, включаючи:

– впорядковані набори векторних об'єктів (набори точок, ліній та полігонів);

- набори растрових даних, такі як цифрові моделі рельєфу або зображення;
- просторові мережі;
- топографія місцевості та інші поверхні;
- набори даних геодезичного знімання;
- інші типи даних, такі як адреси, назви місць, картографічна інформація та будь-яка інша інформація, необхідна для певного тематичного шару.

Крім географічних уявлень, набори даних ГІС містять традиційні табличні атрибути, що описують геооб'єкти. Багато таблиць можуть бути пов'язані з геооб'єктами по загальних полях (їх зазвичай називають ключовими). Подібні табличні набори інформації (рис. 3.3) та відношення (взаємозв'язки) відіграють ключову роль у моделях даних ГІС, аналогічну тій, яку вони виконують у традиційних, при положеннях, що працюють з базами даних.

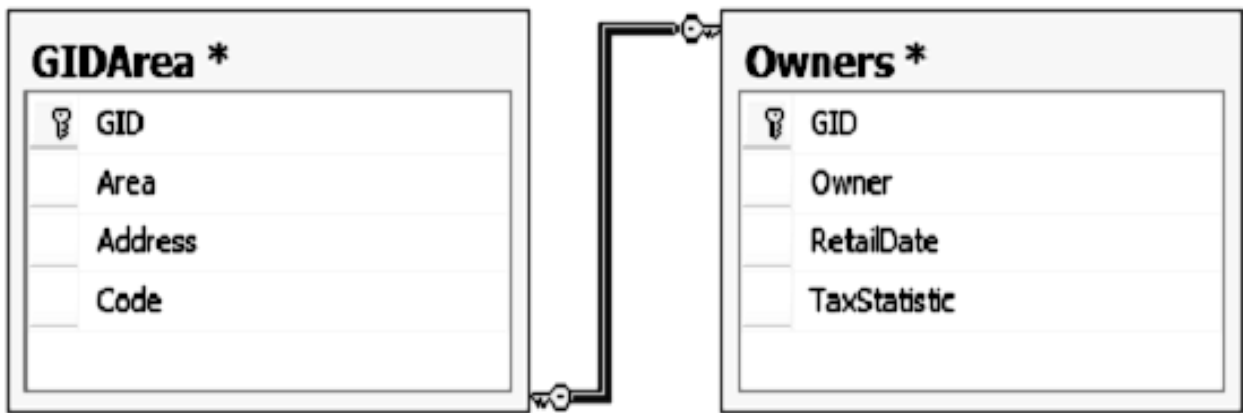


Рис. 3.3. Приклад зв'язку між територіальною одиницею та власником

Розглянемо приклад простої структури даних про територію і власників. На рис. 3.3 наведено таблиці: GIDArea містить інформацію про територіальні одиниці, а, відповідно, таблиця Owners про їх власників. Відповідно до табл. 3.1, 3.2, кожен власник має лише одну ділянку і містить "зв'язок один до одного".

Таблиця 3.1

Таблиця просторових об'єктів, що містять інформацію про територію

PIN	Area	Address	Code	Price
1341	123	San Aveniu St. 34	SFE	1341
4325	432	San Aveniu St. 34	REE	4325
243	434	San Aveniu St. 34	YER	243
4344	5455	San Aveniu St. 34	RET	4344
344	543	San Aveniu St. 34	YYT	344

Таблиця 3.2

Дані про власників та дата укладання договору про купівлю

PIN	Owner	Retail Date	Tax
1341	James Broun 5	2011-10-10	3444,4000
4325	James Broun 1	2011-10-10	344,5300
243	James Broun 2	2011-10-10	543555,650
4344	James Broun 3	2011-10-10	435435,330

Просторові відношення, такі як топології та мережі, є дуже важливими частинами бази даних ГІС. Топологія застосовується для контролю над спільними кордонами між просторовими об'єктами, для визначення і виконання правил цілісності даних, а також для підтримки топологічних запитів та навігації (наприклад, щоб визначити суміжність і зв'язність об'єктів).

Топологія також використовується для розширеного редагування та побудови просторових об'єктів на основі неструктурованих геометричних даних (наприклад, для побудови полігонів з ліній).

Мережі утворюють граф пов'язаних між собою геооб'єктів, за яким можна переміщатися. Це важливо для моделювання маршрутів і навігації в таких сферах діяльності, як транспортна, трубопровідна, інженерних комунікацій, гідрології і в багатьох інших прикладних задачах, пов'язаних з мережами.

ГІС організовує просторові дані всередині тематичних шарів, оскільки набори даних у ГІС пов'язані географічно, їм приписані реальні місця розташування і вони накладаються один на одного.

У ГІС однорідні набори географічних об'єктів зібрано в категорії. Це земельні ділянки, свердловини, будівлі та споруди, ортофотознімки і растрові цифрові моделі рельєфу (ЦМР, DEM) [30]. Чітко визначені набори геоданих критично важливі для геоінформаційної системи, а поняття тематичного набору інформації важливе для концепції набору даних ГІС.

Набори даних можуть представляти:

- первинні "сирі" виміри (наприклад: зображення та дані із супутників), скопійовані й інтерпретовані в інформацію;
- дані, отримані в ході виконання операцій геообробки з метою їх аналізу або моделювання нових даних.

Багатопросторові відносини між шарами легко визначають на основі їх загального географічного положення.

ГІС керує простими шарами даних як класами дочірніх геоінформаційних об'єктів і використовує багатий набір інструментів під час роботи з шарами даних для виявлення багатьох ключових відносин. Ці відносини регулюють надходження та обмін інформацією між шарами та визначення основних положень з їх моделювання.

ГІС використовуватиме безліч наборів даних з багатьма уявленнями, часто отриманими з різних організацій. Тому дуже важливо, щоб набори даних ГІС були:

- простими у використанні та легкими для розуміння;
- сумісними з іншими наборами географічних даних;
- ефективно скопійованими й оцінюваними;
- забезпечені зрозумілою документацією з наповненням, описом, порядком використання та конкретним призначенням.

У будь-якій базі даних ГІС або файлової базі суворо дотримуються цих загальних принципів і концепцій.

Для будь-якої ГІС необхідний механізм опису географічних даних у цьому контексті, а також широкий набір інструментів для використання та управління цією інформацією.

3.4. Особливості геовізуалізації даних

Одним із основних інструментів та призначенням ГІС є візуалізація даних.

Геовізуалізація – це спосіб відображення оброблених або синтезованих геоданих, що виконує роботу з картами та іншими видами географічної інформації, зокрема з інтерактивними картами, 3D-сценами, підсумковими діаграмами, таблицями, видами даних з показниками з прив'язкою до часу, схематичними видами мережеских відносин.

ГІС містить інтерактивні та інші види карт, що оперують наборами географічних даних.

Карти – це потужний модельний образ для визначення та стандартизації того, як люди використовують геоінформацію і взаємодіють з нею. Інтерактивні карти надають основний користувацький інтерфейс для більшості геоінформаційних додатків. Вони доступні на багатьох рівнях: від карт для бездротових мобільних клієнтів до Web-карт у браузерях і карт у потужних настільних геоінформаційних додатках.

Карти в ГІС багато в чому схожі на статичні паперові карти, але вони інтерактивні, тобто з ними можна взаємодіяти. Інтерактивну карту можна зменшувати і збільшувати, причому за певних масштабів деякі шари на карті можуть з'являтися або зникати. Сучасні ГІС під час масштабування карт здійснюють деталізацію залежно від масштабу перегляду. Зазвичай такий метод використовується для растрових карт, коли не потрібно одразу відображати великі масиви інформації, а лише стиснену ділянку, що буде майже ідентичною за зовнішнім виглядом із оригіналом та не міститиме непомітних дрібних деталей, що є дуже помітними під час оцінки навантаження на апаратну частину ГІС. При відтворенні максимального масштабу таких сегментів карти завантажуватиметься точніша інформація із бази даних, що дасть можливість заощадити час та ресурси при візуалізації. Також завдяки деталізації можливо уточнювати інформацію на певних тематичних шарах, тим самим отримавши точнішу інформацію.

За великої кількості об'єктів можна застосовувати умовні знаки для відображення шарів карти на основі будь-якого вибраного набору атрибутів. Наприклад, кольорова шкала умовних позначень для земельних ділянок може ґрунтуватися на типах їх зонування, а розміри точкових значків для позначення свердловин можуть бути пов'язані з їх обсягом вироблення. Вибравши такий геооб'єкт на інтерактивній карті, можна отримати про нього додаткову інформацію, будувати просторові запити і виконувати аналіз. Відповідно, визначивши межі пошуку, можна знайти всі магазини певного типу недалеко від шкіл (наприклад, в радіусі 200 м) або усі заболочені ділянки на відстані до 500 м від вибраних доріг [31]. Крім того, багато користувачів ГІС за допомогою інтерактивних карт здійснюють редагування даних і створюють просторові уявлення об'єктів.

Карти використовуються для відображення та передачі географічної інформації, а також для виконання численних завдань, таких як розвинена компіляція даних, картографування, аналіз, запити, збір даних у польових умовах.

Крім карт, у базах даних ГІС використовують інші інтерактивні види, такі як тимчасові дані, глобуси та схематичні креслення. Саме через інтерактивні карти користувачі ГІС виконують більшість стандартних завдань: як простих, так і ускладнених. Ці карти – основна робоча форма в ГІС, що забезпечує доступ до географічної інформації для працівників організації.

Розробники часто вбудовують карти в користувацький інтерфейс програми, і багато користувачів публікують в Інтернеті web-карти, призначені для використання в ГІС. Зазначимо, що із прогресивним розвитком технологій Silverlight, Flash, AJAX можливо швидко отримувати доступ до геоданих та візуалізовувати їх із будь-якої точки Землі через зв'язок із глобальною мережею Інтернет. Це величезна перевага, оскільки користувач не лише отримує інформацію, а може виконати роль компетентної особи, доповнюючи тим самим інформаційну базу даних ГІС, завдяки публікації зібраної самостійно інформації, яку надалі можна отримувати та використовувати.

Але призначення ГІС – не лише операції зі статичними даними, але і синтез власних динамічних даних. Як приклад можна розглянути віртуально підвищений рівень опадів у певному регіоні, для перевірки міцності та надійності захисних дамб на прилеглих річках, тим самим запобігаючи екозагрозам. Для таких оцінок потрібно використовувати не лише програмну частину, а й апаратну у вигляді датчиків, сенсорів тощо.

Моделюючи тематичні шари на основі показників, отриманих під час дистанційного зондування, можна проаналізувати ситуації у регіонах. Такі тематичні шари можуть відображати інформацію у різний момент часу, оскільки мають просторово-часову прив'язку даних, що дасть можливість, аналізуючи дані за певні періоди, прогнозувати ситуації.

Одним із типів візуальної інформації, що може відображатись як окремий шар, є схематичний малюнок.

Схематичні малюнки – це векторні дані, що об'єднані у сукупність посилань та містять велику кількість атрибутів і методів поведінки. Зазвичай такі тематичні шари слід використовувати для моделювання або показу трубопровідного транспорту, оцінювання втрат на окремих ділянках та моделювання можливих заходів з ліквідації загроз в аварійних ситуаціях. Схематичні малюнки використовують, наприклад, для показу газових мереж. У таких малюнках відображають інформацію, зокрема ту, що стосується різних часових зрізів, які фіксуються як "події". У чітко змодельованих системах можливо передбачати події та вдосконалювати системи, моделюючи певні поліпшення та оцінюючи їх ефективність.

Деякі з ГІС представлені колекцією наборів геоданих і операторів (інструментами), що застосовуються до цих наборів даних. Набори геоданих можуть являти собою первинні виміри (наприклад, супутникові знімки), інтерактивну і скомпільовану аналітиками інформацію (наприклад, дороги,

споруди або типи ґрунтів) або інформацію, отриману з інших джерел за допомогою додаткового аналізу або моделювання. Найчастіше для введення даних використовують сканери. Вони дають змогу вводити растрове зображення карти в комп'ютер. Існують різні типи сканерів, які розрізняються: за способом подання вихідного матеріалу (планшетні і протяжні (барабанного типу)); за способом зчитування інформації (працюють на просвіт або на відображення); за радіометричним розрізненням або глибиною кольору; за оптичним (або геометричним) розрізненням. Остання характеристика визначається мінімальним розміром елемента зображення, який розрізняється сканером. Процес цифрування растрового зображення на екрані комп'ютера називають *векторизацією*.

Є три способи векторизації: ручний, інтерактивний і автоматичний. При ручній векторизації оператор обводить мишею на зображенні кожен об'єкт, при інтерактивній – частина операцій виконується автоматично. Так, наприклад, при векторизації горизонталей досить задати початкову точку і напрямок відстеження ліній, далі векторизатор сам відстежить цю лінію доти, доки не зустрінє невизначених ситуацій, наприклад, розриву лінії. Можливості інтерактивної векторизації прямо пов'язані з якістю початкового матеріалу і складністю карти. Автоматична векторизація передбачає безпосередній переклад з растрового формату у векторний за допомогою спеціальних програм, з подальшим редагуванням. Воно необхідне, оскільки навіть найточніша програма може неправильно розпізнати об'єкт, для прикладу, розпізнавши символ як групу точок. Геообробка даних пов'язана із застосуванням інструментів і процедур, які використовують для генерування вироблених наборів даних.

ГІС пропонує багатий вибір інструментів для обробки просторової інформації. Ці інструменти призначені для роботи з інформаційними об'єктами ГІС: наборами даних, полями атрибутів та картографічними елементами для виведення карт на друк. У сукупності складні команди та об'єкти даних формують основу розвинутого середовища обробки геоданих. Зазвичай дані є основою формування нових даних, які отримують через додаткові функції:

$$Data + F(x) = Data_n, \quad (3.1)$$

де $Data$ – існуючі дані;

$F(x)$ – функція обробки даних;

$Data_n$ – нові дані.

Інструменти ГІС є "будівельними блоками" для виконання багатокрокових операцій. Інструменти перетворення застосовують операції до вже наявної інформації з метою отримання нових даних. Середовище геообробки використовують у ГІС для послідовного виконання серії таких операцій. Операції, з'єднані в єдиний ланцюжок, формують модель процесу обробки даних. Така єдина послідовність виконання операцій потрібна в ГІС для автоматизації виконання багаторазових завдань геообробки. Створення та застосування подібних процедур і називається геообробкою даних.

3.5. Особливості геообробки даних

Геообробка використовується для моделювання процесів передачі даних з однієї структури в іншу з метою виконання багатьох стандартних завдань ГІС – наприклад, для імпорту даних з різних форматів, інтегрування цих даних в ГІС, для стандартних процедур перевірки якості імпортованих даних. Можливість автоматизації та повторного виконання таких робочих процесів є перевагою ГІС. Вона широко застосовується у численних геоінформаційних додатках і сценаріях роботи з даними.

Механізм, який використано для побудови робочих потоків при геообробці, повинен виконувати низку команд у певній послідовності. Користувачі ГІС повинні мати змогу створювати графічні процеси за допомогою інтерфейсів, що відповідають за візуалізацію.

Однією з достатньо складних вимог до таких інтерфейсів у ГІС є можливість інтеграції *скриптів*, що побудовані на певній специфічній у межах однієї ГІС мові.

Також користувачі повинні мати можливість писати власні скрипти за допомогою таких інструментів програмування, як Python, VBScript і JavaScript.

Геообробка широко використовується на всіх етапах роботи з ГІС для автоматизації та компіляції даних, управління, аналізу і моделювання даних, а також для розвиненої картографії.

Перед виконанням процедур, які можна автоматизувати за допомогою геообробки, слід переконатися в якості й цілісності даних, а також проконтролювати їх придатність для багаторазових запитів *QA/QC*. Автоматизація цих робочих потоків засобами геообробки допомагає спільно використовувати серії процедур, виконувати пакетну обробку та документувати ці ключові процеси в ході обробки даних.

Геообробка – це ключове середовище для моделювання та аналізу геоданих. За допомогою цього середовища можна синтезувати дані, які неможливо отримати із тих чи інших джерел.

До звичайних програм для моделювання належать:

- моделі стійкості та придатності, прогнозування та оцінки альтернативних сценаріїв;
- інтеграція зовнішніх моделей;
- поширення і спільне використання моделей.

Із використанням глобальної мережі Інтернет уможлиблюється інтеграція великої кількості зовнішніх моделей, які доступні на багатьох відкритих ресурсах і можуть зекономити час при розробленні власних.

Керування потоками геоданих критично важливе для всіх геоінформаційних додатків. Користувачі ГІС застосовують функції геообробки для переміщення даних із бази даних, для публікації даних у різних форматах, наприклад, профайлах GML (Geographic Markup Language) [32], для об'єднання подібних наборів даних, модернізації схем баз даних ГІС, а також для виконання пакетної обробки вмісту баз даних.

Під час керування геоінформацією використовується багато концепцій та характеристик стандартної архітектури інформаційних технологій, які добре працюють у централізованій корпоративній комп'ютерній мережі. Наприклад, набори даних ГІС можуть керуватися в реляційних базах даних, як і інша корпоративна інформація. Для оперування даними, що зберігаються в системі керування базами даних (СКБД), використовується сучасна логіка взаємодії додатків, зокрема і для WEB. Подібно до інших корпоративних інформаційних систем, робота яких ґрунтується на транзакціях, ГІС широко використовуються для постійної зміни та оновлення баз геоданих. Але технологія ГІС має важливі особливості. Розвинені інструменти геообробки використовують для отримання різномасштабного картографічного подання об'єктів, виконання генералізації даних, автоматизації більшості робочих процесів забезпечення та контролю якості (QA/QC) друку під час створення картографічної продукції.

Геодані, як правило, мають значний обсяг і містять багато великих елементів. Наприклад, простий запит до бази даних для заповнення звичайного комерційного бланка виведе кілька рядів даних, а для створення карти потрібно зробити запит з бази даних на сотні або навіть тисячі записів. Крім того, обсяг відображуваної векторної або растрової графічної інформації може сягати багатьох мегабайтів. До того ж геоданим властиві складні відношення і структури, такі як: транспортні мережі, топографія території і топологія.

Для побудови та підтримки графічних наборів даних у ГІС потрібні розвинені засоби редагування. А для підтримки цілісності та поведінки географічних векторних об'єктів і растрів необхідна їх спеціалізована обробка на основі особливих географічних правил та команд у вигляді функцій. Тому компіляція даних у ГІС вимагає істотних витрат. Це одна із причин, що спонукають користувачів до спільної роботи з наборами геоданих.

Як і в інших СКБД, у базі даних ГІС відбувається постійне оновлення (актуалізація) різноманітних даних. Тому база даних ГІС, як і інші бази даних, повинна підтримувати подібні транзакції. Але у користувачів ГІС є деякі спеціальні вимоги до транзакцій. Однією з головних умов є можливість *підтримки довгих транзакцій*.

У ГІС єдина операція редагування може спричинити зміни багатьох рядків даних у багатьох таблицях. Користувачі повинні мати можливість скасовувати і повторювати операції редагування.

Сеанс редагування може тривати кілька годин або навіть днів. Часто редагування повинно проводитися в системі, відділеній від центральної, спільно використовуваної бази даних.

Нерідко істотне оновлення бази даних проводиться поетапно. Наприклад, у додатку до інженерних комунікацій ця робота зазвичай містить такі стадії, як "розробка", "пропозиція", "прийняття", "реконструкція" і "задавання". Цей процес значною мірою циклічний. Ось приклади робочих процесів керування даними в ГІС:

Автономне редагування: деяким користувачам потрібна можливість "відкріплення" фрагментів бази даних ГІС та їх реплікації в інше місце у незалежну від основної систему. Наприклад, для редагування в польових умовах деяких даних слід забрати з собою якісь дані, виконати їх редагування та оновлення на місці виконання робіт, а потім переслати внесені зміни в основну базу даних.

Розподілені географічні бази даних [32]: регіональна база даних може бути частковою копією відповідної частини основної бази даних корпоративної ГІС. Ці бази даних повинні періодично синхронізуватися для обміну внесеними в кожному з них змінами.

Технічне завдання спочатку складають і передають інженеру, потім поступово модифікують у міру реалізації окремих етапів, і нарешті, всі внесені зміни повертаються назад у корпоративну базу даних.

Робочий процес оновлення та передавання даних може тривати дні та місяці. Однак база даних ГІС все одно має залишатися доступною для підтримки щоденної роботи і поточних оновлень, а користувачі повинні мати можливість звертатися до своїх версій та до версії загальної бази даних ГІС.

Розподілена сутність ГІС передбачає широкі можливості для взаємодії між багатьма організаціями, що займаються геомодельованням і геоінформаційними системами. Співпраця та спільна робота користувачів дуже важливі для ГІС.

Користувачі ГІС давно спираються на взаємовигідну діяльність з обміну даними та їх спільного використання. Реальним відображенням цієї фундаментальної потреби є безперервні зусилля щодо створення геоінформаційних стандартів. Дотримання галузевих стандартів і загальних принципів побудови ГІС критично важливе для успішного розвитку та широкого впровадження цієї технології. ГІС повинна підтримувати найважливіші стандарти і мати можливість адаптації при появі нових стандартів.

Багато геонаборів даних можуть компілюватися і керуватися як загальний інформаційний ресурс та спільно використовуватися спільнотою користувачів. До того ж користувачі ГІС мають власне бачення того, як можна здійснювати обмін популярними наборами даних через web.

Ключові web-сайти, які є порталами каталогів ГІС, надають можливість користувачам як викладати власну інформацію, так і здійснювати пошук потрібної для використання геоінформації. У результаті ГІС все більше приєднуються до Інтернету і отримують нові можливості обміну та використання інформації.

Це бачення вкоренилось у свідомість людей за останнє десятиліття і знайшло відображення в таких поняттях, як Національна інфраструктура просторових даних (NSDI) і Глобальна інфраструктура просторових даних (GSDI) [30]. Ці концепції постійно розвиваються і поступово впроваджуються, причому не тільки на національному та глобальному рівнях, але також на рівні округів і муніципальних утворень. В узагальненому вигляді ці

концепції інтегровані в поняття інфраструктури просторових даних (SDI, Spatial Data Infrastructure) [34].

Геоінформаційна мережа по суті є одним із методів впровадження і просування принципів SDI. Вона об'єднує безліч користувацьких сайтів, сприяє публікації, пошуку і спільному використанню географічної інформації за допомогою World Wide Web.

Географічне знання від початку є розподіленим і слабоінтегрованим. Вся необхідна інформація рідко міститься в окремому примірнику бази даних з власною схемою даних.

Користувачі ГІС взаємодіють, щоб отримати ті частини геоданих, яких їм бракує. За допомогою геоінформаційних мереж користувачам простіше налагодити контакти та обмін накопиченими географічними знаннями, а також використати ці дані в інших прикладних проектах.

Нині у більшості ГІС дані шарів і таблиць надходять з різних організацій. Кожна організація розрізняє більш-менш вагомую частину, а не все інформаційне наповнення своєї ГІС. Зазвичай хоча б деякі шари даних надходять із зовнішніх джерел.

4. КЛАСТЕРНИЙ АНАЛІЗ ПРОСТОРОВИХ ОБ'ЄКТІВ

Математичні теорії не призначені встановлювати істинну природу речей; такі претензії до них були б нерозумними. Їх єдина мета полягає в координації фізичних законів, які нам постачає досвід, але які без допомоги математики ми не могли би навіть сформулювати.
Анрі Пуанкаре. "Гіпотеза і наука"

Сьогодні дуже важко уявити сучасну науку без широкого застосування математичного моделювання. Це спричинило його бурхливий розвиток, який охоплює все нові сфери – від розробки технічних систем і управління ними до аналізу найскладніших процесів. Технічні, екологічні, економічні й інші системи, що вивчаються сучасною наукою, більше не піддаються дослідженню звичайними теоретичними методами. Тому математичне (інформаційне) моделювання є обов'язковою складовою науково-технічного прогресу.

4.1. Загальні відомості про просторовий розподіл об'єктів

Для наочного подання просторових об'єктів, місць їх розташування та атрибутивних даних люди з давніх часів використовують *карти*. За допомогою картографічних зображень легко виявляються зв'язки між об'єктами та визначаються області, що відповідають певним критеріям, або місця, які потребують термінових управлінських заходів. Наприклад, використовуючи ГІС, підрозділи МВС можуть помісячно оцінювати розподіл місць скоєння злочинів, їхню повторюваність, міграцію в межах населеного пункту тощо, що дозволяє координувати роботу патрульної служби. Біологи, досліджуючи дику природу, можуть визначити території з мінімальною кількістю доріг і людських поселень для мінімізації антропогенного впливу в зоні досліджень, логістики можуть визначити оптимальні маршрути автотранспорту, найбільш ефективні режими роботи, екологи – виявити вплив особливостей рельєфу, кількість дощових опадів або інших чинників на просторовий розподіл рослинних співтовариств тощо.

В процесі просторового аналізу розподілу геооб'єктів часто потрібно не тільки визначити місця розташування цих просторових об'єктів та їх властивості, але і їх кількість на певній території (ділянці), їх щільність, зони впливу тощо.

Під розподілом просторових об'єктів (просторовою локалізацією) розуміють розташування, порядок, концентрацію або розосередженість, пов'язаність або незв'язність об'єктів у межах геопростору, що їх охоплює [17].

Одним із основних елементів аналізу просторового розподілу об'єктів (процесів, явищ), що відбуваються на певній території, є визначення закономірностей у їх просторовому розташуванні. Оскільки на розташування об'єктів впливає велика кількість факторів навколишнього середовища, то вони мають певні просторові розстановки, які відображають вплив цих факторів. Використовуючи ці залежності, відомості про об'єкти геопростору, а також аналізуючи просторовий розподіл об'єктів, можна визначити фактори (економічні, екологічні, соціальні), що впливають на досліджувані об'єкти та місця їх розташування.

При аналізі просторових розподілів визначальними характеристиками об'єкта є не стільки об'єм простору, займаний об'єктом, або його форма, скільки розташування в просторі, яке може характеризуватися кількістю об'єктів у певному місці і тим, як вони розподілені – рівномірно або групами, наскільки віддалені один від одного, а також зв'язком між об'єктами і загальним розміром займаної території.

Просторові розподіли для об'єктів різного типу просторової локалізації аналізуються різними методами.

Локалізація (англ. *localization*) – обмеження місця дії того чи іншого явища, процесу певними просторовими межами.

Просторовою локалізацією даних називають процес відношення різних видів інформації до певної просторово визначеної системи.

Такою системою може бути декартова або географічна системи координат, класифікована сукупність територіальних об'єктів тощо. Локалізація може здійснюватись завдяки застосуванню спеціальних класифікаторів або на підставі позиціонування. Просторова локалізація застосовується для аналізу різних типів об'єктів: локалізованих (точкових), лінійних, мережевих або полігональних об'єктів.

Позиційною локалізацією називається локалізація, здійснювана на підставі прив'язки точок об'єкта до системи координат.

4.2. Кластерний аналіз, переваги його застосування

Кластерний аналіз (англ. *data clustering*) – завдання розбиття об'єктів (ситуацій) на підмножини, що називаються кластерами, так, щоб кожен кластер складався зі схожих об'єктів, а об'єкти різних кластерів істотно відрізнялися.

Кластерний аналіз застосовується в різних сферах і галузях [143]. Він працює навіть тоді, коли даних мало і не виконуються вимоги нормальності розподілу випадкових величин й інші вимоги класичних методів статистичного аналізу. Він корисний, коли потрібно класифікувати велику кількість інформації. Наприклад, у медицині кластеризація використовується для

класифікації захворювань або їх симптомів, таксономії⁶ пацієнтів, препаратів тощо. В психіатрії – для правильної діагностики симптомів, таких як параноя, шизофренія тощо, що є вирішальним чинником для успішної терапії. В археології встановлюються таксономії кам'яних споруд, похованих об'єктів. У маркетингу це можуть бути завдання сегментації конкурентів і споживачів. У менеджменті прикладами задач кластеризації слугують розбивка персоналу на різні групи, кластеризація споживачів і постачальників, виявлення схожих виробничих ситуацій, за яких виникає брак. У соціології – розбивка респондентів на однорідні групи. У маркетингових дослідженнях кластерний аналіз застосовується як у теоретичних дослідженнях, так і маркетингологами, що практикують і вирішують проблеми угруповання різних об'єктів (аналіз поведінки споживача, групування споживачів в однорідні класи для одержання максимально повної картини про поведінку клієнта з кожної групи й про фактори, що впливають на його поведінку). При цьому розв'язуються питання про групи клієнтів, продуктів тощо. В геоінформаціі кластерний аналіз застосовується для спрощення роботи з геоінформацією, візуалізації даних, сегментації зображень, інтелектуального пошуку; в економіці – для аналізу ринків і фінансових потоків, виведення закономірностей на фондових біржах; в астрономії – виділення груп зірок і галактик, в ДЗЗ – автоматичної обробки космічних знімків. Можна стверджувати, що кластерний аналіз добре зарекомендував себе у всіх сферах життєдіяльності людини.

Завдання кластеризації відноситься до статистичної обробки, а також до широкого класу завдань *навчання без учителя*, на відміну від класифікації – навчання з учителем, де класи визначені первісно (рис. 4.1).

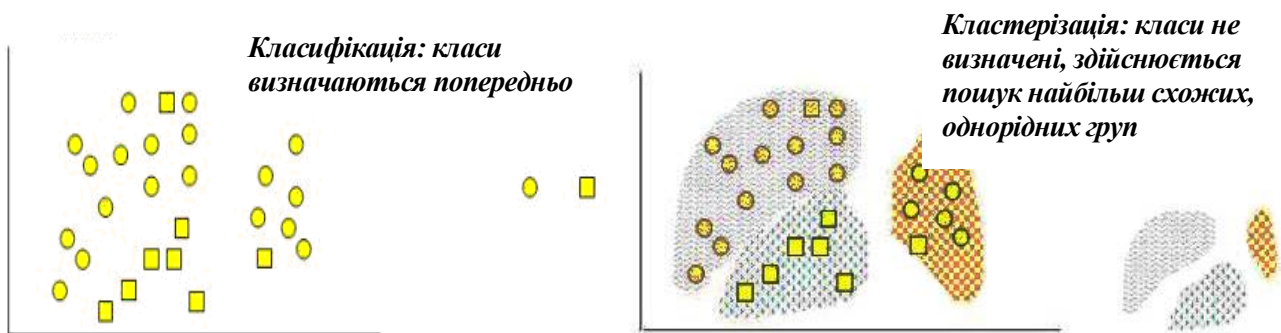


Рис. 4.1. Відмінності класифікації і кластеризації

Класифікація – віднесення елемента (об'єкта) до певного класу із заздалегідь відомими параметрами, отриманими на етапі навчання.

Кількість класів при класифікації – строго обмежена.

⁶**Таксономія** – наука про принципи та способи класифікації й номенклатури складно організованих ієрархічних систем дійсності: органічного світу, об'єктів географії, геології, мовознавства, суспільства тощо. Синонім понять "систематика", "класифікація". Завдання таксономії – визначення і теоретичне обґрунтування класифікаційних одиниць – таксонів, їх системи, супідрядності, співвідношення та обсягу.

Кластеризація – це розбиття множини даних на кластери. Кластери – підмножини однорідних одиниць сукупності, параметри яких заздалегідь невідомі.

Кластерний аналіз має низку переваг перед іншими методами класифікації даних.

По-перше, він дозволяє виконувати розбивку об'єктів як за однією ознакою, так і за цілим набором ознак. Причому вплив кожного з параметрів може бути доволі просто підсилений або послаблений шляхом внесення в математичні формули відповідних коефіцієнтів.

По-друге, кластерний аналіз не накладає обмежень на вид об'єктів групування і дозволяє розглядати безліч вихідних даних практично довільної природи.

По-третє, особливістю кластеризації є те, що більшість алгоритмів здатні самостійно визначити кількість кластерів, на які потрібно розбити дані, а також виділити характеристики цих кластерів без участі людини, тільки за допомогою використовуваного алгоритму.

На рис. 4.2 наведено приклад кластеризації довільних об'єктів.

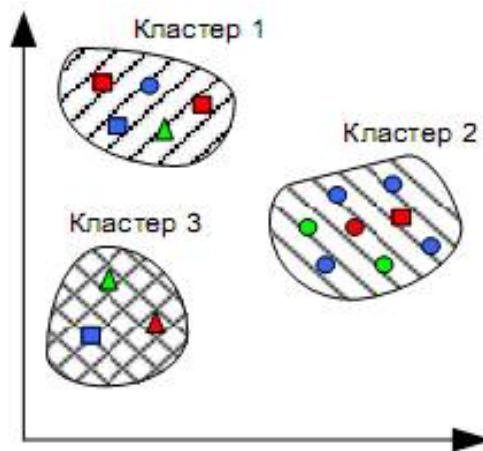


Рис. 4.2. Приклад кластеризації об'єктів

Наведені об'єкти доволі прості і мають обмежену кількість характеристик: *координати, форма, колір*. Залежно від того, які характеристики використовуються для групування, кластеризація може дати абсолютно різні результати. Реальні об'єкти мають значно більший набір властивостей і, отже, більше варіантів компонування.

Для того щоб дати точне визначення кластеру, потрібно знати не тільки умови конкретної задачі, але й те, які саме характеристики використовуються в процесі групування.

Характеристиками кластера можна назвати дві ознаки:

- внутрішня однорідність;
- зовнішня ізолюваність.

Предмет кластерного аналізу визначив і вперше подав його опис Р. Тріон (Tryon) [132] у 1939 р.

4.3. Мета використання кластерного аналізу в ГІС

Суть процедури кластерного аналізу полягає в тому, що об'єкти, які потрібно класифікувати, подаються вектором (набором) індивідуальних ознак цих об'єктів у формі таблиці "об'єкт–властивість", на підставі якої будується матриця відстаней (подібності, близькості), за якою і здійснюється кластеризація. Тим самим розв'язується задача класифікації даних з використанням чітко сформованого математичного апарату.

Зміст кластеризації полягає в тому, що об'єкти, які за вектором ознак є найближчими один до одного, утворюють окрему групу – *кластер*.

Мета кластеризації може різнитись залежно від особливостей конкретної прикладної задачі. Наприклад:

- *визначення структури безлічі даних* шляхом її розбиття на групи подібних об'єктів, для подальшого спрощення обробки даних у кожному кластері окремо;

- *скорочення (стиснення) об'єму даних, що зберігаються*, з мінімальними втратами інформації шляхом залишку по одному найбільш типовому представнику від кожного кластера, оскільки доволі часто буває достатньо розгляду одного об'єкта для визначення характеристик усіх схожих об'єктів з високою імовірністю;

- *виділення нетипових об'єктів* (виявлення новизни), які не підходять до жодного з кластерів, тощо;

- *розробка типології або класифікації*;

- *дослідження корисних концептуальних схем групування об'єктів*;

- *породження гіпотез на основі дослідження даних*;

- *перевірка гіпотез* або дослідження для визначення, чи дійсно типи (групи), виділені тим або іншим способом, присутні в наявних.

Основним критерієм зарахування об'єктів до тієї чи іншої групи, тобто проведення кластеризації, є у певний спосіб подання та вимірювання "відстань" між об'єктами.

Кластеризацію використовують, коли відсутні апріорні відомості щодо класів, до яких можна віднести об'єкти досліджуваного набору даних, або коли кількість об'єктів настільки велика, що ручний аналіз реально неможливий.

Об'єкти в кожному кластері повинні бути схожі один на одного більше, ніж на об'єкти інших класів, і відрізнятися від об'єктів інших кластерів сильніше, ніж від об'єктів власного класу.

Кластерний аналіз просторового розподілу об'єктів дозволяє скорочувати розмірність даних, робити її наочною.

Таким чином, кожного разу, коли потрібно класифікувати велику кількість інформації на придатні для подальшої обробки групи, кластерний аналіз виявляється вельми корисним і ефективним.

Основне завдання кластерного аналізу – формування однорідних груп у багатовимірному просторі.

Однорідність сукупності задається правилом обчислення певної метрики, що характеризує ступінь подібності (схожості) j -ї та k -ї одиниць сукупності. Такою метрикою може бути відстань між ними S або коефіцієнт подібності R_{jk} . Близькі, схожі за вибраними метриками одиниці вважаються належними до одного типу, однорідними. Вибір метрики є вузловим моментом кластерного аналізу, від якого залежить кінцевий варіант поділу сукупності на класи [140].

Основною метою кластерного аналізу є розділення багатовимірної сукупності вхідних даних на однорідні групи так, щоб об'єкти всередині групи були подібними між собою відповідно до деякого критерію, а об'єкти із різних груп відрізнялися один від одного. Причому класифікація об'єктів проводиться одночасно за декількома ознаками на основі введення певної міри сумарної близькості за всіма ознаками класифікації [141].

Отже, критерій якості кластеризації тією чи іншою мірою відбиває наступні неформальні вимоги:

- а) усередині груп об'єкти повинні бути тісно пов'язані між собою;
- б) об'єкти різних груп повинні бути далекими один від іншого;
- в) за інших рівних умов розподіл об'єктів по групах повинен бути рівномірним.

4.4. Міри схожості (міри близькості), що використовуються при кластерному аналізі

Вузловим моментом у кластерному аналізі вважається вибір метрики (міри схожості, міри близькості) об'єктів, від якого вирішальним чином залежить остаточний варіант розбивки об'єктів на групи при заданому алгоритмі розбивки. Загалом, кількість мір відстаней буде становити:

$$M = \frac{N_0(N-1)}{2},$$

де N_0 – кількість об'єктів, між якими розраховується відстань.

У кожній конкретній задачі цей вибір здійснюється різним чином, з урахуванням головної мети дослідження, фізичної і статистичної природи використовуваної інформації тощо.

Для проведення кластерного аналізу даних здебільшого використовують такі міри схожості [144]:

1. *Коефіцієнт кореляції* – це показник характеру взаємного впливу зміни двох випадкових величин. Коефіцієнт кореляції позначається латинською буквою K і може набувати значення від -1 до $+1$.

Якщо значення по модулю знаходиться ближче до 1 , то це означає наявність сильного зв'язку, а якщо ближче до 0 – зв'язок відсутній або є істотно нелінійним. При коефіцієнті кореляції, що дорівнює по модулю

одиниці, кажуть про функціональний зв'язок (а саме лінійну залежність), тобто зміну двох величин можна описати лінійною функцією [145].

2. *Міра відстані (метрика, міра близькості, відстань між двома об'єктами)* встановлює схожість або розбіжності між об'єктами [146]. Два об'єкти є ідентичними, якщо змінні, що їх описують, набувають однакових значень. У цьому разі відстань між ними дорівнює нулю. Міри відстані зазвичай не обмежені зверху і залежать від вибору шкали (масштабу) вимірів.

Відстань між двома об'єктами позначається як $d(x_i, y_i)$ – це функція близькості, яка задається за наступних умов [142]:

- вона завжди більша або дорівнює нулю;
- відстань від точки X до точки Y така сама, як і від Y до X ;
- якщо числові значення ознак двох об'єктів однакові, відстань між ними дорівнює нулю;
- якщо існує третя точка u , то сума відстаней між точками x_i та u_i завжди більша, ніж відстань між точками x_i та y_i . У вигляді формули це записується так:

$$\left\{ \begin{array}{l} d(x_i, y_i) \geq 0 \\ d(x_i, y_i) = d(y_i, x_i) \\ d(x_i, y_i) = 0 \Leftrightarrow x_i = y_i \\ d(x_i, y_i) \leq d(x_i, u_i) + d(u_i, y_i) \end{array} \right\} \forall \{i\} \in N.$$

Характеристики найбільш уживаних метрик відстаней наведено у табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Характеристика метрик відстаней

Назва	Недоліки	Переваги
1	2	3
<p>Метрика Евкліда</p> $d_e(x_i, y_i) = \sqrt{\sum_{i=1}^{Nf} (x_i - y_i)^2}$	<p>Не враховує знакові розходження</p>	<p>1. Пропорційно збільшує відстань між об'єктами у випадку різних абсолютних значень показників. 2. Збільшується розмірність кластерного поля, об'єкти штучно віддаляються один від одного. 3. Межі між кластерами стають чіткими і точними.</p>
<p>Метрика Хемінга</p> $d_{dei}(x_i, y_i) = \sum_{i=1}^{Nf} (x_i - y_i)$	<p>Втрачаються важливі знакові характеристики розходжень</p>	<p>1. Використовується, коли знакові розходження характеристик об'єктів мають принципове значення. 2. За рахунок нівелювання знакових розходжень показників об'єкти сконцентруються навколо області ядра кластера.</p>

1	2	3
Метрика L-норма $d_L(x_i, y_i) = \sum_{i=1}^N x_i - y_i $	Не враховуються знакові розходження	1. Збільшується розмірність кластерного поля. 2. Об'єкти штучно віддаляються один від одного. 3. Межі між кластерами стають чіткішими і точнішими.
Метрика Чебишева $d_{\text{sup}}(x_i, y_i) = \text{SUP} x_i - y_i $	Неправомірно змінює картину класифікації через ігнорування усіх факторів, крім одного	З усіх різниць значень факторів, взятих по модулю, обирається одна – найбільша, саме вона буде характеристикою відстані між об'єктами. Отже, чітко формується однакова відстань між об'єктами.

Метрика Евкліда дуже залежить від розмірності даних. Для усунення цього недоліку найчастіше використовують процедуру нормування (*normalization*) даних, яка приводить значення усіх перетворених змінних до єдиного діапазону значень шляхом вираження через відношення цих значень до певної величини, яка відбиває властивості конкретної ознаки.

Метрика Хемінга у більшості випадків приводить до таких самих результатів, як і для метрики Евкліда, однак для неї вплив окремих великих викидів зменшується, оскільки вони не зводяться у квадрат. Метрику Хемінга іноді називають манхетенською відстанню, відстанню міських кварталів, або відстанню "сіті-блок".

Метрика Чебишева може виявитися корисною, коли бажають визначити відмінність двох об'єктів, якщо вони різняться якоюсь однією координатою (якимось одним виміром).

3. *Коефіцієнти асоціативності* застосовуються за потреби встановити схожість між об'єктами, що описуються бінарними змінними, причому 1 вказує на наявність змінної, а 0 – на її відсутність.

4. *Імовірнісні коефіцієнти схожості* – при утворенні кластерів за цими мірами обчислюється інформаційний виграш від об'єднання двох об'єктів, а потім об'єкти з мінімальним виграшем розглядаються як один.

4.5. Характеристики кластерів

Кластери можуть складатись з різних об'єктів, але всі вони мають певні властивості, найбільш важливі з яких є щільність, дисперсія, розміри, форма і віддільність.

Щільність – це властивість, яка дозволяє визначити кластер як сукупність точок у просторі даних, відносно щільне порівняно з іншими областями простору, містять або мало точок, або не містять їх зовсім.

Дисперсія характеризує ступінь розсіювання точок у просторі відносно центру кластера. Краще за все розглядати дисперсію як характеристику того, наскільки близько одна до одної розташовані в просторі точки кластера. Отже, кластер можна назвати "щільним", якщо всі точки знаходяться поблизу його центра тяжіння, і "нещільним", якщо вони розосереджені навколо центра.

Властивість кластерів – *розмір* – тісно пов'язана з дисперсією. Якщо кластер можна ідентифікувати, то можна й виміряти його "радіус" [147]. Ця властивість є корисною, якщо розглядувані кластери є гіперсферами у багатовимірному просторі.

Форма – це розташування точок у просторі.

Незважаючи на те, що зазвичай кластери зображують у формі гіперсфер або еліпсоїдів, можливі кластери й іншої форми, наприклад, подовжені кластери. В останньому випадку поняття радіуса або діаметра є недоцільним. Замість них можна обчислити "зв'язаність" точок у кластері – відносну міру відстані між ними.

Віддільність характеризує ступінь перекриття кластерів і наскільки далеко один від одного вони розташовуються в просторі. Так, кластери можуть бути відносно близькими один до одного і не мати чітких меж або ж вони можуть бути розділені широкими ділянками порожнього простору [148].

Важливо пам'ятати, що сама по собі кластеризація не приносить жодних результатів просторового аналізу. Для одержання змістовної інформації потрібно провести інтерпретацію кожного кластера. Така інтерпретація припускає присвоєння кожному кластеру ємної назви, що показує його суть. Для інтерпретації аналітик повинен детально дослідити кожний кластер: його статистичні характеристики, розподіл значень ознак об'єкта в кластері, оцінити потужність кластера – кількість об'єктів, що потрапили до нього.

Застосування методів кластерного аналізу у поєднанні з аналітичними можливостями ГІС значно розширює методичний інструментарій сучасного інтелектуального аналізу даних. Наявні засоби проведення кластерного аналізу у програмному забезпеченні ГІС дозволяють класифікувати просторові об'єкти за просторово-атрибутивними параметрами.

До основних переваг багатовимірного аналізу в середовищі ГІС слід віднести автоматизоване картографування кластерів, використання додаткової геоінформації, варіабельність у прийнятті рішень щодо аналізу тощо.

4.6. Методи кластерного аналізу

При виконанні кластеризації важливо визначити, скільки в результаті цієї процедури повинно бути побудовано кластерів.

Апріорі передбачається, що кластеризація повинна виявити природні локальні згущення об'єктів. Тому кількість кластерів є параметром, який часто суттєво ускладнює алгоритм, якщо передбачається, що він невідомий і суттєво впливає на якість результату.

Алгоритми кластеризації зазвичай будується як певний спосіб перебору кількості кластерів і визначення його оптимального значення в процесі перебору та включають 5 основних кроків:

1. Вибір вибірки для кластеризації.
2. Визначення ознак, за якими будуть оцінюватися об'єкти в вибірці.
3. Обчислення значень тієї або іншої міри подібності між об'єктами.
4. Застосування кластерного аналізу для створення груп подібних об'єктів.
5. Перевірка достовірності результатів кластерного розв'язку.

На сьогодні існує велика кількість методів розбиття груп об'єктів на кластери. Існує декілька десятків алгоритмів і ще більше їх модифікацій.

Методи кластерного аналізу дозволяють розв'язувати наступні задачі:

- проведення класифікації об'єктів з урахуванням ознак, що відбивають сутність, природу об'єктів. Розв'язок такої задачі приводить до поглиблення знань про сукупності об'єктів, які піддаються класифікації;
- перевірка висунутих припущень про наявність певної структури в досліджуваній сукупності об'єктів, тобто відбувається пошук існуючої структури;
- побудова нових класифікацій для явищ, які вивчені мало, коли потрібно установити наявність зв'язків усередині сукупності і спробувати привнести в неї структуру.

Методи кластерного аналізу можуть бути *ієрархічними* і *неієрархічними* (рис. 4.3).

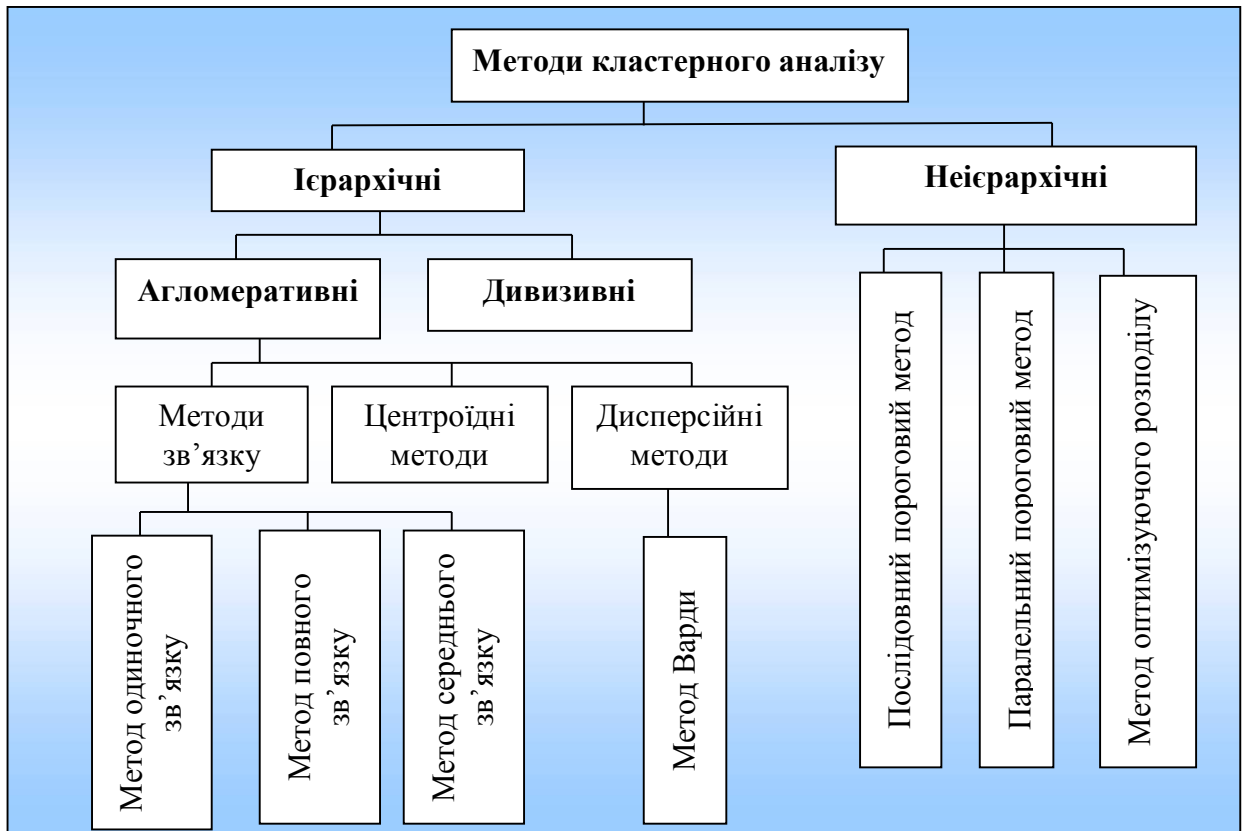


Рис. 4.3. Методи кластерного аналізу

4.6.1. Ієрархічні методи кластерного аналізу

Ієрархічні методи кластерного аналізу характеризуються тим, що процес об'єднання об'єктів при їх використанні має ієрархічний характер і може бути поданий у вигляді дендрограми (деревоподібної діаграми).

Дендрограма (*dendrogram*, від грец. *dendron* – "дерево") – **деревоподібна діаграма, що містить n рівнів, кожний з яких відповідає одному із кроків процесу послідовного укрупнення кластерів.**

При цьому на кожному кроці кількість кластерів змінюється в бік збільшення або зменшення. Робота більшості таких методів ґрунтується на обчисленні матриці схожості, яка містить *міри відстаней* – числа, що виражають "схожість" кожних двох об'єктів. Робота ієрархічних методів проілюстрована на рис. 4.4. Залежно від напрямку аналізу (розділення чи об'єднання об'єктів) ієрархічні методи поділяються на *агломеративні* (об'єднувальні) і *дивизивні* (розділові).

Ієрархічні агломеративні методи (*Agglomerative Nesting, AGNES*) характеризується послідовним об'єднанням початкових елементів і відповідним зменшенням числа кластерів.

Усі такі методи переглядають матрицю схожості розмірності $N \times N$ (де N – кількість об'єктів) і послідовно об'єднують найбільш схожі об'єкти. Послідовність об'єднань кластерів можна подати візуально у вигляді дендрограми (рис. 4.5).

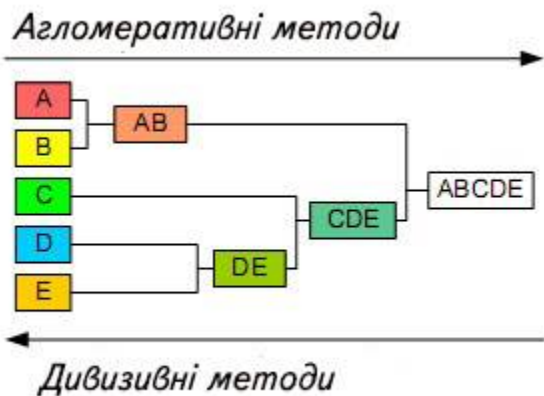


Рис. 4.4. Ієрархічні методи кластерного аналізу



Рис. 4.5. Приклад вертикальної дендрограми

Числа 11, 10, 3 тощо відповідають номерам об'єктів або спостережень вхідної вибірки. На першому кроці кожне спостереження – це один кластер, на другому кроці спостерігаємо об'єднання таких спостережень: 11 і 10; 3, 4 і 5; 8 і 9; 2 і 6. На другому кроці триває об'єднання в кластери: спостереження 11, 10, 3, 4, 5 і 7, 8, 9. Даний процес триває доти, поки всі спостереження не об'єднуються в один кластер. Для повної кластеризації цими методами на основі матриці схожості розмірністю $N \times N$ потрібно $N-1$ кроків.

Кожен крок, на якому об'єднується пара об'єктів, подається гілкою цього дерева. Дерево зображує ієрархічну організацію зв'язків між декількома точками даних. На найнижчому рівні всі точки незалежні; на другому рівні вони поєднуються в групи, на найвищому рівні вони усі об'єднуються в одну велику групу.

Загальну схему роботи ієрархічних агломеративних методів наведено на рис. 4.6.

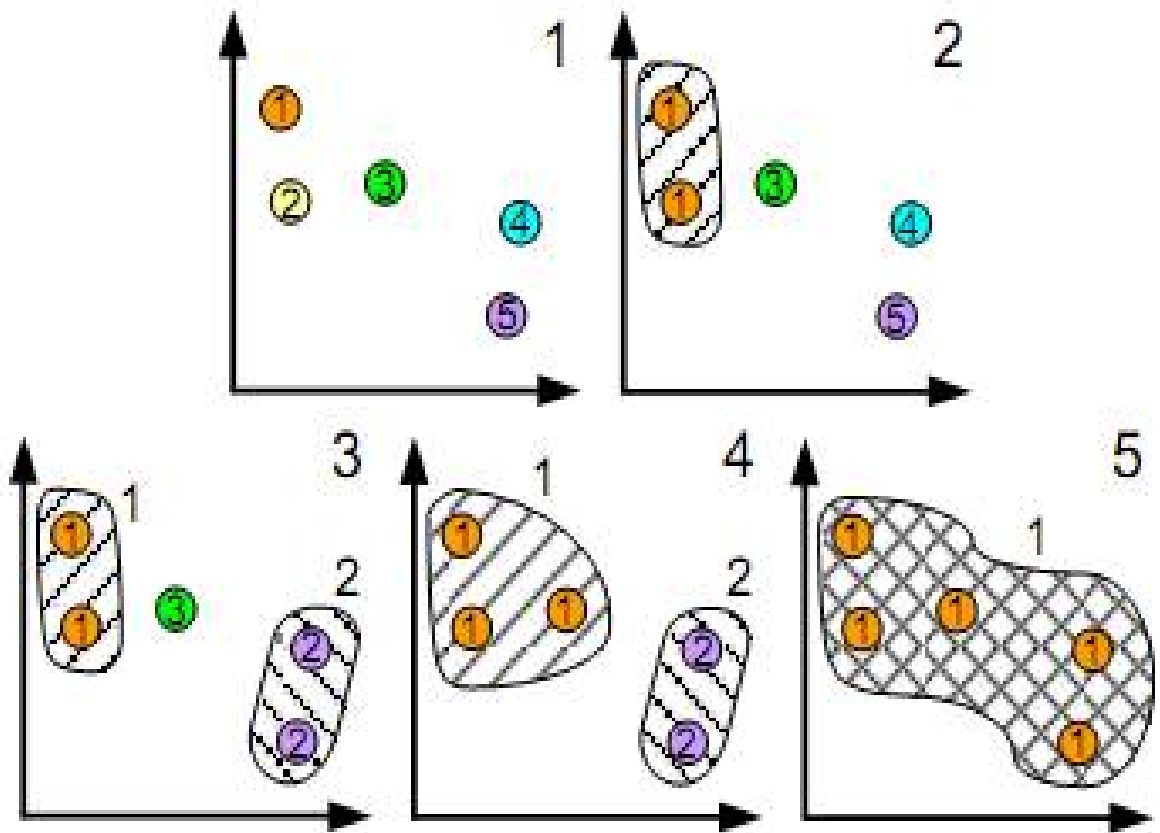


Рис. 4.6. Ієрархічні агломеративні методи кластерного аналізу

Ієрархічні агломеративні методи відрізняються головним чином за правилами побудови кластерів. Існує багато різних правил групування, кожне з яких породжує специфічний ієрархічний метод. Найпоширеніші чотири з них: *одиначного зв'язку*, *повного зв'язку*, *середнього зв'язку* та *метод Варда*.

1. Метод одиначного зв'язку (nearest neighbor analysis), або, як його іноді називають, *метод аналізу найближчого сусіда*, є одним з найпростіших ієрархічних методів, хоча й був запропонований одним з останніх у 1973 р.

В основі алгоритму найближчого сусіда лежить припущення, що якщо об'єкти близькі за значеннями $n-1$ властивості (ознаки), то вони близькі за значеннями n -ї властивості (рис. 4.7).

Дві групи точок об'єднуються, якщо в цих групах знайдеться щонайменше дві точки (по одній у кожній групі), відстань між якими достатньо мала (рис. 4.8).

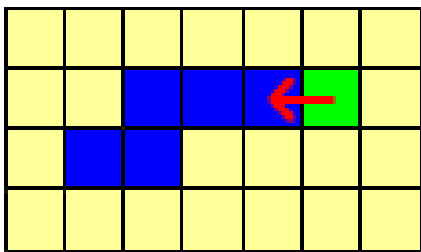


Рис. 4.7. Робота методу
одиначного зв'язку

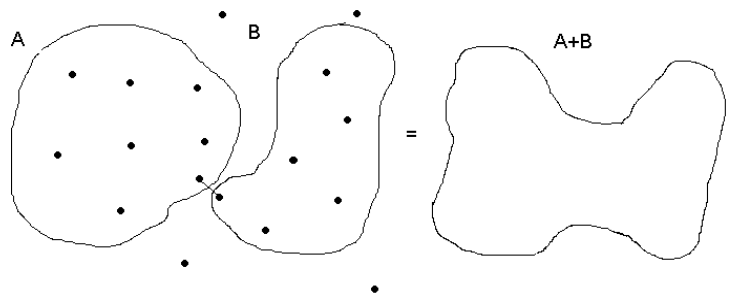


Рис. 4.8. Геометрична інтерпретація
класифікації за методом аналізу
найближчого сусіда

Нехай потрібно провести класифікацію заданої множини об'єктів методом найближчого сусіда. Відстань між двома класами визначається як відстань між найближчими їх представниками.

Перед початком роботи алгоритму розраховується матриця відстаней між об'єктами. На кожному кроці в матриці відстаней відбувається пошук мінімального значення, яке відповідає відстані між двома найбільш близькими кластерами. Знайдені кластери об'єднуються, створюючи новий кластер. Ця процедура повторюється до того часу, поки не будуть об'єднані всі кластери. Нехай задано таку матрицю відстаней (табл. 4.2).

Таблиця 4.2

Матриця відстаней

	1	2	3	4
1	0	2,06	4,03	6,32
2	2,06	0	2,50	4,12
3	4,03	2,50	0	2,24
4	6,32	4,12	2,24	0

Таблиця 4.3

Матриця відстаней після першого кроку

	1,2	3	4
1,2	0	2,50	4,12
3	2,50	0	2,24
4	4,12	2,24	0

Крок 1. На першому кроці кожний об'єкт складається з окремих кластерів: |1|, |2|, |3| та |4|. Згідно з критерієм класифікації, об'єднання відбувається між кластерами, відстань між якими є найменшою (кластери |1| та |2|). Відстань, на якій відбулося об'єднання, дорівнює 2,06. Потрібно зробити перерахунок матриці відстаней з урахуванням нового кластера (табл. 4.3).

Крок 2. На другому кроці об'єкт складається з кластерів: |1,2|, |3| та |4|. Згідно з новою матрицею відстаней, кластери |3| та |4| є найбільш близькими. Відстань, на якій відбулося об'єднання, становить 2,24. Потрібно зробити перерахунок матриці відстаней з урахуванням нового кластера (табл. 4.4).

Крок 3. На третьому кроці об'єкт складається з кластерів: |1,2| та |3,4|. Відстань між кластерами дорівнює 2,50 – це відстань між 2 та 3 об'єктом. Утворення кластерів закінчене. Результат класифікації методом найближчого сусіда подано на рис. 4.9 у вигляді дендрограми.

Таблиця 4.4

Матриця відстаней після першого кроку

	1,2	3,4
1,2	0	2,50
3,4	2,50	0

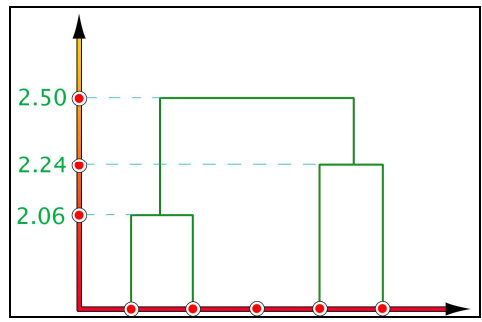


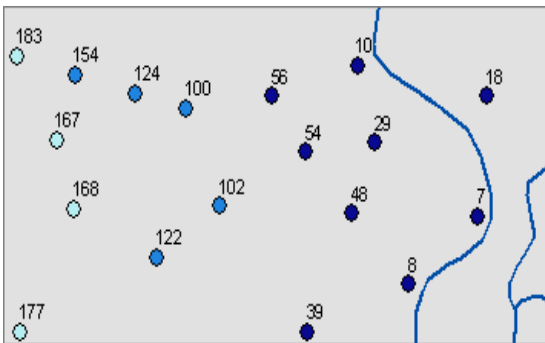
Рис. 4.9. Результат класифікації точкових об'єктів методом найближчого сусіда

Відповідно до цього методу, кластер утворюється за правилом: об'єкт потрапляє до вже існуючого кластера, якщо знаходиться доволі близько хоча б до одного об'єкта даного кластера. Таким чином, приєднання визначається лише наявністю зв'язку між об'єктом і кластером.

Головною перевагою цього методу є його математичні властивості: результати, отримані за цим методом, не залежать від монотонних перетворень матриці схожості, причому інші ієрархічні агломеративні методи такої властивості не мають.

Недолік методу одиночного зв'язку полягає в тому, що метод приводить до появи "ланцюжків", тобто до утворення великих продовгуватих кластерів. Але у випадках, коли шукані кластери мають таку форму, це виявляється перевагою даного методу.

Як приклад на рис. 4.10 подано класифікацію за методом найближчого сусіда точок, наближених до річки. Точки позначені градуйованими кольорами на основі відстані від річки і підписані значеннями відстаней.



	FeatureID	NearDist	NearAngle
	0	56	18.394009
	1	122	-31.848772
	2	195	-2.41069
	3	48	-35.72168
	4	105	-13.856518
	5	177	-10.703785
	6	75	-23.185714

Рис. 4.10. Класифікація за методом найближчого сусіда (до річки) і таблиця атрибутів точкових об'єктів

Примітка. При використанні методу найближчого сусіда потрібно приділяти особливу увагу вибору міри відстані між об'єктами. На її підставі формується первинна матриця відстаней, яка й визначає увесь подальший процес класифікації.

2. *Метод повного зв'язку (метод дальнього сусіда)* був запропонований Т. Сонерсоном у 1968 р. За цим методом правило об'єднання вказує, що схожість між кандидатами на включення в існуючий кластер і будь-яким із елементів цього кластера не повинна бути меншою від певного граничного рівня.

За відстань між двома кластерами вибирається максимальна відстань між об'єктами, що входять в різні кластери.

Таке правило є більш жорстким, ніж правило для методу одиночного зв'язку, і тому тут є тенденція до виявлення відносно компактних гіперсферичних кластерів, що утворені об'єктами з великою схожістю.

Дві групи точок об'єднуються, якщо в цих групах усі пари точок з різних груп лежать достатньо близько (рис. 4.11).

3. *Метод середнього зв'язку (метод середніх)* розроблявся як компроміс між методами одиночного і повного зв'язку. Дві групи точок об'єднуються, якщо середня відстань між парами точок з різних груп достатньо мала. Середня відстань обчислюється як середина для кожного кластера (рис. 4.12).

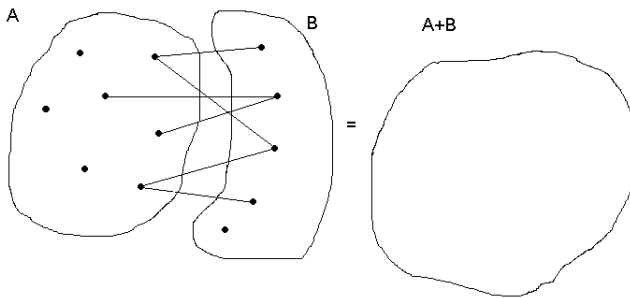


Рис. 4.11. Геометрична інтерпретація кластеризації за методом повного зв'язку (дальнього) сусіда

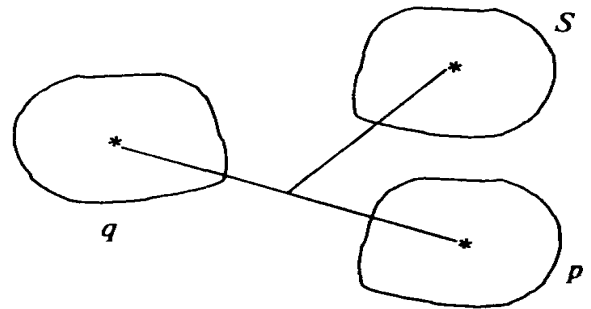


Рис. 4.12. Геометрична інтерпретація класифікації за методом аналізу середнього зв'язку

Відповідно до цього методу обчислюється середня схожість розглядуваного об'єкта з усіма об'єктами в уже існуючому кластері, а потім, якщо знайдене середнє значення схожості досягає або перевершує певний заданий пороговий рівень схожості, об'єкт приєднується до цього кластера. Найчастіше використовується варіант методу середнього зв'язку, в якому обчислюється середня арифметична схожість між об'єктами кластера і кандидатом на включення. В інших варіантах методу середнього зв'язку об'єднаного схожість між центрами тяжіння двох кластерів, що підлягають об'єднанню.

Середня відстань визначає міру розосередженості точок у сфері розподілу. Це цікаво тому, що в деяких випадках точкові об'єкти можуть конфліктувати між собою, якщо вони розташовані занадто близько один від одного.

4. *Метод Варда* був запропонований у 1963 р. і до сьогодні є одним з найбільш популярних кластерних методів. Він побудований таким чином, щоб оптимізувати мінімальну дисперсію всередині кластерів. Ця цільова функція відома як внутрішньогрупова сума квадратів або сума квадратів відхилень (СКВ).

На першому кроці, коли кожний кластер складається з одного об'єкта, СКВ дорівнює 0. За методом Варда об'єднуються ті групи або об'єкти, для яких СКВ отримує мінімальний приріст (рис. 4.14).

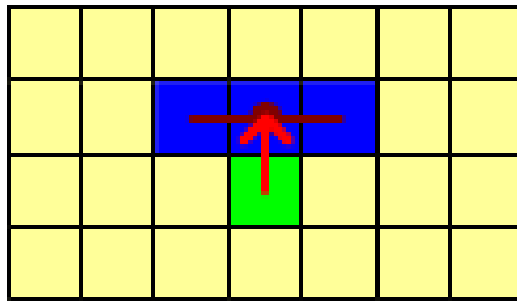


Рис. 4.13. Робота методу Варда

Даний метод має тенденцію до знаходження або створення кластерів приблизно рівних розмірів, які мають гіперсферичну форму.

Ієрархічні дивизивні (розділові) методи (DIvisive ANALysis, DIANA) є логічною протилежністю агломеративним методам. На початку роботи алгоритму всі об'єкти належать одному кластеру, у процесі класифікації за певними правилами поступово від цього кластера відокремлюються групи схожих між собою об'єктів.

Загальну схему роботи ієрархічних дивизивних методів наведено на рис. 4.14.

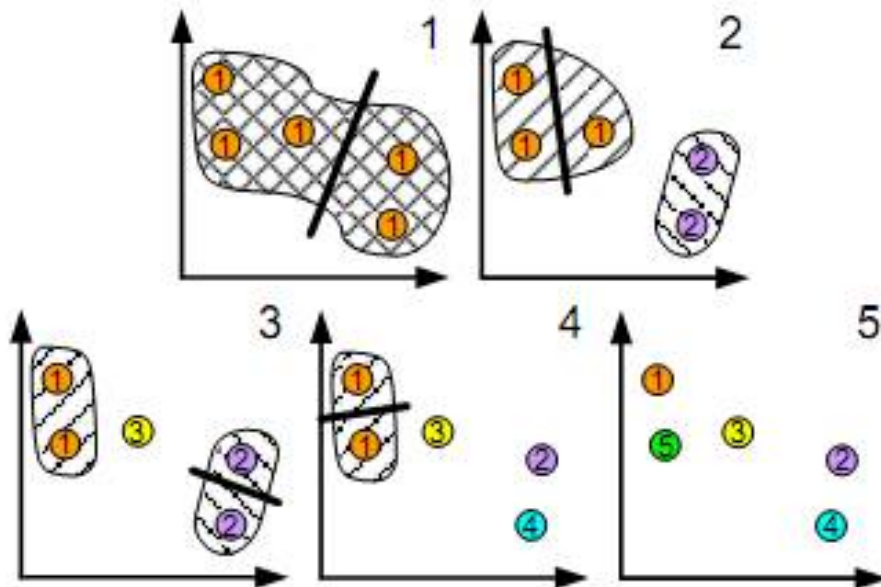


Рис. 4.14. Загальна схема роботи ієрархічних дивизивних методів

Проблемою ієрархічної кластеризації є знаходження точки зупинки алгоритму.

4.6.2. Неієрархічні методи кластерного аналізу

Неієрархічні методи мають за основу вже задану кількість кластерів (k-means, РАМ кластеризація) або використовують складні алгоритми знаходження їх кількості (CLOPE, карти Кохонена).

Ієрархічна кластеризація виконується за допомогою послідовного об'єднання менших кластерів до більших (агломеративна) чи навпаки – від більших до менших (дивизивна). На відміну від неієрархічних, дані алгоритми кластеризації будують розбиття для всіх можливих варіантів.

Серед неієрархічних методів кластеризації особливої уваги заслуговують ітеративні методи. Вони працюють за наступним алгоритмом:

- 1) вихідні дані розбиваються на певну кількість кластерів та обчислюються центри тяжіння цих кластерів;
- 2) кожна точка даних поміщується в кластер з найближчим центром тяжіння;
- 3) обчислюються нові центри тяжіння кластерів; кластери не замінюються на нові доти, поки не будуть повністю переглянуті всі дані;
- 4) кроки 2 і 3 повторюються доти, поки не перестануть змінюватись кластери.

Загальну схему роботи ітеративних методів подано на рис. 4.15.

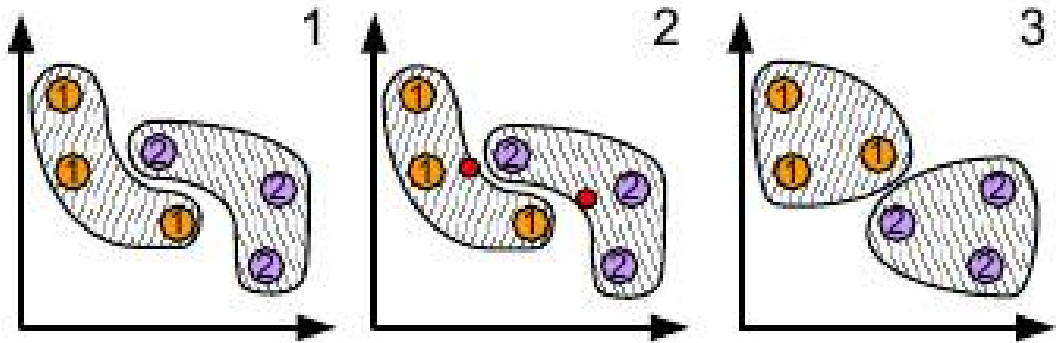


Рис. 4.15. Загальна схема роботи ітеративних методів

На відміну від ієрархічних методів, які потребують обчислення і збереження матриці схожості між об'єктами розмірністю $N \times N$, ітеративні методи працюють безпосередньо з первинними даними. Тому за їх допомогою можна обробляти доволі великі обсяги даних. Більш того, ітеративні методи виконують декілька переглядів даних і за рахунок цього компенсують наслідки невдалої вихідної розбивки даних. Ці методи породжують кластери одного рангу, які не є вкладеними, і тому не можуть бути частиною ієрархії. Більшість ітеративних методів не допускають перекриття кластерів. Зазвичай властивості ітеративних методів групування можуть бути описані за допомогою трьох основних чинників: вибір вихідної розбивки, тип ітерації і статистичного критерію. Ці чинники можуть різним чином поєднуватись,

утворюючи алгоритми відбору даних при визначенні оптимальної розбивки. Різні комбінації ведуть до розробки методів, породжують різні результати при роботі з одними й тими ж даними [147].

Ітерації за наведеним принципом полягають у приєднанні об'єктів до кластера з найближчим центром тяжіння. Кількість фінальних кластерів фіксована і задається до початку кластеризації. Перерахунок центру тяжіння кластера може здійснюватись як після кожної зміни його складу, так і після того, як буде завершено перегляд усіх даних. На сьогодні існує багато варіантів даного методу, що відрізняються особливостями роботи.

До найбільш простих і ефективних алгоритмів кластеризації відноситься *k-means*, або в україномовному варіанті *k-середніх*, запропонований Г. Боллом і Д. Холлом у 1965 р. [149]. Конструктивно алгоритм – це ітераційна процедура, що складається з наступних кроків (рис. 4.16).

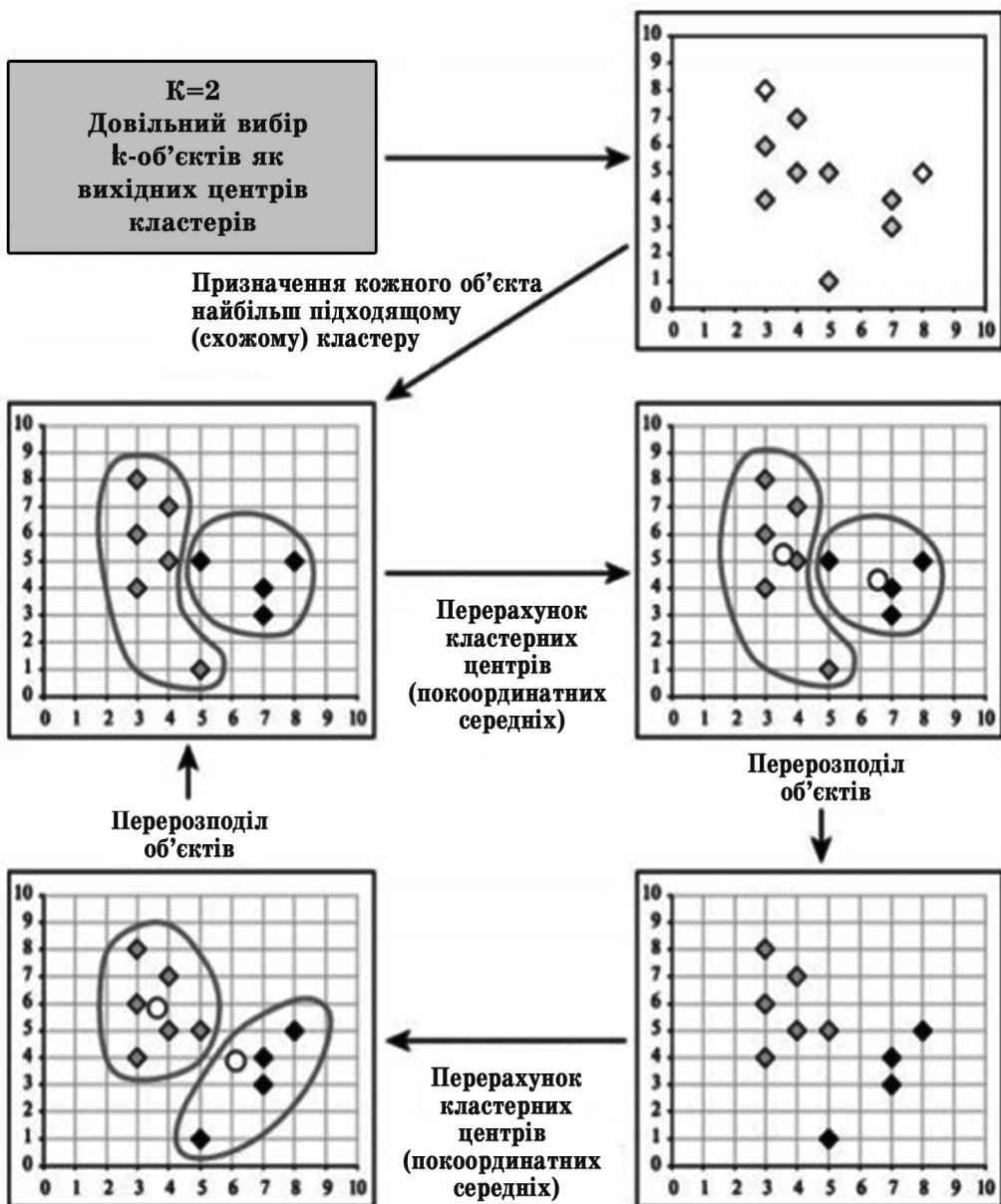


Рис. 4.16. Приклад роботи алгоритму *k-means*

1. Задається кількість кластерів k , яка повинна бути сформована з об'єктів вхідної вибірки.

2. Випадковим чином обирається k записів, які будуть слугувати початковими центрами кластерів. Початкові точки, з яких потім виростають кластери, часто називають "насінням". Кожний такий запис являє собою "ембріон" кластера, що складається тільки з одного елемента.

3. Для кожного запису вхідної вибірки визначається найближчий до неї центр кластера.

4. Проводиться обчислення центроїдів – центрів тяжіння кластерів. Це робиться шляхом визначення середнього для значень кожної ознаки всіх записів у кластері. Наприклад, якщо в кластер увійшли три записи з наборами ознак (x_1, y_1) , (x_2, y_2) , (x_3, y_3) , то координати його центроїда будуть розраховуватися в такий спосіб:

$$(x, y) = \left(\frac{x_1 + x_2 + x_3}{3}, \frac{y_1 + y_2 + y_3}{3} \right).$$

Потім старий центр кластера зміщується в його центроїд. Таким чином, центроїди стають новими центрами кластерів для наступної ітерації алгоритму.

Кроки 3 і 4 повторюються доти, поки виконання алгоритму не буде перервано або поки не буде виконана умова відповідно до певного критерію збіжності.

Зупинка алгоритму проводиться, коли границі кластерів і розташування центроїдів перестають змінюватися, тобто на кожній ітерації в кожному кластері залишається той самий набір записів.

Алгоритм k-means звичайно знаходить набір стабільних кластерів за кілька десятків ітерацій.

Розвитком методу k-середніх є метод, що отримав назву ISODATA [149]. Є низка алгоритмів, в основу яких покладені ідеї методів k-середніх та ISODATA [150; 151; 152].

4.6.3. Порівняльний аналіз ієрархічних і неієрархічних методів кластеризації

Перед проведенням кластеризації в аналітика може виникнути питання: якій групі методів кластерного аналізу надати перевагу?

Вибираючи між ієрархічними й неієрархічними методами, потрібно враховувати їхні особливості.

Неієрархічні методи виявляють вищу стійкість щодо шумів і викидів, некоректного вибору метрики, введення незначущих змінних у набір, що бере участь у кластеризації. Ціною, що доводиться платити за ці переваги методу, є слово "апріорі". Аналітик повинен заздалегідь визначити кількість кластерів, кількість ітерацій або правило зупинки, а також деякі інші параметри кластеризації. Це особливо складно фахівцям-початківцям.

Якщо немає припущень щодо кількості кластерів, рекомендують використати ієрархічні алгоритми. Однак якщо обсяг вибірки не дозволяє це зробити, можливий шлях – провести низку експериментів з різною кількістю кластерів, наприклад, почати розбивку сукупності даних з двох груп і, поступово збільшуючи їх кількість, порівнювати результати. За рахунок такого "варіювання" результатів досягається доволі велика гнучкість кластеризації.

Ієрархічні методи, на відміну від неієрархічних, відмовляються від визначення кількості кластерів, а будують повне дерево вкладених кластерів.

Складності ієрархічних методів кластеризації: обмеження обсягу набору даних, вибір міри близькості, негнучкість отриманих класифікацій.

Перевага цієї групи методів порівняно з неієрархічними методами – їх наочність і можливість одержати детальне подання структури даних.

Використовуючи ієрархічні методи, можливо доволі легко ідентифікувати викиди в наборі даних й, у результаті, підвищити якість даних. Ця процедура є основою двокрокового алгоритму кластеризації. Такий набір даних надалі можна використати для проведення неієрархічної кластеризації.

Існує ще один аспект, про який слід згадати. Це питання кластеризації всієї сукупності даних або ж її вибірки. Названий аспект важливий для обох розглянутих груп методів, однак він критичніший для ієрархічних методів. Ієрархічні методи не можуть працювати з великими наборами даних, а використання деякої вибірки, тобто частини даних, могло б дозволити застосовувати ці методи.

Результати кластеризації можуть не мати достатнього статистичного обґрунтування. З іншого боку, під час розв'язання задач кластеризації допустима нестатистична інтерпретація отриманих результатів, а також доволі велика розмаїтість варіантів поняття кластера. Така нестатистична інтерпретація дає можливість аналітикові одержати результати кластеризації, які задовольняють його, що у разі використання інших методів часто доволі складно.

Ієрархічні алгоритми забезпечують порівняно високу якість кластеризації при високій наочності. Більшість з них мають складність $O(f(n^2))$. Тому ієрархічні методи кластерного аналізу зазвичай використовуються при невеликих об'ємах наборів даних.

5. АНАЛІЗ РОЗПОДІЛУ АТРИБУТИВНИХ ДАНИХ

*Ніколи не бійся робити те, чого ти не вмієш.
Пам'ятай, ковчег був побудований аматором.
Професіонали будували "Титанік"...*

Геопростір, що розглядається в ГІС як модель реальної геосистеми, заповнений просторовими об'єктами (процесами, явищами). На етапі геоінформаційної обробки важливим моментом є аналіз як просторового розподілу цих об'єктів, так і їх атрибутивних даних.

До атрибутивної відносять ту інформацію, що або не має просторової прив'язки, або характеризує просторові об'єкти без явної вказівки на їх місце розміщення, наприклад, порядкові номери просторових об'єктів, їхні власні імена, числові кількісні або якісні значення. Блок атрибутивної інформації, прив'язаної до певного просторового об'єкта, може містити від одного до багатьох сотень окремих атрибутивних значень різного типу, що характеризують різні параметри цього об'єкта.

5.1. Шкали виміру атрибутивних даних

Як відомо, просторові об'єкти, що використовуються у ГІС, наділені не тільки геометричними характеристиками, але й містять інформацію про свою сутність, тобто мають непросторові характеристики у вигляді набору атрибутів.

Для кожного типу просторових об'єктів вибирається набір атрибутів, який дозволяє ідентифікувати конкретний тип об'єкта серед інших і з максимальною повнотою описати його властивості. Після визначення списку атрибутів вибираються методи їхньої формалізації.

Процес аналізу атрибутивних даних у ГІС полягає у їх вимірі [79]. Для використання в середовищі ГІС атрибутивна інформація підлягає систематизації, структуризації і формалізації, що дозволяє використовувати для подальшого її введення та обробки різні засоби автоматизованого пошуку, обчислень і візуалізації. У процесі формалізації атрибутивні дані відображають за допомогою змінних.

В ГІС використовується чотири шкали вимірів атрибутивних даних – номінальна (найменувань), порядкова (або рангова), інтервальна (рис. 5.1) і числова.

Шкала вимірювання (англ. *scale of measure*) – ***відображення множини різних проявів якісної чи кількісної властивості на прийнятну за угодою впорядковану множину чисел чи іншу систему логічно пов'язаних знаків.***

Шкала	Приклади вимірювань характеристик об'єктів		
	Точки	Лінії	Області
Номінальна (найменувань)	<ul style="list-style-type: none">  місто  шахта  вершина гори 	<ul style="list-style-type: none">  дорога  границя  ріка 	<ul style="list-style-type: none">  болото  пустеля  ліс
Порядкова (рангова)	<ul style="list-style-type: none">  Місто: велике  середнє  мале 	<ul style="list-style-type: none">  Місто: державне  регіональне  місцева дорога 	<ul style="list-style-type: none"> Забрудненість території:  велика  помірна  мала
Інтервалів/ Відношень	<ul style="list-style-type: none">  <ul style="list-style-type: none"> 10,000 5,000–9,999 0–4,999 	<ul style="list-style-type: none"> Відмітка горизонталі  Вантажні потоки  	<ul style="list-style-type: none"> Щільність населення  <ul style="list-style-type: none"> 120 100 80 60 Інтервали висот  <ul style="list-style-type: none"> 4,000 2,000 1,000

Рис. 5.1. Шкали вимірів просторових об'єктів

Такою системою знаків може бути, наприклад, множина назв кольорів, сукупність класифікаційних символів чи понять, множина балів оцінки стану об'єкта, множина дійсних чисел тощо.

Визначаючи основні завдання просторового аналізу розподілу просторових даних, треба мати на увазі, що атрибутивні властивості й просторові характеристики об'єктів не є однорідними, а поділяються на *якісні* й *кількісні*.

З кількісними характеристиками можна виконувати різноманітні операції, якісні характеристики можна головним чином порівнювати. При порівнянні намагаються відповісти на два питання: "Чи збігаються порівнювані характеристики або об'єкти?" "Чи можна визначити порядок цих характеристик або об'єктів?" Якщо можна дати відповідь тільки на перше питання, то кажуть, що об'єкти описані *номінальною шкалою*, або *шкалою категорій*, якщо можна відповісти і на друге питання, то кажуть, що об'єкти описані *ранговою шкалою*.

Шкала найменувань (номінальна шкала). Одним із найбільш поширених атрибутів просторових об'єктів є їхні власні назви – назви населених пунктів, адміністративних одиниць, ділянок рельєфу, рік, водойм, природних урочищ, об'єктів дослідження або господарювання тощо. Власне вимірів у шкалі найменувань не виробляється. Тут мова йде про угруповання об'єктів, ідентичних за визначеною ознакою, і про присвоєння їм позначень.

Цей тип атрибута ідентифікує об'єкт, виділяє його серед інших однотипних об'єктів, дозволяє звернутися саме до цього об'єкта. Такий спосіб опису атрибута об'єкта називається *номінальним* (від латинського слова *nomen* – ім'я). Об'єкт просто отримує своє окреме ім'я, він абсолютно рівнознач-

ний у списку таких самих об'єктів. До таких атрибутів можна віднести: "м. Київ", "Святошинський район", "школа № 13", "Фермерське господарство Вікторія" тощо.

Порядкові шкали. Атрибути, що показують місце розміщення об'єкта в ряді інших аналогічних об'єктів, їхню взаємну ієрархію, пріоритет, розходження у якості називаються *порядковими або ранговими* атрибутами.

Порядкова шкала використовується там, де неможливі якісні виміри у прийнятій системі одиниць. Таким способом описуються ієрархія ділянок дорожньої мережі (автостради, шосе, дороги з удосконаленим покриттям, ґрунтові дороги), елементів річкової мережі (припливи I, II чи III порядку); ієрархічні рівні ландшафтних одиниць, ранги населених пунктів тощо. У більшості випадків такі атрибути описуються порядковим номером деякої рангової шкали. Наприклад, усі ліси на топографічних картах діляться на три категорії: хвойні, листяні та змішані. Будівлі поділяються на дві категорії: вогнестійкі і невогнестійкі, залізниці – на електрифіковані і неелектрифіковані. Тут відсутнє ранжування. Для кожного об'єкта на карті вказується, чи відноситься він до обраної категорії, чи ні. Між категоріями не встановлюється ніяких порядкових відношень, тому важко сказати, яка з них краща або більша.

Інтервальна шкала. Виміри в цій шкалі не тільки упорядковані за рангом, але і розділені визначеними інтервалами. В інтервальній шкалі встановлені одиниці виміру (градус, секунда тощо). Вимірюваному об'єкту тут надається число, яке дорівнює кількості одиниць виміру, що він містить.

Якщо характеристики задані ранговою шкалою, то з'являється можливість порівнювати об'єкти, наприклад, якщо екологічна ситуація у різних містах або частинах міста визначається за шкалою якості (гарна, задовільна, погана), то порядок переваг з точки зору проживання або рангу якості буде визначений однозначно.

Числова шкала. Для кількісних даних (температура, тиск, вміст забруднювачів у повітрі, воді чи ґрунті, висота над рівнем моря, кількість рослин на квадратний метр, вміст гумусу тощо) використовуються *розімкнені* чи *замкнені* числові шкали. Ці величини можна порівнювати одну з одною, над ними можна виконувати різні математичні операції.

При використанні універсальної розімкненої шкали числа можуть набувати значень від "мінус нескінченність" до "плюс нескінченність", замкнута числова шкала обмежена двома крайніми величинами, що характеризують набір припустимих значень для якоїсь предметної сфери (наприклад, 0–100 %; 0–1 безрозмірних одиниць; 0–360 компасних градусів; 0–90 градусів ухилу тощо).

Кількісні характеристики також не є рівноцінними. Для визначення кількісної характеристики повинна задаватись шкала, яка б дозволяла виражати значення характеристики в одиницях певного еталонного значення (метрах, грамах, гектарах тощо). Кількісні характеристики задаються шкалами двох типів. У шкалі першого типу положення початку відліку (нульова

позначка шкали) умовне, у шкалі другого типу нуль відповідає найменшому значенню характеристики (абсолютний нуль). Приклади таких шкал – шкали температур Цельсія і Кельвіна. Варто зазначити, що для картографії і геоінформатики є типовим перехід від шкал, у яких були визначені вихідні дані, до шкал, що використовуються в картографічному відображенні. Цей перехід пов'язаний із потребою відображення кількісних і якісних характеристик графічними змінними, що використовуються в різних способах картографічного відображення.

Різні системи класифікації і кодування дозволяють скоротити описи різноманітних просторових об'єктів до одного чи декількох десятків символів. На сьогодні розроблено системи буквено-цифрових кодувань для геологічних, ґрунтових, ландшафтних, геоботанічних карт. Для цифрових топографічних карт і архітектурно-містобудівних планів розроблено відомчі позиційні коди – класифікатори. Весь перелік об'єктів, що картографуються, розбивається на окремі тематичні групи, розділи яких перебувають в ієрархічному підпорядкуванні. Наприклад, "Класифікатор інформації, яка відображується на топографічних картах масштабів 1:10 000, 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000, 1:200 000, 1:500 000, 1:1 000 000" передбачає виділення дев'яти основних класифікаційних груп, кожна з яких розбита на стандартні підрозділи.

Після визначеної обробки атрибутивна інформація може бути організована у вигляді бази даних визначеного формату.

Вибір шкали виміру даних визначається:

- типом класифікації;
- необхідною інформацією;
- можливостями здійснення вимірювання при заданому масштабі спостереження.

Усі атрибутивні дані порівнюються між собою за перерахованими шкалами, однак потрібно зазначити, що порівняння атрибутивних даних коректне тільки всередині однієї шкали вимірів.

Крім несумісності між собою, шкали вимірів мають фундаментальні розбіжності за властивостями, вивченням яких займається абстрактна алгебра. Особливістю шкал є відповідний набір припустимих операцій з їх значеннями [39].

Розподіл шкал не має нічого спільного з формою запису або кодуванням значень, оскільки навіть атрибутивні дані, подані номінальною шкалою, можуть бути представлені числом. Однак це число не є числовим значенням, це просто код класу, що підміняє назву об'єкта.

Атрибутивною локалізацією називається локалізація, яка здійснюється на основі класифікації властивостей об'єкта або його місця розташування в заданій системі класифікаторів. Прикладом такого підходу можуть слугувати класифікатори, що використовуються в офіційній статистиці. Дані, відображені за допомогою певних змінних, відрізняються тим,

наскільки точно і в якому діапазоні вони можуть бути виміряні або яку кількість вимірюваної інформації забезпечує шкала їх вимірів.

Кожний просторовий об'єкт має щонайменше хоча б один атрибут, який ідентифікує даний об'єкт, описує його або представляє певну кількісну величину, пов'язану з об'єктом. Вибір методу аналізу частково залежить і від типу атрибутів, що використовуються.

Будь-якій методиці вимірів притаманна певна похибка, що визначає межі "кількості інформації", яку можна отримати в процесі виміру. Фактором, який визначає кількість інформації, що міститься у змінній, є тип шкали вимірів.

5.2. Номінальні (категоріальні) шкали виміру атрибутивних даних

Номінальні змінні використовуються для класифікації даних, якщо останні можна розділити на окремі групи за певною ознакою. Номінальні змінні бувають двох типів: *бульові (логічні)* та *категоріальні*.

Бульові (логічні) змінні приймають тільки два значення ("*так*" або "*ні*"). Вони використовуються у випадках, коли атрибутивні дані потрібно класифікувати, наприклад, населенні пункти за наявністю і відсутністю в них метро або розділити усі міста на ті, де є аеропорт, і ті, де аеропорти відсутні, тощо.

Категоріальні змінні використовуються для розподілу даних на декілька категорій без будь-якого впорядкування. Наприклад, можна ввести такі категорії використання земель, як житловий район, рекреаційна зона або зона промислово-торгового використання. Іншим прикладом категоріальної змінної може слугувати порода дерев: ялина, сосна, тополя, осика тощо.

Одним із найбільш поширених атрибутів просторових об'єктів є їхні власні назви (назви населених пунктів, адміністративних одиниць, ділянок рельєфу, рік, водойм, природних урочищ, об'єктів господарювання тощо).

Згідно з *номінальною шкалою* (рис. 5.2), об'єкти відрізняються за назвами (луг, болото, рілля, міська територія тощо).

Ця класифікація означає, що дані визначаються тільки в термінах належності до певних класів.

В атрибутивній таблиці баз даних номінальні змінні зазвичай утворюють заголовки стовпчик.

Ідентифікація об'єктів за номінальною шкалою дозволяє зробити висновки про те, як називається об'єкт, але унеможливорює пряме порівняння одного об'єкта з іншим, за винятком визначення тотожності.

Для більш детального порівняння об'єктів потрібно використовувати більш високу шкалу вимірів даних. Номінальні або якісні змінні використовуються тільки для якісної класифікації.

Категорії – групи схожих об'єктів, які допомагають краще відобразити сутності досліджуваних даних.

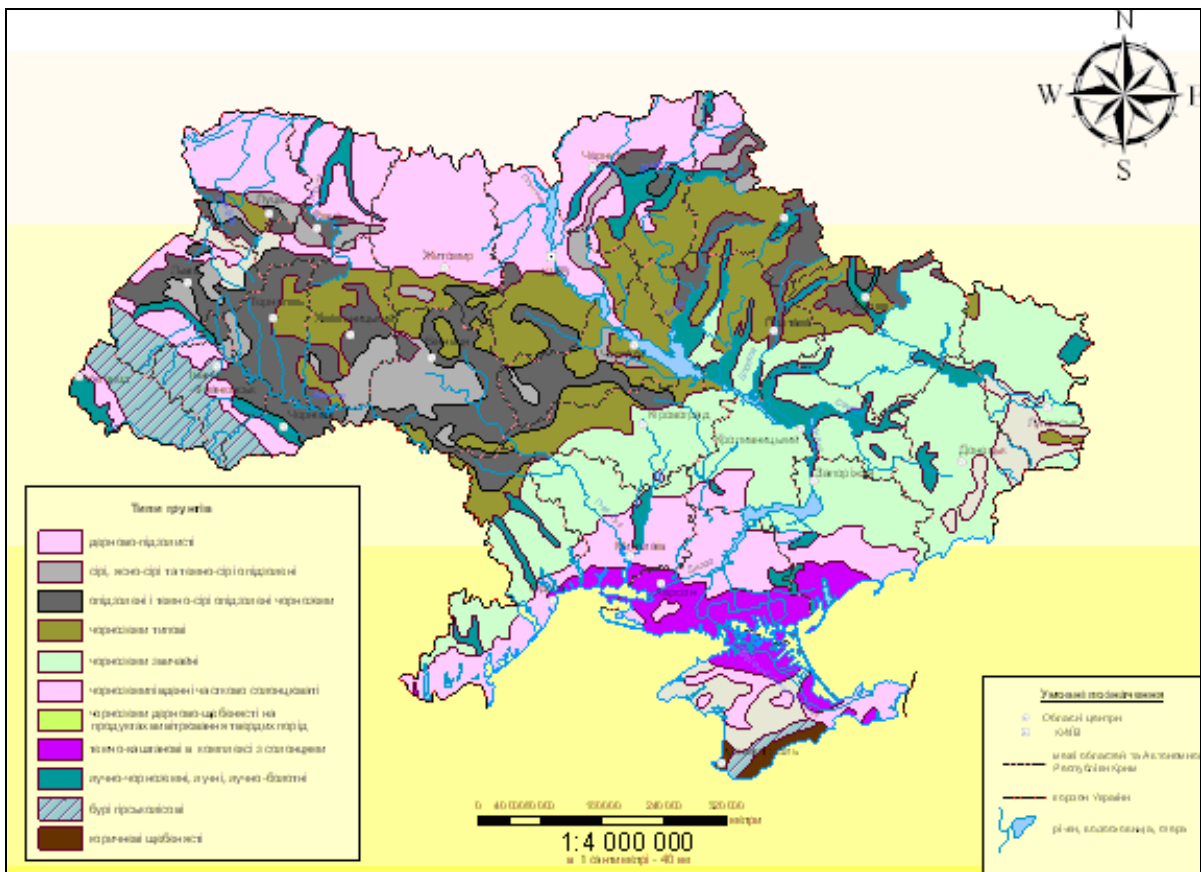


Рис. 5.2. Приклад застосування номінальної шкали

Об'єкти одного класу завжди певним чином подібні і мають характерні особливості, які відрізняються їх від об'єктів іншого класу. Наприклад, до категорії доріг відносять автостради, шосе або ґрунтові дороги. До категорій злочинів – крадіжки зі зломом, напади, злодійство (рис. 5.3).

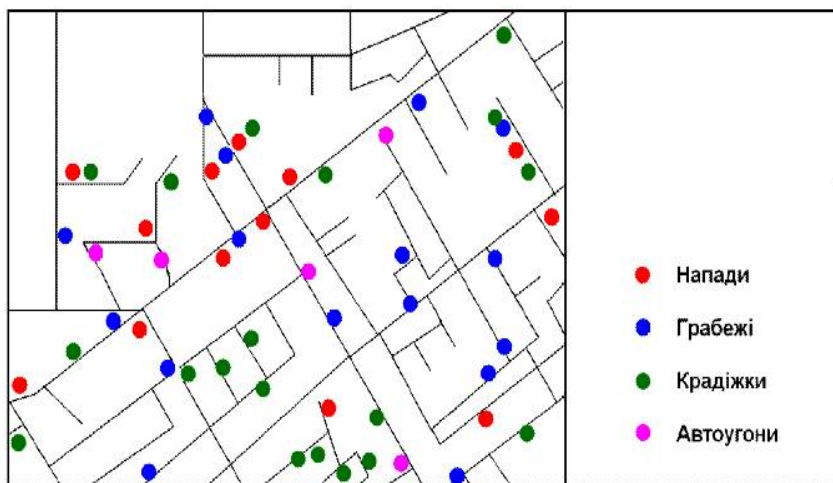


Рис. 5.3. Розподіл атрибутивних характеристик за номінальною шкалою

Значення категорій можуть бути подані у вигляді числового коду, символу, кольору або тексту. Текстові значення часто наводяться у скороченому вигляді з метою економії місця в таблиці.

5.3. Порядкові (рангові) шкали виміру атрибутивних даних

Атрибути, які показують місце розташування об'єкта серед інших аналогічних об'єктів, їх взаємну ієрархію, пріоритет, називаються порядковими або ранговими атрибутами.

Ранги – рівні в ієрархічно організованій системі, місце в рейтингу, ступінь, клас.

Ранги використовуються для опису дискретних класів даних, що упорядковані за певною ознакою. Зазвичай, це систематизація атрибутів за зростанням або зменшенням використовуваної величини, коли безпосередня оцінка величини ускладнена або визначається комбінацією факторів. У більшості випадків такі атрибути описуються порядковим номером визначеної рангової шкали. За їх допомогою описуються ієрархії ділянок дорожньої мережі (автостради, шосе, дороги з удосконаленим покриттям, ґрунтові дороги), елементів річкової мережі, ієрархічні рівні ландшафтних одиниць, ранги населених пунктів тощо (рис. 5.4).

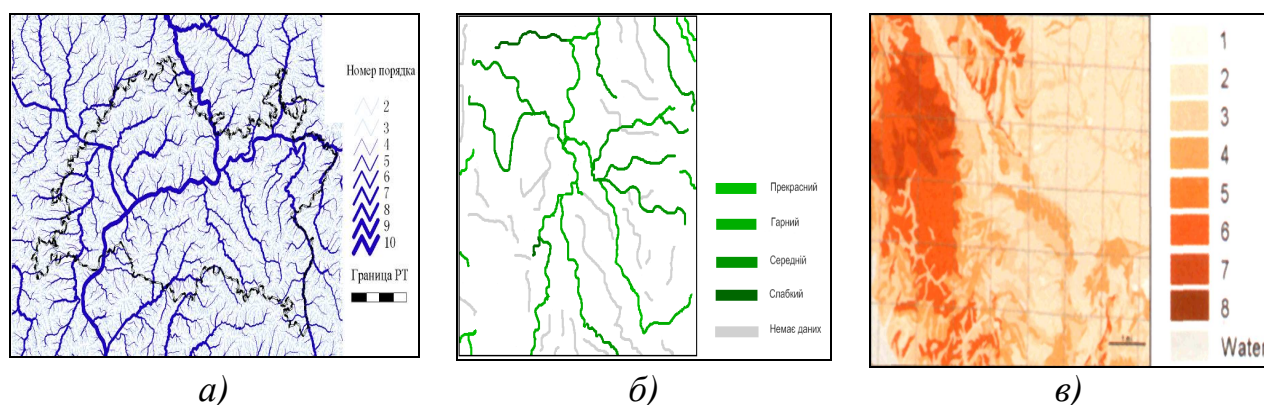


Рис. 5.4. Аналіз розподілу атрибутивних характеристик за ранговою шкалою

Прикладами рангів можуть слугувати і рівні освіти: початкова, середня, середня спеціальна та вища.

Ранжування є відносною оцінкою, оскільки свідчить тільки про місце певного об'єкта в заданому порядку певних характеристик. За допомогою рангів досить складно кількісно оцінити, наприклад, таку характеристику водотоку, як бурхливість потоку (рис. 5.4 а). Можна тільки стверджувати, що потік, який протікає гірською ущелиною, має більш високий ранг, на відміну від струмка, що протікає рівниною. Порядкова шкала використовується для того, щоб з'ясувати, наскільки один об'єкт відрізняється від іншого, тобто показує спектр значень "від найкращого до найгіршого", наприклад, дороги державного, обласного, місцевого рівнів.

Порядкові змінні дозволяють ранжувати (упорядкувати) дані всередині одного класу. Вони вказують, які дані в більшому або меншому ступені мають якість, притаманну даній групі вимірюваних величин. Однак вони не дозволяють визначити "на скільки більше" або "на скільки менше". Порядкові

змінні іноді називають *ординальними*. Типовий приклад порядкової змінної – ключове значення (ключовий стовпчик) у базі даних.

Крім того, можна визначити ранги на основі інших атрибутів об'єкта. Наприклад, можна надати певний тип, який визначає їх придатність для вирощування зернових культур (рис. 5.4 б).

Якщо потрібна більш висока точність у вимірах атрибутивних даних, потрібно скористатися *інтервальною шкалою виміру, або шкалою відношень*, у якій вимірюваним величинам приписуються числові значення (рис. 5.4 в). Як і у випадку порядкової шкали, тут також можна порівнювати об'єкти, але порівняння виконуються з більш точною оцінкою різниць.

5.4. Інтервальні шкали виміру атрибутивних даних

Інтервальна шкала – це шкала виміру, у якій вимірюваним величинам приписуються числові значення.

Інтервальні змінні дозволяють не тільки упорядковувати об'єкти виміру але й за допомогою числових значень виразити і порівняти відмінності між ними (рис. 5.5).

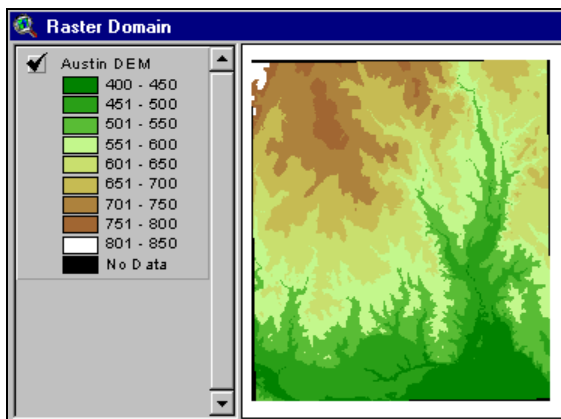


Рис. 5.5. Аналіз розподілу атрибутивних характеристик за інтервальною шкалою

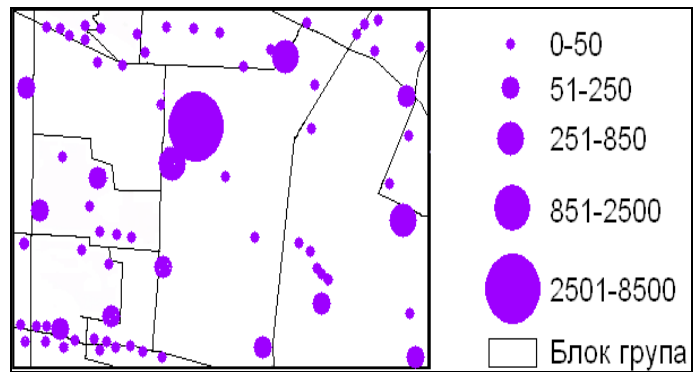


Рис. 5.6. Ранжування підприємств за кількістю працівників

Їх особливістю є наявність розмірності в одиницях виміру. Наприклад, координати можна виразити в метрах, кілометрах, сантиметрах тощо. Прикладом просторових даних, що вимірюються за допомогою інтервальної шкали, може слугувати температура ґрунту на досліджуваній площі з різними типами ґрунтів.

Кількість – категорія, яка виражає зовнішнє, формальне взаємовідношення предметів або їх частин, а також властивостей, зв'язків, їх величину, число, ступінь прояву тієї або іншої ознаки.

Кількість відображає фактичне число об'єктів певного типу на карті. Використання показника кількості або розміру дозволяє побачити реальне значення кожного об'єкта й порівняти його з аналогічними характеристиками сусідів, конкурентів тощо (рис. 5.6).

Величина – це атрибутивна характеристика, яка є певною числовою асоціацією з кожним об'єктом, наприклад, розмір, об'єм, довжина об'єкта, кількість працівників на підприємстві тощо.

Використання показників кількості і величини дозволяє визначити реальне значення кожного об'єкта і порівнювати його зі значеннями найближчого оточення (сусідами).

Відношення – сутність, яка відображає взаємозв'язок між двома величинами та визначається шляхом ділення однієї величини на іншу. Наприклад, ділення кількості жителів у кожному районі на кількість будинків дозволяє визначити середню кількість мешканців у кожному будинку. Використання відносних показників відобразить різницю між великими і малими площами, площами зі щільної і розрідженою забудовою тощо, а карта об'єктивно відобразить розподіл об'єктів.

Шкала відношень (раціональна шкала) є абсолютною шкалою, тобто її початок, на відміну від початку інтервальної шкали, має певне фізичне ("абсолютне") значення і не може встановлюватись довільно (наприклад, середньорічний прибуток населення у різних районах міста, де початком шкали є цілковита відсутність прибутків).

Змінні відношення мають усі властивості інтервальних змінних, але відрізняються від них наявністю нуля – строго визначеної точки відліку.

Відносні змінні, на відміну від інтервальних, – безрозмірні і дають змогу порівнювати різні змінні та їх залежності. Відносні змінні використовують певну базову величину, щодо якої визначають інші величини, наприклад, масштаб. Типовими прикладами шкал відношень є вимір часу або простору.

Виділяють два типи відношень – *пропорції* та *щільність*.

Пропорції вказують, яку частину від загального становить та або інша величина.

Наприклад, поділивши кількість жителів від 18 до 30 років на загальну кількість жителів району, можна визначити частку молоді у загальній кількості населення. Пропорції подають у відсотках (частки від 100).

Щільність характеризує розподіл об'єктів або їх вміст на одиницю площі.

Наприклад, поділивши кількість населення на площу адміністративної області в квадратних кілометрах, можна отримати щільність населення на квадратний кілометр території. Поділивши кількість певного етнічного населення на площу регіону в квадратних кілометрах, можна отримати щільність етнічних груп на квадратний кілометр території (рис. 5.7 а) або відсоток людей за віковим цензом (рис. 5.7 б).

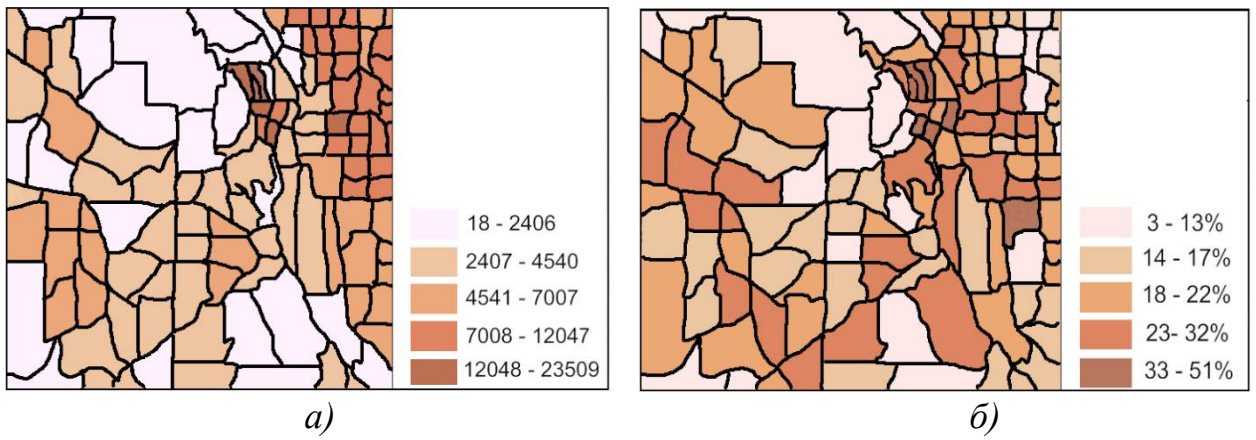


Рис. 5.7. Приклади зображення щільності населення:
 а) щільність населення на 1 км² в абсолютних значеннях;
 б) у відсотках

Прикладом використання шкали відношень може слугувати порівняння висот геодезичних пунктів, причому висота повинна відраховуватися від центра земного еліпсоїда, а не від якої-небудь рівнинної поверхні. Відношення відображує взаємозв'язок між двома величинами і визначається для кожного об'єкта шляхом ділення однієї величини на іншу. Наприклад, якщо поділити кількість жителів населеного пункту на кількість житлових будинків, то можна отримати середню кількість жителів у кожному будинку (рис. 5.8).

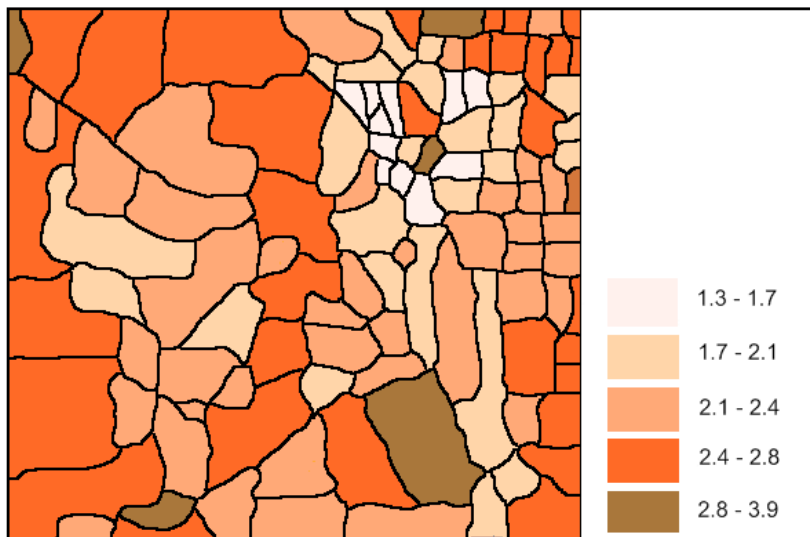


Рис. 5.8. Середня кількість людей на житловий будинок у районі

Застосування різних систем класифікації і кодування дозволяє скоротити описи різноманітних просторових об'єктів до одного або декількох десятків символів.

Приклади графічного зображення відносних даних подано на рис. 5.9.

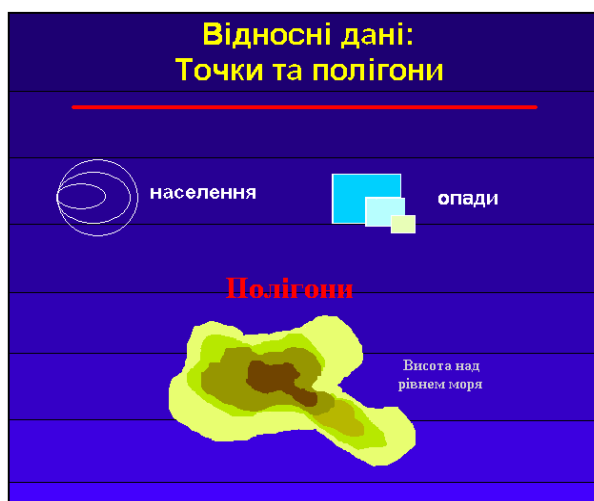
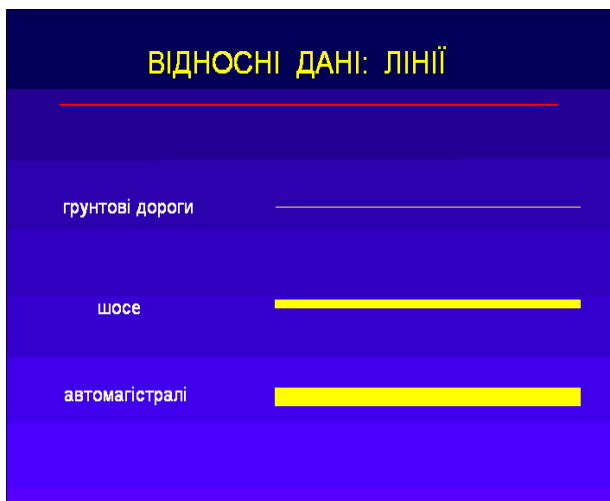


Рис. 5.9. Приклад графічного зображення відносних атрибутивних характеристик

5.5. Основні операції обробки атрибутивної інформації

Як відомо, атрибутивною інформацією називається набір даних, асоційований з графічними об'єктами. Атрибутивна інформація зазвичай подається у вигляді записів декількох атрибутивних таблиць, що зберігаються в базі даних.

Робота з атрибутивними таблицями даних є важливою складовою частиною будь-якої ГІТ. Основними операціями з атрибутивною інформацією є такі:

- вибірка;
- обчислення;
- статистична обробка.

Вибірки призначені для роботи тільки з потрібною частиною інформації, яка міститься в таблиці атрибутивних даних, та надання можливості визначення нових атрибутивних характеристик певним об'єктам. Здійснити вибірку – означає обрати лише ті рядки атрибутивної таблиці певного шару даних, які відповідають заданим умовам. Вибір даних проводиться з використанням запиту, який має форму логічного виразу.

Обчислення призначені для визначення нових атрибутивних характеристик на основі вже існуючих в атрибутивній таблиці. При обчисленні спочатку створюється нове поле в атрибутивній таблиці, а потім задається вираз (правило) обчислення.

Статистична обробка – це розрахунок статистичних характеристик на основі атрибутивних даних як вибірки.

Можна виділити два принципово різні варіанти взаємодії просторової та атрибутивної інформації об'єктів.

Перший варіант заснований на інтерактивній взаємодії користувача з ГІС за допомогою графічної оболонки, які включають основні засоби

селекції даних за географічними властивостями (наприклад, за допомогою візуального пошуку об'єктів на електронній карті) і перехід до атрибутивних даних знайдених об'єктів, і навпаки, селекцію по атрибутах і перехід до графіки. Цей варіант є більш простим, але й більш обмеженим за своїми можливостями.

Більш функціональний варіант передбачає використання мови SQL для побудови вибірок довільного виду за атрибутивними даними та, відповідно, перехід від цих значень запитів до просторової складової об'єктів. Для реалізації цієї можливості в ГІС потрібно розв'язати два питання – яким чином дані із значень довільних SQL-вибірок будуть інтерпретовані системою з точки зору зв'язків з просторовими об'єктами і яким чином довільні вирази мови SQL будуть вбудовуватись у систему. Для розв'язку цих задач доцільно використовувати спеціалізовані вбудовані мови програмування, що й робиться в сучасних ГІС.

5.6. Властивості змінних

При дослідженні реальних об'єктів і явищ змінні, що їх описують, відносять до двох класів:

- залежних;
- незалежних.

У статистиці ці змінні називають *ендогенними* та *екзогенними*.

Незалежними називаються змінні, які впливають на об'єкт або явище і можуть варіюватися дослідником.

Залежні змінні – це змінні, які відображають результат дії залежних змінних.

Залежність проявляється у відповідній реакції досліджуваного об'єкта на вплив, якого він зазнає. Кінцевою метою будь-якого дослідження або аналізу є знаходження зв'язків (залежностей) між досліджуваними даними або змінними.

Незалежно від типу дві або більше змінних пов'язані (залежні) між собою, якщо спостережувані значення цих змінних розподілені певним чином.

Експериментальні дані дозволяють виявити й обґрунтувати причинний зв'язок між змінними. Наприклад, при виявленні відповідностей у змінах змінних A і B можна зробити висновок (висунути гіпотезу), що між змінними A і B існує причинна залежність. Кореляційне дослідження залежності може з певною достовірністю підтвердити або спростувати наявність такого зв'язку. Однак воно не визначає, яка із змінних залежна, а яка незалежна.

Можна стверджувати, ***що змінні залежні, якщо їхні значення пов'язані одне з одним в наявних вимірах.***

Один з основних способів дослідження – знаходження залежностей між якісними змінними, які подані у вигляді числових мір або функцій. При цьому

виділяють *величину залежності і надійність (достовірність)* залежності [42; 43].

Величина залежності визначається за допомогою статистичної обробки даних шляхом отримання певної числової міри, яка дозволяє оцінити цю залежність.

Достовірність залежності – імовірнісна оцінка наявності залежності. Достовірність залежності безпосередньо пов'язана з репрезентативністю певної вибірки, на підставі якої будуються висновки.

Статистична значущість результату (p-рівень) є оцінкою його "істинності".

P-рівень – це показник, що залежить від надійності результату. Більш високий *p-рівень* відповідає більш низькому рівню довіри до знайденої у вибірці залежності між змінними. Такий *p-рівень* являє собою імовірність похибки, пов'язаної з поширенням спостережуваного результату на всю вибірку. Наприклад, *p-рівень* = 0,05 (тобто 1/20) свідчить, що є 5 % імовірності, що знайдений у вибірці зв'язок між змінними є лише випадковою особливістю даної вибірки.

Чим більша величина залежності (зв'язку) між змінними у вибірці звичайного об'єму, тим вона надійніша.

Статистична значущість показує імовірність того, що схожий результат був би отриманий при перевірці усієї вибірки в цілому.

Таким чином, все, що отримано після тестування усієї вибірки, було б, за визначенням, значущим на найвищому можливому рівні. Це стосується всіх результатів, отриманих у процесі дослідження.

6. СПОСОБИ ПОДАННЯ РЕЛЬЄФУ НА КАРТІ

*Все вже описане. Яке щастя, що не все ще продумане.
Станіслав Єжи Лец*

Складність подання тривимірних об'єктів на картах ("тривимірного картографування") історично породила безліч способів картографічного зображення рельєфу: система ізоліній (горизонталі, ізогіпси), позначки висот, сукупність точкових, лінійних, площинних знаків, що доповнюють зображення рельєфу горизонталями (знаки ярів, урвищ, сухих ділянок річок, скель, льодовиків тощо), які не завжди уточнювали його метрику [92].

Тому потрібно розрізняти цифрові моделі картографічного зображення рельєфу (цифрові карти) і власне цифрові моделі рельєфу (ЦМР).

6.1. Загальні відомості про рельєф

Рельєф (англ. relief; нім. relief; фр. relief від лат. relevo – піднімаю) – сукупність нерівностей поверхні суходолу, дна океанів і морів, різноманітних за обрисами, розмірами, походженням, будовою, віком та історією розвитку. Сукупність форм земної поверхні, які перебувають на різних стадіях розвитку, у складному поєднанні одна з одною й у взаємозв'язку з навколишнім середовищем.

Під рельєфом розуміють тільки геометричні характеристики поверхні моделювання, яка відображує обриси нерівностей суші, дна морів і океанів. З геометричної точки зору, рельєф може бути поданий як тривимірна поверхня загального виду.

З того часу як з'явилися перші карти, перед картографами постала проблема відображення тривимірного рельєфу на двовимірній карті. Уся історія дослідження рельєфу – це історія створення його картографічних моделей, які постійно наближаються до дійсності завдяки удосконаленню засобів вивчення рельєфу, характеру та об'єму промірних і геолого-геофізичних даних.

На кожному етапі дослідження рельєфу створювалися картографічні моделі, що відображали уявлення про будову рельєфу і ступінь його вивченості. При цьому умовні знаки, якими позначали рельєф, визначали загальний вигляд рельєфу, його форми та їх взаємне розташування, перевищення характерних точок рельєфу та крутизну схилів.

Розрізняють крупні, структурні форми рельєфу, що утворюють поверхню порівняно великих географічних районів (гори, рівнини, нагір'я), і менш значні за розмірами елементарні форми нерівностей, що утворюють поверхню цих об'єктів рельєфу. Комбінації однорідних форм, схожі за своїм виглядом, будовою і розміром, які закономірно повторюються на певній території, утворюють різні типи і різновиди рельєфу. Він є одним із головних елементів географічного середовища.

Рельєф – основний елемент ландшафту, який визначає всі особливості місцевості (розподіл і конфігурацію гідрографічної мережі, характер рослинності і ґрунтового покриву, мікроклімат та екологічні умови, розташування доріг і населених пунктів тощо).

Характер рельєфу враховується при освоєнні та заселенні території, розвитку транспорту, промисловості, сільського господарства і будівництва, виборі місця для населених пунктів, бойових дій тощо. Рельєф впливає на розподіл тепла й вологи, міграцію хімічних елементів, формування поверхневого та підземного стоку, річкової мережі, рослинного покриву, ґрунтів, ландшафтів загалом. При бойових діях враховуються особливості рельєфу для визначення можливостей відкритого пересування, маскування, умов прохідності, невидимості.

Рельєф місцевості не є постійним під впливом сил, що діють всередині Землі, коливань температури, дії води, вітру й рослин та антропогенної діяльності людини.

6.2. Способи подання рельєфу на карті

Початок досліджень у моделюванні рельєфу, його аналізі і вивченні за побудованими моделями було започатковано ще в XIX ст. працями Олександра Гумбольдта (рис. 6.1) і більш пізніми дослідженнями інших німецьких учених-географів.



Рис. 6.1. Олександр фон Гумбольдт

Олександр фон Гумбольдт (нім. *Friedrich Wilhelm Heinrich Alexander Freiherr von Humboldt*, 14 вересня 1769 р., Берлін – 6 травня 1859 р., Берлін) – німецький вчений-енциклопедист, фізик, метеоролог, географ, ботанік, зоолог і мандрівник, молодший брат вченого Вільгельма фон Гумбольдта. Засновник географії рослинності, член Берлінської (1800), Пруської і Баварської академій наук, почесний член Петербурзької академії наук (1818).

Наукові інтереси Гумбольдта були надзвичайно різноманітні. Своїм основним завданням він вважав "осягнення природи як цілісного утворення і збір свідочств про взаємодію природних сил".

Сучасники Гумбольдта дивувалися його досягненням і відкриттям, захоплювалися приголомшливою широтою і глибиною знань. Великий німецький поет і натураліст, почесний член Петербурзької академії наук Йоганн Вольфганг Гете про свого друга казав, що Гумбольдт – це ціла академія. За широту наукових інтересів сучасники прозвали його Аристотелем ХІХ століття.

Щоб виявити географічні закономірності природи, Гумбольдт перший почав використовувати порівняльний метод у географії.

Порівнюючи різні явища природи, він відшукував між ними складні взаємозв'язки.

О. Гумбольдт вперше помітив, що рослинний покрив змінюється на поверхні Земної кулі за певним законом, і створив новий розділ географічної науки – *географію рослин*. Гумбольдт відкрив у Тихому океані течію, що названа на його честь. Дослідження вченого сприяли розвитку вулканології та вчення про земний магнетизм, кліматології. Досліджуючи рельєф Земної кулі, Гумбольдт запропонував метод обчислення середньої висоти гірських систем і материків. На підставі своїх визначень висот він вперше намалював профіль поверхні Анд та Мексиканського нагір'я. Пізніше його методи середніх висот і профілів стали широко застосовуватися в географії.

Виходячи із загальних принципів і застосовуючи порівняльний метод, Гумбольдт започаткував такі наукові дисципліни, як *фізична географія*, *ландшафтознавство*, *екологічна географія рослин*.

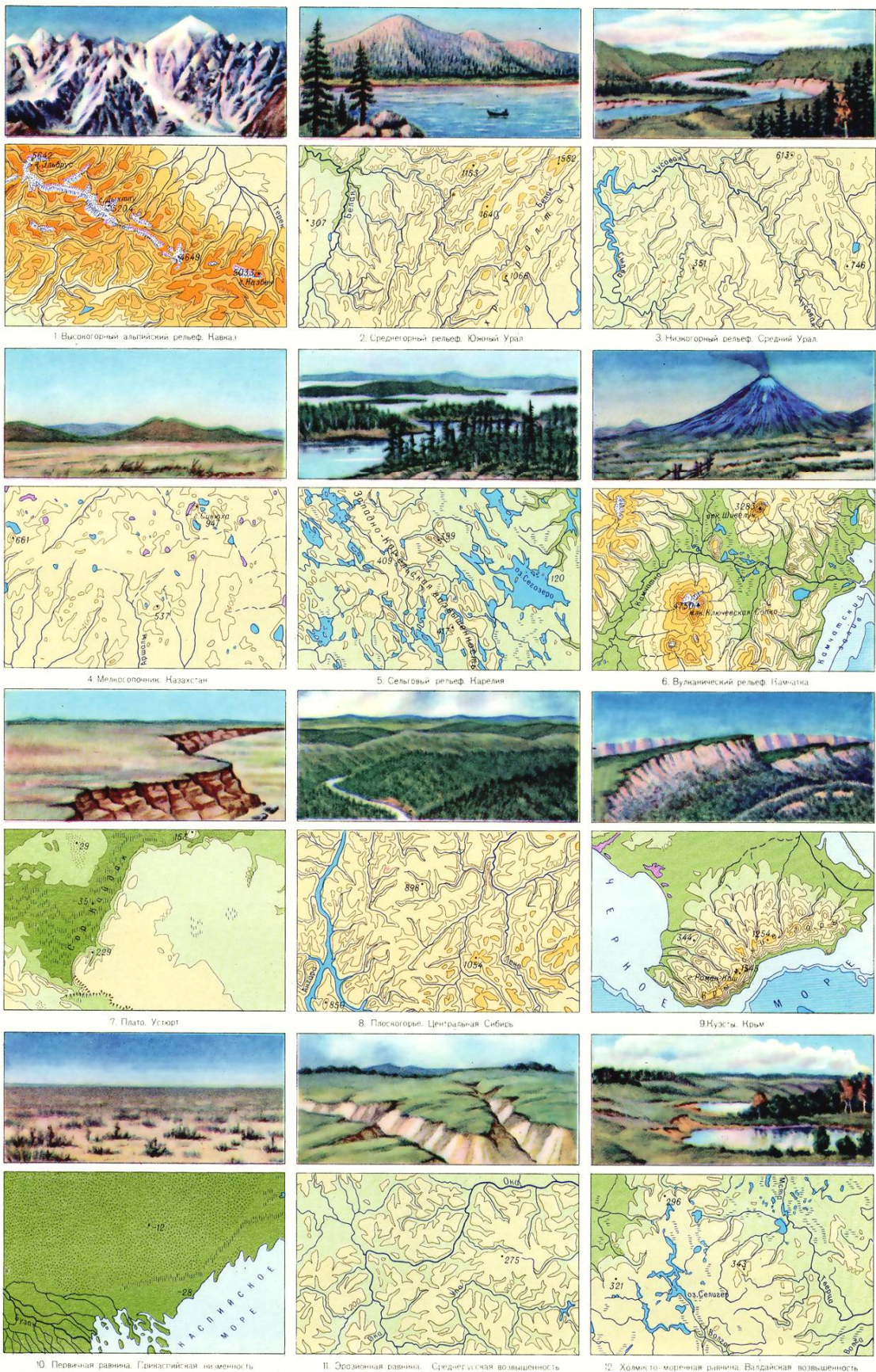
Олександр фон Гумбольдт приділяв велику увагу вивченню клімату, розробив метод ізотерм, склав карту їх розподілу і фактично дав обґрунтування кліматології як науки. Докладно описав континентальний і приморський клімат, визначив природу їх відмінностей. Завдяки дослідженням Гумбольдта були закладені наукові основи геомагнетизму. Олександр Гумбольдт визначив широту і довготу багатьох пунктів, зробив близько 700 гіпсометричних вимірів (вимірювання висот), тобто створив географію та орографію місцевості (Південна Америка і Мексика), дослідив її геологію, зібрав дані про клімат та визначив його особливості. Ним не залишені без уваги й етнографія, археологія, історія, мови, політичне становище країн.

Рельєф земної поверхні в загальному утворює суцільне і плавно змінюване поле висот. Хоча спостерігаються і різкі зміни висот: урвища, яри, уступи, відкоси тощо. Основні форми рельєфу і його зображення на картах подано на рис. 6.2.

Рельєф доволі складно зобразити на карті, оскільки потрібно об'ємність рельєфу відобразити на площині. Площина, як відомо, має тільки два виміри: довжину і ширину, що дозволяє зображувати на карті планові контури об'єктів. Третій вимір – висота, яка є характерним елементом рельєфу, не розташовується на площині. Крім того, на відміну від інших елементів місцевості, рельєф має неповторну розмаїтість об'ємних форм. Ця обставина також ускладнює передачу зображення на площину.

Для відображення рельєфу на карті потрібно було розробити такі способи його зображення, які б давали тривимірне уявлення про місцевість, дозволяючи при цьому не тільки виконувати виміри у горизонтальній площі, але й визначати місцезнаходження різних точок місцевості за висотою.

Крім того, рельєф не повинен затуляти (приховувати) собою інші елементи карти.



Примечание. Дополнительные горизонтали даны на сподругих картах:
 1-1500; 2-750; 3-300; 700; 4-300; 400; 5-300;
 6-1500; 2500; 8-700; 9-300; 700; 12-300 м

Масштаб 1:3 000 000

Рис. 6.2. Формы рельефу

Для забезпечення адекватності моделі рельєфу потрібно, щоб зображення на карті підкорялось вимогам *метричності*, *пластичності* та *морфологічній відповідності*.

Метричність зображення забезпечує можливість отримання на карті абсолютних та відносних висот і перевищень, характеристик крутизни, довжини, експозицію схилів тощо.

Пластичність зображення забезпечує наочну передачу нерівностей рельєфу, що формує у читача карти зоровий образ місцевості.

Морфологічна відповідність зображення забезпечує передачу типологічних особливостей форм рельєфу та його структурності.

За піднесенням над рівнем моря і ступенем розчленованості земної поверхні розрізняють два основні типи рельєфу – *гірський* і *рівнинний*. Їх класифікацію за висотою над рівнем моря подано в табл. 6.1.

Таблиця 6.1

Гірський рельєф	Висота над рівнем моря, м	Рівнинний рельєф	Висота над рівнем моря, м
Низькі гори (низькогір'я)	500–1000	Низовини	Нижче 200
Середньовисотні гори (середньогір'я)	1000–2000	Піднесені рівнини (височини)	200–500
Високі гори (високогір'я)	Понад 2000	Плоскогір'я	Понад 500

Гірський рельєф складається з лінійно витягнутих, гірських ланцюгів і хребтів з їх відрогами, що простягаються на великі відстані, і які розділені повздовжніми долинами та іншими міжгірськими зниженнями. В місцях їх перетинання піднімаються гірські вузли, які, як і місця відгалужень відрогів від головного хребта, зазвичай відрізняються своєю висотою і важкодоступністю. Глибина розчленовування досягає: у низьких горах – до 500 м, в середніх – до 1000 м, у високих – більше 1000 м.

Рівнинний рельєф (рівнини) характеризується формами поверхні з малими (в межах 200 м) коливаннями висот. Чим вище над рівнем моря, тим сильніше може бути розчленована поверхня.

За загальним характером поверхні розрізняють рівнини *горизонтальні*, *похилі*, *опуклі й увігнуті*.

Горбкуватий рельєф є одним з різновидів рівнинного рельєфу. За формою і будовою нерівностей розрізняють також плоскорівнинний, хвилястий, східчастий, яркувато-балковий та інші різновиди рівнинного рельєфу.

Незважаючи на всю розмаїтість можливих видів і поєднань рельєфу, в картографії виділяють 5 елементарних форм (рис. 6.3):

- *гора* (*mountain*) – височина у вигляді купола або конуса, що має: *вершину* (*peak*) – найвищу її частину; *схили* (*slope*), спрямовані від вершини в усі її боки; *підшову* (*foot, bottom*) – лінію, яка відділяє схили від рівнини. Невелика гірка округлої або овальної форми з пологими (менше 30°) схилами

і з відносною висотою не більше 200 м називається пагорбом (*hill*), а штучний пагорб – курганом;

- **улоговина** (*hollow, basin*) – чашоподібна ввігнута частина земної поверхні, яка має: *дно* (*bottom*), тобто найнижчу її частину; *схили* (*slope*), спрямовані від дна в усі боки; *брівку* (*edge*) – лінію переходу схилів у рівнину. Невелика улоговина називається *западиною* (*cavity, hollow*). В деяких улоговинах дно заболочене або зайняте озером;

- **хребет** (*mountain ridge / range*) – ланцюг гір, що простягається в одному напрямку. В поздовжньому розрізі гребінь гірського хребта є хвилеподібною лінією. Його частини, що виступають, утворюють вершини. В плановому накресленні хребет має доволі звивистий і гіллястий вигляд, який надають йому гірські відроги та їх більш дрібні відгалуження, що відходять в різні боки. Витягнуті піднесення з дуже пологими схилами, що непомітно переходять у рівнину, називаються *косогорами*. Основними елементами хребта є *вододільна лінія* (*watershed*), *схили*, *підкови*. Вододільна лінія йде вздовж хребта, з'єднуючи найвищі точки. Її часто називають також топографічним (географічним) *гребенем*, або просто *гребенем*;

- **лощина** (*hollow, depression*) – витягнуте поглиблення, що знижується в одному напрямку; має схили з чітко вираженим верхнім перегином – бровкою.

Лінію, що проходить по дну і до якої спрямовані схили лощини, називають водозливом, або тальвегом; іноді вона є ложем струмка.

Лощини зазвичай добре задерновані, часто бувають зарослими чагарником або лісом; дно іноді заболочене. Великі і широкі лощини з пологими схилами і пологим дном називаються *долинами*. В гірській місцевості зустрічаються вузькі і глибокі лощини з майже стрімкими, простовисними схилами, які називаються *ущелинами*.

До різновидів лощин відносяться також *яри* і *балки*. *Яри* – це великі глибокі вимоїни з крутими незадернованими схилами, що утворені тимчасовими водостоками. Їх довжина може досягати 5–10 км, глибина – 30 м, ширина – 50 м і більше. Яри зустрічаються в різноманітних умовах – на рівнинній і горбкуватій місцевості, на схилах гір і долин. Вони утворюються і з року в рік збільшуються під дією талої і дощової води у пухких і легкорозмивних ґрунтах (ліс, глина, суглинок). Протягом часу яр, досягнувши водостійкого шару, перестає рости в глибину, схили його стають більш пологими, заростають травою; яр перетворюється на балку. В передгір'ях і на піднесених кам'янистих рівнинах іноді зустрічаються вузькі, глибоко прорізані річками ущелини з майже стрімкими або східчастими щоками – це *каньйони*. Їх глибина може досягати декількох десятків, а іноді й сотень метрів. Дно каньйону зазвичай буває цілком зайняте руслом річки;

- **сідловина** (*saddle*) – зниження на гребні хребта між двома суміжними вершинами; до неї з двох протилежних напрямків, поперечних до хребта, підходять своїми верхів'ями лощини. В горах дороги і стежки через хребти проходять по сідловинах, які називаються *перевалами*.

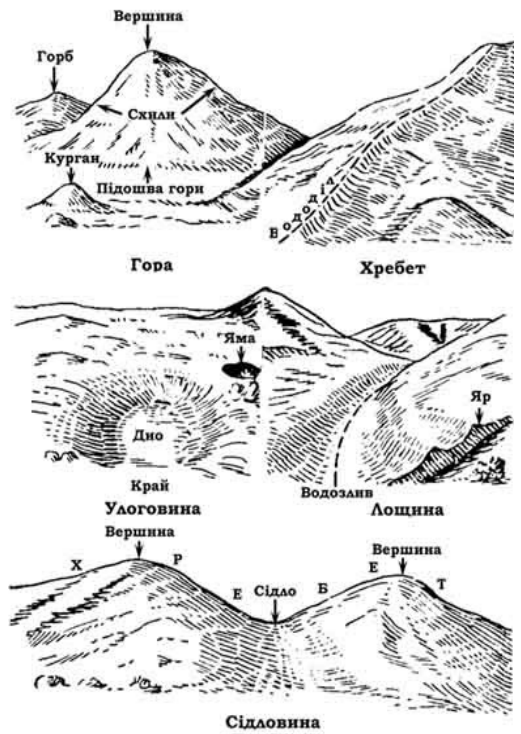
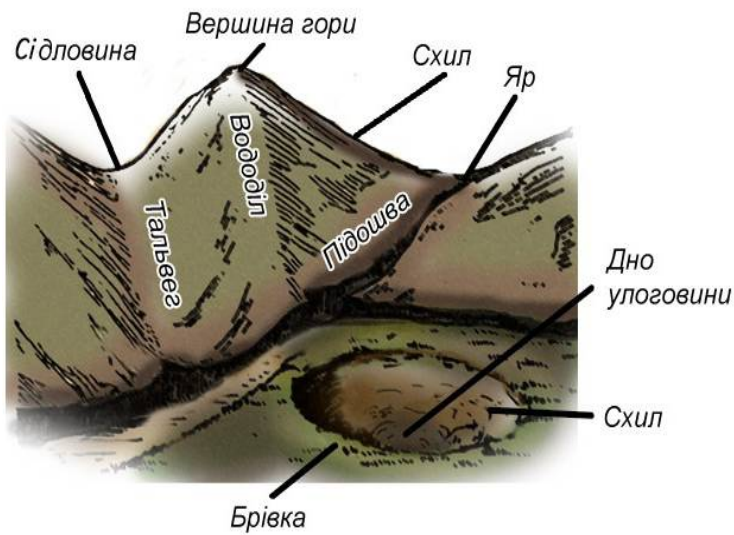


Рис. 6.3. Основні форми рельєфу, використовувані в картографії

Характеристиками поверхонь є "критичні" точки:

- піки і заглиблення – найвищі та найнижчі точки;
- лінії хребтів і низин – лінії зміни знака кута нахилу поверхні;
- проходи – місце сходження двох хребтів або низин;
- дефекти – різкі зміни значення (наприклад, стрімчаки);
- фронти – різкі зміни кута нахилу поверхні.

Протягом декількох останніх століть було запропоновано багато різноманітних способів зображення рельєфу на картах, основними з яких є:

- перспективне;
- штрихуванням;
- відмиванням;
- позначками;
- горизонталями.

Деякі з них швидко застаріли і через певний час були витіснені більш доскональними і наочними, інші застосовуються й сьогодні.

6.2.1. Спосіб перспективного зображення рельєфу (за допомогою малюнків)

Зображення рельєфу здавна цікавили людей. Перші зображення рельєфу за допомогою малюнків з'явилися у стародавні часи, де крупні форми рельєфу відображались як невід'ємна складова ландшафту і як елемент орієнтування. Це були примітивні схематичні зображення, наприклад, гірські ланцюги

зображували як невеличкі і непротяжні пагорби у вигляді бугрів, зубців пилки, у вигляді плям або ж окремими малюнками, лісові масиви – як крони дерев, а поселення – як групи будинків. Перспективний (картинний) спосіб зображення рельєфу широко застосовувався до середини XVIII століття, але він не дозволяв визначати за картою крутизну схилів і виражати всі характерні деталі рельєфу, особливо на рівнинній місцевості. Приклад карт з зображенням рельєфу гір малюнками наведено на рис. 6.4.

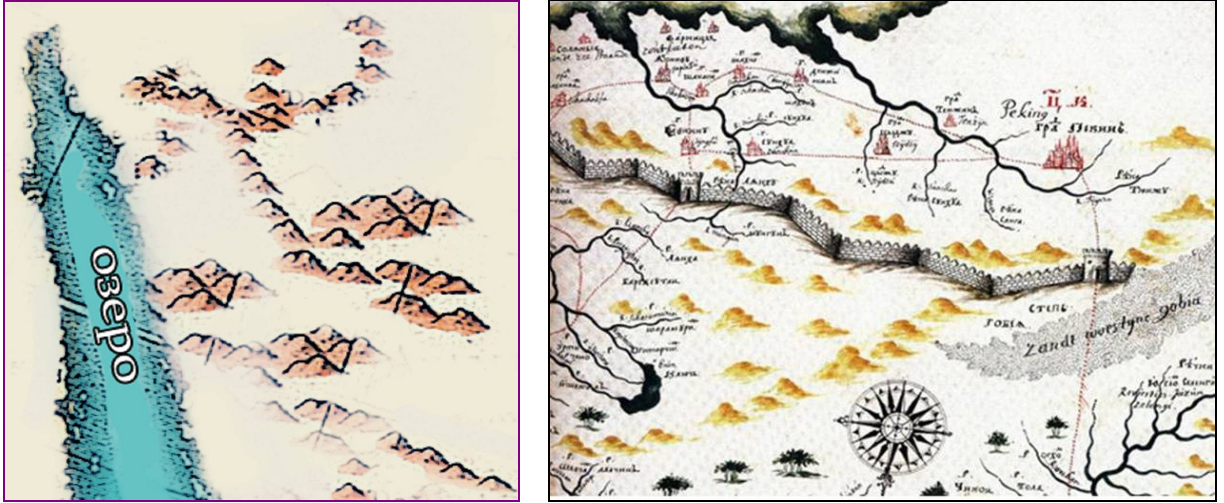


Рис. 6.4. Приклад зображення рельєфу малюнком

На картах цієї епохи планові контури предметів легко поєднувалися з перспективними малюнками місцевості. Деякі зразки карт того часу вражають майстерністю картинної передачі рельєфу. З часом малюнки рельєфу стають все більш абстрактними й умовними.

Перспективні знаки добре передають основні форми рельєфу, однак не дають точного уявлення про висоту місцевості, тому перспективний спосіб передачі рельєфу в картографії був замінений більш досконалішими способами зображення. Але через певний час він знову з'являється на картах, де перевага надається наочності, а не точності і деталізації зображення рельєфу. Сутність цього способу полягає в тому, що великі додатні форми рельєфу – форми рельєфу, які відображають випуклість на земній поверхні (гори, пагорби, хребти) – зображуються перспективним малюнком. Місцевість на цих картах подається начебто з висоти пташиного польоту. Таке зображення є достатньо наочним, проте про якусь точність мова не йде. Мальовані карти рельєфу іноді створювали художники, відома, наприклад, карта рельєфу Тоскани, написана Леонардо да Вінчі (рис. 6.5).

Сьогодні цей спосіб майже не застосовується, його можна зустріти лише на стилізованих історичних картах.

Сучасні карти використовують перспективні способи зображення рельєфу, особливі картинні знаки, але вже на геометрично точній основі. Новий спосіб одержав назву фізіографічного і використовується для виявлення фізіономічних рис рельєфу, його морфології (рис. 6.6).

Фізіографічні карти широко використовують для показу рельєфу дна океанів, поверхні далеких планет, їх використовують в туристичних буклетах та інших популярних виданнях. Такі карти зовсім не призначені для проведення за ними вимірювань, проте є надзвичайно наочними.



Рис. 6.5. Карта рельєфу Тоскани, намальована Леонардо да Вінчі



Рис. 6.6. Фізіографічний спосіб зображення рельєфу

6.2.2. Зображення рельєфу за допомогою штрихування

Після перспективного способу зображення рельєфу досить революційним нововведенням у зображенні рельєфів на картах стало штрихування (рис. 6.7).

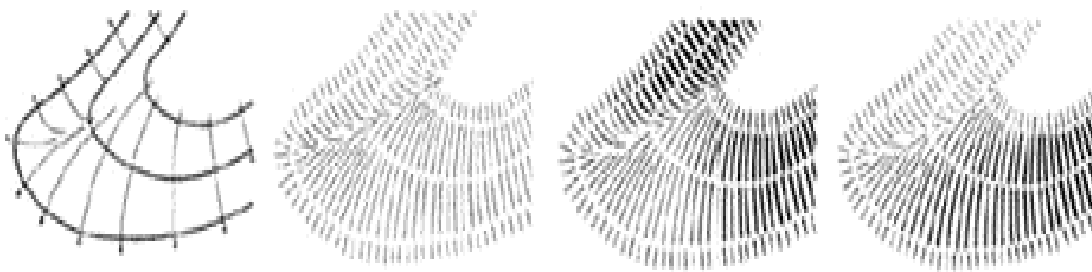


Рис. 6.7. Зображення рельєфу за допомогою штрихування

Техніка штрихового рисунка на картах стала розвиватись, починаючи з XV ст., завдяки появі гравюр на мідних пластинах. Схили місцевості відтворювались за допомогою штрихових елементів, які спрямовувались вниз за схилом і розташовувались з рівним інтервалом. Вище і нижче за схилом штрихи обмежувались допоміжними "лініями форми", що являли собою наближення горизонталей, окреслюючи форму рельєфу у плані на певному рівні. Після проведення штрихів лінії форми витирались.

Приклад перспективного способу зі штриховим промальовуванням подано на карті Піренейських гір (1730 р.) (рис. 6.8).

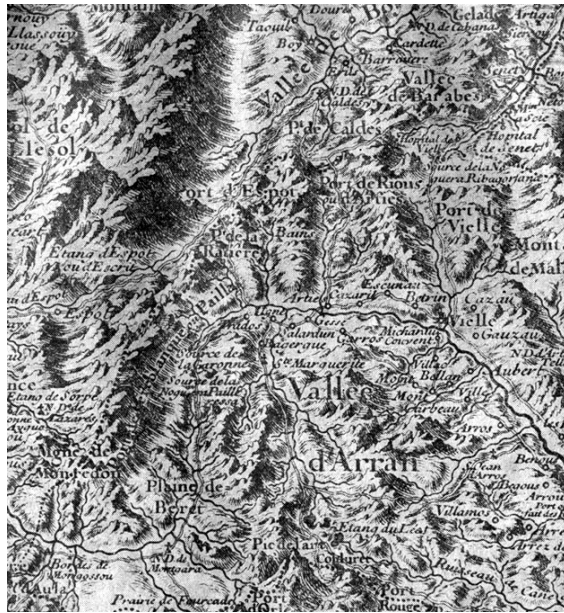


Рис. 6.8. Перспективне зображення рельєфу. Фрагмент карти Піренейських гір, що складена Русселем і видана в 1730 р.; масштаб 1:320 000

Спочатку штрихування рельєфу виконувалось при *зенітальному освітленні* (рис. 6.9), коли лінії наносились уздовж схилів, залежно від крутизни схилів змінювалась їх товщина й інтервал між ними.



Рис. 6.9. Штрихування рельєфу при *зенітальному освітленні*

Згодом для наочності зображення гірських районів почали застосовуватись "тіньові штрихи", що виконувались за умови *бокового освітлення*. На даний час цей спосіб використовується для зображення скалистого рельєфу на топографічних картах. Як різновид штрихового способу можна відзначити зображення тіней точками (спосіб Еккерта).

Зображення рельєфу за допомогою штрихів забезпечувало велику наочність подання рельєфу, але не дозволяло визначати висоти місцевості.

Крім того, зображення рельєфу на карті штрихами має певні недоліки, оскільки погано відображаються пологі схили і затемнюються круті схили, важко визначити за товщиною штрихів, до якого рівня вони відносяться. При зображенні рельєфу тіньовими штрихами неможливо оцінювати крутості схилів і, залежно від того, з якого боку висвітлюється рельєф, формуються різні

уявлення про форми рельєфу. Крім того, потрібно багато часу й майстерності для нанесення цих штрихів. Тобто зображення рельєфу за допомогою штрихів не узгоджене ані з дійсною крутизною скатів та з відносними висотами місцевості, ані з формами рельєфу.

Згодом почали застосовувати фігурні штрихи – штрихи Мюфлінга, але через складність їх нанесення на карту вони не отримали широкого застосування.

Наприкінці XVIII ст. був розроблений науковий метод штрихового зображення рельєфу, який ґрунтувався на тому, що при вертикальному падінні світла нахилена площина буде освітлюватися менш інтенсивно, чим горизонтальна.

Якщо вважати, що білі проміжки між штрихами будуть відповідати кількості світла, а товщина штрихів – втраті світла від нахилу, то такі штрихи можуть природно відображати рельєф. Чим крутіший схил, тим товстіше штрихи і менша відстань між ними. Як приклад, на рис. 6.8 представлена шкала штрихів, що розроблена для гірського рельєфу.

Шкала розроблена на математичній основі і поділена на 9 частин, починаючи з 5° до 45°. Для крутизни схилу α відношення ширини білого проміжку і товщини штриха дорівнює відношенню:

$$\delta = \frac{(45^\circ - \alpha)}{\alpha}$$

Якщо, наприклад, крутизна схилу дорівнює 25°, то відношення буде становити:

$$\frac{\text{Ширина білого проміжку}}{\text{Ширина штриха}} = \frac{\text{Світло}}{\text{Тінь}} = \frac{45^\circ - 25^\circ}{25^\circ} = \frac{4}{5}$$

тобто на відрізку в 9 мм загальна ширина штрихів складе 5 мм, а ширина білих – 4 мм.

Для наочного відображення рельєфу різних ландшафтних районів було запропоновано багато шкал, але їх принцип побудови аналогічний вищеведеному (рис. 6.10).

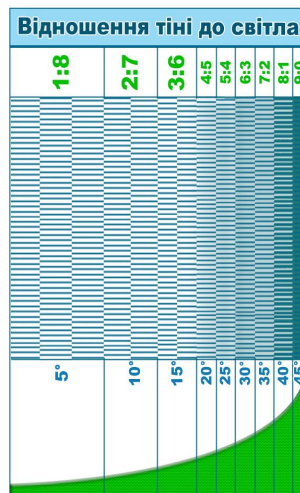
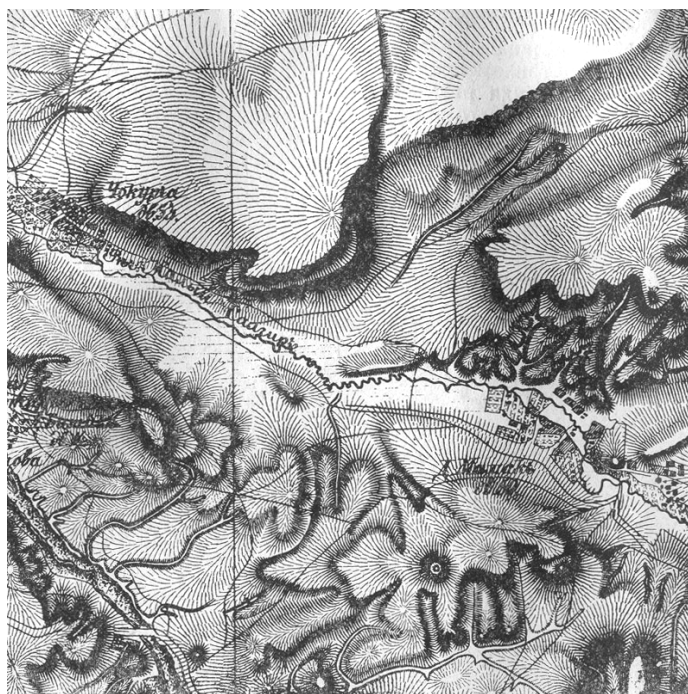


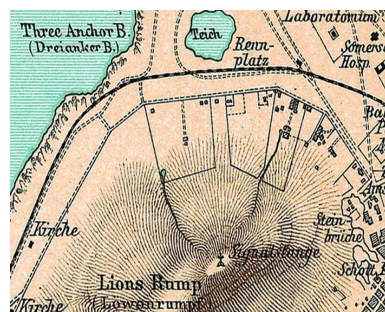
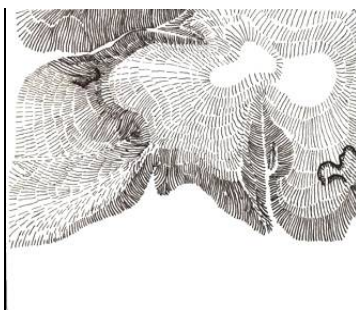
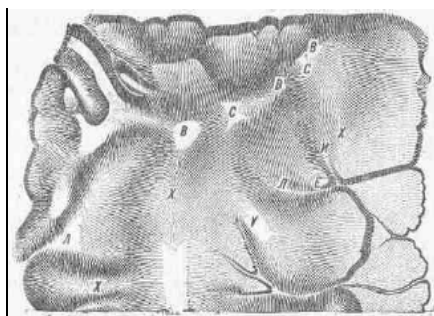
Рис. 6.10. Шкала штрихів

Приклад зображення крутизни рельєфу за допомогою штрихів представлений на рис. 6.11.



*Рис. 6.11. Зображення крутизни рельєфу за допомогою штрихів.
Фрагмент одноверстної топографічної карти*

Картографічне штрихування – це результат кропіткої роботи і художньої техніки кресляра. В цьому легко переконатися, розглядаючи рис. 6.12.



*Рис. 6.12. Штрихове зображення рельєфу на карті
кінця XIX століття
(чим крутіший укіс, тим більш густіші штрихи)*

Штрихи дуже виразно передають рельєф місцевості на карті. Варто тільки трохи примружити очі, й увесь рельєф виступає з такою опуклістю, начебто він виліплений з гіпсу. З часом зображення рельєфу за допомогою штрихів стає більш математично строгим з використанням горизонталей як допоміжних ліній (рис. 6.13).

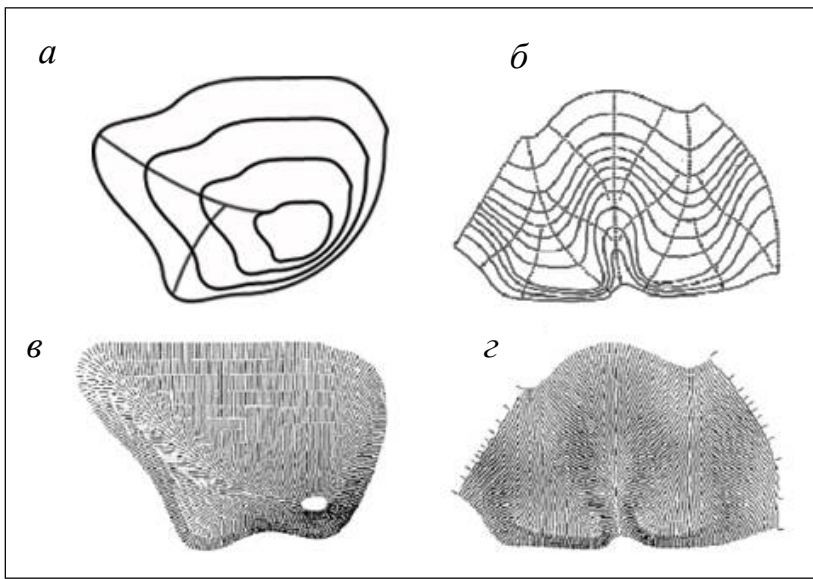


Рис. 6.13. Рукописне зображення рельєфу в штрихах крутизни: а, б – допоміжні горизонталі; в, г – штрихи крутизни

Широке поширення способу штрихів зумовлене його змістовністю і наочністю. Картографи внесли додаткову інформацію в зображення варіацією товщини штрихів залежно від кутів нахилу, чим досягався пластичний ефект і з'являлась можливість візуального морфометричного аналізу рельєфу, що було надзвичайно важливо для вирішення воєнно-тактичних задач.

Вперше *штрихи крутизни* були застосовані німецьким картографом Йоганном Леманом. У 1799 р. він розробив шкалу, яка складалась із 9 ступенів (табл. 6.2).

Згодом почали застосовуватись й інші шкали, співвідношення у яких були адаптовані до ступеня розчленованості територій, кутів нахилу на місцевості. Зокрема, шкала генерального штабу і шкала О. П. Болотова, що були розроблені для російських топографічних карт, відрізнялись більш детальним опрацюванням ступенів для малих кутів нахилу: збільшенням кількості градацій, зміною товщини штрихів і ширини проміжків між ними [5].

Таблиця 6.2

Шкала І. Лемана для штрихів крутизни

Кут нахилу	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
Співвідношення товщини штриха і пробілу	0:9	1:8	2:7	3:6	4:5	5:4	6:3	7:2	8:1	9:0

Спосіб зображення рельєфу за допомогою штрихів широко застосовувався в російських топографічних картах середини і кінця XIX ст. Крім штрихів крутизни використовувались також і тіньові штрихи, що будувалися за принципом бокового освітлення.

Обидва типи штрихів застосовувались на картах великих і середніх масштабів. При цьому на дрібномасштабних картах використовувались тільки тінєві штрихи або штрихи загального виду, що поєднували властивості як першого, так і другого типу, але фактично були вже не прив'язані до горизонталей.

Швейцарський картограф Едуард Імгоф наприкінці ХХ ст. систематизував відомості про спосіб штрихів. Він сформулював основні правила їх побудови [65].

1. Штрихи представляють собою фрагменти ліній току.
2. Штрихи організовані в горизонтальні ряди, чим забезпечується рівномірна щільність їх розміщення на всьому просторі карти.
3. Довжина штрихів відповідає закладенню горизонталей. При цьому січна площа обирається таким чином, щоб довжина штрихів була не менше 0,2 мм на найбільш крутих ділянках.
4. Принцип "чим крутіше, тим темніше". Ступінь ефекту досягається варіацією співвідношення товщини штрихів і відстаней між ними.
5. Штрихи повинні наноситись з рівним інтервалом, адаптованим до характеру рельєфу. При цьому зі зменшенням масштабу штриховий рисунок стає більш тонким і витонченим. Кращі зразки картографічної гравюри містили до 30 і більше штрихів на 1 см довжини горизонталі. Прикладами можуть слугувати топографічна карта Пруссії масштабом 1:100 000, що містила 34 штрихи на 1 см, і "Карта Германської імперії" Фогеля масштабу 1:500 000, в якій на 1 см припадало 40 штрихів.

Серед невідмічених Е. Імгофом правил важливою умовою правильного зображення є зсув штрихів наступного ряду відносно штрихів попереднього для запобігання утворенню "коридорів" – довгих білих просвітів між штрихами.

Основною перевагою способу є його самодостатність з точки зору співвідношення пластичного ефекту та інформативності, яка не властива відмиванню.

Штриховий рисунок дає більш абстрактний пластичний ефект, на відміну від відмивання, і є більш виразним. Найтонший рисунок, майстерно імітована гра світла і тіні створюють неповторне враження від такого картографічного шедевра.

Більшість штрихових карт і до сьогодні залишаються неперевершеними зразками картографічного мистецтва. Вони дають виразне і наочне уявлення про форми земної поверхні і дозволяють оцінювати крутизну схилів. Самі по собі штрихи не вказують, у якому напрямку йде підйом або спуск, але це легко можна визначити за розташуванням ярів, річкової мережі і висотних позначок.

Швидкий спосіб літографії був занадто грубим для відображення тонкого штрихового рисунка з варіацією товщини ліній приблизно 0,05 мм. Все це призвело до поступового згасання епохи штрихових карт і повного

припинення їх видання. На зміну штрихам прийшов *спосіб ізоліній*. Прогрес відобразився і на стадії друкування карт.

Штриховий спосіб зображення рельєфу на загальнодержавних топографічних картах на сьогодні не застосовується, однак у тих випадках, коли потрібно наочно відобразити поверхню якоїсь ділянки, іноді звертаються до цього способу.

Дослідження з автоматизації способу штрихування. Зацікавленість штрихуванням знову з'явилася у другій половині ХХ ст., але вже з позицій автоматизації. Ізраїльський картограф П. Йоелі розробив алгоритм автоматизованої побудови зображення рельєфу в штрихах [66]. Алгоритм ґрунтувався на каркасі з ізоліній, побудованих за цифровою моделлю. Штрихи являли собою відрізки, перпендикулярні ізолініям, які знаходились між ними. На рис. 6.14 представлений приклад зображення місцевості поруч з містом Хайфа (Ізраїль), що побудоване з використанням розробленої методики.



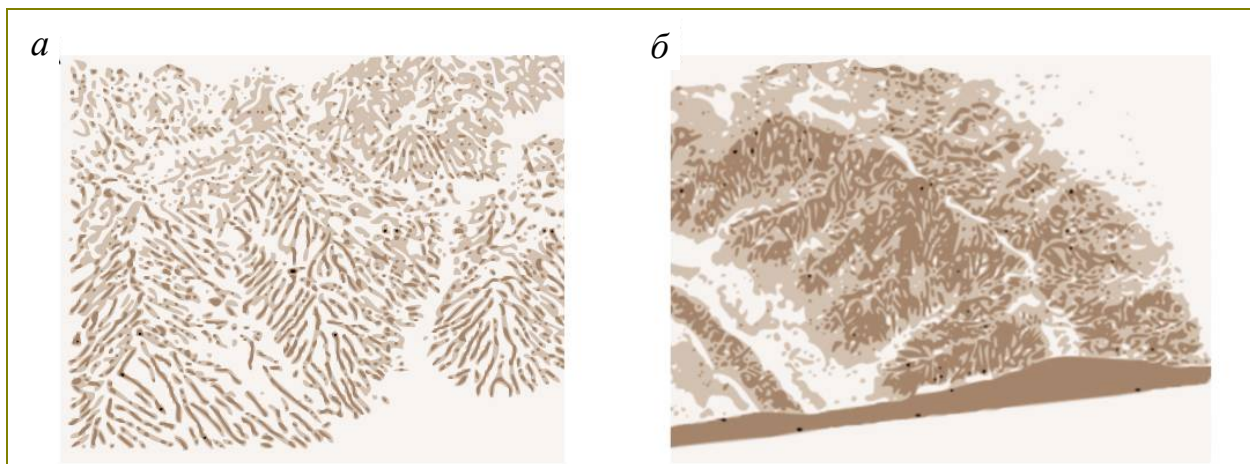
Рис. 6.14. Приклад автоматизованої побудови зображення рельєфу в штрихах крутизни за П. Йоелі

На ньому штрихи з'єднані з опорними ізолініями. П. Йоелі відзначив, що штрихи можуть бути успішно використані при структурному аналізі ландшафтів за допомогою картографування кутів нахилу.

Оригінальні дослідження проводяться вченими різних країн у рамках нефотореалістичного рендерінгу (НФР)⁷ – сфери машинної графіки, завдання якої є імітація техніки рукописної ілюстрації, у тому числі й штрихового малюнка. Авторами статті [67] розроблені алгоритми, що дозволяють створювати

⁷NPR – Nonphotorealistic Rendering. Іноді використовують аббревіатуру NPAR (Nonphotorealistic Animation and Rendering), маючи на увазі, що до сфери дослідження входить також і анімація зображень.

зображення рельєфу, виконане у більш вільній манері, чим при використанні розглянутого картографічного способу. Це представляє собою штриховий рисунок обрисів схилів, який може бути виконаний художником-картографом для використання, наприклад, у ландшафтній архітектурі (рис. 6.15).



*Рис. 6.15. Зображення рельєфу способом вільного штрихування:
а – рівномірне покриття штрихами без варіації товщиною ліній;
б – імітація штрихів крутизни*

Замість штрихових елементів використовуються "вільні лінії" (loose lines), які, на відміну від штрихів крутизни, побудовані не вздовж горизонталей, а розташовані у вільному, неприв'язаному порядку.

Можливість відмальовки ліній із застосуванням відсканованих рукописних зразків робить зображення більш природним. Як альтернативний варіант в алгоритмі відмальовки може бути використана функція, що вносить елемент випадковості в характер лінії (тремтіння руки, ступінь натискання на перо або олівець впливають на її товщину, колір і положення). Інакше кажучи, автоматизоване зображення рельєфу способом класичних штрихів крутизни також відноситься до нефотореалістичного рендерінгу.

Не так давно почали з'являтися праці, в яких робляться спроби створити особливий тип штрихового зображення з метою дрібномасштабного картографування. Спосіб "орієнтованих напівтонів", запропонований П. Кенеллі [68], нагадує проігнорований у свій час точковий метод Еккерта, в якому світлотінь імітується множиною точок різного розміру⁸. Тільки у даному випадку точки розташовані не у випадковому порядку, а згруповані у фрагменти растрового штрихування, які орієнтовані відповідно до експозиції схилу.

П. Кенеллі і А. Кімерлінг [69] запропонували використовувати стрілки білого і чорного кольорів для створення штрихового зображення рельєфу на

⁸На той час у фахівців виникли сумніви стосовно цієї ідеї і досить критично відзначили, що така розбивка світлотіньового зображення повинна виконуватись на етапі растрування півтонового оригіналу, а не бути завданням картографа.

картах дрібних масштабів. При цьому довжина і товщина стрілок залишається незмінною по всьому полі карти, їх колір змінюється залежно від експозиції схилу, а густина розташування – від кутів нахилу.

Схожа методика була раніше використана С. М. Сербенюком для картографування градієнтних полів [70]. Її відмінність полягає у тому, що стрілки розташовуються за регулярною сіткою, орієнтовані вниз за схилом, а їх товщина пропорційна кутам нахилу на місцевості. Інформативність і наочність зображення може бути збільшена шляхом розфарбування стрілок відповідно до експозиції схилів або кутів нахилу [71]. При цьому як для товщини стрілок, так і для їх напрямку може бути обрана дискретна або безперервна шкала.

Колір для оформлення пластики рельєфу вперше використаний в Атласі компанії Російських військ у Швейцарії (1799 р.). Серед карт, що відображають рельєф земної поверхні потрібно відзначити топографічну карту Швейцарії Дюфура, що виконана тінювими штрихами, твори Імгофа, які характеризуються поєднанням горизонталей, штрихів і світлотіньової пластики [93].

6.2.3. Подання рельєфу за допомогою відмивання

Широке застосування в ХХ ст. фотографії дозволило використовувати при друці карт оригінали напівтонового зображення рельєфу, виконані *способом відмивання*. Сама назва способу говорить про те, що світлотінь на папері створюється шляхом розмиву туші пензлем. Термін "відмивання" став у вітчизняній картографії загальним для позначення способу тіньової пластики.

Відмивання (*shading, hill shading*) – **пластичне напівтонове зображення рельєфу шляхом накладення тіней темно-сірого, сіро-синього, коричневого тонів.**

Сутність цього способу зображення рельєфу аналогічна способу штрихів (крутизни і тінювих), з тією тільки різницею, що замість штрихів при візуалізації рівня затемненості схилу відбувається накладання тіні за допомогою фарб різних відтінків. Коричнева або чорна (сіра) фарба наноситься на затінені схили так, щоб на крутих схилах тіні лежали густіше, а пологі схили виглядали світлішими.

Поверхня Землі зазвичай зображується коричневим кольором: чим більша висота рельєфу, тим темніший колір. Глибини моря показують блакитним кольором: чим більше глибина, тим густіший колір (від блакитного до темно-синього).

Відмивання може виконуватись за допомогою:

– *бокового освітлення* (*oblique shading*), сутність якого полягає в тому, що джерело світла знаходиться в лівому верхньому куті карти (північно-західне освітлення);

– *прямовисного освітлення* (*vertical shading*), коли світло падає зверху;

– *комбінованого освітлення* (*combined shading*), коли місцевість начебто освітлена з різних сторін.

Метод відмивання дає наочне пластичне зображення рельєфу, начебто фотографію рельєфної моделі місцевості, але не дає можливості визначити за картою крутизну схилів і висот точок. Тому його широко застосовують для карт дрібного масштабу і для окремих тематичних карт, де потрібно передати лише загальне уявлення про рельєф місцевості, але найчастіше цей метод використовують як доповнення у зображенні рельєфу методом горизонталей з метою створення багатобарвної гіпсометричної карти.

В картографії використовується також варіант суцільного відмивання, коли застосовують палітру фарб (наприклад, для низовин – зелену, для середньовисотних ділянок – жовту тощо) та їх відтінками передають різні за висотою ділянки. Як приклад, на рис. 6.16 представлена карта рельєфу району дій сомалійських піратів, що створена за допомогою відмивання рельєфу.

Затемненість схилів відображається звичайним способом відмивання, але із застосуванням різних кольорів для різних за висотою ділянок. Цим способом зображується рельєф (рис. 6.17).

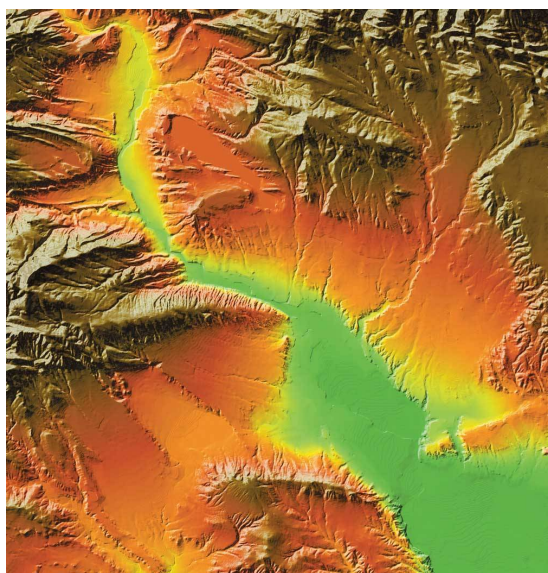


Рис. 6.16. Рельєфна карта, що побудована способом відмивання рельєфу

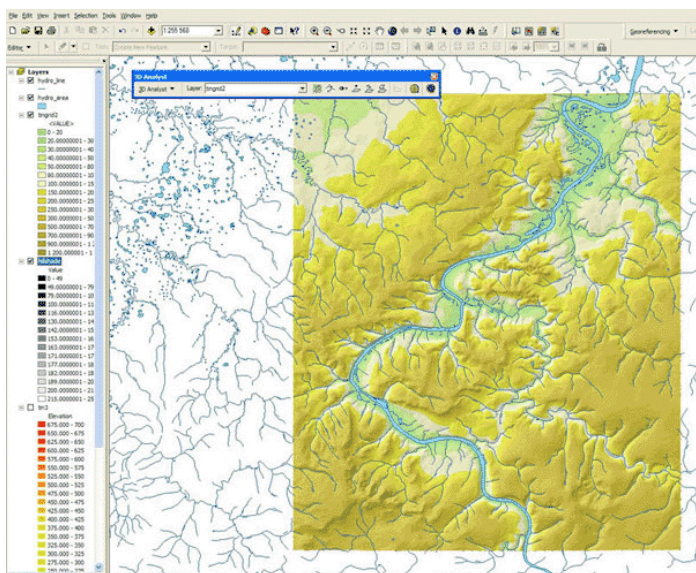


Рис. 6.17. Зображення рельєфу відмиванням

Відмивання має низку переваг перед штрихуванням і тушуванням. Для її використання потрібно менше часу. Вона дає зображення, найбільш близьке до реальної світлотіні на об'ємних предметах. Але якщо оригінальне штрихове зображення або тушування виконувалось безпосередньо на друкованій формі, то відмивання вимагало спеціального фотографування через растр для розкладення напівтону на друковані елементи.

Вищезазначені способи одержання світлотіньового зображення рельєфу відрізняються значною трудомісткістю і вимагають від виконавця великої майстерності, знань і художнього смаку. Тому картографами ведуться дослі-

дження з механізації й автоматизації отримання пластичного зображення рельєфу. Наприклад, відомо, що рельєф піщаних пустель відрізняється великим розмаїттям і складністю мікроформ, прочитати які на топографічній карті, що зображені горизонталями вкрай складно.

Наочність зображення цього рельєфу значно підвищилася за рахунок удруковування в карту планового аерофотозображення рельєфу піщаних пустель (рис. 6.18). Почали створюватися тематичні карти на основі космознімків (рис. 6.19). Відзначимо, що рельєфна модель відрізняється від рельєфної карти тим, що на ній відсутнє картографічне зображення.

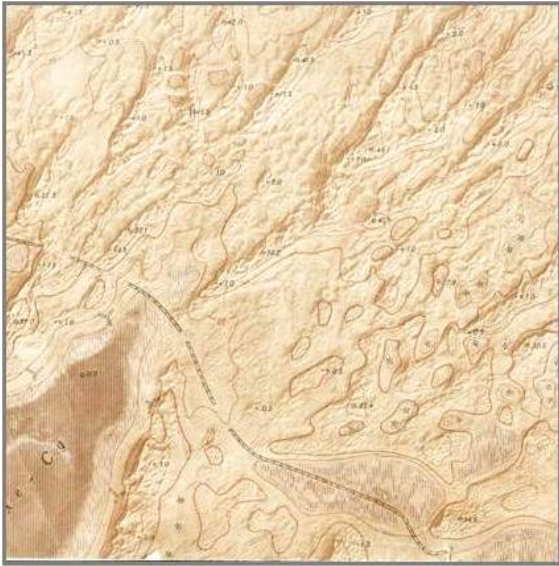


Рис. 6.18. Вдруковування аерофотозображення



Рис. 6.19. Фоторельєф на основі космічного знімка

Рельєфні моделі можуть виготовлятися різними способами. Найпростішим є ручний, при якому по горизонталях вирізаються з картону висотні шари і послідовно наклеюються один на одного. Потім ступені згладжуються. Цей процес є дуже повільним і трудомістким, тому розробляються більш раціональні способи.

Щоб рельєф на моделі був візуально відчутним, вертикальний масштаб порівняно з горизонтальним збільшують: для рівнин – у більшому ступені, для гірських масивів – у меншому. Переробка східчастої моделі в згладжену виконується не механічно, це робиться з урахуванням знання морфології рельєфу. Тільки в цьому випадку досягається правдоподібне зображення його форм і типів.

Для отримання фоторельєфу поверхня рельєфної моделі повинна бути білою і матовою. Гарне пророблення тіней, необхідних під час фотографування, досягається застосуванням *комбінованого освітлення* з перевагою бокового. Для отримання фоторельєфу в ортогональній або заданій проекції повинна використовуватись спеціальна оптична система. Моделі і карти формуються з матриці вакуумним способом на пластиці полівінілхлоридної групи.

6.2.4. Подання рельєфу за допомогою горизонталей (ліній рівних висот)

На сучасному етапі для зображення рельєфу на топографічних та електронних картах масштабом 1:1 000 000 і більше, застосовують спосіб горизонталей, сутність якого полягає в тому, що всі нерівності місцевості зображуються замкнутими кривими лініями – горизонталями, які з'єднують однакові за висотою точки місцевості.

Горизонталі – лінії, що з'єднують на плані й карті точки з однаковою абсолютною висотою.

Висота точки земної поверхні – відстань до цієї точки за відвісною лінією до рівневої поверхні, яка прийнята в державній геодезичній мережі за вихідну (нульову).

В Україні прийнята система нормальних висот, яка запропонована М. С. Молоденським. У системі нормальних висот абсолютні висоти розраховуються від поверхні квазігеоїда. В системі нормальних висот абсолютні висоти точок розраховуються від поверхні *квазігеоїда* ("нібито", "майже" геоїда). Поверхня квазігеоїда повністю визначається відносно земної поверхні і поверхні референц-еліпсоїда. У відкритих морях і океанах поверхні квазігеоїда і геоїда збігаються.

Для точок однієї й тієї ж рівневої поверхні, що лежать на різних географічних широтах, нормальні висоти є різними. Якщо в усіх точках земної поверхні відкласти вниз за відвісними лініями величини нормальних висот цих точок, то отримані таким чином точки будуть належати поверхні квазігеоїда.

Геодезична висота – висота точки земної поверхні над поверхнею референц-еліпсоїда, що розрахована за нормаллю до еліпсоїда. Геодезична висота визначається як сума нормальної висоти H^y (рис. 6.20) і аномалії висоти ξ .

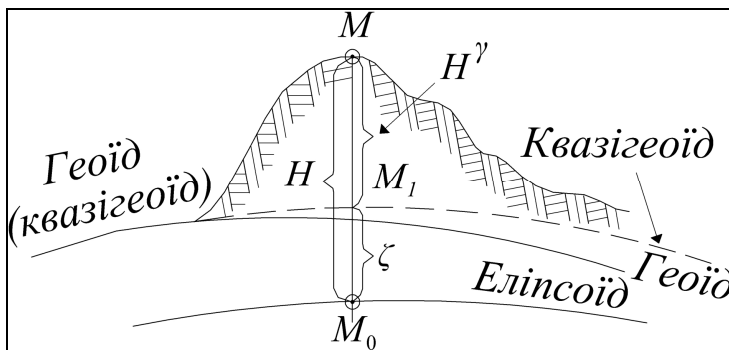


Рис. 6.20. Системи висот

Аномалія висоти є висотою квазігеоїда над поверхнею референт еліпсоїда.

Практично нормальна висота H^y збігається з висотою над середнім рівнем моря.

Спосіб зображення рельєфу горизонталями має переваги: він математично точно передає планові контури і висоти рельєфу.

На вітчизняних топографічних картах прийняті такі висоти перетину для рівнинно-пагорбкватої місцевості: 2,5 м – на карті 1:10 000, 5 м – на 1:25 000, 10 м – на 1:50 000, 20 м – на 1:100 000. На картах 1 : 500 000 і 1 : 1 000 000 горизонталі проводяться через 50 м. Висота горизонталі над рівнем моря, виражена в метрах, називається позначкою. Позначки горизонталей підписуються в розривах горизонталей, а оцінки точок – праворуч від них.

Як самостійний спосіб горизонталі почали застосовувати одночасно у Франції і Росії в 20-х рр. XIX ст., але згадки про них з'явилися ще наприкінці XVII ст. Горизонталі були відомі одному з творців шкали штрихів – російському вченому О. П. Болотову⁹, який у своїх працях аналізує цей спосіб зображення рельєфу.

Горизонталь можна уявити як слід від перетину рельєфу рівневими поверхнями, паралельними між собою. Січні площини будують через рівні проміжки за висотою й отримані лінії перерізу проектують прямовисними лініями на спільну площину (карту). Так на карті отримують зображення рельєфу системою горизонталей у вигляді замкнених кривих ліній. Обриси горизонталей обумовлені зовнішнім обрисом форм рельєфу, а їхня кількість на даній карті – найбільшою різницею висот на картографованій території.

Задана відстань між сусідніми січними площинами h називається висотою перерізу рельєфу. Щоб передати закономірності рельєфу, значення h встановлюється постійним для карт одного масштабу і типу рельєфу. Відстань на карті між сусідніми горизонталями за заданим напрямом називається закладенням d . Закладення d завжди менше, ніж похила відстань S між двома точками рельєфу.

На рис. 6.21 зображений пагорб, розсічений паралельними площинами, що проведені через рівні за висотою інтервали, які називаються висотою перетину рельєфу.

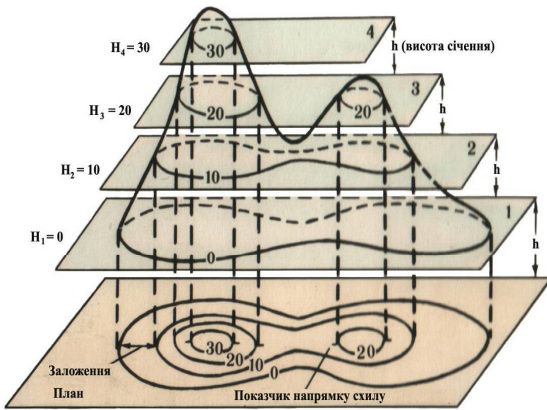
Оскільки одна горизонталь не дає уявлення про форму рельєфу, то для більш наочного відображення рельєфу проводять декілька горизонталей через певні проміжки (залежно від масштабу створюваної карти). Вершину позначають точкою із зазначенням її висоти. За розташуванням горизонталей можна визначати крутизну схилу. Чим густіше розміщені горизонталі, тим крутіший схил, чим рідше – тим схил більш пологий.

Вигляд пагорбу зверху буде представляти ряд горизонталей, кожна з яких позначає певну висоту, що відображає форму пагорба.

Сукупність горизонталей визначає висоту пагорба і крутизну його схилів. Чим крутіший буде схил, тим меншою буде відстань між горизонталями.

⁹**Болотов Олексій Павлович** – російський геодезист. Професор геодезії і топографії Академії генштабу (1832). Автор фундаментальних праць, які сприяли підготовці геодезистів і топографів та розвитку методів геодезичних робіт у Росії. Болотов розробив одну із шкал зображення рельєфу на планах і картах штрихами.

Якщо горизонталі зближуються від вершини до підшови, то вони вказують на опуклий схил, а якщо розширюються, то характеризують увігнуту поверхню.



Принцип зображення рельєфу горизонталями: h - висота перерізу (січення); H_1, H_2, H_3, H_4 - висота площин перерізів (січень) над рівнем моря

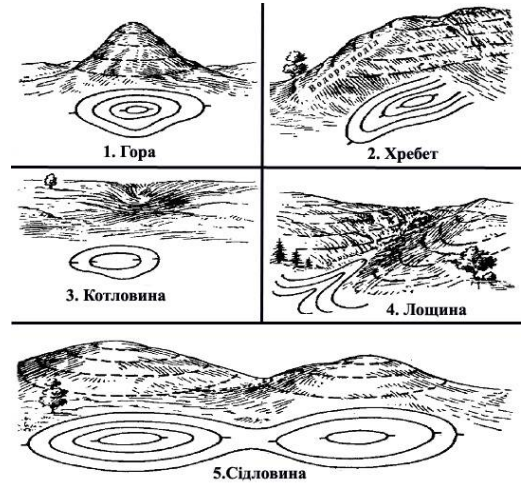


Рис. 6.21. Приклади зображення рельєфу горизонталями

Відносна висота. Відомо, що земна поверхня нерівна. На ній є відносно рівні ділянки, горби, яри, гори. Для зображення рельєфу на плані або карті необхідно знати висоту підвищень і глибину знижень земної поверхні. Щоб на місцевості визначити висоту, наприклад, горба, потрібно виміряти відстань за вертикаллю від його підшови до вершини. Це можна зробити за допомогою нівеліра. Послідовність вимірювання висоти нівеліром (це називають *нівелюванням*) така: спочатку встановлюють нівелір біля підшови горба. За виском перевіряють, чи строго вертикально встановлений нівелір. Горизонтальна планка нівеліра повинна бути спрямована до схилу. Уздовж планки "прицілюються" і засікають точку на схилі, в яку вона спрямована. Там забивають кілочок. Якщо висота нівеліра дорівнює 1 м, ця точка буде на 1 м вище того місця, де стоїть нівелір. Потім нівелір переносять до кілочка і прицілюються на іншу точку. Друга точка вже буде вищою на 2 м від підшови. Так послідовно нівелір переставляють кілька разів уздовж схилу. Пройшовши до вершини, за кількістю кілочків визначають висоту горба в метрах. Так дізнаються, на скільки метрів одна точка (у нашому прикладі – вершина горба) вища відносно іншої точки (підшови горба). Така висота називається *відносною*. За допомогою нівеліра можна виміряти висоту берега річки над водою, схилу яру над його дном тощо.

Абсолютна висота. На практиці часто виникає ситуація, коли на одному схилі горба нівелір ставили чотири рази, а на схилі з іншого боку він встановлювався п'ять разів. Це означає, що його підшови з одного боку може знаходитися нижче, а з іншого – вище. Через це й відносна висота вершини, виміряна з різних боків горба, може бути неоднаковою. Щоб уникнути розбіжності у висотах, на планах місцевості та картах позначають не відносну висоту, а абсолютну висоту. Її рахують від єдиного рівня – від рівня моря, що приймається за 0.

Абсолютна висота – перевищення точки земної поверхні над рівнем моря, що приймається за 0 м. Проте різні моря мають різний рівень. Від якого з них вести відлік? В Україні та деяких інших країнах (Росія, Білорусь, Молдова та в більшості країн СНД) прийнято вести відлік абсолютної висоти точок поверхні від рівня *Балтійського моря* – нуля Кронштадтського футштоку¹⁰ (рис. 6.22).



Рис. 6.22. Кронштадтський футшток і мареограф

Щоб визначити абсолютну висоту точок, не обов'язково їхати до його берегів. У різних місцях на місцевості ставлять спеціальні знаки – *репер*. Вони вказують на висоту даного місця над рівнем Балтійського моря.

Від цього знака, провівши нівелювання, можна визначити висоту будь-якої точки. Наприклад, абсолютна висота *Києва* – 180 м.

Перевищення однієї точки місцевості відносно іншої називається відносною висотою; вона може бути отримана як різниця абсолютних висот точок (рис. 6.23).



Рис. 6.23. Абсолютні і відносні висоти точок місцевості

¹⁰**Футшток** – рейка з діленнями на водомірному посту для спостережень за рівнем води в морі, річці, озері. Від нуля Кронштадтського футштоку Балтійського моря в СРСР вимірювали абсолютні висоти. У 1898 р. в дерев'яній будці був встановлений мареограф – прилад, який постійно реєструє рівень води у криниці відносно нуля футштоку. Трохи пізніше мареограф перенесли у невеличкий павільйон з глибокою криницею. Самописець мареографа неупереджено фіксує коливання моря, відзначаючи і відливи і паводки.

На планах і картах підписується тільки абсолютна висота. Абсолютну висоту окремих точок місцевості позначають точкою, біля якої пишуть висоту у метрах. Таке позначення називають *відміткою висоти*. Абсолютні висоти відраховуються середнього рівня моря, що визначається за результатами багаторічних спостережень.

Зображення рельєфу місцевості. Форми рельєфу на планах і картах зображують горизонталями.

Горизонталі – це лінії на плані або карті, що з'єднують точки місцевості з однаковою абсолютною висотою.

Вони окреслюють форму нерівностей земної поверхні. Для зображення горба відмітки абсолютної висоти переносять на план і з'єднують лініями. На плані горизонталі зображуються лініями коричневого кольору. Проводяться вони через певні проміжки висоти: наприклад, через кожні 5 м, 10 м, 50 м, 200 м тощо. Відстань між горизонталями залежить від крутизни схилів. Якщо схил крутий, горизонталі на плані будуть розташовані близько одна від одної, якщо ж пологий – на більшій відстані.

На рис. 6.24 зображені основні форми рельєфу і показані січні площини.

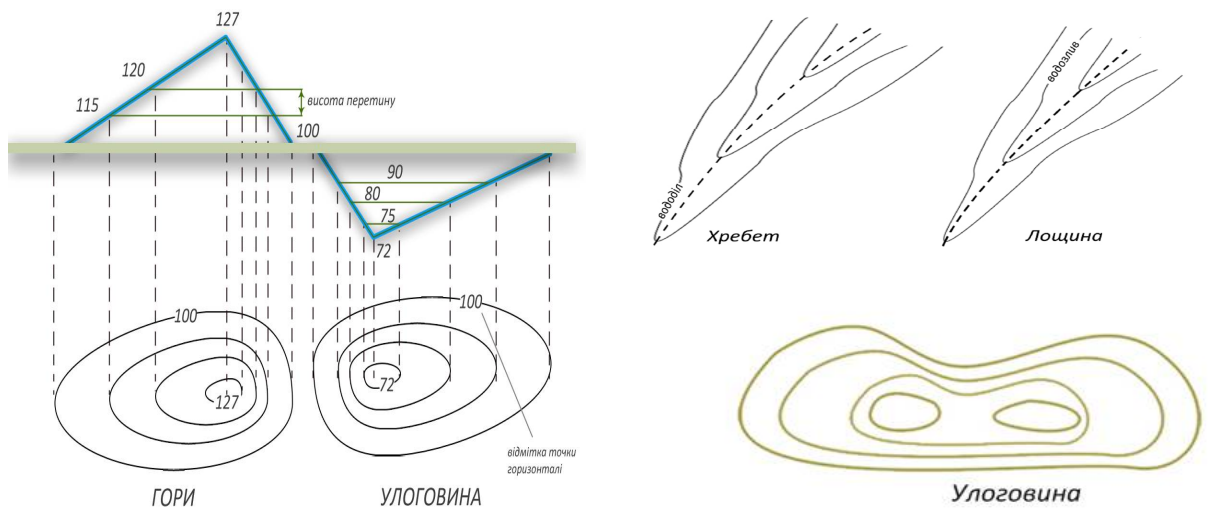


Рис. 6.24. Основні форми рельєфу та їх зображення горизонталями (там, де горизонталі більш наближені одна до одної, укіс крутіший, де розходяться – більш пологий)

З рис. 6.25 видно, що гора й улоговина на картах зображуються однаково, як хребти і лощини. Щоб розрізнити ці форми рельєфу і знати, куди знижується місцевість, на горизонталях у сторону зниження місцевості ставлять покажчики схилів – *бергштрихи*. Вони вказують вільним кінцем, у якому напрямку схил знижується. Горизонталі на планах зображують не тільки підвищення, а й западини. При цьому бергштрихи будуть звернені вільним кінцем усередину контуру.

Крім того, напрямок зниження місцевості на карті може бути визначений за розташуванням водойм і водотоків, за розбіжністю позначок

розташованих на одному схилі і за підписами позначок горизонталей (схил знижується від верхівки цифри до її підвалини). Кожній формі рельєфу притаманний певний малюнок горизонталей. Кожен вигин горизонталі – це умовний знак, що відображає залежно від напрямку схилу геометричну форму опуклості або увігнутості його поверхні.

Чим ближче розташовані горизонталі одна до одної, тим крутіший схил. Максимальна крутизна схилу, що зображується горизонталями, не перевищує $40\text{--}45^\circ$. Більш круті схили й прірви зображуються умовними знаками. Для полегшення підрахунку горизонталей кожен п'яту основну горизонталь зображують товстішою. Пунктирними горизонталями зображують деталі рельєфу; їх проводять на половині і чверті висоти перетину. Крупним пунктиром зображуються половинні, дрібним – допоміжні горизонталі.

Щоб визначити крутизну схилу місцевості за топографічною картою, можна скористатися наступним простим правилом. Відстань між горизонталями (закладення), що дорівнює 1 см (точніше 12 мм), відповідає крутизні 1° на місцевості. У скільки разів закладення буде менше (або більше), у стільки разів крутизна схилу буде більшою (або меншою) 1° .

На топографічних картах для визначення крутизни схилу будується шкала закладень. На ній послідовно відкладені закладення, що відповідають крутості схилів в 1, 2, 3, 5, 10... і до 45° . Найбільшу крутизну схилу визначають так: вимірюють циркулем (папірцем) найкоротшу відстань між горизонталями і на шкалі підбирають відповідне їй закладення, навпроти якого прочитують крутизну схилу в градусах (рис. 6.26).

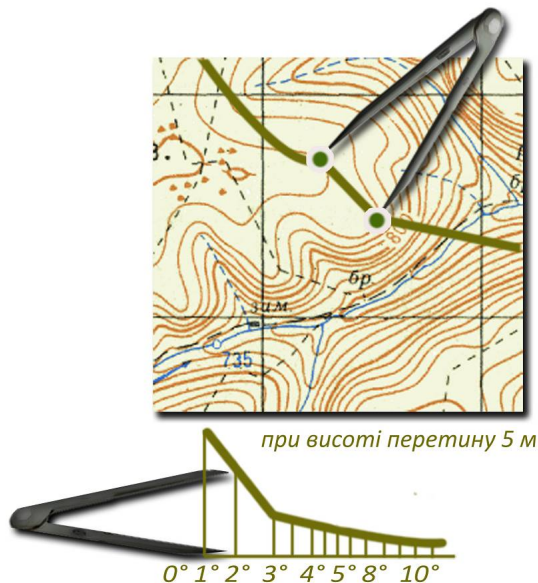


Рис. 6.26. Визначення крутості схилу за шкалою закладень

Зображення рельєфу способом горизонталей виявилось найбільш досконалим, оскільки дозволяє визначити крутизну схилу, позначки точок, будівельний профіль місцевості тощо. Недоліком такого зображення є мала наочність.

Для більш наочного подання рельєфу застосовують метод горизонталей у комбінації зі способом відмивання або із гіпсометричним методом.

В основі способу відмивання покладено принцип згущення тіней при збільшенні крутості схилу. Відтінення схилів проводиться сірою або коричневою фарбою. Горизонтальні поверхні залишаються білими.

Сутність гіпсометричного способу полягає у забарвленні висотних шарів: вище 200 м – коричневою фарбою (за принципом "чим вище, тим темніше"), а нижче 200 м – зеленою фарбою ("чим нижче, тим темніше"). Спосіб застосовується на картах масштабом 1: 1 500 000 і дрібніше.

Крім горизонталей на топографічних картах і планах також зображуються висотні позначки.

6.2.5. Подання рельєфу за допомогою позначок

Зображення рельєфу горизонталями доповнюється підписами абсолютних висот, характерних точок місцевості, деяких горизонталей, а також числових характеристик деталей рельєфу – висоти або глибини, ширини (рис. 6.27).

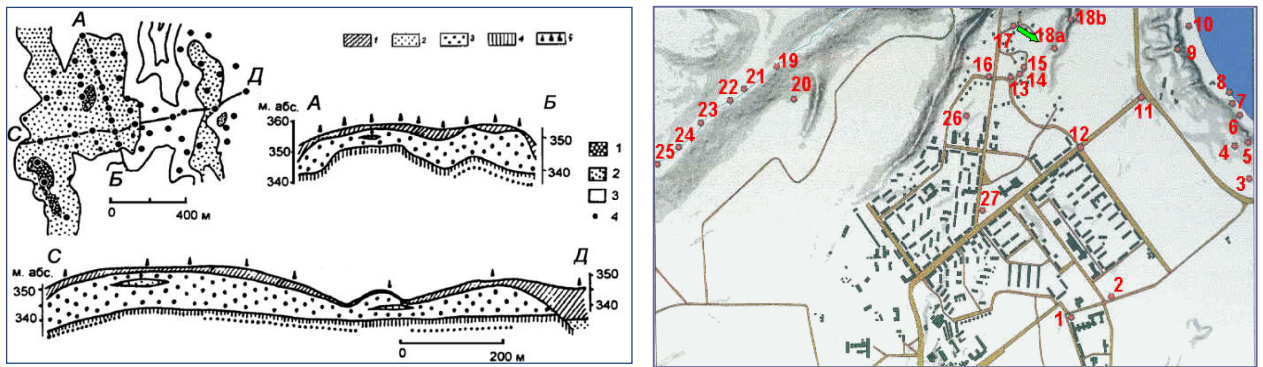


Рис. 6.27. Зображення рельєфу за допомогою позначок

Сьогодні існують різноманітні способи виготовлення рельєфних карт і навіть глобусів (рис. 6.28).



Рис. 6.28. Зображення рельєфу на карті та глобусі

Найдосконалішою є пластикова карта, де рельєф видавлений з виготовленої форми під спеціальним пресом. Такі карти наочно передають зображену місцевість і досить широко використовуються в процесі навчання. Однак рельєфні карти не дуже зручні у вжитку, вони не можуть бути відтворені в книзі, їх неможливо згорнути або покласти в кишеню, взяти у подорож. Крім того, вони не настільки природні, як це може здаватись на перший погляд. Справа в тому, що на рельєфній карті вертикальний масштаб повинен бути завжди значно більше горизонтального. Щоб переконатися в цьому, виконаємо нескладні розрахунки.

Наприклад, для більшості території Чернігівської області середня різниця абсолютних висот на карті масштабу 1:100 000 не перевищує 100 м, що становить у масштабі карти всього 1,0 мм. Зрозуміло, що таку величину буде досить складно візуально розрізнити. Щоб рельєфна карта була наочною, потрібно збільшити її масштаб щонайменше в 10 разів, тобто зробити його 1:10 000. У цьому масштабі 100 м складуть 1,0 см, що вже дозволить відчутти рельєф поверхні.

Очевидним є те, що чим менший масштаб карти, тим більш істотного збільшення вимагає вертикальний масштаб порівняно з горизонтальним. Особливо великі викривлення спостерігаються на рельєфних глобусах. Такий посібник спотворює уявлення про земну поверхню. Якщо до наведеного додати порівняно велику вартість виготовлення рельєфних карт, то можна зрозуміти, чому вони не такі популярні, як звичайні карти.

Пластичне зображення рельєфу на карті можна також отримати, використовуючи *світлотіньові горизонталі* (спосіб Пауліні або освітлених горизонталей). Зацікавленість до цього способу, що був запропонований ще в XIX ст., проявляється і сьогодні. У 1980 р. в СРСР була випущена карта "Рельєф дна Світового океану" в масштабі 1:25 млн, на якій він отримав застосування. На цій карті (рис. 6.29) на блакитному фоні океанів і морів горизонталі, обернені на північний захід, показані світлими, а обернені в протилежний бік – темними (синіми). Залежно від експозиції схилу товщина горизонталі змінюється.

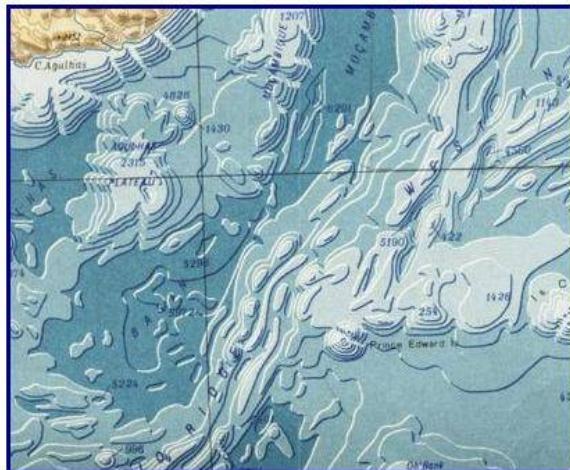


Рис. 6.29. Світлотіньові горизонталі

7. СПОСОБИ ЦИФРОВОГО МОДЕЛЮВАННЯ ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ В ГІС

Однією з істотних переваг ГІС надзвичайними "наперовими" картографічними методами досліджень є можливість створення тривимірних просторових моделей.

Моделлю в математиці прийнято називати будь-яку безліч об'єктів, на якій визначені ті або інші предикати [130].

Цифрові моделі рельєфу (ЦМР) – це особливий вид тривимірних моделей, що надають відображення рельєфу за допомогою поверхонь. Крім рельєфу, поверхнями можуть подаватись температура, тиск, вологість, опади, геофізичні поля (магнітні та електричні поля Землі), полютанти тощо. Усі ці поверхні іноді об'єднують одним терміном – геополя.

Земля має досить складну форму, тому для її відображення в ЦММ необхідно використовувати велику кількість точок із просторовими даними. Це зумовлює існування різноманітних математичних моделей поверхні.

7.1. Загальні відомості про цифрове моделювання земної поверхні

Під цифровою моделлю будь-якого геооб'єкта розуміють певну форму подання вихідних даних і спосіб їх структурного опису, що дозволяє обчислити (відновити) об'єкт шляхом інтерполяції, апроксимації або екстраполяції [93].

Сьогодні існує певна термінологічна неоднозначність в англійських назвах продукції, що містить висотне подання земної поверхні, зокрема по цифрових моделях поверхні (ЦМП) та цифрових моделях рельєфу (ЦМР). Англійськими аналогами понять ЦМП та ЦМР прийнято вважати DSM (Digital Surface Model) та DTM (Digital Terrain Model).

DSM – висота видимої поверхні (цифрова модель місцевості (ЦММ), що відображає природний рельєф місцевості з рослинністю та різноманітними штучними перешкодами (будинками, деревами тощо), також відредаговані на моделі водні об'єкти, присвоєні їм однакові значення висоти), (рис. 7.1).

DTM – точного визначення не існує, в деяких випадках розглядається аналогічно ЦМР (рис. 7.1).

DEM – висота рельєфу (цифрова модель рельєфу (ЦМР), що відображає природний рельєф місцевості).

Перша модель включає в себе висоти всіх точок на земній поверхні, а друга – висоти рельєфу або, як доповнення, висоти окремих об'єктів місцевості. Одночасно і перша, і друга моделі є DEM (Digital Elevation Model) [80].

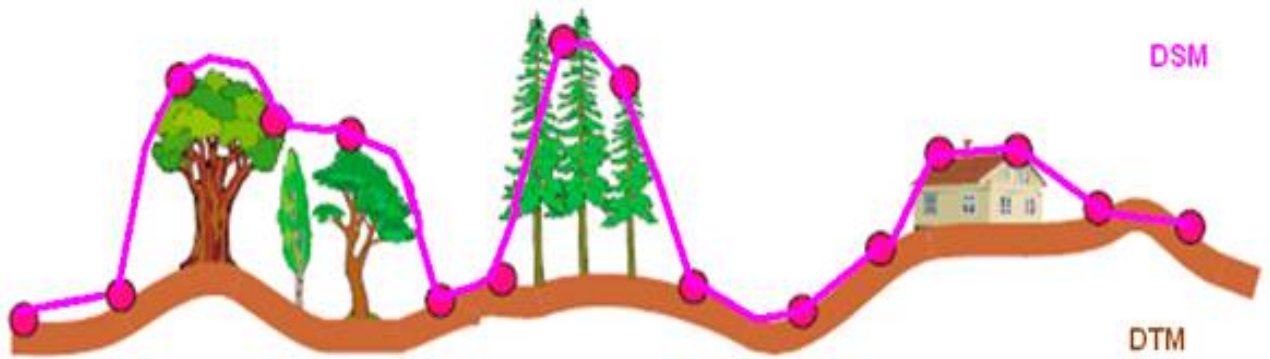


Рис. 7.1. Основні види висотної інформації

Крім того, на думку деяких авторів [42; 93], термін "цифрова модель" взагалі є "калькою" англійського "digital model" і не є дуже вдалим, оскільки не відображує реалії моделювання. Цікаво, що в болгарській науковій літературі використовується термін "чисельна модель рельєфу", замість нашого "цифрова модель рельєфу" й англійського "digital elevation model". Такий переклад вдало передає зміст, хоча й викликає певні асоціації з деякими термінами прикладної математики (чисельний аналіз, чисельні методи тощо). Однак, незважаючи на це, термін "цифрові моделі" міцно прижився в науковій літературі, тому недоцільно від нього відмовлятися.

Цифрова модель поверхні (ЦМП) (digital model, DM) – це інформаційна дискретна модель поверхні, що сформована для обробки на комп'ютері.

ЦМП, записана на машинний носій у певних структурах і кодах, являє собою електронну карту.

Визначальним у назві "цифрова модель" є те, що вона сформована в цифровому коді, який сприймає комп'ютер і може на цій основі здійснювати обробку даних.

При розв'язанні задач за допомогою комп'ютера застосовують математичну інтерпретацію цифрових моделей, яку називають *математичною моделлю місцевості* (МММ). Автоматизоване проектування на основі ЦМП і МММ скорочує витрати праці і часу в десятки разів порівняно з використанням для цих цілей паперових топографічних карт і планів.

Цифрові моделі поверхонь містять різні типи інформації (рис. 7.2) [77; 78].

За аспектом просторових відношень виділяють *метричну* й *атрибутивну* типи інформації.

Метрична інформація визначає положення шляхом завдання абсолютних координат точок ЦМП і розмірів об'єкта шляхом відносних координат точок в умовних або місцевих системах координат. Характерною рисою метричної інформації ЦМП, отриманих за реальними вимірами, є характеристика точності. Вона обумовлена похибками вимірів і наступними похибками обчислень. Цей параметр визначає можливість застосування ЦМП при розв'язку практичних задач у різних масштабах.

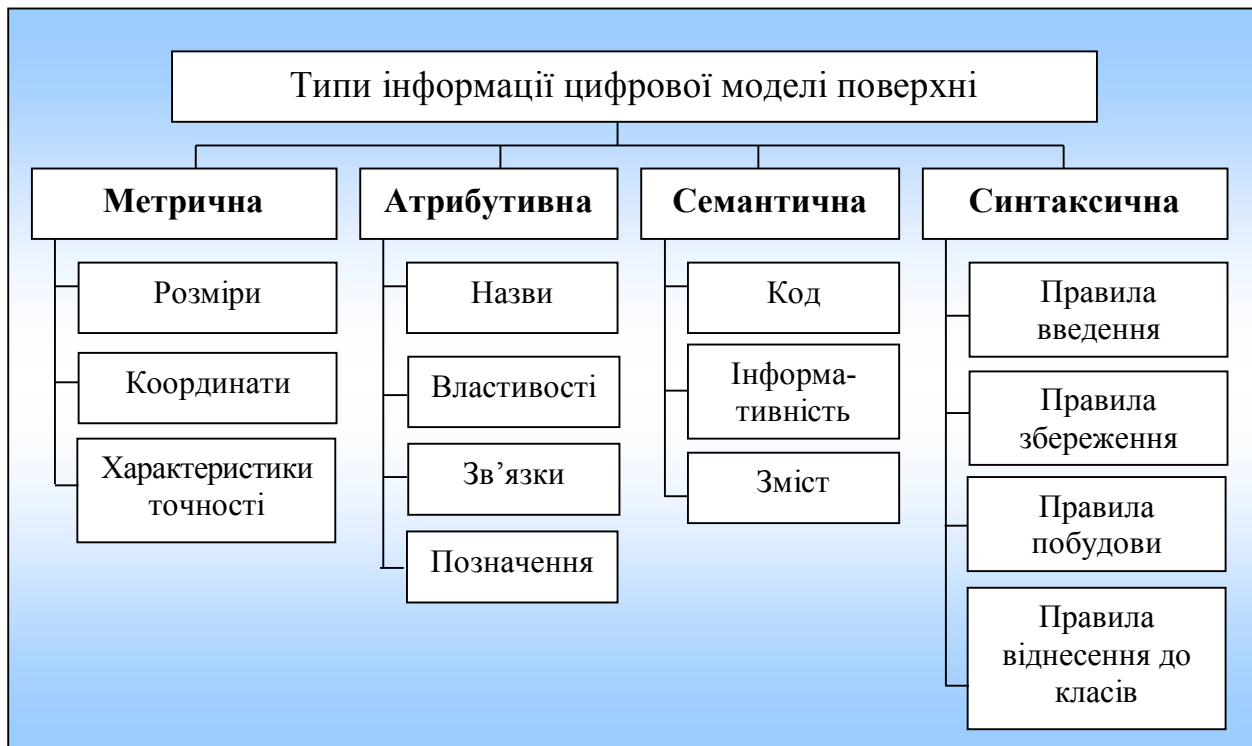


Рис. 7.2. Основні типи інформації в цифровій моделі

Атрибутивна інформація в ЦМП визначає приналежність точок або об'єктів до певного класу або об'єкту (складний або простий об'єкт), описує властивості об'єктів і їх частин, задає взаємозв'язки й умови обробки, умови відтворення тощо. Вона розв'язує головну задачу знаходження просторових відношень.

Семіотичний аспект дозволяє розглядувати ЦМП як інформаційну модель, вводити у відомі в інформатиці оцінки коефіцієнт інформативності і коефіцієнт змістовності цифрової моделі.

За аспектом семіотичного аналізу виділяють *семантичну* і *синтаксичну* складові. Семантична частина інформації визначає її змістовну сторону, вона пов'язана з кодуванням даних.

Синтаксична частина інформації визначає набір правил і відношень роботи з цифровою моделлю як зі звичайною інформаційною моделлю. Вона пов'язана з класифікацією і правилами побудови моделей.

Аспект розгляду структури цифрової моделі дозволяє виділити в ній *логічну* і *фізичну* структури [78] (рис. 7.3).

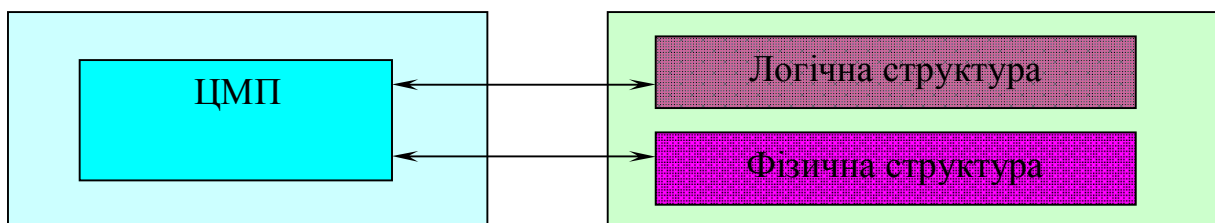


Рис. 7.3. Компоненти ЦМП

Логічна структура ЦМП (рис. 7.4) визначається як сукупність схем і логічних записів, що описують дану ЦМП.

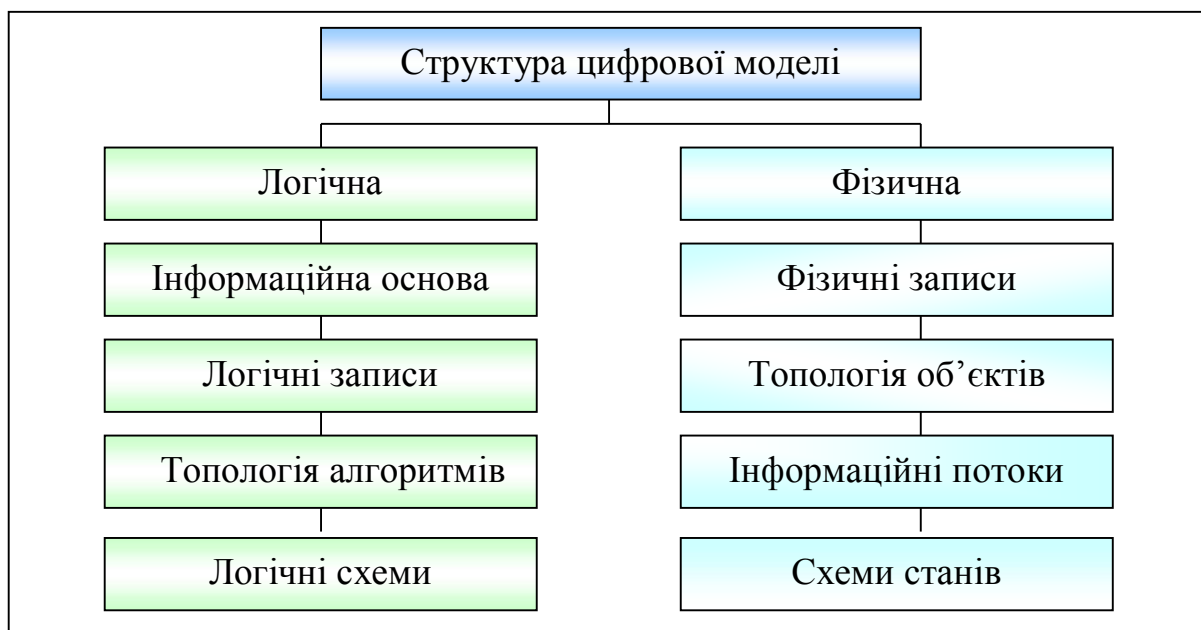


Рис. 7.4. Логічна і фізична структура цифрової моделі поверхні

Вона може включати схеми взаємозв'язку частин ЦМП в натурі, в базі даних, схеми взаємозв'язку властивостей ЦМП і схеми побудови ЦМП, містить логічні записи, що складають інформаційну основу. Елементом логічної структури ЦМП є логічний запис.

Логічна структура ЦМП описується об'єктною моделлю даних ГІС і створюється з урахуванням особливостей властивостей об'єктів, що мають координати, кількісний, якісний вираз, геометричну форму, характеристики взаємного розташування і взаємного впливу. Тому базовими є просторові характеристики геооб'єктів – геометричний опис форми у певному координатному просторі. Такі характеристики, як відомо, називають *геометрією*.

З точки зору геометричного моделювання всі моделі поділяються на точкові, лінійні, полігональні та поверхні. Всі об'єкти, що створюються в системі, незалежно від їх типу та інформаційного наповнення, належать до однієї з цих моделей.

Фізична структура ЦМП визначається способом реалізації логічної ЦМП на конкретній технічній основі. Вона задає формат запису даних, розміри кластерів, слів тощо. Елементом фізичної структури ЦМП є фізичний запис.

Ці дві частини є відповідністю даталогічної і фізичної моделей. Таким чином, **ЦМП – це комп'ютерно-орієнтована модель і модель, що об'єднує даталогічну і фізичну моделі.**

ЦМП являє собою інформаційно-математичну модель, що поєднує природно-ресурсні геоінформаційні моделі територій на найнижчому природно-компонентному рівні і включає формальний опис та подання всіх природних елементів території (рельєфу, гідрологічної мережі, ландшафту тощо).

ЦМП – це передусім просторовий каркас, що слугує основою для розв’язку низки задач, а тому ЦМП повинна створювати можливості для побудови й візуалізації аналітичної тривимірної топографічної поверхні та математичний апарат моделювання процесів у тривимірному геопросторі.

Цифрова модель місцевості – упорядкований список вихідних даних (цифр), призначений для математичного моделювання місцевості.

У розв’язанні тих або інших задач використовують або планову частину відповідної карти, або висотну. Аналогічно в складі цифрової моделі місцевості можна виділити *цифрову модель об’єктів* (ситуації, контурів) і *цифрову модель рельєфу*.

Цифрова модель об’єктів (ЦМО) – сукупність інформації про планове положення, характеристики об’єктів і зв’язки між ними.

Іноді в технічній літературі її називають також цифровою моделлю ситуації (ЦМС) або контурів (ЦМК).

Цифрова модель рельєфу (ЦМР) – інформація про рельєф місцевості, що поданий сукупністю точок з відомими координатами і висотами, зв’язків між ними і способу визначення висот нових точок по їх відомих планових координатах.

Земля має досить складну форму, тому для її відображення в ЦММ необхідно використовувати велику кількість точок із просторовими даними. Це зумовлює існування різноманітних *математичних моделей поверхні*, вибір серед яких оптимальної для подання моделі місцевості є важливою проблемою цифрового моделювання.

Цифрова модель поверхні (ЦМП) припускає, що для кожної точки усередині області визначення поверхні можна однозначно визначити значення рівня в цій точці. При цьому треба розрізняти *цифрові моделі поверхонь і форми їх подання*. На відміну від цифрових моделей, форми подання безперервних поверхонь орієнтовані на візуальне подання.

Прикладами безперервних поверхонь можуть слугувати рельєф місцевості, розподіл температур, тиску, вологості, забруднення, щільності населення, тварин, рослин, мінералів, корисних копалин, геофізичні поля (магнітні, електричні поля Землі) тощо. Усі ці поверхні іноді називають загальним терміном – *географічні поля* або просто *геополя*.

Рівняння поверхонь поділяють на два основних типи. До першого типу відносять *параметричні рівняння*, що зв’язують значення координат x , y і z зі значеннями параметру. До другого – *непараметричні рівняння*, що зв’язують координати x , y та z безпосередньо одну з одною будь-якою функцією.

Безперервні поверхні визначаються множиною точок, координати яких задовольняють певному виду рівнянь:

$$F(x, y, z) = 0, \quad (7.1)$$

де x, y, z – координати буд-якої точки поверхні.

Таким чином, ми розглядаємо поверхню як множину точок простору, координати яких задовольняють рівняння (7.1), і кажемо, що це рівняння визначає поверхню. Наприклад, рівняння:

$$(x - a)^2 + (y - b)^2 + (z - c)^2 - R^2 = 0,$$

визначає поверхню сфери радіуса R з центром у точці $C(a, b, c)$ (рис. 7.5).

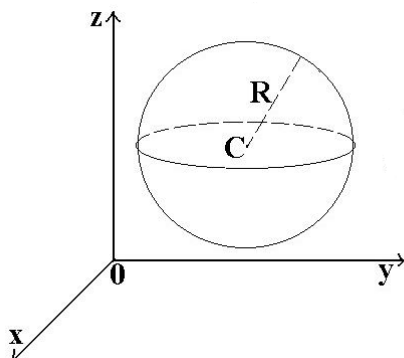


Рис. 7.5. Поверхня сфери радіуса R з центром у точці C

Крім зазначеного вище *неявного* способу завдання поверхні, вона може визначатись *явно*, якщо одну зі змінних, наприклад z , виразити через інші:

$$z = f(x, y).$$

Також існує параметричний спосіб завдання поверхні. В цьому випадку поверхня визначається системою рівнянь:

$$(x, y, z) = F(u, v) \quad \text{або} \quad \begin{cases} x = x(u, v) \\ y = y(u, v), \text{ де } (u, v) \in [0, 1]. \\ z = z(u, v). \end{cases}$$

Параметричні поверхні широко використовуються для подання складних поверхонь. Коли поверхня параметризована, то її зручно обробляти та відображати.

Поверхні є тривимірними об'єктами, або як кажуть, 3D-об'єктами, який подається не тільки плановими координатами x , y , але й третьою координатою (аплікатою) – z , тобто трійкою координат.

На рис. 7.6, як приклад безперервної поверхні, представлений розподіл температур Світового океану.

У програмному забезпеченні сучасних ГІС відсутні стандартні методи подання поверхонь, тому поверхні зображуються наявними графічними примітивами у вигляді *точок*, *ліній* і *полігонів* (площинними об'єктами) з наступною їх *інтерполяцією*, *апроксимацією*, *екстраполяцією*, *3D-модельюванням* тощо.

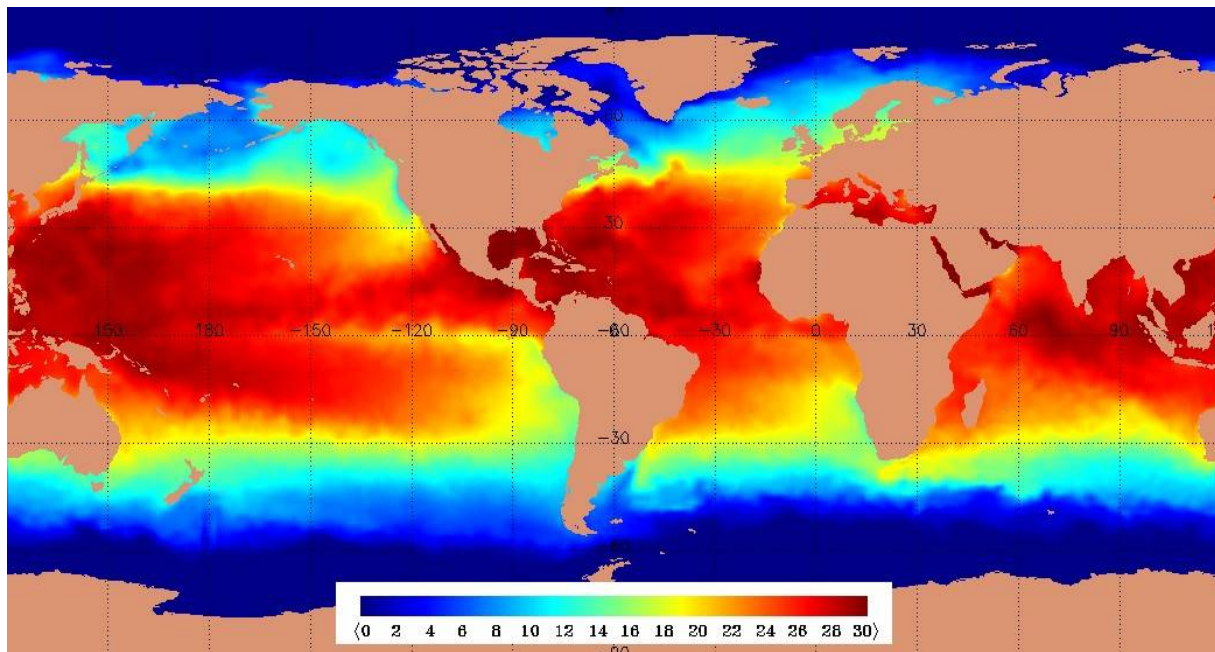


Рис. 7.6. Поверхня розподілу температур Світового океану

7.2. Способи подання поверхонь у ГІС

Для побудови тривимірних моделей поверхонь вихідною кількісною інформацією слугують дані про цю поверхню, а саме координати масиву точок x , y , z . Величину z не обов'язково асоціювати тільки з висотою рельєфу місцевості. Її можна трактувати як статистичне подання величин, що характеризують просторове розповсюдження об'єктів або явищ, наприклад, атмосферний тиск, температуру, вологість забруднення тощо.

Існують два основних способи подання тривимірних моделей у ГІС – за допомогою псевдотривимірних моделей і за допомогою 3D моделей.

Ще 15–20 років тому 95 % всіх поширених ГІС були двомірними. З нарощуванням потужностей обчислювальних засобів спочатку стали з'являтися, а потім і широко розповсюдилися тривимірні ГІС.

Серед фахівців іноді вживається визначення як "2,5D ГІС" або псевдотривимірні ГІС. "2,5-мірність" означає те, що тривимірний об'єкт коректно моделюється в плані (осі X , Y), а по вертикалі йому задається тільки одне значення Z , що не може змінюватися в певних межах вільним чином. Так, будинок із двосхилим дахом не може бути змодельований системою, а будинок із плоским дахом моделюється цілком успішно. Гора – гострий пік – зображується на 3D-карті нереалістично, а гора із плоскою вершиною – коректно.

Тривимірні ГІС дозволяють створювати в середовищі тривимірного простору об'єкти будь-якої складності: рельєф в усіх деталях, архітектурні будівлі, дорожні конструкції, навіть дерева й автомобілі тощо. При цьому важливо зрозуміти відмінність тривимірних ГІС від інтерактивних тренажерів або симуляторів, які часто застосовуються, наприклад, у комп'ютерних іграх.

7.2.1. Псевдотривимірний спосіб подання поверхонь у ГІС

Псевдотривимірний спосіб подання поверхонь заснований на тому, що створюється структура даних, у якій значення третьої координати Z (зазвичай висоти) кожної точки (X, Y) записується як атрибут. При цьому значення Z може бути використано для створення зображень тривимірних об'єктів. Оскільки це не істинне тривимірне подання, його часто іменують *2,5-вимірним* (два з половиною-вимірні). Такі 2,5-вимірні моделі дають можливість ефективного розв'язання низки завдань: подання рельєфу й інших безперервних поверхонь; розрахунок моделі перспективи для будь-якої заданої точки огляду; "натягання" додаткових шарів на поверхню з використанням кольору і світлових ефектів; візуальне перетворення одних класів даних на інші (наприклад, об'ємний шар промислових викидів перетворити в зображення екологічної карти і результуючої карти впливу на навколишню рослинність); створення динамічної моделі "польоту" над територією тощо.

За способом розміщення вихідної інформації і правил її обробки на комп'ютері, ЦММ поділяються на три типи [130]:

- з *регулярним розташуванням точок* на прямокутних, трикутних (рис. 7.7 а, б) і гексагональних сітках (GRID);
- з *нерегулярним поданням точок* по структурних лініях (рис. 7.7 в), профілях, центрах майданчиків, локальних точках, випадкових сітках тощо (TIN);
- з *ізолінійним поданням точок*, що розташовані рівномірно на ізолініях, або з урахуванням їх кривизни горизонталей вихідної топографічної карти (TGRID) (рис. 7.8).

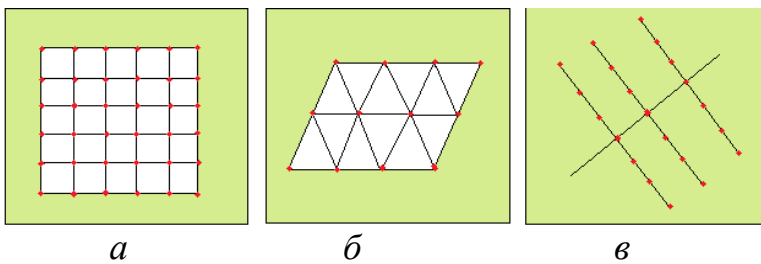


Рис. 7.7. Способи регулярного подання вихідної інформації для створення ЦММ

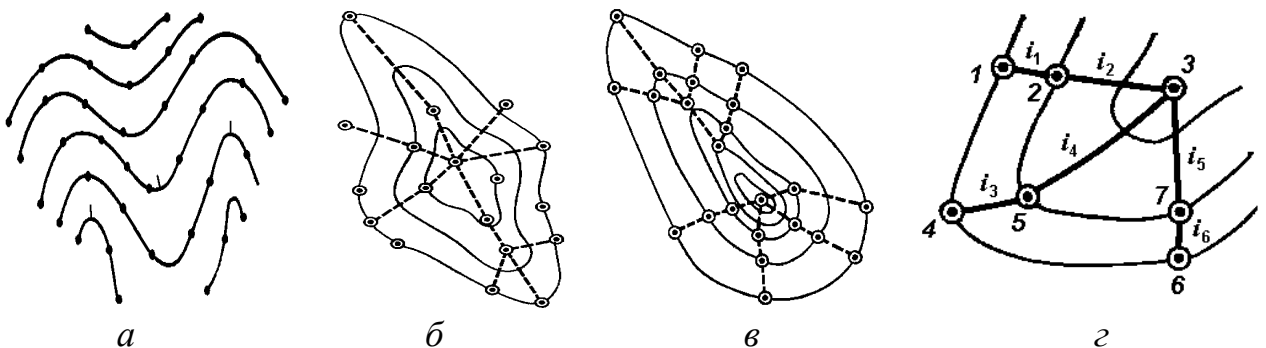


Рис. 7.8. Способи розміщення вихідної інформації для створення ЦММ

Регулярна мережа (масив, сітка, GRID) – це цифрова модель поверхні, в основу якої покладена мережа (сітка) точок, кожній з яких відповідає значення рівня поля в цій точці, причому точки розташовані в певній регулярній формі і заданий спосіб обчислення значень рівнів між вузлами сітки.

На практиці перевага віддається мережі з регулярним розташуванням точок з квадратною або прямокутною комірками, через простоту математичної обробки й отримання похідних показників. Наприклад, для опису геометрії регулярної мережі з квадратними комірками (рис. 7.9) необхідно визначити:

- x_0 – вихідне значення X -координати мережі;
- y_0 – вихідне значення Y -координати мережі;
- s_x – кількість вузлів по осі X (ширина);
- s_y – кількість вузлів по осі Y (висота);
- d – відстань між вузлами.

При збереженні регулярної мережі (в оперативній пам'яті або в файлах на жорсткому диску) можна зберігати тільки значення рівня z , оскільки значення координат x і y можна легко обчислити за геометрією мережі, знаючи номер комірки.

За способом обчислення значення рівнів поля між вузлами мережі розрізняють *решітчасті* і *комірчасті* (растрові) мережі (рис. 7.10).

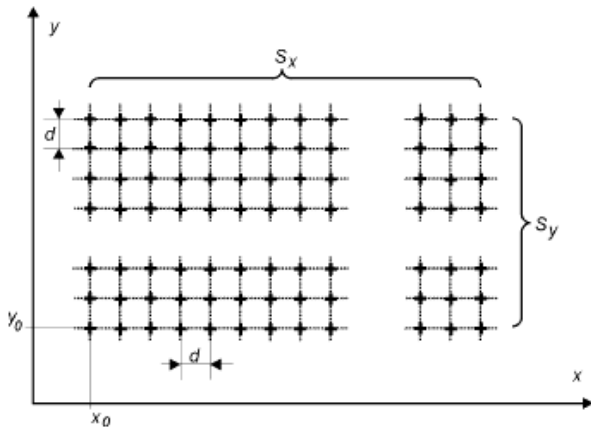


Рис. 7.9. Геометрія регулярної сітки з квадратною коміркою

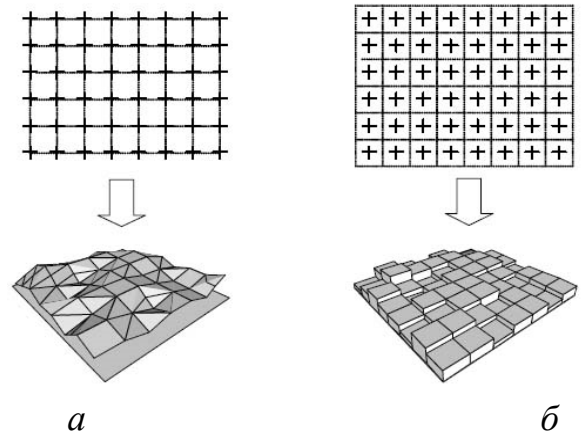


Рис. 7.10. Типи регулярних сіток: а – решітчаста, б – комірчаста мережа

У першій з них значення інтерполюються за даними висот у сусідніх точках, друга ж модель розглядає точки як центри комірок з постійним z значенням. Точність решітчастої моделі вище, ніж комірчастої (рис. 7.11). Проте ці моделі мають й недоліки, головний з яких – збільшення кількості точок (порівняно з другим типом), необхідних для точного завдання геополя.

На основі регулярного масиву даних x, y, z можливе проведення великої кількості аналітичних процедур, а також побудова різних видів графічних відображень поверхонь: ізолінійних зображень, блок-діаграм, напівтонових або градієнтних зображень.

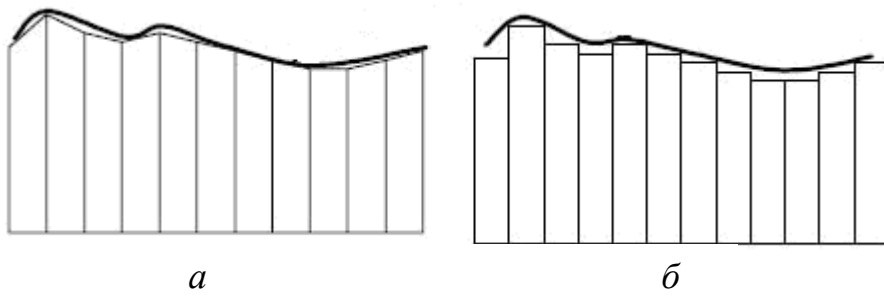


Рис. 7.11. Точність відновлення поверхні різними типами регулярних мереж:
а – решітчасті; *б* – комірчасті

До псевдотривимірного способу подання поверхонь відносять моделі GRID (рис. 7.12 *а*), TIN, коли поверхня будується за допомогою трикутників (рис. 7.12 *б*) або багатокутників (полігони Тиссена, полігони Вороного) та моделі, побудовані за допомогою ізоліній (рис. 7.12 *в*). Кожен із зазначених методів має позитивні та негативні характеристики.

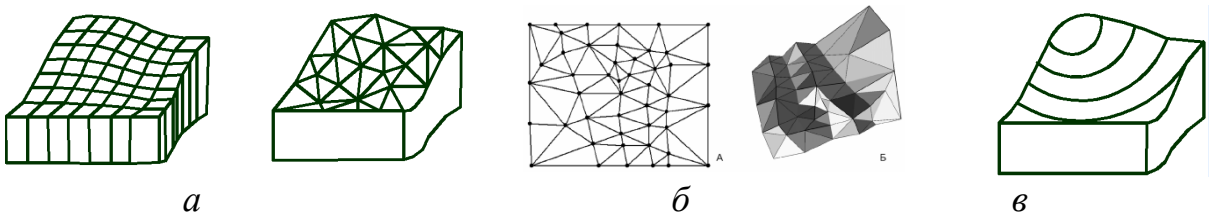


Рис. 7.12. Псевдотривимірні моделі подання поверхонь:
а – GRID подання; *б* – TIN-модель; *в* – подання поверхні ізолініями

GRID-моделі – найбільш популярний спосіб опису поверхонь. Подання ґрунтується на *регулярній сітці комірок* (regular grid), у вузлах якої задаються значення поля (рис. 7.13).

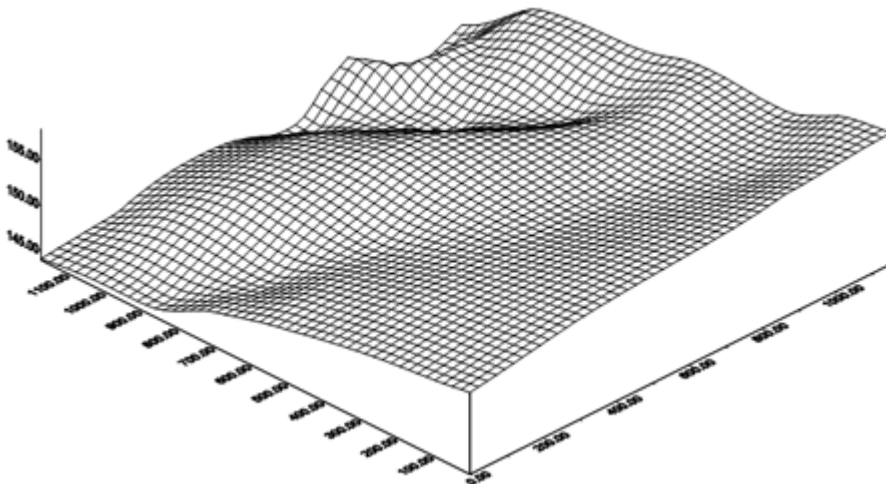


Рис. 7.13. GRID-модель поверхні

За суттю подання поверхні способом GRID – це растровий підхід і його точність залежить від розміру комірки растра. Зменшуючи розмір, можна більш точно описати поверхні. Однак при зменшенні кроку сітки у 2 рази, кількість вузлів збільшується в 4, тобто збільшується й об'єм даних, необхідний для їх збереження.

До переваг даної моделі можна віднести швидке комп'ютерне опрацювання, відносно просте зберігання і маніпулювання даними, легку інтеграцію з растровими моделями, отриманий рельєф місцевості плавний і має більш природний вигляд.

До недоліків GRID подання відносять неможливість використання різних розмірів сітки з урахуванням для побудови рельєфу різної складності.

TIN-моделі (від англ. *triangulated irregular network* – TIN) – векторний спосіб подання поверхні за допомогою триангуляційної нерегулярної мережі, коли зображення формується з трикутників або багатокутників (полігони Тиссена, полігони Вороного).

Триангуляція – це процес створення суміжних трикутників, що не перетинаються і вершинами яких є точки.

Нерегулярні трикутні сітки (рис. 7.12 б) є надзвичайно ефективними для побудови поверхонь. Найчастіше використовується триангуляція за критерієм Делоне (рис. 7.14): окружність, проведена через три вершини будь-якого трикутника не повинна містити в собі жодних інших точок.

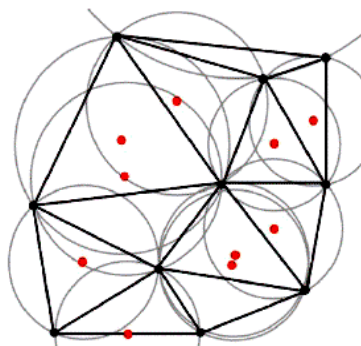


Рис. 7.14. Побудова TIN-моделі за критерієм Делоне

Порівняно з *грідом*, TIN більш чітко висвітлює області з високим градієнтом поля, крутизною поверхні. Це стає можливим завдяки використанню нерегулярної мережі – в областях високого градієнта кількість трикутників збільшується, а їх розмір зменшується. TIN точніше моделює природні деталі поверхні (берегова лінія, хребти, водотоки, вершини). На жаль, за допомогою TIN-моделі (втім, як і ґріда) не можна відобразити від'ємні, нависаючі стіни, печери.

TIN-модель складається з точок (вузлів), кожній з яких відповідає значення параметра. Значення параметра між точками може бути обчислене. Точки з'єднуються (рис. 7.15, 7.16) відрізками (ребрами) в трикутники (грані). Грані стикуються без перекриття і просвітів. Таким чином, утворюється безперервна тривимірна поверхня. При побудові TIN обчислюються і заносяться

в таблицю атрибутів такі величини: висота або значення поля – для точок; ухил або ступінь градієнта – для граней; аспект, тобто розташування схилу – для граней. Це полегшує морфометричний аналіз, дає змогу побудувати профілі тощо.

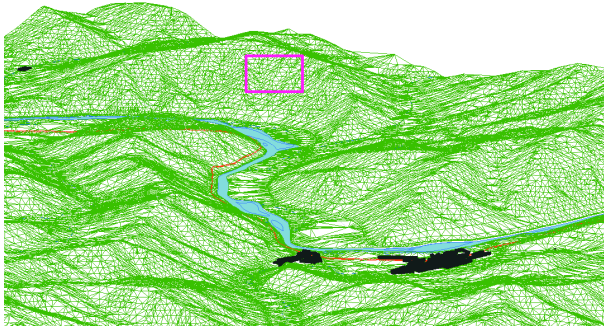


Рис. 7.15. Тривимірна модель поверхні, що побудована на основі нерегулярної триангуляційної мережі

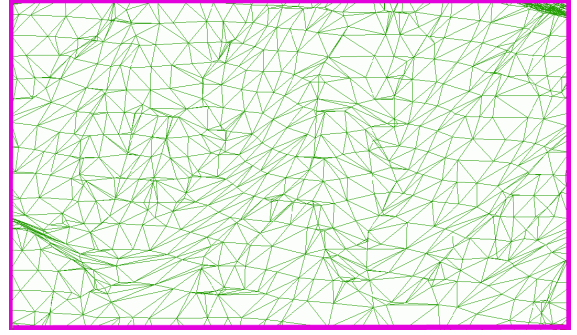


Рис. 7.16. Збільшений фрагмент моделі рельєфу, який показує трикутну структуру моделі TIN

TGRID (triangulated grid) – модель, що поєднує в собі елементи моделей TIN та GRID.

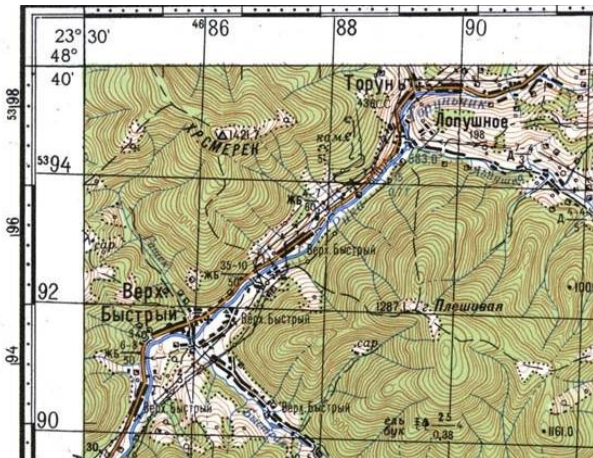
Ізолінії це форма подання поверхонь. *Ізолінії – це лінії певного рівня, що представляють собою горизонтальні перетини поверхні.*

Перетини можуть здійснюватись як з рівним кроком, так і з довільним. У ГІС для опису ізоліній використовується графічний примітив – *лінія*. Кожній такій лінії як атрибут ставиться висота (значення) ізолінії.

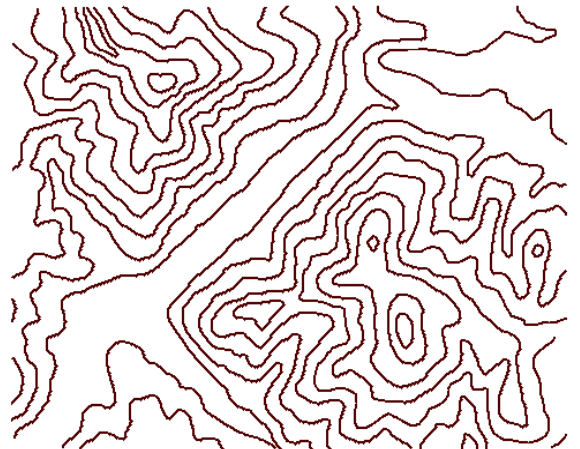
Як приклад, на рис. 7.17 а зображено частину топографічної карти з горизонталями в системі координат 1942 року. А на рис. 7.17 б – вже оцифровані горизонталі.

Система координат 1942 р.

УРСР Закарпатська й Івано-Франківська обл.



а



б

Рис. 7.17. Топографічна карта з оцифрованими головними горизонталями

Подання поверхні ізолініями представлено на рис. 7.18 а. Різновидом ізолінійного способу є подання поверхонь у вигляді ізоконтурів (смугових контурів). Ізоконтури – це області, обмежені двома сусідніми ізолініями (рис. 7.18 б).

При цьому область визначення поверхні поділяється на дискретний набір зон, де кожна зона є ізоконтуром. У ГІС для опису ізоконтурів використовуються площинні примітиви – *полігони*.

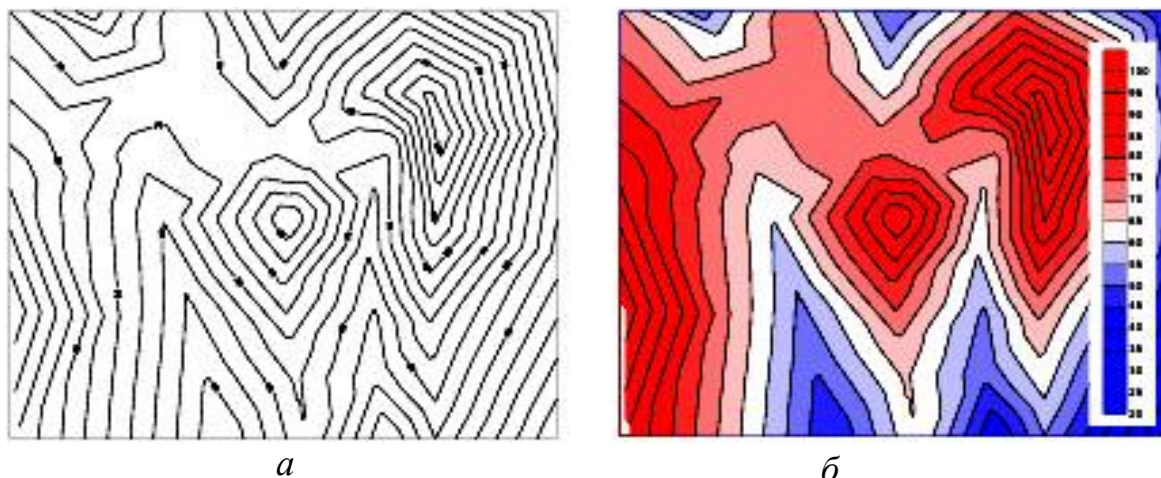


Рис. 7.18. Подання поверхні ізолініями (а) й ізоконтурами (б)

Кожному полігону атрибутами виступають початковий і кінцевий рівні. Для візуалізації регулярних сіток (гридів) у вигляді цифрових карт також використовують растровий спосіб.

Сутність підходу полягає у зіставленні кожному вузлу сітки пікселя певного кольору. При цьому використовується градієнтне фарбування (рис. 7.19).

Значення поля в кожній точці інтерполюється на основі сусідніх точок. При цьому обов'язково повинна бути шкала градієнтного фарбування.

На рис. 7.20 представлена Тривимірна візуалізація рельєфу способом TIN (а) і GRID (б).

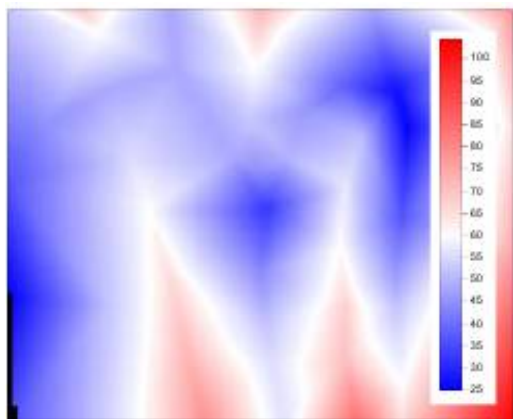


Рис. 7.19. Растровий спосіб візуалізації регулярних сіток

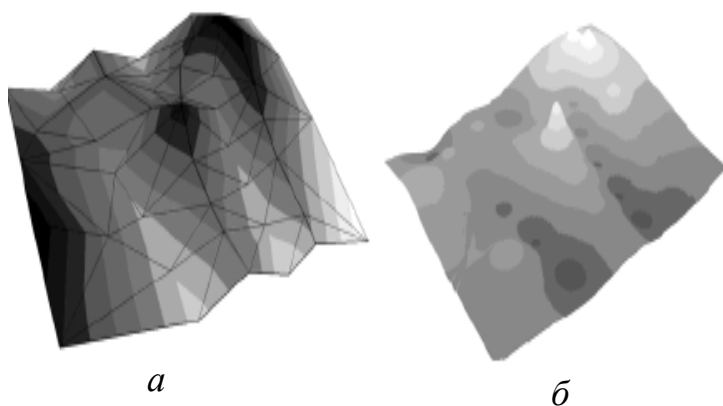


Рис. 7.20. Тривимірна візуалізація рельєфу способом TIN (а) і GRID (б).

7.2.2. Тривимірний спосіб подання поверхонь у ГІС

Цей спосіб подання поверхонь передбачає *створення істинних тривимірних об'єктів* – структур даних, у яких місце розташування фіксується в трьох вимірах (X , Y , Z). У цьому випадку Z – не атрибут, а елемент місця розташування точки. Такий підхід дозволяє реєструвати дані в декількох точках з однаковими координатами X_n Y_n , наприклад, при зондуванні атмосфери або при визначенні об'ємів гірських виробок.

Застосування тривимірних моделей дозволяє наочно зображувати (візуалізувати) об'єми і розв'язувати задачі, пов'язані з їх моделюванням, по-новому розв'язувати задачі проектування жилої забудови, розміщення об'єктів побутового і господарського призначення в муніципальних системах, створювати нові типи тривимірних умовних знаків, розширювати можливості ГІС, як системи підтримки і прийняття рішень, виконувати синтез тривимірних структур тощо. Прикладом подібної розробки може слугувати ГІС *Star informatic* для розв'язання задач міського планування і задач урбанізації, що розроблена фахівцями із Бельгії і Великої Британії (фірма *Star*).

Тривимірних ГІС на ринку програмного на сьогодні не дуже багато. Першою і треба відзначити вдалою спробою створення такої системи є розробка фірми *ERDAS* під назвою *Virtual GIS*. Причому сама фірма, не будучи розробником програмного забезпечення для ГІС, прагла розширити можливості своєї системи обробки растрових геокодованих зображень (зокрема, аерофото- або космічних знімків). Потім практично одночасно обидва "законодавця мод" у сфері двовимірних ГІС – американські компанії *ESRI* і *MapInfo* – випустили програмні модулі відповідно під назвою *3D Analyst* і *Vertical Mapper* для своїх базових продуктів *ArcView* і *MapInfo*.

Згодом модулі тривимірного моделювання з'явилися у ГІС *SICAD* (*Siemens*), *MGE* (*Intergraph*), російських ГІС "Нева" і "Панорама" та української *K-MINE*.

ГІС ArcInfo з модулем *3D Analyst* є найбільш потужною і повнофункціональною тривимірною системою, яка в принципі не поділяє світ на тривимірний і двовимірний й однаково добре обробляє всі об'єкти. *3D Analyst* використовує для опису земної поверхні два типи моделей – регулярну і нерегулярну. Регулярна (*GRID*) слугує для опису геоприв'язаного растрового зображення. За допомогою нерегулярної моделі (*TIN*) створюються поверхні у вигляді трикутників, що примикають один до одного (триангуляція). Усі інші тривимірні об'єкти, які розміщуються над моделлю рельєфу, повинні задаватись у векторній формі так, щоб у кожній вершині зберігались координати X , Y , Z .

За змодельованими поверхнями *3D Analyst* може розрахувати та візуалізувати висоти точок, профілі, ізолінії, рельєф з відмивкою, лінії найбільших ухилів, обчислювати об'єми між заданими поверхнями, що дозволяє, наприклад, розраховувати насипи, виїмки тощо.

ГІС MapInfo з модулем Vertical Mapper з'явилося дещо пізніше від продукту ESRI – ArcInfo. Власне, розробником і носієм торгової марки продукту Vertical Mapper є канадська компанія Northwood Technologies, добре відома на ринку програмного забезпечення для планування стільникового зв'язку. Поява Vertical Mapper обумовлена вимогами ринку отримати тривимірні методи обробки і візуалізації в середовищі відомої двовимірної ГІС MapInfo. Характерно, що для версії Vertical Mapper 2,5 тривимірний модуль відображує тільки рельєф, а не привнесені об'єкти. Наприклад, тривимірний об'єкт у вигляді дерева з гілками і листочками, побудований в AutoCAD, не можна "посадити" на земному ландшафті за допомогою Vertical Mapper. Побудова 2,5-вимірної сцени можлива, але в реальності вертикальні стінки можуть бути трохи нахиленими. Взагалі потрібно відзначити, що відносна простота MapInfo (порівняно з продуктами ESRI) приводить до різкого ускладнення додаткових модулів і введенню додаткових типів моделей даних. Так, GRID (модель регулярної сітки з прив'язкою вузлів до бази даних), будучи базовим поняттям в ArcView, відсутнє в MapInfo і вводиться тільки в Vertical Mapper. Разом з тим помірна ціна і доволі розвинений інструментарій моделювання рельєфних поверхонь робить Vertical Mapper доволі популярним продуктом.

ГІС ERDAS з модулем Virtual GIS є однією з найбільш вражаючих з образотворчої точки зору. Від Vertical Mapper і 3D Analyst цей пакет відрізняється істотно більшою швидкістю відображення і дійсною тривимірністю. Модуль орієнтований на показ відносно великих растрових зображень, нанесених на рельєф, і одночасно будь-яких геоінформаційних шарів, імпортованих з ArcView. Крім того, навіть найскладніший об'єкт, наприклад, літак, створений у зовнішньому середовищі (наприклад, в 3D Studio), може бути успішно завантажений у будь-яку точку над змодельованим рельєфом. Vertical Mapper і 3D Analyst не працюють з текстурами, нанесеними на будівлі, а Virtual GIS це доволі успішно робить. Розробники передбачливо внесли в продукт тривимірний курсор для зручності вибору об'єктів. Програма доволі критична до апаратної частини через високі вимоги з перерахунку растра.

Virtual GIS є модулем розширення системи ERDAS Imagine, що поширює багато її можливостей на третій вимір.

Можливості візуалізації:

- повністю інтерактивне управління тривимірною візуалізацією;
- необмежена кількість векторних і растрових шарів, що накладаються на модель рельєфу;
- використання тривимірного курсору;
- управління кольором і умовними знаками векторних об'єктів на тривимірному зображенні;
- можливість роботи з безперервним геопростором з динамічним підвантаженням інструментів:

- аналізу видимості на рельєфі;
- інтерактивного завдання маршруту "прольоту" над місцевістю;
- можливістю збереження послідовності кадрів і їх перегляду в режимі анімації.

Розробники надали користувачу можливість обирати детальність рельєфу і накладеного на рельєф растру, для досягнення прийнятних показників роботи конкретної апаратної платформи. Тестування різних відеокарт для архітектури x86: VR3 (SGI, video 64 Мбайт), Cobalt (SGI Visual Workstation 320, video 128 Мбайт), Geforce III та інших засвідчили, що при встановленні 100 % детальності растра і рельєфу швидкість відображення зменшується вже за наявності 5000 векторних об'єктів. У той же час найкращі показники за якістю і швидкістю досягаються на відеокартах Cobalt, VR3, Elsa Gloria.

Тривимірна візуалізація територій методами комп'ютерної графіки і створення тривимірних ГІС здатні змінити технологію і практику управління територіями, навколишнім середовищем, розробки і ведення проектів.

Однак сучасні апаратні засоби не дозволяють реалізувати 3D ГІС у повному об'ємі і візуалізують геодані схематично. Лише спеціалізовані графічні робочі станції Silicon Graphics, Sun Ultra й інші можуть справитись з такого роду задачами як візуалізація даних. Саме на цих робочих станціях реалізовані найбільш використовувані 3D ГІС.

Побудова тривимірного зображення в ГІС це не є тривіальною задачею. В 3D ГІС повинно бути реалізовано безліч функцій для роботи з тривимірними об'єктами. Основна функція – показ зображення з різних точок і плавні переходи між ними. Обчислення відстані між двома точками доволі проблематично, оскільки задавати кінцеві точки з потрібною точністю за допомогою показника миші складно. Взагалі виконувати виміри й обчислення в тривимірному просторі, що візуалізується на двовимірній площині монітора являє собою окрему проблему.

В 3D моделюється не тільки об'єкт, а й інформаційна ситуація навколо цього об'єкта. Крім того, використовуються *геодані* (geodate – GD), які структуровані й організовані. Отже, тривимірне моделювання в ГІС повинне враховувати цей зв'язок і низки просторових зв'язків, які позначаються загальним поняттям *геореференція* [124].

Головною метою тривимірного моделювання в ГІС є інформаційне управління [125], отримання нових знань [126] і формування інформаційних і інтелектуальних ресурсів [127].

При тривимірному моделюванні використовується геоцентричні системи координат для показу кривизни Землі і можливості прив'язки об'єктів, що знаходяться в різних точках земної поверхні.

В основі тривимірного моделювання в ГІС використовується не математична модель, як основа подання, а складові моделі, що включають математичну конструкцію з інтегрованим в неї знімком (рис. 7.21).

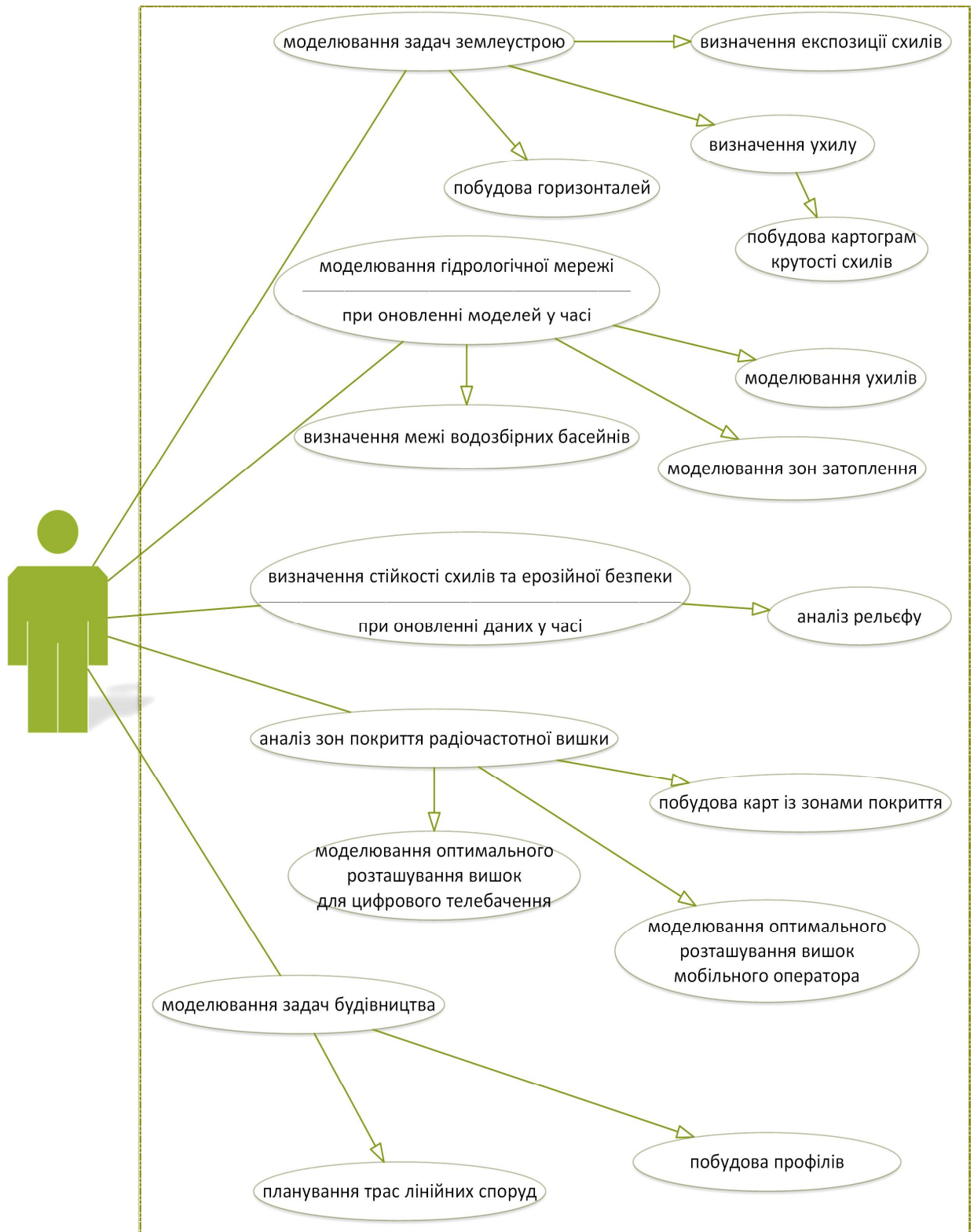


Рис. 7.22. Сукупність задач, що можуть розв'язуватись за допомогою ЦМР

- впровадження інтегрованих у карту систем підрахунку вартості нерухомості і земельних ділянок у залежності від розташування, стану, рельєфу місцевості тощо;
- моделювання виду об'єкта, що будується з урахуванням природного ландшафту;

- одержання повного огляду з вікна і з балкона навколишньої панорами;
- проведення віртуальних турів, екскурсій по культурних і історичних місцях міста;
- більш зручне управління інформаційними, електричними, водопровідними, каналізаційними й іншими мережами, каналами, комунікаціями і спорудами;
- відображення в прив'язці до реального ландшафту всіх видів інженерних комунікацій: повітряних, наземних, внутрішніх, підземних й підводних;
- збереження і використання багатоформатних даних в одному місці, що дозволить відстежувати й аналізувати минулі дані для прогнозування і порівняння змін ситуації;
- можливість створення глобальних інформаційних систем в одній системі координат без втрати детальності;
- створення якісних презентаційних матеріалів і відеороликів;
- моделювання задач землеустрою (рис. 7.23);

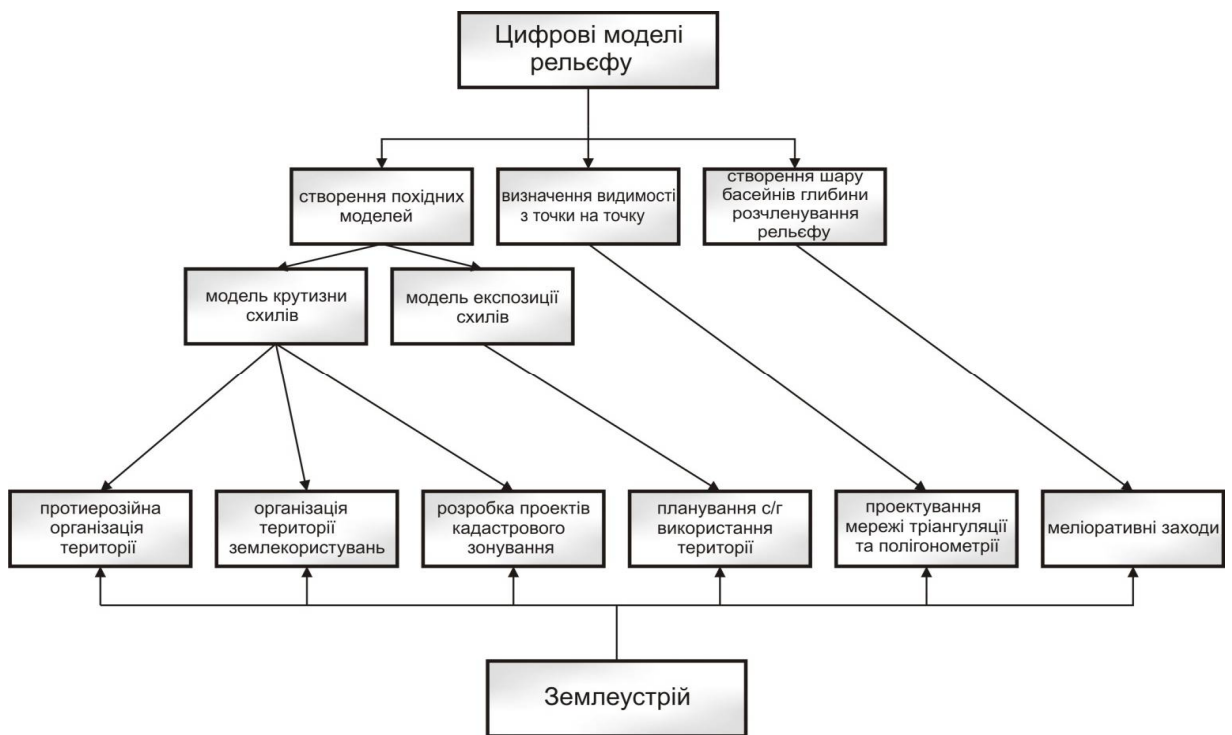


Рис. 7.21. Сукупність задач, що можуть розв'язуватись у землеустрої за допомогою ЦМР

- моделювання гідрологічної мережі (визначення межі водозбірних басейнів);
- аналіз зони покриття радіочастотних вишок (побудова карт із зонами покриття, вибір оптимального розташування вишок мобільних операторів та вишок цифрового телебачення);
- моделювання задач будівництва (планування трас лінійних споруд (дорожньої мережі, трубопроводів)).

8. ДЖЕРЕЛА ДАНИХ ДЛЯ ПОБУДОВИ ЦИФРОВИХ МОДЕЛЕЙ РЕЛЬЄФУ В ГІС

*Якщо результат обчислень не залежить від способу розв'язку – це математика, а якщо залежить – це бухгалтерія.
Народна мудрість*

Для розв'язання широкого кола наукових, виробничих та прикладних задач необхідні карти рельєфу поверхні різного змісту й масштабу.

Рельєф виступає важливим елементом при дослідженні геологічних, екологічних, ландшафтних об'єктів. Дослідження рельєфу актуальне при виконанні кадастрових робіт. Оскільки від рельєфу залежить розробка ґрунтозахисних систем у землеробстві, систем регулювання поверхневого стоку, заходів боротьби з ерозією ґрунтів, відновлення їх родючості, то саме такі характеристики, як довжина, крутизна й експозиція схилів є визначальними у вивченні ерозійних процесів. Параметри рельєфу є об'єктом морфометричних досліджень. карти глибини і щільності розчленування рельєфу, віддаленості від гідрографічної мережі, карти залишкового рельєфу відіграють важливу роль у вирішенні геоморфологічних, екологічних, ландшафтних досліджень.

Особливо важливу роль відіграє рельєф під час прогнозування повеневих і паводкових потоків. Дощові паводки в гірських і передгірських районах часто мають катастрофічний характер. Вони формуються під впливом таких факторів, як інтенсивність і тривалість опадів, умови фільтрації води, але основним чинником є рельєф.

8.1. Загальні відомості про джерела даних для побудови цифрової моделі рельєфу

Сучасні геодезичні, картографічні, фотограмметричні та дистанційні технології збору інформації про об'єкти навколишнього світу дають змогу швидко та з необхідною точністю отримувати дискретні дані про поверхню досліджуваного об'єкта (процесу, явища). Такі методи і підходи постійно вдосконалюються. Це стосується їхньої швидкодії, оперативності, ефективності, інформативності й точності.

Незважаючи на уявну простоту рельєфу як об'єкта моделювання (на перший погляд, добре описується математично як поверхня або поле), практика пропонує велику кількість способів і технологій створення ЦМР. Множина типів джерел вихідних даних для створення ЦМР спричинена розмаїттям

способів отримання й організації первинних даних та їх похідних. Серед них геодезичні (польові) вишукування і топографічна зйомка місцевості, стереофотограмметрична обробка фототеодолітних, аеро- і космічних знімків, альтиметрична зйомка (рельєф суші), промірні роботи й ехолотування підводного рельєфу акваторій океанів і внутрішніх водойм, радіолокаційна зйомка льодовикового ложа і небесних тіл. Різноманітними є і вторинні джерела про рельєф, наприклад, топографічні карти і плани.

Просторова організація вихідних даних про рельєф як множини опорних точок моделі (точок з відомими висотними позначками) також відрізняється, враховуючи точності вимірювання висот.

Вибір вихідних матеріалів залежить від мети дослідження, вимог до точності отримуваних результатів і досліджуваної території.

На сьогодні основними джерелами даних для побудови ЦМР виступають [24]:

- геодезичні (польові) вишукування, які в сучасних умовах здійснюються переважно за допомогою електронних тахеометрів;
- картометричні методи (використання картографічних матеріалів (карт, планів), з яких методом цифрування (вручну, напівавтоматично або в автоматичному режимі) отримують дискретні дані про об'єкт, наприклад, цифрують горизонталі, відображені графічно на карті);
- фотограмметричні методи передбачають стереовимірювання (ручні, напівавтоматичні або автоматичні) просторової моделі об'єкта, побудованої зі стереопари зображень);
 - дані наземного лазерного сканування;
 - дані лазерного сканування з повітряного носія;
 - інтерферометричні дані, що отримані за допомогою радара, встановленого на літаку чи супутнику.

8.2. Дані геодезичних вишукувань як джерело даних для ЦМР

Якщо цифрові моделі рельєфу або геологічної будови місцевості формують на основі використання матеріалів наземних вишукувань, то доцільно використовувати ті методи топографічних зйомок, які забезпечують одержання інформації про місцевість в електронному вигляді. Це дозволяє максимально автоматизувати процес підготовки топографічних планів і ЦММ.

Тахеометричні зйомки особливо ефективні, якщо виконуються з використанням електронних тахеометрів або комп'ютерних геодезичних станцій з безпосередньою реєстрацією вихідної інформації на магнітні носії в режимі реального часу або подальшому її введенні в пам'ять базового комп'ютера.

Фототеодолітні зйомки. Обробку результатів фототеодолітних зйомок доцільно виконувати на універсальних стереофотограмметричних приладах з автоматичною реєстрацією вимірюваних координат точок місцевості або виконувати системну комп'ютерну обробку фотознімків, використовуючи з цією метою автоматизовані системи, типу "Fotomod".

Наземно-космічні зйомки з використанням систем супутникової навігації GPS найкращим чином підходять для створення ЦМР, оскільки забезпечують одержання інформації про місцевість безпосередньо в електронному вигляді, що дозволяє максимально автоматизувати процес підготовки моделей.

Інженерно-геологічні вишукування виконують комплексно, використовуючи методи традиційної інженерно-геологічної розвідки (механічне свердління, шурфування, розчищення тощо), аерогеологічної розвідки (кольорові, спектрально-зональні, теплові аерознімання), наземної геофізики з автоматичною реєстрацією результатів вимірів на електронні носії (вертикальне електрондування, електропрофілювання, сейсморозвідка, статичне і динамічне зондування тощо). Використання засобів автоматизації і комп'ютерної обробки даних інженерно-геологічних вишукувань є обов'язковим.

Цифрові і математичні моделі, що подаються в геодезичних прямокутних координатах без спотворення масштабів, характеризуються різною точністю і ступенем деталізації елементів рельєфу, з урахуванням ситуації і геологічної будови місцевості, що пов'язано з категорією рельєфу, масштабами використовуваних для побудови ЦММ топографічних планів і матеріалів аерознімань, типом цифрової моделі, щільністю вихідних точок і методикою апроксимації поверхні.

Задана точність моделі обов'язково повинна пов'язуватись із достатньою точністю інженерно-геодезичних задач, які для цього необхідно розв'язати. При використанні для побудови ЦМР матеріалів традиційних топографічних зйомок точність ситуаційних контурів приймають з урахуванням точності виконуваних топографічних зйомок, яка дорівнює 1 мм у масштабі плану. Точність подання рельєфу не повинна виходити за межі висоти перетину горизонталей у рівнинній місцевості, – висоти перетину в пересіченій місцевості і висоти перетину – в гірській.

Точність ЦМР при використанні матеріалів топографічних зйомок, виконаних за допомогою електронних тахеометрів або GPS-приймачів супутникової навігації, враховуючи, що запис інформації ведеться на електронні носії, залежить головним чином від точності приладів, що використовуються.

8.3. Карта як джерело даних для ЦМР

Головним джерелом даних про земну поверхню на сьогодні залишаються карти. До картографічних джерел належать топографічні карти і плани, що використовуються для створення ЦМР суші та морські навігаційні або топобатиметричні карти для ЦМР акваторій. Типова технологія генерації ЦМР ґрунтується на цифруванні горизонталей як основної її складової, а також висотних позначок та інших картографічних елементів, що використовуються для відображення рельєфу із залученням даних інших об'єктів карти, наприклад, елементів гідрографічної мережі. За наявності готової цифрової топографічної або аналогічної їй карти використовуються відповідні їм шари.

На сучасних загальногеографічних картах рельєф суші подається композицією трьох засобів картографічної виразності з різною просторовою локалізацією елементів:

– системою ізолій (горизонталей, ізогіпс);

– безліччю позначок висот;

– сукупністю точкових позамасштабних, лінійних і площинних знаків, що доповнюють зображення рельєфу горизонталями (знаки ярів, сухих ділянок річок, прірв, косогорів, оповзнів, зсувних ділянок, скель, карстових вирів, курганів, льодовиків тощо).

Топографічна карта, як джерело даних для ЦМР, незважаючи на її переваги, не позбавлена недоліків. Один із них пов'язаний із зображенням рельєфу горизонталями [25].

По-перше, загальновідомо, що дві функції горизонталей – з'єднувати точки з однаковими висотами і слугувати засобом "правильного", "географічно достовірного" опису (передачі) форм рельєфу на карті – суперечать одна одній. "При користуванні способом горизонталей важливо бачити в горизонталях не тільки математичні лінії рівних висот, але й лінії, що відображають форми рельєфу. За накресленням горизонталей судять про тип рельєфу. М'яким формам рельєфу властиві округлі, плавні горизонталі, різким формам – звивисті і кутасті: кожному типу рельєфу властивий неповторний своєрідний малюнок горизонталей" [44].

Правила складання та редагування зображення рельєфу, оформлені в інструкціях і редакційних вказівках, зазвичай пропонують зберігати в пам'яті комп'ютера.

Баланс між "правильністю" і наочністю, метричністю та пластичністю, тобто точністю і достовірністю зображення рельєфу горизонталями неоднаковий для карт топографічного масштабного ряду. Масштабом визначаються основні вимоги до зображення рельєфу.

Для карти масштабом 1:200 000 ставиться задача забезпечення можливості визначення за картою абсолютних і відносних висот будь-якої точки місцевості [16]. Але навіть у цьому масштабі "для передачі особливостей форм рельєфу та узгодження з іншими елементами змісту допускається зсув горизонталей до половини величини закладання для гірського рельєфу і до чверті – для рівнинного", а починаючи з масштабу 1:500 000 "при зображенні рельєфу... ставиться задача правильного відображення географічної подоби орографічних форм, передачі з можливою точністю планового положення основних структурних ліній і точок рельєфу – гребенів хребтів, тальвегів, перегинів схилів і вершин.

Для карти масштабом 1:1000 000 характер генералізації визначається такими вимогами: правильна і наочна передача морфологічних особливостей різних орографічних районів, чітка відмінність горизонтального і вертикального розчленовування рівнинних і гірських типів рельєфу, виявлення характерних форм для різних типів рельєфу, крутості і розчленованості схилів" [16].

Зображення рельєфу на картах ще більш дрібних, оглядових масштабів, у тому числі на гіпсометричних картах масштабом 1:1500000 та 1:2500 000, відрізняє "поєднання геометричного принципу з глибоким географічним підходом, що полягає у вивченні геоморфологічних особливостей рельєфу та в їх передачі малюнком горизонталей" [37; 44]. Більше того, за межами топографічних масштабів більш помітну роль починає відіграти наочність відтворення рельєфу, його пластичність. Звідси основний принцип гіпсометричної школи: "... географічна правдоподібність, точність зображення і пластична виразність малюнка рельєфу" [47].

Важливий практичний висновок, що впливає з аналізу дрібно-масштабних загально-географічних карт, полягає в тому, що топографічні та інші карти суші масштабу 1:500 000 і дрібніше практично непридатні для створення ЦМР.

По-друге, як і будь-який інший елемент картографічного зображення, горизонталі проведені на ньому з певною точністю, яка за інших рівних умов (масштабі, методах зйомки або складання карти шляхом генералізації великомасштабних картографічних джерел) залежить від типу, морфології рельєфу. Допуски точності зображення рельєфу горизонталями (фрагмент відповідної інструкції для карт масштабу 1:10 000–1:25 000, що складаються безпосередньо в результаті топографічних зйомок і які визначають аналогічні вимоги до всього топографічного масштабного ряду) представлені в табл. 8.1.

Таблиця 8.1

***Вимоги до зображення рельєфу горизонталями
при виконанні топографічних зйомок
в масштабах 1:10 000 та 1:25 000 [84]***

Райони зйомки	Висота перетину рельєфу горизонталями, м		Середня похибка зйомки рельєфу (в частках висоти перетину)	
	1:10 000	1:25 000	1:10 000	1:25 000
Плоско-рівнинні з ухилом місцевості до 1°	1,0	2,5	1/4	1/3
Рівнинні з ухилом місцевості від 1° до 2°	1,0*; 2,0	2,5; 5,0**	1/3	1/3
Рівнинні пересічені і горбисті з ухилом місцевості від 2° до 6°	2,0 (2,5)	2,5***; 5,0	1/3	1/3
Гірські і передгірні	5,0	5,0	1/3	1/3
Високогірні	–	10,0	1/3	1/3

* У районах меліоративного будівництва.

** У районах, покритих лісами.

*** У відкритих районах при ухилах до 4°.

Принципово важливим є той факт, що нормативними документами первісно визначено карту в частині зображення рельєфу нерівноточною; отже, нерівноточною буде ЦМР, яка створюється на її основі, з урахуванням похибок, що вносяться в процесі її аналого-цифрового перетворення, тобто цифрування горизонталей й обробки отриманих записів при трансформації в одну із розглянутих вище типів моделей.

По-третє, крім основних, топографічні карти містять додаткові й допоміжні горизонталі, перші з них проводяться на половині висоти перетину та мають назву напівгоризонталей і з точки зору метричності відповідають основним, інші ж проводяться, згідно з інструкціями, на довільній висоті і повинні бути надписані. У протилежному випадку їх урахування при побудові ЦМР неможливе.

По-четверте, топографічні карти позбавлені зображення рельєфу дна внутрішніх водойм, а також морських і океанічних акваторій. В більшості випадків формальний вихід з цієї ситуації полягає в тому, щоб присвоїти акваторії висотну позначку урізу води, умовно вважаючи її "пласкою". Враховуючи різні причини (різночасність створення окремих номенклатурних аркушів, похибки топографічних зйомок або грубі похибки укладачів), контур однієї і тієї ж водойми може супроводжуватися різними оцінками урізу води; в цьому випадку виникає задача приведення дзеркала води до "горизонту".

Як і будь-який елемент картографічної графіки, горизонталі мають свої графічні межі: при встановленій інструкцією товщині лінії горизонталі в 0,2 мм і такій же відстані між ними один міліметр карти може містити їх не більше трьох. Для усунення внутрішніх і міжелементних графічних конфліктів інструкціями дозволяється *штучне злиття горизонталей* у випадку, коли величина їх закладення не вкладається у встановлені графічні пороги, тобто на схилах з крутістю вищої певної межі, а також їх "*укладання*", тобто штучне збільшення відстані між сусідніми горизонталями для запобігання їх злиття. Обидва прийоми, що використовуються для зображення рельєфу горизонталями на топографічних картах, з точки зору їх оцінки як основи ЦМР однаково "шкідливі": формально область злиття горизонталей у їх цифровому записі повинна сприйматися як вертикальна "стінка" (формалізми деяких конкретних типів моделей можуть кваліфікувати таку ситуацію, як тополого-геометричну помилку запису), а штучно "розсунуті" горизонталі спотворюють ухили і поздовжні форми схилів. Обидва типи картографічних артефактів в умовах середньо- і високогір'їв спроможні додатково понизити точність ЦМР порівняно з її інструктивно-визначеними значеннями [25].

Звідси загальна рекомендація до програмних засобів створення ЦМР: вони повинні підтримувати контроль геометричної коректності цифрових представлень горизонталей, тобто дотримуватися двох умов [25]:

1) однойменні і різнойменні горизонталі не повинні перетинатися (зливатися, торкатися). Особливий випадок перетинання різнойменних

горизонталей – відображення нависаючих схилів (схилів "від'ємної" крутизни) – не може бути врахований у межах досліджуваних далі типів моделей даних для ЦМР, оскільки потребує більше однієї висотної позначки на точку;

2) кожна горизонталь повинна замикатись на саму себе або границю картографічного зображення (зазвичай рамку карти). Дотримання першої з умов забезпечує відсутність складок (зашморгів) в записі горизонталі і злиття (торкання) різнойменних (сусідніх) горизонталей, дотримання другої – відсутність у них розривів.

Вади топокарт із зображеннями рельєфу горизонталями частково можуть бути компенсовані іншими графічними елементами, що використовуються для відображення елементів і форм рельєфу, які не відображуються в горизонталях через графічні або змістовні мотиви. Наприклад, перелік умовних знаків топографічних карт масштабом 1:10 000 містить понад 50 лінійних і точкових знаків, частина з яких – висотні позначки, позначки урізів води, знаки ярів із зазначенням їх глибини, прірв, карстових вирів та інших природних утворень, а також низки штучних форм рельєфу – дійсно здатні істотно покращити загальну метричну характеристику рельєфу і підвищити точність створюваної моделі шляхом її урахування в структурних ЦМР. Навпаки, вкрай схематичний малюнок високогірних форм рельєфу, включаючи льодовики, гірські сніжники і фірнові¹¹ поля, знаки скель та скелястих обривів з фрагментами горизонталей, робить неможливим створення на ці ділянки кондиційної ЦМР, вимагаючи залучення некартографічного першоджерела, наприклад аерознімка [25].

8.4. Лазерне сканування як джерело даних для ЦМР

В сучасному управлінні територіями, інженерними мережами, будівництві, моніторингу природно-антропогенних систем широко використовують лазерне сканування місцевості [154–155].

Лазерне сканування територій має низку переваг перед іншими методами зйомки. Воно характеризується високою швидкістю роботи, більш високою точністю вимірювання та безпечністю під час зйомки важкодоступних і небезпечних об'єктів. Ще однією істотною перевагою цього методу є те, що лазерне сканування дає змогу збирати інформацію про досліджуваний об'єкт у цифровому вигляді, що значно розширює можливості подальшої комп'ютерної обробки результатів.

Сучасні 3D-сканери складаються з двох основних компонентів: скануючої системи і цифрової відеокамери. Скануюча система призначена для

¹¹ **Фірн** – багаторічний зернистий сніг, що щільно улежався і частково кристалізувався. Проміжна стадія між снігом і глетчерним льодом.

моделювання форми вимірюваних об'єктів, а цифрова відеокамера – для точної передачі кольору об'єктів.

Увесь процес зйомки повністю автоматизований. Отримані в момент зйомки "сирі виміри" являють собою набір ("хмару") точок, які необхідно представити у вигляді креслень, схем у графічному форматі. Зрозуміло, що при скануванні можна бачити тільки одну частину об'єкта, яка знаходиться в зоні прямої видимості. Для того щоб зняти об'єкт повністю, його необхідно відсканувати зі всіх сторін. Після об'єднання усіх "хмар точок" в єдиний геометричний простір виходить єдиний опис об'єкта зйомки. Процес вирівнювання називається *реєстрацією*.

Далі відбувається обробка сканів з метою створення єдиного скану для повного покриття знятої поверхні. Потрібно відзначити, що для створення єдиного скану ("зшивки") використовується метод сумісництва сканів по опорних точках, які відображаються на суміжних сканах. Для цього під час зйомки на опорних точках встановлюються відбивачі (трипельпризми), світловідбиваючі пластини або наклейки, що мають вищий коефіцієнт відбивання, і тому цілком однозначно визначаються.

За принципом дії лазерні сканери поділяють на *імпульсні* (TOF), *фазові* та *триангуляційні*.

Імпульсні сканери розраховують відстань як функцію часу проходження лазерного променя до вимірюваного об'єкта і назад. Фазові оперують із зсувом фаз лазерного випромінювання. В триангуляційних 3D-сканерах приймач і випромінювач рознесені на певну відстань, яка використовується для розв'язку задачі трикутник-випромінювач – об'єкт-приймач.

Основні параметри лазерного сканера – *дальність*, *точність*, *швидкість*, *кут огляду*.

За дальністю дії і точності вимірів 3D-сканери поділяються на:

- високоточні (похибка менше міліметра, дальність від дециметра до 2–3 метрів);
- середнього радіуса дії (похибка до декількох міліметрів, дальність до 100 м);
- дальнього радіуса дії (дальність сотні метрів, похибка від міліметрів до перших сантиметрів);
- маркшейдерські (похибка доходить до дециметрів, дальність понад кілометр).

Останні три класи за здатністю розв'язувати різні типи задач відносять до розряду геодезичних 3D-сканерів, які використовуються для виконання робіт по лазерному скануванню в архітектурі і промисловості.

Швидкість дії лазерних сканерів визначається типом вимірів. Як правило, найбільш швидкісні фазові, на певних режимах швидкість яких досягає 1 млн вимірів за секунду і навіть більше, імпульсні трохи повільніші, такі прилади оперують зі швидкостями в сотні тисяч точок за секунду.

Кут огляду – ще один важливий параметр, який визначає кількість даних, що збираються з однієї точки стоянки, зручність і кінцеву швидкість

роботи. На сьогодні всі геодезичні лазерні сканери мають горизонтальний кут огляду в 360° , вертикальні кути варіюються від $40\text{--}60^\circ$ до 300° .

При імпульсному способі віддаль отримують за формулою:

$$S = \frac{(v \cdot t)}{2}. \quad (8.1)$$

При фазовому способі віддаль обчислюється за формулою:

$$S = \frac{\Delta\varphi}{2\pi} \cdot \frac{nv}{2f}, \quad (8.2)$$

$$\Delta\varphi = \varphi_0 - \varphi_1, \quad (8.3)$$

де φ_0 – фаза прямих коливань;

φ_1 – фаза відбитих коливань;

v – швидкість поширення електромагнітних коливань в атмосфері;

f – частота коливань;

n – кількість довжин хвиль;

t – час проходження сигналу "туди-назад".

Окрім систем, у яких реалізовано ці способи, існують так звані триангуляційні системи, в яких віддаль визначається з трикутника, утвореного точкою випускання (і відхилення) лазерного променя, точкою відбиття (на об'єкті) та оптичним центром камери, що визначає напрям відбитого сигналу.

Переваги застосування сканера:

– висока швидкість сканування поверхні, що лежить в діапазоні від 5 000 до 1 000 000 вимірів за секунду;

– високий ступінь автоматизації польових робіт, практично за мінімальної участі оператора;

– безконтактність з об'єктом досліджень, який може бути важкодоступним для людини (встановлення відбивної призми, рейки, як у разі тахеометричного знімання), висока щільність точок на поверхні об'єкта (тисячі або сотні тисяч точок).

Серед компаній, які виготовляють сканери геодезичного призначення можна відзначити Riegl (Австрія), Callidus (Німеччина-США) (рис. 8.1), Сугах (США-Швейцарія), ILRIS (Німеччина), MENSİ (Франція).

Важливою складовою лазерної системи є програмне забезпечення. Воно дозволяє виконувати функції контролю польових робіт, керування приладом, оптимізації об'єму інформації для збереження, а також візуалізацію "образів", побудову 3D-моделей, аналізу даних та подання результатів опрацювання у стандартних форматах, доступних для інших систем.



Рис. 8.1. Загальний вигляд лазерного сканера *Callidus 3D* (фірма *Dr. Niebuhr GmbH*, Німеччина)

Деякі системи, наприклад, HDC 3000 (Leica, Швейцарія), мають цифрову камеру, яка розташована на одній оптичній осі з віссю лазера. У такий спосіб можна отримати реальний колір точки в системі кольорів RGB (червоний, зелений, синій). Якщо ж такої фіксації немає, то кожна точка отримує псевдоколір залежно від інтенсивності відбитого сигналу.

Деякі технічні параметри сканувальних систем представлено в табл. 8.2.

Таблиця 8.2

Технічні параметри лазерних систем [18]

Назва системи	Діапазон віддалі, м	Точність мм/при віддалі, м	Кут сканування: горизонт., верт.	Час сканування, хв	Робоча температура °C
Callidus	0,15–150	5/32	360x180	4–9	0±40
Syrah 2500	1,5–100	4/50	40x40	10	20±40
ILRYS -3D	2–800	10/100	40x40	8	-20±50
SOISIC (MENSI)	0,8–40	0,5/5	46x320	15	5±40
LMZ-Z210 RIEGL	2–350	25/200	330x80	0,5	0±40
LMZ-Z360 RIEGL	2–200	6/20	360x90	0,5	0±40
LMZ-Z420 RIEGL	2–1000	20/1000	330x80	2	-20±50
LPM-25HA RIEGL	1–40	8/20	180x50	2	5±40

Доречно зауважити, що фазові сканери випромінюють лазерну пляму безперервно, що є перевагою порівняно з імпульсними системами. Тому швидкість перших є значно вищою і може становити 100 000 точок за 1 с і навіть більше.

Набір відсканованих точок залежить від кроку сканування у вертикальній площині, кроку повороту гідروприводу у горизонтальній площині та кутів поля зору сканера.

Якщо кути "поля зору" становить $360 \times 180^\circ$, кроки сканування у горизонтальній та вертикальній площинах становлять $0,1^\circ$, то маємо:

- кількість точок у вертикальній площині $180:0,1=1800$ точок;
- кількість смуг (у горизонтальній площині) $360:0,1=3600$ смуг;
- загальна кількість точок $1800 \times 3600=6\,480\,000$ точок.

За невисокої швидкості сканування 5 000 точок за 1 с загальний час становитиме 21 хв. За високої швидкості 100 000 точок за 1 с затрачений час становить всього 1 хвилину.

Після польових робіт настає камеральне опрацювання отриманих даних. Опрацювання залежить від того результату, який хочемо мати: або просторові координати всіх вимірюваних точок (існує такий термін, як "хмара точок лазерного віддзеркалення", або TIN-модель, або набір геометричних параметрів – периметри, діаметри, площі, об'єми тощо).

Технологія камерального оброблення "хмари точок" складається з декількох основних етапів, які логічно впливають з геометрії формування лазерного набору точок [18].

Об'єднання (зшивання) окремих сканів. Зняти об'єкт повністю з однієї станції практично неможливо. Наприклад, будинок знімають з трьох-чотирьох позицій так, щоб охопити його повністю. Іноді спостерігається розмитість деяких деталей об'єкта – його кутів, країв, граней. Лазерний промінь падає на об'єкт не у вигляді точки, а у вигляді плями невеликих розмірів. Наприклад, лазер системи HDC 2500 (Leica) на віддалі 50 м дає пляму діаметром 6 мм. Саме це спотворює відбитий сигнал, який реєструється приймачем як два або й більше сигналів. Тому такі точки не реєструються безпосередньо, а моделюються з "хмари точок". З цих причин виникає потреба об'єднання окремих сканів з тим, щоб отримати єдиний образ об'єкта. Об'єднання сканів здійснюється різноманітними прийомами, але майже завжди використовують такі точки окремих сканів, які розпізнаються (ототожнюються) безпомилково на сусідніх сканах [18].

Трансформування координат. Увесь набір точок повинен бути зафіксований в єдиній просторовій системі координат. Оскільки центр сканування для кожного скана розміщений у центрі вимірювальної головки сканера, а вона змінює своє розташування у просторі, то необхідно виконати перерахунок координат. Ця задача з погляду аналітичної геометрії збігається із задачею "поворот простору". Тут теж існує декілька варіантів: можна об'єднувати сусідні скани за опорними точками, а можна об'єднувати за відомими лінійними та кутовими елементами орієнтування сканера.

Створення поверхонь. Весь масив ("хмара точок") повинен бути поданий поверхнями, що математично описуються. Це потрібно для того, щоб можна було надалі використовувати дані в САD-системах або ж при 3D-моделюванні. Тому в програмний комплекс входить великий набір прикладних програм, який дає змогу створювати прості математичні поверхні (сфера, циліндр, конус, площина тощо). Або використовувати апарат апроксимації поверхонь (наприклад TIN-поверхня). Отримані результати подають у стандартних форматах, які дають змогу їх експортувати в системи автоматичного проектування та в різноманітні системи прийняття інженерних чи інших рішень.

Для користувачів лазерних сканувальних систем дуже важливим є питання точності отриманих просторових координат. У праці [72] зазначається, що задекларована фірмами-виробниками точність часто не збігається з реальними характеристиками. Тому кожна система повинна бути досліджена на точність. Тут є повна аналогія з підходами, що віддавна існують у фотограмметрії (калібрування знімальних систем та калібрування вимірювальних приладів).

На точність отримання координат сканерними системами впливають:

- точність визначення віддалі;
- характеристика розрізненості;
- граничні ефекти (розмитість сигналів);
- відбивна здатність поверхонь;
- фізичний стан середовища, в якому поширюється лазерний промінь.

Дослідники розробили спеціальні тест-об'єкти, які дають змогу виявити інтегральну точність кожної з досліджуваних систем. Наприклад, у праці [72] було досліджено 7 типів систем. Основні експертні висновки, як приклад, наведено в табл. 8.3.

Таблиця 8.3

Переваги і недоліки деяких лазерних систем

Марка системи	Переваги	Недоліки
Callidus	Велике поле зору	Недостатня розрізненість по вертикалі (0,25 град)
Сурах 2500	Висока точність	Мале вікно сканування (40x40 град)
S 25	Висока точність при малих віддальях	Не працює при сонячному світлі і на великі віддалі
GS 100	Велике поле зору	Великі шуми
Riegl Z210	Велике поле зору. Сканування при великих віддальях	Низька точність
Riegl Z4210i	Велике поле зору. Сканування при великих віддальях	Великі шуми
Zoppler+Frochlich (Imager 500)	Велике поле зору	Низька якість реєстрації країв. Обмежена кутова розрізненість (0,018 град)

На рис. 8.2 представлена наземна лазерна сканувальна система Riegl LMS-Z420i



Рис. 8.2. Наземна лазерна сканувальна система Riegl LMS-Z420i

Сфери застосування лазерних систем:

- тривимірне топографічне знімання місцевості;
- гірнича справа (знімання кар'єрів, відкритих гірничих копалень, шахт, тунелів тощо);
- геологічне знімання;
- промисловість (побудова просторових моделей складних промислових установок, комунікацій, резервуарів, складних технологічних виробництв тощо);
- будівництво (промислове і цивільне будівництво, автомобільні дороги, мости, аеродроми тощо);
- архітектура (фасади будівель, розміри будівель, фронтальні плани, перерізи, архівація окремих архітектурних фрагментів);
- енергетика, археологія, моделювання скульптур тощо.

Під час вибору лазерної системи користувач (замовник) повинен орієнтуватись і на точність роботи системи, і на інші чинники. Зокрема, на вартість системи, умови і частоту необхідного калібрування системи, сервісне обслуговування, гарантійні умови й терміни, кадрову підготовку, програмне супроводження системи.

Підсумовуючи вищенаведене, можна цілком обґрунтовано стверджувати, що лазерні сканувальні системи є потужним технічним засобом для розв'язання широкого кола завдань, пов'язаних із просторовим моделюванням об'єктів.

8.5. Лазерні сканувальні системи повітряного базування

Стрімкий розвиток лазерної техніки й комп'ютерних технологій стимулював розроблення та використання нових технологій отримання геопросторових даних. До них належить і метод лазерного сканування поверхні Землі з літака чи гелікоптера.

Системи повітряного базування ЛІДАР (від англ. LIDAR – Light Detection and Ranging) працюють за принципом безперервного отримання смуг сканування. Лазерний промінь у межах однієї смуги відхиляється дзеркалом або призмою (в оптичних сканерах), а набір смуг отримується внаслідок руху носія (рис. 8.3).

Окрім лазера, який надсилає імпульс з оптичного центру, на носії встановлено GPS-приймач для фіксації просторових координат точки S та інерційно навігаційну систему (INS), що фіксує нахил платформи з лазером, тобто три кути Ейлера.

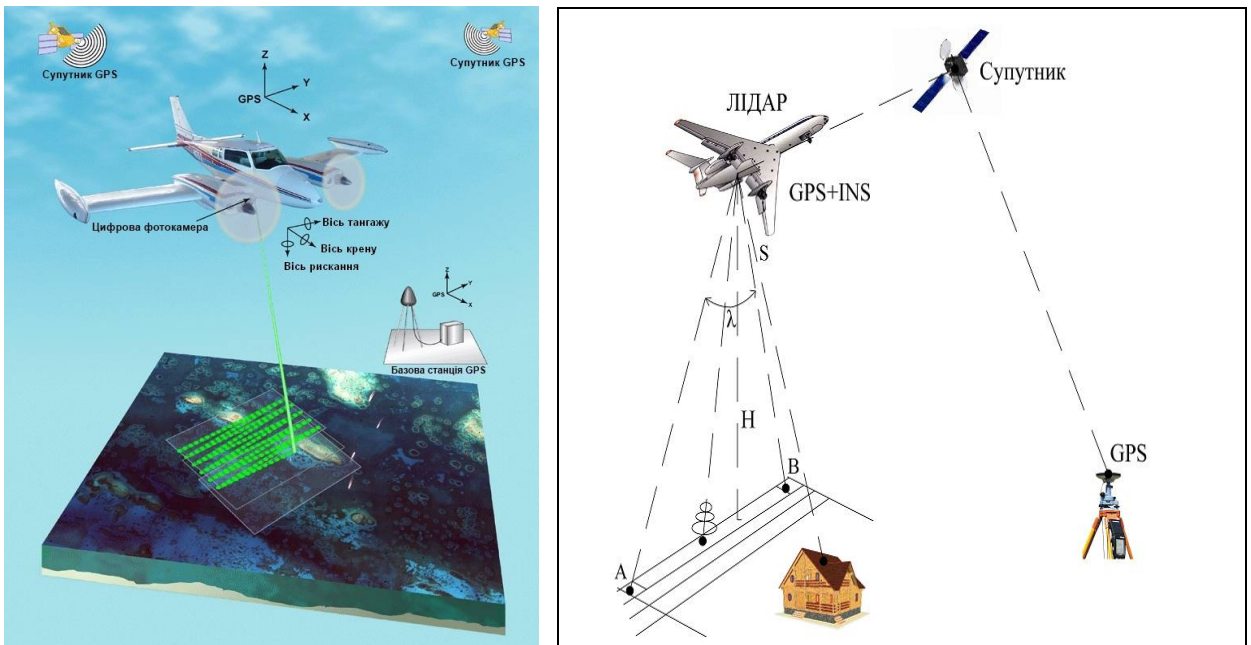


Рис. 8.3. Схема лазерного сканування з літака

Фіксація даних (GPS+INS) дає можливість визначити просторове знаходження і орієнтацію оптичного центру – точки S у момент надсилення світлового імпульсу, а також положення вектора, наприклад SA , у тій просторовій системі координат, у якій працює позиційна система GPS.

Кінцевим результатом лазерного сканування є визначені просторові координати точок земної поверхні.

Сукупність точок відбиття лазерних променів утворює нерегулярну сітку з великою кількістю таких точок. За цими даними математичним способом можна, після камерального доопрацювання, отримати цифрову модель рельєфу (ЦМР) поверхні у вигляді регулярної сітки.

Густота точок відбиття залежить від частоти генерування імпульсів. У деяких системах це 100 кГц, тобто за одну секунду фіксується 100 000 точок відбиття.

Окрім згаданої вище апаратури, деякі системи оснащені й допоміжною апаратурою – однією або двома відеокамерами. Перша орієнтована в надирному напрямку до землі, а друга – під кутом 45 градусів до надиру й скерована вперед. Отримані зображення можна використовувати як доповнення до побудованої сканером ЦМР. Деякі найновіші системи оснащені цифровими аерознімальними камерами, що у сукупності утворює потужний багатоцільовий знімальний комплекс.

Сучасні лідарні системи дають змогу фіксувати декілька відбитків променя від об'єкта. Наприклад, якщо лазерний промінь падає на крону дерева, то перше відбиття буде від крони, а наступне – від поверхні Землі. Лазерний промінь широко використовують на практиці, оскільки можна побудувати, наприклад, цифрову модель лісового покриття за кронами дерев (рис. 8.4), цифрову модель дахів будинків для забудованих теренів, цифрову модель високовольтних ліній електропередач тощо.

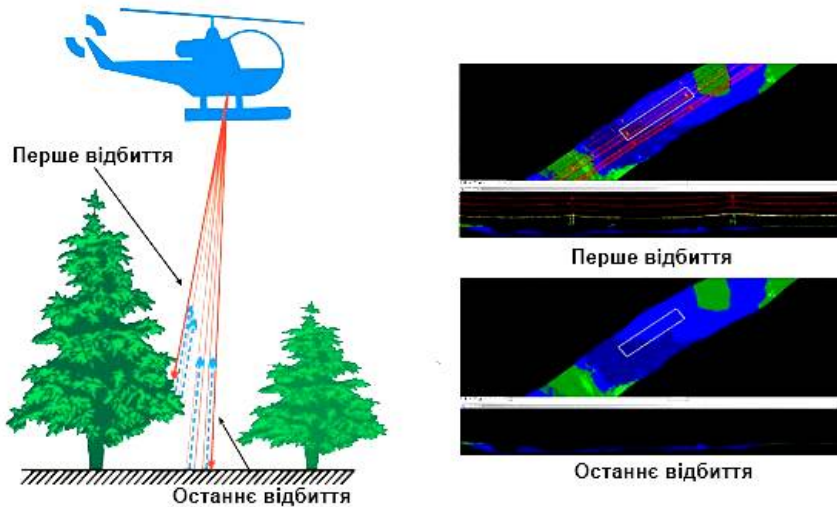


Рис. 8.4. Вимір рельєфу під шаром рослинності

Коли йдеться про картографування території, то з технологічного погляду побудова ЦМР системами ЛІДАР вимагає так званого "чищення", тобто усуваються імпульси, що не пов'язані з поверхнею Землі. Частково це робиться апаратно-програмно, проте повністю цей процес автоматизувати не вдається й тому потрібне втручання оператора-фотограмметриста.

У світовій практиці сьогодні накопичено значний досвід лазерного сканування місцевості та побудови ЦМР. Це, по суті, перший етап використання ЛІДАРів.

Основні технічні параметри лазерних систем представлені в табл. 8.4.

Основні технічні параметри ЛІДАРІВ

Параметри	ALTM3/70	ALTM3100	ALS50
Частота генерування імпульсів, кГц	33, 50, 70	33, 50, 70, 100	83
Висота польоту, Н (м)	200–300	80–3500	до 4000
Ширина смуги захоплення	від 0 до 0,93Н	від 0 до 0,93Н	від 0 до 0,93Н
Кут сканування, градуси	0–25	0–25	до 75
Кількість реєстрованих відбиттів	4	4	3–4
Частота сканування, кГц	0–70	0–70	–
Тривалість імпульсу, нс	10	10	10
Частота реєстрації GPS, Гц	1–2	1–2	1–2
Частота реєстрації INS, Гц	50–200	50–200	50–200
Розходження лазерного променя, мрад	0,2–0,7	0,3 або 0,8	–
Точність визначення віддалі, см	1	1	1
Точність визначення висоти, см	15–35	15–35	–
Точність визначення планового знаходження, см	1/2000Н	1/2000Н	–

Сучасні лазерні системи дають змогу в ході сканування реєструвати певну кількість відбитої енергії, так звану "intensity images". Наприклад, система ALTM 3100 реєструє за одне вимірювання 12 бітів інформації. Це означає, що відбита енергія є інформацією для створення образу того пікселя, від якого відбився промінь. Зареєстрований образ називають "intensity images". Ступінь відбиття оптичного сигналу, що надсилається в ближньому інфрачервоному діапазоні (а саме в цьому діапазоні працює лазер), доволі різний: для металевих дахів – до 90 %, для снігу та льоду – 50–80 %, для рослинного покриву – 50 %, для піску – 15 %, а для водної поверхні – майже нуль.

Донедавна такі образи не використовувались, і головна причина цього – довжина хвилі, яка не давала змоги отримати образ з високою розрізненістю. Проте останнім часом вдалося істотно покращити якість зображення, і тому активізувалось вивчення можливостей і практичного використання *intensity images*, навіть з'явився термін "лідарограмметрія".

Порівняно з аерофотозніманням, лазерне сканування має низку переваг. Оскільки така система є активною з позицій випромінювання, то отриманий образ не залежить від натурального освітлення території. Тому можна виконувати знімання з малих висот з-під хмар, здійснювати знімання вночі, а в

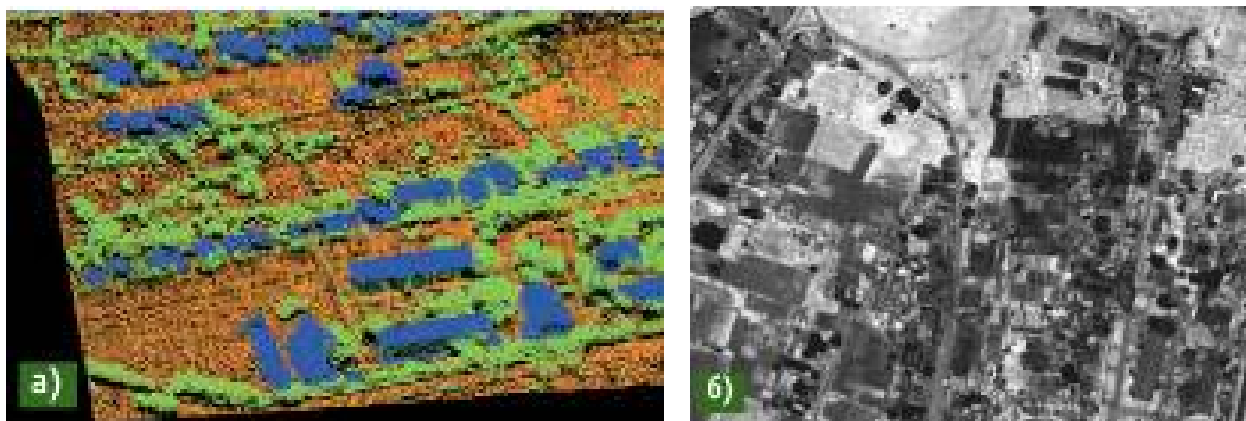
цей період доби Земля закрита хмарами значно менше. На таких зображеннях немає тіней, а для всієї території отримуємо фактично одну стереомодель.

Використання методу лазерного сканування дає можливість отримувати й низку допоміжних даних, які можуть бути використані при інженерних вишукуваннях і проектуванні. До таких даних, передусім, треба віднести ЦМР (рис. 8.5), представлену в різних видах (растрова модель, TIN, GRID тощо), ортофотоплан, отриманий на основі класифікаційних точок земної поверхні, а також математичні моделі поверхні, що відображують ситуацію за інтенсивністю відбиття лазерного імпульсу і за відносною (абсолютною) висотою з певним перетином.



*Рис. 8.5. Цифрова модель рельєфу:
а) растрова; б) TIN; в) GRID*

При цьому дані лазерного сканування зручно використовувати для наочного подання характеру рельєфу, антропогенної забудови, для визначення форми і геометричних вимірів інженерних споруд, а також для дешифрування об'єктів місцевості. Отримувані в результаті сканування дані можуть бути представлені в дальномірній формі (рис. 8.6 а) і в формі інтенсивності відбитого імпульсу (рис. 8.6 б) лазерноолокаційних зображень.



*Рис. 8.6. Подання лазерноолокаційних даних:
а) дальномірна форма; б) інтенсивність відбитого імпульсу*

Дальномірною формою є розподілом у просторі тривимірною "хмарою точок", які утворюють просторову подібність об'єктів лазерної зйомки. Одночасно з реєстрацією просторових координат "хмара точок" лазерний сканер фіксує інтенсивність відбитого імпульсу, яка являє собою значення енергії імпульсу, що повернулося на сенсор сканера. Ця величина залежить від багатьох факторів, серед яких найбільш важливими є: величина дальності випромінювання, кількісні показники пропускання, розсіювання атмосфери, а також спектральна відбивна здатність об'єкта, що сканується, яка залежить від типу об'єкта. Зображення в формі інтенсивності дозволяє добре дешифрувати об'єкти місцевості, які на ортофотоплані можуть відображатися нечітко або бути відсутніми взагалі (рис. 8.7).

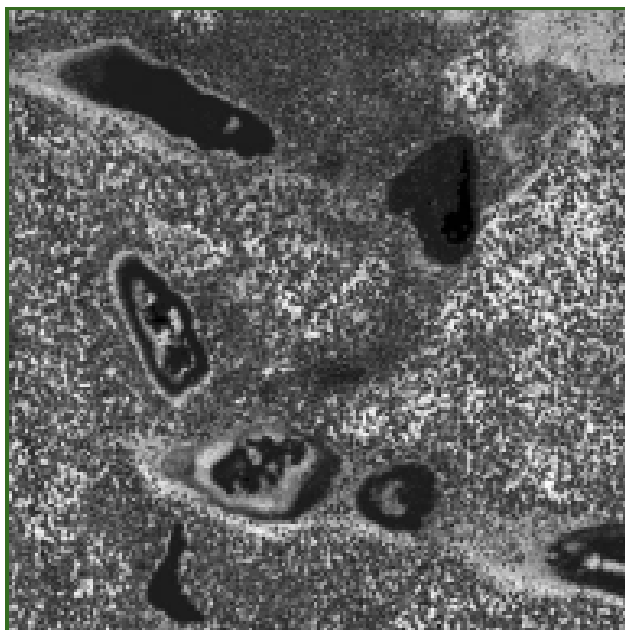


Рис. 8.7. Межі водних об'єктів на даних інтенсивності

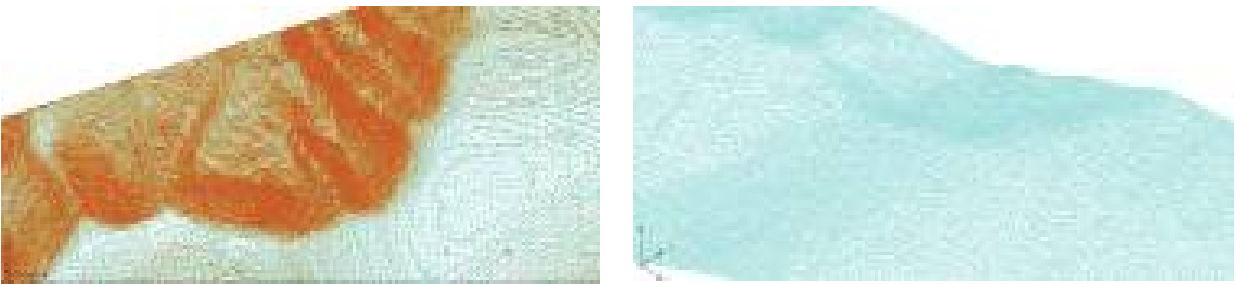
При освоєнні і впровадженні методу лазерного сканування можна запропонувати таку технологію створення цифрових топографічних планів за даними лазерноолокаційної зйомки. Її можна представити у вигляді етапів:

- класифікація лазерних точок;
- створення ЦМР;
- ортотрансформування аерофотознімків;
- створення растрових моделей поверхні;
- створення векторної моделі рельєфу;
- дешифрування;
- створення топографічного плану.

Таким чином, першочергове завдання полягає в коректному розподілі точок лазерних відбиттів (ТЛВ) за класами і виділення поверхні землі. Передусім, видаляються помилкові точки, тобто ті, які не утворюють просторовий образ об'єкта зйомки. До них відносяться лазерні точки, які

знали безлічі перевідбиття, в результаті чого вони виявляються набагато нижче загальної "хмари" ТЛВ. Також у процесі зйомки лазерний промінь може задіти птахів, що пролітають або може виникнути ефект, що проявляється у відбитті лазерного імпульсу від зважених атмосферних частинок. У цьому випадку точки знаходяться набагато вище загальної "хмари" ТЛВ. Зазвичай для побудови топографічних планів достатньо виділити такі класи ТЛВ: точки, що віднесені до земної поверхні, і точки, які просторово описують інші об'єкти місцевості (дерева, будівлі тощо). Ортотрансформування аерофотознімків відбувається при використанні даних зовнішнього орієнтування знімків і цифрової моделі рельєфу. На основі даних про абсолютну висоту й інтенсивність відбитого сигналу створюються просторово координовані растри, що описують об'єкти поверхні дешифрування і рельєф із заздалегідь визначеною метричною шкалою.

По точках відбиття від земної поверхні програмними засобами Autodesk Civil 3D будується модель поверхні, що являє собою нерегулярну мережу трикутників (TIN), що візуалізована за допомогою ізоліній рельєфу (рис. 8.8).



*Рис. 8.8. TIN-модель поверхні
з накладанням горизонталей*

Отримана поверхня приводиться у відповідність з растровою моделлю рельєфу, що класифікована за висотою. Співставлення інтерпольованих горизонталей і растрової моделі поверхні за висотою дозволяє виявити похибки, допущені на стадії класифікації ТЛВ. Ці помилки усуваються шляхом редагування поверхні стандартними засобами Civil 3D. На ділянках зі складним рельєфом точність побудованої поверхні підвищується за рахунок згущення триангуляційної мережі. Описана процедура уточнення моделі рельєфу дозволяє легко отримати додаткові точки із файла ТЛВ, оскільки їх загальна кількість зазвичай надлишкова. Програма дозволяє моделювати поверхні з різною густиною мережі трикутників для створення топографічних планів необхідних масштабів. Дешифрування об'єктів місцевості здійснюється за ортотрансформованими аерофотознімками, растровими моделями, поданих у формі інтенсивності, і точках лазерного відбиття, що описують просторові об'єкти місцевості (рис. 8.9).

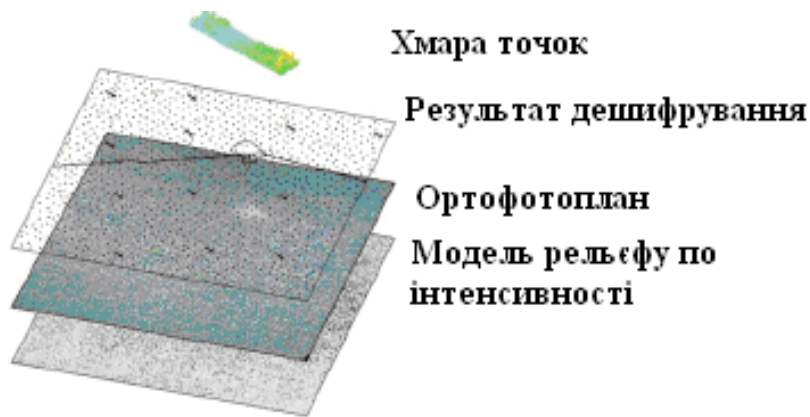


Рис. 8.9. Етапи процесу дешифрування

Ортофотоплан дозволяє скласти загальне уявлення про ділянку місцевості, що дешифрується, виділити об'єкти за прямими дешифрувальними ознаками. На растрових моделях за інтенсивністю добре дешифруються лінійні (дороги, об'єкти гідрографії) і площинні об'єкти (області різних типів рослинності, водна поверхня). Точки, що не беруть участь у процесі побудови поверхні, використовуються для визначення висотних характеристик (рослинності, об'єктів промисловості). У випадку відсутності коректних ортофотопланів процес дешифрування об'єктів місцевості може базуватись тільки на растрових моделях за інтенсивністю і точками лазерного відбиття, що мають точну планову прив'язку. Кожний об'єкт на топографічному плані повинен позначатися стандартним умовним знаком, що відповідає заданому масштабу плану.

Потрібно відзначити основні практичні достоїнства використання технології лазерного сканування порівняно з традиційними наземними методами топографічної зйомки, в тому числі:

- високу продуктивність (випуск топографічних планів масштабу 1:2000 здійснюється протягом 1–2 діб);
- можливість виконання робіт у важкодоступних і недоступних для наземної зйомки районах (засніжені території, густий рослинний покрив, пустелі);
- гнучкість методу прив'язки в різні системи координат;
- відсутність необхідності виконання наземних геодезичних робіт з планово-висотного обґрунтування;
- використання різних лазерно-локаційних даних при дешифруванні для повного відображення якісних і кількісних характеристик об'єктів;
- істотне зменшення фінансових витрат.

Крім того, специфіка технології повітряного лазерного сканування дозволяє використовувати отримвані дані не тільки для цілей картографування території, але й для розв'язання широкого кола наукових і прикладних задач у різних галузях економіки. Так, наприклад, отримвані при лазерній локації земної поверхні надлишкові просторово прив'язані дані можна використовувати в роботах з таксації лісових угідь, в землеустрої, при експлуатаційній

оцінці стану електроенергетичних мереж, екологічній оцінці, а також для визначення збитків при техногенних катастрофах і стихійних лихах.

На сьогодні лазерне сканування є предметом посиленої уваги як науковців, так і практиків через нові широкі можливості цього методу для виконання важливих господарських завдань. Лазерне сканування ґрунтується на тій самій ідеї, що й лазерне вимірювання відстаней: надісланий лазером сигнал відбивається від об'єкта і повертається до приймача. За часом проходження оптичного сигналу обчислюється відстань від лазера до об'єкта. На сьогодні широко використовується понад два десятки лазерних скандувальних систем як наземного, так і повітряного базування.

8.6. Використання інтерферометричних даних для побудови ЦМР

Оцінюючи ситуацію на ринку даних дистанційного зондування, можна з певністю стверджувати, що знімки високої розрізненості, отримувані з космічних радіолокаторів із синтезуванням апертури (РСА), зайняли свою нішу і вже існує низка додатків в ГІС і ДЗЗ, що використовують як дані радіолокаційні знімки. Це передусім стосується додатків, що потребують оперативного отримання інформації незалежно від погодних умов і освітленості поверхні (екологічний моніторинг, наприклад, визначення площ розливу нафтопродуктів, підтоплених територій під час паводку, контроль за вирубкою лісу). Крім того, космічна радіолокаційна інформація може бути використана для геологічних досліджень (складання геологічних карт районів, перспективних для видобутку корисних копалин), дослідження процесів у приповерхневому шарі морів і океанів з метою картографування. Останній додаток на сьогодні розвивається досить інтенсивно.

Можна умовно виділити два напрямки в картографуванні, де найбільше застосовуються засоби аналізу радіолокаційних даних ДЗ знаходять найбільше застосування. Перший напрямок це створення цифрових моделей рельєфу і на їх основі цифрових топографічних карт з використанням стереометричного (рис. 8.10) та інтерферометричного методів.

Іншим напрямком є об'єктовий аналіз радіолокаційних знімків, що використовує різні дешифрувальні властивості знімків. Об'єкти на знімках поділяються на точкові і просторово розподілені. До точкових відносяться об'єкти, просторові розміри, які не перевищують одиниць елементів розрізнення РСА. Просторово розподілені об'єкти іноді називають площинними, до них відносяться, наприклад, лісові масиви, поля тощо.

Дешифрувальними властивостями знімка є його яскравість або амплітуда, текстури, розміри і форми об'єктів. Амплітудні і текстурні властивості використовуються головним чином для ідентифікації й класифікації площинних об'єктів. Точкові об'єкти характеризуються, поряд з яскравістю, кількістю відліків сигналу та їх взаємним розташуванням. Таким чином, радіолокаційні

дані ДЗ можуть бути використані в картографічних додатках двояким чином: по-перше, для виявлення або уточнення об'єктного складу поверхні, класифікації об'єктів, уточнення їх границь і, по-друге, для побудови цифрових моделей рельєфу, тобто для створення третьої просторової координати радіолокаційного знімка. Існує декілька методів, що дозволяють виділити з радіолокаційних даних інформацію про піднесення рельєфу поверхні: стереометричний, інтерферометричний, клинометричний і поляриметричний.



Рис. 8.10. Використання стереопари для створення ЦМР

Стереометричний та інтерферометричний методи потребують двох знімків однієї і тієї ж ділянки поверхні, клинометричний працює тільки з одним знімком, а поляриметричний потребує набору зображень, виконаних з різними поляризаціями сигналу. Зважаючи на певні особливості цих методів, практичне використання при створенні рельєфу поверхні знаходять тільки стереометричний та інтерферометричний методи.

Стереоскопічна радіолокаційна зйомка з космосу відома з початку 80-х років XX ст., коли вперше були отримані стереопари з американського супутника PCA SIR-B, за якими за після цифрової обробки, був відновлений рельєф поверхні. В подальшому, наприкінці 80-х і початку 90-х років XX ст. радянськими радіолокаторами розробки НВО Вега, на космічних апаратах Космос-1870 і Алмаз-1, створених НВО "Машинобудування", була отримана велика кількість радіолокаційних стереоскопічних знімків, які дозволили фахівцям НВО "Машинобудування" розробити і впровадити програмні засоби цифрової обробки стереоданих з метою отримання ЦМР.

На даний час джерелом отримання радіолокаційних стереопар на ринку даних ДЗ слугує канадський PCA RADARSAT, який, завдячуючи конфігурації

орбіти і характеристикам самого радіолокатора, здатний здійснювати стереозйомки великих площ поверхні (тисячі квадратних кілометрів) з інтервалом у декілька діб. Умовою отримання знімків, придатних для цифрової стереобробки, є зйомка з однойменних витків (висхідних або спадних) з різницею кутів візування приблизно від 5 до 30 градусів. При підборі стереопар бажано обирати знімки, виконані з меншим часовим інтервалом, щоб уникнути взаємної декореляції зображень через різні зміни на поверхні за час між зйомками.

Точність відновлення вертикальної складової при цифровій стереобробці залежить практично тільки від просторової розрізненості радіолокатора. Це обумовлено тим, що цифровий кореляційний аналіз знімків стереопари може бути зроблений з точністю до величини елемента розрізнення. Хоча існують методи субпіксельної обробки, які дозволяють отримати статистичну точність кореляції до половини елемента розрізнення, при оцінці реальної розрізненості методу за висотою треба орієнтуватися на величину просторового розрізнення. Просторова розрізненість сучасних космічних РСА становить одиниці метрів (наприклад, 8 метрів у РСА RADARSAT). На рис. 8.11 а представлений один із знімків стереопари на ділянку місцевості в штаті Невада, США, отриманий за допомогою РСА RADARSAT. На рис. 8.11 б представлена цифрова модель рельєфу, що побудована за допомогою цифрової обробки стереопари.

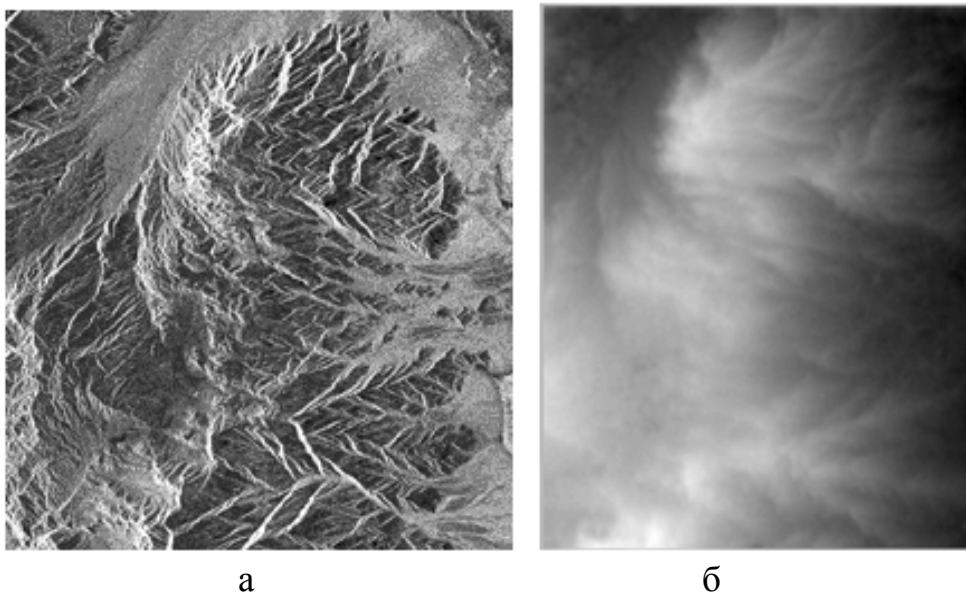


Рис. 8.11. Знімок стереопари:
а – ділянка місцевості; *б* – цифрова модель місцевості

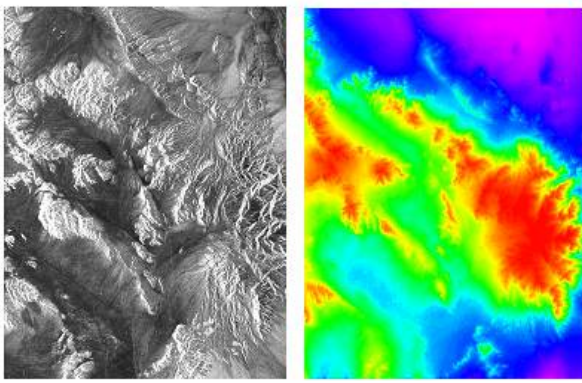
Інтерферометрична обробка даних РСА полягає у виділенні фазової інформації з радіолокаційного сигналу і спільної обробки фазових полів, отриманих зйомкою однієї і тієї ж ділянки місцевості на двох витках або одночасно двома антенними системами.

Основними сферами застосування інтерферометричної зйомки є: картографування (отримання моделей рельєфу) з високою точністю, моніторинг різноманітних ресурсів, виявлення різних забруднень на земній поверхні, оцінка результатів природних катастроф (зсув великих ділянок поверхні при землетрусах, зсувах, розширення зони пустель, зміна структури ґрунту або ерозія), контроль за переміщенням льодових полів у зонах морського судноплавства.

Для інтерферометричної зйомки необхідне точне знання параметрів орбіти космічного апарату. Умовою одержання інтерферометричних даних є відстань між траєкторіями при зйомках (або інтерферометрична база), яка повинна складати декілька сотень метрів. Інтерферометричні пари знімків можуть бути отримані PCA ERS-1/2, JERS-1, RADARSAT. Є база інтерферометричних даних, отриманих при польоті PCA SIR-C/X. Крім того, існує декілька інтерферометричних систем на літаках, призначених для досліджень можливостей інтерферометричного методу, особливо для отримання високоточних карт рельєфу.

Точність інтерферометричного методу залежить від якості вихідних зображень, тобто від рівня фазового шуму знімків і від ступеня їх часової декореляції, якщо зйомка виконувалась під час двох прольотів. Практичні результати, отримані американськими фахівцями на інтерферометричній системі авіаційного базування (експеримент TOPSAR) підтвердили досягнути точність відновлення висотної складової рельєфу 1 метр місцевості з помірними взгір'ями і 3 м гірського рельєфу. В межах спільного експерименту НВО "Машинобудування" і NASA з дослідження можливостей інтерферометричного методу для картографування, російськими фахівцями була проведена обробка інтерферометричних знімків з PCA SIR-C/X для тестової ділянки в районі м. Жуковський Московської області. Точність відновлення рельєфу склала 3–5 метрів залежно від рівня фазового шуму на поверхні. Розмір оброблених ділянок знімків на місцевості для цього експерименту склав приблизно 6х6 кілометрів. Іншим прикладом оцінки точності інтерферометричного методу можуть слугувати результати обробки знімків з SIR-C/X в НВО "Машинобудування" одного з районів штату Каліфорнія. Оброблялася повна ділянка перекриття між двома знімками інтерферометричної пари з розмірами на місцевості 40 на 25 км. Помилка відновлення рельєфу склала 13 метрів для одного краю результуючої моделі і 15 метрів для іншого краю. При цьому треба врахувати дві обставини, що знижують точність обробки. По-перше, платформа SIR-C/X (МТКК "Спейс Шаттл") має через низьку висоту вкрай нестабільну орбіту, знижуючи точність необхідних фазових компенсацій. По-друге, досліджувана ділянка має різкі перепади рельєфу, тобто планові помилки істотно впливали на оцінку точності.

Яскраве зображення одного із знімків інтерферометричної пари для цієї ділянки наведено на рис. 8.12 а, цифрова модель рельєфу, отримана цифровою обробкою – на рис. 8.12 б. На рис. 8.13 показано перспективне трьохмірне подання моделі рельєфу.



а *б*

Рис. 8.12. Знімок
інтерферометричної пари:
а – яскравісне зображення;
б – цифрова модель рельєфу

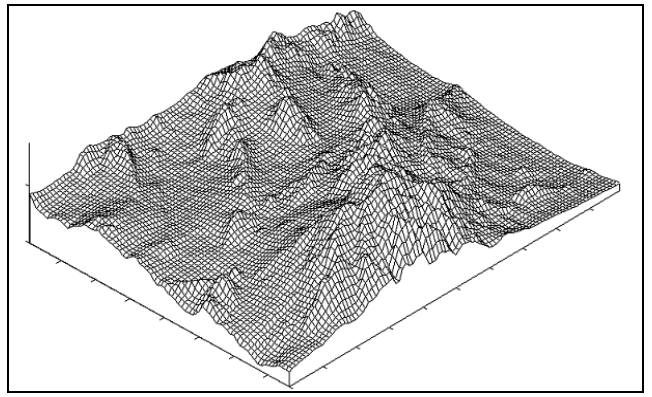


Рис. 8.13. Перспективне тривимірне
подання рельєфу

Одночасно з розвитком інструментальних засобів радіолокаційного зондування удосконалюються і програмно-алгоритмічні засоби обробки даних. Розширення бази даних радіолокаційних знімків, які задовольняють вимоги до стереоскопічної та інтерферометричної зйомки, робить актуальною розробку програмного забезпечення, що дозволяє виділяти з цих знімків закладену в них інформацію про рельєф.

9. ПОБУДОВА ПОВЕРХОНЬ ЗА ДОПОМОГОЮ ІНТЕРПОЛЯЦІЇ

Як це не парадоксально звучить, усі точні науки перейняли ідеєю апроксимації.

Б. Рассел

В основі методів моделювання (побудови) безперервних поверхонь на основі дискретних (точкових) масивів просторово-координованих даних лежать процедури просторової інтерполяції. При цьому використовуються як стохастичні, так і детерміновані дані.

На сьогодні існує багато методів, що дозволяють розв'язувати цю задачу. Серед них – інтерполяція на основі триангуляції Делоне, метод зворотно зважених відстаней, метод природної околиці, методи сплайн-апроксимації, трендів, радіальних базисних функцій, крігінг та багато інших.

9.1. Загальні відомості про апроксимацію та інтерполяцію

Створення поверхні в ГІС – заповнення простору між наявними дискретними точками, що містять дані вимірів певного безперервного явища.

Стандартним засобом такого моделювання є *інтерполяція*. Наприклад, дані отримані з неупорядковано розташованих метеорологічних станцій у регіоні, можуть бути використані для створення растрових поверхонь температури, атмосферного тиску, вологості, забруднення повітря тощо. При цьому використовуються як стохастичні, так і детерміністичні підходи.

Відмінності між *інтерполяцією* та *апроксимацією* представлені на рис. 9.1.

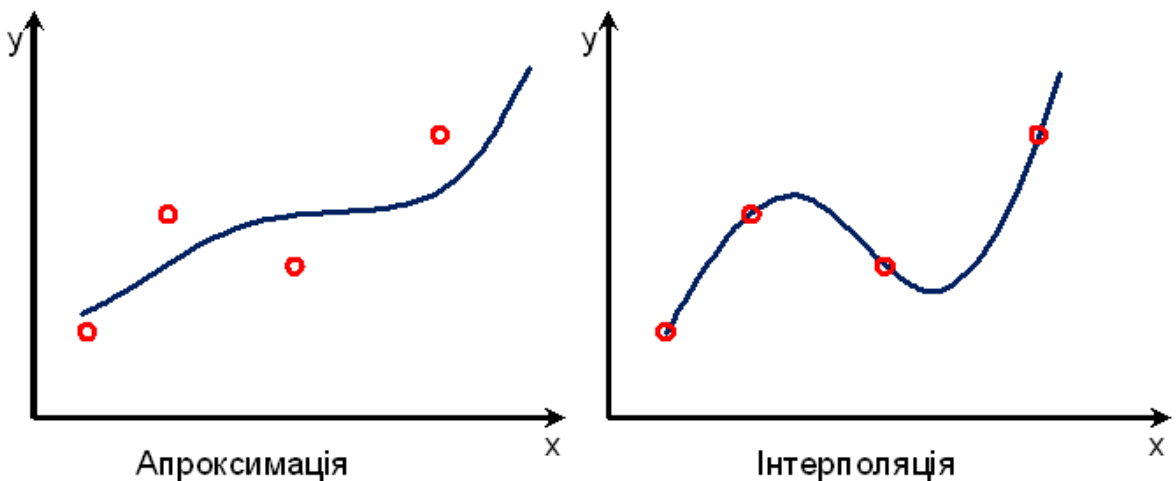


Рис. 9.1. Відмінності апроксимації та інтерполяції

Процес апроксимації полягає в побудові наближеної (апроксимуючої) функції, що проходить через всі точки вихідних даних і найближче до заданої неперервної функції. Підбір емпіричної функції здійснюється вибором з усіх функцій на основі обчислених параметрів, що входять в ці функції, найбільш близько описують функціональну залежність між досліджуваними величинами.

Інтерполяція – процес отримання значень певної властивості в точках, розташованих поміж точками вимірів, тобто призначення інтерполяції в ГІС полягає в тому, щоб заповнити проміжки між відомими точками вимірів і таким чином змодельовати безперервний розподіл властивості (атрибуту).

Інтерполяція будується на припущенні, що просторово розподілені об'єкти корелюються в просторі, тобто об'єкти, розташовані поруч, мають схожі характеристики. Наприклад, якщо йде сніг на одній стороні вулиці, можна з великою ймовірністю стверджувати, що сніг йде і на іншій стороні вулиці. Менш імовірно, що сніг йде на території всього міста, і ще менш імовірно, що опади відбуваються на всій території області, регіону, країни тощо.

Просторова інтерполяція точкових даних ґрунтується на виборі аналітичної моделі поверхні. Процедура переходу від значень у дискретних точках до поверхні є нетривіальною і неоднозначною; для різноманітних задач і типів даних потрібні різні алгоритми (вірніше, не "потрібні", а "краще підходять", оскільки на 100 %, придатних не існує). Саме тому для створення поверхонь пропонуються різні методи створення поверхонь за точковими даними. Кожний з цих методів інтерполяції припускає різні шляхи отримання значень. Ефективність програми інтерполяції визначається:

- набором методів інтерполяції;
- можливістю дослідника керувати параметрами методів інтерполяції;
- наявністю засобів оцінки точності і достовірності побудованої поверхні;
- можливістю уточнювати отриманий результат на основі особистого досвіду експерта з урахуванням різноманітних додаткових факторів, які не могли бути відображені у вигляді вихідних даних.

Для безпосереднього створення інтерпольованої поверхні необхідний набір (мережа) точок з даними про їх просторове розміщення (координати x , y в декартовій системі або у вигляді широти / довготи в географічній системі) і кількісне значення параметра z у цих точках (висота, тиск, температура, концентрація забруднювача тощо). Тобто для побудови інтерпольованої поверхні одним із методів, що є в арсеналі ГІС (IDW, Spline, Kriging, TIN тощо) на "вхід" утиліти інтерполяції потрібно подати набір (шар) точок.

Для більшості випадків мережа (набір, сітка) таких вихідних точок (*data point*) є нерегулярною (задана в деяких точках досліджуваної ділянки простору), має різну щільність, великі розриви тощо.

Завданням просторової інтерполяції є побудова на основі мережі вихідних точок суцільної поверхні із заданим розміром кроку сітки вузлів, що розраховуються. Залежно від необхідної просторової точності вибирається

різний крок інтерполяції (наприклад, ділянка розміром 10x10 км може бути інтерпольована з кроком 100 м (100x100 вузлів сітки) або з кроком 10 м (1000x1000 вузлів). На підставі числових значень точок даних розраховується значення для кожного вузла мережі, що інтерпольується. Зазвичай процедура інтерполяції виконується для області прямокутної форми – растра (рис. 9.2).

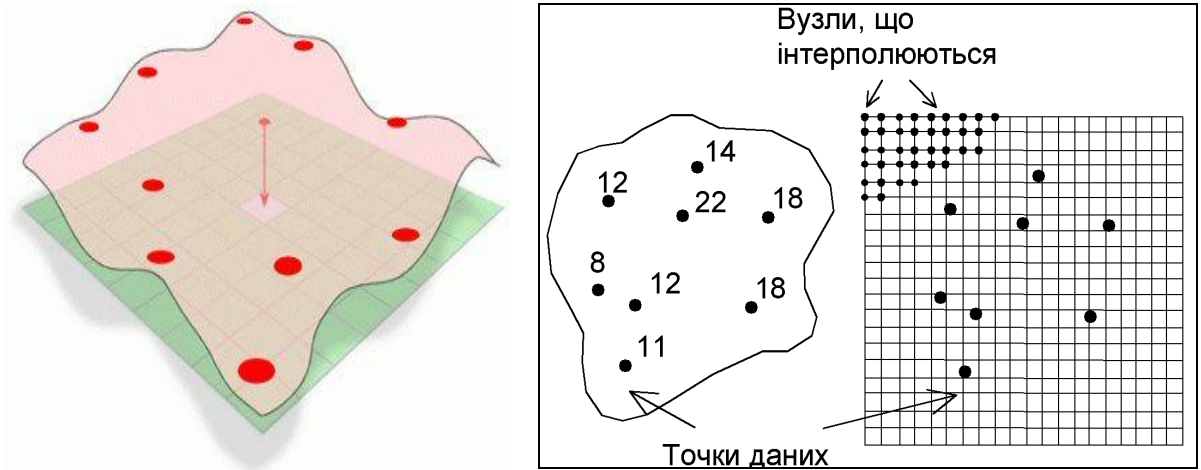


Рис. 9.2. Приклад невпорядковано отриманих даних, для інтерполяції

Інтерполяція – відновлення функції на заданому інтервалі за відомими значеннями у кінцевій множині точок, що належать цьому інтервалу.

9.2. Створення поверхонь за допомогою лінійної інтерполяції

Лінійна інтерполяція – це інтерполяція функції f алгебраїчним двочленом $P_1(x) = kx + c$ у точках x_0 та x_1 , які належать відрізку $[a, b]$.

Якщо припустити, що приріст функції пропорційний приросту аргументу (лінійна інтерполяція), то функція замінюється ламаною, що складається з відрізків прямої, які з'єднують пари сусідніх значень. Вона полягає в тому, що задані точки $M(x_i, y_i)$ ($i = 0, 1, \dots, n$) з'єднуються прямолінійними відрізками і функція $f(x)$ наближається до ламаної з вершинами у даних точках (рис. 9.3).

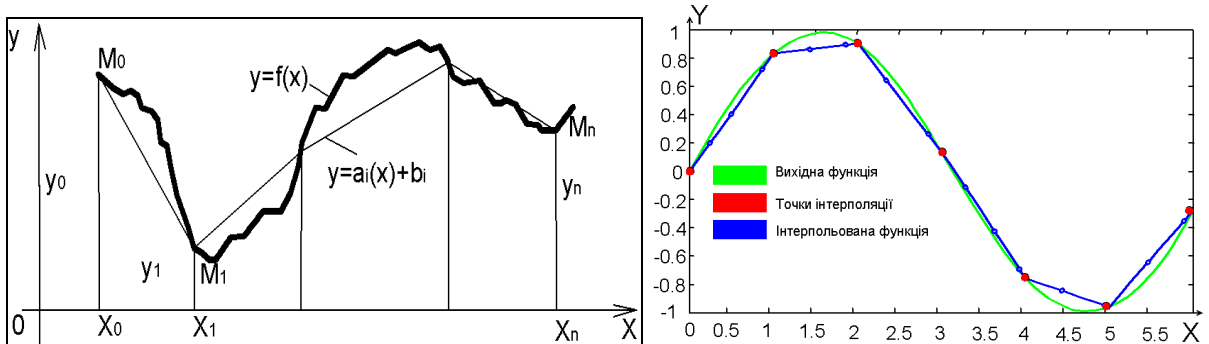


Рис. 9.3. Приклади лінійної інтерполяції

Інтерполяція не зводиться до заповнення значень функції для проміжних значень аргументу, а полягає в побудові за таблицею значень функції її аналітичного виразу, найчастіше багаточлена (полінома) ступеня на одиницю менше, чим кількість заданих значень (параболічна інтерполяція).

Формули для побудови такого багаточлена називаються *інтерполяційними формулами*. З них найчастіше застосовуються інтерполяційні формули Лагранжа, Ньютона, Бесселя, Стірлінга, Еверетта. За наявності в значеннях функції випадкових помилок треба віддати перевагу апроксимації функції багаточленами раціональними дробами, які мінімізують максимум абсолютної погрішності на всьому інтервалі. Рівняння кожного відрізка ламаної лінії в загальному випадку – різні. Оскільки маємо n інтервалів (x_i, x_{i+1}) , то для кожного з них рівняння інтерполяційного полінома використовується рівняння прямої, що проходить через дві точки. Зокрема, для i -го інтервалу можна написати рівняння прямої, що проходить через дві точки (x_i, y_i) та (x_{i+1}, y_{i+1}) , у вигляді:

$$\frac{y - y_i}{y_{i+1} - y_i} = \frac{x - x_i}{x_{i+1} - x_i}.$$

Звідси

$$y = a_i x + b_i, \quad x_i \leq x \leq x_{i+1},$$
$$a_i = \frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i}, \quad b_i = y_i - a_i x_i.$$

Отже, при використанні лінійної інтерполяції спочатку потрібно визначити інтервал, у який потрапляє значення аргументу x , а потім підставити його в наведену формулу і знайти наближене значення функції в цій точці.

Інтерполяції й апроксимації використовуються, зокрема, в картографічному методі дослідження, математико-картографічному моделюванні і ГІС, у тому числі і в операціях обробки ЦМР для відновлення поверхонь за множиною її дискретних значень і проведення ізоліній (наприклад, горизонталей за сукупністю висотних позначок). Необхідність урахування особливостей, пов'язаних із просторовістю даних інтерполяції (сферичність Землі, викривлення картографічних проєкцій тощо), дозволяє виділяти так звану просторову інтерполяцію з притаманними їй особливостями реалізації методів інтерполяції.

9.3. Інтерполяція на основі триангуляції Делоне

Інтерполяція на основі триангуляції Делоне за умови достатньо рівномірного розташування точок в точності моделює дії людини при побудові рельєфу в горизонталях і обчисленні висот точок, у результаті чого досягається найбільш звична картина рельєфу. При цьому спочатку будується

система трикутників, що не перекривається, вершинами яких є вихідні точки. Поверхня подається як многогранник з трикутними гранями, де проекція кожної грані на площину, що картографується і є відповідний трикутник триангуляції, а висоти дорівнюють значенням $z = 0$ в i -х точках. З безлічі точок на площині можуть бути утворені різні мережі триангуляції, і відповідно з цим будуть утворюватись різні поверхні.

Виявляється, що оптимальною для моделювання є триангуляція Делоне, в якій для запобігання виникнення зломів ізоліній на ребрах полігонів для кожної вихідної точки будується локальний поліном першого або другого ступеня, і за допомогою триангуляції ці локальні поліноми "склеюються" в одну гладку поверхню.

9.4. Створення поверхонь методом зворотно-зважених відстаней

Метод зворотно-зважених відстаней (ОВВ, обернено-вагових відстаней, Inverse Distance Method, IDM) передбачає, що кожна вхідна точка має вплив, який зменшується при збільшенні відстані від точки виміру.

Метод ЗЗВ є частковим, але найбільш поширеним випадком методу середнього вагового, або ковзного середнього вагового, який об'єднує ідеї близькості, що використовується у свою чергу методом полігонів Тиссена–Вороного з повільними змінами трендової поверхні. Припущення, покладене в основу методу, полягає в тому, що значення атрибута z у довільній точці простору, в якій не проводилися вимірювання, є середньо ваговим за відстанню із значень у точках вимірювань, розміщених по сусідству в межах певного радіуса або вікна навколо цієї точки:

$$z(x_j) = \frac{\sum_{i=1}^n z(x_i) \frac{d_{ij}^{-p}}{\sum_{i=1}^n d_{ij}^{-p}}}{\sum_{i=1}^n d_{ij}^{-p}}, \quad (9.1)$$

де x – точки (вузли), для яких повинна бути інтерпольована поверхня;

x_j – точки з відомими значеннями;

d – відстані ("дистанції") між точками з відомими значеннями і точкою оцінювання;

p – показник степеня;

n – кількість точок з відомими значеннями, що потрапляють в околиці вузла оцінювання.

У рівнянні (9.1) при $d \rightarrow 0$ $d^{-p} \rightarrow \infty$ значення для вузла інтерполяції, яке збігається з точкою даних, повинне бути просто скопійоване. У зв'язку з цим даний метод належить до так званих "точних" методів інтерполяції. Найпростіша форма цієї залежності ($p=1$) забезпечує лінійну інтерполяцію, в якій

вагові коефіцієнти обчислюються за лінійною функцією відстані між точками даних і точками інтерполяції. При $p = 2$, тобто при значенні, яке найбільш часто використовується на практиці, метод називають *методом обернено квадратичної дистанції*.

Для визначення величини параметра в кожній вихідній комірці може бути використана детермінована кількість точок або всі точки в межах заданого радіуса (рис. 9.4).

Таким чином, точки, розміщені ближче до комірки що обробляється, мають більшу вагу або вплив, ніж точки, розміщені далі.

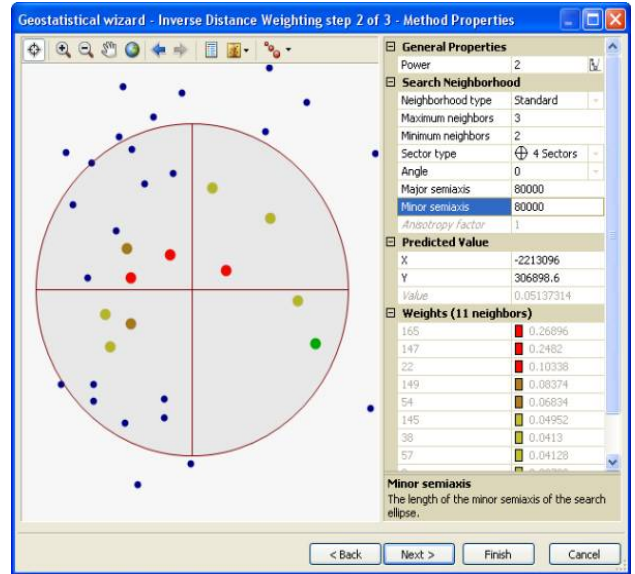
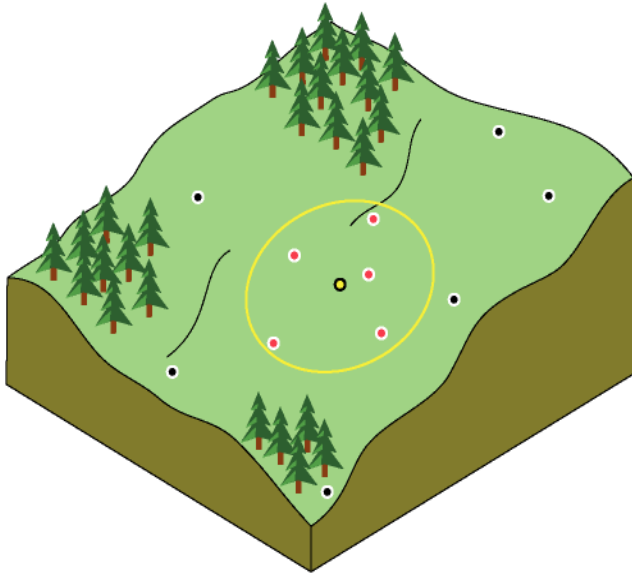


Рис. 9.4. Вибір точок і вікно *Weights (Ваг)* містить список ваг, призначених кожній точці даних, яка використовується для інтерполяції значення в місці розташування, що позначено перехрестям

Тобто вага пропорційна зворотній відстані (між точкою даних і місцем розташування, що інтерполюється), піднесеним у ступень p . В результаті у міру збільшення відстані вага буде стрімко зменшуватися. Ступінь зменшення ваги залежить від значення p . Якщо $p = 0$, вага з відстанню не буде зменшуватись, а оскільки всі ваги λ_i однакові, то проінтерпольоване значення буде дорівнювати середньому всіх значень даних в околицях пошуку (рис. 9.5).

По мірі збільшення значення p ваги окремих точок будуть стрімко зменшуватись. Якщо значення p занадто високе, то на інтерполяцію будуть здійснювати вплив тільки точки, розташовані в безпосередній близькості.

Цей метод, як правило, застосовується, коли вплив змінної зменшується зі збільшенням відстані від точки виміру. При цьому можна контролювати декілька параметрів інтерполяції методом обернено-вагових відстаней: ступінь, тип радіуса та бар'єри.

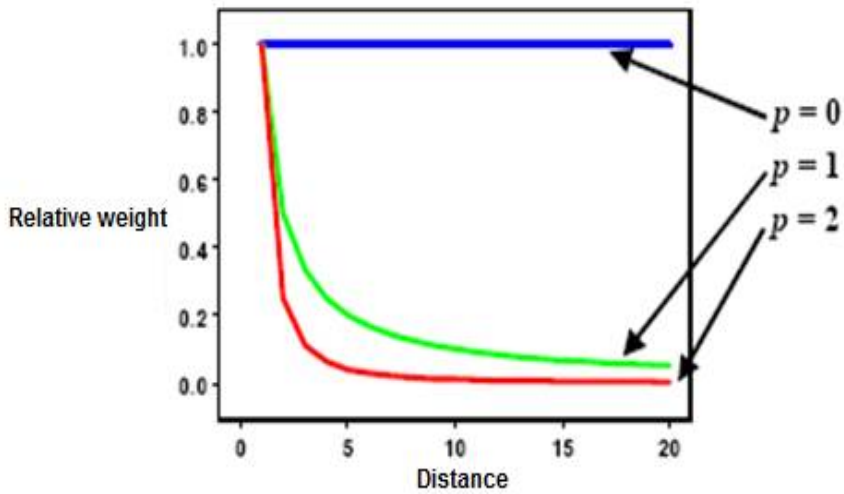


Рис. 9.5. Оцінка впливу ваги і ступеня полінома

Приклад поверхні, одержаної шляхом інтерполяції значень точок за методом інтерполяції ЗЗВ (IDW), представлений на рис. 9.6.

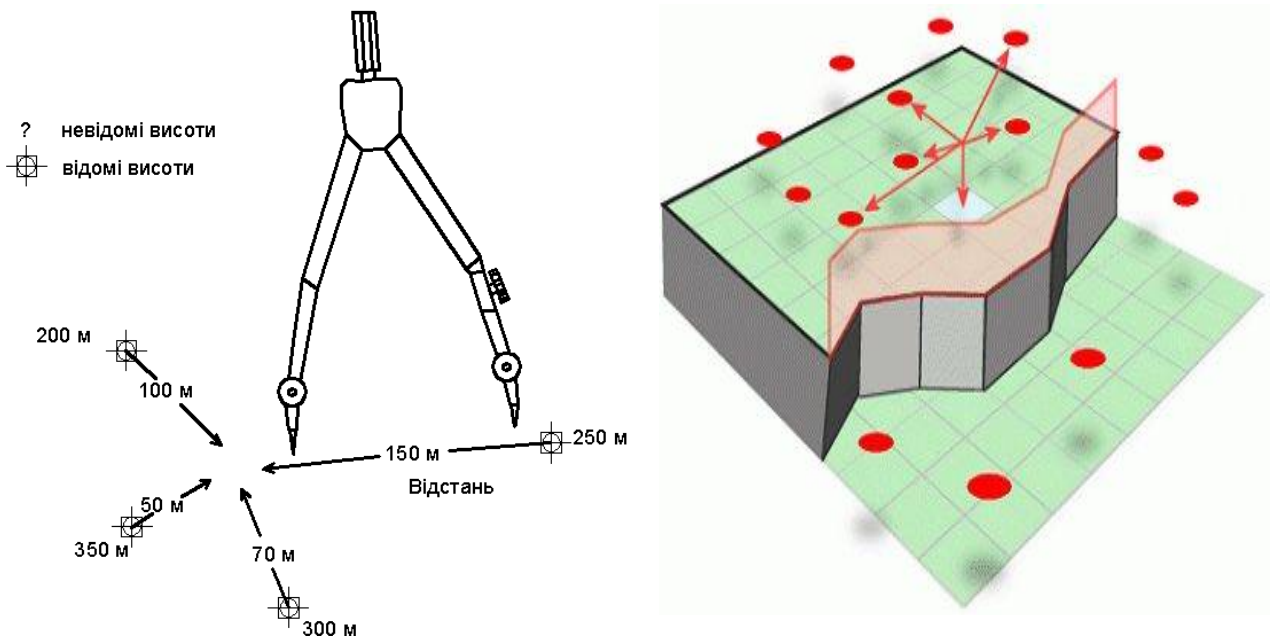


Рис. 9.6. Ілюстрація інтерполяції за методом ЗЗВ

За допомогою методу ЗЗВ можна контролювати параметри інтерполяції: *ступінь полінома, тип радіуса та бар'єри.*

За допомогою *ступеня інтерполяції* можна контролювати вплив виміряних значень поверхні на інтерпольоване значення, ґрунтуючись на їх відстані від комірки. Якщо задати більший показник степеня, то вплив ближніх точок буде більш істотним, поверхня більш детальною і менш гладкою. Менший показник степеня збільшить вплив віддалених точок, і поверхня буде більш гладкою.

Степінь оберненої відстані (задається дослідником) є тією критичною відстанню, у перевищенні якої взаємний вплив точок при відновленні поверхні стає несуттєвим. Якщо задати більший показник степеня, то вплив ближніх точок буде більш значним, поверхня буде більш детальною і менш гладкою. Менший показник степеня збільшить вплив віддалених точок, і поверхня буде більш гладкою. При наближенні степеня до нуля розрахункова поверхня наближається до горизонтальної площини, яка проходить через середнє значення величин у всіх вихідних точках.

При наближенні степеня до нескінченності розрахункова поверхня стає багатогранною: кожній вершині цієї поверхні надається значення величини у вихідній точці, яка є ближчою до вершини. Зазвичай, значення степеня дорівнює двом.

За допомогою вибору радіуса (фіксованого або змінного) обмежується кількість вхідних точок, що беруть участь в інтерполяції. При визначенні вихідного значення для кожної точки інтерполяції поверхні можуть використовуватись або задана кількість точок, або всі точки в межах заданого радіуса.

При фіксованому радіусі для всіх інтерпольованих комірок коло пошуку сусідніх точок однакове. У використанні змінного радіуса пошуку задається кількість точок, що беруть участь в обчисленні значення параметра в інтерпольованій комірці, тому радіус пошуку для кожної комірки індивідуальний і залежить від того, як далеко від кожної комірки набирається задана кількість точок.

Метод змінного радіуса дозволяє створювати більш точні поверхні, якщо щільність точок вимірювань неоднакова в різних частинах поверхні. Якщо відомо, що існують ділянки, де точки вимірювань розподілені рідко, можна вказати максимальну відстань, яку не повинен перевищувати пошук. Якщо радіус пошуку досяг максимальної відстані, не набравши заданої кількості точок, обчислення значення параметра комірки буде виконано на основі тієї кількості точок, яка опинилась у межах максимального радіуса [23].

Якщо відомо, що існують ділянки, де точки вимірювань розподілені рідко, можна вказати максимальну відстань, яку не повинен перевищувати пошук.

За допомогою бар'єрів використовуються для встановлення межі пошуку точок вимірювань. Лінією бар'єра може бути обрив, гірський хребет або інший розрив у ландшафті. При обчисленні значень комірки будуть враховуватись тільки ті точки, що розташовані на тому ж боці бар'єру, що й комірка.

Існує багато модифікацій цього підходу. Одні методи скорочують обсяг обчислень застосуванням "*пошуку з навчанням*", інші використовують як ваговий коефіцієнт замість другого степеня третій чи більш високий, треті здатні врахувати бар'єри, що визначають берегову лінію, скелі чи інші нездоланні об'єкти, які можуть істотно впливати на результати інтерполяції. Як і в інших задачах моделювання, процес інтерполяції не може поширюватися через такий бар'єр.

Метод ЗЗВ є гнучким і малоємним з точки зору використання обчислювальних ресурсів. Основні недоліки цього методу – відсутність методики обґрунтування можливості або доцільності використання у кожному конкретному випадку вагової функції вигляду (9.1), відсутність об'єктивних критеріїв вибору значення параметра r (1, 2, 3, 4,...), хоча воно може суттєво впливати на результати моделювання, і наперед невідома точність просторової інтерполяції. Специфічною особливістю використання даного методу при великому діапазоні значень досліджуваної змінної і нерівномірному її просторовому розподілі є створення на інтерпольованій поверхні так званих "волових очей" – областей підвищених або знижених значень овальної форми.

Недоліком методу ЗЗВ є генерація структури ізоліній типу "волове око" навколо точок з великими або малими значеннями величини поверхні. Для зменшення впливу згаданих точок при реалізації методу можна задати значення параметру, що згладжує інтерполяційну функцію. Проте якщо цей параметр більше нуля, то при розрахунку значення поверхні в жодному вузлі *grida* не буде співпадати зі значеннями у вихідних точках, навіть коли вихідна точка збігається з вузлом. Чим більший параметр, що згладжує, тим менший вплив має кожна вихідна точка на розрахункове значення у вузлі *grida*.

Однією з модифікацій методу ЗЗВ є метод Шепарда, який використовує обернені відстані для розрахунку вагових коефіцієнтів. Відмінність полягає в тому, що при побудові інтерполяційної функції в локальних областях використовується метод найменших квадратів (МНК), що зменшує ймовірність появи на карті ізоліній типу "волового ока".

Який би метод не використовувався, комп'ютер має вимірювати відстань між кожною парою точок і від кожної початкової точки. Потім значення певної характеристики (властивості) в кожній точці розраховується залежно від квадрата відстані таким чином, що точки, розташовані ближче до початкової, мають більший вплив на визначення характеристики (властивості), на відміну з більш віддаленими (рис. 9.6) [25].

Згідно з цим методом, відсутня величина буде ближчою до відмітки висоти 350 м унаслідок її наближеності до точки інтерполювання.

Побудована таким чином функція використовується в подальшому для розрахунку значень поверхні у вузлах *grida*. Наприклад, при інтерполяції поверхні купівельної спроможності, створеної для аналізу місць роздрібної торгівлі, купівельна спроможність на більш віддаленій відстані буде мати менший вплив, оскільки люди зазвичай дають перевагу купівлі товарів близько від дому. Або, рухаючись за схилами пагорба, можна відзначити більшу подібність у значеннях висоти в прилеглих до вашого поточного місцеположення точках порівняно з тими, що більш віддалені. Те саме можна сказати, якщо рухатися за рівниною.

Ваговий коефіцієнт (вага), що надається окремій вихідній точці для розрахунку значення поверхні у вузлах *grida*, пропорційний степеню оберненої відстані від вихідної точки до розрахункового вузла *grida*.

При обчисленні значення поверхні у вузлах *grida* (при побудові інтерполяційної функції) сума всіх вагових коефіцієнтів вихідних точок, що

використовуються при цьому, дорівнює одиниці, а ваговий коефіцієнт кожної вихідної точки є часткою цієї загальної одиночної ваги. Якщо вихідна точка збігається з вузлом *grida*, то ваговий коефіцієнт цієї вихідної точки приймається рівним одиниці, а для всіх інших точок – нулю. У цьому випадку значення у вузлі *grida* повністю співпадає зі значенням поверхні у вихідній точці, тобто метод працює як точний інтерполятор.

Приклад побудови моделі рельєфу за методом ЗЗВ представлений на рис. 9.7.

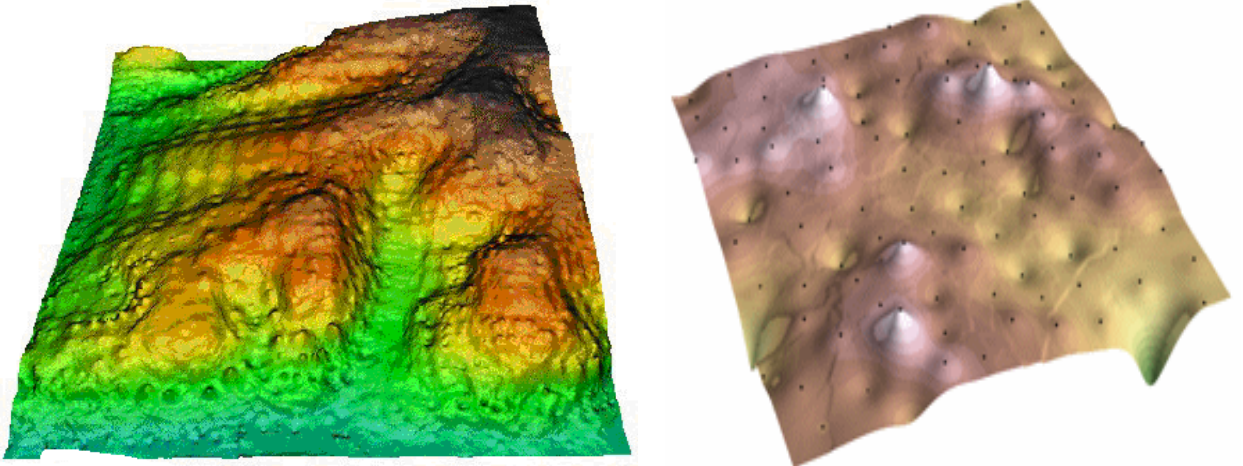


Рис. 9.7. Приклад поверхні, одержаної шляхом інтерполяції значень точок за методом інтерполяції ЗЗВ (IDW)

9.5. Створення поверхонь методом природної околиці

Метод природної околиці (рис. 9.8), як і метод обернено-вагових відстаней, ґрунтується на ваговому усередненні значень.

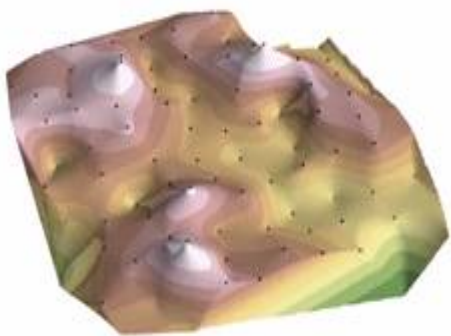


Рис. 9.8. Приклад поверхні, одержаної шляхом інтерполяції значень точок за методом інтерполяції методом природної околиці

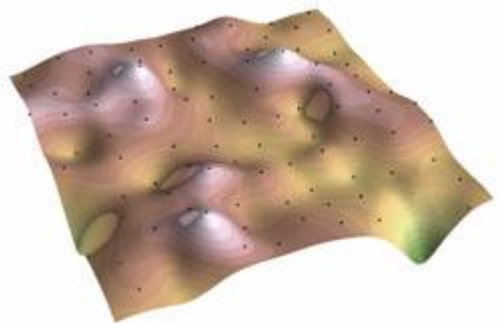


Рис. 9.9. Приклад поверхні, одержаної шляхом інтерполяції за методом сплайнів

Однак замість обчислення значення по всіх точках з вагою оберненої відстані до них при інтерполяції цим методом будується триангуляція Делоне по вхідних точках, тобто вибираються найближчі вузли, які формують опуклу оболонку навколо інтерпольованої точки, а потім їх значенням присвоюється вага, що пропорційна площі ділянок.

Цей метод найбільш придатний, коли точки вимірювань розподілені нерівномірно. Метод природної околиці є методом інтерполяції загального призначення. Його перевага в тому, що не потрібно задавати такі параметри, як радіус, кількість точок або вагу.

9.6. Створення поверхонь за допомогою сплайнів

Методи сплайн-апроксимації (рис. 9.9) набули значного поширення в усьому світі і є методом інтерполяції загального призначення. Термін "сплайн" походить від англійської назви тонкої дерев'яної рейки, яка застосовується для зображення кривих складної конфігурації. За допомогою кріплень і навантажень можна домогтися, щоб рейка проходила через задані точки. Вигнута таким чином рейка дає плавну криву, яка зазвичай задовольняє вимоги до цієї частини креслення. Також сплайн часто порівнюють з процесом натягування гуми через визначені точки при мінімізації сумарної кривизни поверхні.

Метод сплайну створює поверхню мінімальної кривизни через вхідні точки, яка будується підбором математичної функції поверхні до заданої кількості найближчих точок за умови проходження її через всі точки вимірів.

Використовують два методи сплайну: *регуляризований сплайн* і *сплайн з натягом*. В обох методах використовується один і той же параметр – кількість точок. Цей параметр контролює середню кількість точок у кожній ділянці, що використовується при обчисленні поверхні. Ділянки являють собою однакові прямокутники, їх кількість визначається поділом загальної кількості вхідних точок на задану кількість точок. Коли дані розміщені нерівномірно, фактична кількість точок може відрізнятись від встановленої кількості точок.

Регуляризований сплайн. Метод регуляризації створює гладку поверхню, що поступово змінюється, значення в якій можуть виходити за межі діапазону даних вимірів. Регуляризований сплайн дозволяє контролювати згладженість поверхні. Коефіцієнт ваги методу регуляризованого сплайну визначає вагу третіх похідних поверхні у виразі мінімізації кривизни. Значення ваги в регуляризованому сплайні дозволяє змінити гладкість поверхні. Вага задає коефіцієнт для третьої похідної і використовується для мінімізації кривизни поверхні.

Сплайн з натягом. Метод натягу змінює жорсткість поверхні залежно від характеру модельованого явища. Він створює менш гладку поверхню, значення в якій ближчі до діапазону даних вимірів.

Коефіцієнт ваги методу сплайна з натягом регулює еластичність поверхні. Вага нуль – це базова сплайн-інтерполяція. Більш високі значення означають збільшення еластичності.

Найбільш типові значення ваги: нуль, один, п'ять, десять.

У методі сплайну при проходженні через тестову точку підбирається математична функція для певного числа найближчих вхідних точок. Цей метод краще застосовувати для поверхонь, що плавно змінюються (поверхня гладкого рельєфу, води в річці або концентрації забруднюючих речовин). Він менш ефективний при значних змінах параметрів на короткому інтервалі.

Для двовимірного випадку (на площині) функція сплайна, еквівалентна гнучкій лінійці, є кубічним поліномом (поліномом третього степеня), який є безперервною функцією і має безперервні першу і другу похідні.

Для тривимірного випадку, коли замість лінії має бути інтерпольована поверхня, використовуються бікубічні сплайни – полігони третього степеня двох координат простору. У цьому випадку математичний сплайн використовує поділ кривої на ділянки, де точки прикладання сил поділяють область визначення кривої на відрізки. На кожному такому відрізку сплайн являє собою параболу третього степеня. Усі параболи разом (їх кількість збігається з кількістю відрізків) утворюють гладку безперервну криву. Зазвичай 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 і сплайнів п'ятого степеня, але це може призвести до появи зайвих "хвиль" на модельованій поверхні.

Сітка сплайнів відрізняється від звичайної сітки тим, що її поверхня є ідеально гладкою, що більш природно для більшості моделей. Сітки з розламами включають додаткові сегменти для моделювання рівного розриву. На звичайній сітковій моделі розрив утворюється східчастим виглядом (рис. 9.10).

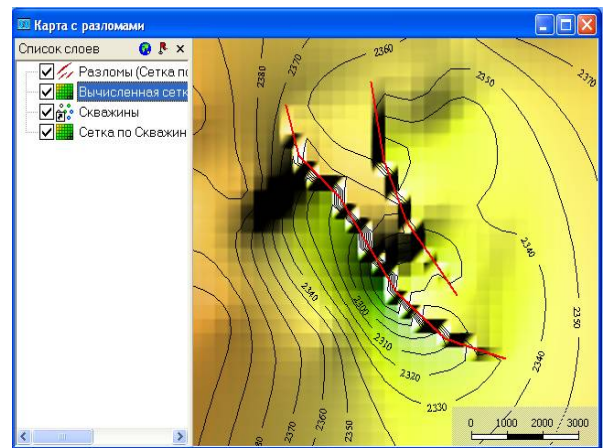
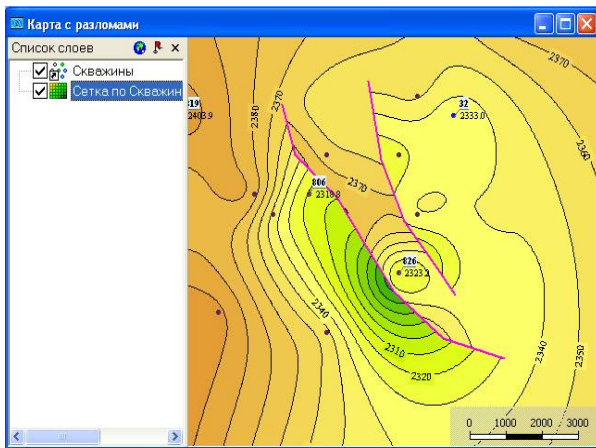


Рис. 9.10. Використання сплайн-функцій

Метод сплайн-апроксимації у більшості випадків дає непогані результати, навіть коли щільність опорних точок зовсім невелика. У випадку великого розкиду значень параметра метод потребує початкового згладжування. Недоліком також є те, що в деяких випадках з'являються осциляції (різкі піки та западини).

Сплайн-інтерполяція належить до точних методів інтерполяції, у яких інтерпольована лінія (двовимірний випадок) або поверхня (тривимірний випадок) у точках вимірювань збігається із виміряними значеннями.

Таким чином, завдання інтерполяції з використанням бікубічних сплайнів полягає в побудові на кожному фрагменті даної території кубічного полінома, значення якого в точках вимірювань збігаються із виміряними значеннями змінної. Додатковою умовою є вимога узгодження перших і других похідних у граничних точках фрагментів і дві граничні умови (нульова або певна кривизна чи нахил). Умови утворюють систему лінійних алгебраїчних рівнянь, розв'язок якої з використанням тих точкових значень змінної, що є на кожному фрагменті досліджуваної території, дозволяє знайти відповідні значення коефіцієнтів полінома.

До переваг сплайн-інтерполяції слід віднести високу швидкість обробки обчислювального алгоритму, оскільки сплайн – це кусково-поліноміальна функція і при інтерполяції одночасно обробляються дані за невеликою кількістю точок вимірювань, що належать до фрагмента, який розглядається на даний момент. Інтерпольована поверхня описує просторову мінливість різного масштабу і в той самий час є гладкою. Остання обставина робить можливим прямий аналіз геометрії і топології поверхні з використанням аналітичних процедур.

Гладкість інтерпольованої поверхні, яка є особливістю, внутрішньо властивою сплайн-інтерполяції, водночас обумовлює неможливість коректного відображення за допомогою сплайнів різких змін у поверхні-оригіналі, що є одним із недоліків методу. До недоліків також слід віднести високу залежність точності моделювання поверхні від розташування точок вимірювань (або спостережень); особливо критичне значення має наявність точок на структурних лініях поверхні-оригіналу – вододілах і тальвегах, якщо йдеться про топографічну поверхню. Результат інтерполяції залежить також і від характеру виділення фрагментів. Крім цього, так само, як і для інших детермінованих методів, немає методики прямих оцінок похибок, пов'язаних із сплайн-інтерполяцією.

Урахування цих особливостей дає можливість успішно застосувати сплайни при моделюванні таких відносно спокійних явищ, як поверхня ґрунтових вод, коли кількість похідних точок на ділянці часто вимірюється одиницями, поверхня розподілу температури, вологості, природного радіаційного фону тощо. Прикладом таких поверхонь є водна поверхня річки рівнинного типу, якій властиві плавні та відносно невеликі зміни ухилу, а також повна відсутність аномальних явищ.

Недоліком також є те, що в деяких випадках з'являються осциляції (невиправдані аномалії у місцях, де дані відсутні).

Spatial Analyst Arc View GIS дає можливість регулювати параметри Spline-функції, задаючи тип емпіричної кривої. Існують такі види цього аналізу:

1. *Regularized* – являє собою згладжуючий фільтр, який надає результуючій поверхні плинності, але допускає помітні відхилення від похідних значень.

2. *Tension* – результат дії цього засобу апроксимації нагадує гумову стрічку, яку в місцях перетину похідних точок дещо до них притиснули. Таким чином, досягається краща відповідність похідним даним за рахунок часткової втрати плинності.

3. *Parametr Weight* контролює ступінь "натягу" результуючої поверхні залежно від її типу. Так, для типу *Regularized* зростання вагового коефіцієнта призводить до більшого згладжування емпіричної кривої, а для типу *Tension* – до більшої відповідності похідним даним.

Також є можливість регулювати кількість найближчих похідних точок, що будуть залучені для обчислення кожного пікселя результуючої статистичної поверхні. Проте за невеликої кількості даних перевищення цього параметра не впливає на процес моделювання.

Інтерполяція та апроксимація на основі ієрархічних B-сплайнів

У даному методі поверхня представляється як сума кусково-поліноміальних функцій, визначених на основі двовимірних базисних сплайнів (тензорний добуток одномірних B-сплайнів) з коефіцієнтами, заданими на регулярній прямокутній сітці, причому на кожному наступному рівні ієрархії сітка згущається.

Для кожного конкретного рівня ієрархії модельна функція представляється у вигляді:

$$f(x, y) = \sum_{k=0}^3 \sum_{i=0}^3 B_k(s) B_l(t) c_{(i+k)(j+l)},$$

де $i = [x/h] - 1$; $j = [y/h] - 1$; $s = x/h - [x/h]$; $t = y/h - [y/h]$;

операція [...] означає взяття цілої частини числа;

h – крок сітки, на якій задані коефіцієнти сплайна

c_{ij} ; $i = -1, 0, \dots, m+1$; $j = -1, 0, \dots, n+1$; B_k, B_l – кубічні B-сплайни,

які визначаються на відрізьку $0 \leq t < 1$ як:

$$B_0(t) = (1-t)^3 / 6,$$

$$B_1(t) = (3t^3 - 6t^2 + 4) / 6,$$

$$B_2(t) = (-3t^3 + 3t^2 + 3t + 1) / 6,$$

$$B_3(t) = t^3 / 6.$$

Коефіцієнти c_{ij} визначаються методом найменших квадратів за значеннями у вихідних опорних точках. При досить дрібній сітці коефіцієнтів метод виходить інтерполяційним. Результуюча поверхня отримується як сума функцій для кожного рівня ієрархії, для обчислення коефіцієнтів кожного наступного рівня як значення в опорних точках використовуються залишки – різниця вихідних значень і суми значень функцій попередніх рівнів. Для побудови функції можуть бути використані не тільки поліноміальні базисні сплайни, але й інші, наприклад, сплайни з натягом, раціональні сплайни тощо. Метод активно використовується під час конструювання поверхонь у системах автоматизованого проектування, для стиснення зображень, морфінга тощо. Перевагою методу, що відрізняє його від, наприклад, методу радіальних функцій, є те, що він однаково добре працює як для рівномірного, так і нерівномірного просторового розподілу опорних точок (наприклад, зі згущенням уздовж ліній профілів). Також як і метод, заснований на триангуляції, він має високу швидкодію.

Методи інтерполяції обернено-вагових відстаней, природної околиці і сплайну є детермінованими, оскільки вони безпосередньо ґрунтуються на вимірних значеннях в околиці точок або на заданих математичних формулах, що визначають згладженість утвореної поверхні. Інша група методів інтерполяції складається із геостатистичних методів, які ґрунтуються на статистичних моделях, що включають автокореляцію. Тому така технологія дозволяє не тільки обчислити поверхню, а і визначити точність та достовірність обчислень.

9.7. Створення поверхонь за допомогою тренду

У деяких випадках більш цікавою є загальна тенденція зміни поверхні у різних напрямках, ніж точне моделювання дрібних нерівностей, наприклад, загальний розподіл населення за регіонами країни для демографічного дослідження чи підхід до кам'яновугільного шару з поверхні, щоб визначити, скільки необхідно видалити поверхневого ґрунту.

Метод поверхні тренду не є, власно кажучи, інтерполяційним методом. Він призначений для апроксимації поверхні (виявлення загальних тенденцій змін поверхні у різних напрямках), а не точного моделювання її детальних нерівностей.

Апроксимація поверхонь – це опис реальних поверхонь за допомогою відомих функцій.

Будь-яка поверхня, яка зображена на карті і задовольняє рівняння: $Z=F(x,y)$, може бути апроксимована, тобто наближено подана за допомогою відомої функції $f(x,y)$:

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

де ε – залишок, який не можна апроксимувати; x,y – координати точок на площині.

Зазвичай функцію $f(x,y)$ розкладають у ряд, отримуючи рівняння поверхні у вигляді:

$$Z = f_1(x,y) + f_2(x,y) + \dots + f_n(x,y) + \varepsilon,$$

де $f_i(x,y)$ – компоненти розкладання, які описують апроксимуючу поверхню.

Вони невідомі і повинні бути визначені. Визначення числових значень $f_i(x,y)$ виконується за умови мінімуму квадратів відхилень апроксимуючої поверхні від вихідної (тобто застосовується метод найменших квадратів). Визначена таким чином функція $f(x,y)$ може бути використана для розрахунку значень поверхні у вузлах *grida*. Як наслідок, отримується математична модель поверхні у вигляді рівняння регресії залежно від координат x,y . Зрозуміло, що фізична природа процесу, який формує поверхню, тут не враховується.

Існує декілька способів апроксимації поверхонь залежно від конкретних задач досліджень і математичного апарату, що застосовується. Апроксимація за допомогою алгебраїчних поліномів має назву тренд-аналізу, методу поверхні тренду або поліноміальної регресії. При застосуванні тренд-аналізу функція $f(x,y)$ розкладається за степенями координат x та y :

$$f(x,y) = A_{00} + A_{10} \cdot x + A_{20} \cdot x^2 + \dots + A_{m0} \cdot x^m \cdot y.$$

Якщо використовується алгебраїчний поліном першого степеня, кажуть про лінійний тренд, якщо другого – квадратичний тренд тощо. Точність апроксимації збільшується зі збільшенням степеню полінома. За умови, що степінь полінома дорівнює кількості вихідних точок, що використовуються для отримання функції, поверхня тренда пройде через усі вихідні точки.

Як і в методі ЗЗВ, для поверхонь тренду використовують набори точок у межах заданої околиці, за якими будується поверхня найкращого наближення на основі математичних рівнянь типу поліномів або сплайнів. Ці рівняння мають нелінійні залежності, які апроксимують форми числових послідовностей.

Щоб побудувати поверхню тренда, кожне зі значень околиці підставляється в рівняння. З рівняння, використаного для побудови поверхні найкращого наближення, виходить одне значення і присвоюється точці, що інтерполюється, далі процес триває для інших цільових точок. Поверхня тренду може бути розширена на все покриття. Значення, що присвоюється цільовому пікселю, може бути простим середнім усіх значень поверхні в околиці або залежним від визначеного напрямку, у якому орієнтований тренд. Поверхні тренду можуть бути відносно простими (нагадувати площину у просторі), які дають уяву про загальну тенденцію ухилу всього покриття, або досить складними. Тип рівняння (ступінь полінома) визначає хвилястість поверхні. У таких випадках кажуть про порядок поверхні.

Наприклад, поверхня тренду першого порядку буде виглядати як площина, що простягається під певним кутом по всьому покриттю, тобто має тенденцію в одному напрямку. Якщо поверхня має один вигин, то таку поверхню називають поверхнею тренду другого порядку тощо (рис. 9.11).

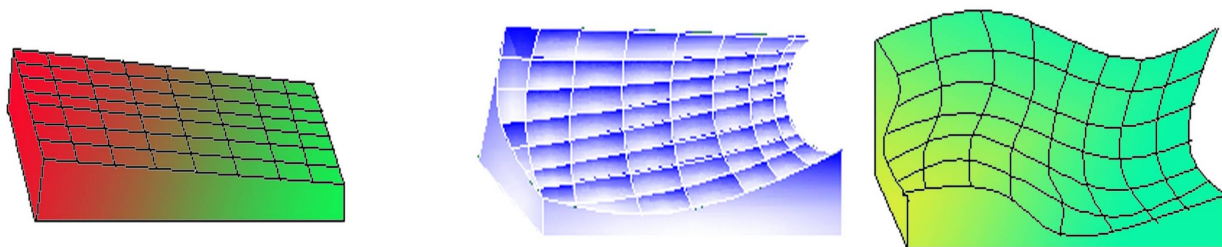


Рис. 9.11. Поверхні тренду першого, другого і третього порядку

Приклад інтерполяції поверхні методом тренду проілюстровано на рис. 9.12, де він відображений прозорим сірим кольором і поверхні інтерпольованої за методом ЗЗВ (IDW) для цих же точок.

9.8. Створення поверхонь за допомогою крігінгу

В основі крігінгу лежить припущення, що відстані між точками вимірів відображають просторову кореляцію, яку можна використати для формування поверхні. Цей метод отримав свою назву від прізвища південно-африканського геолога Д. Дж. Кріге (рис. 9.13), роботи якого лягли в основу розробки цієї технології інтерполяції.

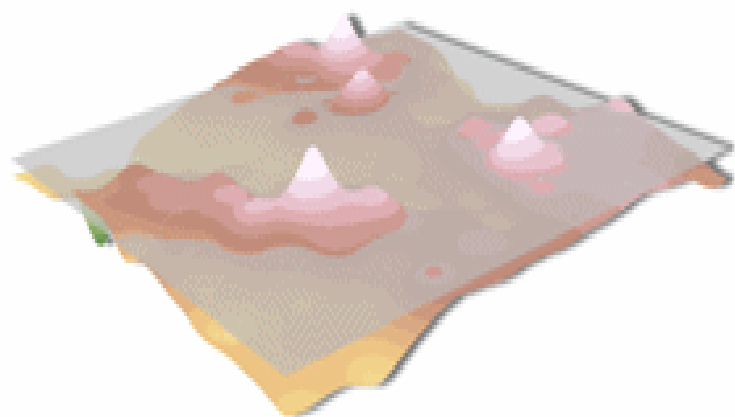


Рис. 9.12. Приклад апроксимації поверхні методом тренду



Рис. 9.13. Даніель Кріге (D.G. Krige)

Іноді в російсько- і українськомовній літературі цей метод називають "кригінг" або "крайгінг".

Даніель (Дені) Кріге (Daniel Gerhardus Krige) народився 26 серпня 1919 р. у Ботавілі (Bothaville) та виріс у Кругерсдорпі (Krugersdorp) у західному Вітватерсранді (West-Rand) що у Південно-Африканській Республіці.

Після закінчення середньої школи у 1934 р. в 15-річному віці він вступає до університету Вітватерсранда і в 19 років отримує ступінь гірського інженера (1938 р.). У цьому ж році Д. Кріге був прийнятий до компанії Англо-Трансвааль, де до 1943 року працював на золоторудних підприємствах, де здобув різносторонній практичний досвід з геодезичної зйомки, випробування й оцінки рудних запасів. У подальшому протягом восьми років Д. Кріге працював у державному гірничо-інженерному департаменті, де брав участь у переговорах з уранових проблем з британською й американською адміністрацією і в створенні проекту формули оплати урану за контрактами на початку 50-х років ХХ ст. В цей же період він одним із перших у світі розпочав дослідження, присвячені застосуванню математичної статистики в геології. Його статті із застосування математичної статистики, частково перевидані у Франції, викликали зацікавленість у всьому світі і призвели до появи концепції просторової оцінки запасів і мінеральних ресурсів, яка отримала назву "геостатистики", а сам метод "крігінгу".

В основі методу Кріге (крігінгу) лежить припущення, що відстані або напрямки між точками вимірів відображають просторову кореляцію, яку можна використати для формування поверхні.

Для визначення вихідного значення в кожній комірці метод Кріге підбирає математичну функцію, що проходить через всі точки в межах заданого радіуса або через задану кількість точок.

Крігінг – це багатокроковий процес, який включає попередній статистичний аналіз даних, моделювання варіограми, створення поверхні і, додатково, аналіз дисперсійної поверхні.

Крігінг використовує ідею величини, що змінюється від місця до місця, з певною відомою безперервністю, але не може бути адекватно описана тільки одним математичним рівнянням.

Крігінг застосовується у випадках, коли відомо, що в даних присутня кореляція за відстанню або за напрямком.

Крігінг схожий на метод обернено-вагових відстаней, оскільки він враховує вагу навколишніх вимірних значень для визначення значення для комірки, у якій не було даних.

Загальна формула для обох інтерполяцій являє собою суму вимірних значень з урахуванням ваги:

$$\hat{Z}(s_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(s_i),$$

- де $Z(s_i)$ – вимірне значення в i -й комірці;
- λ_i – вага виміряного значення i -ї комірки;
- s_0 – чарунка, що обчислюється;
- N – кількість вимірних значень.

У методі обернено-вагових відстаней вага λ_i залежить тільки від відстані до комірки, що обчислюється. А в крігінгу вага залежить не тільки від відстані між окремою точкою виміру і обчислюваною коміркою, а також від загального просторового розподілу точок вимірів.

Для урахування просторового розподілу при визначенні ваги необхідно обчислити *автокореляцію*.

Для розрахунків за методом Кріге необхідно: *виявити вид залежності і обчислити значення*.

Розв'язок цих задач у крігінгу виконує за два кроки:

– створюються варіограми і коваріаційні функції для оцінки статистичної залежності значень, що залежать від моделі автокореляції, яка використовується в даному випадку;

– визначаються невідомі значення комірок.

Через такий явний розподіл завдання на два етапи, можна стверджувати, що крігінг використовує дані двічі: вперше для оцінки просторової автокореляції даних, а вдруге для обчислення значень.

Варіографія (побудова моделі за методом Кріге) розпочинається з кривої емпіричної напівваріограми, що обчислюється як:

$$D(h) = 0,5(s_i - s_j)^2,$$

де $D(h)$ – напівдисперсія;

s_i – значення в точці i ;

s_j – значення в точці j для всіх пар точок i та j , що знаходяться на відстані h .

Пари точок, як правило, об'єднуються в інтервальні групи. Далі підбирається аналітична модель до точок варіограми (сферична, експоненціальна, кругова, лінійна, Гаусова).

Отримавши просторову автокореляцію, дані використовують для розрахунку невідомих значень.

Крігінг визначає вагу навколишніх точок вимірів, яка пов'язана з моделлю варіограми, що вибрана на основі просторової природи даних.

Для створення неперервної поверхні або карти явища обчислюються прогнознi значення для кожної точки в ділянці дослідження на основі моделі варіограми і просторового розподілу виміряних значень в околиці.

В ГІС можуть використовуватись дві модифікації метода Кріге: *ординарний* та *універсальний*.

Ординарний метод ґрунтується на передбаченні, що постійне середнє значення невідоме, а вага λ_i залежить від відповідності моделі точкам вимірів, відстані до обчислюваної точки і просторових залежностей виміряних значень, які знаходяться навколо комірки, що обчислюється.

Універсальний метод Кріге передбачає, що в даних є домінуюча тенденція і її можна змоделювати за допомогою детермінованої поліноміальної функції. Він використовується в тих випадках, коли у даних є певні тенденції і можна провести науковий аналіз для їх підтвердження.

Крігінг обробляє вихідні дані, вважаючи, що поверхня складається з трьох незалежних складових (рис. 9.14).

Першою складовою є загальна тенденція зміни поверхні у визначених напрямках. Ця складова поверхні має назву *загального тренду, дрейфу* або *структури*.

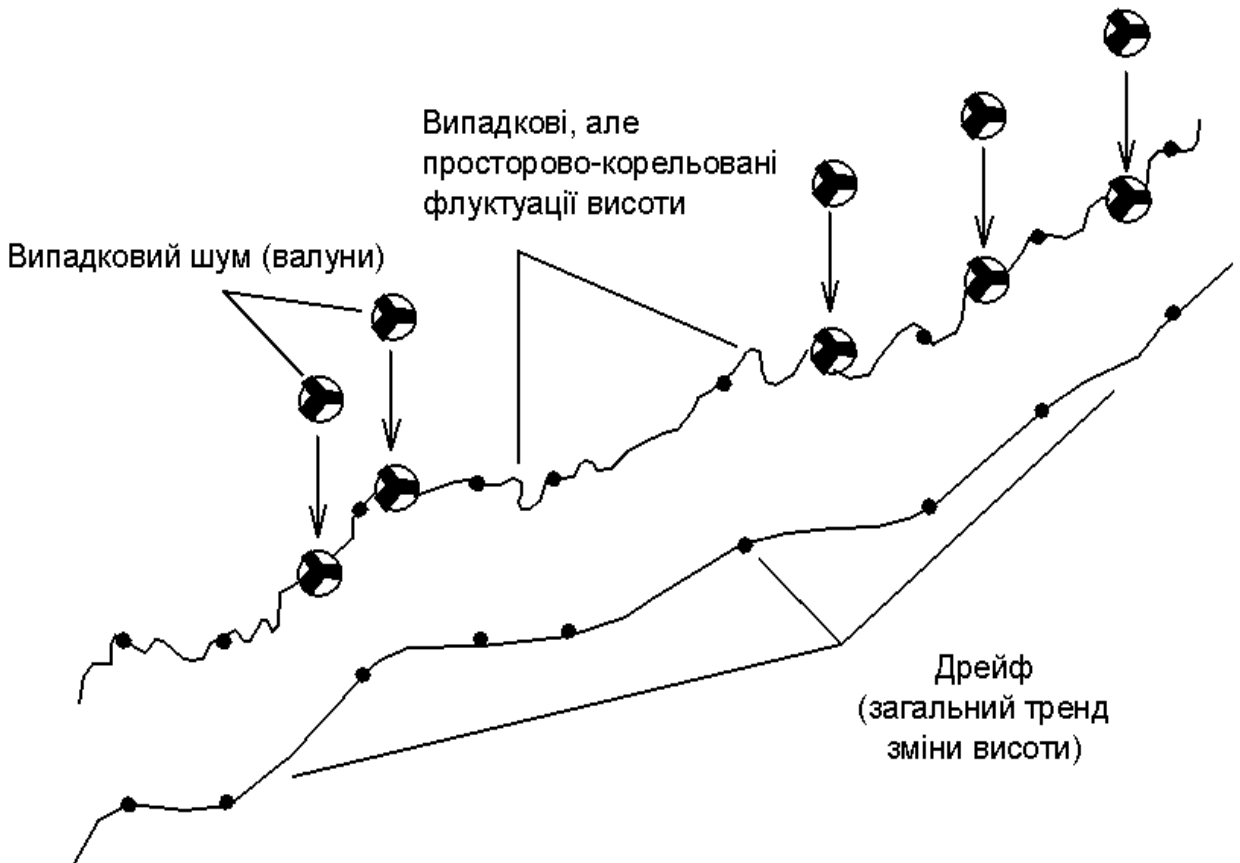


Рис. 9.14. Елементи крігінгу

Друга складова – це відносно невеликі відхилення від дрейфу на зразок піків і западин, які є випадковими, але просторово корельованими (пов’язаними одне з одним).

Третя складова поверхні – це випадковий шум, який не пов’язаний із загальною тенденцією і не має просторової кореляції. Останню складову можна розглядати як випадкову похибку.

З кожною із трьох складових оперують окремо. Дрейф оцінюється з використанням математичної функції, яка визначає загальні зміни поверхні, як і тренд. Найчастіше тут використовуються такі варіанти: тренду немає взагалі, лінійний тренд і квадратичний тренд. Функція, що описує тренд, дає можливість розрахувати величину дрейфу у вузлах *гріду*.

Друга складова враховується так, спочатку будується варіограма, на горизонтальній осі якої відкладається відстань між вихідними точками (так званий лаг), а на вертикальній – так звана напівдисперсія (рис. 9.15).

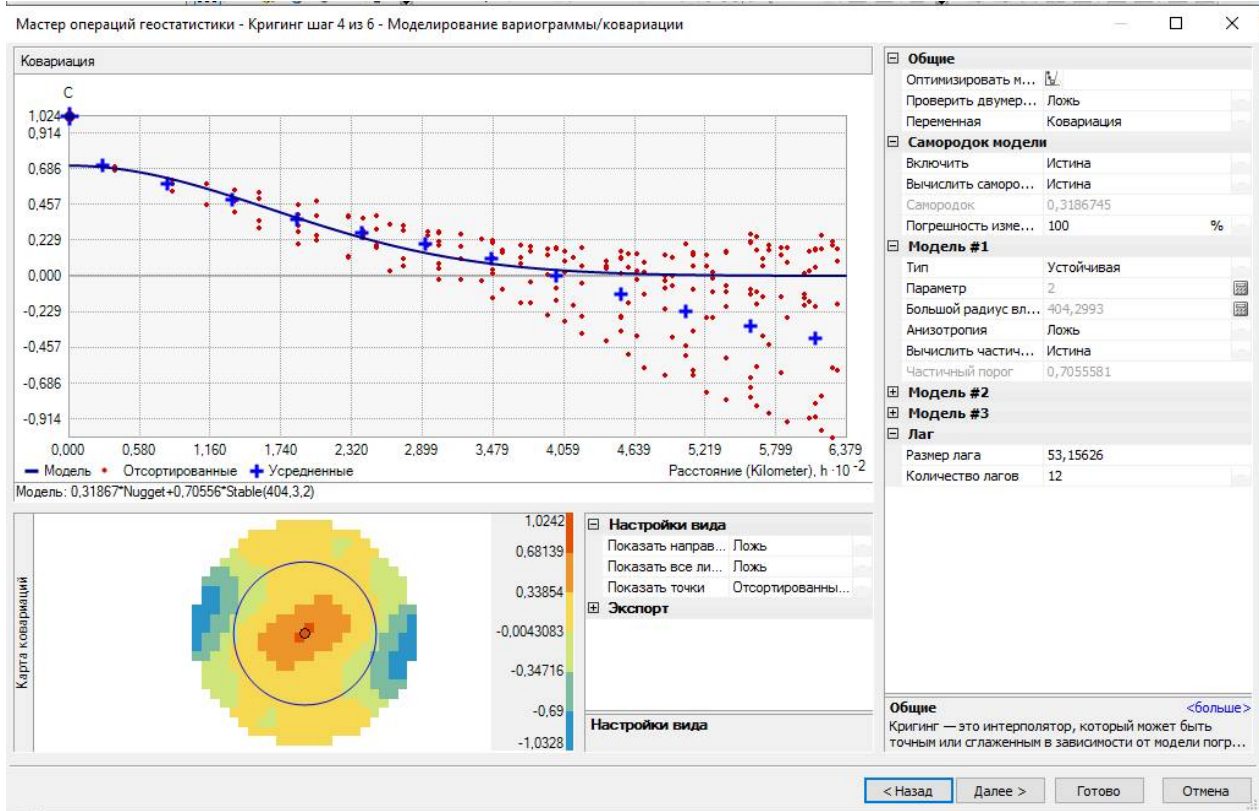


Рис. 9.15. Інтерфейс Geostatistical Analyst (ArcGIS) для проведення варіограмного аналізу

Остання розраховується як половина квадрата різниці величини поверхні між значеннями у вихідних точках. На варіограмі проводиться крива найкращого наближення, яка дозволяє встановити критичне значення *лага* – граничного радіусу просторової кореляції. При перевищенні граничного радіуса величина згаданого квадрата різниці залишається постійною.

Таким чином визначається радіус, у межах якого вихідні точки мають суттєвий взаємний вплив.

Потім розраховується величина другої складової у кожному вузлі *гриду* за вихідними точками, що знаходяться на відстані від вузла, яка не перевищує радіус граничної просторової кореляції. Ваговий коефіцієнт, що надається кожній вихідній точці для розрахунку значення поверхні у вузлах *гриду*, пропорційний відстані від вихідної точки до розрахункового вузла *гриду* (як у методі ЗЗВ).

Урахування третьої складової перетворює метод кригінгу в наближений (апроксимаційний). У цьому випадку розрахункове та дійсне значення поверхні у вихідних точках не будуть збігатися, але розрахункова поверхня в цілому буде більш плавною. Очікувані значення висоти вимірюється з використанням варіограми, на якій на горизонтальній осі відкладається відстань між відліками, що називається *лагом*, вертикальна вісь визначає так звану напівдисперсію, яка розраховується як половина дисперсії (квадрата стандартного відхилення) між кожним значенням висоти та його сусідів.

Припустимо, є точки x_1, x_2, \dots, x_n в евклідовому просторі R^m будь-якої розмірності, і в цих точках відомі значення певної функції:

$$f_1 \equiv f(x_1), f_2 \equiv f(x_2), \dots, f_n \equiv f(x_n),$$

причому сама функція $f(\cdot)$ нам невідома. Потрібно побудувати *інтерполяційну функцію* $f^*(\cdot)$, яка є "гарною" оцінкою невідомої функції $f(\cdot)$:

$$f^*(x) \approx f(x) \forall x \in R^m.$$

Як і інші класичні методи інтерполяції, крігінг заснований на обчисленні для кожної потрібної нам точки x ваг $\lambda_1(x), \lambda_2(x), \dots, \lambda_n(x)$, і здобутті лінійної комбінації значень у відомих точках з цими ж ваговими коефіцієнтами:

$$f^*(x) \equiv \sum_{i=1}^n \lambda_i(x) \cdot f_i. \quad (9.2)$$

Крігінг – лінійний метод. Це означає, що для обчислення коефіцієнтів $\lambda_1(x), \lambda_2(x), \dots, \lambda_n(x)$, значення f_1, f_2, \dots, f_n не використовуються; використовується положення точок x_1, x_2, \dots, x_n і модель випадкового процесу (варіограма). Однак якщо для побудови варіограми використовуються величини f_1, f_2, \dots, f_n , то результат інтерполяції буде нелінійно залежати від цих величин. У методі крігінгу передбачається, що функція $f(\cdot)$ – це певний випадковий процес. Відповідно $f_i = f(x_i)$ – випадкові величини. Тоді їх лінійна комбінація $f^*(x)$ теж є випадковою величиною. Коефіцієнти $\lambda_i(x)$ обчислюються так, щоб математичне очікування результуючої величини $f^*(x)$ дорівнювало математичному очікуванню значення випадкового процесу в цій точці, а дисперсія різниці $f^*(x) - f(x)$ була мінімальною:

$$M(f^*(x)) = M(f(x)), \quad D(f^*(x) - f(x)) \rightarrow \min. \quad (9.3)$$

Такий підхід отримав назву *оптимального лінійного прогнозування*.

Для виконання методу крігінгу необхідно мати певні знання про випадковий процес $f(\cdot)$ (володіти *моделлю* випадкового процесу). Як модель використовується функція $d(a, b)$, яка характеризує залежність очікуваної відмінності між значеннями процесу у деяких точках a і b від розташування цих точок. Мірою очікуваної відмінності є умовна дисперсія різниці значень:

$$d(a, b) \equiv D(f(a) - f(b)) \Big|_{a, b}. \quad (9.4)$$

Функція $d(a, b)$ називається *варіограмою* випадкового процесу. Поки що вона невідома і навряд чи буде відома, оскільки функція $f(\cdot)$ нам також невідома і може не бути випадковим процесом.

Припустимо, що варіаграма $d(a,b)$ відома. Тоді значення вагових коефіцієнтів $\lambda_i(x)$ визначаються таким чином:

$$\begin{pmatrix} \lambda_1(x) \\ \vdots \\ \lambda_n(x) \\ \mu(x) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} d(x_1, x_1) & \cdots & d(x_1, x_n) & 1 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ d(x_n, x_1) & \cdots & d(x_n, x_n) & 1 \\ 1 & \cdots & 1 & 0 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} d(x_1, x) \\ \vdots \\ d(x_n, x) \\ 1 \end{pmatrix}. \quad (9.5)$$

Отримані вагові коефіцієнти можна підставити в формулу (9.2) й отримати необхідне значення $f^*(x)$. На величину μ можна не звертати увагу, вона буде потрібна для оцінки похибки методу. Важливо пам'ятати, що якщо потрібно обчислити значення інтерполяційної функції в багатьох точках, то матрицю достатньо обернути один раз, оскільки вона не залежить від поточної точки x .

Приклад інтерполяції поверхні за методом крігінгу представлений на рис. 9.16.

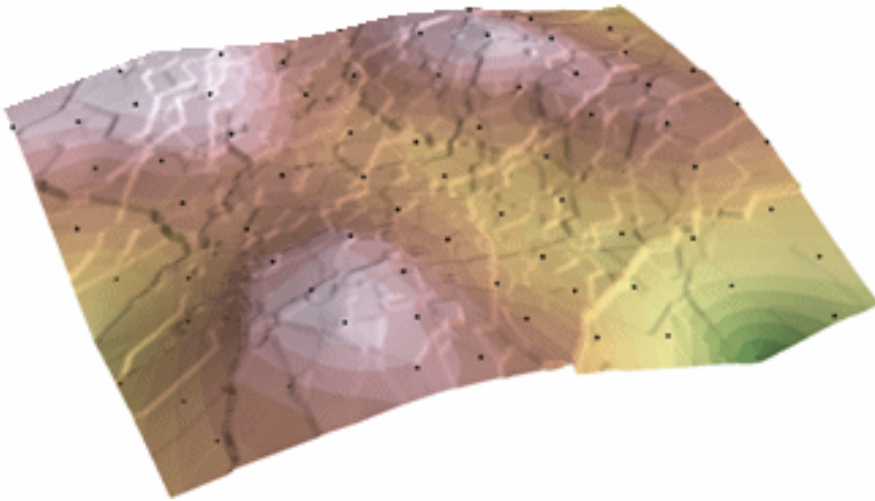


Рис. 9.16. Приклад інтерполяції поверхні за методом крігінгу

Випадок стаціонарного ізотропного процесу. Це найбільш часто використовувана модель, у якій передбачається, що випадковий процес $f(\cdot)$ є стаціонарним – ізотропним. *Стаціонарність* процесу означає, що його математичне очікування не залежить від точки простору, а кореляція значень у двох довільних точках a і b залежить лише від взаємного розташування цих точок (від різниці між ними). *Ізотропність* означає, що кореляція залежить лише від відстані між точками.

Варіограма стаціонарного та ізотропного випадкового процесу є функцією однієї змінної – відстані між точками:

$$d(a,b) = v(\rho) \equiv \hat{A}(f(a) - f(b)) \Big|_{|a-b|=\rho} \cdot \quad (9.6)$$

Оцінку варіограми $v(\rho)$ можна приблизно здійснити на основі аналізу наявних вихідних даних. Із стаціонарності процесу випливає, що різниця $f(a) - f(b)$ має нульове математичне очікування. Дисперсія випадкової величини, що має нульове математичне очікування – це математичне очікування квадрата цієї випадкової величини:

$$v(\rho) = M((f(a) - f(b))^2) \Big|_{|a-b|=\rho} \cdot \quad (9.7)$$

Математичне очікування, як відомо, можна оцінити середнім арифметичним наявних реалізацій випадкової величини. Але для даного випадку ситуація дещо складніша: дисперсія залежить від відстані між точками. Тому оцінкою математичного очікування буде не число, а певна крива, яка являє собою залежність середнього арифметичного від відстані.

Розглянемо, які реалізації випадкової величини $(f(a) - f(b))^2$ у нас є. Як точки a і b можна взяти різноманітні пари $x_i, x_j, 1 \leq i < j \leq n$ наявних у нас точок з відомими значеннями.

Таким чином, можна перебрати всі пари точок x_i, x_j . Для кожної пари обчислюємо відстань $\rho = |x_i - x_j|$ і квадрат різниці наявних значень у цих точках: $v = (f_i - f_j)^2$. Відкладемо на графіку точку (ρ, v) , і перейдемо до наступної пари наявних точок. Як наслідок, отримаємо графік (рис. 9.17).

Тепер за цими точками будуюмо плавну криву (існує багато методів, щоб зробити це) (рис. 9.18).

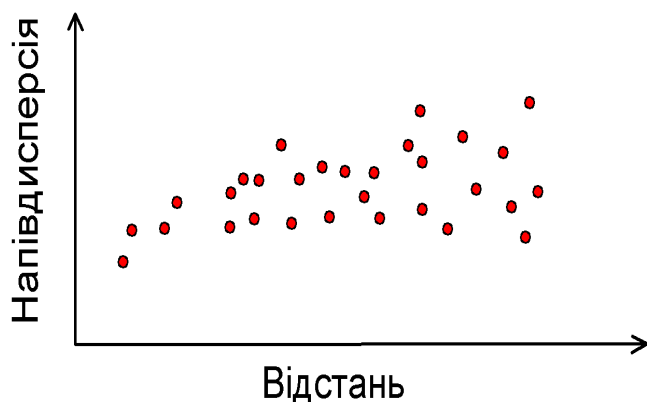


Рис. 9.17. Точки для побудови варіограми

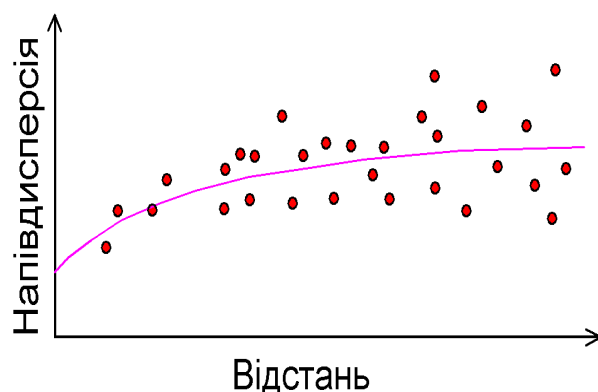


Рис. 9.18. Експериментальна варіограма

Цю криву і використаємо як функцію $d(a,b) = v(|a-b|)$ у формулі (4.6).

До речі, метод дозволяє врахувати похибку вихідних даних: $v(0)$, тобто це подвоєна дисперсія вимірюваної величини. Якщо потрібно, щоб поверхня пройшла точно за наявними точками, то $v(0)$ повинне дорівнюватись нулю (крива на рис. 4.27 повинна виходити з початку координат). Якщо ж вихідні дані неточні та мають дисперсію d , то повинно бути $v(0)=2d$.

Примітка. Гладкість результуючої інтерполяційної функції $f^*(\cdot)$ збігається з гладкістю функції $d(\cdot, \cdot)$. Якщо потрібно, щоб $f^*(\cdot)$ була безперервно диференційована (не мала "зламів"), то $d(\cdot, \cdot)$ повинна також бути безперервно диференційованою. Неважко побачити, що якщо $v(\rho)$ безперервно диференційована і $v'(0)=0$, то функція $d(a,b) = v(|a-b|)$ буде також безперервно диференційованою. У зв'язку з цим варіограму часто шукають у такому вигляді:

$$v(\rho) = \alpha + \beta(1 - e^{-\gamma\rho^2}), \quad (9.8)$$

де коефіцієнти α , β і γ обчислюються методом найменших квадратів за наявними точками варіограми.

Якщо $v(0)=0$, то $\alpha=0$, і шукати потрібно тільки β і γ .

Крігінг дозволяє досліджувати просторові автокореляції між вашими даними і виконує дві групи задач: кількісне визначення просторової структури даних і створення прогнозу.

Кількісне подання (квантифікація) просторової структури даних, відоме як *варіографія* (створення варіограм), дає можливість користувачам підібрати до даних модель просторової залежності.

Варіограма (синонім – *структурна функція*) – *графік залежності напівдисперсії, або семіваріації, значень змінної в точках простору, розділених певною відстанню від величини цієї відстані, побудований з використанням вибіркового даних.*

Для розрахунку (прогнозу) невідомого значення змінної у заданому місці крігінг буде використовувати відповідну (підібрану) модель з варіографії, конфігурацію просторових даних і значення в точках вимірів навколо даного місця розташування вихідної точки. Оскільки в крігінгу використовуються статистичні моделі, він забезпечує побудову різноманітних вихідних карт поверхонь, включаючи прогнози, прогноз стандартних помилок, імовірність (правдоподібність), і квантильність.

Пакет Geostatistical Analyst надає багато інструментів, що допомагають у виборі параметрів, а також заданих операцій, які полегшують і прискорюють побудову поверхонь.

Таким чином, напівдисперсія є мірою взаємозв'язку значень висоти, що залежить від того, як близько одне до одного вони розміщені. Потім через точки даних проводиться крива найкращого наближення, що дає міру випадкового компонента. Подивившись уважно на графік напівдисперсії, можна помітити, що коли відстань між точками відліку висоти мала, напівдисперсія

теж мала. Це означає, що значення висоти близькі, отже взаємозалежні внаслідок їхньої просторової близькості. Зі збільшенням відстані між точками, зростає і напівдисперсія, показуючи швидкий спад просторової кореляції значень. Нарешті досягається критичне значення лага, відоме як граничний радіус кореляції, при якому дисперсія досягає межі й надалі залишається постійною. Чим ближче один до одного відліки в середині діапазону зростання (тобто від нуля до точки припинення росту кривої на графіку), тим більш подібними вони мають бути. За межами радіуса кореляції відстань між точками не має значення, вони зовсім незалежні на будь-якій відстані, що перевищує радіус. Таким чином, за допомогою варіограми визначається радіус, у межах якого точки мають суттєвий взаємний вплив.

9.9. Створення поверхонь за допомогою методу радіальних базисних функцій

Метод радіальних базисних функцій вважається точним інтерполяційним методом, але для отримання більш гладкої поверхні зазвичай застосовують відповідний параметр (параметр, що згладжує). Радіальні базисні функції аналогічні варіограмам у методі крігінгу. Ці функції визначають оптимальну мережу ваг, за допомогою яких "зважуються" значення поверхні у вихідних точках для побудови інтерполяційної функції. Деякі дослідники вважають метод радіальних базисних функцій найкращим для точної побудови гладких поверхонь.

9.10. Порівняння методів створення поверхонь

Для того, щоб наочно уявити особливості кожного із наведених методів інтерполяції, розглянемо результати моделювання, отримані різними методами на одній ділянці місцевості за однією системою точок висоти рельєфу (рис. 9.17).



а



б



в

Рис. 9.17. Порівняння методів інтерполяції за даними однієї й тієї ж вибірки:
а – метод зворотніх вагових відстаней; б – сплайн; в – крігінг

Зверніть увагу, як відрізняються результати моделювання в місцях, де відсутні дані, і як кожний із методів відображає аномальні значення.

На рис. 9.18 представлені приклади побудови поверхонь у пакеті Geostatistical Analyst.

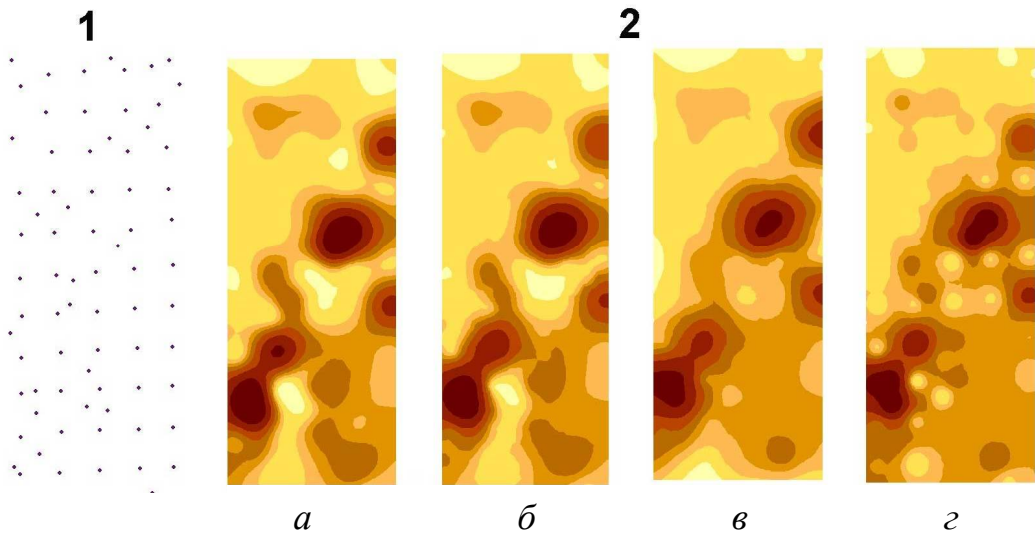


Рис. 9.18. Побудова поверхонь у Geostatistical Analyst:
1 – вихідні дані замірів кислотності ґрунтів в точках;
2 – інтерпольовані поверхні кислотності ґрунтів методами:
а – базисні радіальні функції; б – звичайний крігінг;
в – локальна поліноміальна інтерполяція; г – зворотно зважені відстані

10. ІНСТРУМЕНТАРІЙ ГІС ДЛЯ ПОБУДОВИ ТА АНАЛІЗУ ПОВЕРХОНЬ

Сучасні ГІС мають найширші можливості з моделювання поверхонь. До них відносяться модулі *Spatial Analyst*, *3D Analyst*, *Geostatistical Analyst* ArcGIS (ESRI Inc.), *Vertical Mapper* ГІС MapInfo (MapInfo Corp.), Autodesk Map 3D-системи AutoCAD (Autodesk Inc.), Terrain пакета GeoMedia (Intergraph Corp.), ERDAS Imagine (LeicaGeosystems), комплекси MultiGen Creator Terrain Studio і MultiGen VegaPrime (MultiGen – Paradigm), програми ArcScene і ArcGlobe ArcGIS (ESRI Inc.), а також модуль SiteBuilder 3D (MultiGen – Paradigm) ArcGIS.

Можуть використовуватись вузькоспеціалізовані пакети програм для роботи Surfer (Golden Software Inc.) і MicroDEM / Terra Base (U.S. Naval Academy). Як правило, вони включають функції створення ЦМР різними методами і побудови тематичних карт на їх основі.

10.1. Інструментарій ArcGIS для аналізу рельєфу

Аналіз поверхонь включає в себе декілька видів обробки, включаючи виділення нових поверхонь з існуючих поверхонь, перекласифікацію та комбінування поверхнею.

Інструменти аналізу рельєфу. Деякі з цих інструментів первісно були розроблені для аналізу растрових поверхонь рельєфу. До них відносяться Ухил, Експозиція, Відмивання і Кривизна.

На рис. 10.1 представлений приклад растру висот у плані і в перспективному зображенні.



Рис. 10.1. Приклад растру висот у плані і в перспективному зображенні

Інструмент Ухил розраховує максимальний коефіцієнт мінливості від комірки до сусідніх комірок, який зазвичай використовується для визначення крутизни рельєфу. На рис. 10.2 представлений приклад растрової поверхні в плані і в перспективі.

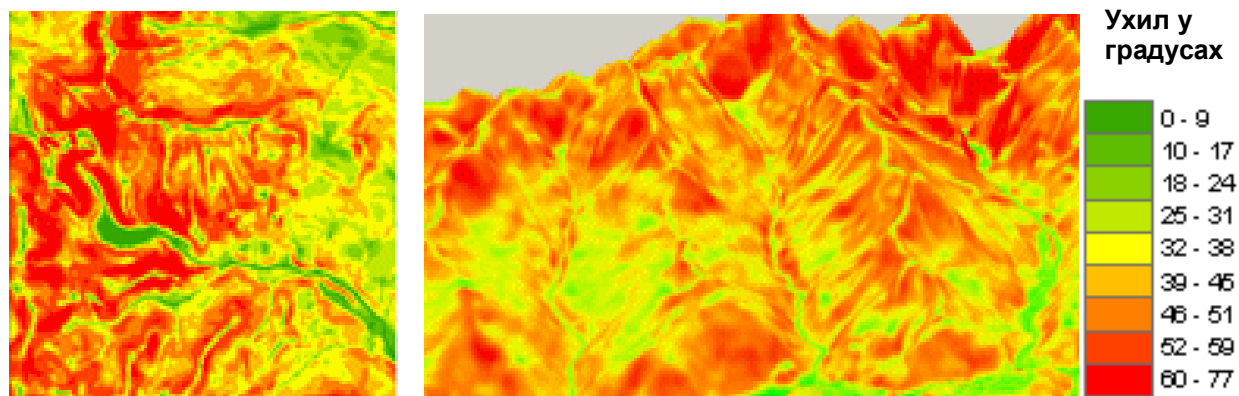


Рис. 10.2. Приклад растрової поверхні в плані і в перспективі

Інструмент Експозиція розраховує напрямок, у якому розташовуються площини поверхонь схилів для кожної комірки растра. Експозиція поверхні зазвичай впливає на кількість сонячного світла, яке отримується цією поверхнею (схилом); у північних широтах. Ділянки з південною експозицією тепліше і сухіше, ніж ділянки з північною експозицією.

На рис. 10.3 представлений приклад растрової поверхні експозицій у плані і в перспективі.

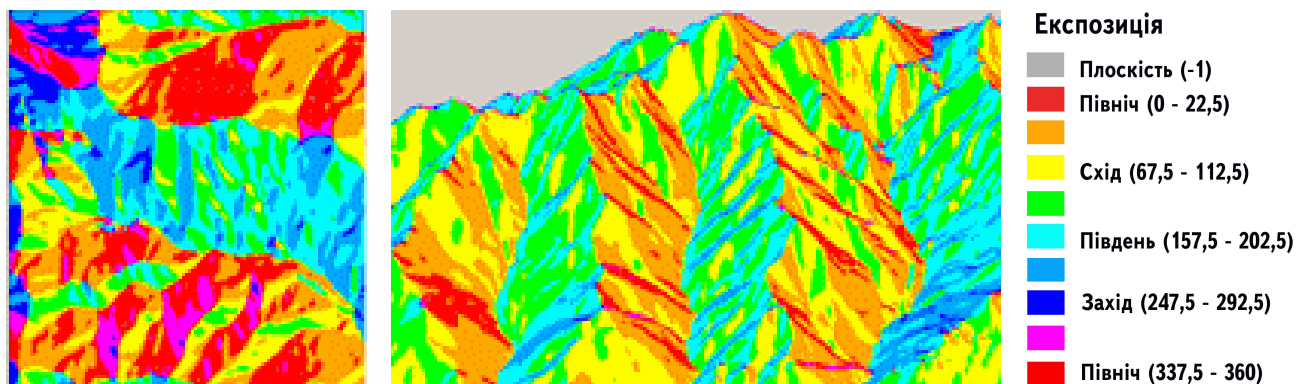


Рис. 10.3. Приклад растрової поверхні експозицій у плані і в перспективі

Інструмент Відмивання показує інтенсивність освітлення на поверхні певним джерелом світла в певному місці розміщення; цей інструмент дозволяє змоделювати, які частини поверхні будуть затінені іншими ділянками.

На рис. 10.4 представлений приклад растру відмивання рельєфу в плані і в перспективі.

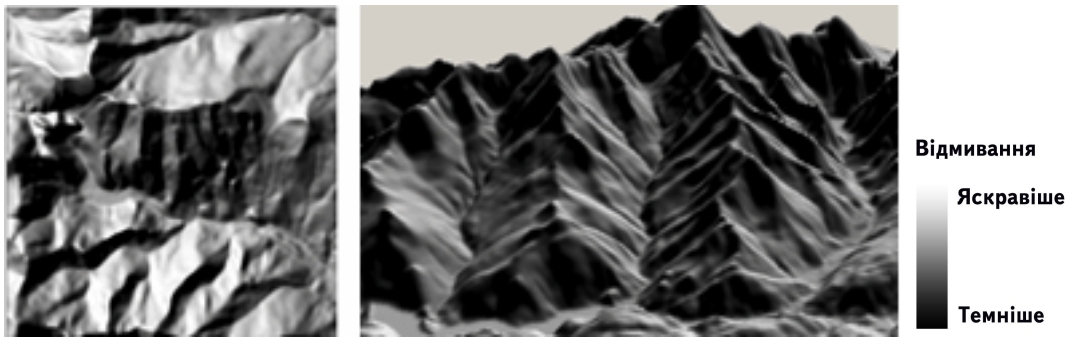


Рис. 10.4. Приклад растрової поверхні відмивання рельєфу в плані і в перспективі

Інструмент Кривизна розраховує ухил ухилу (другу похідну поверхні), тобто визначає, чи є задана частина поверхні опуклою чи вигнутою. Опуклі частини поверхні, такі як хребти, в цілому добре видні на поверхні, і водотоки з них спрямовані в інші області. Ввігнуті частини поверхні, типу каналів, зазвичай є більш прихованими і приймають водотоки з інших областей. Інструмент Кривизна має два додаткових варіанта – План (Plan) і Профіль (Profile). Вони первісно використовуються для інтерпретації впливу рельєфу на водний потік і ерозію. Профіль кривизни здійснює вплив на прискорення або уповільнення водного потоку, що в свою чергу впливає на ерозію і відкладення наносів. Плоска кривизна впливає на сходження і розбіжність течій.

На рис. 10.5 представлений приклад растрової поверхні кривизни в плані і в перспективі.

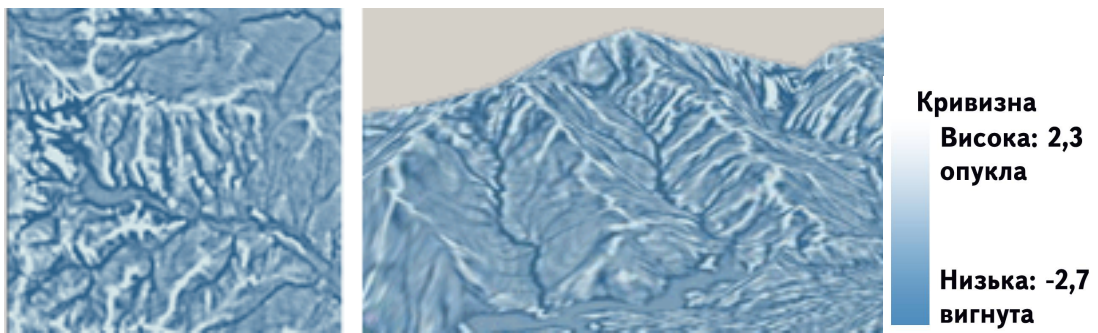


Рис. 10.5. Приклад растрової поверхні кривизни в плані і в перспективі

10.2. Інструменти аналізу видимості

В ГІС представлений доволі потужний інструментарій для аналізу видимості частин поверхонь.

Інструмент Лінія видимості (Line Of Sight) визначає, чи видно одне місце розташування з іншого, і чи видні проміжні місця розташування, розташовані вздовж лінії погляду між цими двома позиціями.

На рис. 10.6 наведений приклад, коли за допомогою інструмента Лінія видимості, спостерігач із північного кінця лінії може бачити частини рельє-

фу вздовж лінії, які зафарбовані в зелений колір, і не може бачити частини рельєфу, які зафарбовані червоним кольором. У цьому випадку спостерігач не в змозі побачити вогонь у долині на іншому боці гори.

Інструменти аналізу видимості підтримують зміщення або зсуви, які дозволяють уточнювати висоту точок спостереження і точок або комірок, що можуть спостерігатися.

На рис. 10.7 подано приклад аналізу за допомогою інструмента *Лінія видимості*, який порівнює результати аналізу зі зміщенням цілі спостереження і без її зміщення. Місця вздовж лінії, які видимі для спостерігача, зелені, а ті, що приховані рельєфом, позначені червоним кольором.

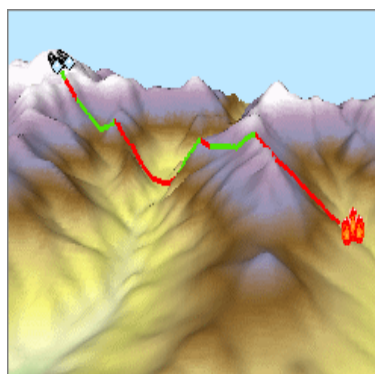
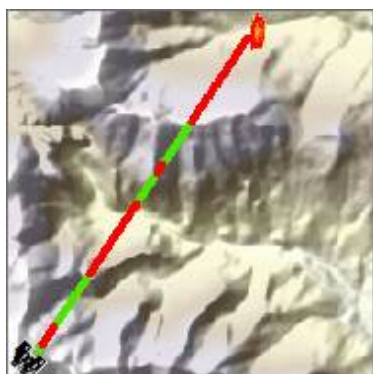


Рис. 10.6. Приклад визначення лінії видимості

Рис. 10.7. Приклад визначення лінії видимості зі зміщенням точки спостереження і без неї

На рис. 10.8 подано приклад аналізу за допомогою інструмента *Лінія видимості*, який використовує зміщення для моделювання видимості викидів диму.

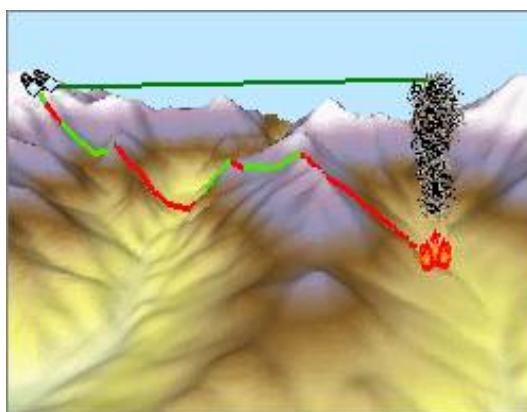


Рис. 10.8. Приклад визначення лінії видимості зі зміщенням точки спостереження для моделювання видимості викидів диму

При використанні великого зміщення цілі, ціль спостереження стає видимою, навіть якщо видимість точок уздовж проміжної території не змінилась.

Інструментарій ГІС дозволяє також додавати зміщення і для спостерігача, наприклад, змодельовати вежу в місці розташування спостерігача. Додавання зміщення до місця розташування спостерігача значно збільшує кількість елементів рельєфу, які видимі з місця спостереження.

Інструмент *Точки спостереження (Observer Points)* дозволяє визначити, які спостерігачі, позначені як набір точок, можуть бачити ту чи іншу задану комірку растрової поверхні.

Інструмент *Видимість (Viewshed)* розраховує для кожної комірки растрової поверхні і набору вхідних точок (або вершин вхідних ліній), як багато спостерігачів бачать будь-яку задану комірку.

На рис. 10.9 наведений приклад аналізу за допомогою *Інструмента Видимість* з однією вхідною точкою спостереження. У спостерігача є зміщення для моделювання огляду з пожежної вежі, яка на 50 метрів вище поверхні землі. Комірки поза зоною видимості спостерігача на зображенні праворуч відображені чорним кольором.

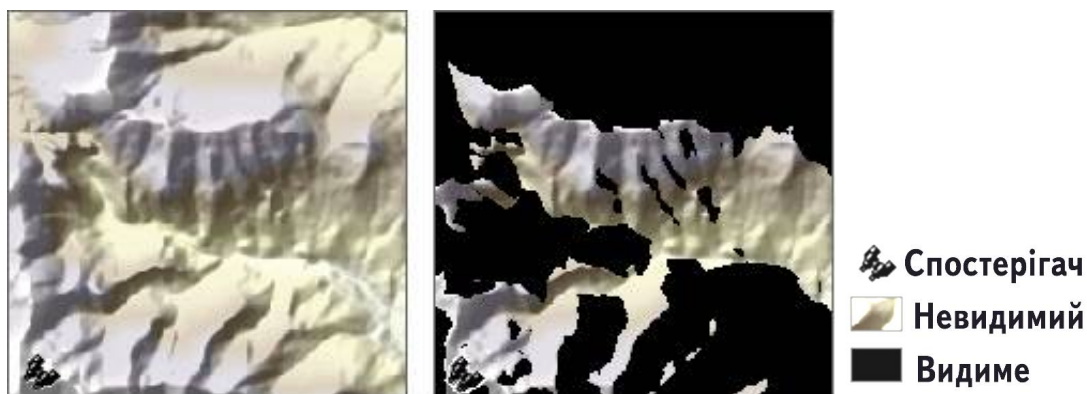


Рис. 10.9. Приклад визначення лінії видимості з однією вхідною точкою спостереження

На рис. 10.10 на перспективних зображеннях можна побачити точку спостереження і рельєф поверхні і як гірські хребти приховують долини, що розташовані за хребтами.

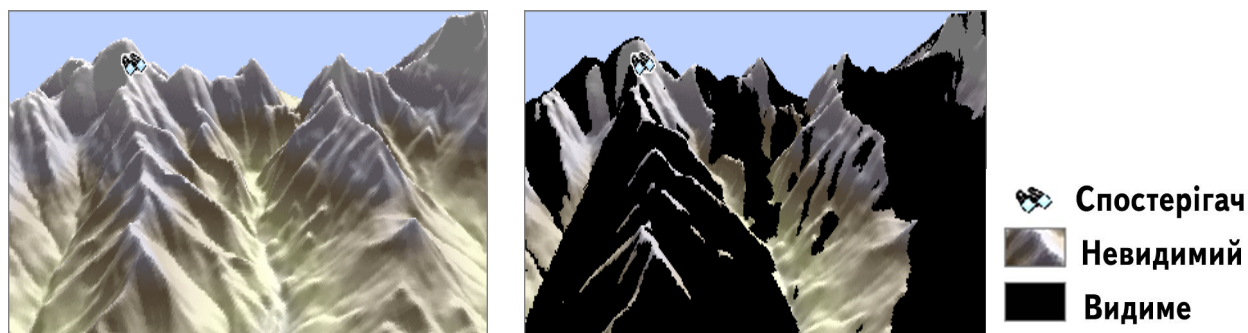


Рис. 10.10. Приклад точки спостереження і рельєфу поверхні, який приховує долини, що розташовані за хребтами

Інструменти Точки спостереження (Observer Points) і Видимість (Viewshed) також дозволяють встановлювати зміщення для спостерігача залежно від мети спостереження і задавати набір параметрів, які дозволяють обмежувати напрямок і відстань, які може бачити кожний спостерігач.

10.3. Інструменти розрахунку об'єму

Інструментарій ГІС дозволяє розраховувати об'єми на підставі відомостей про поверхню дослідження. Цей інструментарій розраховує різницю в об'ємах між растровою або TIN-поверхнею та іншими поверхнями. Залежно від інструментарію, інша поверхня може бути визначена горизонтальною площиною на заданій висоті або іншою растровою чи TIN-поверхнею.

На рис. 10.11 наведений приклад поверхні рельєфу, що подає звичайний рівень заповнення водойми.

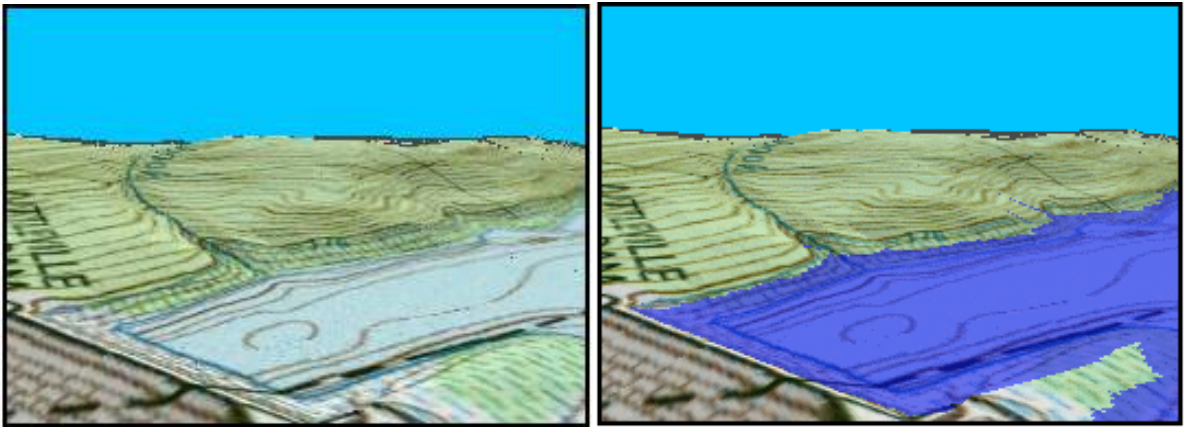


Рис. 10.11. Приклад поверхні рельєфу, що подає звичайний рівень заповнення водойми

Можна використовувати *Інструменти аналізу об'єму* для розрахунку об'єму додаткової води, коли водойма близька до повного наповнення.

Інструмент Об'єм для поверхні (Surface Volume) обчислює площу проекції, площу поверхні та об'єм поверхні над зазначеною висотою, або базовою площиною. Поверхня може бути растром, TIN або terrain. Результати записуються в текстовий файл з роздільниками-комами.

Якщо *Вхідна поверхня (Input Surface)* – набір даних TIN або terrain, аналізується вклад кожного трикутника в загальну площу та об'єм. Вихідним значенням буде сума цих частин. Якщо Вхідна поверхня (Input Surface) – растр, центри пікселів растра з'єднуються в трикутники і такі трикутники обробляються за аналогією з TIN.

Вихідний текстовий файл (Output Text File) – це ASCII текстовий файл з роздільниками-комами, в який записуються результати роботи інструмента. Якщо файл існує, дані будуть дописані в нього. Перший рядок файла містить

назву полів. Це: Набір даних (Dataset), Висота площини (Plane_Height), Базова площина (Reference), Коефіцієнт Z (Z_Factor), Площа 2D (Area_2D), Площа 3D (Area_3D), Об'єм (Volume). Інші рядки містять значення.

Висота площини (Plane Height) або $\{base_z\}$ у *python* являє собою висоту горизонтальної площини, використовуючи яку виконують обчислення. Це значення потрібно вказувати у вихідних одиницях. Воно не буде перемножуватись на *Коефіцієнт Z (Z Factor)*. За умовчання *Висота площини (Plane Height)* визначається параметром *Базова площина (Reference Plane)*. Якщо значення *Базова площина (Reference Plane)* дорівнює ABOVE, встановлюється значення *Висоти площини (Plane Height)*, яке дорівнює мінімальній висоті площини. Якщо ж воно дорівнює BELOW, за умовчання встановлюється значення *Висоти площини (Plane Height)*, яке дорівнює максимальній висоті площини.

Будуть розраховані площа та об'єм, укладений між базовою площиною і поверхнею. Аргумент *Базова площина (Reference Plane)* визначає, чи буде вважатись об'єм "вище" або "нижче" поверхні. Для цього потрібно використовувати ключові слова ABOVE (ВИЩЕ) або BELOW (НИЖЧЕ) для вибору потрібного варіанта. За умовчання *Базова площина (Reference Plane)* розташовується вище поверхні (значення ABOVE).

При встановленні значення *Базова поверхня (Reference Plane)* ABOVE (ВИЩЕ) будуть обчислені площа проєкції і площа поверхні для частини поверхні, яка знаходиться над зазначеною *Висотою поверхні (Plane Height)*. Об'єм буде розрахований для поверхні, що знаходиться над зазначеною висотою частини.

На рис. 10.12 і рис. 10.13 представлені два приклади, що відповідають значенню *Базової площини (Reference Plane)* ABOVE (ВИЩЕ) і *Висоті площини (Plane Height)*, що відповідає розташуванню площини вище площини перетинання і вище площини перетинання.

У випадку встановлення *Базової площини (Reference Plane)* BELOW (НИЖЧЕ) розраховується площа проєкції і площа поверхні для її частини, яка розташована нижче зазначеної *Висоти площини (Plane Height)*. Об'єм буде розрахований для частини поверхні, що знаходиться під зазначеною висотою.

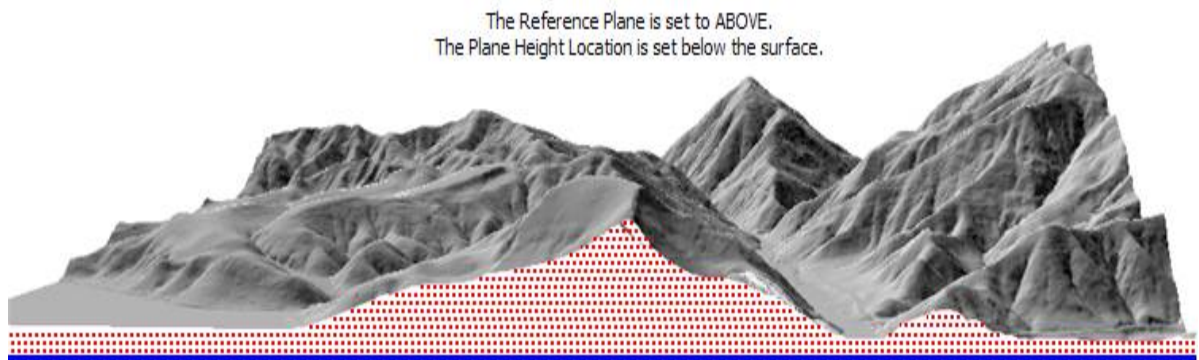


Рис. 10.12. Приклад розташування базової площини вище площини перетинання

The Reference Plane is set to ABOVE.
The Plane Height Location intersects the surface.

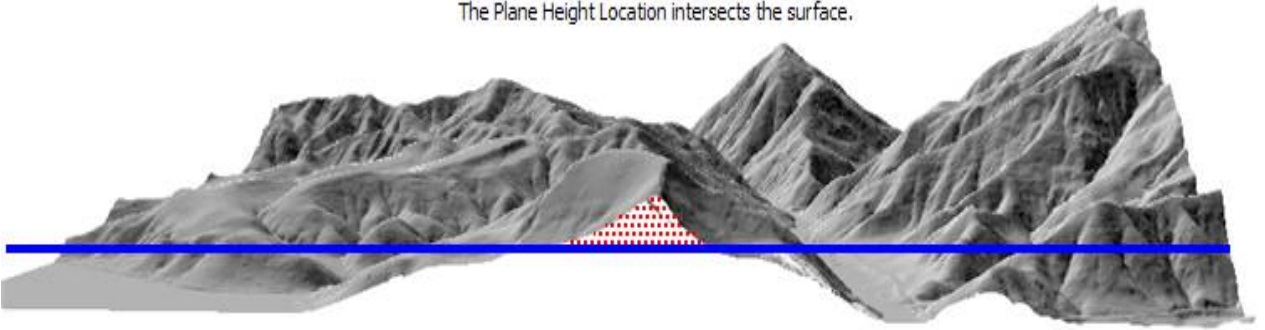


Рис. 10.13. Приклад розташування базової площини нижче площини перетинання

На рис. 10.14 і рис. 10.15 представлені два приклади, що відповідають значенню *Базової площини (Reference Plane) BELOW (НИЖЧЕ) площини перетинання і Висоті площини (Plane Height), що відповідає розташуванню площини вище поверхні перетинання.*

The Reference Plane is set to BELOW.
The Plane Height Location is set above the surface.

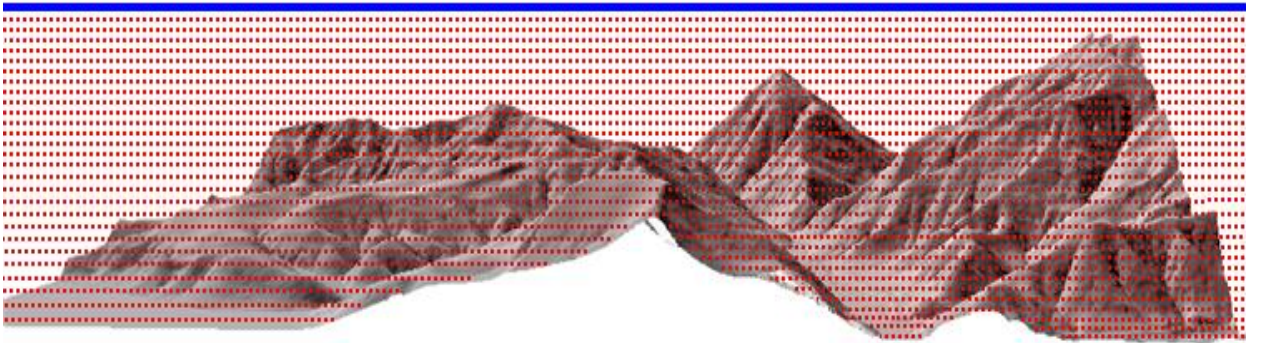


Рис. 10.14. Приклад розташування базової площини нижче площини перетинання

The Reference Plane is set to BELOW.
The Plane Height Location is set to intersect the surface.

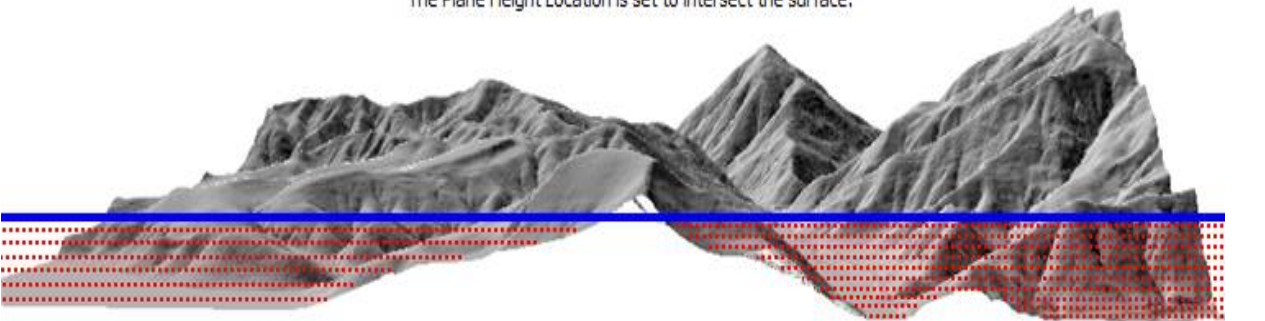


Рис. 10.15. Приклад розташування базової площини вище площини перетинання

Параметр *Коефіцієнт Z (Z Factor)* використовується для конвертації значень Z в інші одиниці виміру (наприклад, із футів у метри). Значення висот поверхні будуть помножені на це число. Щоб отримати коректні результати, одиниці виміру X , Y і Z повинні бути однаковими. Інструмент буде прагнути розрахувати підходящий *Коефіцієнт Z (Z Factor)*. Він зможе це зробити тільки у випадку, якщо вказана просторова прив'язка, використовується система координат проекції (а не географічна) і визначені одиниці виміру x , y і z [129].

Можна використовувати цей інструмент для розрахунку об'єму води в перетині русла ріки на певній стадії водопілля. Цей інструмент може бути використаний на растрових і TIN-поверхнях. Вихідним результатом є текстовий файл, що містить використані параметри, сумарну поверхню території і об'єми.

Інструмент *Насипу / Виїмки (Cut Fill)* використовується для розрахунку кількості відмінностей у кожній комірці растрів станів до і після для однієї і тієї ж області. Це процедура, при якій висота поверхні рельєфу змінюється за рахунок видалення або додавання поверхневого матеріалу.

Цей інструмент може бути використаний для розрахунку об'єму землі, яка повинна бути насипана або викопана на місці будівництва, щоб змінити форму поверхні. Якщо взяти поверхні для одного й того ж місця на два різних моменти часу, інструмент зможе визначити ті ділянки, з яких матеріал був видалений, ті ділянки, на які матеріал був доданий, а також ті ділянки, де поверхня не зазнала змін. Цей інструмент працює з двома растрами, і результати подаються як растр різниці між двома шарами (рис. 10.15).

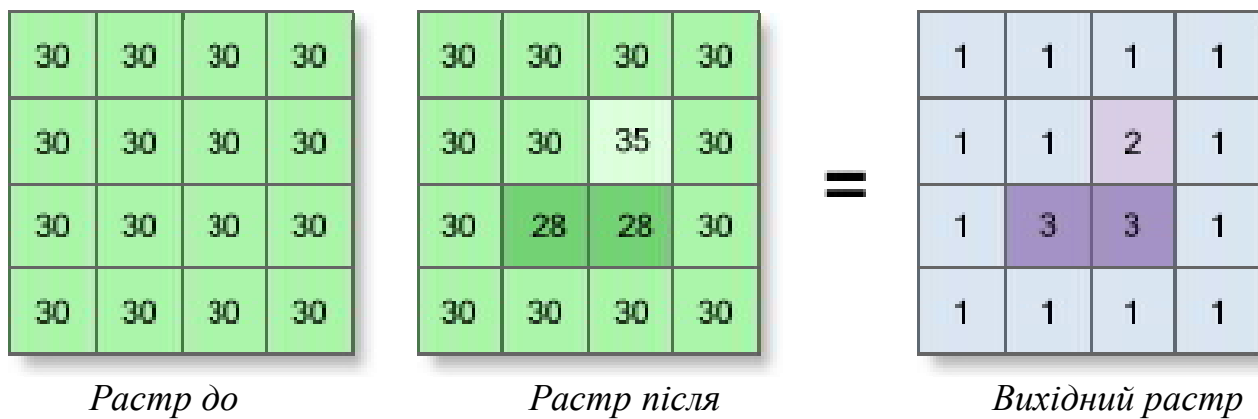


Рис. 10.15. Приклад роботи Інструмент *Насипу / Виїмки (Cut Fill)*

За допомогою інструмента *Насипу / Виїмки (Cut Fill)* можна:

- визначати ділянки ерозії і нагромадження осадового матеріалу в долині річки;
- обчислити об'єми і площі поверхневого матеріалу, який повинен бути видалений, а також площі та об'єми ділянок, які повинні бути вирівняні до рівня майданчика під будівництво;

– виявляти ділянки, які часто заповнюються поверхневим матеріалом під час грязьових зсувів, а також визначати безпечні для будівництва будинків ділянки зі стабільним ґрунтом.

При виконанні операції Насипи / Виїмки, за умовчання до шару застосовується спеціалізована шкала, яка дозволяє виділити ділянки насипів і ділянки виїмок. Визначальний фактор – це таблиця атрибутів вихідного растра, яка розглядає додатний об’єм як ділянки, де була здійснена виїмка (видалення) матеріалу, а від’ємний об’єм – як ділянки, де матеріал був насипаний (доданий).

Інструмент Насипи / Виїмки дозволяє будувати карту на основі двох вхідних поверхонь – до і після події – і відображати площі ділянок і об’єми матеріалів, які були змінені шляхом видалення або додавання матеріалу поверхні.

Обидва вхідних растра повинні співпадати. Це означає, що у них повинна бути одна й та ж початкова точка, однакова кількість рядків і стовпців комірок і один і той же розмір комірок.

Щоб отримати коректний результат, z -одиниці повинні співпадати з наземними одиницями виміру x, y . Це гарантує, що об’єми будуть виражені в значущих кубічних одиницях виміру (наприклад, кубічних метрах). Якщо вони відрізняються, потрібно використовувати коефіцієнт z , щоб перетворити одиниці z в одиниці x, y . Наприклад, якщо для x та y одиницями виміру є метри, а z вимірюється в футах, то можна використати z -коефіцієнт 0,3048 для перетворення футів у метри. Або можна використати *інструмент Помножити* групи *інструментів Математичні (Math)*, щоб отримати растр поверхні, в якому одиниці виміру z -значень відповідають одиницям виміру наземних координат.

Таблиця атрибутів вихідного растра (рис. 10.16) подає зміни в об’ємах поверхні, що обчислені в результаті виконання операції *Насипи / Виїмки*.



Рис. 10.16. Таблиця атрибутів вихідного растра

Додатні значення в різниці об'ємів вказують на ділянки растра "до події", де була здійснена виїмка матеріалу. Від'ємні значення вказують на ділянки, на які матеріал був доданий (ділянки насипів).

Коли операція Насипи / Виїмки запускається через інструмент, за умовчання застосовується спеціалізована шкала, яка виділяє ділянки насипів і виїмок. У відповідності з цією шкалою ділянки виїмок відображаються синім кольором, а ділянки насипів – червоним кольором. Ділянки, які не зазнали змін, будуть показані сірим кольором.

Використання інструмента Насипи / Виїмки (Cut Fill) для морфології річки. При використанні морфології річки як прикладу для відстеження кількості і місця розташування ерозії і відкладів у долині річки, необхідно взяти ряд перетинів через долину й обстежити на регулярній основі з метою виявлення областей ерозії і накопичення опадів.

На рис. 10.17 представлені поперечні перетини поверхні, яка зазнала певних змін: з деяких ділянок матеріал був видалений, а на інші ділянки був доданий.

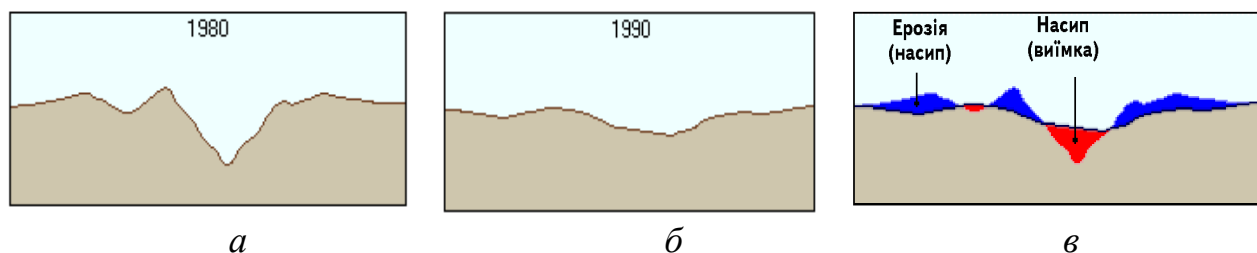


Рис. 10.17. Поперечні перетини поверхні, яка зазнала певних змін

На рис. 10.17 а показана поверхня в початковому стані. На рис. 10.17 б представлена поверхня через певний відрізок часу, протягом якого на цю поверхню діяли ерозійні сили і сили накопичення осадків. На рис. 10.17 в представлено, як інструмент Насипи / Виїмки (Cut Fill) визначає ділянки, де матеріал був видалений (вийнятий) і ділянки, де він був доданий (насипаний).

Вихідний растр зберігає деякі властивості змін, що відбулись у своїй таблиці атрибутів (рис. 10.18).

До	Після	Значення	До	Після	Значення
8 8 8	8 8 7	1 1 2	8 8 8	8 8 7	1 1 2
8 8 8	8 8 8	1 1 1	8 8 8	8 7 8	1 3 1
8 8 8	8 8 8	1 1 1	8 8 8	8 8 8	1 1 1
До	Після	Значення	До	Після	Значення
8 8 8	8 8 7	1 1 2	8 8 8	8 8 7	1 1 2
8 8 8	8 8 8	1 1 1	8 8 8	8 7 8	1 3 4
8 8 8	8 8 7	1 1 3	8 8 8	8 7 8	1 3 4

Рис. 10.18. Динаміка змін в атрибутивній таблиці

Інструмент Різниця TIN (TIN Difference) за функціями схожий на *Інструмент Насипи / Виїмки (Cut/Fill)*, але він працює з парою вхідних поверхонь TIN. Цей Інструмент створює клас полігональних просторових об'єктів, у якому кожний полігон задається атрибутами, які визначають, де розташована друга TIN-поверхня – вище, нижче або там же, де й перша TIN-поверхня і об'єм відмінностей між цими TIN-поверхнями в цьому полігоні.

Інструмент Об'єм полігона TIN (TIN Polygon Volume) обчислює різницю об'ємів і площу поверхні для кожного полігона в класі просторових об'єктів, що відносяться до поверхні TIN. Кожний полігон у класі просторових об'єктів представляє горизонтальну область на висоті, заданій в полі висот. Об'єм вище або нижче цієї плоскості по відношенню до TIN-поверхні додається до поля об'єму в класі просторових об'єктів, а площа поверхні полігона додається до поля площі поверхні.

10.4. Інструменти перекласифікації поверхонь

Одним із способів конвертації даних поверхні в більш зручну для використання інформацію для аналізу є *перекласифікація поверхні*. Можна перекласифікувати поверхню таким чином, що областям з комірками вище заданого значення або між двома критичними значеннями, присвоюється один код, а іншим областям присвоюється інший. Можна також використати *Інструмент Перекласифікація (Reclassify)* або *Інтервальне перекодування (Slice)*, щоб розділити поверхню на задану кількість класів, як способу для укрупнення і генералізації детальних даних. Перекласифікація поверхні часто робиться для того, щоб зменшити кількість вхідних категорій для аналізу накладання.

На рис. 10.19 представлений приклад растра висот, розбитий на декілька класів (кожний клас представляє інтервал значень висот) і перекласифікований у два класи (вище і нижче заданої висоти).

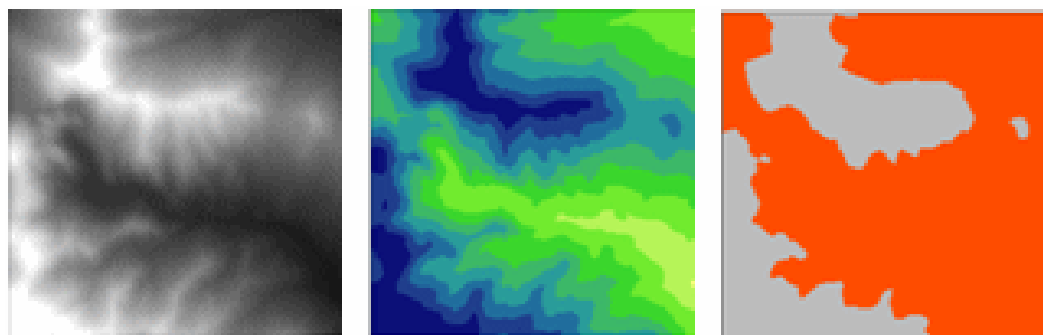


Рис. 10.19. Приклад перекласифікації растра висот

На рис. 10.20 представлений приклад растра експозиції, перекласифікованого в два класи; схили південної і південно-західної експозицій мають значення 1 (світлий тон), інші експозиції мають значення 0 (темний).

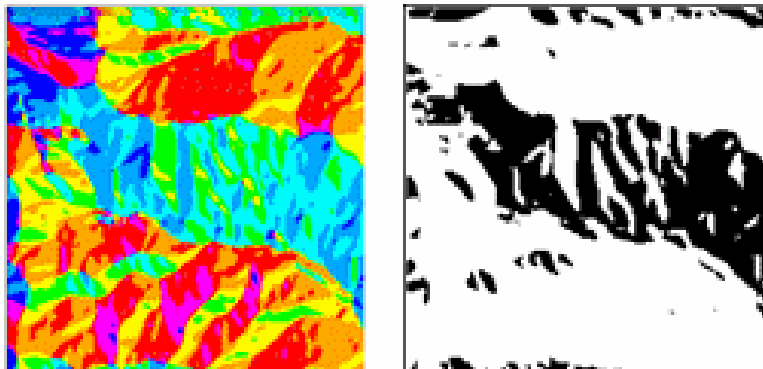


Рис. 10.20. Приклад перекласифікації растра експозицій

10.5. Інструменти аналізу відстаней

Деякі Інструменти аналізу відстаней створюють растри, які показують відстань кожної комірки від джерела або групи джерел на основі відстані по прямій лінії (рис. 10.21).

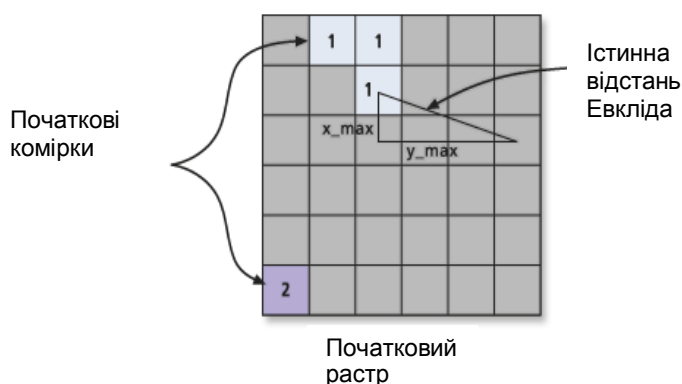


Рис. 10.21. Ілюстрація розрахунку евклідової відстані в растровій моделі

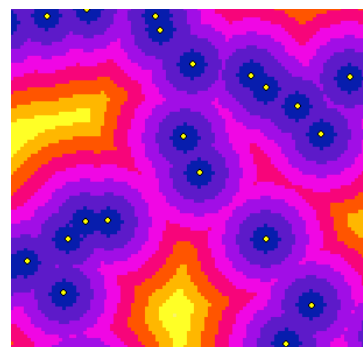


Рис. 10.22. Приклад визначення відстані від кожного населеного пункту

Інструмент *Розподіл за евклідовою відстанню* (*Euclidean Allocation*) створює зони поверхні, які відповідають найближчому об'єкту.

Вихідний растр *евклідової відстані* містить виміряну відстань від кожної комірки до найближчого джерела. Відстані вимірюються по прямій в одиницях проєкції растра, наприклад, футах або метрах, і обчислюються з центра однієї комірки до центра іншої.

Інструмент *Евклідова відстань* (*Euclidean Distance*) найчастіше використовується як автономний інструмент для додатків, таких як пошук найближчої лікарні для польоту гвинтокрила швидкої допомоги. Крім того, цей інструмент може використовуватись при створенні карти придатності, якщо потрібні дані, що представляють відстань від певного об'єкта. На рис. 10.22 представлений приклад визначення відстані від кожного населеного пункту. Ця інформація може бути надзвичайно корисною для планування походу або екскурсії.

Вихідний растр *Евклідового напрямку* містить напрямок азимуту із кожної комірки до найближчого джерела. Евклідовий напрямок показує напрямок від кожної комірки в градусах до найближчого джерела. Використовується коло в 360 градусів або компас, де 360 – на півночі, а 1 – на сході; інші комірки збільшуються за годинниковою стрілкою. Значення 0 резервується для комірок джерел.

На рис. 10.23 представлений приклад пошуку найближчого до кожного місця розташування міста. Ця інформація може бути корисною, наприклад, для аварійного гвинтокрила при транспортуванні на лікування поранених туристів до найближчого міста.

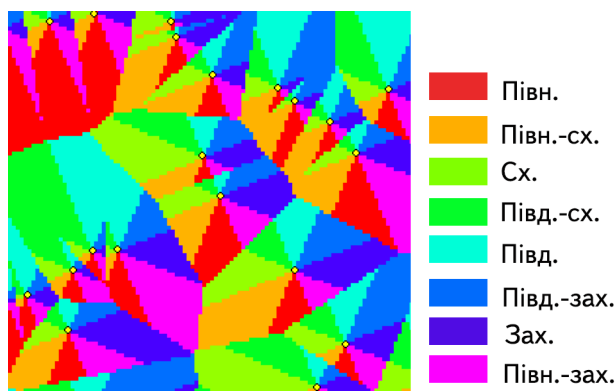


Рис. 10.23. Приклад напрямку найближчого до кожного місця розташування міста

Інструменти Вартісна відстань (Cost Distance), Оптимальний шлях (Cost Path), Вартісний напрямок (Cost Back Link) і Розподіл по вартісній відстані (Cost Allocation) використовуються для пошуку найкоротшого (мінімальна вартість) шляху від джерел до пунктів призначення, при цьому враховується растр, який визначає вартість проходження поверхні. Вартісний растр може відображати труднощі, енергію, час або вартість у доларах США або ж безрозмірне сполучення декількох факторів, які впливають на вартість переміщення або протікання по цій поверхні.

Набір Інструментів Шлях надає здебільшого ті же самі функції, що й набір *Вартість*, але враховує додаткові фактори відстані поверхні і складність вертикального переміщення (вартість). Тобто довжина заданої лінії на горбкуватій території більша, ніж у тієї ж самої лінії на плоскій поверхні, і рухатись уздовж схилу легше, ніж рухатись вгору і вниз по схилу.

10.6. Інструменти накладання растра

Інструменти накладання растра об'єднують два чи більше растрів, використовуючи логічні, математичні й зважені методи комбінування. *Інструменти Зваженого накладання (Weighted Overlay) і Зважена сума (Weighted Sum)* дозволяють комбінувати декількома растрами різної значущості. Це

корисно при аналізі придатності місця, коли декілька факторів сприяють цій придатності, але певні фактори є більш сильними, ніж інші.

Деякі *Інструменти* здійснюють алгебраїчні або логічні операції для поверхонь. *Інструменти Околиця* із Spatial Analyst, такі як статистика по блоках і фокальна статистика, розраховують значення для комірок вхідного растра на основі значень оточуючих комірок. Їх можна використовувати для видалення шумів, покращення контрасту по краях або перерахунку растра для зменшення просторового розрізнення.

Локальні функції дозволяють комбінувати, порівнювати або узагальнювати різні растри за принципом "комірка-за-коміркою".

Зональні функції дозволяють розраховувати для кожної комірки деякі функції або статистику з використанням значень для всіх комірок, що належать одній зоні.

10.7. Добування інформації з поверхні

Деякі *Інструменти* дозволяють отримувати векторні об'єкти з поверхонь або давати табличні відомості, або невеличкі растрові вибірки поверхонь.

10.7.1. Вибірка растрів

Інструмент Зразок (Sample) дозволяє створювати таблиці, які показують значення растра або декількох растрів у наборі обраних точок місцеположень. Точки можуть бути в класі точкових просторових об'єктів або комірками в растрі, що мають значення, відмінні від NoData. Цей Інструмент можна використовувати для одержання інформації про те, що зустрічається в наборі точок, наприклад, растри місць гніздування птахів, рельєфу, відстані до води і типів лісів.

На рис. 10.24 представлений приклад геологічного растра, обраного в наборі точок, результатом якого є таблиця.

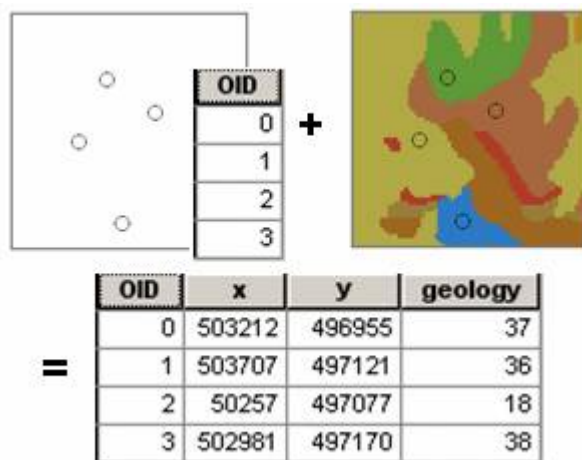


Рис. 10.24. Приклад геологічного растра, обраного в наборі точок, результатом якого є таблиця

Вихідна таблиця може бути проаналізована по вихідних або приєднаних до вибірки точкових об'єктах. На рис. 10.25 представлений приклад вибірки підсумкової таблиці зі зворотнім поєднанням з вихідними точками вибірки.

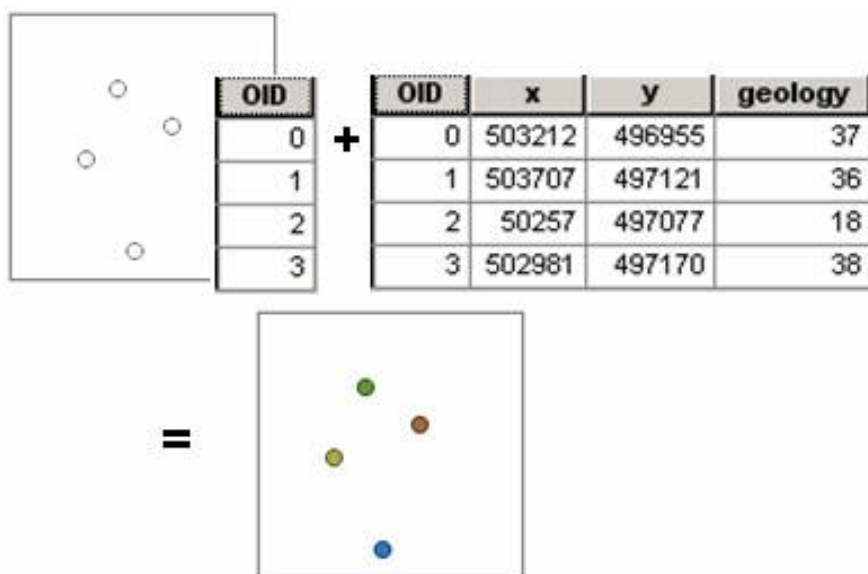


Рис. 10.25. Приклад вибірки підсумкової таблиці зі зворотнім поєднанням з вихідними точками вибірки

Інструменти *Витяг (Extract)* дозволяють створити новий растр з копією комірок за визначеною маскою.

Інструмент *Витяг за маскою (Extract By Mask)* дозволяє використовувати клас полігональних просторових об'єктів для витягу растрових даних. Витягує комірки растра, що визначаються площею, обмеженою маскою (рис. 10.26).

Інструмент *Витяг значення в точки (Extract Values To Points)* дозволяє створювати нові класи просторових точкових об'єктів зі значеннями тільки одного растра в наборі вхідних точкових об'єктів.

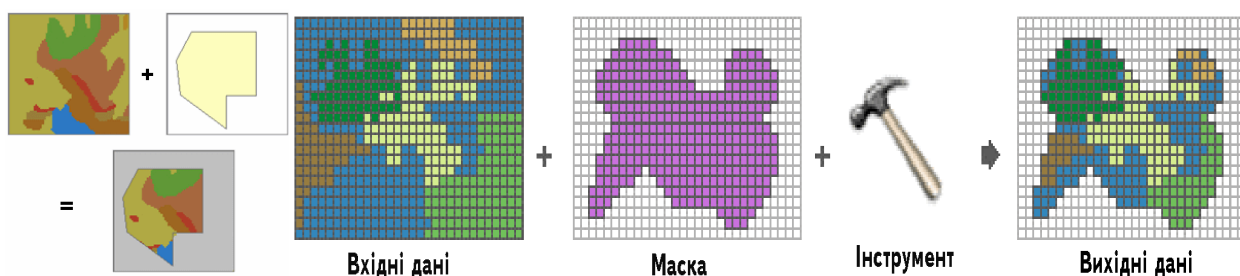


Рис. 10.26. Приклад витягу растрових даних за маскою

Інструмент *Витяг за атрибутами (Extract By Attributes)* дозволяє обирати комірки растра за логічним запитом. На рис. 10.27 наведений приклад

втягу комірок растра на основі логічного запиту: $\text{OutRas} = \text{Select}(\text{InRas1}, \text{"Value} \geq 2\text{"}$.

Інструменти *Витяг за полігоном (Extract By Polygon)* і *Витяг за прямокутником (Extract By Rectangle)* використовують списки значень координат, які визначають область, і на виході утворюється растр, який знаходиться або всередині або зовні полігону.

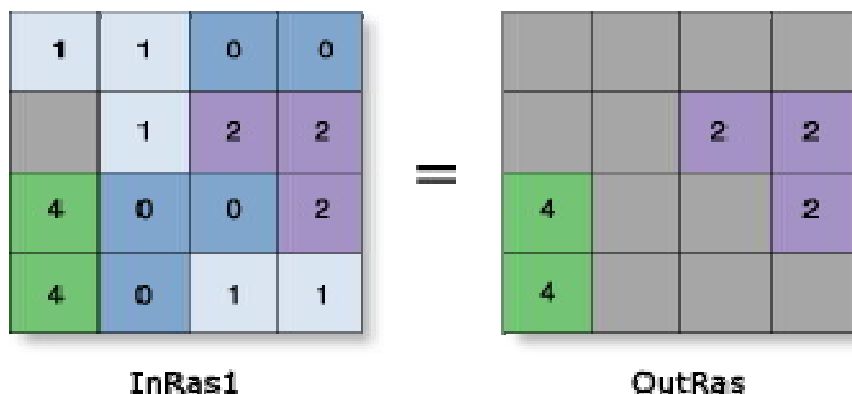


Рис. 10.27. Приклад витягу растрових даних за атрибутами

Інструмент *Витяг за окружністю (Extract By Circle)* використовує центр координат і радіуси кола, і на виході утворюється растр, який знаходиться або всередині або зовні окружності.

Інструмент *Витяг за точками (Extract By Points)* використовує список значень координат, які визначають набір точок і на виході видає растр значень комірок у цих точках (або виключаючи ці точки). У всіх випадках коміркам із вихідного растра, які не є частиною області витягу, присвоюється значення NoData.

Інструмент *Ділянка поверхні (Surface Spot) 3D Analyst* дозволяє витягувати значення висот з поверхні для набору точкових об'єктів і додавати їх до атрибуту точок Spot [129].

10.7.2. Добування інформації з TIN

TIN-поверхні містять інформацію про ухили та експозиції у вигляді атрибутів граней TIN. Замість того, щоб отримувати ухили та експозицію для TIN-поверхонь (як це робили з растровими моделями рельєфу, які зберігають тільки значення висот), можна витягти цю інформацію з граней в набір полігонів.

Інструменти *Експозиція TIN (TIN Aspect)* і *Ухил (TIN Slope)* витягують дані по експозиції та ухилу з TIN і додають цю інформацію як атрибути до класу полігональних просторових об'єктів.

На рис. 10.28 наведений приклад моделі рельєфу TIN і інформації про експозицію, що міститься в ній.

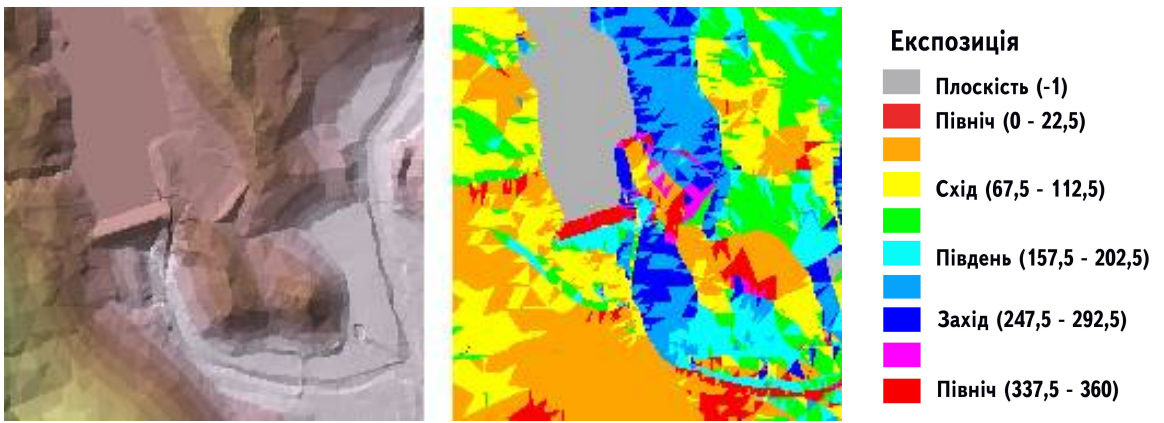


Рис. 10.28. Приклад моделі рельєфу TIN та інформації про експозицію, що міститься в ній

На рис. 10.29 наведений приклад моделі рельєфу TIN та інформації про ухили, що міститься в ній.

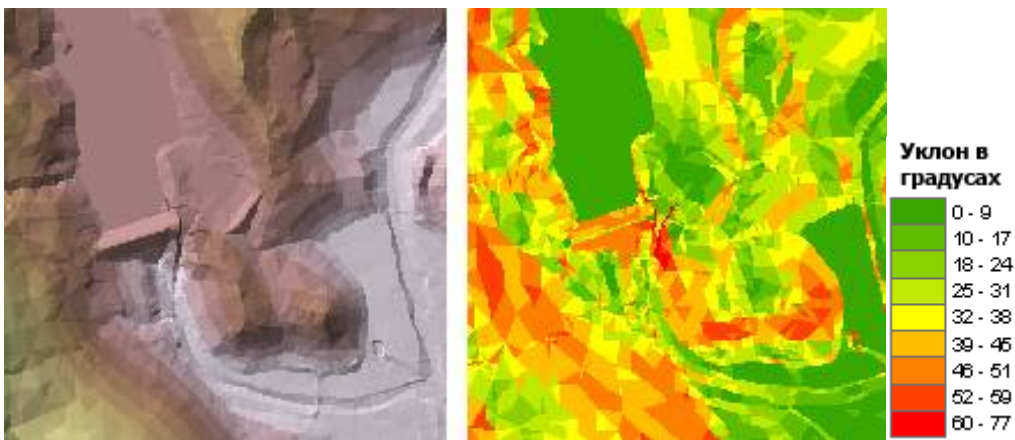


Рис. 10.29. Приклад моделі рельєфу TIN та інформації про ухили, що міститься в ній

10.7.3. Витяг ізоліній

Інструмент Ізолінія (Contour) дозволяє витягувати ізолінії з растрової поверхні.

Інструмент Ізолінія (TIN Contour) дозволяє витягувати клас лінійних просторових об'єктів ізоліній з поверхні TIN.

На рис. 10.30 наведений приклад моделі рельєфу TIN і горизонталей, отриманих з неї.

Інструменти Зональна статистика (Zonal statistics) створювати таблиці підсумкової статистики для заданого растра на підставі зон, що визначаються іншим растром або класом полігональних просторових об'єктів (рис. 10.31), або цей *Інструмент* може створювати новий растр, який відповідає зонам із спеціальною підсумковою статистикою як атрибуту (рис. 10.32).

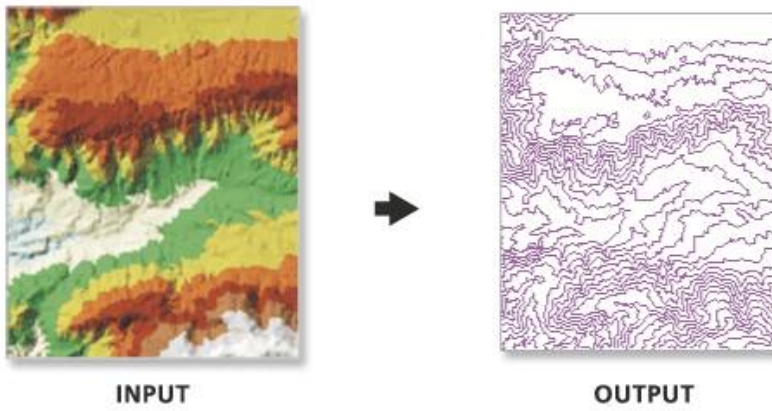


Рис. 10.30. Приклад моделі рельєфу TIN і горизонталей, отриманих з неї

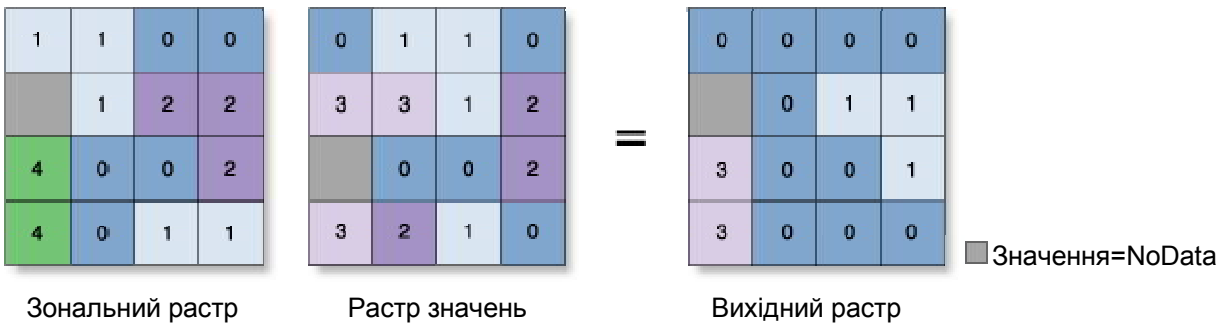
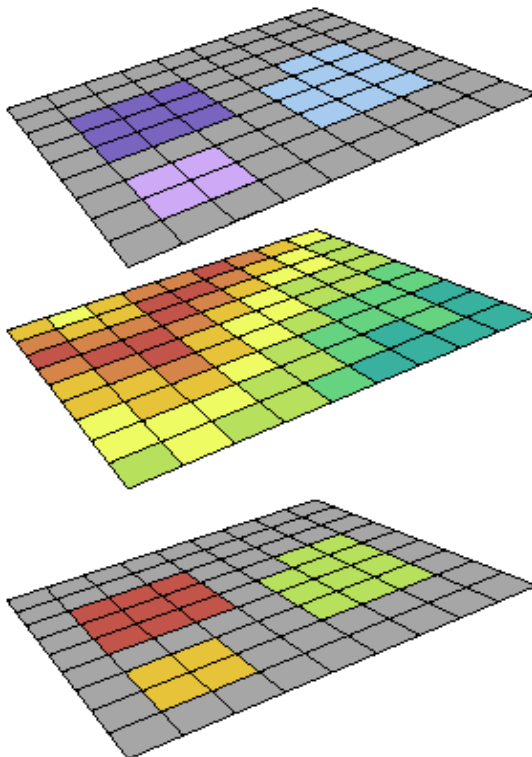


Рис. 10.31. Приклад створення таблиці підсумкової статистики на підставі запиту $OutRas = ZonalStatistics (ZoneRas, "VALUE", ValRas, "MINIMUM")$



Шар зон.

Визначає зони
(Геометрія, значення чи місце розташування)

Шар значень

Містить вхідні значення, які використовують для обчислення вихідних значень для кожної зони

Вихідні дані

Результат статистики застосовується для вхідного значення.
(В цьому прикладі – максимум)

Рис. 10.32. Приклад створення нового растру, який відповідає зонам із спеціальною підсумковою статистикою як атрибутом

10.7.4. Інструменти аналізу гідрології

Інструменти Гідрологія (Hydrology) отримують інформацію про водозбірний басейн і водотоки із растрів рельєфу поверхні. Ця інформація може конвертуватись у векторні об'єкти. Цей процес потребує декількох *Інструментів* отримання інформації з поверхні рельєфу, подаючи їх у вигляді растрів басейна і потоку, які можуть бути конвертовані у векторні об'єкти.

Інструмент Напрямок стоку (Flow Direction) використовує поверхню рельєфу і визначає спадаючий напрямок схилу для кожної комірки.

Інструмент Басейн (Basin) використовує результати, отримані *Інструментом Напрямок стоку (Flow Direction)*, для визначення басейнів стоку, що складаються з комірок, що сполучаються, які відображають стік, що надходить з усіх комірок, що сполучаються в одне місце.

Інструмент Сумарний стік (Flow Accumulation) дозволяє визначити, скільки поверхневого стоку збирається в кожній комірці. Комірки з високим значенням сумарного стоку зазвичай відповідають руслам рік і потоків. Цей *Інструмент* також визначає місцеві топографічні максимуми (області з нульовим сумарним стоком), наприклад, гірські піки і хребти.

На рис. 10.33 наведений приклад моделі рельєфу і поверхні напрямку стоку, яка отримана з моделі рельєфу.

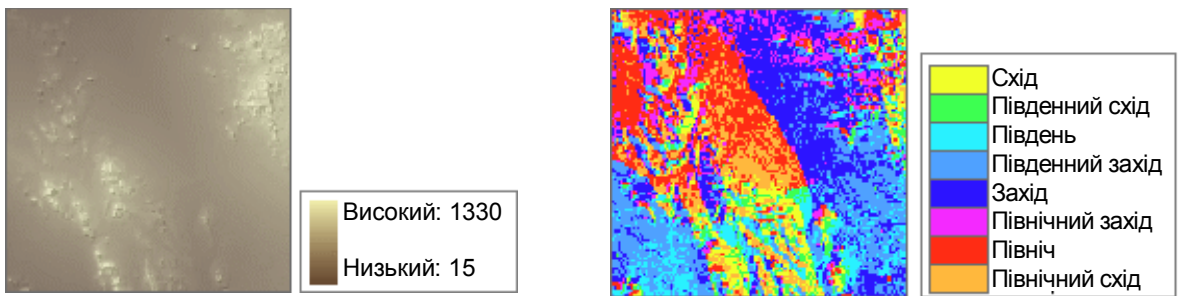


Рис. 10.33. Приклад моделі рельєфу і поверхні напрямку стоку, яка отримана з моделі рельєфу

На рис. 10.34 наведений приклад подання поверхні басейнів стоку і поверхні сумарного стоку, отриманої за допомогою поверхні напрямку стоку.



Рис. 10.34. Приклад поверхні басейнів стоку і поверхні сумарного стоку, отриманої за допомогою поверхні напрямку стоку

Поверхня сумарного стоку може бути оброблена за допомогою виразу Алгебри карт (Map Algebra Conditional (Con)): $\text{con}(\text{flowacc} > 100, 1)$ для збору в растр водотоків тільки комірок з високими значеннями сумарного стоку (для наведеного випадку, більше 100).

На рис. 10.35 наведений приклад растра водотоків, отриманого з поверхні сумарного стоку.

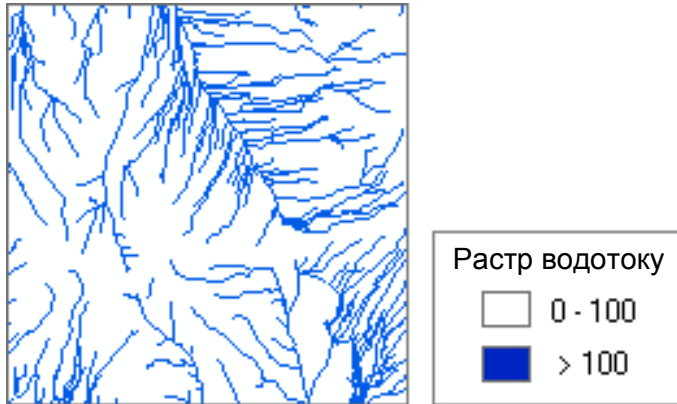


Рис. 10.35. Приклад растра водотоків, отриманого з поверхні сумарного стоку

Інструмент Водотік у просторовий об'єкт (Stream to Feature) дозволяє створювати векторні просторові об'єкти ліній водотоків і поверхні напрямку стоків.

Список використаних джерел

1. Баранов Ю. Б. Геоинформатика : толковый словарь основных терминов / Ю. Б. Баранов, А. М. Берлянт, Е. Г. Капралов и др. – М. : ГИС-Ассоциация, 1999. – 204 с.
2. Берлянт А. М. Виртуальные геоизображения / А. М. Берлянт. – М. : Научный мир, 2001. – 56 с.
3. Берлянт А. М. Геоинформационное картографирование / А. М. Берлянт. – М. : РАЕН, 1997. – 64 с.
4. Берлянт А. М. Геоиконика / А. М. Берлянт. – М. : Фирма "Астрея", 1996. – 208 с.
5. Берлянт А. М. Картография : учебник для вузов / А. М. Берлянт. – М. : Аспект Пресс, 2001. – 336 с.
6. Бугаевский Л. М. Картографические проекции / Л. М. Бугаевский, Л. А. Вахромеева. – М. : Недра, 1992. – 293 с.
7. Бугаевский Л. М. Математическая картография / Л. М. Бугаевский. – М. : Златоуст, 1998. – 400 с.
8. Бугаевский Л. М. Геоинформационные системы / Л. М. Бугаевский, В. Я. Цветков. – М. : Златоуст, 2000. – 222 с.
9. Бусыгин Б. С. Инструментарий геоинформационных систем : справочное пособие / Б. С. Бусыгин, И. Н. Гаркуша, Е. С. Серединин, А. Ю. Гаевенко. – К., 2000. – 174 с.
10. Варламов А. А. Земельный кадастр / А. А. Варламов, С. А. Гальченко. – М. : Колосс, 2006.
- Т. 6. Географические и земельные информационные системы. – 2006. – 400 с.
11. Васмут А. С. и др. Автоматизация и математические методы в картосоставлении : учебное пособие для вузов / А. С. Васмут и др. – М. : Недра, 1991. – 392 с.
12. Вахромеев И. В. Алгоритмы и структуры данных для геоинформационных систем : методические указания для студентов / И. В. Вахромеев, И. Г. Ермакова, А. С. Савельев. – Красноярск : КГТУ, 2003. – 34 с.
13. Вахрамеева Л. А. Картография : учебник для студентов геодезических специальностей вузов / Л. А. Вахрамеева. – М. : Недра, 1981. – 223 с.
14. Власов В. М. Использование ГИС в технологии диспетчерского управления маршрутизированным транспортом : методическое пособие МАДИ (ГТУ) / В. М. Власов, Д. Б. Ефименко, С. В. Жанказиев. – М. : МАДИ, 2007. – 72 с.
15. Де Мерс. Географические информационные системы. Основы / Де Мерс, Н. Майкл ; пер. с англ. – М. : Дата+, 1999. – 489 с.
16. Дьяконов К. Н. Современные методы географических исследований : кн. для учителя / К. Н. Дьяконов и др. – М. : Просвещение-АО "Учебная литература", 1996. – 207 с.

17. Ерунова М. Г. Географические и земельно-информационные системы. – Ч. 1. Технология создания векторной земельно-кадастровой карты средствами ГИС программы вектоизатора GeoDraw for Windows : методические указания / М. Г. Ерунова, А. А. Гостева. – Красноярск КГАУ, 2004. – 84 с.
18. Замай С. С. Программное обеспечение и технологии геоинформационных систем / С. С. Замай, О. Э. Якубайлик. – Красноярск : КГУ, 1998. – 110 с.
19. Зейлер М. Моделирование нашего мира: руководство ESRI по проектированию базы геоданных / М. Зейлер ; пер. с англ. – М. : СП ООО Дата+, 2004. – 254 с.
20. Іщук О. О. Просторовий аналіз в ГІС : навч. посіб. / О. О. Іщук, М. М. Коржнев, О. Є. Кошляков ; за ред. акад. Д. М. Гродзинського. – К. : ВПЦ Київський університет, 2003. – 195 с.
21. Иванников А. Д. Геоинформатика / А. Д. Иванников, В. П. Кулагин, А. Н. Тихонов, В. Я. Цветков. – М. : МАКС-ПРЕСС, 2001. – 349 с.
22. Капралов Е. Г. Геоинформатика / Е. Г. Капралов, А. В. Кошкарев, В. С. Тикунов и др. – М. : Академия, 2005. – 480 с.
23. Кліменко І. В. Технології електронного урядування : навчальний посібник / І. В. Кліменко, К. О. Линьов. – К. : Вид-во ДУС, 2006. – 225 с.
24. Коновалова Н. В. Введение в ГИС : учебное пособие / Н. В. Коновалова, Е. Г. Капралов. – М. : ООО "Библион", 1997. – 160 с.
25. Королев Ю. К. Общая геоинформатика / Ю. К. Королев. – Часть I. Теоретическая геоинформатика. Выпуск 1. – М. : СП ООО Дата+, 1998. – 118 с.
26. Басараб М. А. Цифровая обработка сигналов на основе теоремы Уиттекера-Котельникова-Шеннона / М. А. Басараб, Е. Г. Зелкин, В. Ф. Кравченко, В. П. Яковлев. – М. : Радиотехника, 2004. – 72 с.
27. Краснощеков Р. В. ГИС-технологии : словарь терминов и понятий / Р. В. Краснощеков. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2009. – 87 с.
28. Ладичук Д. О. Бази геоінформаційних даних / Д. О. Ладичук, В. І. Пічура. – Херсон : ХДУ, 2007. – 103 с.
29. Лебедева О. А. Картографические проекции / О. А. Лебедева. – Новосибирск : Новосибирский научно-методический центр по ГИС и ДЗЗ, 2000. – 35 с.
30. Литинский П. Ю. Трехмерное моделирование структуры и динамики таежных ландшафтов / П. Ю. Литинский. – Петрозаводск : Карельский научный центр РАН, 2007. – 107 с.
31. Лопандя А. В. Основы ГИС и тематического цифрового картографирования / А. В. Лопандя, В. А. Немтинов. – Тамбов : ГОУ ВПО ТГГТУ, 2007. – 72 с.
32. Лошкарева А. А. Геоинформационная система: теория, общая информация, руководство пользователя электронным атласом и базой данных "Сохранение биоразнообразия лососевых рыб Камчатки и их устойчивое использование" / А. А. Лошкарева. – М. : Изд-во ВНИРО, 2008. – 110 с.
33. Максаковский В. Л. Географическая культура / В. Л. Максаковский. – М. : Гуманит. изд. центр "ВЛАДОС", 1998. – 416 с.

34. Митчелл Э. Руководство по ГИС анализу / Э. Митчелл. – 2000.
Ч. 1. Пространственные модели и взаимосвязи. – 2000. – 177 с.
35. Морозов В. В. ГИС в управлінні водними і земельними ресурсами : навчальний посібник / В. В. Морозов. – Херсон : Вид-во ХДУ, 2006. – 88 с.
36. Морозов В. В. Геоінформаційні технології в агросфері / В. В. Морозов, К. С. Лисогоров, Н. М. Шпоринська. – Херсон : ХДУ, 2007. – 223 с.
37. Морозов В. В. Моделирование та прогнозування для проектів геоінформаційних систем / В. В. Морозов, С. Я. Плоткін, М. Г. Поляков та ін. – Херсон : ХДУ, 2007. – 328 с.
38. Объектно-ориентированная методология [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
<http://belani.narod.ru/3/OOM.htm>. – Назва з екрана.
39. Савиных В. П. Геоинформационный анализ данных дистанционного зондирования / В. П. Савиных, В. Я. Цветков. – М. : Картгеоцентр-Геодиздат, 2001. – 228 с.
40. Самардак А. С. Геоинформационные системы / А. С. Самардак. – Владивосток : ТИДОИТ, 2005. – 123 с.
41. Самодумкин С. А. Управление данными в геоинформационных системах / С. А. Самодумкин, Н. А. Степанова, Н. А. Гулякина. – Минск : БГУИР, 2006. – 114 с.
42. Світличний О. О. Основи ГІС / О. О. Світличний, С. В. Плотницький. – Суми : Університетська книга, 2006. – 296 с.
43. Цветков В. Я. Геоинформационные системы и технологии / В. Я. Цветков. – М. : Финансы и статистика, 1998. – 288 с.
44. Скворцов А. В. Триангуляция Делоне и её применение / А. В. Скворцов. – Томск : Изд-во Том. ун-та, 2002. – 128 с.
45. Суховірський Б. І. Географічні інформаційні системи : навч. посіб. / Б. І. Суховірський. – Чернігів : ЧДІЕУ, 2000. – 197 с.
46. Суховірський Б. І. Геоінформаційні системи і технології в регіональному розвитку / Б. І. Суховірський. – К. : Знання України, 2002. – 210 с.
47. Турлапов В. Е. Геоинформационные системы в экономике : учебно-методическое пособие / В. Е. Турлапов. – Нижний Новгород : НФГУ-ВШЭ, 2007. – 188 с.
48. Ушкаренко В. О. Системи управління базами даних ГІС для моніторингу ґрунтів / В. О. Ушкаренко, В. В. Морозов, О. В. Морозов та ін. – Херсон : ХДУ, 2007. – 112 с.
49. Фаулер М. UML в кратком изложении. Применение стандартного языка объектного моделирования / М. Фаулер, К. Скот ; пер. с англ. – М. : Мир, 1999. – 191 с.
50. Хаксхолд У. Е. Введение в городские информационные системы / У. Е. Хаксхолд. – New York Oxford / Oxford University Pres, 1991. – 297 с.
51. Цыганок Д. А. Геоинформационные системы / Д. А. Цыганок. – Красноярск : КГУ, 2004.
Ч. 1, 2. Введение в ГИС. Аппаратное обеспечение ГИС. – 2004. – 112 с.

52. Чандра А. М. Дистанционное зондирование и географические информационные системы / А. М. Чандра, С. К. Гош. – М. : Техносфера, 2008. – 312 с.
53. Шайтура С. В. Геоинформационные системы и методы их создания : учебное пособие / С. В. Шайтура. – М. : Изд. МИИГАиК, 1995. – 164 с.
54. Шекхар Ш. Основы пространственных баз данных / Ш. Шекхар, С. Чаула. – М. : КУДИЦ-ОБРАЗ, 2004. – 336 с.
55. Шипулін В. Д. Планування і управління ГІС-проектами / В. Д. Шипулін, Є. І. Кучеренко. – Харків : ХНАМГ, ХНУРЕ, 2009. – 158 с.
56. Шумаков Ф. Т. Збірник лабораторних робіт з геоінформатики / Ф. Т. Шумаков. – Харків : ХНАМГ, 2009. – 123 с.
57. Щербаков В. В. Геоинформационные системы. Структура ГИС, методы создания и использования / В. В. Щербаков. – Екатеринбург : Уралгеоинформ, 2002. – 33 с.
58. Чоговадзе Г. Г. Информация: информация, общество, человек / Г. Г. Чоговадзе. – М. : ООО Дата+, 2003. – 320 с. – С. 121–134.
59. Географічна інформація – Еталонна модель: Нац. Стандарт України (ДСТУ ISO 19101:2002(E)). – К. : Держспоживстандарт України, 2005. – 65 с.
60. The NCGIA Core Curriculum in GIScience / M. F. Goodchild, K. K. Kemp, eds. – NCGIA University of California, Santa Barbara CA., 2000 [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<http://www.ncgia.ucsb.edu/>. – Назва з екрана.
61. David J. Buckley. The GIS Primer [Електронний ресурс] / David J. Buckley. – Режим доступу:
<http://www.innovativegis.com/education/primer.html>. – Назва з екрана.
62. Joseph K. Berry. Beyond Mapping III. Understanding Spatial Patterns and Relationships – BASIS Press, 2007, 227 p. [Електронний ресурс] / Joseph K. Berry. – Режим доступу:
<http://www.innovativegis.com/basis/MapAnalysis/>. – Назва з екрана.
63. Principles of Geographic Information Systems / Rolf A. de By (Ed.). – ITC, Enschede, The Netherlands. – 490 p.
64. GIS Glossary [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<http://www.geog.ubc.ca/courses/klink/gis.notes/glossary.html> Spatial Analysis and GIS: A Primer/Gilberto Camara and other. – Image Processing Division, National Institute for Space Research (INPE), Brazil. – Назва з екрана.
65. Cheng G. Hierarchy Representation of Virtual Terrain Environment and Research into the Real Time Shading Technology: Ph. D. thesis / Zhengzhou Institute for Mapping and Surveying / G. Cheng. – Zhengzhou, 2000. – 133 p.
66. Ивенс Р. М. Введение в теорию цвета / Р. М. Ивенс ; пер. с англ. – М., 1964. – 442 с.
67. David DiBiase, Michael DeMers, Ann Johnson, Karen Kemp, Ann Taylor Luck, Brandon Plewe, and Elizabeth Wentz. – Geographic Information Science & Technology. Body of Knowledge [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<http://www.ucgis.org/>. – Назва з екрана.

68. ArcGIS Desktop Help [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/>. – Назва з екрана.
69. Максудова Л. Г. Информационное моделирование как фундаментальный метод познания / Л. Г. Максудова, В. Я. Цветков // Изв. вузов "Геодезия и аэрофотосъемка". – 2001. – № 1. – С. 102–106.
70. Цветков В. Я. Модели в информационных технологиях / В. Я. Цветков. – М. : Макс Пресс, 2006. – 104 с.
71. Максудова Л. Г. О междисциплинарной интеграции на основе геоинформатики / Л. Г. Максудова, В. П. Савиных, В. Я. Цветков // Изв. вузов "Геодезия и аэрофотосъемка". – 2004. – № 5. – С. 108–115.
72. Максудова Л. Г. Интеграция наук об окружающем мире в геоинформатике / Л. Г. Максудова, В. П. Савиных, В. Я. Цветков // Исследование Земли из космоса. – 2000. – № 1. – С. 46–50.
73. Цветков В. Я. Информационные модели как основа обработки информации в ГИС / В. Я. Цветков // Изв. вузов "Геодезия и аэрофотосъемка". – 2005. – № 2. – С. 118–123.
74. Цветков В. Я. Геоинформационное моделирование / В. Я. Цветков // Информационные технологии. – 1999. – № 3. – С. 23–27.
75. Цветков В. Я. Информационные модели и информационные ресурсы / В. Я. Цветков // Изв. вузов "Геодезия и аэрофотосъемка". – 2005. – № 3. – С. 85–91.
76. Цветков В. Я. Пространственные отношения в геоинформатике / В. Я. Цветков // Международный научно-технический и производственный журнал "Науки о Земле". – Вып. 01. – 2012. – С. 59–61.
77. Цветков В. Я. Цифровые карты и цифровые модели / В. Я. Цветков // Изв. вузов "Геодезия и аэрофотосъемка". – 2000. – № 2. – С. 147–155.
78. Иванников А. Д. Прикладная геоинформатика / А. Д. Иванников, В. П. Кулагин, А. Н. Тихонов В. Я. Цветков. – М. : МаксПресс, 2005. – 360 с.
79. Поляков А. А. Прикладная информатика : учебно-методическое пособие : в 2 ч. / А. А. Поляков, В. Я. Цветков. – Ч. 1 / под общ. ред. А. Н. Тихонова. – М. : МАКС Пресс, 2008. – 788 с.
80. Бусигін Б. С. Англо-російсько-український словник з геоінформатики / Б. С. Бусигін, Г. М. Коротенко, Л. М. Коротенко, М. А. Якимчук. – К. : Карбон, 2007. – 433 с.
81. СОУ 742-33739540 0013:2010. Правила цифрового опису рельєфу. Комплекс стандартів. База топографічних даних (Проект). – К., 2010. – 37 с.
82. Козаченко Т. І. Картографічне моделювання : навч. посіб. / Т. І. Козаченко, Г. О. Пархоменко, А. М. Молочко. – Вінниця : ТОВ "Антекс" – УЛТД, 1999. – 320 с.
83. Козаченко Т. І. Теоретичні аспекти геоінформаційного моделювання / Т. І. Козаченко // Український географічний журнал. – 2009. – № 4. – С. 51–56.
84. Берлянт А. М. Картографические анимации / А. М. Берлянт, Л. А. Ушакова. – М. : Науч. мир, 2000. – 108 с.

85. География, общество, окружающая среда. – М. : Изд. дом "Гордец", 2004.

Т. VII: Картография, геоинформатика и аэрокосмическое зондирование / под ред. проф. А. М. Берлянта и проф. Ю. Ф. Книжникова. – 2004. – 624 с.

86. Жуков В. Т. Математико-картографическое моделирование в географии / В. Т. Жуков, С. Н. Сербенюк, В. С. Тикунов. – М. : Мысль, 1980. – 224 с.

87. Лурье И. К. Геоинформатика: Учебные геоинформационные системы : учеб.-метод. пособие / И. К. Лурье. – М. : Изд-во МГУ, 1997. – 155 с.

88. Козаченко Т. І. Інтеграція функцій картографічного моделювання і ГІС-аналізу в геоінформаційних системах при суспільно-географічних дослідженнях / Т. І. Козаченко // Укр. геогр. журн. – 2004. – № 3. – С. 99–108.

89. Шипулін В. Д. Принципи ГІС / В. Д. Шипулін. – Харків : ХНАМГ, 2010. – 303 с.

90. Гитис В. Г. Основы пространственно-временного прогнозирования в геоинформатике / В. Г. Гитис, Б. В. Ермаков. – М. : Физматлит, 2004. – 256 с.

91. Кузнецов О. Л. Геоинформатика и геоинформационные системы : учебник для вузов / О. Л. Кузнецов, А. А. Никитин, Е. Н. Черемисина. – М. : ВНИИгеосистем, 2005. – 453 с.

92. Бурачек В. Г. Геоінформаційний аналіз просторових даних / В. Г. Бурачек, О. О. Железняк, В. І. Зацерковний. – Ніжин : ТОВ Вид-во "Аспект-Поліграф", 2011. – 440 с.

93. Новаковский Б. А. Цифровые модели рельефа реальных и абстрактных геополей / Б. А. Новаковский, С. В. Прасолов, А. И. Прасолова. – М. : Научный мир, 2003. – 61 с.

94. Сербенюк С. Н. Программы МАГ для создания цифровых моделей геополей / С. Н. Сербенюк, С. М. Кошель, О. Р. Мусин // Геодезия и картография. – 1991. – № 4. – С. 44–46.

95. Морфология рельефа. – М., 2004. – 184 с.

96. Хромых В. В. Цифровые модели рельефа : учебное пособие / В. В. Хромых, О. В. Хромых. – Томск : Изд-во "ТМЛ-Пресс", 2007. – 178 с.

97. Кошель С. М. Теоретическое обоснование структуры и функций блока моделирования рельефа в ГИС. Научная библиотека диссертаций и авторефератов disserCat [Электронный ресурс] / С. М. Кошель. – Режим доступа:

<http://www.dissercat.com/content/teoreticheskoe-obosnovanie-struktury-i-funktsii-bloka-modelirovaniya-relefa-v-gis#ixzz4BKoUkCOI>. – Назва з екрана.

98. Серапинас Б. Б. Математическая картография : учебник для вузов / Б. Б. Серапинас. – М. : Издательский центр "Академия", 2005. – 336 с.

99. Лурье И. К. Геоинформационное картографирование. Методы геоинформатики и цифровой обработки космических снимков : учебник для вузов / И. К. Лурье. – 2-е изд. – М. : КДУ, 2010. – 424 с.

100. Самсонов Т. Е. Мультимасштабное картографирование рельефа: общегеографические и гипсометрические карты / Т. Е. Самсонов. – LAP Lambert Academic Publishing, Saarbrücken, 2011. – 208 с.

101. Frye C. A Product Driven Approach to Designing a Multi-Purpose MultiScale GIS Base Map Database that Supports High Quality Mapping / C. Frye // Proceedings of AutoCarto 2006. – Vancouver. – 17 p.
102. Tobler W. R. Numerical map generalization. Michigan Inter University Community of mathematical Geographers Discussion Paper 8. – Dept. of Geography, University of Michigan, An Arbor, MI, USA, 1966.
103. Douglas D. H. Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature / D. H. Douglas, T. K. Peucker // The Canadian Cartographer. – 1973. – 10 (2). – P. 112–122.
104. Marble D. Geographic Information Systems: an overview / D. Marble // Proceedings of Pecora 9, Sioux Falls, SD, 1984. – P. 18–24.
105. McMaster R. B. Generalization in Digital Cartography / R. B. McMaster, K. S. Shea. – Association of American Cartographers. – Washington, DC, 1992.
106. Buttenfield B. Research Initiative 3: Multiple Representations. Closing Report, National Center for Geographic Information and Analysis, Buffalo, 1993.
107. Jones C. B. Database design for a Multi-scale spatial information system / C. B. Jones, D. B. Kidner, L. Q. Luo, G. L. Bundy and J. M. Ware // Int. Journal of GIS. – Vol. 10 (8). – 1996. – P. 901–920.
108. Cecconi A. Improving Automated Generalisation for On-Demand Web Mapping by Multiscale Databases / A. Cecconi, L. Weibel, M. Barrault // Symposium on Geospatial Thory, Processing and Applications. – Ottawa, 2004.
109. Brewer C. A. Framing Guidelines for Multi-Scale Map Design Using Databases at Multiple Resolutions / C. A. Brewer, B. P. Buttenfield // Cartography and Geographic Information Science. – 2007. – № 34 (1). – P. 3–15.
110. Oosterom P. van, Stoter J. 5D Data Modelling: Full Integration of 2D/3D Space, Time and Scale Dimension / P. van Oosterom // Proceedings of GIScience. – Zurich, 2010. – 15 p.
111. Берлянт А. М. Теория геоизображений / А. М. Берлянт. – М. : ГЕОС, 2006. – 262 с.
112. Подольский А. С. Принципы оформления мультимасштабных общегеографических карт / А. С. Подольский, Т. Е. Самсонов // ИнтерКарто-ИнтерГИС – 18: Устойчивое развитие территорий: теория ГИС и практический опыт : материалы международной конференции / редкол.: С. П. Евдокимов и др. – Смоленск, 26–28 июня 2012. – С. 71–81.
113. Юрова Н. Д. Мультимасштабное социально-экономическое картографирование на примере производства строительных материалов в России / Н. Д. Юрова, Т. Е. Самсонов // ИнтерКарто-ИнтерГИС – 18: Устойчивое развитие территорий: теория ГИС и практический опыт : материалы международной конференции / редкол.: С. П. Евдокимов и др. Смоленск, 26–28 июня 2012 г. – С. 469–476.
114. Jenny B. Adaptive composite map projections. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics (Proceedings Scientific Visualization / Information Visualization 2012) / B. Jenny. – P. 18–12.

115. Лурье И. К. Структура и содержание базы пространственных данных для мультимасштабного картографирования / И. К. Лурье, Т. Е. Самсонов // Геодезия и картография – 2010. – № 11. – С. 17–23.
116. Lienert C. Current trends in vectorbased Internet mapping – a technical review. In: M. P. Peterson (ed.), Online Maps with APIs and Mapservices, Lecture Notes in Geoinformation and Cartography / C. Lienert, B. Jenny, O. Schnabel and L. Hurni; Berlin Heidelberg ; New York : Springer, 2012. – P. 23–36.
117. Smith N. Uneven Development: Nature, Capital and the Production of Space / N. Smith. – Oxford : Blackwell Publishers, 1984.
118. Harvey D. Justice, Nature and the Geography of Difference / D. Harvey. – Oxford : Blackwell Publishers, 1996.
119. http://istina.msu.ru/media/publications/article/2b9/4c7/1463715/Samsonov_Multiscale_2012.pdf. – Назва з екрана.
120. Арманд Д. Л. Наука о ландшафте Арманд Д. Л. – М. : Мысль, 1975. – 288 с.
121. Лисицкий Д. В. Геоинформатика : учеб. пособие / Д. В. Лисицкий. – Новосибирск : СГГА, 2012. – 115 с.
122. Умовні знаки для топографічних планів масштабів 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500. – К. : Мінекоресурсів України, 2002
123. Robinson L. J., Busconi L. and Michel T. (1995) Agonist-modulated palmitoylation of endothelial nitric oxide synthase. J. Biol. Chem., – 270, 995–998 с.
124. Hill L. L. Georeferencing: The Geographic Associations of Information (Digital Libraries and Electronic Publishing) / L. L. Hill. – 2006. – 272 p.
125. Цветков В. Я. Информационное управление / В. Я. Цветков. – LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH &KG, Saarbrucken, Germany. – 2012. – 201 с.
126. Соловьев И. В. О содержании и взаимосвязях категорий "информация", "информационные ресурсы", "знания" // Дистанционное и виртуальное обучение / И. В. Соловьев, В. Я. Цветков. – 2011. – № 6 (48). – С. 11–21.
127. Соловьев И. В. Формирование интеллектуальных ресурсов в геоинформатике / И. В. Соловьев // Науки о Земле. – 2012. – № 2–3. – С. 76–79.
128. Watson D. F. Refinement of Inverse Distance Weighted Interpolation D. F. Watson, G. M. Philip // Geo-Processing. – 1985. – No. 2. – P. 315–327.
129. <http://resources.arcgis.com/ru/help/main/10.2/index.html> #//. – Назва з екрана.
130. Сербенюк С. Н. Картография и геоинформатика – их взаимодействие / С. Н. Сербенюк. – М. : МГУ, 1990. – 153 с.
131. Сербенюк С. Н. Методы моделирования геополей по данным в нерегулярно расположенных точках / С. Н. Сербенюк, С. М. Кошель, О. Р. Мусин // Геодезия и картография. – 1990. – № 1. – С. 31–35.
132. Tryon R. C. Cluster analysis / R. C. Tryon. – London : Ann Arbor Edwards Bros, 1939. – 139 p.

140. Дюран Б. Кластерный анализ / Б. Дюран ; пер. с англ. – М. : Статистика, 1977. – 128 с.
141. Гитис П. Х. Статистическая классификация и кластерный анализ / П. Х. Гитис. – М. : Московский государственный горный университет, 2003. – 157 с.
142. Пістунов І. М. Кластерний аналіз в економіці / І. М. Пістунов, О. П. Антонюк, І. Ю. Турчанінова. – Д. : НГУ, 2008. – 87 с.
143. Hartigan J. A. Clustering Algorithms / J. A. Hartigan. – New York : Wiley, 1975. – 351 p.
144. Мандель И. Д. Кластерный анализ / И. Д. Мандель. – М. : Финансы и статистика, 1988. – 176 с.
145. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика : учебное пособие для вузов / В. Е. Гмурман. – М. : Высшая школа, 2004. – 479 с.
146. <http://www.aiportal.ru/articles/autoclassification/measure-distance.html>. – Назва з екрана.
147. Енюков И. С. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ / И. С. Енюков. – М. : Финансы и статистика, 1989. – 215 с.
148. Батракова Л. Г. Экономический анализ деятельности коммерческого банка / Л. Г. Батракова. – М. : Логос, 2005. – 368 с.
149. Ball G. H. ISODATA. An iterative method of multivariate analysis and pattern classification / G. H. Ball, D. J. Hall // 1966 IEEE Int. Commun. Conf., Philadelphia / Digest of Techn. Pap. – N. Y., 1966. – P. 116–117.
150. Высоцкая Н. В. Метод порядковой классификации многомерной социально-экономической информации / Н. В. Высоцкая. – Новосибирск : Ин-т экономики и организации промышленного производства СО АН СССР, 1979. – 8 с.
151. Миркин В. Г. Шкалы упорядочения / В. Г. Миркин, Н. В. Высоцкая и др. // Моделирование в экономических исследованиях. – Новосибирск, 1978. – С. 109–113.
152. Diday E. The dynamic clusters methods in nonhierarchical clustering / E. Diday // Int. J. Comput. and Inf. Sci. – 1973. – Vol. 2, № 1. – P. 61–68.
153. <http://www.studfiles.ru/preview/5468145/page:2/>. – Назва з екрана.
154. Данилин И. М. Лазерная локация земли и леса / И. М. Данилин, Е. М. Медведев, С. Р. Мельников. – Красноярск, 2005. – 182 с.
155. Дорожинський О. Л. Фотограмметрія / О. Л. Дорожинський, Р. Тукай. – Львів : Вид. Нац. ун-т. "Львівська політехніка", 2008. – 332 с.

Навчальне видання

**Зацерковний Віталій Іванович,
Бурачек Всеволод Германович,
Железняк Олег Олександрович,
Терещенко Андрій Олександрович**

**ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ
І БАЗИ ДАНИХ**

*Монографія
У двох книгах*

Технічний редактор – І. П. Борис
Верстка, макетування – В. М. Косяк
Літературний редактор – О. М. Лісовець, А. М. Конівненко
Коректор – А. М. Конівненко
Дизайн обкладинки – А. В. Новгородська

Підписано до друку __
Гарнітура Computer Modern.
Замовлення №

Формат 60x84/16.
Обл.-вид. арк. 13,82
Ум. друк. арк. 11,95

Папір офсетний.
Тираж 300 прим.



Ніжинський державний університет
імені Миколи Гоголя.
м. Ніжин, вул. Воздвиженська, 3/4
(04631)7-19-72
E-mail: vidavn_ndu@mail.ru
www.ndu.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 2137 від 29.03.05 р.



ЗАЦЕРКОВНИЙ ВІТАЛІЙ ІВАНОВИЧ - доктор технічних наук, завідувач кафедри геоінформатики Київського національного університету ім. Т. Шевченка.



БУРАЧЕК ВСЕВОЛОД GERMANOVICH – доктор технічних наук, професор, проректор з наукової роботи Університету новітніх технологій, завідувач кафедри геодезії, картографії та фотограмметрії.
Лауреат Державної премії СРСР.



ЖЕЛЕЗНЯК ОЛЕГ ОЛЕКСАНДРОВИЧ – доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри аерокосмічної геодезії Національного авіаційного університету.
Почесний геодезист України.



ТЕРЕЩЕНКО АНДРІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри аерокосмічної геодезії Національного авіаційного університету.