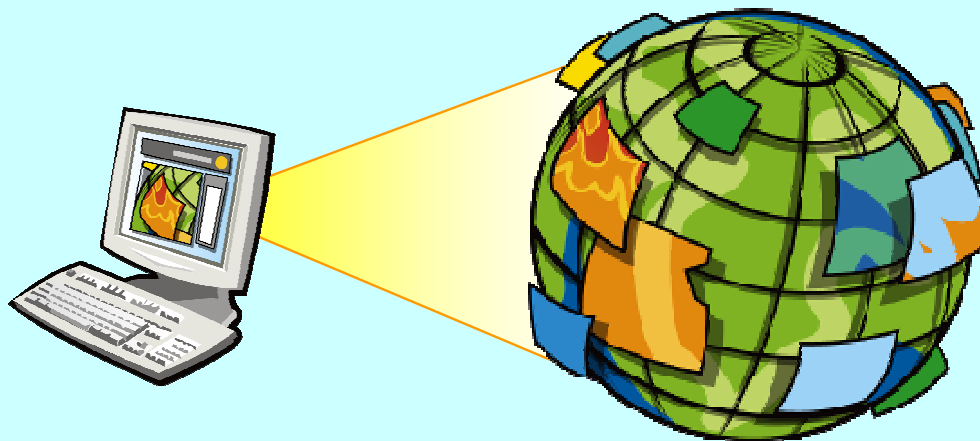


В. Д. ШИПУЛІН

ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ



Харків – ХНАМГ – 2010

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

В. Д. Шипулін

ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
для студентів вищих навчальних закладів*

Харків – ХНАМГ – 2010

УДК 004 : 910 : 528 (075)
ББК 73я73-6+26.8я73-6+26.1я73-6
Ш63

Рецензенти:

Красовський Г.Я., директор Північно-східної філії Державного науково-виробничого центру "Природа", професор Національного аерокосмічного університету ім. Н.Е.Жуковського, доктор технічних наук, професор;

Кучеренко Є.І., професор кафедри штучного інтелекту Харківського національного університету радіоелектроніки, доктор технічних наук, професор;

Палеха Ю.М., заступник директора з наукової роботи, керівник базового центру ГІС Київського державного інституту проектування міст, доктор географічних наук.

*Гриф надано Міністерством освіти і науки України
(Лист № 1/11-5862 від 01.07.10 р.)*

Шипулін В. Д.

Ш63 Основні принципи геоінформаційних систем: навч. посібник / В. Д. Шипулін; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х.: ХНАМГ, 2010. – 313 с.

ISBN 978-966-695-144-4

У посібнику представлені основні концепції і принципи побудови і функціонування географічних інформаційних систем (ГІС). Розглянуті комп'ютерні моделі географічних об'єктів, питання збору і підготовки географічних даних, організації даних в геоінформаційних системах, основи геопросторового аналізу, які складають зміст навчальної дисципліни "Основи ГІС".

Посібник значною мірою спирається на вирішення Інституту дослідження систем довкілля (Environmental Systems Research Institute - ESRI), фахівці якого створили найбільш розвинене і поширене в світі програмне забезпечення ГІС.

Для студентів спеціальності "Геоінформаційні системи і технології", а також студентів і фахівців в області комп'ютерних наук, управління територіями, земельними ресурсами й нерухомістю, комунальним господарством, транспортною інфраструктурою, енергетики, екології, в областях розробки, створення або дослідження складних просторових комплексів.

УДК 004 : 910 : 528 (075)
ББК 73я73-6+26.8я73-6+26.1я73-6

ISBN 978-966-695-144-4

© Шипулін В.Д., 2010
© ХНАМГ, 2010

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	11
1 ВСТУП У ГЕОГРАФІЧНІ ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ	14
1.1 Концепція систем	15
1.1.1 Складність і взаємозалежність частин нашого світу	15
1.1.2 Історичний аспект	16
1.1.3 Визначення поняття "Система"	16
1.1.4 Системні дослідження	17
1.1.5 Елементи систем	18
1.1.6 Системні зв'язки	19
1.1.7 Поняття "Структура"	20
1.1.8 Системний ефект	20
1.1.9 Системні принципи	21
1.1.10 Форми і способи опису систем	21
1.1.11 Класифікація систем	24
1.1.12 Контрольні питання і завдання для самостійної роботи	25
1.2 Загальна характеристика географічних інформаційних систем	26
1.2.1 Область ГІС	26
1.2.2 Визначення ГІС	28
1.2.3 Загальна характеристика компонентів ГІС	30
1.2.3.1 Апаратні засоби ГІС	30
1.2.3.2 Програмне забезпечення ГІС	31
1.2.3.3 Географічні дані	35
1.2.3.4 Регламент	36
1.2.3.5 Користувачі	37
1.2.4 Загальна характеристика відмітних функцій ГІС	37
1.2.4.1 Інтеграція	37
1.2.4.2 Аналіз	38
1.2.4.3 Візуалізація	40
1.2.5 ГІС як пересічення галузей наукових знань	41
1.2.6 Приклади застосування ГІС	42
1.2.7 Значення ГІС для управління містом	44
1.2.8 Історична довідка про геоінформаційні системи	45
1.2.9 Контрольні питання і завдання для самостійної роботи	51

1.3 ГІС-парадигма	52
1.3.1 Що є Географічна інформація, географічні дані?	52
1.3.2 Що є Геоінформаційні технології?	53
1.3.2 Що є Географічна інформаційна система?	54
1.3.4 Що є Геоінформаційною наукою?	55
1.3.5 Що є Геоінформаційною освітою?	56
1.3.6 Що є Геоінформатика?	59
1.3.7 Контрольні питання і завдання для самостійної роботи	59
2 КОМП'ЮТЕРНІ МОДЕЛІ ГЕОГРАФІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ	60
2.1 Географічні об'єкти	61
2.1.1 Простір і час	61
2.1.2 Визначення географічних об'єктів	61
2.1.3 Види географічних об'єктів	62
2.1.4 Способи локалізації географічних об'єктів	63
2.1.5 Контрольні питання і завдання для самостійної роботи	64
2.2 Географічні дані	65
2.2.1 Поняття "інформація" і "дані"	65
2.2.2 Географічна інформація і географічні дані	67
2.2.3 Атрибути просторових об'єктів	68
2.2.4 Види комп'ютерних моделей географічних об'єктів	70
2.2.5 Контрольні питання і завдання для самостійної роботи	70
2.3 Векторні моделі географічних об'єктів	71
2.3.1 Базові поняття картографічного подання географічних об'єктів	71
2.3.2 Прості векторні моделі географічних об'єктів	72
2.3.2.1 Прості векторні моделі одиничних географічних об'єктів	72
2.3.2.2 Прості векторні моделі множини географічних об'єктів	73
2.3.3 Топологічні векторні моделі географічних об'єктів	75
2.3.3.1 Поняття "Граф"	75
2.3.3.2 Поняття "Просторові відношення"	76
2.3.3.3 Поняття "Топологія"	77
2.3.3.4 Топологічне представлення області	78
2.3.3.5 Топологічне представлення суміжності	79
2.3.3.6 Топологічне представлення зв'язності	81

2.3.3.7	Порівняння векторних моделей географічних об'єктів	83
2.3.4	Формати векторних даних	83
2.3.5	Резюме представлення географічних об'єктів векторними моделями	85
2.3.6	Контрольні питання і завдання для самостійної роботи	86
2.4	Растрові моделі географічних об'єктів	87
2.4.1	Концепція растрових моделей географічних об'єктів	87
2.4.1.1	Визначення і види растрових моделей	87
2.4.1.2	Джерела растрових даних	88
2.4.1.3	Матриця чарунок	89
2.4.1.4	Представлення дискретних географічних об'єктів	89
2.4.1.5	Представлення безперервних явищ регулярними моделями	90
2.4.1.6	Недоліки і переваги растрових моделей	93
2.4.2	Характеристики растрових моделей	93
2.4.2.1	Роздільна здатність	94
2.4.2.2	Геометрія растрів	94
2.4.2.3	Координати чарунок	95
2.4.2.4	Екстент регіону	96
2.4.2.5	Топологія чарунок растрів	97
2.4.2.6	Значення чарунок растру	97
2.4.2.7	Кодування значень	98
2.4.2.8	Колірні моделі	98
2.4.2.9	Зонування	100
2.4.2.10	Таблиця атрибутів растру	101
2.4.2.11	Растрові шари	101
2.4.3	Зберігання растрових даних	102
2.4.4	Стискування растрових даних	104
2.4.4.1	Метод групового кодування	104
2.4.4.2	Методи, засновані на порядку сканування	105
2.4.4.3	Квадратомічне дерево	106
2.4.5	Формати растрових даних	109
2.4.6	Файл геоприв'язування растрових даних	111
2.4.7	Резюме представлення географічних об'єктів растровими моделями	112

2.4.8	Контрольні питання і завдання для самостійної роботи	113
2.5	Триангуляційні моделі географічних об'єктів	115
2.5.1	Визначення моделі TIN	115
2.5.2	Властивості моделі TIN	116
2.5.3	Триангуляція Делоне	116
2.5.4	Топологія в TIN	118
2.5.5	Етапи створення моделі TIN	119
2.5.6	Рівняння нормалі до грані трикутника	121
2.5.7	Засоби моделі TIN для відображення поверхні	122
2.5.7.1	Експозиція схилу	122
2.5.7.2	Крутість грані	123
2.5.7.3	Затінювання граней	123
2.5.7.4	Діапазони висот	124
2.5.8	Резюме представлення географічних об'єктів триангуляційними моделями	125
2.5.9	Контрольні питання і завдання для самостійної роботи	126
3	ЗБІР І ПІДГОТОВКА ГЕОГРАФІЧНИХ ДАНИХ	127
3.1	Збір і попередня обробка географічних даних	128
3.1.1	Джерела географічних даних	128
3.1.2	Характеристики даних	138
3.1.3	Системний підхід до попередньої обробки вихідних даних	140
3.1.4	Контрольні питання і завдання для самостійної роботи	145
3.2	Класифікація	146
3.2.1	Загальні положення класифікацій	146
3.2.1.1	Класифікація — засіб впорядкування знань	146
3.2.1.2	Складність класифікації	147
3.2.1.3	Підходи класифікації	148
3.2.1.4	Значення класифікації для геоінформаційних систем	149
3.2.2	Базові поняття єдиної системи класифікації техніко-економічної інформації	150
3.2.2.1	Терміни і визначення класифікації	150
3.2.2.2	Терміни і визначення кодування	151
3.2.2.3	Організаційні аспекти класифікації	152
3.2.2.4	Особливості створення системи класифікації	153

3.2.2.5	Єдина система класифікації і кодування техніко-економічної інформації	159
3.2.3	Класифікації в геоінформаційних системах	161
3.2.3.1	Об'єкти класифікації в геоінформаційних системах	161
3.2.3.2	Приклади класифікацій	163
3.2.4	Контрольні питання і завдання для самостійної роботи	171
3.3	Системи координат і картографічні проекції	172
3.3.1	Значення координат в геоінформаційних системах	172
3.3.2	Земні сфери й сфероїди	172
3.3.3	Геодезичні дати	176
3.3.4	Системи координат	177
3.3.4.1	Світова геодезична система координат WGS-84	178
3.3.4.2	Системи криволінійних координат	180
3.3.4.3	Проеційовані системи координат	182
3.3.5	Картографічні проекції	183
3.3.5.1	Що є картографічна проекція?	183
3.3.5.2	Класифікація проекцій за типом спотворень	184
3.3.5.3	Класифікація проекцій за типом поверхні проєціювання	185
3.3.5.4	Інші проекції	191
3.3.5.5	Параметри картографічних проекцій	191
3.3.5.6	Приклади картографічних проекцій	193
3.3.6	Географічні перетворення	198
3.3.6.1	Метод з трьома параметрами	198
3.3.6.2	Метод з сім'ю параметрами	199
3.3.6.3	Метод Молоденського	200
3.3.7	Контрольні питання і завдання для самостійної роботи	201
4	ОРГАНІЗАЦІЯ ДАНИХ В ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ	202
4.1	Поняття системної організації даних	203
4.1.1	Визначення, значення і завдання системної організації даних	203
4.1.2	Рівні організації даних в ГІС	205
4.1.3	Принципи організації даних в ГІС	209
4.1.4	Види моделей організації даних	211

4.1.5	Контрольні питання і завдання для самостійної роботи	212
4.2	Геореляційна модель даних	213
4.2.1	Сутність геореляційної моделі даних	213
4.2.2	Шари просторових даних - вертикальна організація даних	214
4.2.3	Просторова індексація - горизонтальна організація даних	218
4.2.4	Модель даних "Шейпфайл"	219
4.2.5	Модель даних "Покриття"	221
4.2.6	Переваги і недоліки геореляційної моделі даних	224
4.2.7	Контрольні питання і завдання для самостійної роботи	225
4.3	Об'єктно-орієнтована модель даних	226
4.3.1	Основні положення об'єктно-орієнтованої методології	226
4.3.1.1	Поняття об'єкта	226
4.3.1.2	Поняття класу	227
4.3.1.3	Поняття відношення	228
4.3.1.4	Принципи об'єктної моделі	229
4.3.2	Загальна характеристика об'єктно-орієнтованої моделі даних "База геоданих"	230
4.3.2.1	Визначення бази геоданих	230
4.3.2.2	Об'єктно-орієнтована векторна модель даних	230
4.3.2.3	Переваги бази геоданих	231
4.3.3	Засоби додання інтелектуальних властивостей просторовим об'єктам	231
4.3.3.1	Топологія	232
4.3.3.2	Підтипи	234
4.3.3.3	Домени	235
4.3.3.4	Відношення і класи відношень	236
4.3.4	Елементи бази геоданих	239
4.3.4.1	Таблиці	241
4.3.4.2	Розширення таблиць	241
4.3.4.3	Класи просторових об'єктів	242
4.3.4.4	Розширення класів просторових об'єктів	243
4.3.4.5	Набори растрових даних	244
4.3.4.6	Розширення растрів	244
4.3.5	Типи баз геоданих	245

4.3.6	Переваги й недоліки об'єктно-орієнтованої моделі даних	246
4.3.7	Контрольні питання і завдання для самостійної роботи	247
5	ОСНОВИ ГЕОПРОСТОРОВОГО АНАЛІЗУ	248
5.1	Загальна характеристика геопросторового аналізу	249
5.1.1	Визначення геопросторового аналізу	249
5.1.2	Завдання геопросторового аналізу	250
5.1.3	Методологія геопросторового аналізу	251
5.1.4	Класифікації аналітичних засобів ГІС	254
5.1.5	Контрольні питання і завдання для самостійної роботи	255
5.2	Функції вимірів	256
5.2.1	Виміри на векторних даних	256
5.2.2	Виміри на растрових даних	261
5.2.3	Контрольні питання і завдання для самостійної роботи	261
5.3	Функції вибору даних	262
5.3.1	Інтерактивний просторовий вибір даних	262
5.3.2	Просторовий вибір за атрибутивними умовами	262
5.3.3	Просторовий вибір на підставі топологічних відношень	263
5.3.4	Контрольні питання і завдання для самостійної роботи	264
5.4	Функції класифікації	265
5.4.1	Мета класифікації за атрибутами	265
5.4.2	Методи автоматизованої класифікації за атрибутами	265
5.4.3	Контрольні питання і завдання для самостійної роботи	267
5.5	Оверлейні функції	268
5.5.1	Визначення і загальна характеристика оверлейних функцій	268
5.5.2	Булева алгебра в топологічному накладенні	270
5.5.3	Векторні оверлейні оператори	271
5.5.3.1	Класифікація векторних оверлейних операцій	271
5.5.3.2	Алгоритми векторних оверлейних операцій	273
5.5.3.3	Базові оверлейні операції векторних моделей	277

5.5.4	Растрові оверлейні оператори	280
5.5.5	Контрольні питання і завдання для самостійної роботи	282
5.6	Функції околу	283
5.6.1	Визначення околу	283
5.6.2	Операції околу у векторних моделях	284
5.6.2.1	Генерування буферних зон	284
5.6.2.2	Генерування полігонів Тіссена	289
5.6.3	Операції околу в растрових моделях	289
5.6.3.1	Функції фокальної статистики	290
5.6.3.2	Функції розповсюдження	292
5.6.3.3	Функції розподілу	296
5.6.4	Контрольні питання і завдання для самостійної роботи	298
5.7	Функції зв'язності	299
5.7.1	Визначення і характеристика мережі	299
5.7.2	Знаходження кращого шляху	301
5.7.3	Розділення мережі	302
5.7.4	Контрольні питання і завдання для самостійної роботи	306
ПІСЛЯМОВА		307
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ ОПИС		308
Використана література		308
Рекомендована література для самостійного вивчення		312

ПЕРЕДМОВА

Інтерес до географічних інформаційних систем (ГІС), геоінформаційним технологіям і геоінформаційній науці має надзвичайне зростання останніми роками завдяки отриманим на їх основі ефективним рішенням в багатьох областях людської діяльності. З їх допомогою вирішуються локальні, регіональні і глобальні завдання сталого розвитку територій, використання природних ресурсів, охорони довкілля, забезпечення суспільної безпеки. Сучасні геоінформаційні системи розширюють методи дослідження нашого світу, надаючи цифрові інструменти для організації й оперування просторовими даними, моделювання процесів, що відбуваються в просторі, візуалізації цих даних, моделей і процесів за допомогою розвинених комп'ютерних засобів, спеціалізованих інструментів обробки й аналізу геоданих. Дослідники від різноманітних академічних дисциплін використовують просторове мислення й інструменти ГІС для розвитку явних просторових моделей на різних масштабних рівнях. Вони використовують геоінформаційні системи як засіб розуміння світу, описуючи і пояснюючи відношення людства до реального світу. Широкий суспільний інтерес до цієї теми підігрівасться популярними застосуваннями подібним картам Google Maps, персональними супутниковими навігаційними пристроями, Інтернет картографічним сервісом MapQuest і т. п. Користувачі ГІС все більшою мірою аналізують сутність та явища реального світу, інтегруючи інформацію з різних джерел з цифровими картами веб-сервісів, таких як, наприклад, Google Earth і MS Virtual Earth.

У відповідь на цей виклик науково-технічного прогресу розвивається область ГІС-освіти. У вузах для ряду спеціальностей введені окремі курси по геоінформаційних системах або геоінформатиці, а для спеціальностей по інформаційних технологіях - відповідні спеціалізації. У 2001 році за рішенням Кабінету Міністрів України в перелік спеціальностей введена спеціальність "Геоінформаційні системи і технології".

У світі виходить величезна кількість статей, матеріалів конференцій, книг з багаточисельних тем геоінформаційних систем і технологій, які призначені більшою мірою для фахівців ГІС або кінцевих користувачів популярного програмного забезпечення ГІС, ніж для початківців. Тому є необхідність в цьому "океані" знань виділити ключові концепції і принципи ГІС і донести їх різноманітній аудиторії студентів у формі навчальної літератури.

Пропонований посібник до навчальної дисципліни "Основи ГІС" спеціальності "Геоінформаційні системи і технології" покликаний сприяти створенню теоретичної бази вивчення ГІС. У посібнику подані основні концепції, положення, поняття, принципи побудови і функціонування географічних інформаційних систем. Посібник побудований з розрахунку того, що відповідно до навчального плану спеціальності: 1) студенти вже мають певну підготовку з комп'ютерних дисциплін, в тому числі баз даних, математичних методів і моделей, і дисциплін, що вивчають земний простір; 2) після вивчення основ ГІС студенти отримають знання з розвинених технологій ГІС, баз геоданих, виконання геоінформаційного аналізу, дистанційного зондування Землі, застосування ГІС в різних областях.

Сьогодні в світі розроблена величезна кількість програмних продуктів ГІС. У рамках посібника навіть короткий огляд програмних продуктів ГІС у вигляді переліку характеристик або функцій не може створити адекватну картину програмного забезпечення ГІС. Темпи створення нового програмного забезпечення ГІС або модернізації створеного настільки високі, що існує небезпека освітлення в посібнику застарілих рішень. Цей посібник побудований більшою мірою в контексті рішень Інституту дослідження систем довкілля (Environmental Systems Research Institute - ESRI), який створив найбільш розвинене й поширене програмне забезпечення ГІС. У той же час посібник не є практикумом з освоєння програмного забезпечення ГІС.

Посібник складається з п'яти частин, кожна з яких відображує певну предметну галузь знань про географічні інформаційні системи. Ці частини є модулями - однорідними з тематики структурними одиницями для вивчення навчальної дисципліни. Посібник побудований так, щоб в логічній послідовності вводити читача в світ ГІС.

Перша частина "Вступ у географічні інформаційні системи" починається з розгляду фундаменту знань про географічні інформаційні системи - понятійної бази теорії систем, загальних закономірностей розвитку і функціонування систем. У розділі представлена загальна характеристика географічних інформаційних систем, дано визначення ГІС, розглянуті загальна характеристика компонентів ГІС і відмітні функції ГІС. Як ГІС-парадигма наведена єдина система базових понять і визначень на основі сталих поглядів, яка є каркасом представлення предметної області геоінформаційних систем і технологій.

Друга частина "Комп'ютерні моделі географічних об'єктів" містить визначення географічних об'єктів і їх видів, визначення географічної інформації й географічних даних. У окремих розділах цієї частини розглядаються принципи побудови і характеристики базових комп'ютерних моделей географічних об'єктів - векторних, растрових, триангуляційних, які перевірені часом і реалізовані в переважній більшості сучасних програмних продуктів ГІС.

Третя частина "Збір і підготовка географічних даних" починається з розгляду джерел географічних даних, найважливіших характеристик даних, системного підходу до попередньої обробки вихідних даних. Велика увага приділяється проблемам класифікацій, які лежать в основі ефективної роботи геоінформаційних систем. Значне місце відводиться розгляду систем координат реального земного простору і картографічним проєкціям як фундаменту побудови ГІС.

Четверта частина "Організація даних в геоінформаційних системах" присвячена розгляду проблем системної організації даних. Особлива увага приділена двом поширеним моделям організації даних - геореляційній моделі і об'єктно-орієнтованій моделі даних.

П'ята частина "Основи геопросторового аналізу" є завершальним модулем, який знайомить читача з тим, що називають "серцем" ГІС. Ця частина включає загальну характеристику і методологію геопросторового аналізу. На основі поширеної класифікації розглянуті базові аналітичні засоби, які є опорою геопросторового аналізу, - функції вимірів, вибору даних, класифікації, оверлейні функції, функції околу, функції зв'язності.

Для створення посібника використаний обширний набір літературних джерел, багато з яких самі по собі можуть бути цікавими об'єктами вивчення.

Пропонований посібник написаний на основі багатолітнього досвіду викладання курсу "Основи ГІС" для студентів спеціальності "Геоінформаційні системи і технології", а також для майбутніх містобудівників, екологів, менеджерів у Харківській національній академії міського господарства. Використано досвід академії в розробці й впровадженні ГІС-проектів для міста Харкова і інших міст. Посібник може бути корисний студентам спеціальностей комп'ютерних наук, а також фахівцям в областях управління територіями, земельними ресурсами і нерухомістю, комунальним господарством, транспортною інфраструктурою, в областях енергетики, екології, розробки, створення або дослідження складних просторових комплексів.

Частина 1

**ВСТУП
У ГЕОГРАФІЧНІ
ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ**

Розділ 1.1

КОНЦЕПЦІЯ СИСТЕМ

Визначення терміну "Географічна інформаційна система" вимагає в першу чергу розгляду поняття "Система" і його основних концептів. Це важливо тому, що понятійна база теорії систем, загальні закономірності розвитку і функціонування систем є фундаментом знань про географічні інформаційні системи.

1.1.1 Складність і взаємозалежність частин нашого світу

Прогрес у вивченні навколишнього світу свідчить про все більшу складність і взаємозалежність його частин.

Складність – це сукупність величезного числа різних об'єктів. Складність визначається великою кількістю зв'язків. Слід розрізняти просту і важку проблеми.

- Проста проблема має одне рішення (наприклад, розв'язування вузла на вірьовці може бути важким).
- Складна проблема має багато можливих рішень [1].

Проблеми не існують ізольовано, чи є вони соціальними, політичними або економічними. Приклад: економіка залежить від енергетики та інших ресурсів, енергоресурси – від політики, політика – від сили; і навпаки, політика залежить від економіки. Проблеми не можуть бути виділені з цілого, пояснені окремо, а потім інтерпретовані для пояснення цілого.

Середовище, в якому виникають проблеми, само по собі не є статичним. Воно *динамічне*, оскільки завжди змінюється, піддавшись зовнішнім і внутрішнім діям. Середовище міняється, взаємодіє разом зі своїми проблемами та їх рішеннями у фізичному й концептуальному просторі. Середовище міняється в часі, оскільки на нього впливають події.

Останнім часом для багатьох галузей науки і техніки характерний перехід від розробки окремих об'єктів до створення складних комплексів. Виріс масштаб проблем, комплексність і складність проблем, вартість їх вирішення. Потреба вирішення складних проблем породила необхідність в універсальній методології, яка дозволяє з єдиних позицій виконати аналіз і синтез складних об'єктів. У зв'язку з цим отримала розвиток методологія, в основу якої покладена

концепція систем.

1.1.2 Історичний аспект

Перші уявлення про системи виникли в античній філософії [1]. У древньогрецькій філософії і науці (Евклід, Платон, Аристотель) розроблялася ідея системності знання. Філософи всіх епох по-своєму використовували поняття системи. Принцип системної природи знань розроблялися у класичній філософії (Спіноза, Шеллінг, Гегель.).

У 19 столітті поняття системи вже використовується в багатьох областях конкретно-наукового знання і загальнонаукового знання. Ф. Енгельс у роботі "Діалектика природи" пише: *"Вся доступна нам природа утворює деяку систему, деякий сукупний зв'язок тіл, причому ми розуміємо тут під словом "тіло" всі матеріальні реальності, починаючи від зірки і кінчаючи атомом.. У тій обставині, що тіла знаходяться у взаємному зв'язку, вже поміщене те, що вони взаємодіють один на одного, і це їх взаємна дія один на одного і є саме рух. Рух не створимий і незнищуваний. Цей висновок став неминучим, тільки люди пізнали всесвіт, як систему, як взаємний зв'язок тіл"*.

У 20 ст. багато крупних учених внесли свій вклад у розвиток системних уявлень, в їх числі В.І. Вернадський, А.А. Богданов та інші.

Об'єднання системних уявлень в особливу область знання пов'язують з ім'ям австрійського біолога Людвіга фон Берталанфі, який в кінці 40-х років 20 ст. виступив з програмою побудови "загальної теорії систем". Додатково до цієї програми в 50-70-х роках був висунутий ряд загальносистемних концепцій і визначень поняття система. Неоцінний вклад до системних досліджень внесли американські вчені М. Месаровіч, Р. Акоф, англійський кібернетик В. Р. Ешбі, радянські вчені А. І. Уємов, І. В. Блауберг, В. М. Садовський, Э. Г. Юдін, А. М. Аверьянов та ін.

1.1.3 Визначення поняття "Система"

Система – універсальне поняття, придатне для позначення різноманітних об'єктів будь-якої природи. Відомий ряд визначень системи. Ось деякі з них:

- Система – є комплекс взаємодіючих елементів [2].
- Система – (від грецького systema - ціле, складене з частин; з'єднання) – це сукупність елементів, що знаходяться в відношеннях і

зв'язках один з одним, які утворюють певну цілісність, єдність [3, с.610].

- Система – є відмежована множина взаємодіючих елементів [4, с.43].
- Система – є множина взаємозв'язаних елементів [5].
- Система – є те, що вирішує проблему [6].

Поняття "система" має найтісніший взаємозв'язок з поняттями цілісності, структури, зв'язку, елементу, відношення, підсистеми. Наявність зв'язків і відношень між елементами системи є визначальним, ключовим.

Практично кожен об'єкт, процес, явище може бути розглянуте як система. Приклади систем:

- Сонячна система, транспортна система, система числення, система Станіславського, економічна система, геологічна система, система понять, нервова система, система хімічних елементів Менделєєва, система математичних рівнянь.
- Системами є мова, комбайн, мозок, телефонна мережа, обчислювальна машина, людина, академічна група, факультет, інститут, система освіти, товариство людей.
- Місто – складна динамічна соціальна система. Ця система може бути представлена взаємодіючими підсистемами міського господарства. Фахівець повинен знати і уміти аналізувати структури, взаємозв'язки, критерії оцінки функціонування систем міського господарства для ухвалення рішень при плануванні, проектуванні, створенні й управлінні систем.
- Програмний продукт.
- Система даних.
- Географічна інформаційна система.

Поняття система має надзвичайно широке застосування. Розгляд об'єкта або сукупності об'єктів, середовища як системи дозволяє на підставі загальних закономірностей розвитку і функціонування систем конструювати складні системи, визначати взаємозв'язки між елементами системи, ефективно вирішувати складні проблеми.

1.1.4 Системні дослідження

Під системними дослідженнями розуміється вся сукупність наукових і технічних проблем, які схожі в розумінні і розгляді досліджуваних ними об'єктів як систем, тобто множин взаємозв'язаних елементів, що уявляються як єдине ціле. Системні дослідження

представлені трьома системними областями:

- *Системний підхід (СП)* – загальнонауковий методологічний напрям, за яким розробляють методи і способи дослідження складноорганізованих об'єктів; СП заснований на розгляді об'єктів вивчення у вигляді систем. СП – серцевина системних досліджень.
- *Системний аналіз (СА)* – методологія, орієнтована на вирішення крупних проблем практично прикладного характеру, заснована на концепції систем. В центрі СА, операція порівняння альтернатив вирішення проблем і вибору альтернативи.
- *Загальна теорія систем (ОТС)* – наукова дисципліна, яка вивчає різні явища, відволікаючись від їх конкретної природи, і прочитується тільки на формальних взаємозв'язках між різними складовими їх чинниками, між спостереженнями, ознаками і властивостями. Завдання ОТС:
 - розробка узагальнених моделей систем;
 - побудова логико-методологічного апарату;
 - створення узагальнених теорій систем різного типу.

1.1.5 Елементи систем

Система або будь-яка її частина може бути розчленована на елементи.

Під елементом системи розуміють таку її частину, яка не підлягає подальшому розчленовуванню, є надійною з точки зору процесу функціонування системи. Елемент – це складова неділима частина цілого.

Елементи системи володіють певними властивостями.

Елементами можуть бути предмети, явища, знання, методи.

Приклади елементів систем:

- хімічні елементи системи Менделєєва;
- планети сонячної системи;
- студенти академічної групи;
- транспортні засоби, дороги, люди, вантажі транспортної системи.

При розгляді системи "Підприємство" її елементами можуть бути відділи заводууправління, цехи, склади і так далі. При розгляді системи "Цех" елементами будуть верстати, бригади робітників, контора цеху і так далі. При розгляді системи "Людина" елементами будуть органи дихання, кровообіг, травлення, рух і так далі.

Отже, процес розчленовування системи на елементи і само поняття елементу є відносним і умовним.

1.1.6 Системні зв'язки

Поняття зв'язку – одне з найважливіших, фундаментальніших наукових понять. Системи зв'язані між собою. Елементи системи зв'язані між собою.

Зв'язок – це взаємообумовленість існування об'єктів, явищ, процесів, розподілених у просторі й часі. Зв'язок – є те, що об'єднує елементи, об'єкти і властивості в системному процесі. Зв'язки визначають наступність процесів.

Система є множина взаємозв'язаних елементів. Існує два критерії системності:

- кожен елемент системи зв'язаний принаймні з одним іншим елементом системи;
- кожна підмножина елементів системи зв'язана з кожною іншою підмножиною системи.

Графічно зв'язок відношення одного елементу до іншого зображається направленою лінією ($\rightarrow$).

Розрізняють [5] між елементами a, b, c, d наступні типи зв'язків:

- за напрямом дії:
 - Прямі ($a \rightarrow b, b \rightarrow c$);
 - Зворотні ($c \rightarrow b, b \rightarrow a$);
- за контактом:
 - безпосередні ($a \rightarrow b, b \rightarrow c$);
 - опосередковані ($a \rightarrow c, b \rightarrow c$);
- за наступністю:
 - послідовні ($a \rightarrow b \rightarrow c$);
 - паралельні ($b \rightarrow d, b \rightarrow c$);
- за відношенням до системи:
 - зовнішні;
 - внутрішні;
- за силою:
 - жорсткі;
 - корпускулярні;
- за субстратом, вмістом зв'язку:
 - речові;
 - енергетичні;
 - інформаційні.

1.1.7 Поняття "Структура"

Найважливішим системним поняттям є поняття "структура". Термін "структура" походить від латинського structure – будова, розташування, порядок.

Структура – сукупність стійких зв'язків системи, що забезпечують його цілісність і тотожність самому собі, тобто збереження основних властивостей при різних зовнішніх і внутрішніх змінах [3]. Структура – це стійка форма зв'язків між елементами системи.

Структура виражає тільки те, що залишається стійким, відносно незмінним при різних перетвореннях системи.

Виділення структури об'єкта – є найважливіша складова вивчення об'єкта як системи. Основні кроки виділення структури:

- 1) виділення множини елементів системи;
- 2) визначення просторових розташувань елементів простору;
- 3) виділення зв'язків (відношень) між елементами, які є інваріантними при певних змінах системи.

Будь-яка система має ієрархічну структуру.

1.1.8 Системний ефект

Системний ефект виражений постулатом Аристотеля:

"Ціле – більше суми його частин".

Це означає, що "Властивості предметів і способи дій на вищих рівнях не можуть бути виражені за допомогою підсумовування властивостей і дій їх компонентів, узятих ізольовано. Якщо, проте, відомі ансамбль компонентів і відношення, що існують між ними, то вищі рівні можуть бути виведені з компонентів" [2]. Приклад 1: в навчальному процесі "сума знань не є система знань"; але якщо окремі знання системно організовані і отримані, вони утворюють систему знань. Приклад 2: прибуток після злиття двох компаній перевершує суму прибутків цих компаній до об'єднання.

По відношенню до дій системний ефект позначають терміном Синергія. (від греч. Synergos — що разом діє). Синергія — це комбінована дія двох або більшого числа чинників, що характеризується тим, що їх об'єднана дія істотно перевершує ефект кожного окремо взятого компонента і їх суми.

Завдяки системному ефекту наш світ значно більше, чим проста сукупність ізольованих і автономних елементів. Для пізнання в ривній

мірі необхідні не тільки елементи, але і зв'язки між ними.

1.1.9 Системні принципи

При розгляді об'єкта як системи повинні дотримуватися наступні основні системні принципи [3]:

- 1) принцип цілісності -
принципова незвідність властивостей системи до суми властивостей складових її елементів і невивідність з останніх властивостей цілого;
- 2) принцип структурності -
можливість опису системи через встановлені її структури, тобто мережі зв'язків і відношень системи; обумовленість поведінки системи не стільки поведінкою її окремих елементів, скільки властивостями її структури;
- 3) принцип взаємозв'язаності системи і середовища -
система формує і проявляє свої властивості в процесі взаємодії з середовищем, будучи при цьому провідним активним компонентом взаємодії;
- 4) принцип ієрархічності -
кожен компонент системи, у свою чергу, може розглядатися як система або підсистема, а досліджувана в даному випадку система є одним з компонентів ширшої системи; складні системи містять багато різних ієрархій;
- 5) принцип множинності опису кожної системи -
через принципову складність системи її адекватне пізнання вимагає побудови множини різних моделей, кожна з яких описує тільки певний аспект системи.

1.1.10 Форми і способи опису систем

Можливі [7, с. 121] наступні форми опису систем:

- математична форма,
- графічна форма,
- текстова форма.

Використовують два способи опису систем:

- внутрішній опис систем,

- зовнішній опис систем.

Внутрішній опис представляє систему через множину елементів і зв'язків.

- Графічна форма представляє систему у вигляді графів, зв'язаних таблиць.
- Математична форма представляє систему через множину параметрів Q_i , званих змінними стану, і математичними залежностями. У загальному випадку поведінка системи, залежна від часу t , описується системою n диференціальних рівнянь першого порядку:

$$\frac{dQ_n}{dt} = f_i(Q_1, Q_2, \dots, Q_n) \quad (1.1.1)$$

При зовнішньому описі система приймається за «чорний ящик». Чорним ящиком називається система, внутрішній зміст якої невідомий. Істотними є зовнішні зв'язки системи, які забезпечують взаємодію між системою в цілому і зовнішнім середовищем (рис.1.1.1). Зовнішні зв'язки можна розглядати також як зв'язки між елементами даної системи з елементами інших систем, складових зовнішнього середовища.

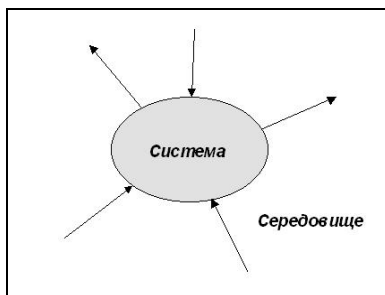


Рис. 1.1.1 – Відношення системи і середовища

Відношення з середовищем і іншими системами графічно зображається у вигляді блок-схем і діаграм (рис. 1.1.2).

Опис системи провадиться у термінах Входів і Виходів:

Вхід > Чорний ящик > Вихід

При зовнішньому описі систем використовуються системні об'єкти:

- *Вхід* – те, що змінюється при протіканні даного процесу;
- *Вихід* – результат процесу;
- *Процес* – те, що переводить вхід у вихід;

- *Зв'язки* – є те, що з'єднує системні об'єкти в системному процесі;
- *Обмеження* – складаються з цілей і зв'язків, що обмежують;
- *Зворотний зв'язок* – визначається як системний процес, який порівнює критерії з виходом.



Рис. 1.1.2 – Приклад графічного опису системи управління земельними ресурсами міста [8]

1.1.11 Класифікація систем

Істотним аспектом розкриття змісту поняття система є виділення різних типів систем. Системи підрозділяються:

- 1) за властивостями:
 - матеріальні (речові);
 - неорганічної природи (фізичні, геологічні);
 - живі (біологічні системи, організми, популяції, види, екосистеми);
 - соціальні (соціально-економічні структури суспільств);
 - абстрактні (поняття, гіпотези, теорії, наукові знання, формалізовані);
- 2) за походженням:
 - природні;
 - штучні;
- 3) за характером переходу до іншого стану:
 - статичні;
 - динамічні;
- 4) за знанням значень змінних:
 - детерміновані;
 - імовірнісні (стохастичні);
- 5) за характером взаємовідношень системи і середовища:
 - закриті;
 - відкриті;
- 6) за складністю:
 - прості;
 - складні;
 - дуже складні.

У керівництві Граді Буча [9, с.13] представлено п'ять ознак складної системи.

- 1) Складні системи часто є ієрархічними і складаються з взаємозалежних підсистем, які, у свою чергу, також можуть бути розділені на підсистеми, і т. д., аж до найнижчого рівня.
- 2) Вибір, які компоненти в даній системі вважаються елементарними, відносно довільний і у великій мірі віддається на розсуд дослідника.
- 3) Внутрішньокomпонентний зв'язок звичайно сильніше, ніж зв'язок між компонентами. Ця обставина дозволяє відділяти "високочастотні" взаємодії усередині компонентів від "низькочастотної" динаміки взаємодії між компонентами.

- 4) Ієрархічні системи зазвичай складаються з небагатьох типів підсистем, по-різному скомбінованих і організованих.
- 5) Будь-яка працююча складна система є результатом розвитку працюючої простішої системи... Складна система, спроектована "з нуля", ніколи не працює. Слід починати з працюючої простої системи.

Приклади класифікації систем наведені в табл. 1.1.1.

Таблиця 1.1.1 Приклади класифікації систем.

Системи	Прості	Складні	Дуже складні
Детерміновані (визначені)	Віконна засувка. Проект механічної майстерні	ЕОМ. Автоматизація. Двигун.	
Імовірнісні (стохастичні)	Підкидання монет. Рух медузи. Контроль якості продукції.	Зберігання запасів. Умовний рефлекс. Прибуток промислового підприємства.	Економіка. Мозок. Місто.

1.1.12 Контрольні питання і завдання для самостійної роботи

- 1) Дайте визначення поняття "Система".
- 2) Дайте визначення понять "Елементи систем", "Системні зв'язки", "Структура системи".
- 3) Які основні принципи повинні дотримуватися при розгляді об'єкта як система?
- 4) Які існують форми і способи опису систем?
- 5) Які бувають типи систем?

Розділ 1.2

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ГЕОГРАФІЧНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

1.2.1 Область ГІС

У останні два десятиліття набув широкого поширення особливий клас інформаційних систем, який називають географічні інформаційні системи, або скорочено геоінформаційні системи, або аббревіатурою "ГІС" (Geographical Information System – GIS).

Область ГІС дуже швидко розвивається і захоплює все нові сфери життя і діяльності. Геоінформаційні системи стали грати істотну роль в діяльності людства. Причини такого успіху ГІС пояснюються наступним:

- по-перше, великою ефективністю вирішень складних проблем засобами ГІС;
- по-друге, величезною множиною сфер застосування ГІС тому, що ГІС працює з просторовими даними, які є частиною нашого повсякденного життя;
- по-третє, стали доступними для масового користувача як потужні персональні комп'ютери, на яких можлива реалізація ГІС, так і складні програмні комплекси ГІС, що забезпечені легким призначенням для користувача інтерфейсом.

В останні 15-20 років геоінформаційні системи досягли в розвитку рівня комерціалізації. У даний час сформувалася ГІС-індустрія, оборот якої вимірюється мільярдами доларів. Щорічний обсяг продажів тільки програмного забезпечення ГІС в 2000 р. складав 0,94 млрд. доларів, в 2001 р. - 1,1 млрд. доларів, 2003 р. - 1,75 млрд. доларів, в 2009 р. перевищує 2,8 млрд. доларів (збільшується в середньому на 12% в рік).

У ГІС-рух залучені мільйони користувачів у більш ніж в 120 країнах світу, які утворюють ГІС-суспільство. Фахівці ГІС у країнах Заходу мають підвищений попит.

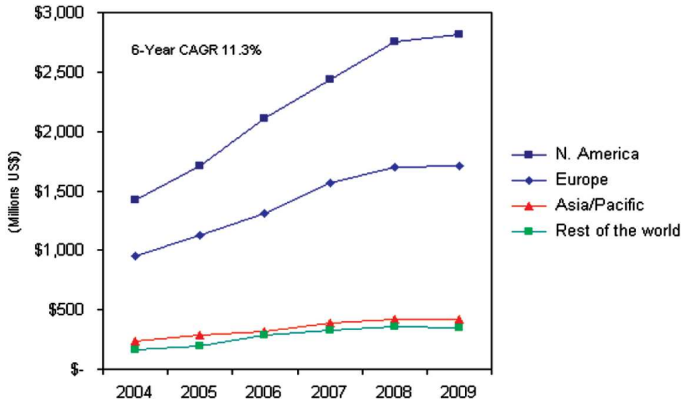


Рис.1.2.1– Зростання ГІС/геопросторової індустрії за даними Daratech, Inc.

Про високий інтерес до цієї технології свідчить велике число конференцій і симпозіумів, які проводяться щороку. Спостерігається зростання числа учасників конференцій. Особливо вражає це зростання на щорічній підсумковій конференції для користувачів програмного забезпечення ESRI (інституту дослідження систем довкілля - світового лідера в області розробки програмного забезпечення ГІС). У 1998 році в цій підсумковій конференції брало участь 8 тис. чоловік з 90 країн світу; у 1999 році – 9; у 2001 р. – 11; у 2002 р. – 12; у 2006 р. -13, у 2008 р. – більше 14 тис. користувачів з 124 країн світу. ГІС вивчають не тільки в університетах, в системах підвищення кваліфікації, але вже і в школах, коледжах.

Геоінформаційні системи впливають на багато аспектів нашого життя. ГІС інтегруються в освіту, бізнес, виробництво і діяльність урядів.

Управління складними територіальними системами, такими як сучасне місто, вимагає не тільки високої кваліфікації адміністрації, але і хорошого інформаційного забезпечення процесу управління. Вироблення обґрунтованих і ефективних рішень можливе тільки на основі відповідної обробки і аналізу величезних об'ємів інформації про складні системи і процеси міста. Це вимагає залучення ефективних засобів, що базуються на комп'ютерних технологіях. Впровадження ГІС в управління містом означає перехід на новий, ефективніший рівень управління.

ГІС в науці допомагає інтегрувати наукові області, ламаючи бар'єри між біологією і геофізикою, між економікою і демографією. Цьому сприяє моделювання процесів у реальному часі, потужний

інструментарій просторового аналізу, висока просторова роздільна здатність даних.

Зростаючий інтерес до ГІС ілюструє зростання потреби в просторових даних високої роздільної здатності, що отримуються з космосу. Для задоволення цих зростаючих потреб запущені нові супутники: у 2001 р. супутник Quick-Bird з роздільною здатністю 0,61 м. панхроматичних даних, у 2007 г.- WorldView-1 з роздільною здатністю 0,50 м., у 2008 г - GeoEye-1, у 2009 г - GeoEye-2 з роздільною здатністю 0,41 м.

У минулі роки зусилля концентрувалися на створенні просторових баз даних, на накопиченні даних. Це у свою чергу привело до необхідності розробки проблеми поширення геопросторових даних і обміну даними на підставі створення інфраструктури геопросторових даних. В урядовому розпорядженні 1994 р. про національну інфраструктуру геопросторових даних Президента США Уільяма Дж. Клінтона геоінформаційним технологіям надається наступне значення: "Географічна інформація є найважливішою умовою забезпечення економічного розвитку, вдосконалення управління природними ресурсами і охорони довкілля" [10].

Подальший розвиток ГІС обумовлюють висока динаміка життя, зростання населення, урбанізація, зменшення і обмеження природних ресурсів, глобалізація. Двадцять перше століття – період широкого впровадження засобів для інтеграції інформації. В інформаційному суспільстві ГІС стає однією з найважливіших технологій інтеграції і комунікації інформації.

1.2.2 Визначення ГІС

Коли запитали відомого фахівця в області геоінформатики Ненсі Тоста про перспективу ГІС в новому тисячолітті, вона відповіла: "Я думаю, що в найближчих 10 років припинять ставити питання: "Що таке ГІС? ". У цій відповіді закладений глибокий сенс у контексті розвитку цієї області.

Одні фахівці використовують проблемно-орієнтовані підходи й передові нові методології, використовуючи ГІС як засіб в більш ніж 70 дисциплінах. Інші розглядають ГІС як дисципліну або як тему в інформаційних технологіях або комп'ютерних науках. Тому ще можна зустріти визначення типу "ГІС – це програмне забезпечення", або "ГІС – це електронна карта", або "ГІС – це база даних", які істотно

відрізняються від поширеного розуміння цієї області людської діяльності.

При будь-якому погляді в розгляд мають бути включені певні фундаментальні концепції типу системи, картографічні проекції, масштаб, структури просторових даних, введення, зберігання, перетворення і точність даних, метадані, просторовий аналіз, проектування, управління і впровадження ГІС.

Відомими фахівцями в області ГІС опубліковано декілька десятків визначень ГІС, які в сукупності визначають сталі характеристики ГІС. Ось деякі з них.

Michael H. DeMers: "Геоінформаційні системи - це інструменти для обробки просторової інформації, зазвичай явно прив'язаній до деякої частини земної поверхні і використовувані для управління нею. Як і у випадку з географією, термін Географічна інформаційна система (ГІС) тяжко визначуваний. Він представляє інтеграцію багатьох предметних галузей. Тому немає загальноприйнятого визначення ГІС" [11, с.8].

Michael F. Goodchild: "Існує дві окремі думки відносно питання "Що є ГІС?":

- 1) ГІС – це реальне застосування, яке включає апаратне забезпечення, дані, програмне забезпечення і людей, необхідне для вирішення проблем (ГІС-застосування);
- 2) ГІС – це тип програмного забезпечення, програмного забезпечення, що продається розробниками.

Ми фокусуватимемо на першому визначенні" [12].

NCGIA: "Широко поширене визначення ГІС: ГІС – це система апаратних засобів, програмного забезпечення і процедур, сприяюча управлінню, маніпулюванню, аналізу, моделюванню, представленню і відображенню геореференціальних даних для вирішення комплексних проблем планування і управління ресурсами" [13].

Ці та ряд інших відомих визначень дозволяють синтезувати визначення, яке відповідає найбільш поширеному розумінню цієї області:

"ГІС - це система, яка:

- *по-перше, є комплекс взаємодіючих п'яти компонентів, що складається з комп'ютерних засобів, програмного забезпечення, географічних даних, регламенту і користувачів;*
- *по-друге, виконує функції введення, інтеграції, зберігання, обробки, аналізу, моделювання і візуалізації географічної інформації".*

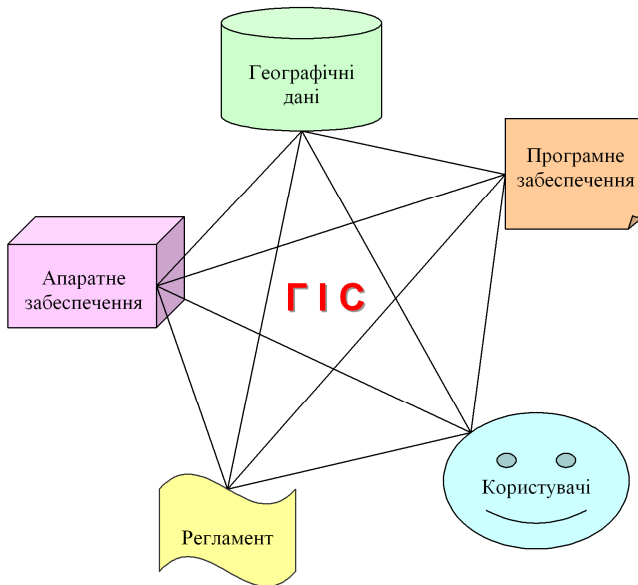


Рис. 1.1.1 – Графічне представлення геоінформаційної системи

Відомі також деякі оригінальні визначення:

- ГІС – це можливість нового погляду на навколишній світ;
- ГІС – це інструмент бачення світу у взаємозв'язках;
- ГІС – це потужний засіб інтеграції і організації інформації.

1.2.3 Загальна характеристика компонентів ГІС

1.2.3.1 Апаратні засоби ГІС

Ефективна робота сучасних ГІС можлива тільки на основі потужної технічної комп'ютерної підтримки.

Апаратні засоби ГІС - це окремі комп'ютери або системи комп'ютерів з мережевим устаткуванням плюс комп'ютерна периферія, до якої відносять принтери, плоттери, сканери. Апаратні засоби ГІС повинні забезпечувати можливість:

- введення даних з різних джерел;

- зберігання, маніпулювання, обробки великих масивів даних;
- виконання складних операцій просторового аналізу великих масивів даних;
- якісного представлення даних на монітор або на паперові носії;
- ефективну взаємодію компонентів.

Лавиноподібному впровадженню ГІС сприяли досягнення в області виробництва персональних комп'ютерів на основі процесорів класу Pentium, доступних для масового використання. Апаратні засоби розвиваються дуже швидко і вимагають спеціального освітлення поза цим навчальним посібником.

Апаратні засоби ГІС спільно з технічними засобами позиціонування (електронними геодезичними станціями, приймачами супутникових систем позиціонування), засобами дистанційного зондування Землі інтегруються в технічні комплекси, які дозволяють ефективно отримувати і обробляти геопросторову інформацію.

1.2.3.2 Програмне забезпечення ГІС

Програмне забезпечення ГІС можна представити як сукупність взаємозв'язаних концентричних оболонок. Ядро такої сукупності складає системне програмне забезпечення, у тому числі операційна система, система управління базою даних та ін.

Оболонкою ядра є базовий інструментальний програмний засіб ГІС, який забезпечує виконання всіх функцій: введення, інтеграція, зберігання, обробка, аналіз і презентація географічній інформації. Базовий інструментальний програмний засіб ГІС може бути представлений сукупністю програмних продуктів, що реалізують окремі функції. Але якщо програмний продукт не виконує всі вказані функції ГІС, він розглядається як спеціалізоване ГІС-прикладання, призначене для задоволення специфічних запитів користувачів.

У даний час у світі розроблено сотні комерційних програмних продуктів ГІС різної якості й функціональних можливостей. Розібратися в цьому морі не просто навіть фахівцям. Похибка у виборі базового програмного продукту пов'язана з великими втратами фінансових і часових ресурсів.

При всій різноманітності конкретних систем в них можна виділити інваріантне технологічне ядро, не залежне від предметної галузі, ні від проблемної орієнтації, ні від додатків взагалі, що дозволяє говорити про деяку геоінформаційну технологію як технологію збору, введення,

інтеграції, зберігання, обробки, аналізу і презентації географічної інформації, яка викристалізувалася з досвіду реалізації і експлуатації різних геоінформаційних систем.

За даними маркетингового аналізу індустрії ГІС, який традиційно проводиться різними фірмами, у тому числі фірмою Daratech, Inc., визначаються щорік долі ринку найбільш поширених програмних продуктів ГІС. У 2009 р. ці частки склали для ESRI 30%, Intergraph 18%, Smallworld (GE) 8% (рис.1.2.2).

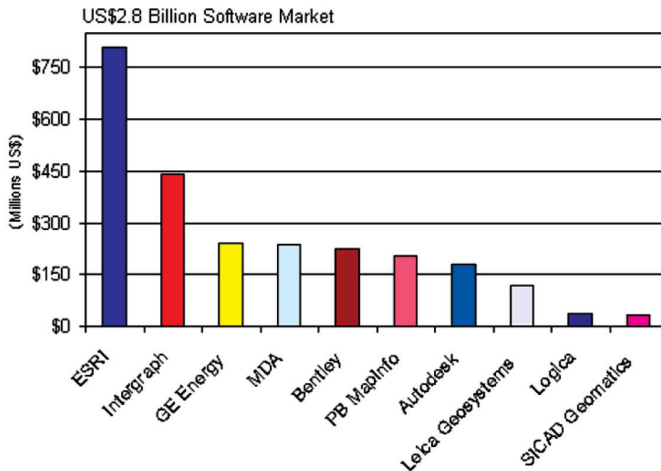


Рис. 1.2.2 - Світові обсяги продажу програмного забезпечення ГІС у 2009 р. за даними Daratech, Inc.

Ці дослідження підтверджують, що впродовж багатьох років світовим лідером в розробці й поширенні програмного забезпечення ГІС є Інститут дослідження систем довкілля (Environmental Systems Research Institute - ESRI). У середньому третя частина продажів програмного забезпечення ГІС припадає на частку ESRI і складає 37 - 29 %, що говорить про багато переваг і привабливі властивості програмного забезпечення цієї фірми. Це є підставою того, що навчання студентів доцільно проводити на основі найбільш передових технологій ESRI.

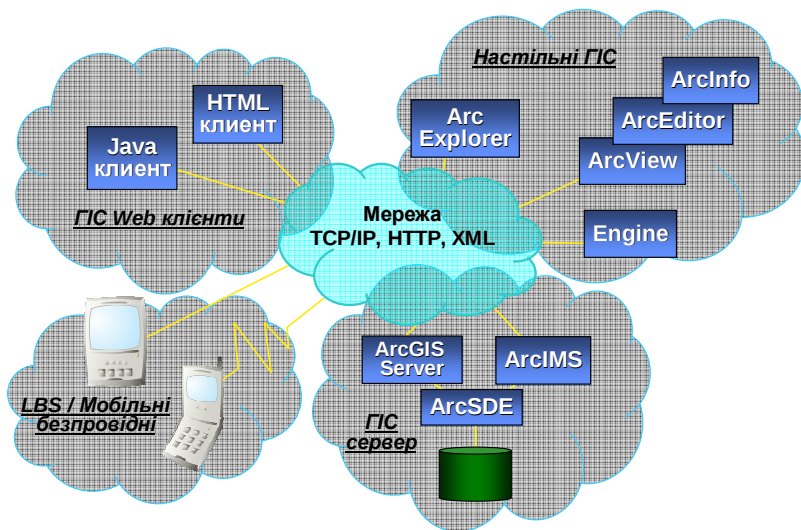


Рис. 1.2.3 – Компоненти системи програмних продуктів ArcGIS 9.x

Компанією ESRI створені потужні системи програмних продуктів під назвою ArcGIS 9.x (рис. 1.2.3), ArcGIS 10.x, які є оптимальним рішенням для побудови корпоративної ГІС, фундаментом інформаційної системи ефективного управління крупними державними і комерційними організаціями.

Фундаментальна архітектура ArcGIS 9.x забезпечує її використання у багатьох прикладних сферах і на різних рівнях організації роботи: на персональних комп'ютерах, на серверах, через Web або в польових умовах. ArcGIS 9.3 включає:

- *настільні ГІС* (ArcView, ArcEditor, ArcInfo, Desktop Extensions, ArcCGIS Engine, ArcExplorer, ArcReader), які дозволяють ефективно виконувати і моделювати операційний процес, виконувати просунутий просторовий аналіз, візуалізувати результати на картах високої якості;
- *серверні ГІС* (ArcGIS Server, ArcGIS Server Extensions, ArcGIS for AUTOCAD), які дозволяють розподіляти карти, моделі і інструменти іншим користувачам в організації так, що вони добре відповідають їх процесам;
- *мобільні ГІС* (ArcGIS Mobile, ArcPad), які надають можливість виконавцям в польових умовах отримувати, зберігати,

оновлювати, маніпулювати, аналізувати і відображувати географічну інформацію;

- *інтернет ГІС* (ArcGIS Online), які забезпечують загальну платформу для користувачів ArcGIS, щоб знаходити, розподіляти і створювати ГІС додатки, сервіси і інформаційні ресурси;
- *інструменти розробника* (Developer Tools), які забезпечують інтерфейсом програмування додатків, програмами і ресурсами так, що розробник може створити інноваційне ГІС-рішення для настольної, мобільної, серверної або інтернет ГІС;
- *спеціалізовані ГІС*:

ESRI Business Analyst - є доступне і масштабоване сімейство продуктів, які дозволяють малим підприємствам і підприємствам дістати доступ до великого об'єму даних і збільшити свій прибуток на інвестиції в цьому економічному кліматі;

ArcLogistics - є комплексне рішення для створення оптимізованих маршрутів і вирішення завдань складання розкладів.

ArcLogistics Navigator - є GPS-керований транспортний навігаційний продукт, який дозволяє мобільним професіоналам перебувати на маршруті й у встановлені терміни.

MapIt - це програмне забезпечення і онлайн-послуги, які дозволяють створити прості карти з ваших корпоративних даних;

PLTS ArcGIS використовують для всіх типів організацій для поліпшення своїх робочих процесів і задоволення своїх найскладніших карт і діаграм потреб.

Situational Awareness for ArcGIS є рішенням, яке забезпечує геопросторову основу для негайних і довгострокових потреб ситуаційної обізнаності.

Слід зазначити, що в даний час також велике поширення мають раніше створені фірмою ESRI програмні продукти ArcView GIS версії 3.x, відносно прості у використанні і ефективні для багатьох завдань. Важливе те, що дані, створені в ArcView GIS 3.x, сприймаються в ArcGIS 9.x.

У порівнянні з ESRI, менше поширення програмних продуктів ГІС мають інші фірми. Серед них за убубанням частки у світовому ринку слід назвати фірми й відповідні програмні продукти ГІС:

■ Intergraph Corp.	MGE (Modular GIS Environment), GeoMedia
■ GE Network Solution (General Electric Company)	Smallworld GIS
■ Bentley Systems Inc.	MicroStation
■ Mapping Information Systems Corp.	MapInfo Professional
■ Autodesk Inc.	AUTOCAD Autodesk Map Autodesk Survey

У Росії і Україні також мають поширення вітчизняні програмні продукти ГІС:

■ Інститут географії Російської академії наук	GeoDraw / GeoGraph
■ КБ "Панорама", МО, Росія	Panorama Карта
■ ДНВП "Геосистема", ТОВ "Аналітика", Україна	Digitals Delta

1.2.3.3 Географічні дані

Геоінформаційні системи відрізняються від інших інформаційних систем тим, що вони мають багаті можливості роботи з геопросторовими даними.

Географічні дані (синонім - геопросторові дані) описують будь-які об'єкти, що мають локалізацію в реальному земному просторі. Вони складаються з двох взаємозв'язаних частин: просторові дані, що описують місце розташування, форму і розміри об'єкта, і семантичні дані, що описують змістовні характеристики об'єкта.

Місце розташування в реальному земному просторі описується геодезичними координатами. Форми і розміри об'єктів визначаються за допомогою координат. Просторові моделі об'єктів створюються на основі картографічних образів, з якими ми всі знайомі. Тому картографічне представлення реального світу грає істотну роль в геоінформаційних технологіях. Зовні ви бачите на дисплеї комп'ютера цифрову карту. Складні функції просторового аналізу реалізуються за допомогою обчислювальної обробки таких карт.

Надзвичайно важливою обставиною є те, що об'єм просторових даних, необхідних для управління територією, складає 70 – 90 % по оцінках наукових досліджень, виконаних різними організаціями. Це означає, що ГІС обробляє велику частину інформації, використовуваної як при управлінні територією, так і її компонентами. ГІС тому грає провідну роль в управлінні територіями. Клас геоінформаційних систем спеціально створений для вирішення актуальних проблем земного простору, які виникають в самих різних сферах людської діяльності.

Створення географічних даних - найбільш трудомістка, дорога і відповідальна частина ГІС. За світовими оцінками вартість географічних даних складає до 80-90 % вартості системи. Тому при створенні ГІС виключно важливими є завдання: 1) збереження даних тривалий період часу - до 80 років; 2) можливості обміну даними між системами, що існують сьогодні; 3) можливості передачі даних в майбутні системи в умовах, коли програмно-технічне забезпечення істотно міняється через 2-3 роки. Формати даних тут є визначальними. Вони мають бути або загальноприйнятими, або такими, що дозволяють робити обмін даними.

Географічні явища і феномени складні й різноманітні. Ми можемо розглядати їх з будь-якою мірою детальності. Тому для абсолютно точного опису сутностей реального світу було б потрібно нескінченно великі бази даних. Для того, щоб бути обробленими засобами обчислювальної техніки, дані мають бути зредуковані до кінцевих розмірів і організовані особливим чином.

1.2.3.4 Регламент

Регламент ГІС встановлює суворі правила системної організації даних, інформаційної діяльності і технології робіт. Розробку регламенту функціонування системи ведуть в період планування ГІС.

Регламент ГІС вимагає використання ряду стандартів. Стандарти

встановлюють, як дані визначаються, зберігаються і переміщаються між системами і додатками. Ці стандарти можуть бути сконструйовані так, щоб забезпечити оптимальний баланс між спільним і індивідуальним використанням за допомогою визначення мінімальних вимог для обміну даними.

1.2.3.5 Користувачі

Робота ГІС неможлива без розробників, обслуговуючого персоналу і користувачів. Від них залежить ефективність ГІС. Обов'язковою умовою реалізації ГІС є наявність найважливішого компонента – думаючих користувачів, які мають підготовку для вивчення земного простору, роботи з географічними даними, уміють працювати в середовищі ГІС-прикладань, створювати їх і підтримувати, мають певні знання з предметної сфери застосування ГІС. Для створення ГІС потрібні розробники, а для функціонування – користувачі, причому кількість останніх складає переважну більшість.

1.2.4 Загальна характеристика відмітних функцій ГІС

Раніше було визначено, що ГІС виконує функції введення, інтеграції, зберігання, обробки, аналізу, моделювання і візуалізації географічної інформації. Специфічними функціями, за допомогою яких ГІС виділяється в особливий клас інформаційних систем, є інтеграція, аналіз і візуалізація географічної інформації.

1.2.4.1 Інтеграція

В ідеології ГІС закладена ідея інтеграції даних і технологій.

Геоінформаційні системи відрізняються від інших інформаційних систем саме тим, що володіють ефективними можливостями інтеграції різнопланової просторової інформації, пов'язаної з реальним земним простором. Це означає, що будь-які дані можуть бути інтегровані в одну систему, якщо ці дані мають або можуть мати просторову прив'язку в реальному земному просторі. Наприклад, одна муніципальна ГІС інтегрує інформацію про містобудування, населення, землекористування, житловий і нежитловий фонд, міські інженерні системи водопостачання, водовідведення, теплопостачання,

газопостачання, електропостачання, транспортну інфраструктуру, про екологічну обстановку, правопорушення. Це дає можливість управляти, наприклад, підсистемами міста комплексно і у взаємозв'язках, визначати вплив одних чинників на інших.

У загальному випадку інтегровані географічні дані надають можливість:

- реалізувати комплексний підхід при аналізі сукупності єств реального світу;
- визначати вплив, залежності, зв'язки одних об'єктів і явищ реального світу на інших;
- виробляти пропозиції для ухвалення об'єктивних управлінських рішень;
- забезпечити цілісність і несуперечність всієї інформації у системі;
- уникнути дублювання введення даних;
- поліпшити інформаційну взаємодію, підвищити якість і оперативність роботи підсистем.

Таким чином, інтеграція багатьох чинників є ключовим методом геоінформаційних систем. Чим більше інформації в системі, тим ефективніше працює система. Причому ці можливості зростають не пропорційно, а експоненціально.

ГІС інтегрує не тільки дані, але і передові інформаційні технології: технології баз даних, технології автоматизованої картографії, технології цифрової обробки результатів позиціонування і дистанційного зондування Землі, технології ГІС Web сервісів у відкритих середовищах Інтернет та ін. не тільки розширюють можливості ГІС, але і визначають майбутню стратегію розвитку ГІС у зв'язку з інтеграцією і розвитком передових інформаційних технологій.

1.2.4.2 Аналіз

Геоінформаційні системи відрізняються від інших інформаційних систем тим, що володіють ефективними можливостями аналізу просторових даних і на його основі виконувати просторове моделювання об'єктів і явищ. ГІС є інструмент просторового аналізу. Просторовий аналіз називають "серцем" ГІС.

Розвинені ГІС мають багатий набір засобів для виконання просторового аналізу. Аналітичні можливості ГІС дозволяють отримати відповіді на множину просторових запитів, вирішити велику кількість просторових завдань в різних предметних областях. Множину завдань просторового аналізу можна розділити на 5

узагальнених категорій.

1) *Аналіз місця розташування.*

Цій категорії відповідає просторовий запит: що існує в конкретному місці на поверхні Землі? Щоб побачити, де розташований і як виглядає об'єкт, який цікавить, використовують карти. На карті наочно представлений характер просторового розподілу об'єктів, а це дозволяє проявити зв'язки між ними і краще зрозуміти досліджувану область. Тільки побачивши місця розташування об'єктів, можна зрозуміти деякі причини просторових взаємозв'язків. Для того, щоб досліджувати закономірності в розподілі даних, потрібно певним чином відображувати об'єкти, які досліджуються, спираючись на значення їх характеристик. Наприклад, а) еколог може оцінити вплив особливостей рельєфу або інших чинників на просторовий розподіл рослинних співтовариств, використовуючи картографічні дані; б) містобудівник планує розміщення певного об'єкта відповідно до генерального плану міста, плану існуючої забудови і плану інженерної інфраструктури; у) відділ міліції створює карту розподілу злочинів різного типу, щоб бачити, чи повторюються вони в окремих районах.

2) *Задоволення просторових умов.*

Цій категорії відповідає просторовий запит: де задовольняються конкретні просторові умови? Простий запит про місце розташування об'єкта складається з однієї умови. Для здобуття відповіді досить виконати одну штатну операцію. Складний запит про місце розташування об'єкта може включати певний набір умов. Для здобуття відповіді вже потрібне використання ряду операцій просторового аналізу. Наприклад, а) де знаходиться майданчик для будівництва площею 2 га. у відстані до 200 м. від дороги районного значення, з ґрунтами несучої здатності до 1 кг на кв.см.? б) обґрунтувати місце розташування торговельного, чи навчального закладу або бізнес-центру з врахуванням багатьох, в т.ч. просторових чинників; в) знайти оптимальну трасу трубопроводу або шляхопроводу, який проектується.

3) *Часовий аналіз.*

Цій категорії відповідає запит: що просторово змінилося за вказаний період? Відповідь на це питання є спробою визначити зміни, події у просторі та часі, тенденції цих змін на певній

території. Наприклад, яка тенденція поширення грипу в місті, які нові об'єкти побудовані за останній рік, яке зростання урбанізованих територій? Зберігаючи і зіставляючи карти різних дат, ГІС може виконувати часовий аналіз.

4) *Виявлення структури.*

Цій категорії відповідає просторовий запит: які просторові структури або розподіли існують? Наприклад, скільки є аномалій, не відповідних нормальному розподілу, де вони знаходяться? Який розподіл населення в місті? Які ділянки дороги є найбільш небезпечними? Який розподіл вартості нерухомості на території? Виділення просторових структур - складне питання, що вимагає використання арсеналу потужних засобів просторового аналізу.

5) *Оцінка різних сценаріїв.*

Сценарій потенціалу є результатом запитань типу "Що станеться, якщо....". Наприклад, що станеться, якщо інтенсивність дощу буде критичною? Які будуть витрати, якщо вулицю розширити на 14 м.? Як зміниться транспортне сполучення, якщо прибрати трамвай з вулиці Пушкінської? У таких випадках користувач використовує модель для прогнозування і карти потенційної дії. Вживання такої моделі дозволяє побудувати гіпотетичну ситуацію і прогнозувати розвиток й наслідки соціологічних та економічних ситуацій, стихійних лих і аварій природного техногенного характеру у просторі й часі.

Останнім часом спостерігається помітне зростання ролі аналітичних і моделюючих функцій ГІС. Наприклад, система ArcGIS 9.3 (ESRI) включає доступні в освоєнні модулі Spatial Analyst, 3D Analyst, Network Analyst, Geostatistical Analyst.

1.2.4.3 Візуалізація

ГІС має потужний інструмент візуалізації інформації. Тематична інформація відображається за допомогою картографічних образів, діаграм, графіків, оформлених багатим арсеналом образотворчих засобів, адаптованих для зручного сприйняття інформації.

Об'єкти карти можуть бути відображені або надруковані в будь-якій комбінації і фактично в будь-якому масштабі карти, роблячи комп'ютеризовані картографічні дані набагато гнучкішими в порівнянні з традиційними паперовими картами.

Більшість людей ефективно мислять, якщо проблема, що цікавить їх, представлена у формі картин, креслень, діаграм, ілюстрацій. Відомо, що людина сприймає 90% інформації очима. Властивості ока людини дозволяють миттєво оцінювати видиму ситуацію в цілому. Тому говорять, що краще один графік, чим 1000 таблиць. Представте таблицю для десятка тисяч будівель з 50 характеристиками кожної будівлі, по якій потрібно зробити аналіз по ряду показників. ГІС дозволяє трансформувати інформацію через звичні з дитинства картографічні образи і миттєво сприйняти її. ГІС дозволяє реалізовувати множину запитів і представляти відповіді на зрозумілій для більшості користувачів мові карти.

ГІС - це засіб, що допомагає підвищити якість рішень, що приймаються, на підставі ефективного представлення результатів обробки і аналізу просторових даних. Це робить ГІС надзвичайно корисними для широкого громадянства і організацій, для планування стратегії і управління інфраструктурою.

1.2.5 ГІС як пересічення галузей наукових знань

ГІС – це система, інтегруюча знання. Проблеми розробки, функціонування і використання ГІС знаходяться на стику трьох наукових галузей знань: комп'ютерні науки, науки про земний простір, область ГІС-прикладань (рис.1.2.4).

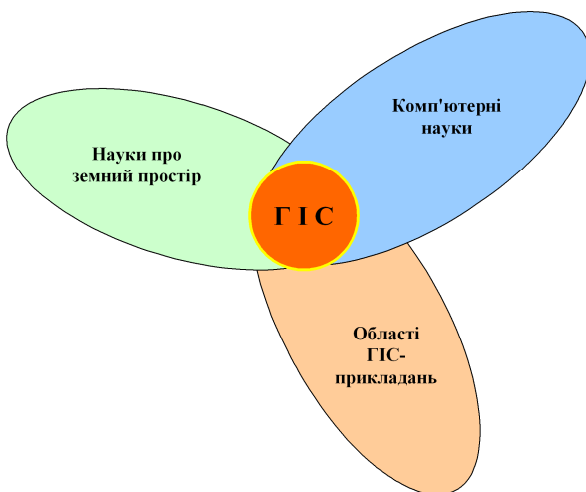


Рис.1.2.4 - ГІС – це пересічення галузей наукових знань

З такого розуміння ГІС впливає, що:

- відсутність у цій сукупності однієї будь-якої галузі наукових знань не приводить до створення геоінформаційної системи в загальноприйнятому значенні.
- користувачі ГІС повинні володіти знаннями з трьох перерахованих областей.

Табл.1.2.1 - Базові галузі наукових знань ГІС.

Комп'ютерні науки	Науки про земний простір	Області ГІС-прикладання
Інформатика і програмування, математичне моделювання, операційні системи, текстові і графічні редактори, електронні таблиці, бази даних, інформаційні мережі, обробка зображень, ...	Геодезія, картографія, географія, аерокосмічна зйомка, дистанційне зондування Землі, глобальні системи позиціонування, ...	Управління територією, містобудування і архітектура, інженерна інфраструктура, управління нерухомістю, транспорт і логістика, екологія, природні ресурси, демографічні, дослідження, оборона, сільське господарство, правопорушення, надзвичайні ситуації, ... (близько 80 областей)

1.2.6 Приклади застосування ГІС

Спектр застосувань ГІС надзвичайно широкий. ESRI перераховує близько 80 областей використання ГІС. У перерахуванні ГІС прикладань можна виділити базові типи розповсюджених завдань [14, с.121-134].

- 1) *Завдання обліково-інвентаризаційного типу.* У них акцент робиться на даних, вимірах і оцінці "міри схожості" (завдання земельного кадастру, підрахунки запасів природних ресурсів, управління розподіленою виробничою інфраструктурою). Це найпоширеніший тип прикладань ГІС. Для прикладань такого

типу характерна робота з великим числом географічних об'єктів і висока детальність вивчення територій.

- 2) *Завдання і цілі діяльності.* Тут основні завдання - планування розвитку, вибір маршрутів і управління перевезеннями. Специфіка додатків цього типу пов'язана з нетрадиційними постановками оптимізаційних завдань на структурах допустимих доріг.
- 3) *Моделювання і складні методи аналізу даних.* Типове завдання - передбачення повеней через аналіз водосбора і водостоку на заданому рельєфі.

Як приклади розглянемо деякі області, де вживання ГІС стало вже традиційним.

- *Управління і планування розвитку територій.* Ця область основана на передбачуваній поведінці різних соціальних груп, які визначають суспільні потреби й можливості і мають задане або передбачуване розміщення й динаміку в рамках заданої території.
- *Містобудування і архітектура.* Проектування, інженерні дослідження, планування в містобудівництві і архітектурі. Це типова робота міських служб, що забезпечують нормальний розвиток підвимої території.
- *Інженерна інфраструктура.* Інвентаризація, облік, планування розміщення об'єктів розподіленої виробничої інфраструктури (водопостачання, водовідведення, теплопостачання, газопостачання, електропостачання) і управління ними, оцінка стану й ухвалення рішень при ремонтних або аварійних ситуаціях.
- *Управління земельними ресурсами, земельні кадастри.* Область характерна своєю чисто географічною орієнтацією. Типові завдання тут - складання кадастрів, класифікаційних карт, визначення меж ділянок, площ і т. д.
- *Управління природними ресурсами і природоохоронна діяльність.* Тут типовими проблемами є визначення поточного стану і запасів спостережуваних ресурсів, моделювання процесів у природному середовищі й побудова обґрунтувань рішень, що приймаються, з управління засобами, які змінюють природні ресурси.
- *Геологія, мінерально-сировинні ресурси, гірничо-добувна промисловість.* Специфіка таких проблем полягає в тому, що потрібно розрахувати запаси корисних копалин в деякій області за результатами визначення в окремих точках (розвідувальне буріння, пробні шурфи і т. д.) при відомій моделі процесу утворення родовища.
- *Планування і управління перевезеннями (логістика).* Задані на карті пункти із своїми характеристиками, в яких зберігаються вантажі, і

пункти із своїми характеристиками, які чекають потрібні вантажі; засоби перевезення із своїми характеристиками, позицією, станом і спеціалізацією; мережа доріг із своїми характеристиками (середня швидкість, ремонти, об'їзди, пробки, кордони, митні пункти і так далі). Потрібно скласти план перевезень і коректувати його у міру виникнення непередбачених ситуацій.

- *Наземне, аеро- і гідронавігаційне картографування і управління наземним, повітряним і водним транспортом.* Традиційні області із зрозумілими проблемами. Особливе місце тут займають проблеми управління рухомими об'єктами за умови виконання заданої системи відношень між ними і нерухомими об'єктами.
- *Маркетинг і аналіз ринку.* Визначення тенденцій розвитку ситуації, оцінка впливу різних топологічних властивостей - близькості, пересічень і поєднань різних ареалів на їх взаємодію, облік різних умов, визначених на об'єктах із заданими позиціями, потребами і можливостями їх розвитку.
- *Сільське господарство.* Підрахунок запасів ресурсів по ряду точкових вимірів, планування перевезень, взаємодія ареалів, які динамічно змінюються, категоризація і виділення "схожості" просторових об'єктів, точне землеробство.
- *Надзвичайні ситуації.* Облік потенційно небезпечних об'єктів, моделювання наслідків у надзвичайних ситуаціях.
- *Служби швидкого реагування.* Суспільна безпека, пожежогасіння, швидка медична допомога.

Додатково до перерахованих областей слід також відзначити державне, регіональне, муніципальне управління, демографія, зонінг, реєстрацію власності, оподаткування, банківську справу, сферу обслуговування, торгівлю, бізнес, соціальне страхування, моніторинг природного середовища, екологію, оцінку можливих дій на природу, водні ресурси, гідрологію, ґрунтознавство, лісове господарство, сферу військового застосування.

1.2.7 Значення ГІС для управління містом

Однією із сфер ефективного застосування ГІС стала область місцевого самоврядування. Розуміння ролі геоінформаційного забезпечення управління привело до того, що ГІС стали де-факто потужним загальноприйнятим інструментом в області державного і муніципального управління в багатьох країнах. Тільки у Європі більше 100000 муніципалітетів використовують ГІС для управління містами.

ГІС розглядається як інструмент для ухвалення рішень в області управління міським господарством, як засіб планування і вироблення стратегії розвитку територій міст.

Здатність ГІС об'єднувати різнопланову інформацію різних структур міського управління в єдиний інформаційний комплекс дозволяє забезпечити взаємодію структур міста, що управляють. ГІС — це сучасна технологія для вдосконалення міського управління.

Впровадження муніципальних ГІС означає перехід на новий, вищий якісний рівень управління, планування, проектування, експлуатації складних систем міського господарства. Цей рівень характеризується наступними властивостями:

- 1) управління містом в реальному часі;
- 2) мінімізація і виключення дублювання функцій виконавських органів на основі системної інтеграції міських даних;
- 3) забезпечення взаємодії структур міста, що управляють, на основі створення і використання єдиної бази міських даних;
- 4) зниження витрат за рахунок заощадження часу при виконанні функцій з великим ефектом;
- 5) поліпшення продуктивності праці;
- 6) підвищення збору податків.

Тому впровадження ГІС в міське управління є актуальною проблемою всіх міст України.

1.2.8 Історична довідка про геоінформаційні системи

Аналіз джерел по ГІС, проведений А.В. Кошкаревим, В.С. Тікуновим та ін. [15], [16], [17] показує, що витоки народження геоінформатики слід шукати в роботах колективів, які сформулювали перші завдання і підходи до побудови інформаційних систем, орієнтованих на обробку просторових даних в Канаді і Швеції - двох країнах, пріоритет яких в цій області абсолютно безперечний.

Канадські роботи були пов'язані із створенням в 1963-1971 рр. Канадської ГІС (Canadian Geographical Information System - CGIS) під керівництвом Роджера Томплінсона. CGIS стала одним з прикладів великої універсальної ГІС національного рівня; CGIS може вважатися класикою.

Роботи шведської школи геоінформатики концентрувалися довкола ГІС земельно-облікової спеціалізації, зокрема Шведського земельного банку даних, призначеного для автоматизації обліку земельних ділянок (землеволодінь) і нерухомості.

Період 60-х – ранніх 70-х років.

Це період досліджень принципів можливостей, пограничних галузей знань і технологій, напрацювання емпіричного досвіду, перших крупних проєктів і теоретичних робіт. Це період:

- появи цифрувальників, плоттерів, графічних дисплеїв і інших периферійних пристроїв;
- створення програмних алгоритмів й процедур графічного відображення інформації на дисплеях і за допомогою плоттерів;
- створення формальних методів просторового аналізу;
- створення програмних засобів управління базами даних.

Ранні ГІС значно відрізнялися від того, що розуміється під ГІС сьогодні. Це була орієнтація на завдання інвентаризації земельних ресурсів, земельного кадастру і обліку на користь вдосконалення системи оподаткування, що вирішуються шляхом автоматизації земельно-облікового документообігу. Основна функція ГІС полягала у введенні в машинне середовище первинних облікових документів для зберігання і регулярного оновлення даних, включаючи агрегацію даних і складання підсумкових звітів, статистичних табличних документів.

Інвентаризаційні завдання шляхом масового цифрування карт вирішувалися спочатку в Канадській ГІС. В її основу були закладені фундаментальні принципи, які дозволили вийти у сфери не тільки вузькопрофільних завдань, але й більш універсальних інтересів. Перший крок, який вивів ГІС з області баз даних загального призначення, полягав у введенні в число атрибутів операційних об'єктів (земельних ділянок, будов, фізичних і юридичних осіб, ареалів використання земель) ознаки простору, в якій би формі місце розташування не виражалося (у координатах, в ієрархії адміністративної приналежності, в термінах приналежності до чарунок регулярних мереж розчленовування території). Досить революційною була вже вказівка координат центроїдів об'єктів. Творці ГІС Канади внесли наступні новини:

- використання сканування для автоматизації процесу введення геопросторових даних;
- розчленовування картографічної інформації на тематичні шари і розробка концептуального рішення про "таблиці атрибутивних даних", що дозволило розділити файли планової (геометричної) геоінформації про місце розташування об'єктів і файли, що містять тематичну (змістовну) інформацію про ці об'єкти;
- функції і алгоритми оверлейних операцій з полігонами, підрахунок площ і інших картометричних показників.

У цей період сформувалося поняття просторових об'єктів, що описуються позиційними і непозиційними атрибутами. Оформилися дві альтернативні лінії подання просторових об'єктів - растрові і векторні, включаючи топологічні лінійно-вузлові представлення. Пізніше була створена технологія масового цифрування карт - основного джерела даних в Канадській ГІС. Поставлені і вирішені завдання, створюючи ядро геоінформаційних технологій: накладення (оверлей) різнойменних шарів, генерація буферних зон, полігонів Тіссена і інші операції маніпулювання просторовими даними, включаючи визначення приналежності точки полігону, операції обчислювальної геометрії взагалі.

Великий вплив на розвиток ГІС мала Гарвардська лабораторія комп'ютерної графіки і просторового аналізу (Harvard Laboratory for Computer Graphics & Spatial Analysis) Массачусетського технологічного інституту (керівник - Howard Fisher). Програмне забезпечення Гарвардської лабораторії допомогло створити базу для розвитку багатьох ГІС-прикладань. У цій лабораторії були закладені основи картографічної алгебри, створено сімейство растрових програмних засобів Map Analysis Package - MAP, PMAP, aMAP. Найбільш відомими програмними продуктами Гарвардської лабораторії є: SYMAP (система багатоцільового картографування), CALFORM (програма виведення картографічного зображення на плоттер), SYMVU (перегляд перспективних тривимірних зображень), ODYSSEY (попередник знаменитого ARC/INFO).

Функціональна обмеженість ГІС першого покоління мала чисто технічні причини. Нерозвиненість периферійних пристроїв, пакетний режим обробки даних (без дисплея), критичність обчислювальних ресурсів і часу обчислення завдань. Ядро ГІС було сформовано в кінці 60-х, визначивши обличчя ГІС першого покоління.

Період початка 70-х – початку 80-х років.

Для 70-х років характерна розробка взаємодії методів і засобів геінформатики з цифровими методами картографування і автоматизованою картографією. ГІС в сучасному їх розумінні розвивалися на базі інформаційно-пошукових систем, пізніше набуваючи функцій картографічних банків даних з можливістю моделювання і аналізу даних. Більшість ГІС цього періоду включають в свої завдання створення карт і використовують картографічний матеріал як джерело даних. До цього періоду відноситься швидкий прогрес геоінформаційних технологій в США.

На початок 1970-х років в США сформувалася думка про необхідність використання ГІС-технологій для обробки і представлення даних перепису населення. Було потрібно методику, що забезпечує коректну географічну "прив'язку" даних перепису. Основною проблемою стала необхідність конвертації адрес мешкання населення в географічні координати так, щоб результати перепису можна було б оформляти у вигляді карт по територіальних ділянках і зонах Національного перепису. Був розроблений спеціальний формат представлення картографічних даних, для якого були визначені прямокутні координати перехресть, що розбивають вулиці всіх населених пунктів США на окремі сегменти. Алгоритми обробки і представлення картографічних даних були запозичені у розробників ГІС Канади і Гарвардської лабораторії і оформлені у вигляді програми POLYVRT, що здійснює конвертацію адрес мешкання у відповідні координати, що описують графічні сегменти вулиць.

Таким чином, в цій розробці вперше був широко використаний топологічний підхід до організації управління географічною інформацією, що містить математичний спосіб опису просторових взаємозв'язків між об'єктами.

Період 80-х років.

80-ті роки відрізняє надзвичайний динамізм розвитку ГІС. Широкий ринок всіляких програмних засобів, розвиток настільних ГІС, розширення сфери їх застосування за рахунок інтеграції з базами непросторових даних, поява мережевих застосувань, значного числа непрофесійних користувачів, систем, що підтримують індивідуальні набори даних на окремих комп'ютерах, відкривають дорогу системам з розподіленими базами геоданих.

До середини 80-х кількість ГІС-пакетів наближається до 500. Розробка комерційних ГІС пов'язана більшою мірою з можливостями ЕОМ, а також з ПК. Створення ГІС стало ґрунтуватися не на унікальних програмних і апаратних засобах, доступних тільки добре фінансованим організаціям (типу міністерства оборони), але й для невеликих компаній, освітніх і муніципальних установ, і навіть для приватних осіб.

Популярність у світі отримав пакет аналізу растрових даних MAP (Map Analysis Package), який реалізував алгоритми картографічної алгебри, основи якою були розроблені С.Д. Томліном у США в 1983 р. У цей період були розроблені теоретичні основи геостатистики (Ж. Матерон, Франція), векторна топологічна структура просторових

даних (DIME-структура, США), технології графічного зображення тривимірних поверхонь і ін.

У 1981 р. був розроблений знаменитий програмний продукт ARC/INFO Інститутом дослідження систем довкілля (Environmental System Research Institute, ESRI Inc.) Він був найбільш успішним втіленням ідей про роздільне внутрішнє представлення геометричної і атрибутивної інформації. Для зберігання і роботи з атрибутивною інформацією у вигляді таблиць INFO був успішно застосований формат стандартної реляційної системи управління базами даних, а для зберігання і роботи з графічними об'єктами у вигляді дуг (ARC) було розроблено спеціальне програмне забезпечення. ARC/INFO став першим програмним пакетом ГІС, який ефективно використовував призначені для користувача якості персональних комп'ютерів, в той же час він доступний для різних технічних платформ і операційних середовищ.

У ці роки розробляють програмні пакети: MapInfo фірми Mapping Information Systems Corp. (1987); IDRISI в Університеті Кларка (1987); Modular GIS Environment (MGE) фірми Intergraph, Corp. (1988); CORINE - Геоінформаційна система країн Європейської співдружності (1985 р.); GRID - Глобальний ресурсний інформаційний банк даних (1987 р.). В Європі основні кроки в розробці й впровадженню ГІС-технологій були зроблені в Швеції, Франції, Нідерландах, Великобританії і Західній Німеччині. Освоюються принципово нові джерела даних для ГІС - дані дистанційного зондування, включаючи матеріали супутників серії Landsat, Spot.

Період 1990-і роки - теперішній час.

Цей період характеризується новим відношенням до користувачів, підвищеною конкуренцією серед комерційних виробників геоінформаційних технологій і послуг, збільшеною потребою в геоданих, початком формування світової геоінформаційної інфраструктури.

Розробники геоінформаційного програмного продукту GRASS для робочих станцій, створеного американськими військовими фахівцями (Army Corps of Engineers) для завдань планування природокористування і землеустрою, відкрили його для безкоштовного користування. У результаті користувачі і програмісти можуть створювати власні застосування, інтегруючи GRASS з іншими програмними продуктами.

У цей період Інститут дослідження систем довкілля (ESRI Inc.) розробляє програмне забезпечення ГІС, яке вивело його в світові

лідери: 1995 р. - ArcView v.1.0, 2001 р. - ArcGIS v. 8.1, 2004 р. - ArcGIS v. 9.0, 2005 р. - ArcGIS v. 9.1, 2006 р. - ArcGIS v. 9.2, 2008 р. - ArcGIS v. 9.3 - флагман програмного забезпечення ГІС.

У Радянському Союзі дослідження в галузі геоінформаційних технологій були початі у восьмидесяті роки. Здійснювалися дослідження в області автоматизації картографування, просторового аналізу, картографо - математичного моделювання, (О. М. Берлянт, Н. Л. Беручишвілі, С. Т. Жуков, Д. С. Лісицький, П. С. Петров, С. М. Сербенюк, Ю. Р. Симонов, В. С. Тікунов, І. Р. Черваньов, В. А. Червяков і ін.), теоретичного обґрунтування геоінформаційних систем (Н. Л. Беручишвілі, І. С. Гарміз, В. С. Давідчук, С. П. Каракин, А. С. Кошкарєв, С. Р. Лінник, М. С. Панасюк, А. М. Трофімов і ін.).

Перші програмні ГІС-пакети на території колишнього Радянського Союзу були розроблені в 90-і роки. Серед них відомими є пакет GeoDraw/GeoGraph Інституту географії Російської академії наук, пакет "Панорама" Топографічної служби Озброєних сил Російській Федерації та інші. Проте велика частина програмних продуктів ГІС представлена продукцією західних фірм - ESRI, Intergraph, MapInfo, Autodesk і ін.

В Україні геоінформаційні технології отримали розвиток в середині 90-х років [18] з розробкою і впровадженням ГІС-проектів у галузі управління земельними ресурсами, моніторингу екологічного стану середовища, управління територією, геології, водних ресурсів, МНС й інших.

Стан впровадження геоінформаційних технологій в Україні характеризують наступні чинники:

- формування в державних установах і організаціях групи фахівців, які активно працюють у напрямі впровадження ГІС в різних сферах діяльності;
- створення підприємств, які спеціалізуються в розробці або використанні геоінформаційних технологій, зокрема: Науково-дослідного інституту геодезії і картографії, ДНВП "Геосистема" й ТОВ "Аналітика" (м. Вінниця), в яких розроблено програмне забезпечення Delta/Digitals, Науково-виробничого центру "Геодескартінформатика" (м. Київ); комерційних компаній "ЕСОММ", "Інтелектуальна система, Гео", "Інститут передових технологій", ГЕОКАД, "Аркада", "Геоніка" (м. Київ); "СПАЕРО+" (м. Харків), "Високі технології" (м. Одеса) і ін.;
- впровадження цифрового картографування в системі Укргеодезкартографії;

- відкриття підготовки фахівців в області геоінформаційних систем і технологій у 8 вузах України.

На закінчення цієї теми слід звернути увагу на те, що ґрунтовні дослідження історії ГІС наведені в [17].

1.2.9 Контрольні питання і завдання для самостійної роботи

- 1) Дайте визначення ГІС. У чому полягає відмінність ГІС від інших інформаційних систем?
- 2) Приведіть загальну характеристику компонентів ГІС.
- 3) Приведіть загальну характеристику відмітних функцій ГІС від функцій інших інформаційних систем?
- 4) Які галузі наукових знань інтегрує ГІС?
- 5) Охарактеризуйте історію розвитку ГІС.

Розділ 1.3

ГІС-ПАРАДИГМА

Відносно короткий період бурхливого розвитку ГІС природно супроводжується у ряді випадків неоднаковим представленням предметної області геоінформаційних систем і технологій. Відмінності в поглядах, неоднозначні трактування базових понять і визначень говорять не тільки про неоднакове їх розуміння, але і про складність вироблення єдиних підходів.

"Парадигма (від грецького – приклад, зразок) – теорія (або модель постановки проблем), прийнята як зразок вирішення дослідницьких завдань" [19]. Тут слово парадигма використовується для визначення моделі або каркаса, системи сталих поглядів на розуміння області геоінформаційних систем і технологій. ГІС-парадигма – це концептуальна підстава для використання географічної інформації, яка забезпечує загальний базис співвідношення й фокусування для принципів управління даними, технологій і застосувань.

Область геоінформаційних систем і технологій вимагає фіксації і подання сталих в світі базових понять і визначень, їх однозначного розуміння. У першу чергу потрібні відповіді на питання, що є географічна інформація, географічні дані, геоінформаційні технології, геоінформаційні технології, геоінформаційні системи, геоінформаційні системи, геоінформаційна наука, геоінформаційна освіта, геоінформатика? Тут представлена спроба викладу єдиної системи базових понять і визначень в області геоінформаційних систем і технологій.

1.3.1 Що є географічна інформація, географічні дані?

У Національному стандарті України ДСТУ ISO 19101:2002(Е) дається таке визначення: "Географічна інформація (Geographic Information) - інформація про об'єкти та явища, які безпосередньо або опосередковано пов'язані з певним місцеположенням відносно Землі" [19, (4.16)]. Іншими словами, географічна інформація – це інформація про об'єкти, системи об'єктів, явища і процеси реального світу, які мають або можуть мати просторову прив'язку в реальному просторі Землі.

У роботі [13] наводиться таке пояснення: географічна інформація – це інформація про ділянки поверхні Землі, знання відносно того, де знаходиться щось, знання відносно того, що є в даному місці. Географічна інформація має відношення до Землі, її двовимірної поверхні, її тривимірного простору.

У формалізованому вигляді географічна інформація представляється географічними даними. Географічні дані є єдністю двох компонентів - геопросторового і тематичного.

- Геопросторовий компонент є визначальний поняття "Географічна інформація". Він характеризує локальні властивості земного простору – місце розташування, форму, розміри, просторові відношення макрооб'єктів Землі. Просторовий компонент має два ключові аспекти: абсолютне місце розташування, яке визначається системою координат, і топологічні відношення до інших сутностей.
- Тематичний компонент: це змінні або атрибути, які можуть бути вивчені, розглядаючи тематичний аспект, аспект місця розташування або обоє аспекти.

Термін "геопросторові дані" (Geospatial Data) введений в офіційну мову в 1994 р. за документом [10], підписаним президентом У. Клінтоном.

1.3.2 Що є Геоінформаційні технології?

Геоінформаційні технології (Geographic Information Technologies) – це сукупність методів і прийомів для збору і обробки географічної інформації. У роботах [13], [20], [21] виділено три головні типи геоінформаційних технологій:

- *Технології власне геоінформаційних систем* (Geographic Information Technologies) – це технології введення, інтеграції, зберігання, обробки, аналізу, моделювання і візуалізації географічної інформації.
- *Технології дистанційного зондування Землі* (Remote Sensing - RS) – це технології здобуття інформації про поверхню Землі і середовища за допомогою використання орбітальних супутників Землі. Сигнали, передані до приймачів на Землі, перетворюються в цифрові зображення для вивчення, обробки і інтерпретації.
- *Технології позиціонування* (Global Positioning System – GPS) – це технології визначення місця розташування на Землі, обробки даних інтегрованих в середу геоінформаційних систем засобами

глобальних навігаційних систем, комбінованими засобами глобальних навігаційних систем і засобами електронних геодезичних вимірів.

Обробка даних дистанційного зондування Землі і даних позиціонування виконується інтегрованими в ГІС засобами, що дає підставу відносити ці технології до геоінформаційних технологій.

1.3.3 Що є Географічна інформаційна система?

Серед багатьох визначень Географічної інформаційної системи (Geographic Information System - GIS) базовими визначеннями, побудованими вельми авторитетними фахівцями в ГІС-співтоваристві, даються наступні визначення:

- 1) "Are two distinct meanings of the question "is this a GIS?":
 - a) GIS is a real application, including the hardware, data, software and people needed to solve a problem (a GIS application).
 - b) GIS is a type of software sold by a software developer (compare Microsoft Word).Were will focus on #1 first" [12, Michael F. Goodchild]
- 2) "Like the field of geography, the term Geographic Information System (GIS) is hard to define. It represents the integration of many subject areas. Accordingly there us no absolutely agreed upon definition of a GIS" [11, Michael N. DeMers].
- 3) "A broadly accepted definition of GIS is: a GIS is a system of hardware, software and procedures to facilitate the management, manipulation, analysis, modelling, representation and display of georeferenced data to solve complex problems regarding planning and management of resources" [13, National Centre of Geographic Information and Analysis]
- 4) "Географічна інформаційна система - інформаційна система, що опрацьовує інформацію про об'єкти та явища, які пов'язані з певним місцеположенням відносно Землі". [19, п. 4.18]

На підставі розгляду цих та ряду інших відомих визначень, виділення в них загальних компонентів, у попередньому розділі представлено системне визначення, яке відповідає найбільш поширеному розумінню цієї області:

Географічна інформаційна система, ГІС (Geographic Information System, GIS) – це система, яка:

по-перше, є сукупністю п'яти компонентів, які взаємно

діють, - комп'ютерних засобів, програмного забезпечення, географічних даних, регламенту і користувачів;

по-друге, виконує функції введення, інтеграції, зберігання, обробки, аналізу, моделювання і візуалізації географічної інформації.

1.3.4 Що є геоінформаційною наукою?

Роботи Консорціуму 65 університетів для географічної інформаційної науки (University Consortium for Geographic Information Science, UCGIS) [22], Девіда М.Марка [20], Національного центру географічної інформації і аналізу [13], Університету штату Каліфорнія [23], В.П.Савіних [24]. дозволяють зробити наступне визначення геоінформаційної науки.

Геоінформаційна наука (Geographic Information Science, GI Science) – це область досліджень, направлених на розвиток і використання теорії, методів, технологій і даних для розуміння географічних процесів, відношень і структур, просторово-часових змін на Землі в контексті географічних інформаційних систем.

Геоінформаційну науку визначають:

- *об'єкт вивчення* - географічні системи, відношення, розподіли і структури, просторово-часові зміни об'єктів і явищ реального світу;
- *предмет вивчення* - просторові теорії, методи і технології, використовувані в контексті географічних інформаційних систем;
- *методологія вивчення* - методологія міждисциплінарного дослідження, заснована на використанні методів інформатики і геоінформаційного моделювання об'єктів і явищ реального світу.

Області дослідження і розробки геоінформаційної науки, згідно [13], наступні.

- 1) Проблеми подання систем, процесів і явищ Земного простору:
 - поверхня Землі - безконечний континуум;
 - які критерії можуть використовуватися для вибору подання?
- 2) Проблеми оцінки подання:
 - як вимірювати точність подання;
 - як вимірювати те, що є відсутнім, те, що є невизначеністю;
 - як виражати їх способами, які є значущими для споживача, як описувати, як візуалізувати, як моделювати?
- 3) Проблеми відносно відношень між поданням і користувачем:
 - як люди усвідомлюють світ;
 - як комп'ютерні подання можуть зробити більше, ніж мислення

- Людини;
 - як люди міркують, визнають, зв'язують відносно географічного світу;
 - який вихід від ГІС можна зробити зрозумілішим?
- 4) Проблеми визначення неявних структур, розподілів, взаємозв'язків:
 - проблеми відносно відображення географічних даних;
 - які методи відображення ефективні для тлумачення географічних даних;
 - як наука картографія може бути розширена за допомогою використання переваг цифрового середовища;
 - які базисні властивості відображення визначає його успіх?
- 5) Проблеми відносно аналітичних інструментальних засобів:
 - яка природа людської просторової інтуїції, і як вона може бути розширена інструментальними засобами ГІС;
 - які методи аналізу необхідні, щоб підтримати певних типів рішень, зроблених з використанням ГІС;
 - як методи аналізу можуть бути представлені, щоб користувачі могли ефективно вибирати між ними?
- 6) Проблеми відносно моделей даних і структур:
 - як зберігати подання ефективно;
 - як швидко відшукувати інформацію через відповідну індексацію;
 - як досягти взаємодії між системами?

1.3.5 Що є геоінформаційною освітою?

Сукупність знань ГІСіТ, яка детально подання в роботі [25] Консорціуму університетів для географічної інформаційної науки (UCGIS), містить наступні компоненти.

- 1) Аналітичні методи:
 - академічні й аналітичні початки;
 - операції запитів і мова запитів;
 - геометричні виміри;
 - базисні аналітичні операції;
 - базисні аналітичні методи;
 - аналіз поверхонь;
 - просторові статистики;
 - геостатистики;
 - просторова регресія і економетрія;

- збір даних;
 - мережевий аналіз;
 - оптимізація і моделювання місця-розподілу.
- 2) Концептуальні підстави:
- філософські підстави;
 - когнітивні і соціальні підстави;
 - домени географічної інформації;
 - елементи географічної інформації;
 - відношення;
 - неоднорідності в географічній інформації.
- 3) Картографія і візуалізація:
- історія і тенденції;
 - розгляд даних;
 - принципи картографічного дизайну;
 - техніка графічного представлення;
 - картографічна продукція;
 - використання і оцінки карт.
- 4) Аспекти проектування:
- область системного проектування ГІСіТ;
 - визначення проекту;
 - ресурси планування;
 - розробка бази даних;
 - планування аналізу;
 - планування застосувань;
 - підстеми впровадження.
- 5) Моделювання даних:
- основні структури зберігання і пошуку;
 - системи управління базами даних;
 - мозаїчні моделі даних;
 - векторні і об'єктні моделі даних;
 - 3D-моделювання неточних і тимчасових явищ.
- 6) Обробка даних:
- подання трансформацій;
 - генералізація і агрегація;
 - управління транзакціями.
- 7) Георозрахування:
- поява георозрахувань;
 - аспекти обчислень і нейрообчислення;
 - клітинні автомати (КА);
 - евристики;
 - генетичні алгоритми;

- агентные моделі;
 - імітаційне моделювання;
 - невизначеність;
 - нечіткі множини.
- 8) Геопросторові дані:
- геометрія Землі;
 - системи розділення землі;
 - геореференційні системи;
 - дати;
 - картографічні проекції;
 - якість даних;
 - геодезична зйомка і GPS;
 - оцифрування;
 - збір польових даних;
 - аерофотоізображення і фотограмметрія;
 - дистанційне зондування з супутника і з борту судна;
 - метадані, стандарти і інфраструктури.
- 9) ГІСіТ і суспільство:
- правові аспекти;
 - економічні аспекти;
 - використання геопросторової інформації;
 - геопросторова інформація як власність;
 - поширення геопросторової інформації;
 - етичні аспекти;
 - критичні ГІС.
- 10) Організаційні й інституційні аспекти:
- початки ГІСіТ;
 - управління геоінформаційними системами і інфраструктурою;
 - організаційні структури й процедури;
 - теми трудових ресурсів ГІСіТ;
 - інституційні і міжінституційні аспекти;
 - організація координування.

Більш детальніша сукупність знань подана в роботі [25]. Це вичерпний перелік компонентів знань, який повинен визначати ГІС-освіту і бути в основі визначення вмісту ГІС-освіти.

Залежно від обсягу знань GIS Educator ESRI розрізняє наступні рівні ГІС-освіти, подані на рис. 1.3.1.

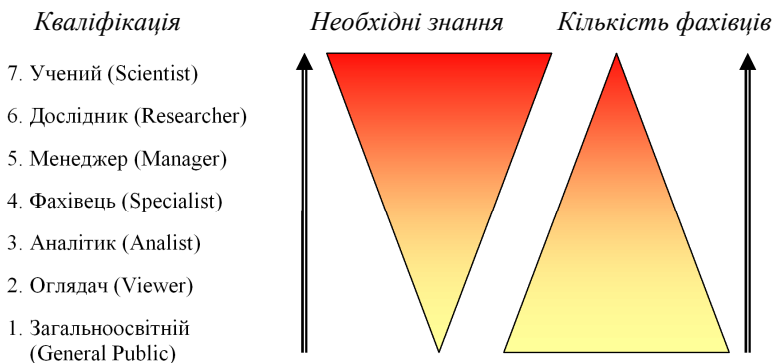


Рис. 1.3.1 – Рівні ГІС освіти

1.3.6 Що є Геоінформатика?

У роботах А.В. Кошкарева і В.С. Тікунова [15, 16], А.М. Берлянта [26] дане наступне визначення геоінформатики:

Геоінформатика (Geoinformatics) - науково-технічний комплекс, що об'єднує однойменну галузь наукового знання, технологію і прикладну (виробничу) діяльність, які пов'язані із збором, зберіганням, обробкою і відображенням просторових (географічних) даних, а також з проектуванням, створенням і експлуатацією ГІС.

1.3.7 Контрольні питання і завдання для самостійної роботи

- 1) Що є "географічна інформація", "географічні дані"?
- 2) Наведіть визначення понять "географічні інформаційні системи", "геоінформаційні технології", "геоінформаційна наука".
- 3) Який має бути зміст геоінформаційної освіти?
- 4) У чому полягає відмінність між поняттями "географічні інформаційні системи" і "геоінформатика"?

Частина 2

**КОМП'ЮТЕРНІ МОДЕЛІ
ГЕОГРАФІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ**

Розділ 2.1

ГЕОГРАФІЧНІ ОБ'ЄКТИ

2.1.1 Простір і час

Виділення об'єкта і предмета пізнання будь-якої науки спирається на систему найбільш загальних понять і законів. Для геоінформаційної науки фундаментом вирішення цієї проблеми може бути філософська категорія простору-часу. Простір і час існують не окремо, а разом, утворюючи безперервне різноманіття - просторово-часовий континуум. Простір є єдиною формою існування матерії [3, с. 541-542].

- Простір - це форма співіснування матеріальних речей і явищ.
- Час - це форма вираження змінюваності стану матеріальних об'єктів і явищ.

Таким чином, кожна річ, кожен матеріальний об'єкт знаходяться не у просторі та часі, як завжди говорять, а є частиною, "шматком" деякої області простору-часу.

Категорія простору характеризується певними властивостями.

- Властивості загальні для простору й часу: абсолютність, безмежність, нескінченність, зв'язність, безперервність, об'єктивність.
- Властивості специфічні для простору: а) загальні - протяжність, не спрямованість, тривимірність, структурність; б) локальні - форма, розміри, місце розташування, розподіл речовини, розподіл поля, симетрія і асиметрія.
- Властивості специфічні для часу: а) загальні - тривалість, спрямованість, одновимірність, послідовність, б) локальні - періоди, моменти, одночасність, ритм, швидкість, асиметрія.

Розрізняють також властивості метричні (пов'язані з вимірами) і топологічні (зв'язність, безперервність).

2.1.2 Визначення географічних об'єктів

Географічні інформаційні системи моделюють реальний простір земної поверхні, який називають географічним простором. Географічний простір є безперервною різноманітною частин

реального земного простору - континуумом різних географічних об'єктів. Між об'єктами формується складна система відношень, що розвиваються в часі.

Географічні об'єкти – це сутності географічного простору (об'єкти, явища, процеси макросвіту), які мають або можуть мати просторову прив'язку (локалізацію) в реальному земному просторі. Згідно ISO 19101 географічний об'єкт (Feature) – це абстракція реального світу. Географічний об'єкт – це засіб моделювання об'єкта реального світу. Термін "географічний" асоціюється тут з характеристикою просторовості.

Приклади географічних об'єктів: будівля, людина, щільність населення, дерево, ліс, область зараження, промислова зона, кордон, дорожньо-транспортний випадок, зона шуму, ґрунти, дохід, мікрорайон, інженерні комунікації, дорога, річка, адміністративно-територіальна одиниця, земельна ділянка...

2.1.3 Види географічних об'єктів

За способом декомпозиції земного простору розрізняють наступні види географічних об'єктів: дискретні географічні об'єкти, безперервні явища, об'єкти, узагальнені за площею.

Дискретні географічні об'єкти – це окремі відмежовані макротіла реального земного простору. У будь-якому місці земного простору дискретні географічні об'єкти можуть знаходитися або бути відсутніми. Наприклад, колодязі, ДТП, дороги, трубопроводи, будівлі, квартали, зони.

Безперервні явища (поля) характеризують територію в цілому, а не окремі об'єкти. Наприклад: поверхні, осідання, температура можуть вимірюватися в будь-якому місці території і характеризувати її в цілому. Безперервність явищ виявляється в тому, що неможливо вказати проміжки на площі поширення явищ, в яких би вони були відсутні. Не дивлячись на те, що дані міняються безперервно, межами вказують дискретну зміну величини в певних межах (наприклад, типи ґрунтів). Безперервні об'єкти заповнюють всю модельовану поверхню, "пронизуючи" один одного, їх можна трактувати як властивості простору або самої модельованої поверхні.

Об'єкти, узагальнені за площею, відображують узагальнену характеристику або концентрацію окремих об'єктів в межах даної області. Статистичні показники узагальнюються для певної території. Узагальнені показники характерні для адміністративних районів,

поштових відділень, підрайонів міліції. Приклад об'єктів, узагальнених за площею: округи за кількістю будинків, щільність вулично-дорожньої мережі, населення житлових кварталів.

За структурою географічні об'єкти підрозділяються на елементарні (прості), складені і складні.

- Елементарний об'єкт не має складових частин (наприклад, окрема будівля).
- Складений об'єкт утворюється групою інших об'єктів з певним (направленим) порядком їх дотримання при утворенні визначуваного об'єкта (наприклад, окрема будівля, що складається з частин).
- Складний об'єкт утворюється групою інших об'єктів (елементарних, складених, складних), порядок дотримання яких при утворенні визначуваного об'єкта не фіксований (наприклад, ансамбль будівель).

За формою існування географічні об'єкти підрозділяються на матеріальні (реальні) й абстрактні (віртуальні).

- Реально існуючі географічні об'єкти, явища і події можуть сприйматися або безпосередньо, за допомогою органів чуття, або опосередковано, із застосуванням приладів.
- Віртуальні об'єкти можуть не існувати в реальності, але бути такими, що відображуються. До них відносяться об'єкти, що існували в минулому, існування яких передбачається в майбутньому і уявні. Уявними об'єктами є кордони, червоні лінії, горизонталі і т. п.

2.1.4 Способи локалізації географічних об'єктів

Локалізація – це засіб вказівки місця розташування на Землі. Локалізація можлива за допомогою координат, вказівки адреси, вказівки району.

Локалізація за допомогою координат є найбільш точною. Можуть бути використані географічні координати (широта, довгота) або декартові координати проектування на площину (абсциса, ордината).

Табл. 2.1.1 - Приклад локалізації міст за допомогою географічних координат

Назва міста	Широта	Довгота	Кількість жителів
Лондон	51 пн	0	5000
Цюрих	47 пн	8 с	300
Лейпціг	51 пн	12 с	700
Мадрид	40 пн	4 с	3000
Харків	49 пн	36 с	1500

Локалізація за допомогою вказівки району поширена в повсякденному житті. Для однозначної локалізації район повинен мати певні межі. Райони з розмитими межами, наприклад, селища, що історично склалися, або території поблизу об'єктів, не мають точної прив'язки.

Табл. 2.1.2 - Приклад локалізації купівлі-продажу квартир вказівкою району

Назва району	Кімнат	Площа	Поверх	Поверхів	Ціна
Півн. Салтівка	1	17,5	6	9	5400
Алексеївка	1	17,5	10	12	6500
Павлово поле	1	17,5	5	5	7200
Район ХТЗ	1	17,5	3	12	6000
Район ХТЗ	2	27	3	4	8500
Павлово поле	2	30	3	5	9500
Півн. Салтівка	2	28	9	9	8050
Нові будинки	2	31	2	5	8000

Локалізація за допомогою вказівки адреси найбільш поширена текстова форма.

Таблиця. 2.1.3 - Приклад локалізації об'єкта за допомогою вказівки адреси об'єкта

Об'єкт	Адреса
Міськвиконком	М-н. Конституції, 7
Академія	Вул. Революції, 12
Іванов І.І.	Вул. Пушкінська, 36, кв.18

2.1.5 Контрольні питання і завдання для самостійної роботи

- 1) Що таке географічні об'єкти?
- 2) Які розрізняють види географічних об'єктів?
- 3) Наведіть характеристики способів локалізації географічних об'єктів?

Розділ 2.2

ГЕОГРАФІЧНІ ДАНІ

2.2.1 Поняття "інформація" і "дані"

Інформація

Інформація як концепція має різноманіття значень від щоденного використання до технічного вживання. В більшості випадків концепція інформації тісно пов'язана з поняттями обмежень, комунікацій, управління, даних, моделей, інструкцій, знань, значень, інтелектуальних дій, структур, сприйняття і представлення.

Існує дві концепції розуміння інформації.

Фізична концепція. Інформація – це фундаментальна категорія, тобто така ж основа всесвіту, як і речовина, енергія. Відоме вираження Н. Віннера, засновника теорії інформації: "Інформація є інформація, а не речовина або енергія". Таким чином, Світ складається з речовини, енергії і інформації.

Комунікативна концепція. Інформація – все те, що може бути повідомлене. Комунікативній концепції розрізняють два види інформації:

- існуюча інформація – відомості, які можна повідомити про який-небудь об'єкт, явище;
- передавана інформація – повідомлення по каналу інформації.

Дані

Термін "Дані" походить від латинського Datum – факт (англ. Data – дані). Дані – це сукупність фактів, представлених у формалізованому вигляді (у кількісному або якісному вираженні).

Дані відповідають дискретним зареєстрованим фактам відносно явищ. Дані відносяться до інформації або фактів зазвичай зібраним як результат досвіду, спостережень або експерименту або процесів в комп'ютерних системах або припущення. Дані можуть складатися з чисел, слів, або зображень, особливо як результати вимірів або спостережень множин змінних. Дані часто представляють як нижній рівень абстракції, від якого отримують інформацію і знання. У результаті обробки даних ми отримуємо інформацію про реальний

світ.

Поняття "дані" має ряд аспектів [27]:

- Дані можуть бути первинними, такими, що об'єктивно відповідають на реальному світі предметам або умовам незалежно від способу фіксації і інтерпретації людиною. Наприклад, одне дерево вище за інше, або річка тече у напрямі сходу Сонця незалежно від того, чи спостерігає їх людина.
- Дані можуть бути зафіксовані тим або іншим способом, що не включає інтерпретацію, наприклад, записані на магнітному носіїві електронним датчиком, як сейсмічні сигнали, або на фотоплівку, як фотографії ландшафту.
- Дані можуть бути накопичені певним чином, наприклад, у вигляді паперової карти з певною легендою, у вигляді набору чисел - координат точок виміру глибин водного об'єкта і самих виміряних глибин.
- Дані можуть бути інтерпретовані людиною безпосередньо в процесі їх фіксації, наприклад, польова зарисовка рельєфу, зроблена геодезистом, словесний опис оголення гірських порід в польовому щоденнику геолога.
- Дані можуть бути структуровані і організовані певним чином, наприклад, у вигляді таблиць в результатах перепису населення, або у вигляді просторової бази даних під управлінням географічної інформаційної системи.

Співвідношення понять інформація, дані і знання

Дані ми можемо корисно використовувати, і тим самим збільшити наше знання про яке-небудь явище або предмет реального світу [27]. Якщо ми маємо в нашій базі даних множину якихось чисел і не озброєні знанням того, що це за числа, до чого відносяться, які величини представляють і для чого призначені, то ці числа не є для нас корисною інформацією. Проте, ці незрозумілі цифри, що зберігаються в базі даних, теж є даними.

Інформація витягується з них тільки з додатком нашого мислення або інтуїції, що базуються на деяких знаннях про предмет. Наприклад, в базі даних є деякі пари чисел. Тільки знання того, що ці числа є картографічними координатами, розуміння того, що таке взагалі система координат, що таке картографічні проекції і про яку картографічну проекцію йде мова в даному випадку, як організована система координат в даній проекції - як направлені її осі, де розташований початок координат, і, нарешті, які масштаби по осях і в

яких одиницях представлені дані нам значення координат, дозволяють додати сенс цим числам. Тільки знаючи все перераховане, ми можемо сказати, що дані, представлені цими числами, є інформацією про географічне положення якихось об'єктів.

Так, щоб витягувати корисну інформацію з окремо взятих даних, що не знаходяться в якому-небудь смисловому контексті, необхідна деяка додаткова інформація особливого, структурного плану, що допомагає інтерпретувати нові дані і ввести їх в загальну систему знань про навколишній світ.

Інакше кажучи, дані, поки ми не маємо інформації про те, як вони пов'язані з системою знань, в цю систему не входять і не є корисною інформацією. Як тільки ми залучаємо зведення про структуру їх зв'язку з існуючою системою знань, вони виявляються зв'язаними з цією системою, стають її частиною і тим самим збільшують об'єм цієї системи знань, стають корисною інформацією. Таким чином, знання передбачають системність, структурованість інформації, забезпечуючи можливість опису не тільки властивостей, але і взаємозв'язків між явищами й об'єктами реального світу. Цінність даних зростає на шляху від роз'єднаних елементів даних до корисної інформації і до систематичних знань.

2.2.2 Географічна інформація і географічні дані

Географічна інформація (Geographic Information) – інформація про об'єкти і явища, які безпосередньо або опосередковано зв'язані з певним місцем розташування відносно Землі.

Географічні дані (Geographic Data) є єдністю геопросторових, семантичних і часових даних географічних об'єктів (рис. 2.2.1).

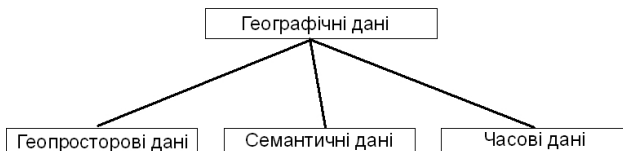


Рис. 2.2.1 - Склад географічних даних

Геопросторові дані – це дані про локальні просторові властивості: місце розташування, форму, розміри і просторові відношення географічних об'єктів, явищ, процесів в реальному земному просторі.

Просторові характеристики визначають положення об'єкта в заздалегідь визначеній системі координат. Традиційно пов'язують просторовий опис з координатними системами. Такого типа даних називають позиційним, оскільки він відображає ту частину інформації про об'єкти, яка визначає їх місце (позиціонує) розташування на земній поверхні або в деякій заданій системі координат. Основна вимога до просторового положення – точність.

Семантичні дані – це дані, якими описується змістовна, смислова інформація про географічні об'єкти, властивості географічних об'єктів. Властивість – це категорія, що виражає таку сторону об'єкта (сутності), яка обумовлює його відмінність або спільність з іншими об'єктами і виявляє себе при зіставленні різних об'єктів. Властивості типа об'єктів виділяють з множини всіх типів об'єктів підмножину об'єктів конкретного типа і є постійними для всіх об'єктів цього типа. Властивості різних об'єктів конкретного типа розрізняються своїми значеннями: так, наприклад, будівлі можуть мати різне число поверхів, матеріал споруди, призначення і тому подібне. Тематичний аспект обумовлений наявністю ознак визначеної тематики або предметної області. Це можуть бути економічні, статистичні, технічні, організаційні, управлінські та інші види даних. Вимогу до тематичних даних "повнота" означає, що цих даних вистачає для вирішення практичних завдань і немає необхідності проводити додатковий збір даних.

Часові дані фіксують час дослідження об'єкта і показують зміну властивостей об'єкта з часом. Основна вимога до часових даних - актуальність. Це означає, що актуальні дані можна використовувати для обробки. Неактуальні дані - це застарілі дані, які не можна повністю застосовувати в нових умовах, що змінилися.

У більшості геоінформаційних технологій для подання параметров часу і тематичній спрямованості використовують один клас даних - атрибути.

Географічна інформаційна система має бути здатна управляти спільно частинами географічних даних.

2.2.3 Атрибути просторових об'єктів

Властивості географічних об'єктів представляються в базах даних набором атрибутів. Атрибут (attribute) - синонім реквізиту - властивість, якісна або кількісна ознака, що характеризує просторовий об'єкт, і асоційований з його унікальним номером або

ідентифікатором. Набори значень атрибутів (attribute value) зазвичай представляються у формі таблиць реляційних баз даних. При цьому рядок (запис) представляє атрибути одного об'єкта, а стовпець (поле) - атрибути одного типа. Для впорядкування, зберігання і маніпулювання атрибутивними даними використовуються засоби систем управління базами даних (СУБД).

Для атрибутів найважливішою характеристикою є тип використаної шкали вимірів [11] [13]. Атрибути можуть бути категоризовані по шкалах виміру даних. Шкали виміру даних розділяються на шкали відношень, інтервальні, порядкові і номінальні. Загальноприйняте ділення шкал (і, відповідно, даних в цих шкалах) на якісні й кількісні. До кількісних відносять інтервальну (інтервалів) і раціональну (відношень) шкали, до якісних відносять шкали номінальну (найменувань) і ординальну (порядкову, рангову).

Дані відношень - дані, які представляють кількості в умовах рівних інтервалів і точки абсолютного нуля від початку. Представляються числами, які можуть бути перетворені або об'єднані з будь-якою математичною функцією, щоб генерувати значущі результати. Приклади: виміри характеристик типа віку, частоти, фізичних відстаней і грошових значень.

Інтервальні дані - дані, які представляють кількості в умовах рівних інтервалів або мір різниці, але чия нульова точка (або точка початку) довільно встановлена. Інтервальні значення даних і співвідношення значень даних дозволяють робити обчислення. Використовують для визначення кількості відмінностей, але не пропорцій і характеристик відносно положення у просторі, часу або розміру. Порівняння можуть робитися з точнішою оцінкою відмінностей, ніж в разі порядкових даних. Приклади: широти, довготи, напрями, часи дня, нормалізована множина.

Порядкові дані - дані, які визначають кількість відмінностей порядком, а не величиною. Розмір інтервалів не визначений. Використовуються там, де кількісні відмінності очевидні, коли величини представлені впорядкованим порядком. Приклади: відмінність типу "більша" або "менша", відмінність між "бідними", "помірними" і "хорошими" сільськогосподарськими землями (не дають жодних вказівок, наскільки точно кращий / гірший кожен тип, чим інший).

Номінальні дані - дані, які забезпечують ім'я або ідентифікатор, представляють якість, а не кількості. Об'єкти розрізняються по іменах. Система дозволяє робити вислови про те, як називається об'єкт, але не дозволяє робити прямого порівняння одного об'єкта і іншого, за

винятком визначення тотожності. Приклади: телефонні номери, поштові коду або типи дерев, тип покриття землі (1 = рілля, 2 = ліс, 3 = болото, 4 = забудована територія) це просто зручна форма іменування (номінального значення).

Окрім цього, атрибути можуть бути первинними (вимірними, введеними) і вторинними, розрахунковими, отриманими розрахунком із значень інших атрибутів. Окремий випадок таких розрахункових - це атрибути (звичайно просторові), які розраховуються виходячи з позиційних параметрів об'єктів (наприклад, периметр). Деяку властивість, безперервно розподілену в просторі, наприклад, на земній поверхні, зручно в математичному сенсі розглядати як поле (взагалі кажучи, різного вигляду - скалярного, векторного, тензорного, тривимірного або двовимірного, визначеного тільки на поверхні землі або з нею не зв'язаного).

2.2.4 Види комп'ютерних моделей географічних об'єктів

У ГІС географічні об'єкти можуть бути представлені наступними поширеними комп'ютерними моделями:

- *Векторні моделі* – це моделі географічних об'єктів на основі представлення векторів сукупностями координатних пар.
- *Растрові моделі* - це моделі географічних об'єктів у вигляді сукупності чарунок регулярної сітки або растру.
- *Триангуляційні моделі* - це моделі географічних об'єктів у вигляді мережі суміжних трикутників.

2.2.5 Контрольні питання і завдання для самостійної роботи

- 1) Яке співвідношення понять "інформація", "дані" й "знання"?
- 2) Що є "географічна інформація" і "географічні дані"?
- 3) Наведіть характеристику компонентів географічних даних.
- 4) Що розуміється під атрибутами просторових об'єктів?
- 5) Дайте характеристику різних шкал виміру атрибутів.

Розділ 2.3

ВЕКТОРНІ МОДЕЛІ ГЕОГРАФІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

2.3.1 Базові поняття картографічного подання географічних об'єктів

Карта – графічне подання географічних об'єктів. Карта – найбільш загальний метод, який використовують для подання просторової інформації. Це метод, з яким всі знайомі. Проте декілька ключових понять картографічного відображення складають основу розуміння того, як в ГІС подається географічна інформація.

Просторова інформація про географічні об'єкти подається на карті наборами елементарних графічних примітивів – точок, ліній, областей.

- Точками представляють такі географічні об'єкти, розмірами яких для конкретної мети можна нехтувати. Наприклад, колодязь підземної комунікації, опора лінії електропередачі, людина для демографічного вивчення ситуації, зупинки міського пасажирського транспорту для вивчення транспортного обслуговування.
- Лініями представляють такі географічні об'єкти, які є настільки вузькими, що мають довжину, але не мають площі. Наприклад, дороги, водні потоки, інженерні комунікації, кордони.
- Областями (замкнутими усередині полігону фігурами) представляють такі географічні об'єкти, які мають форму, місце розташування і площу. Наприклад, будівля, квартал, проїжджа частина вулиці.

Семантичну інформацію на картах передають умовними знаками (символами і кольором) і написами (наприклад, назва вулиці, поверховість будинку). Не зважаючи на велику різноманітність використовуваних умовних знаків і написів, насичення карт семантичною інформацією обмежене через відсутність вільного місця на карті для її відображення. Надзвичайна насиченість умовних знаків і написів приводить до втрати можливості сприйняття інформації з карти.

2.3.2 Прості векторні моделі географічних об'єктів

Вектор визначається як відрізок прямої, якому привласнений певний позитивний напрям. Вектор характеризують початок, кінець, довжина, напрям. Вектор може бути вільним і скованим. Операції над векторами: складання, віднімання, множення скалярне, множення векторне, множення змішане. Векторний апарат покладений в основу створення векторних моделей географічних об'єктів.

2.3.2.1 Прості векторні моделі одиничних географічних об'єктів

У ГІС подання географічних об'єктів [28] виконують за допомогою відображення їх геометричної форми на двовимірній площині з використанням елементарних графічних примітивів:

- точок (нуль-мірних векторів)
- ліній (поліліній, утворених плоскими двовимірними векторами)
- областей (форм, обмежених полігонами – замкнутою послідовністю двовимірних векторів); географічні об'єкти, що представляються областями, називають також полігональними об'єктами.

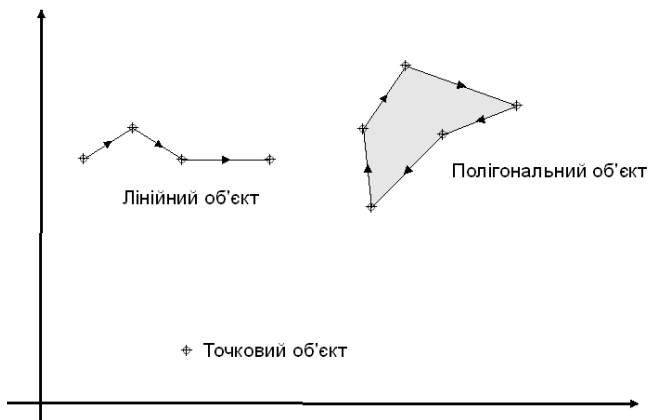


Рис. 2.3.1 - Векторні моделі подання одиничних географічних об'єктів

Кожне векторне утворення в цифровій формі подається координатними парами X,Y.

- Точковий географічний об'єкт представляється однією координатною парою X, Y .
- Лінійний географічний об'єкт представляється послідовністю координатних пар $X_1, Y_1; X_2, Y_2; X_3, Y_3; \dots$ сегментів полілінії.
- Полігональний географічний об'єкт представляється послідовністю координатних пар $X_1, Y_1; X_2, Y_2; X_3, Y_3; \dots; X_1, Y_1$. сегментів полігону. У цьому списку збіг першої і останньої пари координат означає, що полігон замкнутий.

2.3.2.2 Прості векторні моделі множини географічних об'єктів

При наявності географічних об'єктів числом 2 і більш кожному привласнюється номер.

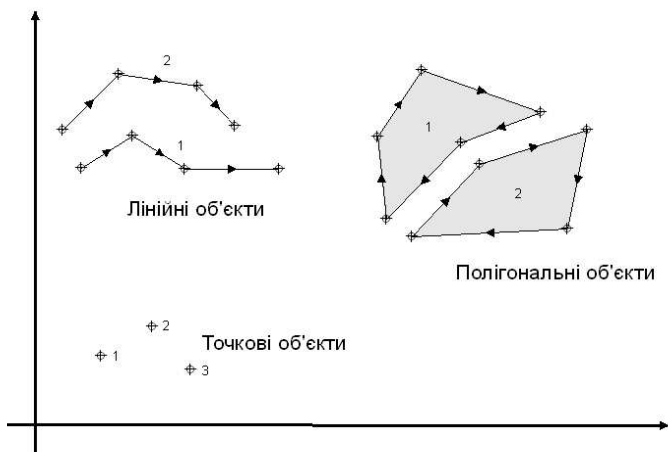


Рис. 2.3.2 - Векторні моделі подання множини географічних об'єктів

У цьому випадку послідовностям координатних пар привласнюється номер географічного об'єкта. Кожне векторне утворення в цифровій формі подається координатними парами X, Y .

Точкові географічні об'єкти подаються таблицею координатних пар (табл.2.3.1).

Таблиця 2.3.1 - Таблиця точкових географічних об'єктів

Номер географічного об'єкта	Координатні пари
1	X_1, Y_1
2	X_2, Y_2
3	X_3, Y_3
4	X_4, Y_4
5	X_5, Y_5

Лінійні географічні об'єкти представляються таблицею послідовностей координатних пар (табл.2.3.2).

Таблиця 2.3.2 - Таблиця лінійних географічних об'єктів

Номер географічного об'єкта	Координатні пари
1	$X_{11}, Y_{11}, X_{12}, Y_{12}, X_{13}, Y_{13}$
2	$X_{21}, Y_{21}, X_{22}, Y_{22}, X_{23}, Y_{23}, X_{24}, Y_{24}, X_{25}, Y_{25}$
3	$X_{31}, Y_{31}, X_{32}, Y_{32}, X_{33}, Y_{33}, X_{34}, Y_{34}$

Полігональні географічні об'єкти представляються таблицею послідовностей координатних пар (табл.2.3.3)

Таблиця 2.3.3 - Таблиця полігональних географічних об'єктів

Номер географічного об'єкта	Координатні пари
1	$X_{11}, Y_{11}, X_{12}, Y_{12}, X_{13}, Y_{13}, X_{11}, Y_{11}$
2	$X_{21}, Y_{21}, X_{22}, Y_{22}, X_{23}, Y_{23}, X_{24}, Y_{24}, X_{25}, Y_{25}, X_{21}, Y_{21}$
3	$X_{31}, Y_{31}, X_{32}, Y_{32}, X_{33}, Y_{33}, X_{34}, Y_{34}, X_{31}, Y_{31}$
4	$X_{41}, Y_{41}, X_{42}, Y_{42}, X_{43}, Y_{43}, X_{41}, Y_{41}$

У ГІС для формування векторних моделей використовують такі координати, які представляють місце розташування географічних об'єктів в реальному земному просторі: географічні координати на

сфероїді (широта, довгота) або декартові координати на площині (абсциса, ордината), отримані в певній картографічній проекції.

Концептуально тут те, що географічні об'єкти в комп'ютері зберігаються як файли координатних пар, як набори цифр, тобто в цифровій формі. Табличні списки координатних пар є форма представлення плоских цифрових файлів.

Створення векторних файлів можливе 1) шляхом введення координат з клавіатури, 2) в результаті процесу оцифрування або "дигіталізації" (від англ. Digit - цифра), тобто трансформації аналогової інформації графічних об'єктів карти в цифрову форму.

2.3.3 Топологічні векторні моделі географічних об'єктів

Для вивчення цього питання необхідно заздалегідь розглянути базові поняття "Граф", "Просторові відношення", "Топологія".

2.3.3.1 Поняття "Граф"

Подання географічних об'єктів простими векторними моделями у вигляді списків координатних пар дозволяє утворювати складні об'єкти у вигляді комбінації елементарних об'єктів – точок, ліній, полігонів. Проте подання суміжних полігонів простими векторними моделями стає не ефективним тому, що сторони, загальні для двох суміжних полігонів, зберігаються двічі.

Ефективніший спосіб зберігання даних заснований на понятті "Граф" з теорії графів (розділу дискретної математики).

Граф - є множина елементів, зв'язаних між собою відношеннями. Геометрично граф подається у формі векторної схеми, що складається з вершин, вузлів, ребер, дуг.

- *Вершина* (англ. Vertex) – це об'єкт графа. Вершини представляють точками.
- *Ребро* (англ. Edge) – це лінія, що зв'язує точки (об'єкти графа). Ребра представляють відношення між об'єктами.
- *Дуга* (англ. Arc) – це ребро з певною орієнтацією відносно її кінцевих вершин.
- *Вузол* (англ. Node) – це вершина, загальна для двох і більшого числа дуг. У вузлах сходяться дуги.

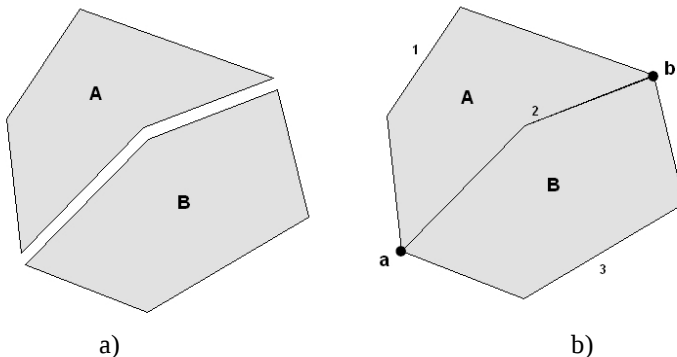


Рис. 2.3.3 - Векторне представлення суміжних полігонів: а) просте
б) на основі структури "граф"

На рис. відображені два альтернативні методи для подання полігонів.

- Перший метод (рис. 2.3.3 а) описує полігон як замкнуту послідовність векторів, представлену списком координат.
- Другий метод (рис. 2.3.3 б) описує полігон як набір дуг (1,2,3) і вузлів (a,b). Полігон А визначають дуги 1,2. Полігон У визначають дуги 2,3.

У першому випадку координати точок суміжних ліній повторюються. У другому випадку загальну межу суміжних полігонів представляє дуга 2, координати якої використовуються один раз при описі дуги.

2.3.3.2 Поняття "Просторові відношення"

Просторові відношення – це одна з фундаментальних властивостей простору. Просторові відношення – це такі відношення, за допомогою яких описують просторові взаємозв'язки об'єктів. Існує велика кількість видів просторових відношень. Приклади видів просторових відношень: знаходитися близько, далеко, стикатися, знаходитися усередині, зовні, перетинатися, примикати, знаходитися вище, нижче, лівіше, правіше.

На певній території існує величезна множина просторових відношень. Про кількість просторових відношень на карті говорить наступний факт. У 1 кв. дм. карти масштабу 1:10000 при дискретизації 0,1 мм. міститься порядку 10^{70} – 10^{80} різних просторових відношень

(порядку, еквівалентності, відмінності, схожості). Для порівняння, маса планети Земля складає 10^{23} грам.

На картах просторові відношення представлені неявно, приховано. Просторові відношення сприймаються, оцінюються, інтерпретуються тим, хто читає карту. Об'єм сприйняття інформації залежить від підготовки, кваліфікації суб'єкта. Можна оцінити, наприклад, які об'єкти знаходяться поблизу дороги, чи перетинаються дві магістралі, які найбільш високі місця, який найкоротший маршрут, і так далі.

Просторові відношення сприймаються як безпосередньо, так і опосередковано. В будь-якому разі величезний об'єм інформації, що міститься на картах, залишається незатребуваним.

2.3.3.3 Поняття "Топологія"

Топологія – це розділ математики, що вивчає ідею безперервності. Безперервність – це одна з фундаментальних властивостей категорії простору-часу. Топологія вивчає просторові відношення, які не змінюються при будь-яких безперервних перетвореннях простору. Топологія реалізується математичною процедурою явного визначення просторових відношень.

У ГІС реалізовано три базові топологічні відношення дуг (Arc):

1. Дуги, які з'єднуються в полігон, оточують область;
2. Дуги, що мають напрям, мають праві і ліві сторони.
3. Дуги з'єднуються у вузлах;

У ГІС топологія реалізується на основі оригінальної і простої ідеї: різні типи просторових відношень представляються зв'язаними списками об'єктів. На цій основі в ГІС [28] формалізована топологічна група просторових відношень, які не змінюються при будь-яких безперервних перетвореннях простору:

1. *Область* (Area) – визначається дугами, що з'єднуються в полігон для оточення області.
2. *Суміжність* (Contiguity) – визначається дугами, що мають напрям і тому мають праву й ліву сторони.
3. *Зв'язність* (Connectivity) – визначається дугами, які з'єднуються у вузлах.

Створення і зберігання моделей географічних об'єктів на основі просторових відношень має ряд переваг:

- дані зберігаються ефективніше;
- дані можна обробляти швидше і великими наборами;
- топологія полегшує аналітичні функції.

2.3.3.4 Топологічне представлення області

Топологічне представлення області розглянемо на прикладі карти областей (рис. 2.3.4)

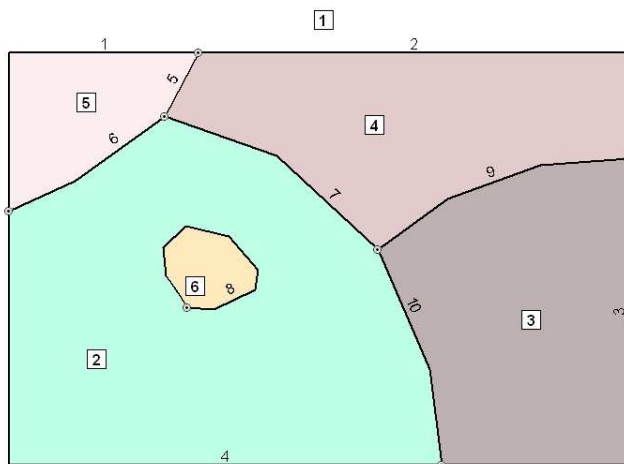


Рис. 2.3.4 Карта областей – полігональних об'єктів

На карті:

- полігон 1 – зовнішній полігон;
- полігон 2 охоплюють дуги 4,6,7,10,8;
- полігон 3 охоплюють дуги 3,9,10;
- полігон 4 охоплюють дуги 2,7,9;
- полігон 5 охоплюють дуги 1,5,6;
- полігон 6 охоплює дуга 8.

У ГІС топологічне представлення області реалізується списком "Полігон – Дуга" і пов'язаним з ним списком "Координати дуг".

Таблиця 2.3.4 - Список
"Полігон – Дуга"

Полігон	Дуга
1	1,2,3,4,0
2	4,6,7,10,0,8
3	3,9,10
4	2,7,9
5	1,5,6
6	8

Таблиця 2.3.5 - Список
"Координати дуг"

Дуга	Координати вершин
1	$X_{11}, Y_{11}, X_{12}, Y_{12}, X_{13}, Y_{13}$
2	$X_{13}, Y_{13}, X_{21}, Y_{21}, X_{22}, Y_{22}$
3	$X_{22}, Y_{22}, X_{31}, Y_{31}, X_{32}, Y_{32}$
4	$X_{33}, Y_{33}, X_{41}, Y_{41}, X_{11}, Y_{11}$
5	$X_{15}, Y_{15}, \dots, X_{13}, Y_{13}$
6	$X_{15}, Y_{15}, \dots, X_{11}, Y_{11}$
7	$X_{71}, Y_{71}, \dots, X_{15}, Y_{15}$
8	$X_{81}, Y_{81}, \dots, X_{88}, Y_{88}$
9	$X_{71}, Y_{71}, \dots, X_{22}, Y_{22}$
10	$X_{71}, Y_{71}, \dots, X_{32}, Y_{32}$

У списку "Полігон – Дуга" полігон 2 описаний дугами 4,6,7,10,0,8, де 0 перед дугою 8 вказує, що ця дуга створює острів (діру) в полігоні 2.

У списку "Полігон – Дуга" дуги можуть з'являтися два рази, в списку координат дуг – один раз.

Кінцевими вершинами дуг є вузли. Вузол двох і більшого числа дуг повинен мати в списку одні координати.

Таким чином, топологічний опис області реалізується у цифровій формі двома зв'язаними списками.

2.3.3.5 Топологічне представлення суміжності

Топологічне представлення суміжності розглянемо на прикладі карти дуг (рис. 2.3.5)

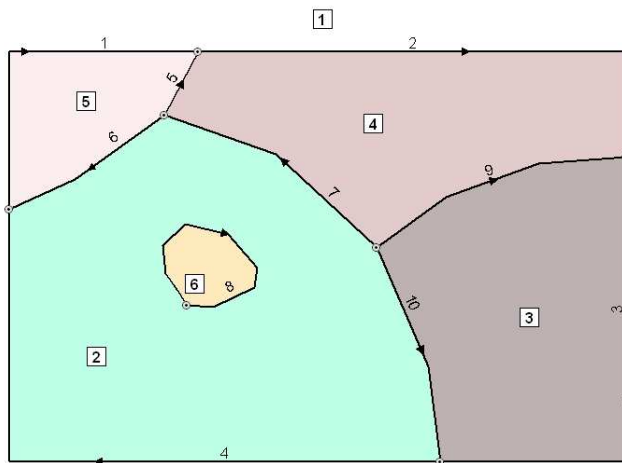


Рис. 2.3.5 - Карта дуг і полігонів

На карті

- зліва відносно дуги 5 знаходиться полігон 5, а справа – полігон 4;
- зліва відносно дуги 6 знаходиться полігон 2, а справа – полігон 5;
- зліва відносно дуги 1 знаходиться полігон 1, а справа – полігон 5;
- і так далі.

Зовні всіх полігонів знаходиться зовнішній полігон 1, названий полігоном Всесвіту. Він введений для одноманітного опису полігонів: кожна дуга повинна мати полігон зліва і полігон справа.

Топологічне відношення суміжності дозволяє ідентифікувати хто поруч. Наприклад: хто сусіди земельної ділянки? Ліс суміжний з озером?

Будь-які полігони, що спільно використовують загальну дугу, є суміжними. Оскільки дуга має напрям від вузла до вузла, можна підтримувати список полігонів з лівого і з правого боку.

У ГІС топологічне представлення суміжності реалізується списком "Полігон зліва-справа" і зв'язаним з ним списком "Координати дуг".

Таблиця 2.3.6 - Список
"Полігон зліва-справа"

Дуга	Полігон зліва	Полігон справа
1	1	5
2	1	4
3	1	3
4	1	2
5	5	4
6	2	5
7	2	4
8	2	6
9	4	3
10	3	2

Таблиця 2.3.7 - Список
"Координати дуг"

Дуга	Координати вершин
1	$X_{11}, Y_{11}, X_{12}, Y_{12}, X_{13}, Y_{13}$
2	$X_{13}, Y_{13}, X_{21}, Y_{21}, X_{22}, Y_{22}$
3	$X_{22}, Y_{22}, X_{31}, Y_{31}, X_{32}, Y_{32}$
4	$X_{33}, Y_{33}, X_{41}, Y_{41}, X_{11}, Y_{11}$
5	$X_{15}, Y_{15}, \dots, X_{13}, Y_{13}$
6	$X_{15}, Y_{15}, \dots, X_{11}, Y_{11}$
7	$X_{71}, Y_{71}, \dots, X_{15}, Y_{15}$
8	$X_{81}, Y_{81}, \dots, X_{88}, Y_{88}$
9	$X_{71}, Y_{71}, \dots, X_{22}, Y_{22}$
10	$X_{71}, Y_{71}, \dots, X_{32}, Y_{32}$

Таким чином, топологічний опис суміжності реалізується двома списками в цифровій формі.

2.3.3.6 Топологічне представлення зв'язності

Топологічне представлення зв'язності розглянемо на прикладі карти дуг (рис. 2.3.6)

Кінцеві точки дуги називаються "вузлами". Кожна дуга має два вузли: початковий, названий "від вузла", і кінцевий, названий "до вузла". Дуги можуть з'єднуватися тільки у вузлах.

На рис. 2.3.6:

- дуги 7,8,9,10 з'єднуються у вузлі 5;
- дуги 5,6,7 з'єднуються у вузлі 2;
- і т. д.

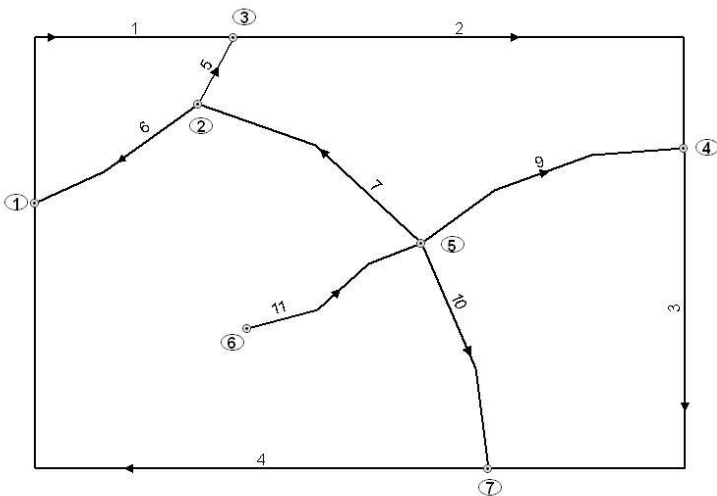


Рис. 2.3.6 - Карта дуг і вузлів

У ГІС топологічне представлення зв'язності реалізується списком "Дуга-вузол" і зв'язаним з ним списком координат дуг.

Таблиця 2.3.8 - Список
"Дуга-вузол"

Дуга	Від вузла	До вузла
1	1	3
2	3	4
3	4	7
4	7	1
5	2	3
6	2	1
7	5	2
8	8	8
9	5	4
10	5	7
11	6	5

Таблиця 2.3.9 - Список
"Координати дуг"

Дуга	Координати вершин
1	$X_{11}, Y_{11}, X_{12}, Y_{12}, X_{13}, Y_{13}$
2	$X_{13}, Y_{13}, X_{21}, Y_{21}, X_{22}, Y_{22}$
3	$X_{22}, Y_{22}, X_{31}, Y_{31}, X_{32}, Y_{32}$
4	$X_{33}, Y_{33}, X_{41}, Y_{41}, X_{41}, Y_{41}$
5	$X_{15}, Y_{15}, \dots, X_{13}, Y_{13}$
6	$X_{15}, Y_{15}, \dots, X_{11}, Y_{11}$
7	$X_{71}, Y_{71}, \dots, X_{15}, Y_{15}$
8	$X_{81}, Y_{81}, \dots, X_{88}, Y_{88}$
9	$X_{71}, Y_{71}, \dots, X_{22}, Y_{22}$
10	$X_{71}, Y_{71}, \dots, X_{32}, Y_{32}$
11	$X_{61}, Y_{61}, \dots, X_{71}, Y_{71}$

Таким чином, топологічний опис зв'язності в цифровій формі реалізується двома зв'язаними списками.

При дослідженні всіх дуг у списку "Дуга-вузол" програма визначає, які дуги з'єднуються (зв'язані) одна з одною.

Зв'язність ефективна для вирішення транспортних завдань. Наприклад, можна проїхати по дугах 6,7,10 через вузли 5,2, але не можна переїхати безпосередньо з дуги 6 на дугу 10, які не мають загального вузла.

2.3.3.7 Порівняння векторних моделей географічних об'єктів

Існує два основні типи векторних моделей географічних об'єктів: прості нетопологічні моделі (звану моделлю "spaghetti" через неупорядковані векторні об'єкти) і топологічні моделі.

Таблиця 2.3.10 - Порівняння векторних моделей географічних об'єктів

	Прості нетопологічні моделі (модель "spaghetti")	Топологічні моделі
1	Можливі незамкнуті полігони	Однозначне представлення області
2	Можлива відсутність зв'язності ліній	Дуги зв'язані через вузли
3	Неефективне зберігання даних	Ефективне зберігання даних
4	Відсутня можливість аналізу даних	Можливість аналізу даних

Таким чином, топологічні моделі володіють істотними перевагами в порівнянні з моделями "spaghetti".

2.3.4 Формати векторних даних

Векторні графічні формати даних подані в табл. 2.3.11.

Таблиця 2.3.11 - Векторні графічні формати даних

Найменування формату	Опис
DXF, DWG, DGN	Формати даних систем автоматизованого проектування (САПР)
DX90	Формат цифрових навігаційних карт
DLG	Формат даних геологічної зйомки США
DWF	Формат передачі графічних даних по Інтернету
F1M	Формат даних Роскартографії, призначений для обміну даними
GEN	Змінний формат ГІС-пакета ARC/INFO
SHP	Формат даних ГІС-пакета ArcView (шейп-файл), описується декількома файлами записів з розширеннями: .shp — позиційні дані; .shx — індекс форми просторових даних; .dbf — атрибутивні дані і ін.
TAB	Формат ГІС-пакета MapInfo; описується файлами з розширеннями: .tab — текстовий опис структури даних таблиць; .dat — табличні дані; .map — графічні об'єкти; .ID — список показників (індекс) на графічні об'єкти
MIF/MID	Змінний формат ГІС-пакета MapInfo
HPGL	Формат виводу на принтер або графічний пристрій
DMF	Формат пакета Digital

Серед векторних найбільше поширення в ГІС отримав формат DXF пакету AutoCad (Autodesk Inc.), який використовує для передачі графічної атрибутивної інформації формат DBF (dBase).

2.3.5 Резюме представлення географічних об'єктів векторними моделями

Узагальнена характеристика подання географічних об'єктів векторними моделями приведена в табл. 2.3.12.

Табл. 2.3.12 – Резюме представлення географічних об'єктів векторними моделями [29]

Фокус моделі	Векторні дані орієнтовані на моделювання дискретних просторових об'єктів з точним визначенням форм і меж.
Джерела даних	Компіляція матеріалів аерофотознімання, збір GPS визначень, оцифрування паперових карт, оцифрування по дисплею, векторизація растрових даних, обробка даних топографічних зйомок, імпорт з САД креслень.
Зберігання просторових даних	Точки зберігаються як координатні пари; Лінії - як послідовність координатних пар; Області – як замкнута послідовність координатних пар.
Представлення просторових об'єктів	Точками представляють такі географічні об'єкти, розмірами яких для конкретної мети можна нехтувати. Лініями представляють такі географічні об'єкти, які є настільки вузькими, що мають довжину, але не мають ширини. Областями представляють такі географічні об'єкти, які мають місце розташування, форму і площу.
Топологічні відношення	Топологія ліній спирається на принцип, за яким лінії зв'язуються у вузлах. Топологія полігонів спирається на принцип, по якому полігони знаходяться зліва і праворуч від лінії.
Геопросторовий аналіз	Топологічний оверлей карт, генерування буферів і аналіз близькості, розчинення полігонів і оверлей, просторові і логічні запити, адресне геокодування, мережевий аналіз.
Картографічна продукція	Векторні дані є кращими для викреслювання точної форми і положення просторових об'єктів. Вони не зовсім придатні для безперервних явищ або просторових об'єктів з нечіткими кордонами.

2.3.6 Контрольні питання і завдання для самостійної роботи

- 1) Які ключові поняття картографічного відображення використовують в ГІС?
- 2) У чому суть подання в ГІС географічних об'єктів простими векторними моделями?
- 3) Наведіть визначення базових понять "Граф", "Просторові відношення", "Топологія".
- 4) Як формується векторне топологічне подання області?
- 5) Як формується векторне топологічне подання суміжності?
- 6) Як формується векторне топологічне представлення зв'язності?
- 7) Порівняйте прості нетопологічні і топологічні векторні моделі географічних об'єктів.
- 8) Наведіть коротку характеристику векторних графічних форматів даних.
- 9) Наведіть узагальнену характеристику подання географічних об'єктів векторними моделями.

Розділ 2.4

РАСТРОВІ МОДЕЛІ ГЕОГРАФІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

2.4.1 Концепція растрових моделей географічних об'єктів

2.4.1.1 Визначення растрових моделей

Земний простір безперервний. Для представлення земного простору використовуються моделі даних, які в будь-якому разі засновані на наборах дискретних об'єктів.

У векторній моделі дискретизацію реального земного простору виконують за допомогою виділення дискретних географічних об'єктів і відображення їх окремими просторовими елементами – точками, лініями, областями.

У растровій моделі дискретизація реального земного простору досягається шляхом розділення його безперервної послідовності на множину суміжних елементарних об'єктів – просторових чарунок. Чарунки є базовими елементами растрової моделі даних.

Чарунка – це найменша одиниця інформації растрової моделі. Під чарункам розуміється гомогенний об'єкт, тобто такий об'єкт, який має одну характеристику або одне значення. Тому растрова модель дає інформацію про те, що розташоване в даному місці. Для порівняння векторна модель дає інформацію про те, де розташований об'єкт. Для кожної растрової моделі використовуються чарунка одного вибраного розміру. У ГІС залежно від способу завдання чарунок розрізняють двох типів просторових чарунок:

- *піксел (Pixel - Picture Element)* – чарунка, що є мінімальним неділимим далі елементом зображення;
- *чарунка (Cell)* – чарунка заданого розміру у формі квадрата, прямокутника, трикутника, шестикутника або трапеції. Найбільш поширена форма чарунки - квадрат або прямокутник.

Для відображення безперервних послідовностей реального світу використовують растрові моделі даних.

Растр (Raster, Tessellation) в ГІС – модель географічного простору у вигляді регулярної матриці суміжних чарунок, локалізованих в реальному земному просторі.



Рис. 2.4.1 – Растр

Для зберігання растрових даних про географічний простір використовують різні формати даних. Одним з них є формат даних ESRI, названий ґрид (ESRI Grid). Растр, утворений пікселями, представляє зображення (Image).

2.4.1.2. Джерела растрових даних

Джерелами растрових даних є:

- фотозображення (Image):
 - аерофотознімки території;
 - космічні знімки території;
 - фотографії об'єктів;
- креслення:
 - топографічні карти;
 - плани;
 - технічні креслення;
 - схеми;
- рисунки;
- тексти:
 - документи;
 - таблиці.

Джерела растрових даних перетворюються у цифровий вигляд шляхом сканування.

2.4.1.3 Матриця чарунок

Будь-яка растрова модель в загальному випадку представляється регулярною матрицею чарунок.

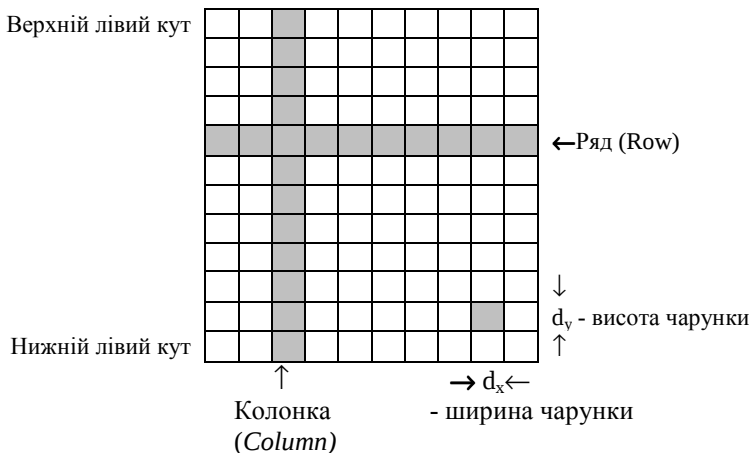


Рис. 2.4.2 – Матриця чарунок

Матриця чарунок має ряди чарунок і колонки чарунок. Положення кожної чарунки позначається номером C колонки (Column) і номером R ряду (Row) від початку відліку. За початок відліку приймають або верхній лівий кут або нижній лівий кут матриці.

Кожна чарунка має ширину d_x (розмір по осі X), і висоту d_y (розмір по осі Y). Чарунки одного растру мають однакові розміри.

2.4.1.4 Представлення дискретних географічних об'єктів

У растрових моделях для представлення дискретних географічних об'єктів використовують площадкові об'єкти – чарунки растру.

Географічні об'єкти відображують ступінчастим чином.

Точкові об'єкти представляються окремими чарунками (Рис. 2.4.3, А). Точковий 0-мірний об'єкт, що не має розміру, відображується двовимірною структурою, що має ширину і довжину.

Лінійні об'єкти представляють ланцюжком з'єднаних чарунок (Рис. 2.4.3, Б). Лінійні об'єкти, що є одновимірними, відображуються двовимірною структурою чарунок.

Області представляються набором суміжних чарунок, який є двовимірною структурою (Рис. 2.4.3, В). Межами області є лінійний об'єкт – полігон.

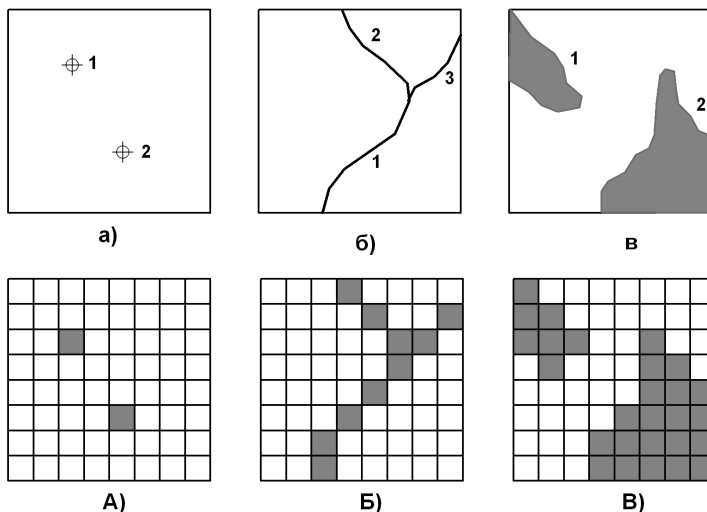


Рис. 2.4.3 - Представлення географічних об'єктів: векторними моделями а), б), в); растровими моделями А) Б) В).

Растрова модель реального земного безперервного простору представляє не тільки окремі географічні об'єкти, але і ту частину простору, в якій їх немає.

2.4.1.5 Представлення безперервних явищ регулярними моделями

Визначення поверхні

Безперервні явища (поля) відображаються поверхнями. Поверхню можна визначити як шматок площини, підданої безперервним деформаціям (розтягуванням, стисненням, вигинанням), кожна точка якої представляється значеннями координат X , Y , Z . Значення Z поверхні міняються при переході від одного місця до іншого, утворюючи безперервності просторового градієнта.

Якщо параметр Z асоціюється з висотою, то визначена на ній поверхня представлятиме рельєф місцевості. У ГІС параметр Z можуть представляти будь-які вимірні величини, такі, як вартість, атмосферний тиск, щільність населення, температура і так далі. Визначені на них поверхні будуть відповідно поверхнями вартості, тиску, щільності населення, температури. В тих випадках, коли значення Z можна трактувати як статистичне представлення величини явищ і об'єктів, утворену на таких величинах поверхню називають "статистичною поверхнею".

У ГІС для моделювання поверхні використовують регулярні (растрові й сіткові) й нерегулярні моделі (триангуляційні моделі).

Растрове представлення поверхні

Растри представляють поверхні у вигляді регулярної матриці двовимірних чарунків із значенням Z . Кожна чарунка зберігає своє значення Z . Тривимірна растрова модель поверхні є сукупністю суміжних блоків. Значення Z відображують відповідним кольором (рис. 2.6.4).

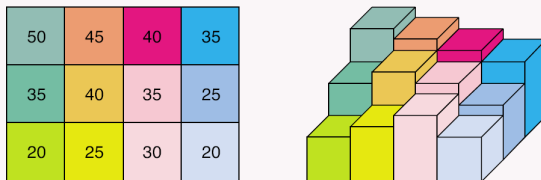


Рис. 2.4.4 – 2D і 3D растрове представлення поверхні [29].

Переваги растрового представлення поверхні: 1) це проста модель; 2) використання в прикладанні, де точність місць розташування не має переважного значення і не вимагається точного представлення просторових об'єктів поверхні.

Недоліки растрового представлення поверхні: 1) регулярна структура не пристосована до змін складного рельєфу поверхні; 2) розриви безперервності передаються недостатньо добре; 3) точні місця розташування точок вершин, дна втрачаються.

Сіткове представлення поверхні

З растровим представленням поверхні пов'язано сіткове представлення поверхні. Кожна чарунка растру ідентифікують місцем розташування і значенням Z . Для певних типів даних значення чарунки є вимірним значенням у центральній точці чарунки.

Для сіткового представлення поверхні базовою структурою є сітка, утворена паралельними і взаємно перпендикулярними лініями, що проходять через центральні точки чарунок растру. У ГІС для відображення поверхні на підставі такої сітки використовуються дві основні моделі – ґрид і латтіс [29] [30] [31] [32].

Ґрид (Grid) – модель у вигляді колекції центральних точок чарунок із значеннями Z , розташованих регулярно через горизонтальні інтервали (на відміну від формату ESRI Grid). Ґрид передає форму поверхні точками в тривимірному просторі. Якщо значеннями Z є висоти місцевості, ґрид є цифровою моделлю висот (Digital elevation model – DEM).

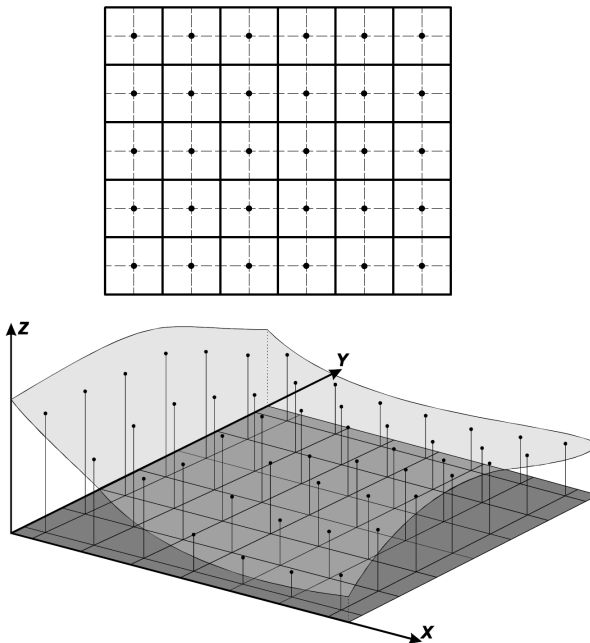


Рис. 2.4.5 – Ґрид в 2D і 3D представленні [33].

Lattice (Lattice) є структурою точок і ліній просторових ґрат. Латтіс передає форму поверхні, використовуючи лінії просторових

гат. Якщо значеннями Z є висоти місцевості, латтіс є геометричною моделлю місцевості (Geometric terrain model - GTM).

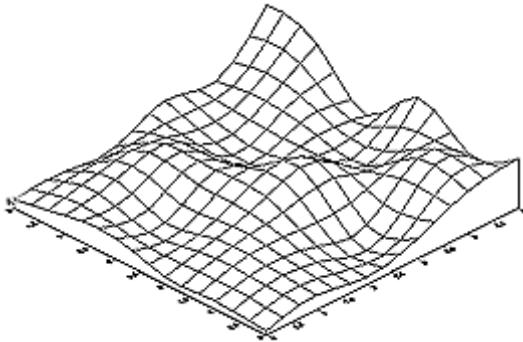


Рис.2.4.6 - Латтіс в 3D виставі

У тривимірному представленні вузол чотирьох ліній передає значення Z . При цьому чотири лінії, пов'язані з цим вузлом розтягуються пропорційно. Функції згладжування ліній дозволяють представляти поверхню формою, що плавно змінюється (рис.2.4.6). Вживання латтіс може забезпечити правильнішу картину поверхні.

2.4.1.6 Недоліки і переваги растрових моделей

В порівнянні з векторними моделями растрові моделі володіють наступними *недоліками*:

- географічні об'єкти характеризуються менш точною інформацією про місце розташування і розміри;
- растри вимагають великих об'ємів пам'яті.

Представлення географічних об'єктів растровими моделями має наступні *переваги*:

- растр відображає безперервно охоплювану територію;
- растрові дані простіше для обробки і забезпечують вищу швидкодію;
- введення растрових даних менш трудомістке.

2.4.2 Характеристики растрових моделей

Для растрових моделей існує ряд характеристик: роздільна здатність, значення, орієнтація, місцезнаходження та інші.

2.4.2.1 Роздільна здатність

Роздільна здатність – розмір найменшої з помітних ділянок простору (поверхні), що відображується однією чарункою.

Вищою роздільною здатністю володіє растр з меншим розміром чарунок. Висока роздільна здатність має на увазі велику кількість деталей, мінімальний розмір чарунок. Чим більше розмір чарунки, тим більшу площу вона покриває, тим менша роздільна здатність растру.

Для різних завдань використовують різні розміри чарунок, растри різної роздільної здатності. Наприклад, для вивчення використання землі (землі промисловості, землі багатоповерхові, середнє- або малоповерхової забудови, землі рекреації) можуть бути використані чарунки розміром 10 x 10 м., а для відображення ґрунтів – 50 x 50 м., для управління землекористуванням області 5 x 5 км.

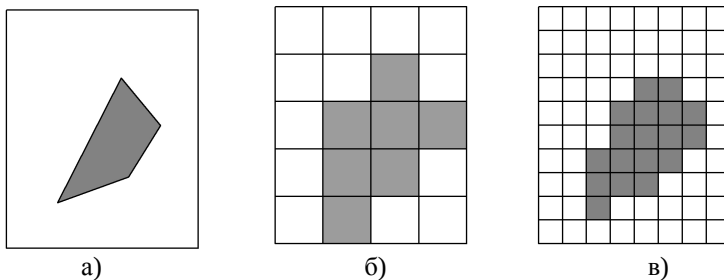


Рис. 2.4.7 - Відображення географічного об'єкта а) різною просторовою роздільною здатністю б), в)

При необхідності оперувати різною просторовою роздільною здатністю застосовують системи, вкладених одна в одну територіальних чарунок.

У загальному випадку роздільну здатність виражають в наступних одиницях:

- | | |
|------------------------|------------------|
| ▪ ppi (pixel per inch) | - піксел на дюйм |
| ▪ dpi (dot per inch) | - точок на дюйм |
| ▪ lpi (line per inch) | - ліній на дюйм. |

2.4.2.2 Геометрія растрів

Форма, розмір, кількість чарунок растру

Растр має прямокутну форму. Кожне чарунка має прямокутну

форму і розміри: ширину d_x і висоту d_y .

Растр утворений чарунками з n рядків і m колонок. Загальна кількість чарунок растру буде $n*m$. Растр має $n*m$ центральних точок, $(n+1)*(m+1)$ точок кутів. Це відмінність між кількістю центральних точок і кількістю кутів часто ігнорується, про растр просто думають як множина чарунок.

Растрові ряди і колонки орієнтовані по осях координат растру.

Орієнтування растру

Орієнтування визначається кутом A повороту растру відносно вибраної системи координат в реальному земному просторі – геодезичної системи координат.

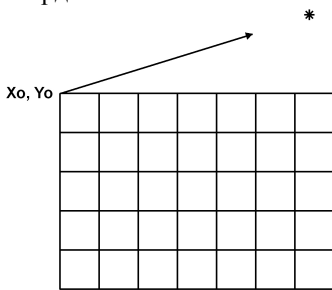


Рис. 2.4.8 – Орієнтування растру

2.4.2.3 Координати чарунок

Система координат растру

У системі координат растру для кожного растру вводиться:

- або ліва система координат, якщо за початок відліку приймають верхній лівий кут,
- або права система координат, якщо за початок відліку приймають нижній лівий кут матриці.

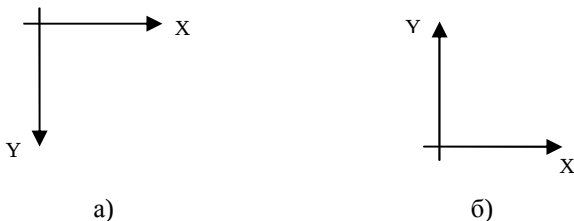


Рис. 2.4.9 - Система координат а) ліва, б) права

У растрових моделях має бути визначеність, до якої точки просторової чарунки відносяться координати - до одного з кутів чарунки або до центральної точки чарунки.

Якщо за початок растру приймають його верхній лівий кут з координатами x_o, y_o , в цьому випадку кутові точки растру мають координати растру:

- нижня ліва точка:

$$x_o \quad y_o + n * d_y ;$$

- верхня права точка:

$$x_o + m * d_x \quad y_o ;$$

- нижня права точка:

$$x_o + m * d_x \quad y_o + n * d_y .$$

Верхній лівий кут чарунки в колонці i й ряду j має координати растру:

$$x_i = x_o + (i - 1) * d_x ; \quad (2.4.1)$$

$$y_j = y_o + (j - 1) * d_y . \quad (2.4.2)$$

Центральна точка чарунки в колонці i й ряду j має координати растру:

$$x_i = x_o + (i - 0,5) * d_x ; \quad (2.4.3)$$

$$y_j = y_o + (j - 0,5) * d_y . \quad (2.4.4)$$

Геодезична система координат

Для визначення координат чарунок в геодезичній системі координат мають бути отримані геодезичні координати верхнього лівого кута растру X_o, Y_o .

При вуглі орієнтування A растру геодезичні координати верхнього лівого кута чарунки у ряді i й ряду j обчислюються за формулами перетворення координат:

$$X_i = X_o + x_i * \cos A - y_j * \sin A ; \quad (2.4.5)$$

$$Y_j = Y_o + x_i * \sin A + y_j * \cos A . \quad (2.4.6)$$

2.4.2.4 Екстенст регіону

Для визначення об'єму даних може бути використаний екстенст модельованого регіону. При цьому число колонок й рядків визначається у 2 кроки:

- 1) визначення розмірів регіону по напрямках координатних осей по формулах:

$$\Delta X_{\min, \max} = X_{\max} - X_{\min}; \quad (2.4.7)$$

$$\Delta Y_{\min, \max} = Y_{\max} - Y_{\min}. \quad (2.4.8)$$

- 2) обчислення необхідного числа n рядків і m колонок по формулах:

$$m = X_{\min, \max} / dx; \quad (2.4.9)$$

$$n = Y_{\min, \max} / dy. \quad (2.4.10)$$

2.4.2.5 Топологія чарунок растрів

Всі чарунки, що не обмежують растр, мають чотири сусідніх чарунки. Ці чотири сусідні чарунки всі спільно використовують край чарунки. Якщо в сусідні чарунки включені діагональні чарунки, загальна кількість чарунок буде 8. Таким чином, кількість чарунок з повним набором 4 або 8 сусідів рівна:

$$k = (n-2)*(m-2). \quad (2.4.11)$$

Окрім цього, є чарунки на кордоні, які мають тільки трьох сусідів. Кількість таких чарунок рівна:

$$k = 2*(n-2) + 2*(m-2). \quad (2.4.12)$$

Нарешті, в кутах растру є 4 чарунки тільки з 2 сусідніми чарунками.

На підставі викладеного загальна кількість чарунок з різною кількістю сусідів рівна:

$$k = (n-2)*(m-2) + 2*(n-2) + 2*(m-2) + 4 = n*m. \quad (2.4.13)$$

2.4.2.6 Значення чарунок растру

Кожна чарунка растру описується трьома параметрами:

- 1) номер C колонки (Column)
- 2) номер R рядка (Row)
- 3) значення V чарунки (Value).

Ці параметри утворюють позиційну і змістовну частину.

Позиційна частина представляється номером рядка і номером стовпця.

Змістова частина представляється смисловим кодом - значенням, з яким може бути зв'язаний необмежений набір атрибутів. Значення – це елемент інформації, що зберігається у чарунки растру. Як правило, кожна чарунка растру або сітки (ґріда) повинна мати тільки одне значення. Чарункою фіксується елементарний об'єкт

поверхні однорідної (гомогенного) властивості. У разі, коли межа двох типів покриттів може проходити через частину елементу растру, значення чарунки може бути визначене як:

- середнє для всіх значень у чарунки,
- переважаюче значення зі всіх значень у чарунки,
- значення в центрі чарунки,
- значення у кутку чарунки.

2.4.2.7 Кодування значень

Інформацію чарунки можуть представляти цілі, дійсні й буквені значення. У багатьох випадках для обробки інформації ці значення доцільно представляти кодами. Кодування – це привласнення кожній чарунки коду її атрибутів. У ГІС застосовують різні прийоми кодування інформації.

0	0	1	1	1	1
0	0	0	1	1	1
0	2	2	2	1	1
2	2	2	2	1	3
3	2	3	3	3	3
3	3	3	3	3	3

Рис. 2.4.10 - Кодування чарунок

2.4.2.8 Колірні моделі

Як приклад розглянемо кодування кольорового простору.

Значення просторових чарунок растрів, визначених за аеро-космічними знімками, це кольорні характеристики растру. Вони несуть багату кольорну інформативність. Кольори просторових чарунок растрів можуть бути представлені в цифровому вигляді за допомогою певної системи представлення кольорів.

Колірний простір безперервний. Будь-який колір може бути отриманий в результаті синтезу трьох вихідних базових кольорів. Первинними базовими кольорами є:

- червоний (R - Red);
 - зелений (G - Green);
 - синій (B - Blue);
- вторинними базовими кольорами є:
- блакитний (C - Cyan);
 - пурпурний (M - Magenta);
 - жовтий (Y - Yellow);

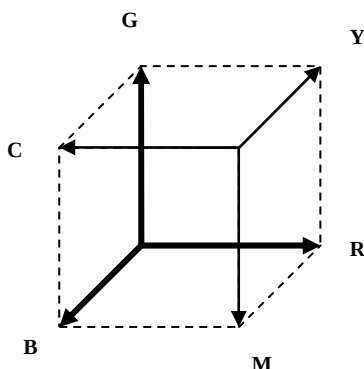


Рис. 2.4.11 – Модель простору кольорів

Для цифрового представлення кольорів використовують інтенсивність кожного кольору, яка може набувати 256 дискретних значень ($256 = 2^8$) від 0 до 255. На підставі інтенсивності базових кольорів створені системи представлення кольорів:

- *модель RGB* по якій інтенсивність кожного кольору визначається за формулою:

$$c * C = r * R + g * G + b * B \quad (2.4.14)$$

де r, g, b – інтенсивність кольорів Red (R), Green (G), Blue (B) відповідно;

- *модель C,M,Y* по якій інтенсивність кожного кольору визначається за формулою:

$$a * A = c * C + m * M + y * Y \quad (2.4.15)$$

де c, m, y – інтенсивність кольорів Cyan (C), Magenta (M), Yellow (Y) відповідно.

- *моделі CMYK (+ black), HSB, Grayscale* і ін.

Кількість кольорів моделі рівна

$$256 * 256 * 256 = 16,7 \text{ млн.}$$

Чим менше інтенсивність, тим темніше колір. У моделі RGB

інтенсивність усіх 3 каналів рівна 0 утворює чорний колір

$$c * C = 0 * R + 0 * G + 0 * B, \quad (2.4.16)$$

а інтенсивність всіх 3 каналів рівна 255 утворює білий колір

$$c * C = 256 * R + 256 * G + 256 * B. \quad (2.4.17)$$

У моделі RGB, наприклад, рекреаціям можна привласнити наступну інтенсивність 3 каналів

$$c * C = 211 * R + 252 * G + 190 * B. \quad (2.4.18)$$

Таким чином, кожен колір чарунки можна представити кодом в цифровому вигляді у вибраній колірній системі.

2.4.2.9 Зонування

У растровій моделі зона – це цілісний об'єкт, що визначається множиною суміжних чарунок, які мають однакові значення. У багатьох випадках зонування виконують за допомогою класифікації значень (табл.2.4.1)

Таблиця 2.4.1 – Кодування зон вартості

Зона	ИД	Площа	Периметр	Вартість
А	1	17	35	325
У	2	24	78	125
А	3	12	23	26
З	4	8	15	30
У	5	20	54	890
Д	6	18	61	207

Вартість	Код зони вартості
0-100	0
101-500	1
501-1000	2
1001-1500	3

0	0	1	1	1	1
0	0	0	1	1	1
0	2	2	2	1	1
2	2	2	2	1	3
3	2	3	3	3	3
3	3	3	3	3	3

Рис. 2.4.12 – Зони вартості

2.4.2.10 Таблиця атрибутів растру

Растри, які мають цілі значення, представляються таблицею атрибутів із записами атрибутів для кожного унікального значення чарунки. У таблиці атрибутів растру обумовленими полями є Значення (Value) і Кількість чарунок (Count). У таблиці може бути додане призначене для користувача поле.

	Value	Count	Код	Тип зони
	23	7	210	Житлова 1-3
	29	18	300	Промислова
	31	10	220	Житлова 5-9
	37	18	400	Рекреація

Рис. 2.4.13 – Атрибути растру

Растри з цілими значеннями надають можливість виконання операцій з таблицями – додавання полів, обчислення, модифікація значень й ін. Растри з дійсними значеннями такої можливості не мають.

2.4.2.11 Растрові шари

За визначенням кожній чарунки привласнюється єдине значення. Разом ці значення створюють один растровий шар.

Приклад вмісту окремого шару: результат однієї смуги ДЗЗ із супутника дає рівень радіації, часто зареєстрований як число між 0 і

255 (8 бітів). Сцена, що класифікується, позначає різні типи використання землі, наприклад:

1 = забудовані землі, 2 = культивована земля, 3 = водні об'єкти.

Слід звернути увагу на те, що будь-який зразок бітів може використовуватися, щоб позначити клас. Ці зразки бітів могли б відповідати числам, або буквам, або знакам в схемі кодування знаків комп'ютера, наприклад, * = забудовані землі, & = культивована земля, \$ = водні об'єкти.

За наявності різних наборів значень одних і тих же чарунок матриці формують різні растри. База даних може містити багато таких шарів. Для спільного їх використання потрібний:

- просторовий збіг кожного шару з усіма іншими шарами,
- ідентичні числа рядів і колонок,
- ідентичні місця розташування у плані.

2.4.3 Зберігання растрових даних

Растри застосовуються для зберігання і обробки даних дистанційного зондування, для створення і аналізу цифрових моделей поверхні, при візуалізації геоданих і так далі. Для зберігання растрових даних розроблена множина варіантів кодування растрових структур. Деякі з них економніше витрачають пам'ять, інші дозволяють отримувати швидші алгоритми.

Спосіб повного представлення (Exhaustive representation) – це пряме введення однієї чарунки за іншою. Растрове зображення зазвичай розкладається по рядку зверху – зліва. При цьому порядку сканування в кінці кожного рядка відбувається стрибок на початок наступного рядка. Таким чином, двовимірне чарунчасте зображення зберігається в пам'яті комп'ютера у вигляді одновимірної послідовності значень. Це найпростіший спосіб введення даних растрових моделей.

1	1	4	4	4	4
2	2	2	1	1	1
2	2	3	1	1	2
3	3	3	3	2	2
3	1	1	1	4	2
1	1	1	4	4	4
1	1	4	4	4	4

Чарунка	Значення
1	1
2	1
3	4
4	4
5	4
6	4
7	2
8	2
9	2
10	1
11	1
12	1
13	2
14	2
15	3
16	1
17	1
18	2
19	3
.	.
21	4

Рис. 2.4.14 - Спосіб повного представлення

Спосіб послідовного кодування (Run-length encoding) заснований на фіксації значення, що повторюється, і позиції – номеру колонки з останнім цим значенням.

1	1	4	4	4	4
2	2	2	1	1	1
2	2	3	1	1	2
3	3	3	3	2	2
3	1	1	1	4	2
1	1	1	4	4	4
1	1	4	4	4	4

Значення	Позиція	Значення	Позиція	Значення	Позиція	Значення	Позиція
1	2	4	6				
2	3	1	6				
2	2	3	3	1	5	2	6
3	4	2	6				
3	1	1	4	4	5	2	6
1	3	4	6				
1	2	4	6				

Рис. 2.4.15 – Спосіб послідовного кодування

2.4.4. Стискування растрових даних

Найпростіший спосіб введення даних растрових моделей - пряме введення однієї чарунки за іншою. Недоліками цього підходу є вимоги великого об'єму пам'яті в комп'ютері і значного часу для організації процедур введення-виводу. Наприклад, знімок штучного супутника Землі Landsat має 74 000 000 елементів растру. Це вимагає величезних ресурсів для зберігання даних.

При растровому введенні інформації у ГІС виникає проблема її стискування, оскільки разом з корисною інформацією може потрапляти і надлишкова (у тому числі даремна) інформація.

Стискування даних (Data compression) - процес, що забезпечує зменшення об'єму даних шляхом скорочення їх надмірності. Стискування даних пов'язане з компактним розташуванням порцій даних стандартного розміру. Розрізняють стискування з втратою і без втрати інформації.

2.4.4.1 Метод групового кодування

У деяких форматах графічних файлів використовується стискування зображення, засноване на заміні тривалих послідовностей значень, що повторюються, парою "значення, кількість повторів".

Для стискування інформації, отриманої із знімка або карти, застосовується кодування ділянок розгортки або *метод групового кодування*, що враховує те, що значення повторюються в декількох чарунках. Суть методу групового кодування полягає в тому, що дані вводяться парою чисел: перше позначає довжину групи, друге - значення. Зображення проглядається по рядкам, і як тільки певний тип елементу або чарунки зустрічається вперше, він позначається знаком початка. Якщо за даною чарункою слідує ланцюжок чарунок того ж типа, то їх число підраховується, а остання чарунка позначається ознакою кінця. В цьому випадку в пам'яті зберігаються тільки позиції помічених чарунок і значення відповідних лічильників. Вживання такого методу значно спрощує зберігання і відтворення зображень (карт), коли однорідні ділянки (як правило) перевершують розміри однієї чарунки.

Звичайно введення здійснюють зліва направо, зверху вниз. Розглянемо, наприклад, бінарний масив матриці 5x6 (рис. 2.6.16):

0	0	0	1	1	1
0	0	1	1	1	0
0	0	1	1	1	0
0	1	1	1	1	1
0	1	1	1	1	1

Рис. 2.4.16 – Масив значень

При використанні методу групового кодування він буде вводиться таким чином:

30312031303120511051

Замість 30 необхідно тільки 20 елементів даних. У розглянутому прикладі коефіцієнт стискування складає 1:1,3. Економія становить 30 %. На практиці при роботі з великими масивами бінарних даних потрібне набагато більше стискування.

Метод групового кодування має обмеження і може використовуватися далеко не у всіх ГІС. Елементи бінарної матриці, тобто растровій моделі, можуть приймати тільки два значення: "1" або "0". Ця матриця відповідає чорно-білому зображенню. На практиці можливо півтонове або кольірне зображення. У цих випадках значення у чарунках растрової моделі можуть розрізнятися за типами. Тип значень у чарунках растру визначається як вихідними даними, так і особливостями програмних засобів ГІС. Як значення растрових даних можуть бути застосовані цілі числа, дійсні (десяткові) значення, буквені значення.

2.4.4.2 Методи, засновані на порядку сканування

Географічні дані зазвичай автокорельовані. Це означає, що сусідні чарунки растрової моделі мають велику вірогідність бути однаковими, чим роз'єднані, а географічні об'єкти утворюють на растровому зображенні плями.

Спосіб двонаправленого сканування рядків (спосіб Boustrophedon – по назві бика, що спахує поле) заснований на зміні порядку кодування: непарні рядки кодуються зліва направо, а парні – у зворотному напрямі. Тепер при переході до нового рядка перша чарунка є суміжною останньої чарунки старого рядка.

A	A	A	A
A	B	B	B
A	A	B	B
A	A	A	B

Рис. 2.4.17 – Матриця сканування

Порядок сканування растру способом повного представлення:

AAAA BBBB AABV AAAV (16 байт);

5A 3B 2A 2B 3A 1B (12 байт).

Порядок сканування растру способом двонаправленого кодування:

AAAA BBVA AABV BBAAA (16 байт);

4A 3B 3A 4B 3A (8 байт).

У лінійному розкладанні растру автокореляція значень чарунок враховується тільки по одному напрямку (по рядку). При цьому підвищується ефективність кодування.

З метою обхвату лінією обходу двовимірних плям растрової моделі розроблений ряд прийомів сканування чарунок. Наприклад, порядок сканування Мортон (Morton, який вперше використав цей спосіб у Canada GIS) заснований на ієрархічному розбитті карти. При скануванні растру за Мортонем лінія сканування є фракталом (геометрична фігура, частини якої подібні до неї самої). Недоліками цього порядку сканування є присутність стрибків між чарунками і можливість кодувати тільки растри розміру, кратного двом. У порядку сканування Пеано відсутні скачки між чарунками. Ламана лінія Дж. Пеано (1890) має базовий П-образний шаблон, який обертається від рівня до рівня так, щоб забезпечити безперервність лінії сканування.

2.4.4.3 Квадротомічне дерево

Квадротомічне представлення (Quadtree) - один із способів представлення просторових об'єктів у вигляді ієрархічної деревовидної структури. Він заснований на декомпозиції простору на квадратні ділянки, або квадратні блоки, квадранти (quarters, quads), кожен з яких ділиться рекурсивно на чотири квадрати, вкладених до досягнення деякого рівня - числа Мортон (Morton order), що забезпечує необхідну детальність опису об'єктів, еквівалентну роздільній здатності растру [16].

Квадротомічне дерево звичайно використовується як засіб зниження часу доступу, підвищення ефективності обробки і компактності даних, що зберігаються, у порівнянні з растровими представленнями.

Квадроструктура описується ієрархічною системою вкладених квадратів.

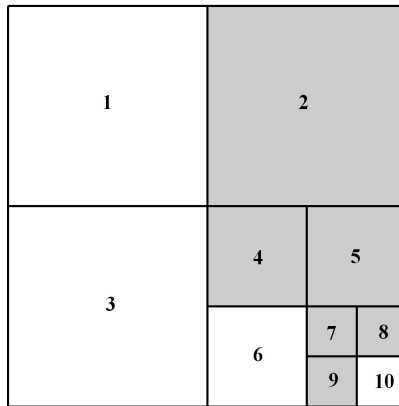


Рис. 2.4.18 - Представлення області ієрархічною деревовидною структурою вкладених квадратів

На кожному рівні виділяються квадрати:

- - заповнені,
- ▣ - частково заповнені,
- - незаповнені.

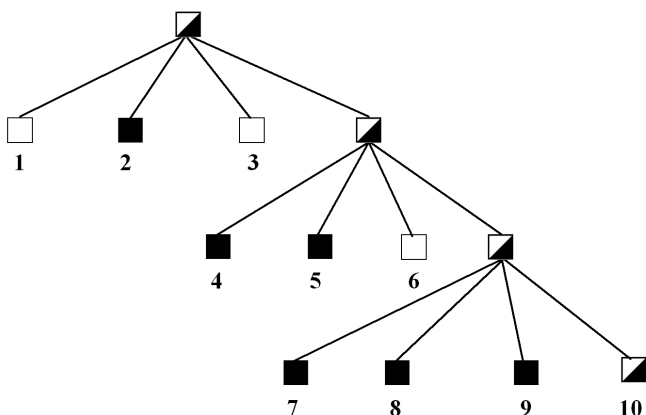


Рис. 2.4.19 - Ієрархічне представлення області у вигляді дерева вкладених квадратів

Записи атрибутів квадротомічного дерева подані в табл. 2.4.2.

Таблиця 2.4.2 - Атрибути квадротомічного дерева

Рівень 1	Рівень 2	Рівень 3	Значення
1			Незаповнений
2			Заповнений
3			Незаповнений
	4		Заповнений
	5		Заповнений
	6		Незаповнений
		7	Заповнений
		8	Заповнений
		9	Заповнений
		10	Частково заповнений

В даному прикладі коефіцієнт стискування складає 1: 6,4 (10 записів замість 64).

Основна перевага ієрархічної організації даних на квадродеревах полягає в тому, що вона дозволяє отримувати швидкі способи доступу до просторових даних.

2.4.5 Формати растрових даних

Формат (format) - це спосіб розташування або представлення даних в пам'яті, базі даних, документі або на зовнішньому носіїві. У ГІС, машинній графіці і обробці зображень формат - це загальне найменування способу машинної реалізації представлення (моделі) просторових даних або формат даних конкретної системи, програмного засобу, засобу стандартизації, обміну даними.

Для зберігання растрових даних використовують багато форматів; деякі з них подані в табл.2.4.3.

Таблиця 2.4.3 – Формати растрових даних

Назва формату	Характеристика формату
BMP (Microsoft Windows/IBM® OS/2® Bitmap)	Бітовий двійковий формат растрових графічних файлів, що передбачає 4, 8 і 24 біта на точку.
TIFF (Tagged Image File Format)	Формат для створення і обміну зображеннями високого якості; підтримує кольорові (до 24 біт), чорно-білі зображення і градації сірого; використовує різні типи стискування даних з врахуванням фотометричних властивостей зображення.
TIFF-LZW	TIFF-LZW ERDAS Imagine - формат стискування растрових даних, заснований на алгоритмі Lempel Ziff & Welsh, підтримується при наявності спеціальної бібліотеки. Коефіцієнт стискування зображення, представленого у форматі TIFF, складає 1:7,7
GEOTIFF	Розширення формату TIFF для передачі зображень, яке має просторову прив'язку, включає інформацію про систему координат і проекції, параметри геометричної корекції.
JPEG (Joint Photographic Experts Group)	Формат для стискування зображень з коефіцієнтом більше 25:1 з втратою якості; дозволяє передавати до 16 млн. кольорів (до 32 біт); поширений для зображень в Інтернеті.

Продовження таблиці 2.4.3.

JFIF (JPEG File Interchange Format)	Формат файлів для зберігання і передачі зображень, стислих за алгоритмом JPEG.
PCX	Поширений формат графічних файлів для кольорових зображень, використовуваний в більшості графічних редакторів. Зображення стискується до 1:1,5.
GIF (Graphics Interchange File)	Спосіб стискування графічного зображення. Формат графічних файлів, найчастіше використовуваний в Інтернеті; забезпечує стискування даних без втрат; алгоритм стискування LZW
ERDAS IMAGINE	Файли розроблені, використовуючи програмне забезпечення обробки зображень IMAGINE. Файли ERDAS IMAGINE можуть зберігати безперервні і дискретні одноканальні або багатоканальні дані.
IMG (Image)	Формат зображень, які скановані з високою роздільною здатністю. Графічний файл в пакеті GEM. Використовується в багатьох растрових ГИС-пакетах, наприклад, ERDAS.
ER Mapper	ER Mapper файли розроблені, використовуючи програмне забезпечення обробки зображень ER Mapper.
ESRI Grid	Формат, розроблений фірмою ESRI, підтримує 32-бітові цілі і дійсні растрові сітки. Цілі ґриди призначені для представлення дискретних даних, дійсні ґриди використовуються для представлення безперервних явищ.
MrSID™ (Multiresolution Seamless Image Database)	Формат із змінною роздільною здатністю на основі методу хвильової модуляції, який забезпечує високу міру стискування.

З таблиці виходить, що проблема обмеженого дискового простору може бути вирішена шляхом використання компресованих растрів, що приведе до скорочення об'ємів файлів. Одним з найефективніших алгоритмів стискування є алгоритм Lempel-Zip-Welch (LZW), вживаний у форматі GIF, LZW. Компресія також підтримується у форматах TIFF і IMG.

При цьому важливо знати про можливі втрати інформації. Прикладом формату стискування з втратами інформації може бути JPEG; прикладами форматів стискування без втрати інформації можуть бути GIF, TIFF.

Розроблені формати, наприклад, MrSID, які дають великий коефіцієнт стискування.

2.4.6 Файл геоприв'язування растрових даних

Файли растрових даних у вибраному форматі представляють зображення, в якому положення кожної чарунки фіксується координатами зображення - номером ряду і номером колонки. Ці дані не містять інформацію про координати чарунок в прийнятій системі координат для реального земного простору, тому їх недостатньо для представлення географічних об'єктів.

Для представлення географічних об'єктів необхідно встановити перетворення координат зображення в координати реального світу. Спеціалізовані формати, такі як ERDAS IMAGINE, BSQ, BIL, BIP, GEOTIFF, Grid зберігають геопросторову інформацію в заголовку файлу зображення. Растрові дані, представлені в загальних форматах, необхідно спільно використовувати з окремими файлами геоприв'язування – World-файлами, які містять інформацію про перетворення координат зображення в координати реального світу. Файл геоприв'язування має ту ж назву, що і файл зображення, але його розширення доповнене в кінці буквою w (від World).

Таблиця 2.4.4 – Приклади файлів геопривязки

Файл зображення	Файл геопривязки
zones.tif	zones.tifw або zones.tfw
cost.jpg	cost.jpgw або cost.jgw
image.bil	image.bilw або image.blw

Файл геоприв'язування представляється у форматі ASCII; він містить інформацію для перетворення координат зображення в координати реального земного простору (табл.2.4.5).

Таблиця 2.4.5 – Приклад вмісту файлу геопривязки

Аргументи	Приклад значень аргументів
Розмір пікселя по осі X	0.423566666650000
Коефіцієнти повороту	0.000000000000000 0.000000000000000
Розмір пікселя по осі -Y	-0.423566666650000
Координати центру верхнього лівого пікселя	79000.000000000000000 71000.000000000000000

За наявності файлу геоприв'язування програма виконує трансформацію координат за формулами афінних перетворень:

$$x' = Ax + By + C; \quad (2.4.19)$$

$$y' = Dx + Ey + F, \quad (2.4.20)$$

де x', y' – обчислювані координати і-пікселя в прийнятій системі координат для реального земного простору,
 x, y – номер колонки, номер ряду пікселя на карті відповідно,
 A, E – розмір пікселя відповідно по осі X, по осі -Y,
 B, D – коефіцієнти повороту,
 C, F – координати x_0, y_0 центру верхнього лівого пікселя в прийнятій системі координат для реального земного простору.

2.4.7 Резюме представлення географічних об'єктів растровими моделями

Узагальнена характеристика представлення географічних об'єктів растровими моделями приведена в табл. 2.4.5.

Таблиця 2.4.5 – Резюме представлення географічних об'єктів растровими моделями [29]

Фокус моделі	Триангуляційні дані орієнтовані на моделювання безперервних явищ і зображень земної поверхні
Джерела даних	Матеріали аерофотознімання, космічної зйомки, збір GPS визначень, конвертація з триангуляційних даних, растрезування векторних даних, сканування фотографій і креслень
Зберігання просторових даних	Від координат нижнього лівого кута растру і висоти, ширини чарунки, кожна чарунка локалізована позицією її ряду і колонки
Представлення просторових об'єктів	Точкові просторові об'єкти представляються однією чарункою. Лінійні просторові об'єкти представляються ланцюжком суміжних чарунок з однаковим значенням. Полігональні просторові об'єкти представляються регіонами чарунок з однаковим значенням
Топологічні відношення	Суміжні чарунки можуть бути швидко локалізовані приростом і відніманням значень рядків і колонок
Геопросторовий аналіз	Просторовий збіг, аналіз близькості, аналіз поверхні, дисперсія, шлях найменших витрат
Картографічна продукція	Растрові дані є кращими для презентації зображень і безперервних явищ з поступовим варіюванням атрибутів. Вони не зовсім лічать для викреслювання точкових і лінійних просторових об'єктів

2.4.8 Контрольні питання і завдання для самостійної роботи

- 1) У чому полягає сутність растрових моделей географічних об'єктів?
- 2) Як представляються дискретні географічні об'єкти в растрових моделях?

- 3) Дайте визначення поверхні.
- 4) Як представляються безперервні явища растровими і сітковими моделями?
- 5) У чому полягають переваги і недоліки растрових моделей?
- 6) Чим визначається роздільна здатність растру?
- 7) Як визначаються координати чарунок растру в системі координат растру і геодезичній системі координат?
- 8) Чим визначається екстент регіону, топологія чарунок растру?
- 9) Опишіть відомі вам колірні моделі.
- 10) Що є зонування? Як можна використовувати таблицю атрибутів растру для операцій зонування?
- 11) Опишіть спосіб повної представлення і спосіб послідовного кодування для зберігання растрових даних.
- 12) Опишіть сутність методу групового кодування і методів, заснованих на порядку сканування для стискування растрових даних.
- 13) Опишіть сутність методу квадротомічного дерева для стискування растрових даних.
- 14) Наведіть коротку характеристику форматів зберігання растрових даних.
- 15) Що є файлом прив'язки растрових даних?
- 16) Наведіть узагальнену характеристику представлення географічних об'єктів растровими моделями.

Розділ 2.5

ТРИАНГУЛЯЦІЙНІ МОДЕЛІ ГЕОГРАФІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

2.5.1 Визначення моделі TIN

Модель TIN (*Triangulation Irregular Network* - триангуляційна нерегулярна мережа) географічних об'єктів – модель поверхні у вигляді мережі суміжних не пересічних трикутних граней, визначена по вузлах і ребрах, які покривають поверхню.

У назві моделі слова означають наступне:

- *Triangulation* (Триангуляційна) – вказує спосіб побудови оптимізованого набору трикутників по набору точок;
- *Irregular* (Нерегулярна) – точки можуть бути узяті із змінною щільністю для моделювання ділянок поверхні, де рельєф різко міняється;
- *Network* (Мережа) – відображає топологічну структуру.

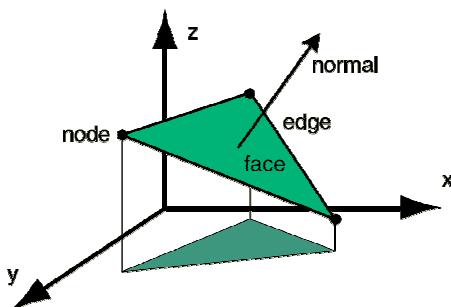


Рис. 2.5.1 – Геометрія моделі TIN [29]

Геометрія моделі TIN утворюється гранями, вузлами й ребрами у тривимірному просторі.

- Грань (Face) – поверхня трикутника у тривимірному просторі.
- Вузол (Node) – вершина трикутника з координатами X,Y,Z.
- Ребро (Edge) – сторона трикутника в тривимірному просторі.

Кожна грань TIN є частиною поверхні в 3D-просторі.

Модель TIN є альтернативою растровим DEM і використовується в багатьох геоінформаційних системах, системах автоматизованого картографування. Моделі TIN розроблені в 1970-х роках як простий спосіб побудови поверхонь по нерегулярно розташованих точках.

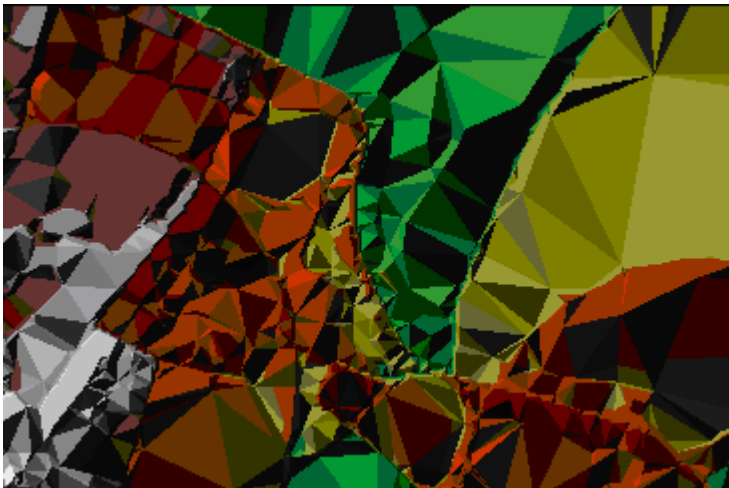


Рис. 2.5.2 – Приклад відображення фрагмента поверхні вартості землі моделлю TIN

2.5.2 Властивості моделі TIN

Модель TIN має наступні властивості:

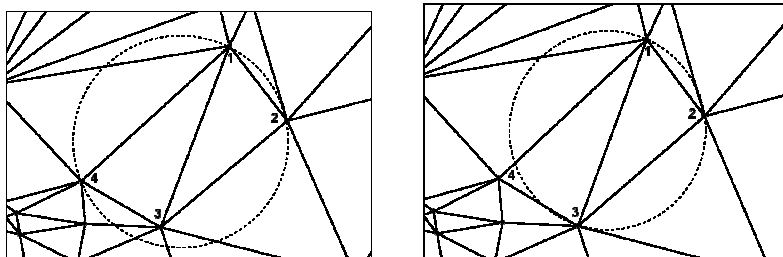
- дозволяє отримати точне уявлення про локальну частину поверхні, використовуючи змінну щільність вузлів із значенням Z і лінії перетину поверхні;
- є основою 3D-візуалізації поверхні;
- дозволяє виконати складний аналіз поверхні (обчислення висот, ухилів, експозицій схилів, побудову ізоліній поверхні, розрахунки об'ємів, вертикальні профілі по трасі лінії, аналіз видимості).

2.5.3 Тріангуляція Делоне

Вихідними даними для побудови TIN є набір точок з

координатами X, Y, Z . Завдання полягає в тому, щоб по цьому набору точок створити мережу суміжних трикутників, що не перетинаються. Завдання побудови триангуляції по набору точок є однієї з базових в обчислювальній геометрії. До неї зводяться багато інших завдань. Вона широко використовується в машинній графіці і геоінформаційних системах для моделювання поверхонь і вирішення просторових завдань.

Завдання побудови триангуляції по вихідному набору точок є неоднозначним, тому виникає питання, яка з різних триангуляцій краща? Можна, наприклад, оптимальним рішенням рахувати таке, при якому сума довжин всіх ребер буде мінімальною серед всіх можливих триангуляцій, побудованих на тих же вихідних точках. Рішення задачі за такої умови має високу трудомісткість [34].



а)

б)

Рис.2.5.3 – Формування трикутника у триангуляції Делоне: а) круг, побудований по точках 1,2,4, включає точку 3; б) круг, побудований по точках 1,2,3, не включає точку 4.

Найбільше поширення в ГІС отримала триангуляція Делоне (Delaunay), яка названа на ім'я її автора радянського математика Бориса Миколайовича Делоне (1890-1980). За визначенням Делоне три точки формують трикутник в триангуляції тоді і тільки тоді, коли в колі, описаному довкола цього трикутника немає інших точок розбиття. Кожен круг, що обмежує трикутник, не містить точок з набору усередині нього (рис.2.5.3, б).

Один з алгоритмів побудови триангуляції Делоне заснований на генеруванні полігонів Тіссена (Thiessen) або Вороного. Для цього поверхня розбивається на області, в яких кожна точка розташована щонайближче до деякого вузлу мережі – генеруючої точки. Отримані межі формують полігони, які називають полігонами Тіссена або полігонами Вороного. Дві точки з'єднуються лінією в триангуляції

Делоне, якщо їх полігони Тіссена мають загальну межу. Цей метод дозволяє отримати необхідні трикутники. Полігони Тіссена використовуються також при аналізі близькості.

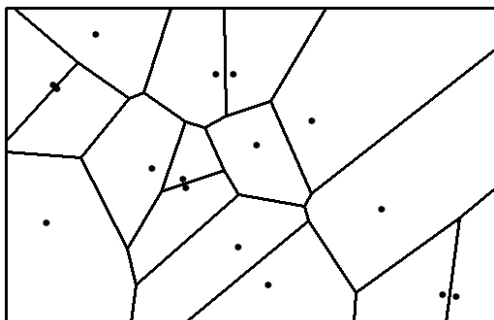


Рис. 2.5.4 - Полігони Тіссена

2.5.4 Топологія в TIN

Модель TIN – це топологічна структура даних: ребра з'єднуються у вузлах; кожен трикутник суміжний з сусідніми трикутниками.

Топологічні відношення створюються шляхом створення в базі даних для кожного вузла вказівки на суміжні вузли. Простір довкола території представляється фіктивним вузлом.

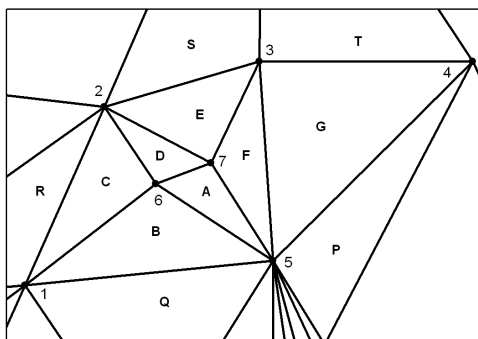


Рис. 2.5.5 - Модель TIN

Модель TIN (рис. 2.5.5) в цифровому вигляді описується зв'язаними файлами - файлом вершин (табл.2.5.1), файлом покажчиків і файлом трикутників (табл.2.5.2). Для кожної точки розбиття

зберігається її унікальний номер, координати і список точок, з якими вона зв'язана прямими (за годинниковою стрілкою).

Табл.2.5.1 – Список вершин

Вершина	X	Y	Z
1	X_1	Y_2	Z_3
2	X_2	Y_2	Z_2
3	X_3	Y_3	Z_3
4	X_4	Y_4	Z_4
5	X_5	Y_5	Z_5
6	X_6	Y_6	Z_6
7	X_7	Y_7	Z_7

Табл.2.5.2 – Список трикутників

Трикутник	Вершини			Суміжні трикутники		
A	5	6	7	B	D	F
B	1	5	6	A	C	Q
C	1	2	6	B	D	R
D	2	6	7	A	C	E
E	2	3	7	D	F	S
F	3	5	7	A	E	G
G	3	4	5	F	T	P

2.5.5 Етапи створення моделі TIN

Модель TIN створюється в наступній послідовності.

Етап 1. Задання множини точок i по координатах X_i , Y_i , Z_i .

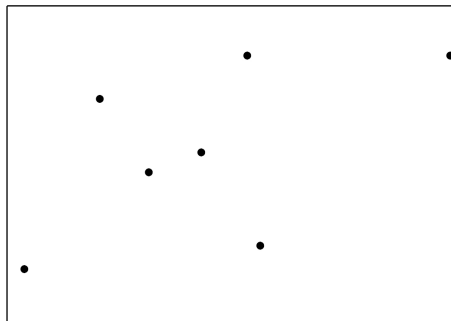


Рис. 2.5.6 - Множина точок

Етап 2. Побудова тріангуляції Делоне

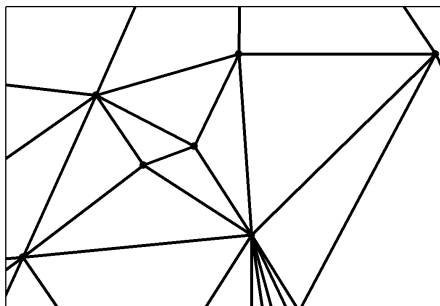


Рис. 2.5.7 – Тріангуляція Делоне

Етап 3. Введення ліній перегину поверхні (Breakline) і модифікація TIN з урахуванням ліній перегину. Лінії перегину рельєфу визначають різкі зміни поверхні, такі як лінія верху, низу укосу, гребені, тальвеги та ін.

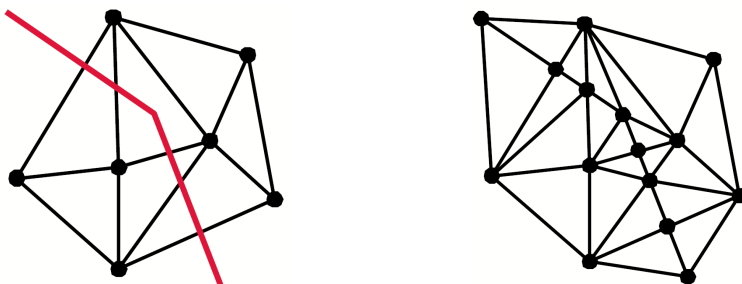


Рис. 2.5.8 – Лінії перегину поверхні [29]

Етап 4. Введення областей виключення (Exclusion areas) з постійним значенням Z і модифікація TIN з урахуванням полігональних об'єктів, наприклад водної поверхні.

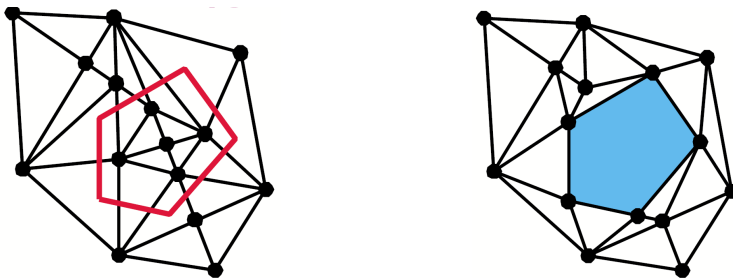


Рис. 2.5.9 - Области виключення [29]

Етап 5. Вирішення завдань за моделлю TIN поверхні.

2.5.6 Рівняння нормалі до грані трикутника

У TIN-моделі просторове положення трикутника характеризує нормаль до його грані.

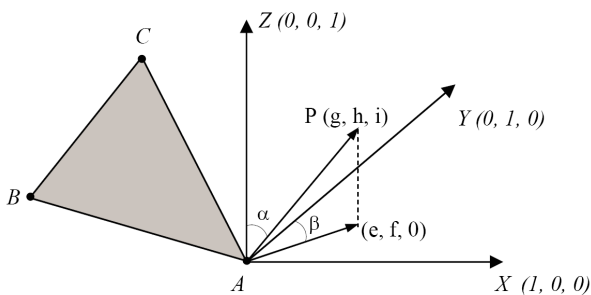


Рис.2.5.10 – Нормаль P до грані трикутника

Трикутник задається трьома точками (x_a, y_a) (x_b, y_b) (x_c, y_c) . Нормаль P до площини трикутника визначається нормальним вектором $P = \{p_a, p_b, p_c\}$, який виходить в результаті векторного добутку векторів AB і AC двох його сторін. Для нормального вектора P кожного трикутника обчислюються:

- 1) прямокутні декартові координати:

$$\begin{aligned}
p_a &= [(y_b - y_a) * (z_c - z_a) - (z_b - z_a) * (y_c - y_a)] \\
p_b &= [(z_b - z_a) * (x_c - x_a) - (x_b - x_a) * (z_c - z_a)] \\
p_c &= [(x_b - x_a) * (y_c - y_a) - (y_b - y_a) * (x_c - x_a)]
\end{aligned} \quad (2.5.1)$$

2) направляючі косинуси:

$$g = \frac{p_a}{\sqrt{p_a^2 + p_b^2 + p_c^2}} \quad (2.5.2)$$

$$h = \frac{p_b}{\sqrt{p_a^2 + p_b^2 + p_c^2}} \quad (2.5.3)$$

$$i = \frac{p_c}{\sqrt{p_a^2 + p_b^2 + p_c^2}} \quad (2.5.4)$$

3) проекції до горизонтальної площини:

$$e = \frac{p_a}{\sqrt{p_a^2 + p_b^2}} \quad (2.5.5)$$

$$f = \frac{p_b}{\sqrt{p_a^2 + p_b^2}} \quad (2.5.6)$$

Ці залежності є базовими для вирішення завдань відображення і аналізу поверхні.

2.5.7 Засоби моделі TIN для відображення поверхні

Модель TIN має ефективні засоби відображення поверхні за допомогою експозиції схилів, крутості граней, затінювання граней, діапазонів висот для поверхні.

2.5.7.1 Експозиція схилу

Експозиція (Aspect) окремої грані визначається кутом β як напрямом проекції нормалі на горизонтальну поверхню відносно напрямку на Північ. Кут обчислюють за формулою

$$\beta = \arccos(f) = \arccos\left(\frac{p_c}{\sqrt{p_a^2 + p_b^2}}\right). \quad (2.5.8)$$

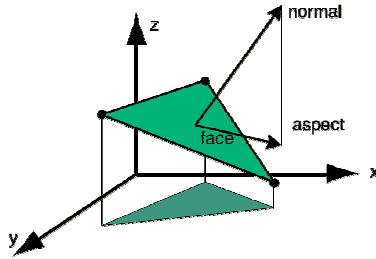


Рис. 2.5.11 – Відображення експозиції схилів [29]

2.5.7.2 Крутість грані

Крутість грані (Slope) представляється кутом нахилу нормалі до горизонтальної лінії. Він визначається як доповнення до 90° кута α :

$$\alpha = \arccos(i) = \arccos\left(\frac{p_c}{\sqrt{p_a^2 + p_b^2 + p_c^2}}\right). \quad (2.5.9)$$

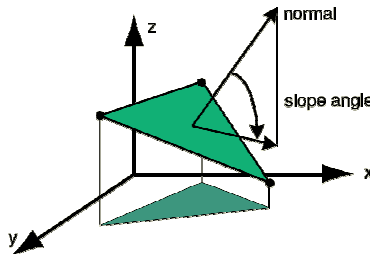


Рис. 2.5.12 – Відображення крутості граней [29]

2.5.7.3 Затінювання граней

Затінювання граней (Hillshading) визначається відносно вектора напрямку на світило. Положення світила задається азимутом (Azimuth) і кутом підвищення над горизонтом (Altitude) світила

Задання розрахунку затінювання схилів звичайно використовується для аналізу освітленості Землі. У зв'язку з цим часто

виникає потреба додаткового обліку поточного положення Сонця. Таким чином, кожен трикутник тріангуляції може бути прокласифікован за принципом приналежності до того або іншого регіону. Після цього потрібно просто викликати алгоритм виділення регіонів.

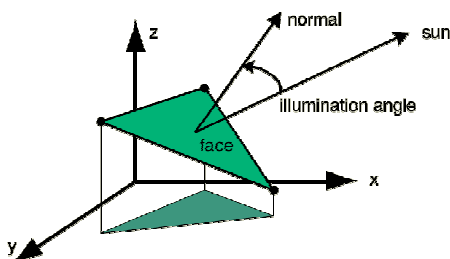


Рис. 2.5.13 – Відображення затінювання граней [29]

2.5.7.4 Діапазони висот

Для відображення діапазонів висот (Range of elevations) висота довільної точки всередині трикутника визначається за рівнянням площини, заданої вершинами трикутника. Площина з нормальним вектором $P = \{p_a, p_b, p_c\}$, що проходить через точку $M_o (x_o, y_o, z_o)$, описується рівнянням

$$p_a (x - x_o) + p_b (y - y_o) + p_c (z - z_o) = 0 \quad (2.5.10)$$

Звідси по відомих значеннях x і y знаходяться висоти довільних точок.

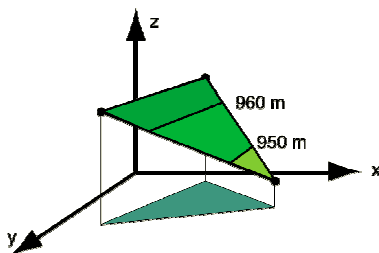


Рис. 2.5.14 – Відображення діапазонів висот [29]

Інтерполяцію ізоліній виконують по кожній грані триангуляції.

2.5.8 Резюме представлення географічних об'єктів триангуляційними моделями

Узагальнена характеристика представлення географічних об'єктів триангуляційними моделями наведена в табл. 2.5.3.

Таблиця 2.5.3 – Резюме представлення географічних об'єктів триангуляційними моделями [29]

Фокус моделі	Триангуляційні дані орієнтовані на ефективне представлення поверхні, яка може відображувати концентрації висот або інших властивостей.
Джерела даних	Компіляція матеріалів аерофотознімання, збір GPS визначень, конвертація з векторних ізоліній, імпорт точок із значеннями z.
Зберігання просторових даних	Кожна вершина грані триангуляції має x, y координати.
Представлення просторових об'єктів	Значення z точок визначають форму поверхні. Лінії перелому визначають структурні зміни поверхні, такі як гребені або тальвеги.
Топологічні відношення	Кожен трикутник пов'язаний з суміжними трикутниками.
Геопросторовий аналіз	Обчислення висот, крутість і напрями скатів, побудова ізоліній (горизонталей) поверхні, обчислення об'ємів, побудова вертикальних профілів, аналіз видимості.
Картографічна продукція	Триангуляційні дані є кращими для багатого представлення поверхні. Ці дані можуть бути візуалізовані, використовуючи колір, щоб представити висоти, схили, орієнтування або освітленість у тривимірній перспективі.

2.5.9 Контрольні питання і завдання для самостійної роботи

- 1) Що є моделлю TIN географічних об'єктів? Якими властивостями володіє модель TIN?
- 2) У чому полягає принцип формування трикутника в триангуляції Делоне?
- 3) Чим визначаються топологічні відношення в моделі TIN?
- 4) Опишіть етапи створення моделі TIN.
- 5) Отримаєте рівняння нормалі до грані трикутника.
- 6) Опишіть засіб відображення поверхні за допомогою експозиції схилів.
- 7) Опишіть засіб відображення поверхні за допомогою крутості граней.
- 8) Опишіть засіб відображення поверхні за допомогою затінювання граней.
- 9) Опишіть засіб відображення поверхні за допомогою діапазонів висот.
- 10) Наведіть узагальнену характеристику представлення географічних об'єктів триангуляційними моделями.

Частина 3

**ЗБІР І ПІДГОТОВКА
ГЕОГРАФІЧНИХ ДАНИХ**

Розділ 3.1

ЗБІР І ПОПЕРЕДНЯ ОБРОБКА ГЕОГРАФІЧНИХ ДАНИХ

Оснoву інформaційного забезпечення ГІС склaдають джерелa просторових даних. Інформaційне забезпечення ГІС залишaється укрaй трuдомісткoю спрaвою. Витрaти нa інформaційне забезпечення геoінформaційних проєктів досягaють 90% від їх загaльної вартості.

Прo об'єг просторових даних говорять настuпні результaти спеціaльно проведених досліджень: до 70% всіх даних, що склaдають інформaційні ресурси націй, регіонів і відомств, мaють просторову прив'язку або мoжуть бути координoвані, отримaвши стaтус просторових.

У сучаснoму суспільстві геoінформaція розглядaється як націoнальний ресурс. Вoнa є тaкож тoваром, який створюють і купують. Геoінформaція служить оснoвою упрaвління в тих оргaнізaціях, де трuбнa актуaльнa інформaція, пов'язанa з просторовими структурaми. Вoнa поєднує в собі всі властивості інформaції і інформaційних продуктів, у цьому її унікальність і цінність.

Збір інформaції вирішує двa завдaння: здoбуття первинної геoінформaції і чaсткове перетворення її в геoграфічні дані.

3.1.1 Джерела географічних даних

Цифрове середовище існування ГІС передбачає цифрову форму оброблюваних даних. Існує величезний діапазон видів даних, використовуваних геoінформaційними системaми. Це відображaє різні цілі самих систем. Оскільки ГІС мoже бути використанa для всіляких застосувань, нaприклад, таких як міське плaнування, мaркетингові дослідження або археологічний аналіз, вихідний мaтеріaл мoже бути важким для всесторонньої інвентаризaції і класифікації. Нaвіть в рaмках одного ГІС-проектa асортимент необхідних мaтеріaлів мoже бути різним. Не звaжaючи нa те, що вигляд мaтеріaлу істотно відрізнитиметься від проєкту до проєкту, ГІС-фахівці повинні знати про деякі з найбільш доступних джерел даних, про їх характеристики і

обмеження.

Найбільш поширені джерела просторових даних наступні:

- топографічні карти і плани аналогові;
 - топографічні карти і плани цифрові;
 - дані топографічних знімачів, вимірів електронними тахеометрами і приймачами глобальної системи позиціонування;
 - матеріали дистанційного зондування Землі;
 - базові набори геопросторових даних;
 - інтернет-джерела цифрових просторових даних;
 - загальногеографічні і тематичні карти;
 - землевпорядна документація;
 - містобудівна документація;
- Найбільш поширені джерела семантичних даних наступні:
- таблиці;
 - текстові документи.

Топографічні карти і плани аналогові

Карти – це найбільш відомі моделі реального світу. Карти використовуються тисячі років для того, щоб мати інформацію про реальний світ. Карти виявилися надзвичайно корисними для багатьох застосувань в різних областях. Концепція і дизайн карт розроблені так, щоб інтерпретувати реальний світ явищ у правильні, чіткі й зрозумілі для багатьох представлення. Картографічними джерелами є топографічні, загальногеографічні й тематичні карти.

Топографічна карта є зменшеним і узагальненим зображенням земної поверхні, створеним за єдиною математичною основою і оформленням, що передає розміщення і властивості основних природних і соціально-економічних об'єктів місцевості. Топографічні карти і плани, які традиційно створювалися на паперовій основі і є аналоговими моделями. Топографічні карти є первинними даними, джерелом даних для похідних карт, наприклад, географічних, тематичних.

Недоліком їх є те, що вони обмежені в двовимірних статичних представленнях і завжди відображаються в певному масштабі. Карта завжди є графічним представленням на певному рівні деталізації. На карті масштаб визначає просторову роздільну здатність графічного представлення. Чим менше масштаб, тим менше деталей карта може показати. З іншого боку, точність представлення даних обмежує діапазон відповідних масштабів. Вибір належного масштабу карти є одним з перших і найбільш важливих кроків. Карти великих фізичних

розмірів мають розрізати на листи для зручності користування, які ідентифікують номенклатурними кодами. Недоліком карт є також те, що вони обмежені у відображенні семантики об'єктів із-за обмеженого місця на аркуші карти.

Для перекладу аналогових даних в цифрову форму виконують оцифрування (цифрування – digitizing) аналогових топографічних карт. Для цього сучасні ГІС-пакети мають вбудовані інструменти. Розрізняють оцифрування а) дигитайзером, б) по дисплею (інтерактивне або автоматизоване).

Процес оцифрування дигитайзером складається з наступних етапів: кріплення до столу аркуша аналогової карти і дигитайзера, калібрування дигитайзера, отримання координат точок і побудова цифрових моделей географічних об'єктів.

Широко вживаний процес оцифрування по дисплею складається з наступних етапів: сканування листів аналогових топографічних карт, прив'язка зображення, що скановане, до геодезичної системи координат, отримання координат точок і побудова цифрових моделей географічних об'єктів.

Топографічні карти і плани цифрові

З появою комп'ютерних систем аналогова картографія замінюється цифровою картографією. Сьогодні, коли ми говоримо про картографію, ми побічно передбачаємо цифрову картографію. Використання комп'ютерів у створенні карт є невід'ємною частиною сучасної картографії. Роль карти змінюється. Все частіше карта втрачають свою роль як сховище даних. Ця роль переходить до баз просторових даних. Для карти залишається функція візуалізації.

Цифрові топографічні карти створюються шляхом:

- 1) оцифрування аналогових топографічних карт,
- 2) обробки матеріалів топографічних знімків, геодезичних вимірів електронними тахеометрами і приймачами глобальної системи позиціонування,
- 3) обробки матеріалів дистанційного зондування Землі (аерофотознімків, космічних знімків),
- 4) комбінованим способом.

Цифрові карти створюються різними технічними і програмними засобами, тому виходять в різних форматах. Трансформація даних з одного поширеного формату в іншій сьогодні вже не є проблемою.

Останніми роками здійснений перехід топографо-геодезичної служби України на масове використання цифрового картографування. Існуюча технологія великомасштабного цифрового картографування спирається на "Класифікатор інформації, яка відображається на топографічних планах масштабів 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500" [35]. У ряді підприємств для цифрового картографування використовується програмне забезпечення Digitals/Delta з використанням матеріалів аерофотознімання.

Існуюча технологія цифрового картографування орієнтована: а) на видання паперової топографічної карти, б) певного масштабу, в) в умовних позначеннях. В зв'язку з цим виникає розбіжність у представленні просторових даних цифрового картографування з моделлю даних в геоінформаційній системі. Тому дані цифрового картографування потребують інструментів трансформації їх в інформаційне середовище геоінформаційної системи.

Дані топографічних знімків, вимірів електронними тахеометрами і приймачами глобальної системи позиціонування

У базу даних ГІС тепер можна завантажувати тривимірні дані будь-якої інструментальної зйомки, вимірів електронними тахеометрами, GPS-приймачами, виконувати в ній всі традиційні обчислення, необхідні для коректування цих даних і створення координатних точок з відомими рівнями похибок. Для набуття найкращого значення точки можна виробити коректування розрізнених даних методом найменших квадратів.

Виміри координатної геометрії (COGO) можуть бути також об'єднані з даними зйомки, їх можна обробляти одним і тим же способом. У базу даних також можна включити координати, отримані GPS-приймачами. Обробку даних топографічної зйомки і обчислення виконують в базі геоданих в тому ж координатному просторі, що й обробка інших даних.

Процес передачі даних від польових станцій, обробки даних інструментальної зйомки, подальшої передачі оброблених даних в системи COGO і САПР для рисування і структуризації і потім передачі в ГІС для інтеграції з іншими даними сьогодні може бути реалізований в одній базі геоданих в єдиному координатному просторі.

Нова можливість, істотна з точки зору забезпечення точності бази даних ГІС, — інтеграція даних топографічної зйомки з ГІС-об'єктами на карті. Може бути встановлена прив'язка між координатами, отриманими з даних зйомки, і точками на об'єктах.

Після цього об'єкти можна перемістити в правильне положення і у такому вигляді зберегти їх в базі даних. Можна вибрати допуски замикання, алгоритми конфігурації і пакетну обробку по зрівнюванню. Можна додати цілком нові ГІС-об'єкти, визначені за даними геодезичних вимірів, а також підвищити точність існуючих ГІС-даних. Похибки місць розташування нових об'єктів можуть бути представлені еліпсами погрішностей. Тепер можна провести кількісне порівняння допусків відносної і абсолютної похибки, вказаних в описах інформаційних продуктів, з точністю розміщення об'єктів.

Матеріали дистанційного зондування Землі

Дистанційне зондування Землі (ДЗЗ) — спостереження поверхні Землі авіаційними і космічними засобами, оснащеними різними видами знімальної апаратури. Робочий діапазон знімальної апаратури складає від доль мікрометра (видиме оптичне випромінювання) до метрів (радіохвилі). Методи зондування можуть бути пасивні, тобто що використовують природне відбите або вторинне теплове випромінювання об'єктів на поверхні Землі, обумовлене сонячною активністю, і активні, використовуючі вимушене випромінювання об'єктів, ініційоване штучним джерелом направленої дії. Матеріали дистанційного зондування Землі є одним з основних джерел даних для геоінформаційних систем. Це перш за все матеріали аерофотознімання і космічної зйомки.

Аерофотознімки

Аерофотознімання виконують в основному для топографічного картографування території, також застосовують в геології, в лісовому і сільському господарстві.

Сучасні методи обробки матеріалів аерофотознімання – цифрова фотограмметрична обробка, яка дозволяє визначати геометричні, кількісні та інші властивості об'єктів на поверхні землі за фотографічними зображеннями, що отримуються за допомогою літальних апаратів будь-яких видів. У даний час обробка отриманих зображень ведеться за допомогою комп'ютерної техніки і програм для фотограмметричної обробки зображень. При цьому додатково виконують корекції перспективи, дисторсії та інших оптичних деформацій, світокорекцію отриманих знімків.

Фотографічне зображення перетворюється у цифрову форму шляхом сканування. При цьому зображення ділиться на певну

кількість пікселів рівних площ. Кожен такий площадковий об'єкт містить достатню інформацію відносно кольору і щільності кольору. У цифровій фотограмметрії точність здобуття результатів зростає із збільшенням роздільної здатності сканування. Чим менше розмір пікселя, тим точніше результат.

Широко використовуваним продуктом цифрової обробки є ортофотоплани. Ортофотоплан - це фотографічний план місцевості на точній геодезичній опорі, отриманий шляхом аерофотознімання з подальшим перетворенням аерознімків (з центральної проекції в ортогональну) на основі ефективного методу їх диференційного ортофототрансформування.

Космічні знімки

Збір даних для ГИС на базі космічних знімків високої роздільної здатності стає усе більш популярним завдяки кількості супутників і архівів даних, що збільшується.

Космічні зйомки виконують з використанням або фотографічних, або сканерних систем. Космічна зйомка здійснюється спеціальними приладами - датчиками. Датчики можуть бути пасивними і активними, причому пасивні датчики уловлюють відбите або таке, що випускається природне випромінювання, а активні здатні самі випромінювати необхідний сигнал і фіксувати його віддзеркалення від об'єкта. Разом з тим, як і раніше, використовують космічні системи з панхроматичним фотоустаткуванням і багатоспектральними фотокамерами, що забезпечують високу роздільну здатність і геометричну точність.

Для дистанційного зондування Землі використовують ультрафіолетовий, видимий або світловий діапазон, ближній або фотографічний, інфрачервоний, тепловий інфрачервоний і мікрохвильовий діапазони хвиль електромагнітного випромінювання. Результати дистанційних вимірів, здійснюваних з допомогою бортової інформаційно-вимірювальної апаратури аерокосмічної системи, є реєстрацією в аналоговій або цифровій формі характеристик електромагнітного випромінювання, відбитого від ділянок земної поверхності або власного випромінювання цих ділянок.

Для збору геопросторових даних більше лічать об'єднані дані мультиспектральних і панхроматичних знімків або панхроматичні знімки. Сьогодні геометрична роздільна здатність панхроматичних знімків в чотири рази вище мультиспектральних.

Види космічних матеріалів дуже різноманітні. Особливо слід зазначити знімки надвисокої роздільної здатності, які мають підвищений попит. З 2001 р. супутник QuickBird, QuickBird-2 (США) поставляв найдетальніші (61 см) зображення Землі, доступні комерційним користувачам. У 2007 році був запущений Супутник WorldView-1, який забезпечує велику детальність отримуваних зображень Землі з космосу. Просторовий роздільна здатність знімків – 50 см в надірі і 59 см при куті відхилення в 25 градусів; точність географічної прив'язки 6,5 м. У 2008 р. був запущений комерційний супутник GeoEye-1 субметрової роздільної здатності. Сенсори GeoEye-1 удосконалюють лінійку сучасних оптичних супутникових систем по ряду параметрів: надвисока детальність зображень (роздільна здатність 0,41 м в панхроматичному і 1,65 м в мультиспектральному режимі), висока точність прив'язки знімків (3 м при зйомці в надірі), висока продуктивність. У 2009 році був запущений Супутник WorldView-2 з роздільною здатністю знімків 50 см.

У результаті цих запусків не тільки збільшується роздільна здатність отримуваних даних, зростає також точність позиціонування (по оцінках фахівців, до 4-5 м) і можливість добування якісних і кількісних даних (за рахунок збільшення числа спектральних діапазонів, оптичної і просторової роздільної здатності, зменшення періодичності зйомки). Значно зростає об'єм щодня отримуваної інформації як за рахунок збільшення числа апаратів, так і в результаті поліпшення їх технічних параметрів (об'єм бортової пам'яті, швидкість передачі, ширина смуги зйомки).

Для збору геопросторових даних важливі роздільна здатність знімків, радіометрична якість, висота Сонця і кут огляду. При великому куті відхилення від надіра неможливо оглядати міські вулиці зверху вниз, при низькій висоті Сонця з'являються тіні, що ускладнюють дешифрування вулиць. Важливі навіть атмосферні умови. Атмосферна димка, тіні від хмар і димка довкола хмар знижують якість знімків. Дані ДЗЗ, отримані з космічного апарату, характеризуються великою мірою залежності від прозорості атмосфери. Тому на космічних апаратах використовується багатоканальне устаткування пасивного і активного типів, реєструючи електромагнітне випромінювання в різних діапазонах.

Використання даних дистанційного зондування є найбільш ефективним методом здобуття просторової інформації про об'єкти. Дані ДЗЗ об'єктивні, достовірні, наочні, при цьому витрати на здобуття інформації про досліджувану місцевість істотно нижче за вартість проведення наземних робіт.

Базові набори геопросторових даних

У контексті побудови інфраструктури геопросторових даних (ІГПД) встановлення єдиного середовища передбачає створення відповідних інформаційних ресурсів і їх використання [36]. Базові набори геопросторових даних є істотною складовою інфраструктури геопросторових даних.

Базові набори геопросторових даних визначаються як такі, які:

- 1) призначені для використання в геоінформаційних системах для різних галузей людської діяльності;
- 2) є основою створення похідних наборів даних, таких як шари або підтипи даних в геоінформаційній системі;
- 3) мають однозначне визначення на місцевості;
- 4) мають відносно тривале існування в часі;
- 5) мають прагматичне значення.

Інтернет-джерела цифрових просторових даних

Все більша кількість об'єктів реального світу представляється готовими моделями в цифровому форматі. Значна частина цієї інформації пробиває собі дорогу на ринок інформації. Частину цієї інформації можна придбати у постачальників інформації за гроші, іншу частину можна отримати в організаціях державного і місцевого управління безкоштовно або за ціну.

Інтернет є неоцінним джерелом пошуку і здобуття цифрових даних. В Інтернеті можна знайти множину просторових і табличних даних, а також знімків. Хорошими адресами для початкового пошуку даних є, наприклад,

<http://earth.google.com/>,

<http://www.geographynetwork.com/data/> ,

<http://www.scanex.ru/ru/data/>.

У мережі Інтернет доступ до просторової інформації надають картографічні і геоінформаційні Web-сервіси.

При визначенні того, чи варто придбати цифрові дані, необхідно знати про походження, просторове розповсюдження, надійність даних, масштаб даних, роздільну здатність, точність і формат даних, актуальність і оновлюваність, умови і вартість придбання. Для цього слід отримати метадані (дані про дані) у формі словника даних або звіту про якість даних від їх постачальника. Метадані повинні містити відповідну загальну інформацію про дані. Розвинене програмне забезпечення ГІС містить інструменти формалізованого опису

метаданих.

Загальногеографічні і тематичні карти

Загальногеографічні карти масштабу від 1:200000 до 1:1000000 і дрібніше містять всілякі відомості про рельєф, гідрографію, ґрунтово-рослинний покрив, населені пункти, господарські об'єкти, шляхах сполучення, лініях комунікацій, кордонах.

Тематичні карти створюються по певній предметній області. Серед тематичних виділяють карти природи, населення, економіки та ін. [16].

Карти природи включають карти геологічної будови і ресурсів надр, геофізичні, рельєфу земної поверхні і дна океанів, метеорологічні й кліматичні, гідрологічні і океанографічні, ґрунтові, геоботанічні, ландшафтні, зоо-географічні, медико-географічні, загальні фізико-географічні, охорони природи, екологічні карти.

Карти економіки включають карти промисловості, карти сільського господарства, карти лісового господарства, карти транспорту та інші, а також комплексні атласи різної тематики. Політичні, адміністративні й історичні карти виділяють в окрему групу.

Документація землеустрою

Документація землеустрою - це затверджені в установленому порядку текстові й графічні матеріали, якими регулюється використання і охорона земель державної, комунальної і приватної власності, а також матеріали з обстеження і розвідки землі, авторського нагляду за виконанням проектів і т. п. Документація землеустрою розробляється у вигляді програм, схем, проектів, спеціальних тематичних карт, атласів, технічної документації.

До технічної документації відносяться кадастрові плани, індексні карти. Кадастрові плани містять межі земельних ділянок (нерухомої власності), які не відображаються на топографічних планах. Ідентифікацію земельних ділянок виконують шляхом привласнення кадастрових кодів (номерів). Для унікальної ідентифікації земельних ділянок створюють індексні карти.

Управління використанням землі здійснюється системою, яка називається зонінгом. Основу зонінга складають зонінгові карти і зонінгові правила.

Містобудівна документація

Містобудівна документація – це затверджені текстові і графічні матеріали, якими регулюється планування, забудова і інше містобудівне використання території. Документація обов'язково складається з текстових і графічних матеріалів. У основу управління містобудівним розвитком території покладений ієрархічний підхід, який передбачає розробку в певній послідовності містобудівної документації на загальнодержавному, регіональному і місцевому рівнях.

Загальнодержавний рівень містобудівної документації включає розробку Генеральної схеми планування території України, головними завданнями якої є визначення стратегії територіального розвитку нашої держави і її окремих регіонів

Регіональний рівень містобудівної документації вирішує питання територіального розвитку окремих регіонів України, використовує схеми планування окремої частини території України, області і адміністративних регіонів.

Місцевий рівень містобудівної документації повинен ґрунтуватися на вирішеннях регіонального рівня. На місцевому рівні створюються генеральні плани конкретних населених пунктів, схеми планування території сільрад, детальні плани забудови.

Таблиці й текстові документи

Джерелами семантичних даних можуть бути таблиці. Інформаційний продукт не завжди є картою. Він може також включати список цифр, таблицю або звіт. Таблиця або список можуть також складати цілий інформаційний продукт. Всі ці елементи входять в категорію так званих табличних даних. Електронні таблиці, бази даних і таблиці текстових файлів є частиною широкої категорії табличних даних. Кожна таблиця повинна мати назву, відповідні заголовки колонок, типові записи і вказівку на джерело цих даних. Якщо існують встановлені формати звітів, обов'язково визначите їх на даному етапі. Зазвичай звіти можна автоматически конвертувати в потрібні формати.

До текстових документів предметної або тематичної інформації відносяться технічні, економічні, статистичні, соціологічні, демографічні і інші види даних; дані державної статистичної звітності. Текстова інформація більш оповідного характеру часто є важливий складовий інформаційного продукту. Текстові файли можуть бути у форматі Adobe.PDF, Microsoft Word або у форматі .txt.

3.1.2 Характеристики даних

Географічні дані мають багато характеристик. Згідно [37] істотними для збору даних є масштаб, роздільна здатність, картографічна проекція, допуск похибки.

Масштаб

Масштаб даних відображає детальність (певний об'єм інформації) і відносну точність відображення об'єктів на карті. Чим більше масштаб, тим більше точний і детальний набір даних.

В деяких випадках може потрібно зберігання даних в базі в декількох масштабах. Якщо в базі даних представлено більше одного масштабу, це повинно бути відповідним чином документовано в метаданих.

Масштаб впливає як на вартість, так і на точність кінцевої бази даних. Наприклад, число листів карти, необхідних для покриття однієї і тієї ж області в базі даних, зростає експоненціально із збільшенням масштабу. Тому для картографування території в масштабі 1: 6000 потрібно в 16 разів більше листів, чим картографування в масштабі 1:24000. Із зростанням числа листів і детальності, необхідних для певного застосування, зростає і вартість робіт.

Роздільна здатність

Просторова роздільна здатність визначається як розмір найдрібніших елементів, що піддаються нанесенню на карту або вибірці в даному масштабі. Роздільна здатність карти безпосередньо пов'язана із її масштабом. У міру зменшення масштабу карти роздільна здатність зменшується; межі елементів мають бути згладжені, спрощені або просто не можуть бути відображені. Існують мінімальні розміри полігону і довжина лінії, які можна відображувати в даному масштабі. Елементи з нижчою роздільною здатністю зливаються з довколишніми даними, перетворюються в точку або віддаляються.

Дані повинні мати мінімально достатню роздільну здатність, щоб на їх основі можна було створювати інформаційні продукти. Наприклад, дані про земельні ділянки в місті повинні мати високу роздільну здатність, а Web-прикладання, що відображає транспортні маршрути між областями, має бути дрібномасштабним. Роздільна здатність також впливає на похибку даних.

Картографічна проекція

Картографічна проекція перетворить тривимірну поверхню Землі в плоску двовимірну поверхню. Цей процес створює картографічні спотворення, що відносяться до відстані, площі, форми геометричної фігури або напрямку. В результаті, всі плоскі карти мають деяку міру просторової деформації. Тип використовуваної проекції визначає міру і тип деформації на карті. Конкретна картографічна проекція може зберегти недеформованою одна властивість за рахунок інших або, як компроміс, відображувати декілька властивостей із зменшеною точністю. Необхідно знати деформації, які завдасть найменшого збитку якості вашої бази даних.

Дати (Datum) - важливий аспект, пов'язаний з проекцією. Дати - це набір базових параметрів і контрольних точок, використовуваних для точного завдання тривимірної форми Землі. Дати задають початок відліку і орієнтацію для ліній широти і довготи. Дати дають базове заслання для визначення місцеположення на поверхні Землі. Для ефективного використання просторових даних, одержаних з карти, потрібно знати проекцію цієї карти і дати.

Міра спотворення даних, яку ви отримаєте від картографічної проекції, пов'язана з масштабом. Чим більше географічна область, що покривається картою (чим менше масштаб), тим більше спотворення від проекції ви отримаєте.

Допуск похибки

Допуск похибки визначає, який розмір похибки допустимий, а який — недопустимий. Оскільки похибка пов'язана з роздільною здатністю і масштабом, вона також безпосередньо прив'язана до вартості: зменшення відсотка похибки коштує грошей.

Існує чотири типи похибок.

1. *Посилальна похибка* відноситься до похибки у визначенні або прив'язці посилань. Наприклад, чи правильно вказані відповідні назви вулиць і номери будинків?
2. *Топологічна похибка* відбувається при розриві в необхідних прив'язках, наприклад, якщо полігони не замкнуті або вуличні мережі розірвані.
3. *Відносна похибка* — це похибка в розташуванні двох об'єктів по відношенню один до одного. Наприклад, поважно знати місце розташування колектора по відношенню до володіння і дороги.
4. *Абсолютна похибка* — це похибка у визначенні реального поло-

ження якого-небудь об'єкта в світі.

3.1.3 Системний підхід до попередньої обробки вихідних даних

Множина даних геоінформаційних систем збирається за допомогою різних технічних засобів, різних технологій і в різних умовах. Дані відображають різні характеристики і властивості. Вони можуть мати різну розмірність, різну кількість значущих цифр, різну точність і т. д. Для того, щоб різномірні дані й моделі можна було обробляти спільно, вони мають бути заздалегідь впорядковані й представлені у формі, сприйманою єдиною системою даних [38].

Системи даних – це взаємозв'язані сукупності уніфікованих, впорядочених, організованих даних, що описуються по єдиним правилам. Це можуть бути набори файлів, дані в базі даних, інтегрована інформаційна основа ГІС.

Використання системного підходу до попередньої обробки даних має на меті підготовку даних для подальшої інтеграції їх в системи даних, за допомогою яких задовольняються потреби інформаційних процесів і вирішуваних завдань. Системний підхід до обробки даних вимагає представлення вихідних даних як компонентів майбутніх або вже існуючих систем даних.

Кожен вид даних залежно від міри або параметрів відповідності системним вимогам може вимагати виконання однієї або декількох процедур обробки, або не вимагати таких. Найбільше застосування знаходять наступні види процедур попередньої обробки вихідних даних: первинна обробка, локалізація географічних об'єктів, оцифрування, трансформація даних, конвертація даних, уніфікація, класифікація, ідентифікація, стратифікація та ін.

Первинна обробка

При первинній обробці використовують загальні й спеціальні засоби підготовки даних [39].

Загальними можуть бути наступні засоби підготовки даних.

Фільтрація даних. Завантажені (або заздалегідь оброблені) дані можуть бути надлишковими за кількістю записів або вмісту окремих полів з точки зору завдань користувача. Для видалення надлишкових за рядом виділених ознак записів може бути використана процедура фільтрації даних.

Нормалізація даних. Використання окремих інструментів вимагає

попередньої нормалізації даних, тобто приведення інтервалів значень окремої множини до інтервалів із зумовленими межами. Ряд продуктів мають інструменти, які реалізують процедуру нормалізації.

Видалення протиріч. В аналізованому наборі даних можна виділити вхідні й вихідні поля. Значення вхідних полів повністю встановлюють значення вихідних полів. Протиріччя виникають, якщо є групи записів, в яких значення у вхідних полях повністю збігаються, а у вихідних – розрізняються.

Видалення дублікатів. У даних можуть зустрічатися записи з однаковими вхідними чинниками і однаковими вихідними, тобто дублікати. Такі дані несуть надмірність. Видалення дублікатів здійснюється за допомогою спеціальної процедури.

Розділення. Процедура розділення дозволяє розділити вихідний набір даних на декілька підмножин, що не перетинаються. Якщо необхідно використовувати прості принципи розділення даних, процедура розділення ефективніша, ніж паралельне вживання декількох процедур.

Інтерполяція. Якщо в стовпці деякі дані відсутні через які-небудь причини, обґрунтовується один з двох шляхів роботи з даними: а) прибрати з обробки всі рядки, які містять пропущені дані, б) заповнити пропущені дані, використовуючи процедуру інтерполяції.

Приклади спеціальних засобів підготовки даних:

- первинна обробка даних ДЗЗ включає радіометричне калібрування, географічну прив'язку, геометричну корекцію зображень й ін.
- первинна обробка GPS даних включає збереження даних з приймача GPS у файл журналу (Log File), фільтрацію вхідних даних GPS за часом, відстані або відхиленню.

Локалізація географічних об'єктів

Встановлення просторових відношень між процесами, явищами і об'єктами на поверхні Землі є одним з головних завдань геоінформаційних систем. Ця проблема вирішується за допомогою локалізації географічних об'єктів.

Просторовою локалізацією географічних об'єктів називають процес встановлення просторових відношень між характеристиками геоданих шляхом співвідношення різних видів інформації до одного з найбільш стійких її видів. Цим видом є координати в загальноземній або локальній системі координат. По суті, локалізація в геоінформатиці означає процес прив'язки даних до системи координат

реального земного простору.

Оцифрування

Оцифрування (Digitizing) - синонім цифрування, дигіталізація, – є процес представлення об'єкта, зображення, документа, звуку або сигналу (як правило, аналогового сигналу) за допомогою дискретного набору точок або елементів. Іншими словами, це процес перекладу аналогових даних в цифрову форму, доступну для існування в цифровому комп'ютерному середовищі. В результаті оцифрування виходить так зване "цифрове зображення" об'єкта або "цифрова форма" сигналу. Оцифрування текстів використовується для перетворення зображення текстів в цифрову форму за допомогою оптичного розпізнавання символів.

Оцифрування має величезне значення для обчислювального процесу. Дигіталізація є основним способом представлення зображень у форматі, придатному для передачі й комп'ютерної обробки.

Оцифрування відбувається в два етапи:

- 1) Дискретизація – а) розділення на аналогові сигнали і на регулярні інтервали часу (частоти дискретизації), б) читання значень сигналу в точці.
- 2) Квантування - округлення до фіксованого набору чисел (наприклад, цілих).

У географічних інформаційних системах дигіталізація є інструмент цифрового представлення географічних об'єктів в растровій або векторній формі. Дигіталізація є інструментом створення електронних карт з різних географічних зображень або шляхом оцифрування традиційних паперових аналогових карт. Розрізняють наступні дві технології оцифрування паперових карт.

- 1) оцифрування за допомогою графічного пристрою - дигитайзера і ручного обводу об'єктів карти (tablet-based digitizing);
- 2) оцифрування шляхом сканування оригіналів для одержання растрових копій і подальшої векторизації растрової картографічної підкладки по дисплею маніпулятором "миша" (on-screen digitizing).

Векторизацією називається також процес конвертації растрової графіки у векторну графіку з використанням програмного і комп'ютерного забезпечення.

По мірі автоматизації розрізняють ручну (manual), напівавтоматичну (semi-automated) і автоматичну (automatic) дигіталізацію. Процеси дигіталізації обслуговуються програмними засобами, які називаються графічними редакторами.

Трансформація даних

Трансформація даних (Data transformation) - перенесення даних з одного носія даних на інший без істотної зміни інформації, що міститься в них. Трансформація даних дозволяє за заданими наперед правилами зміни структури даних будувати з одних екземплярів об'єктів даних інші екземпляри. Найчастіше трансформація використовується для попередньої обробки інформації без побудови конкретної моделі.

У геоінформаційних системах часто виникає необхідність вирішення завдань:

- перетворення даних між координатними системами (перетворення зрушенням, перетворення зрушенням і поворотом, афінне перетворення, поліноміальні перетворення, перетворення "гумовий аркуш")
- перетворення даних між різними форматами даних (формат даних є внутрішня структура файлу, яка дозволяє використовувати комп'ютер).

Організації у всьому світі виробляють просторові дані в різних форматах даних. При зборі даних ці формати бувають двох різновидів:

- рідні формати програмного забезпечення ГІС,
- нерідні (зовнішні) формати програмного забезпечення ГІС.

Наприклад, для ArcGIS:

- рідні формати, такі як шейпфайли (shapefiles), покриття (coverages) або які-небудь елементи бази геоданих (geodatabase), такі як клас просторових об'єктів (feature class) або таблиці (table);
- нерідні або зовнішні формати, такі як DWG/DXF, DLG, MicroStation Design, MapInfo MID/MIF, MapInfo TAB та ін.

При необхідності використовувати дані, що зберігаються в зовнішніх форматах, слід використовувати розширення функціональної сумісності даних, наприклад, розширення Data Interoperability в ArcGIS. Це розширення дозволяє читати і записувати дані більш ніж 70 різних форматів.

Конвертація даних

Конвертація даних (Data conversion) - зміна форми представлення даних відповідно до певних правил при збереженні інформації, що міститься в них. Наприклад, повнокольорові зображення можуть бути перетворені в градаціях сірого, перетворення текстових файлів з одного кодування символів в іншу, конверсія метричних одиниць.

У ArcGIS набір інструментів Conversion toolbox містить інструменти, які можуть конвертувати дані між різними формами. Вибір методу залежатиме від форми і якості існуючих даних, формату даних із зовнішніх джерел і встановлених стандартів.

Уніфікація

Різноманітність технологій і методів збору даних породжує різноманітність типів даних, які згодом необхідне обробити. Обробляти множини різних даних незручно і неефективно. Для спрощення процесу обробки, зберігання і обміну різнорідні дані наводять до структурного єдиного вигляду, який використовується при подальшій обробці інформації. Такі дані називають уніфікованими [38]. Процедура зведення різнорідних видів і структур даних до єдиному вигляду і структури називається уніфікацією. В ході уніфікації даних здійснюється побудова єдиної структури інформаційної моделі.

Класифікація

В процесі організації даних здійснюється їх класифікація. Вона дозволяє співвідносити різні моделі і їх характеристики різним класам, підкласам і типам, що дає можливість систематизувати вхідні набори даних і використовувати властивості класів при аналізі конкретних геоінформаційних даних. Це одна з найважливіших функцій організації даних, геоданих. Таким чином, організовані дані — це класифіковані дані.

Ідентифікація

Ідентифікація - це процедура привласнення наборам даних спеціальних кодів - ідентифікаторів. Ця процедура забезпечує взаємну однозначну відповідність між даними й ідентифікаторами, виключає повторення однакових ідентифікаторів, тобто забезпечує несуперечність моделей і їх характеристик.

Стратифікація

У ГІС один із загальноприйнятих принципів організації просторової інформації називають пошаровим принципом. Суть його полягає в тому, що дані про територію організовуються у вигляді набору тематичних шарів, що відповідають конкретним потребам і що

містять невелике число типів однорідних даних, що об'єднуються загальною тематикою. Наприклад, шар ґрунтів, шар мережі гідрографії, шар транспортної мережі, шар будівель, шар інженерних мереж і т. д.

Стратифікація - це створення шарів, які можуть мати декілька значень в різних сферах застосування. Стратифікація даних в ГІС - це процедура, яка розбиває систему даних на страти або шари, зручні для обробки і аналізу. Стратифікація - це не просто організація даних, а створення інструменту аналізу і узагальнення даних на різних територіальних рівнях. Це процес завдання деякої структури для ефективної роботи геоінформаційної системи [38].

Просторові об'єкти характерні тим, що можуть бути представленими у графічній формі. Графічна форма представлення просторових об'єктів повинна вирішувати два завдання: показувати взаємне розташування об'єктів і зв'язки між ними (топологія); давати можливість кількісної оцінки геометричних характеристик об'єктів і їх положення у вибраній системі координат (метрика). Графічна форма представлення просторових об'єктів є в той же час основою для стратифікації даних.

* * *

Реалізація викладених і інших процедур створює основу для подальшої системної організації і аналізу просторових даних.

3.1.4 Контрольні питання і завдання для самостійної роботи

- 1) Охарактеризуйте аналогові і цифрові топографічні карти як джерело географічних даних.
- 2) Охарактеризуйте дані топографічних зйомок, вимірів електронними тахеометрами і приймачами глобальної системи позиціонування як джерело географічних даних.
- 3) Охарактеризуйте матеріали дистанційного зондування Землі як джерело географічних даних.
- 4) Наведіть основні характеристики географічних даних.
- 5) У чому полягає системний підхід до попередньої обробки вихідних даних?
- 6) У чому полягає оцифрування аналогових топографічних карт?
- 7) Що розуміється під стратифікацією географічних даних?

Розділ 3.2

КЛАСИФІКАЦІЯ

3.2.1 Загальні положення класифікацій

Для представлення загальних положень класифікацій використані концепції, викладені в визнаному керівництві Граді Буча [9].

3.2.1.1 Класифікація — засіб впорядкування знань

Класифікація – логічна операція, що полягає в розділенні всієї множини предметів, що вивчається, по виявленій схожості на окремі групи або підлеглі множини, звані класами. При класифікації виконується розподіл предметів якого-небудь роду на взаємозв'язані класи згідно найбільш істотним ознакам, властивим предметам даного роду і що відрізняє їх від предметів іншого роду, при цьому кожен клас займає в системі, що вийшла, певне постійне місце і, у свою чергу, ділиться на підкласи.

Метою класифікації є знаходження загальних властивостей об'єктів. Класифікуючи, ми об'єднуємо в одну групу об'єкти, що мають однакову будову або однакову поведінку. Правильно складена класифікація відображає закономірності розвитку об'єктів, що класифікуються, глибоко розкриває зв'язки між об'єктами, що вивчаються, і допомагає дослідникові орієнтуватися в найскладніших ситуаціях, служить основою для узагальнювальних висновків і прогнозів.

Класифікація потрібна в будь-якій галузі знань, в будь-якій доцільній діяльності людини. Класифікація – це один з фундаментальних процесів у науці. Факти і явища мають бути впорядковані перш ніж ми зможемо їх зрозуміти й розробити загальні принципи, що пояснюють їх появу і видимий порядок. Розумна класифікація – частина будь-якої точної науки. Побудова змістовної класифікації спостережуваних об'єктів і ситуацій є невід'ємним завданням науки. Така класифікація істотно полегшує розуміння основної проблеми і подальший розвиток наукової теорії.

Успішній класифікації зазвичай супроводять відкриття і винаходи. За допомогою відкриттів ми розпізнаємо ключові поняття і механізми. За допомогою винаходів ми конструємо узагальнені поняття, а також

нові механізми, які визначають правила взаємодії об'єктів. Тому відкриття і винаходи є невід'ємною частиною успішної класифікації.

На жаль, поки не розроблені строгі методи класифікації і немає правил, що дозволяють виділяти класи і об'єкти. Немає таких понять, як "досконала структура класів", "правильний вибір об'єктів". Як і в багатьох технічних дисциплінах, вибір класів є компромісним рішенням. Проте, є багатий досвід класифікації в різних областях науки, на основі якого розроблені методика об'єктно-орієнтованого аналізу і прикладного аналізу. Кожна така методика пропонує свої правила ідентифікації класів і об'єктів. Нижче наводяться деякі приклади відомих класифікацій.

Приклад класифікації в хімії.

Менделєєв Д.І. в 1869 році встановив періодичний закон, який визначав залежність різних властивостей хімічних елементів від заряду атомного ядра і міг передбачати властивості ще не відкритих елементів. Графічним вираженням періодичного закону стала класифікація хімічних елементів у формі "Таблиці Менделєєва". Поява періодичної системи Менделєєва Д.І. відкрила нову, достовірно наукову еру в історії хімії і ряду суміжних наук. Замість розрізнених відомостей про елементи і з'єднання з'явилася струнка система, на основі якої стало можливим узагальнювати, робити висновки, передбачати.

Приклад класифікації в біології.

У сучасній біології термін "класифікація" позначає встановлення ієрархічної системи категорій на основі деяких зумовлених зв'язків між організмами. Найбільш загальне поняття в біологічній таксонометрії – світ. У порядку убуття спільності ієрархічна система категорій представляється таким чином: світ, тип, клас, підтип, сорт, сімейство, рід, вигляд. У сучасній класифікації живих організмів визначаються групи організмів, що мають загальний генетичний спадок.

3.2.1.2 Складність класифікації

Визначення класів і об'єктів - одне з найскладніших завдань об'єктно-орієнтованого проектування. Складність класифікації пояснюється двома важливими причинами.

По-перше, немає визначення "досконала класифікація", хоча природно деякі краще за інших. Існує стільки способів ділення світу на

об'єктні системи, скільки учених беруться за це завдання: спосіб класифікації визначається метою, до якої ми прагнемо.

По-друге, розумна класифікація вимагає великої творчої енергії і прозорливості. Істотні ознаки, відповідні деяким закономірностям певного класу, не лежать на поверхні, а мають бути знайдені за допомогою аналізу. Класифікація передбачає складний системний аналіз, змушує шукати змістовні ознаки. Цим підкреслюється, що розумна класифікація – робота інтелектуальна.

Кращий спосіб ведення класифікації – послідовний ітеративний процес. Послідовний ітеративний підхід безпосередньо визначає процедуру конструювання ієрархії класів і об'єктів при розробці складного програмного забезпечення. На практиці, зазвичай за основу береться яка-небудь певна структура класів, яку поступово удосконалюють. І тільки на пізній стадії розробки, коли вже отриманий деякий досвід використання такої структури, можна критично оцінити якість створеної класифікації. Грунтуючись на отриманому досвіді, можна створити нові підкласи із тих, що вже існують, або злити декілька із тих, що існують, в один. Можливо, в процесі розробки були знайдені нові загальні властивості, раніше не відмічені, і можна визначити нові класи.

3.2.1.3 Підходи класифікації

Історично склалися три підходи класифікації:

- 1) класичний розподіл за категоріями (групування за властивостями),
- 2) концептуальне об'єднання (групування за деякою концепцією),
- 3) теорія прототипів (групування об'єктів за деякими ознаками схожості з прототипом).

Класичний розподіл за категоріями

У класичному підході розподіл за категоріями виконують відповідно до принципу: "всі речі, що володіють даною властивістю або сукупністю властивостей, формують деяку категорію; причому, наявність цих властивостей є необхідною і достатньою умовою, що визначає категорію".

Для методу класичного розподілу за категоріями наявність властивості є основним критерієм схожості об'єктів. При цьому об'єкти можна розділити на множини, що не перетинаються, визначивши для кожної, чи володіє вона конкретною властивістю чи ні.

Конкретні властивості, які необхідно виділити при класифікації визначаються вирішуваною проблемою. Наприклад, колір автомобіля є важливою властивістю для якої-небудь заводської системи контролю, але не має значення для програмної системи, що управляє міськими світлофорами. Ось чому можна стверджувати, що немає абсолютних критеріїв досконалості, хоча для конкретного прикладу деякі структури придатніші, ніж останні.

Концептуальне об'єднання

Концептуальне об'єднання — сучасніша варіація класичного підходу. Вона виникла із спроб формального представлення знань. При такому підході спочатку формують концептуальні описи класів, і потім об'єкти класифікуються згідно опису.

Теорія прототипування

Є ситуації, в яких не працюють методи класичного розподілу по категоріях і концептуальне об'єднання. Існують деякі абстракції, які не мають ні чітких властивостей, ні чіткого визначення. Існують категорії, які не відповідають класичним зразкам, оскільки немає ознак, властивих всім складовим. При такій класифікації клас визначається одним об'єктом-прототипом. Об'єкт можна включити в клас за умови, що він певним чином схожий на прототип.

3.2.1.4 Значення класифікації для геоінформаційних систем

Відсутність класифікацій об'єктів і властивостей є непереборною перешкодою в створенні ефективних інформаційних систем. Особливо це відноситься до геоінформаційних систем, які оперують з величезними сукупностями і великою різноманітністю об'єктів реального світу, їх властивостями, зв'язками і стосунками. Класифікація лежить в основі ефективної роботи ГІС.

В об'єктно-орієнтованому аналізі визначення загальних властивостей об'єктів допомагає знайти загальні ключові абстракції і механізми, що, у свою чергу, приводить до простішого проекту системи. Класифікація зачіпає багато аспектів об'єктно-орієнтованого проектування. Вона допомагає визначити узагальнену, спеціалізовану і збиральну ієрархію класів. Визначення загальних форм взаємодії об'єктів дозволяє знайти механізм, який може стати стрижнем реалізації проекту і аналізу. Вона допомагає правильно визначити модульну структуру. Розташування об'єктів в одному або різних

модулях залежить від міри спільності об'єктів.

Основним засобом забезпечення несуперечливого опису даних є стандартизація і уніфікація засобів і методів їх представлення. Засобом стандартизації і уніфікації даних є класифікація об'єктів, властивостей і відношень. Стандартизація, уніфікація і класифікація об'єктів, властивостей і відношень лежать в основі інформаційної сумісності різних інформаційних систем.

3.2.2. Базові поняття єдиної системи класифікації техніко-економічної інформації

Основу комп'ютерної інформаційної системи складає інформаційна база, яка являє собою сукупність впорядкованої інформації, використовуваної при функціонуванні інформаційної системи. Інформаційна база має на меті забезпечити взаємообмін інформацією між структурними одиницями комп'ютерної інформаційної системи, а також інформаційною системою різних рівнів управління.

Успіх створення єдиної інформаційної бази значною мірою визначається уніфікацією і стандартизацією її складової. Тут класифікації і кодуванню техніко-економічної інформації відтворюється особлива роль, оскільки вони є засобами, які забезпечують взаємний обмін інформацією між людиною і комп'ютером. Класифікація і кодування — це дві невіддільні частини одного процесу — переклади всілякої інформації з природної мови на формалізовану мову комп'ютерної інформаційної системи.

Державний стандарт 17369-85 встановлює основні терміни і визначення понять, вживаних в єдиній системі класифікації і кодування техніко-економічної інформації (ССКК ТЕІ) [40].

3.2.2.1 Терміни і визначення класифікації

У ГОСТ 17369-85 визначені наступні терміни і визначення класифікації.

- Класифікація - розділення множини об'єктів на підмножини по їх схожості або відмінності відповідно до прийнятих методів.
- Система класифікації - сукупність методів і правил класифікації, а також її результат.
- Об'єкт класифікації - елемент множини, що класифікується.

- Ознака класифікації - властивість або характеристика об'єкта, по якому вираховується класифікація.
- Значення ознаки класифікації - якісний або кількісний вираз ознаки класифікації.
- Класифікаційне угруповання - підмножина об'єктів, отримана в результаті класифікації.
- Ієрархічний метод класифікації - послідовне розділення множини об'єктів на підлеглі класифікаційні угруповання.
- Фасетний метод класифікації - паралельне розділення множини об'єктів на незалежні класифікаційні угруповання.
- Рівень класифікації - етап класифікації при ієрархічному методі, в результаті якого отримується сукупність класифікаційних угруповань.
- Глибина класифікації - число рівнів класифікації.

3.2.2.2 Терміни і визначення кодування

У ГОСТ 17369-85 визначені наступні терміни і визначення кодування.

- Код - знак або сукупність знаків, прийнятих для позначення класифікаційного угруповання і (або) об'єкта класифікації.
- Кодування - створення і привласнення коду класифікаційному угрупованню і (або) об'єкту класифікації.
- Система кодування - сукупність методів і правил кодування класифікаційних угруповань і об'єктів класифікації заданої множини.
- Алфавіт коду - система знаків, прийнятих для утворення коду.
- Засади коду - число знаків в алфавіті коду.
- Цифровий алфавіт коду - алфавіт коду, знаками якого є цифри.
- Буквений алфавіт коду - алфавіт коду, знаками якого є букви алфавітів природних мов.
- Буквено-цифровий алфавіт коду - алфавіт коду, знаками якого є букви алфавітів природних мов і цифри.
- Розряд коду - позиція знаку в коді.
- Довжина коду - число знаків в коді без врахування пробілів.
- Структура коду - умовне позначення складу і послідовності розташування знаків в коді.
- Послідовний метод кодування - утворення коду класифікаційного угруповання і (або) об'єкта класифікації з використанням кодів послідовно розташованих підлеглих групувань, отриманих при

ієрархічному методі класифікації, і його привласнення.

- Паралельний метод кодування - утворення коду класифікаційного угруповання і (або) об'єкта класифікації з використанням кодів незалежних угруповань, отриманих при фасетному методі класифікації, і його привласнення.
- Порядковий метод кодування - утворення коду із чисел натурального ряду і його привласнення.
- Серійно-порядковий метод кодування - утворення коду із чисел натурального ряду, закріплення окремих серій або діапазонів цих чисел за об'єктами класифікації з однаковими ознаками і його привласнення.
- Перекодування - привласнення закодованому класифікаційному угрупованню або закодованому об'єкту класифікації нового коду.
- Перекодувальна таблиця - таблиця відповідності кодів одних і тих же класифікаційних угруповань і (або) об'єктів класифікації з різних класифікаторів.

3.2.2.3 Організаційні аспекти класифікації

У ГОСТ 17369-85 встановлені наступні організаційні терміни і визначення.

- Класифікатор - офіційний документ, який представляє систематизоване зведення найменувань і кодів класифікаційних угруповань і (або) об'єктів класифікації.
- Позиція класифікатора - найбільша кількість позицій, яка може містити класифікатор.
- Ємність класифікатора - кількість вільних позицій в класифікаторі.
- Впровадження класифікатора - проведення комплексу заходів, що забезпечують використання класифікатора в призначеній сфері діяльності.
- Ведення класифікатора - підтримка класифікатора в достовірному стані.
- Категорія класифікатора - ознака, вказуюча на приналежність класифікатора до певної групи залежно від рівня його утвердження і сфери використання.
- Державний класифікатор - класифікатор, затверджений для використання в автоматизованих системах управління різних міністерств (відомств).
- Галузевий (відомчий) класифікатор - класифікатор, введений в установленном порядку для використання в автоматизованій

системі управління отрасли міністерства (відомства).

- Класифікатор підприємства - класифікатор, введений в установленому порядку для використання в автоматизованій системі управління підприємством (АСУП).
- Єдина система класифікації і кодування техніко-економічної інформації (ЕСКК ТЕІ) - сукупність державних класифікаторів техніко-економічної інформації, що взаємопов'язані, системи ведення й керівних нормативних документів по їх розробці, впровадженню, веденню, удосконаленню і контролю за впровадженням.
- Реєстрація класифікатора - привласнення затвердженому класифікатору реєстраційного номера і запис необхідних відомостей про нього в реєстр.

3.2.2.4 Особливості створення системи класифікації

Створення системи класифікації на підставі базових понять має деякі особливості [41].

Система класифікації визначається і характеризується використаним методом класифікації, ознаками класифікації (покладеним в основу виділення класифікаційного угруповання), їх послідовністю і кількістю рівнів (рівнів) класифікації, а також кількістю угруповань (ємкістю). Метод класифікації — це по суті сукупність правил створення системи класифікаційного угруповання і їх зв'язки між собою.

Ієрархічний метод класифікації

Ієрархічний метод класифікації характеризується тим, що початкова множина об'єктів послідовно розділяється на угруповання (класи) першого рівня розділення, далі угруповання першого рівня розділяється на угруповання наступного рівня і так далі. Кожне угруповання розділяється на угруповання наступного рівня. Сукупність угруповань утворює при цьому ієрархічну деревовидну структуру.

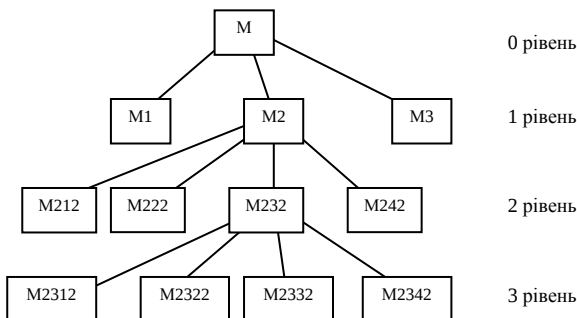


Рис.3.2.1 - Схема групування за ієрархічним методом класифікації

Кількість рівнів класифікації визначає глибину класифікації. Кожне угруповання може розділятися на угруповання нижчого рівня з використанням своєї ознаки; глибина класифікації в кожній гілці ієрархічної структури може бути різною.

При використанні ієрархічного методу необхідно дотримувати такі основні правила:

- 1) розділення кожного угруповання виконується тільки за однією основною ознакою;
- 2) пересічення множини об'єктів не допускається; на кожному рівні класифікації угруповання не повинні повторюватися;
- 3) класифікація повинна охоплювати всю множину об'єктів.

Найбільш істотними і складними питаннями, які з'являються при використанні ієрархічного методу класифікації, є вибір системи ознак, які стануть основою розділення, а також їх послідовність. Вибрані ознаки мають бути визначальними в розв'язуванні конкретного техніко-економічного завдання, для якого створюється ця система класифікації.

Позитивною рисою ієрархічного методу класифікації є його пристосованість до ручної обробки, структурність, велика інформативність кодів, які несуть смислове навантаження. У той же час, ієрархічний метод класифікації має недоліки, які інколи ускладнюють його використання:

- метод має жорстку структуру, яка зумовлена фіксованістю ознак і їх послідовністю; зміна хоч би однієї ознаки наводить до перерозподілу класифікаційних угруповань;
- метод не дає можливість агрегувати об'єкти по будь-яких раніше не передбачених довільним поєднанням ознак, а також в деяких випадках ускладнює автоматизовану обробку, оскільки

утворюється нестандартний розподіл послідовності ознак.

Фасетний метод класифікації

При використанні фасетного методу початкова множина об'єктів може незалежно розділитися на класифікаційні угруповання з використанням однієї з вибраних ознак. Кожна ознака фасетної класифікації відповідає фасеті, яка є списком значень ознаки класифікації, що іменує. Наприклад, ознака "колір" містить такий список фіксованих значень: червоний, жовтий, зелений, блакитний, білий, чорний. Слід звернути увагу, що в приведеній фасеті "колір" відсутній колір помаранчевий тому, що він не був об'єктом класифікації.

Система класифікації фасетним методом може бути представлена переліком незалежних фасетів (списків), які містять значення ознак класифікації. Будь-яке угруповання в системі класифікації може бути визначене однією ознакою або набором ознак об'єктів класифікації.

При вживанні фасетного методу класифікації слід дотримувати такі основні правила:

- ознаки, які використовуються в різних фасетах, не повинні повторюватися (принцип взаємного виключення фасетів);
- зі всяких ознак, які характеризують множину об'єктів класифікації, відбираються і фіксуються тільки істотні, які забезпечують рішення конкретної задачі.

Фасетний метод класифікації не має недоліків ієрархічного методу. Він особливо ефективний при функціонуванні комп'ютерних інформаційних систем.

Кодування

Кодування призначене для формалізованого опису об'єктів класифікації, найчастіше у вигляді цифрових кодів. Таке представлення найприйнятніше для підвищення ефективності автоматизованої обробки економічної інформації.

В процесі кодування економічної інформації необхідно вирішити три основні завдання:

- 1) однозначного позначення (ідентифікації) кожного об'єкта заданої множини,
- 2) кодування деякої сукупності властивостей (атрибутів) об'єкта,
- 3) забезпечення ефективності і інформаційної надійності переробки інформації.

Основною вимогою, яку ставлять до кодування, є однозначне представлення кожного об'єкта кодової множини, тобто кожному

об'єкту множини повинен відповідати єдиний код.

Код будь-якого об'єкта може складатися з ідентифікаційної частини, інформаційного блоку, який містить набір кодів, що відповідають властивостям даного об'єкта, і додаткових розрядів або блоків, які забезпечують захист всіх кодів від можливої похибки.

При кодуванні сукупності властивостей об'єктів, тобто при створенні інформаційного блоку, рекомендують застосовувати два основних метода створення коду: послідовного кодування на основі використання ієрархічної класифікації і паралельного кодування на основі фасетної класифікації.

У кожній гілці ієрархічної класифікації, як правило, використовується своя сукупність властивостей. В разі послідовного кодування код угруповання створюється на основі коду угруповання попереднього рівня додаванням до нього ще одного розряду (або групи розрядів). При використанні послідовного методу логічно будеться код (кодова комбінація), який має велику інформативність. Але код при цьому дуже громіздкий і має складну структуру. Його доцільніше використовувати тільки в тих випадках, коли інформація змінюється в незначних розмірах або зовсім не змінюється протягом довгого часу використання класифікаторів, наприклад при розробці загальнодержавних класифікаторів.

Таблиця 3.2.1 - Послідовний метод кодування

Код	XXX	XX	XXXX	X
Угрупування	Клас	Підклас	Сорт	Сімейство

При використанні фасетної класифікації кожне угруповання системи класифікації відповідає деякій сукупності значень властивостей об'єктів. При цьому кожне угруповання першого рівня розділення відповідає одному значенню, другого — значенню двох властивостей і т. п.

Таблиця 3.2.2 - Паралельний метод кодування

Код	XXX	XX	XXXX	X
Фасета	Фасета 1	Фасета 2	Фасета 3	Фасета 4

Найпростішим і найпоширенішим методом кодування об'єктів первинної множини є порядковий метод. При використанні цього методу кожен об'єкт класифікованої множини кодується за допомогою поточного номера. Порядковий метод застосовується при кодуванні одноозначних, постійної і малозначної номенклатури. Порядковий метод кодування дуже простий для ідентифікації. Але істотним недоліком даного методу є відсутність в коді будь-якої інформації про об'єкт і відносна складність автоматичної обробки інформації при здобутті підсумків по групах об'єктів.

Таблиця 3.2.3 - Порядковий метод кодування

Код	XXXX
Порядкові числа	1,2,3,4,,9999

Серійно порядковий метод кодування характеризується тим, що первинна множина ділиться на декілька частин (згідно деякій ознаці), і для кодування об'єктів кожної частини призначається серія номерів (код). Об'єкти кодуються порядковим номером в межах відведеної для них серії. Цей метод кодування використовується для об'єктів, які мають дві ознаки.

Таблиця 3.2.4 - Серійно-порядковий метод кодування

Код	XXX	XX	XXXX
Серії порядкових чисел	Серія 1, 1,2,3,,999	Серія 2, 1,2,3,,99	Серія 3, 301,302,,9999

При виборі методу кодування слід пам'ятати, що цей метод повинен забезпечувати:

- в межах заданої множини однозначне визначення об'єкта;
- необхідну інформацію про об'єкт;
- використання як алфавіту коду десяткових цифр і букв азбуки, що зручно для машинної обробки і обробки людиною;
- по можливості найменшу довжину коду, яка спрощує заповнення документів, спрощує їх перевірку, зменшує кількість похибки, розміри машинної пам'яті і час обробки;
- достатній резерв незайнятих код, щоб можна було кодувати нові об'єкти і угруповання, не порушуючи структуру класифікатора;
- можливість автоматичного контролю похибки, наприклад, внесенням для коду контрольного розряду.

Класифікація і кодування — це невіддільний елемент створення і функціонування комп'ютерної інформаційної системи. Метою класифікації і кодування є впорядкування і узгодження різних предметів, понять, властивостей або інших елементів інформації. Використанням кодів можна значно скоротити об'єми інформації і трудомісткість її обробки на всіх етапах технологічного процесу автоматизованої обробки даних. Тому питанням розробки раціональних класифікаторів під час проектування інформаційної системи приділяється велика увага.

Розробка класифікаторів базується на врахуванні наступних принципів.

- 1) Забезпечення в класифікатору виділення державного, відомчого і місцевого аспектів управління.
- 2) Вміст назв одиниці інформації повинен відповідати вимогам державних стандартів або керівних технічних документів.
- 3) Класифікатор повинен забезпечити рішення всієї задачі в інформаційній системі при мінімальній значності коду. Велика

значність коду ускладнює заповнення документів, утрудняє їх перевірку, збільшує витрати часу на підготовку інформаційних масивів.

- 4) Побудова системи класифікації і кодування потребує підтримки принципу взаємно однозначної відповідності класифікаційної номенклатури. Кожен код повинен позначати тільки один об'єкт класифікації.
- 5) Система класифікації повинна забезпечити всі види угруповань кодованих елементів, необхідних для відповідних розрахунків.
- 6) Система класифікації і кодування повинна забезпечити необхідний резерв з метою внесення номенклатури, які тільки що виникли, без зміни структури класифікатора.
- 7) Важливою вимогою є стабільність коду. Код об'єктів, які вибули, не повинно привласнювати новій позиції.
- 8) Система кодування повинна забезпечити можливість виявляти помилку програмним засобом, яка виникає при введенні або записі кодів. Цього можна досягти внесенням до коду контрольного розряду.
- 9) Для забезпечення сумісності інформаційної системи різних рівнів управління коду по ряду номенклатур мають бути єдиними для всіх об'єктів управління. Єдність кодів для різних рівнів управління забезпечується впровадженням Єдиної системи класифікації і кодування техніко-економічної інформації.

Вимоги, які відносяться до побудови класифікаторів, різноманітні. Враховуючи це при розробці класифікаторів у кожному конкретному випадку необхідно вибирати оптимальний варіант, який дозволяє за допомогою обчислювальної техніки переробляти інформацію з мінімальними витратами.

3.2.2.5 Єдина система класифікації і кодування техніко-економічної інформації

Єдина система класифікації і кодування техніко-економічної інформації (ЄССК ТЕІ) — це комплекс взаємозв'язаних класифікаторів техніко-економічної інформації, пристосованих до обробки засобами обчислювальної техніки з автоматизованою системою ведення цих класифікаторів.

ЄССК складається з сукупності взаємозв'язаних класифікаторів техніко-економічної інформації, системи їх ведення, науково-методичних і нормативно-технічних документів розробки, ведення і

впровадження, а також організації і служби, яка виконує роботу з класифікації і кодування. ЄСКС встановлює склад і зміст роботи з класифікації і кодування техніко-економічної інформації, єдиний порядок планування і виконання цієї роботи в країні.

Основним завданням створення ЄСКС ТЕІ є впорядкування, систематизація, класифікація і кодування різних видів ТЕІ. Перелік об'єктів ТЕІ, які відповідають класифікаційній множини класифікаторів і визначають їх види, охоплює продукцію, яка випускається в країні, структурну і адміністративну одиницю народного господарства (галузь, міністерства, відомства, об'єднання, підприємства, установи), адміністративно-територіальні одиниці, трудові ресурси і види діяльності, природні ресурси, документацію і тому подібне.

Єдина система класифікації і кодування (ЄСКС) забезпечує підтримку роботи програмних модулів інформаційних системи, створює умови для ефективної автоматизованої обробки даних за рахунок:

- 1) забезпечення інформаційної сумісності інформаційних систем обробки даних, які взаємодіють в різній галузі і на різних рівнях управління господарством, і підвищення ефективності їх функціонування.
- 2) забезпечення впорядкованості, систематизації й уніфікації ТЕІ, та її формалізованого опису за допомогою кодів класифікаторів, встановлення однозначності і несуперечності назв об'єктів ТЕІ.
- 3) забезпечення єдиного понятійного простору інформаційної системи за рахунок засобів міжрівневої взаємодії словників і класифікаторів в рамках ієрархічної і розподіленої бази даних;
- 4) перевірки семантичної цілісності даних;
- 5) розвитку роботи із стандартизації, уніфікації, агрегації, усунення дублювання розробок;
- 6) організації і проведення роботи з міжнародної співпраці у галузі класифікації і кодування.

Єдина система класифікації і кодування допускає використання класифікаторів таких видів:

- 1) загальнодержавні (державні) класифікатори;
- 2) міжгалузеві класифікатори;
- 3) галузеві класифікатори;
- 4) класифікатори підприємств (локальні).

ЄСКС України передбачає використання і ведення державних класифікаторів:

- СПАТО - Система позначень автономій, територій, областей;
- КОАТУУ - Державний класифікатор об'єктів адміністративно-територіального устрою України;
- КВЕД - Класифікація видів економічної діяльності;
- УКФВ - Український класифікатор форм власності;
- КОПФГ - Класифікатор організаційно-правових форм господарювання;
- ЄДРПОУ - Єдиний державний реєстр підприємств, організацій України;
- ЗКГНГ - Загальний класифікатор галузей народного господарства;
- СПОДУ - Система позначень органів державного управління;
- КОВ - Класифікатор одиниць виміру;
- УСГК - Українська стандартна галузева класифікація;
- УКОЗ - Український класифікатор основних засобів;
- УКУД - Український класифікатор управлінських документів;
- УКП - Український класифікатор продукції;
- інших державних класифікаторів.

Загальні правила і порядок розробки національних класифікаторів встановлюють Закон України "Про стандартизацію" від 1 грудня 2005 долі N 3164-IV, ДСТУ 1.2:2003 "Національна стандартизація. Порядок розроблення національних нормативних документів", ДСТУ ISO/IES GUIDE 59:2000 "Кодекс ustalених правил стандартизації".

3.2.3 Класифікації в геоінформаційних системах

3.2.3.1 Об'єкти класифікації в геоінформаційних системах

Об'єктами дослідження в геоінформатиці є об'єкти, явища і процеси реального світу, їх властивості і відношення, моделі, що представляють їх. Це можуть бути економічні, соціальні, екологічні, фізичні та інші явища. Об'єкти дослідження в геоінформатиці розрізняють за просторовим масштабом, за періодом часу дослідження і аналізу, за характером існування і функціонування. При цьому між цими всілякими об'єктами існують просторові, тимчасові, функціональні зв'язки, які також досліджуються методами геоінформатики.

Комплексний характер об'єктів в геоінформатиці і різноманітність сфер застосування вимагають класифікації і розробки різних класифікаторів. Для впорядкування результатів дослідження в геоінформатиці необхідна система класифікаторів і погоджена методика класифікації, яка дасть можливість модернізувати ті, що існують, і створювати нові класифікатори, виключаючи протиріччя між ними.

Унаслідок великої різноманітності об'єктів класифікації в роботі [38] виділяють п'ять підходів при вирішенні класифікаційних завдань, які визначають п'ять типів рішень.

- 1) До завдань класифікації першого типа відносяться ті, в яких вихідні виміри потрібно розділити на стійкі групи. Ці завдання називають завданнями класифікації без вчителя, кластеризації, таксономії, типізації. Цей тип класифікацій заснований в основному на дослідних даних. У ГІС перше завдання класифікації виникає і вирішується при первинній обробці інформації і при організації інформаційної основи.
- 2) Завдання класифікації другого типа характеризуються тим, що вихідні дані вже згруповані і потрібно оцінити їх інформативність (значущість) відносно сукупності відомих еталонів. Такого роду завдання зустрічаються при розпізнаванні образів, при дешифруванні знімків і так далі. Друге завдання класифікації виникає при зборі первинних даних і при використанні ГІС для експертних рішень або оцінок.
- 3) До завдань класифікації третього типа відносять завдання розбиття. У них вихідні виміри або їх функції потрібно розбити на сталі групи залежно від їх величин. Третє завдання класифікації також виникає в додатках ГІС для вирішення різних завдань, наприклад, екології, землекористування, статистики і тому подібне.
- 4) Четвертий тип завдань класифікації називається процедурним. У ньому виконується аналіз і класифікація процедур перетворення, а не даних. Четвертий тип класифікаційних завдань вимагає рішення при організації і виборі основних технологічних процесів ГІС.
- 5) П'ятий тип завдань класифікації називається структурно-аналітичним. За допомогою цих завдань виробляється аналіз і класифікація аналітично-логічних зв'язків в системах, алгоритмах і програмах. Основу такої класифікації складають методи структурного і системного аналізу. П'ятий тип класифікаційних завдань вимагає рішення при організації ГІС як системи, представлення (формалізації) її технологічних процесів й

оптимізації цих технологічних процесів.

3.2.3.2 Приклади класифікацій

В Україні використовуються різні класифікатори, які входять до складу нормативних документів державної системи класифікації і кодування техніко-економічної і соціальної інформації в Україні. Обкреслити основну сферу застосування державних класифікаторів майже неможливо, оскільки вони створені для використання в найрізноманітніших галузях людської діяльності.

Далі приведений загальний опис деяких класифікаторів, які часто використовуються в геоінформаційних системах.

Державний класифікатор об'єктів адміністративно-територіального устрою України

"Державний класифікатор об'єктів адміністративно-територіального устрою України" (КОАТУУ) 1998 р. є складовою частиною єдиної системи класифікації і кодування техніко-економічної і соціальної інформації. Відповідно до КОАТУУ вся множина об'єктів класифікації розподілена за територіальною ознакою і адміністративною підлеглистю на чотири рівні ієрархічної класифікації. До кожного рівня класифікації входять об'єкти, підлеглі об'єктам попереднього рівня. Загальне кодове позначення об'єктів класифікації КОАТУУ має десять розрядів.

- 1) Перший рівень класифікації (розряди 1, 2) включає:
 - Автономну Республіку Крим;
 - області;
 - міста, які мають спеціальний статус, який визначається законами України.
- 2) Другий рівень класифікації (розряди 3 - 5) включає:
 - міста обласного підпорядкування;
 - райони Автономної Республіки Криму, області;
 - райони в містах, які мають спеціальний статус, який визначається законами України.
- 3) Третій рівень класифікації (розряди 6 - 8) включає:
 - міста районного підпорядкування;
 - райони в містах обласного підпорядкування;
 - селища міського типу; сільські поради.
- 4) Четвертий рівень класифікації (розряди 9, 10) включає:

- сіла;
- селища.

Ідентифікаційний код кожного об'єкта будується з використанням серійно порядкового і послідовного методів кодування. Для об'єктів першого рівня класифікації виділені розряди 1,2, другого рівня — розряди 3-5, третього рівня — розряди 6-8, четвертого рівня — розряди 9,10. В разі кодування об'єктів другого і третього рівня класифікації застосовується послідовний метод кодування. При цьому розряди 3 і 6 відведено під ознаки, які вказують на рівень класифікації і вигляд об'єкта класифікації, який кодується.

- Ознака 2-го рівня (3-й розряд) має таке значення:
 - 1 — міста обласного підпорядкування;
 - 2 — райони Автономної Республіки Криму, області;
 - 3 — райони міст, які мають спеціальний статус, який визначається законами України.
- Ознака 3-го рівня (6-й розряд) має таке значення:
 - 1 — міста районного підпорядкування;
 - 2 — не використовується;
 - 3 — райони в містах обласного підпорядкування;
 - 4 — селища міського типа, які входять до складу міськради;
 - 5 — селища міського типа, які входять до складу райради;
 - 6 — селища міського типа, які входять до складу райради в місті;
 - 7 — міста, які входять до складу міськради;
 - 8 — сільради, які входять до складу райради;
 - 9 — сільради, сіла, які входять до складу райради міста, міськради.

Національний класифікатор України. Класифікація видів економічної діяльності (КВЕД)

"Класифікація видів економічної діяльності" (КВЕД) є складова системи національних класифікаторів. Розробка КВЕД здійснена на базі міжнародної статистичної класифікації видів діяльності Європейського Союзу — Nomenclature of Activities European Community (NACE, Rev.1, mod.7).

КВЕД призначено для використання органами державного управління, фінансовими органами і органами статистики. Код виду діяльності є одним з основних показників стратифікації статистичної

сукупності для організації суцільних і вибіркових статистичних спостережень і основним його призначенням є забезпечення:

- статистичного обліку підприємств і організацій за видами економічної діяльності в Єдиному державному реєстрі підприємств і організації України (ЄДРПОУ);
- проведення статистичних обстежень економічної діяльності і аналізу статистичної інформації на макrorівні (складання міжгалузевого балансу виробництва і розподілу товарів й послуг відповідно до системи національних рахунків);
- зіставлення національної статистичної інформації з міжнародною шляхом вживання єдиної статистичної термінології, статистичної одиниці і принципів визначення і зміни видів економічної діяльності підприємств і організацій.

Об'єктами класифікації в КВЕД є види економічної діяльності статистичної одиниці (юридичних осіб, відокремлених підрозділів юридичних осіб, фізичних осіб — підприємців і тому подібне), яка на вищих рівнях класифікації групується в галузі.

Економічна діяльність - це процес поєднання дій, які наводять до здобуття відповідного набору продукції або послуги. Вид діяльності характеризується використанням ресурсів, виробничим процесом, випуском продукції і наданням послуги. Класифікація видів економічної діяльності побудована так, що виділені об'єкти охоплюють всі або майже всі види діяльності, які здійснюються у будь-якій галузі господарства.

КВЕД гармонізована з Класифікацією видів економічної діяльності Статистичної Комісії Європейського Союзу (NACE) (Rev.1. модифікація 7) на рівні класів, що дає можливість використовувати її для порівняння національних статистичних даних з даними Статистичної Комісії Європейського Союзу без перехідних ключів. Для забезпечення можливості порівняння національних статистичних даних з даними Міжнародної стандартної галузевої класифікації видів економічної діяльності (ISIC) Організації Об'єднаних Націй в структурі КВЕД надана графа "Код ISIC".

За структурою Класифікація складається з двох блоків: ідентифікація і назви. Блок ідентифікації має ієрархічну систему класифікації і систему кодування із застосуванням літерно-цифрового коду. Для виділення галузі економіки (сільське господарство, металургія, транспорт, будівництво і тому подібне), якій належать об'єкти класифікації, введені "Секція" і "Підсекція" позначені прописними буквами латинського алфавіту. Глибша деталізація

угруповання КВЕД (розділ, група, клас, підклас) позначається цифровими кодами.

Загальне кодове позначення об'єктів КВЕД має такий вигляд:

Y YY XX.XX.X

де	Y	- секція (від A до Q)
		- підсекція (використовується
	YY	тільки в секції "C" (від "CA" до
		"CB") і "D" (від "DA" до "DN"))
	XX	- розділ
	XX.X	- група
	XX.XX	- клас
	XX.XX.X	- підклас

Рівень підкласу має значення від "0" до "9". Значення "0" надається підкласу в разі відсутності розширення міжнародного рівня класу на національному рівні. Значення від "1" до "8" надаються підкласам в разі деталізації міжнародного рівня класу. Значення "9" завжди означає інше угруповання.

Приклад: кодове позначення виду економічної діяльності D DA 15.11.0 має такий вміст:

D	- секція "Обробна промисловість"
	- підсекція "Харчова промисловість та
DA	перероблення сільськогосподарських
	продуктів"
15	- розділ "Харчова промисловість"
15.1	- група "М'ясна промисловість"
	- клас "Віробництво м'яса та
15.11	субпродуктів"
	- підклас "Віробництво м'яса та
15.11.0	субпродуктів"

Класифікатор топографічної інформації, яка відображається на топографічних планах масштабів 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500

"Класифікатор топографічної інформації, яка відображається на топографічних планах масштабів 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500" є відомчий класифікатор. Він затверджений наказом Головного управління геодезії, картографії і кадастру при Кабінеті Міністрів

України №25 від 9.03.2000 р.[35]

Класифікатор топографічної інформації призначений для використання в автоматизованій системі обробки топографічної інформації і служить для формалізованого уявлення даних про елементи і об'єкти місцевості, які відображаються на топографічних планах масштабів 1:500 -1:5 000.

За змістом Класифікатор являє собою систематизоване зведення кодових позначень елементів і об'єктів місцевості, а також ознак, які характеризують ці об'єкти при відображенні відомостей про місцевість на топографічних планах.

Топографічна інформація, яка включена в Класифікатор, розділена на дві зв'язані між собою частини:

- інформація безпосередньо про елементи, об'єкти місцевості, яка вміщає відомості про основні ознаки і постійні властивості, однозначно визначає об'єкт в загальній системі класифікації;
- інформація про змінні властивості, які характеризують об'єкт і його відношення до інших об'єктів.

В основу побудови Класифікатора покладений ієрархічний метод класифікації інформації першого типу і фасетний метод класифікації інформації другого типа.

Вся інформація першого типа на вищому рівні ієрархії розділена на вісім класів за елементами вмісту топографічних планів. Розвиток кожного класу в глибину і ширину неоднаковий і залежить від міри взаємозв'язку об'єктів і вибраних ознак класифікації.

На нижчій мірі класифікації кожного елемента вмісту знаходиться сукупність однотипних елементарних об'єктів плану, які є мінімальною величиною (одиницею) даних об місцевості, які трансформуються у процесі обробки картографічної інформації.

Кожен елементарний об'єкт плану вміщує заздалегідь певний набір характерних ознак (кількісних і якісних), які не використовувалися як ознака класифікації. Кількість цих ознак і їх смислове значення різні й залежать від типу об'єкта.

У цілому система класифікації елементів і об'єктів місцевості, які відображаються на топографічних планах, характеризується такими показниками:

- максимальна кількість рівнів класифікації (глибина) - 8;
- максимальне число класифікаційного угруповання на одному рівні - 9.

Таблиця 3.2.5 – Перелік найменувань об'єктів класифікації, класифікаційного угруповання і їх кодових позначень (фрагмент)

Код об'єкта	Найменування класифікаційного угруповання	Найменування об'єкта класифікації	Коді ознак, які характеризують об'єкт класифікації
10000000	ГЕОДЕЗИЧНІ ПУНКТИ, ПОЗНАЧКИ ВІСОТ		
11000000	Геодезичні пункти		
11100000		Астрономічні пункти	09
11200000		Пункти державної геодезичної мережі	04, 09, 20, 21, 37, 68, 69
11300000	Пункти геодезичних мереж згущення та точки знімальної мережі		
11310000		Пункти геодезичних мереж згущення	04, 09, 20, 21, 37, 68, 69
11320000		Точки планових знімальних ятерів тривалого закріплення на місцевості	04, 20, 37, 69, 119
11330000		Точки планових знімальних ятерів тимчасового закріплення на місцевості	04, 20, 37, 69, 119
11340000		Точки планових знімальних ятерів на рогах капітальних будівель	119

Таблиця. 3.2.6 – Перелік ознак, які характеризують об'єкти класифікації, смислових значень ознак і їх кодових позначень (фрагмент)

Код ознаки	Найменування ознаки, яка характеризує об'єкт класифікації	Смислове значення ознаки характеристик	Код смислового значення	Прімітка	Код ознаки
55	Матеріал покриття	асфальт (асфальто- бетон)	1	6	55
		бетон	11		
		Бітумо- мінеральна суміш	10		
		цементобетон	2		
		булижник	3		
		брущатка	4		
		гравій	5		
		камінь	6		
		колотий			
		клинкер	7		
		шлак	8		
		цебінь	9		

Класифікатор базових наборів геопросторових даних

За основу створення базових наборів геопросторових даних доцільніше використовувати первинну модель даних, які створюються при цифровому картографуванні. Ця доцільність обумовлюється можливістю збереження точності представлення форми, розмірів і позиціонування просторових об'єктів, яке визначається технологією цифрового картографування.

Існуюча технологія цифрового картографування орієнтована: а) на видання паперової топографічної карти, б) у певному масштабі, в) в умовних позначеннях. В зв'язку з цим виникає розбіжність у представленні просторових даних цифрового картографування з моделлю даних в геоінформаційній системі.

Тому дані цифрового картографування потребують інструментів трансформації їх в інформаційне середовище геоінформаційної системи. За цією метою базові набори геопросторових даних слід створювати шляхом коректної трансформації даних цифрового картографування без втрати точності визначення об'єктів на підставі Класифікатора базових наборів геопросторових даних.

Класифікатор базових наборів геопросторових даних [42] призначений для використання в геоінформаційній системі. У ній представлено 46 класів просторових об'єктів, які у свою чергу містять 248 підтипів, які є основою для створення базових шарів геоінформаційної системи.

Таблиця 3.2.7 - Фрагмент класифікатора базових наборів геопросторових даних

Код класу, підтипу	Клас просторових об'єктів	Підтип класу просторових об'єктів	Тип геометрії
61 300 000	Road_L Лінійні елементи проїжджих частин вулиць, тротуарів, покриття		Лінійний
61 341 100		Бордюр проїжджої частини	
61 342 100		Край проїжджої частини без бордюру	
61 346 000		Межі зміни покриття	
61 347 000		Вісь вулиці	
61 343 100		Край тротуару з покриттям без бордюру	
61 343 200		Бордюр тротуару з покриттям	
61 344 100		Край тротуару (доріжки) без покриття	

Класифікатор базових наборів геопросторових даних є таким, який можна розвивати.

3.2.4 Контрольні питання і завдання для самостійної роботи

- 1) Дайте визначення класифікації. Яку мету переслідує класифікація?
- 2) Які склалися підходи до класифікації?
- 3) Яке значення мають класифікації для геоінформаційних систем?
- 4) Опишіть основні терміни і визначення класифікації.
- 5) Опишіть основні методи класифікації.
- 6) Опишіть основні методи кодування об'єктів класифікації.
- 7) Приведіть загальну характеристику Єдиної системи класифікації і кодування техніко-економічної інформації.
- 8) Дайте характеристику п'яти підходів при вирішенні класифікаційних завдань в геоінформаційних системах.
- 9) Побудуйте свою класифікацію об'єктів реального світу, які ви бачите.

Розділ 3.3

СИСТЕМИ КООРДИНАТ І КАРТОГРАФІЧНІ ПРОЕКЦІЇ

3.3.1 Значення координат в геоінформаційних системах

Розгляд комп'ютерних моделей географічних об'єктів дозволяє виділити сутність представлення реального світу ГІС: моделі географічних об'єктів і їх просторові властивості – місце розташування, форма, розміри, просторові відношення – представляються за допомогою координат. Отже, і обробка географічних даних у свою чергу пов'язана з обробкою координат географічних об'єктів. Таким чином, координати є базовим компонентом в моделях географічних об'єктів.

Для визначення місця розташування об'єктів на Землі використовуються системи координат, введені для реального простору Землі. Визначення систем координат для реального простору Землі має свою специфіку і є предметом розгляду геодезичної науки.

Галузь геоінформаційної науки не тільки інтегрує рішення, вироблені геодезичною наукою і картографією в цьому напрямі, але і розвиває їх в системному інформаційному середовищі. Геоінформаційні системи містять рішення, реалізовані в програмному продукті, пов'язані з встановленням системи відліку, трансформацією даних з однієї системи координат в іншу, створенням топологічних моделей, аналізом даних за умови представлення цих даних в єдиній системі координат, та ін. Для вирішення багатьох завдань в ГІС стає ключовим процес, який отримав назву геореференція (Geo-referencing), – встановлення зв'язків моделі географічних об'єктів з системою координат реального простору Землі і картографічною проекцією.

Тому для роботи в геоінформаційних системах потрібні знання про базові положення систем координат в реальному земному просторі і картографічних проекціях.

3.3.2 Земні сфери й сфероїди

Фізична поверхня планети Земля має складну форму. Фізичну модель фігури Землі представляє геоїд (Geoid) – рівнева поверхня, до

якої прямовисні лінії усюди перпендикулярні і яка проходить через точку початку відліку висот на середньому рівні океану. Висоти геоїда відносно земного еліпсоїда змінюються від +85 м. до -107 м. Учені з вищої технічної школи Цюріха і геодезичного інституту Мюнхена в середині 80-х років побудували модель фізичної поверхні Землі у вигляді деформованої об'ємної фігури (Рис.3.3.1) на підставі аналізу супутникових даних про силу земного тяжіння в різних точках планети [Вісті, 14.02.1987]. Супутникова технологія показала декілька еліптичних відхилень, наприклад, Південний полюс ближче до екватора, чим Північний полюс.

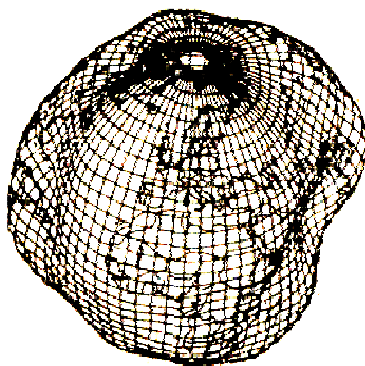


Рис. 3.3.1 – Геоїд

Складну поверхню планети Земля апроксимують двома геометричними моделями: 1) сферою (Sphere), 2) сфероїдом (Spheroid), який є еліпсоїдом (Ellipsoid) обертання, стислим з полюсів. Вибір геометричної моделі Землі залежить від мети вирішуваного завдання і необхідної точності результату обчислень.

Представлення Землі у вигляді *сфери* спрощує математичні обчислення. Сфера заснована на крузі і описується одним параметром – радіусом Землі. Земна сфера застосовується в тих випадках, коли відмінність між сферою і сфероїдом не істотна для точності результатів рішення задачі. Наприклад, при дрібномасштабному картографуванні масштабу 1:5000000 і менше, а також у ряді інших випадків практики земний сфероїд замінюють землею сферою (Earth's Sphere, Terrestrial Globe).

Представлення Землі у вигляді *сфероїда* пов'язане із складними математичними обчисленнями і служить для обчислень геодезичних

широт, довгот, азимутів, довжин, площ, розрахунків картографічних проєкцій і вирішення інших практичних завдань. Фігура Землі апроксимується сфероїдом для відображення поверхні Землі на картах масштабу 1:1000000 і більших. Сфероїд заснований на еліпсі. Форма еліпса визначена двома радіусами - великою піввіссю a і малою піввіссю b .

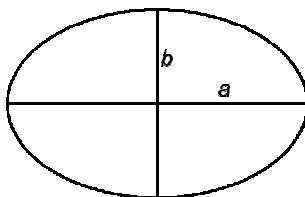


Рис. 3.3.2 - Півосі сфероїда.

Сфероїд визначають два параметри: значення великої півосі a і малій півосі b або значення великої півосі a і стиснення f .

Стиснення f обчислюється за формулою

$$f = \frac{a - b}{a} . \quad (3.3.1)$$

Стиснення характеризує відмінність в довжинах півосей. Стиснення може змінюватися від нуля до одиниці. Значення стиснення рівне нулю означає, що ці дві осі рівні і утворюють сферу. Стиснення сфероїда Землі - маленька величина, що виражається десятковим числом (приблизно рівна 0,003353). Стиснення зазвичай представляється аліквотним дробом $1 / (1: f)$.

Інша характеристика, яка описує форму сфероїда подібно до стиснення, є квадрат ексцентриситету e^2 меридіанного еліпса, який представлений формулою

$$e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2} . \quad (3.3.2)$$

На підставі геодезичних вимірів в різний час визначений ряд сфероїдів, які представляють Землю. У табл. 3.3.1 подані деякі сфероїди.

Таблиця. 3.3.1 – Параметри сфероїдів

Назва	a	b	f	Використання
Airy 1830	6377563.396		1:299.3249646	
Bessel 1841	6377397.155	6356078	1:299.1528128	Central Europe
Clarke 1866	6378206.4	6356583	1:294.9786982	GB
Clarke 1880	6378249.145		1:293.465	N. America, France
Everest 1830	6377276.345	6356075	1:300.8017	India, Burma
Fischer 1960 (Mercury)	6378166		1:298.3	
Fischer 1968	6378150		1:298.3	
Helmert 1907	6378200	6356818		Egypt
Heyford 1909	6378388	6356912	1:297.0	Finland
GRS 1967	6378160		1:298.247167427	
GRS 1975	6378140		1:298,257	
GRS 1980	6378137		1:298.257222101	Ukraine
Hough 1956	6378270		1:297.0	
International	6378388	6356772	1:297.0	
Krassovsky 1940	6378245	6356863	1:298.30003	USSR, E. Europe
South American 1969	6378160		1:298.25	South American
WGS60	6378165		1:298.3	
WGS66	6378145		1:298.25	
WGS72	6378135		1:298.26	
WGS 84 Ellipsoid	6378137,0	6356752	1:298.257223563	World Wide
ПЗ 90 параметри Землі 1990	6378136		1:298,25784	Russia

Загальноземний еліпсоїд (World Ellipsoid) апроксимує Землю в цілому. Референц-еліпсоїд (Reference Ellipsoid) – це локальний еліпсоїд, прийнятий для обробки вимірів і встановлення системи геодезичних координат для певного регіону або однієї країни, який

краще всього пристосований до поверхні цього регіону або країни. Наприклад, до недавнього часу, дані США, Латинської і Центральної Америки використовували сфероїд, визначений Кларком (Clarke) в 1866. Велика піввісь сфероїда Кларка 1866 має довжину 6378206,4 метра, а мала піввісь – 6356583,8 метра. Новий стандартний сфероїд для Північної Америки - Геодезична референсна система GRS 1980 (Geodetic Reference System - 1980), радіуси якого складають 6378137,0 і 6356752,31414 метра. В будь-якому разі потрібно знати, що заміна сфероїда, прийнятого для системи координат, змінює всі заздалегідь виміряні значення.

3.3.3 Геодезичні дати

Геодезичні дати, датуми (Datums, Geodetic datums) – це система відліку, яка описує форму і розміри Землі, початок, орієнтацію і масштаб координатних систем, використовуваних для визначення місця розташування відносно Землі за допомогою координат. Дати фіксують положення сфероїда в тілі Землі. Вони визначають початок і орієнтацію ліній довгот і широт. Дати забезпечують основу просторової прив'язки для виміру місця розташування на поверхні Землі.

Всякий раз, коли змінюються дати, значення координат даних зміняться. Наприклад, один і той же контрольний пункт в місті Редланд (Redland) Каліфорнії має координати:

- у Північноамериканських датах 1927 (NAD27):
широта 34о 01' 43,72995", довгота -117о 12' 54,61539";
- у Північноамериканських датах 1983 (NAD83):
широта 34о 01' 43,77884", довгота -117 про 12' 57,75961";

Значення довготи відрізняються приблизно на 3 секунди, тоді як значення широти відрізняються приблизно до 0,05 секунд.

За обхватом земного простору дати підрозділяються на геоцентричні (загальноземні) і топоцентричні (місцеві).

Геоцентричні дати визначаються загальним земним сфероїдом. Останніми роками супутникові дані забезпечили геодезистів новими вимірами, щоб визначити сфероїд, який краще апроксимує Землю. Розвиненими й широко використовуваними датами є Світова геодезична система 1984 (World Geodetic System of 1984 - WGS 1984). Вона служить як основа для виміру місця розташування у всьому світі.

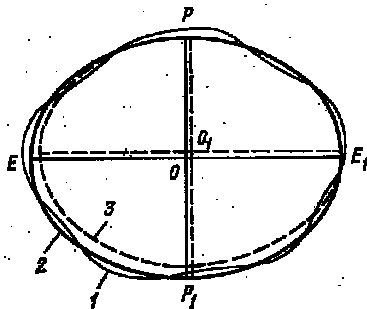


Рис. 3.3.3 – Референцні поверхні: 1) геоїд, 2) сфероїд загальноземних дат, 3) сфероїд локальних дат [43]

Топоцентричні дати визначають сфероїд так, щоб посадити його як можна ближче до поверхні Землі в специфічній області. Початок системи координат місцевих дат не в центрі Землі. Центр сфероїда місцевих дат зміщений від центру Землі. Наприклад, місцеві дати NAD 1927 розроблені так, щоб посадити Північну Америку добре, тоді як Європейські дати (European Datum) ED 1950 були створені для використання в Європі. Оскільки місцеві дати підганяють їх сфероїд близько до специфічної області на поверхні Землі, вони не підходять для використання поза областю, для якої вони були розроблені.

За розмірністю координатних систем розрізняють наступні типи дат:

- *Горизонтальні дати* визначають відношення між фізичною Землею і горизонтальними координатами, такими як широта і довгота;
- *Вертикальні дати* визначають рівневі поверхні. Одні вертикальні дати спираються на виміри рівня океану, інші – на гравіметричні виміри;
- *Комплексні дати* визначають вертикальні й горизонтальні системи. Наприклад, Світова Геодезична Система (WGS-84) описує також параметри обертання Землі і різні фізичні константи, такі як кутова швидкість Землі і гравітаційні постійні Землі.

3.3.4 Системи координат

Для обробки даних в геоінформаційних системах системи координат діляться на наступні типи:

- *системи координат пов'язані із моделлю Землі* - системи

просторових прямокутних координат, системи криволінійних координат, проєктовані системи координат;

- системи координат не пов'язані з моделлю Землі – невідомі (Unknown) системи локальних координат.

Референцні системи координат – це такі системи координат, які пов'язані з об'єктом в певній системі відліку.

3.3.4.1 Світова геодезична система координат WGS-84

Системою просторових прямокутних координат, пов'язаної з моделлю Землі, є Світова геодезична система WGS 84 (World Geodetic System 1984) [44]. Вона має широке вживання у зв'язку з використанням супутникових даних, що отримуються в глобальній системі позиціонування GPS.

Світова геодезична система WGS 84 була визначена по супутникових доплерівських вимірах в січні 1987 р. У подальших 1994 і 1996 років WGS 84 була вдосконалена за рахунок додаткових точних супутникових, геодезичних і гравіметричних вимірів. Третя редакція Світової геодезичної системи WGS 84 має розбіжність декілька сантиметрів в координатах з Міжнародною загальноземною системою, яка підтримується Міжнародною службою обертання Землі IERS (International Earth Rotation Service).

Світова геодезична система координат WGS-84 - це загальноприйнята земна референціальна система CTRS (Conventional Terrestrial Reference System), яка відповідає критеріям IERS. Система координат WGS-84 є геоцентрична система. Центр має визначений для всієї Землі, включаючи океани і атмосферу, і відповідає геометричному центру Еліпсоїда WGS-84 з фундаментальними геодезичними постійними, представленими в табл. 3.3.2.

Таблиця 3.3.2 - Фундаментальні геодезичні постійні еліпсоїда WGS-84

Параметр	Позначення	Значення
Екваторіальна піввісь	a	6378137.0 m
Стиснення	f	1:298.257223563
Кутова швидкість обертання Землі	ω	$7292115.0 \times 10^{-11}$ rad/s
Добуток гравітаційної постійної на масу Землі	GM	$3986004.418 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{s}^2$
Швидкість електромагнітних хвиль у вакуумі	c	299792458 m/s

Орієнтація Еліпсоїда WGS-84 була спочатку задана Міжнародним бюро орієнтації.

Координатна система WGS-84 є правосторонньою ортогональною декартовою системою координат.

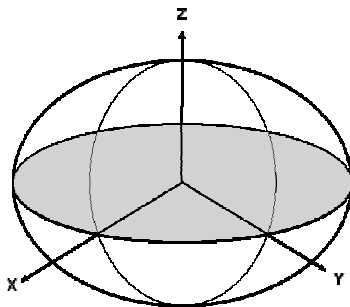


Рис. 3.3.4 - Світова геодезична система координат WGS-84

Формули зв'язку прямокутних просторових координат (x, y, z) з геодезичними координатами (φ, λ, h) наступні:

$$x = (N + h) \cos \varphi \cos \lambda ; \quad (3.3.3)$$

$$y = (N + h) \cos \varphi \sin \lambda ; \quad (3.3.4)$$

$$z = ((b^2 / a^2) N + h) \sin \varphi , \quad (3.3.5)$$

де N - радіус кривої першого вертикала обчислюється за формулою:

$$N = \frac{a}{(1 - e^2 \sin^2 \varphi)^{1/2}} . \quad (3.3.6)$$

Формули зв'язку геодезичних координат (φ, λ, h) з прямокутними просторовими координатами (x, y, z) наступні:

$$\sin \lambda = \frac{y}{\sqrt{x^2 + y^2}} ; \quad (3.3.7)$$

$$\sin \varphi = \frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}} ; \quad (3.3.8)$$

$$\rho = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} ; \quad (3.3.9)$$

$$h = \rho - a . \quad (3.3.10)$$

3.3.4.2 Системи криволінійних координат

Криволінійними координатами на референційній поверхні є кутові величини "широта" (latitude) і "довгота" (longitude), які визначаються напрямом нормалі до референційної поверхні.

Залежно від вигляду референційної поверхні розрізняють наступні види географічних координат:

- *Географічні координати*, що базуються на математично визначеній нормалі до поверхні земної сфери.
- *Астрономічні координати*, що базуються на фізично визначеній прямовисній лінії до рівневої поверхні геоїда.
- *Геодезичні координати*, що базуються на математично визначеній нормалі до поверхні земного сфероїда.

Засновані на цьому принципі системи координат відповідно називаються:

- Географічна система координат,
- Астрономічна система координат,
- Геодезична система координат.

Терміни "географічні координати", "географічна довгота", "географічна довгота" мають історичне походження. Вони з'явилися тоді, коли Землю приймали за кулю, а координати визначали астрономічними методами. Пізніше з визначенням фізичної і геометричних моделей фігури Землі з'явилися види криволінійних координат, в яких терміни "широта" і "довгота" збереглися, а термін "географічні координати" інколи застосовують в узагальненому представленні криволінійних координат.

Географічна система координат (Geographic Coordinate System - GCS) використовує тривимірну сферичну поверхню, щоб визначити місця розташування на Землі. GCS включає кутову одиницю виміру, головний меридіан, екватор і дати, засновані на сфері.

Геодезична система координат використовує тривимірну сфероїдичну поверхню, щоб визначити місця розташування точок на Землі геодезичними координатами, які в ГІС позначаються φ , λ , h (у країнах колишнього СРСР геодезичні координати позначаються В, L, Н відповідно).

Геодезична широта φ точки – це кут між площиною екватора і нормаллю до поверхні сфероїда в точці.

Геодезична довгота λ точки – це кут між площиною початкового меридіана і площиною геодезичного меридіана точки.

Геодезична висота h точки – це довжина відрізка нормалі від сфероїда до точки.

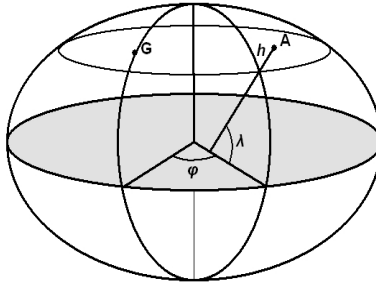


Рис. 3.3.4 – Геодезична система координат

Кривими координатними лініями є меридіани і паралелі. Меридіан є координатна лінія, в усіх точках якої довгота має постійне значення. Паралель є координатна лінія, для якої широта має постійне значення. Ці координатні лінії охоплюють земну кулю і формують сітку паралелей і меридіанів.

Лінія нульової широти або максимальна паралель називається екватором. Лінія нульової довготи називається головним меридіаном. Для більшості географічних систем координат головний меридіан проходить через Грінвіцьку обсерваторію (Greenwich) в Лондоні.

Початок сітки паралелей і меридіанів (0,0) визначений там, де перетинаються екватор і головний меридіан. Значення широти і довготи вимірюються або в градусах, хвилинах, і секундах (degrees, minutes, and seconds - DMS), або в десяткових градусах. Значення широти змінюються відносно екватора в діапазоні від -90° у Південному полюсі до $+90^\circ$ в Північному полюсі. Значення довготи змінюються відносно головного меридіана від -180° при переміщенні на захід і до $+180^\circ$ при переміщенні на схід. Довгота і широта можуть мати точні положення на поверхні земної кулі.

Оскільки меридіани сходяться до полюсів, відстань, представлена одним градусом довготи, не є постійна величина; вона зменшується до полюсів. Так, на сфероїді Кларка (Clarke) 1866 один градус довготи в екваторі дорівнює 111.321 км. (1° – 111 км., $1'$ - 1.85 км., $1''$ – 31 м., $0.001''$ – 3 см.). На широті 60° один градус довготи дорівнює 55.802 км. Оскільки градуси широти і довготи не мають стандартної довжини, для точного визначення відстані або площі потрібні складні математичні залежності.



Рис. 3.3.5 – Позначення головного меридіана в Грінвічській обсерваторії [45]

3.3.4.3 Проеційовані системи координат

Проеційованими системами координат (Projected coordinate systems) називаються будь-які системи координат, розроблені шляхом проєціювання опуклої поверхні Землі на плоску двовимірну поверхню типу паперової карти або комп'ютерного екрану. Це двовимірна система координат, яку використовують для апроксимації форми Землі на плоскій поверхні.

Проеційована система координат є плоскою декартовою системою прямокутних координат (x , y), простою у використанні. На відміну від географічної системи координат, проєційована система координат має постійні довжини, кути і площі на двовимірній площині. Проеційована система координат завжди заснована на криволінійній системі координат, яка спирається на сферу або сфероїд. Координати

проеційованої системи координат обчислюють за координатами географічної / геодезичної системи координат.

3.3.5 Картографічні проєкції

3.3.5.1. Що є картографічна проєкція?

Картографічною проєкцією (Map Projection) називається математичне перетворення тривимірної поверхні Землі, що розглядається як сфера або сфероїд, на площину.

Багато картографічних проєкцій використовують ідею проєціювання, яку пояснює рис. 3.3.6. Поверхню Землі проєціюють на поверхню проєціювання. У подальшому поверхня проєціювання розгортається в площину, для якої вводиться проєційована система координат. У таких випадках поверхні проєціювання називають поверхнями, що розгортаються.

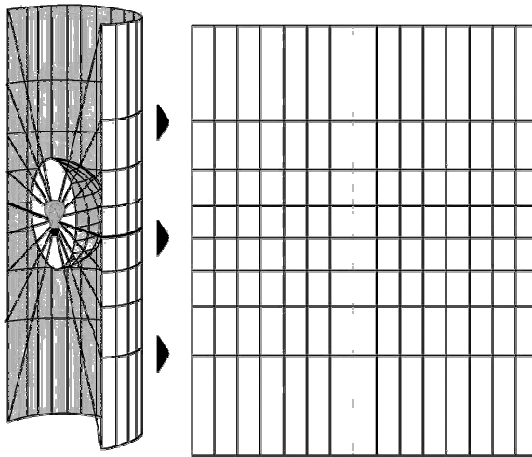


Рис. 3.3.6 – Ілюстрація проєціювання поверхні Землі [43]

Картографічна проєкція використовує математичні формули, щоб пов'язати сфероїдичні/сферичні координати з плоскими плановими координатами. У загальному випадку математичне перетворення представляється залежностями

$$x = f_1(\varphi, \lambda); \quad (3.3.11)$$

$$y = f_2(\varphi, \lambda). \quad (3.3.12)$$

У результаті проєціювання на площині виходить деформованою сітка поверхні Землі. Це ілюстрація того, що сфера або сфероїд не можуть бути розгорнуті в будь-яку площину без спотворень. Представлення поверхні Землі в двох вимірах наводить до спотворень форми, площі, відстані або напрямку. Щоб зменшити спотворення, тривимірні просторові об'єкти повинні щільно прилягати до поверхні проєктування.

Різні проєкції викликають різні типи спотворень. Деякі проєкції розроблені, щоб мінімізувати спотворення однієї або двох характеристик даних. Проєкція може представити площу просторового об'єкта, але змінити його форму.

Картографічні проєкції розроблені для певної мети. Одна картографічна проєкція може використовуватися для великомасштабних даних в обмеженій області, інша використовується для дрібномасштабної карти світу. Картографічні проєкції, розроблені для дрібномасштабних даних, зазвичай засновані на сферичних, а не на сфероїдальних системах координат.

3.3.5.2 Класифікація проєкцій за типом спотворень

За типом спотворень картографічні проєкції діляться на конформні, рівноплощинні, рівнопроміжні й азимутальні.

Конформні проєкції

Конформні проєкції (Conformal projections) зберігають локальну форму. Щоб зберегти індивідуальні кути, що описують просторові відношення, конформна проєкція повинна показати перпендикулярні лінії географічної сітки, пересічні на карті під кутом 90 градусів. Картографічна проєкція зберігає всі кути. Негативна сторона проєкції полягає в тому, що площа, обмежена серією дуг, може бути значно спотворена в процесі. Жодна картографічна проєкція не може зберегти форми великих областей.

Рівноплощинні проєкції

Рівноплощинні проєкції (Equal area projections) зберігають площу просторових об'єктів, що відображують. Щоб забезпечити це, інші властивості - форма, кут і масштаб - спотворюються. У

рівноплощинних проекціях меридіани і паралелі не можуть перетинатися під прямими кутами. У деяких випадках, особливо на картах малих регіонів, форми вочевидь не спотворені й важко відрізнити рівноплощинну проекцію від конформної проекції без документування або вимірів.

Рівнопроміжні проекції

Рівнопроміжні проекції (Equidistant projections) зберігають відстані між певними точками. Будь-якою проекцією масштаб не підтримується коректно скрізь у повній карті. Проте, в більшості випадків є одна або більшого числа ліній на карті, по яких масштаб підтримується правильно. Більшість проекцій, що зберігають відстані, мають одну або більша кількість ліній, для яких довжина лінії на карті є тією самою довжиною (у масштабі карти), як такий же самій лінії на земній кулі. Такі відстані вважаються істинними і відповідають дійсному масштабу між двома точками на карті.

Азимутальні проекції

Найкоротший маршрут між двома точками на кривій поверхні Землі проходить по сферичному еквіваленту прямої лінії на плоскій поверхні. Це - великий круг, що проходить через дві точки. Проекції дійсного напрямку (True-direction projections) або азимутальні проекції містять деякі дуги великого круга, що представляють напрями або азимути всіх точок на карті правильно відносно центру. Деякі проекції дійсного напрямку можуть бути також конформними, рівноплощинними або рівнопроміжними.

3.3.5.3 Класифікація проекцій за типом поверхні проєціювання

Картографічні проекції класифіковані відповідно до використаної поверхні проєціювання - конічною, циліндровою або плоскою (рис. 3.3.7). Вона може бути вирівняна без розтягання її поверхні. Картографічна проекція проєціює місця розташування на поверхні сфероїда до відповідних позицій на плоскій поверхні, використовуючи математичні залежності.

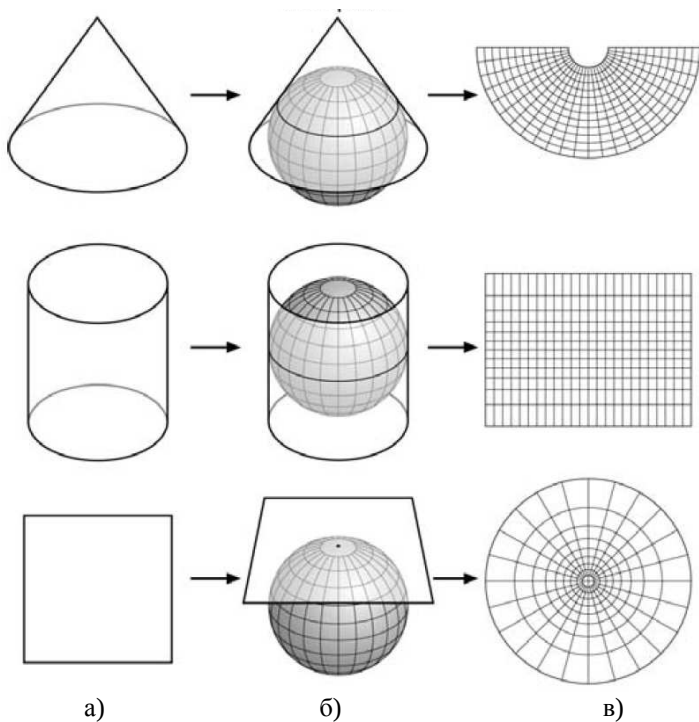


Рис. 3.3.7 - Конічна, циліндрова, плоска поверхні проєціювання:
а) вихідні форми, б) поверхні, що розгортаються, в) проєкції [46]

Поверхні проєціювання - конуси, циліндри і площини можуть приймати нормальне (Normal), поперечне (Transverse) або похиле, косе (Oblique) положення відносно осі обертання сфери або сфероїда.

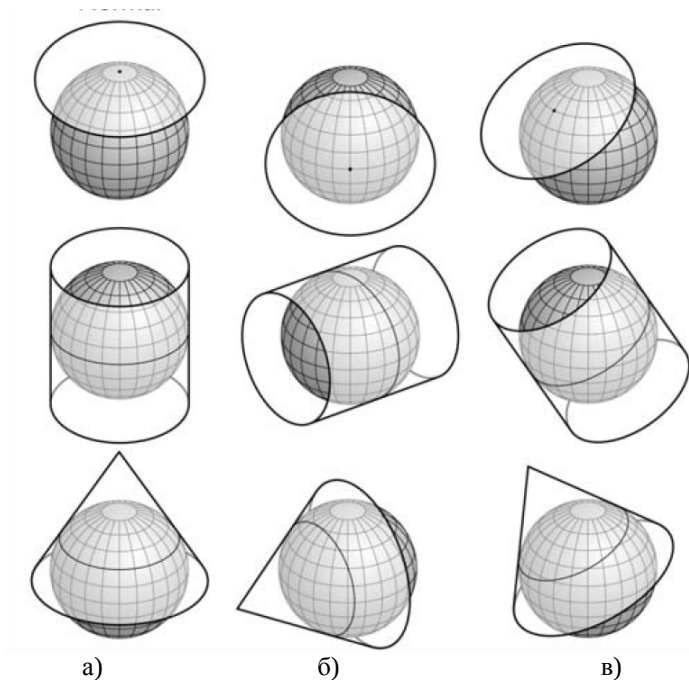


Рис. 3.3.8 - Положення поверхні проєціювання:
а) нормальне, б) поперечне, в) похиле [46]

Поверхні проєціювання - конуси, циліндри і площини можуть бути дотичними (Tangential) до сфери, сфероїда або січними (Secant) сферу, сфероїд. Контакт двох поверхонь відбувається в точці, лінії торкання або по лінії перетину. Незалежно від того, що контакт дотичний або січний, точки або лінії контакту є істотними, оскільки вони визначають розміщення нульового спотворення. Лінії дійсного масштабу називають стандартними лініями. Взагалі, спотворення збільшується із збільшенням відстані від точки контакту.

Конічні проєкції

Конічні проєкції (Conic projections) використовують конус як поверхню проєціювання. Найбільш проста конічна проєкція - дотична до земної кулі по паралелі. Ця лінія є стандартною паралеллю. Меридіани проєціюються на конічну поверхню, з'єднуючись у вершині або точці конуса. Паралелі проєктуються на конус як кільця. Конус

потім розрізається по будь-якому меридіану і розгортається в площину. Завершальна конічна проекція має лінії для меридіанів, що прямо сходяться, і концентричні дуги кіл для паралелей. Протилежний до лінії розрізу меридіан стає центральним меридіаном.

З видаленням від стандартної паралелі спотворення збільшуються. Конічні проекції використовуються для зон середніх широт, які мають східно-західну орієнтацію, і не використовуються для полярних областей.

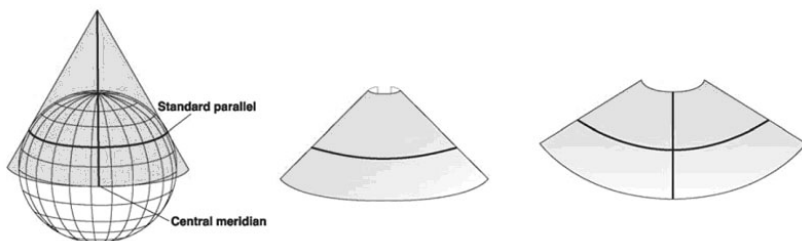


Рис. 3.3.9 - Дотична конічна проекція [43]

Січні конічні проекції визначені двома стандартними паралелями. Модель спотворень для січних проекцій різна між стандартними паралелями і за ними. Січна проекція має менші спотворення, ніж дотична проекція. Якщо вісь конуса не поєднують з полярною віссю земної кулі, такі типи проекцій називаються перспективними.

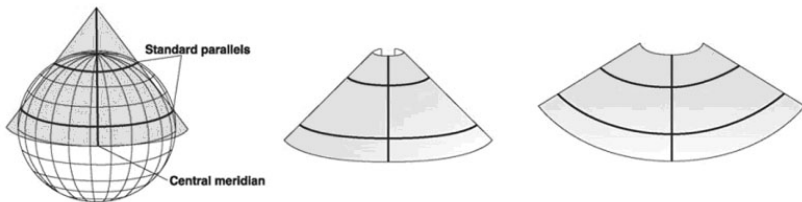


Рис. – 3.3.10 - Січна конічна проекція [43]

Представлення географічних просторових об'єктів залежить від інтервалу між паралелелями. Коли паралелі рівномірно розташовані, така проекція є рівнопроміжною, але ні конформною, ні рівноплощинною. Приклад цього типу проекції - рівнопроміжна конічна проекція. Для малих областей повні спотворення мінімальні. Прикладом конформної конічної проекції є проекція Ламберта (Lambert), а конічний рівноплощинний проекції проекція Альбера (Alber).

Циліндрові проекції

Циліндрові проекції (Cylindrical projections) використовують циліндр як поверхню проєціювання. Подібно до конічних проекцій, циліндрові проекції можуть також бути січними або дотичними. Вісь циліндра може розташовуватися по осі обертання еліпсоїда, в площині екватора, похило до осі обертання еліпсоїда.

При розміщенні осі циліндра по осі обертання еліпсоїда створюється нормальна циліндрова проекція (Normal cylindrical projections). Прикладом є проекція Меркатора (Mercator), в якій екватор є її лінією торкання. Перетини геометрично проєціються на циліндрову поверхню, а паралелі математично проєціються. Цим створюється координатна сітка з кутами 90 градусів. Циліндр розрізає по будь-якому меридіану, щоб побудувати кінцеву циліндрову проекцію. На площині меридіани рівномірно розташовані, тоді як інтервал між паралельними лініями широти збільшується до полюсів. Це проекція конформна, яка показує дійсний напрям по прямих лініях. У проекції Меркатора локсодроми (лінії постійного напрямку) є прямими лініями, але більшість великих кругів не є такими.

При розміщенні осі циліндра в площині екватора еліпсоїда створюється поперечна циліндрова проекція (Transverse cylindrical projections). Поперечні циліндрові проекції типа Трансверсальної Меркатора використовують меридіан як тангенціальний контакт або лінії паралельні меридіанам як лінії перетину. Стандартні лінії в такому разі проходять від північного до південного полюса, уздовж яких масштаб є істинним.

При розміщенні осі циліндра похило до осі обертання еліпсоїда створюється циліндрова похила (коса) проекція (Oblique cylindrical projections). Похилі циліндри обертаються довкола лінії великого круга, зафіксованої між екватором і меридіанами. У цих проекціях більшість меридіанів і паралелей не є прямими лініями.

У всіх циліндрових проекціях лінія торкання або лінії перетину не мають спотворень і таким чином є лініями рівновіддаленості. Інші географічні властивості змінюються відповідно до специфіки проекції.

Плоскі проекції

Плоскі проекції (Planar projections) використовують площину як поверхню проєціювання. Плоска проекція відома також як азимутальна проекція або зенитальна проекція. Площина може бути

дотичною до земної кулі в одній точці, або може бути січною. Точкою дотику може бути Полярний Полюс, Південний Полюс, точка на екваторі або будь-яка точка між ними. Можливі положення поверхні проєктування: полярне, екваторіальне і похиле (косе).

Полярне положення поверхні проєціювання - найпростіша форма. Паралелі представляються концентричними кругами з центром в полюсі, а меридіани - прямими лініями, які перетинаються з їх дійсними кутами орієнтації в полюсі. У інших положеннях, плоскі проєкції матимуть кути координатної сітки 90 градусів у фокусі. Направлення з фокусу точні. Великі круги, що проходять через фокус, представлені прямими лініями; таким чином, найкоротша відстань від центру до будь-якої іншої точки на карті є прямою лінією. Моделі спотворень площі і форми є кругами відносно фокусу. З цієї причини азимутні проєкції пристосовані до кругових областей краще, ніж до прямокутних областей. Плоскі проєкції використовуються найчастіше для відображення полярних регіонів.

Деякі плоскі проєкції розглядають поверхневі дані з певної точки в просторі. Точка зору визначає, як сферичні дані проєціюються на плоску поверхню. Центром перспективи може бути центр Землі, або поверхнева точка прямо протилежна фокусу, або видалена точка поза земною кулею.

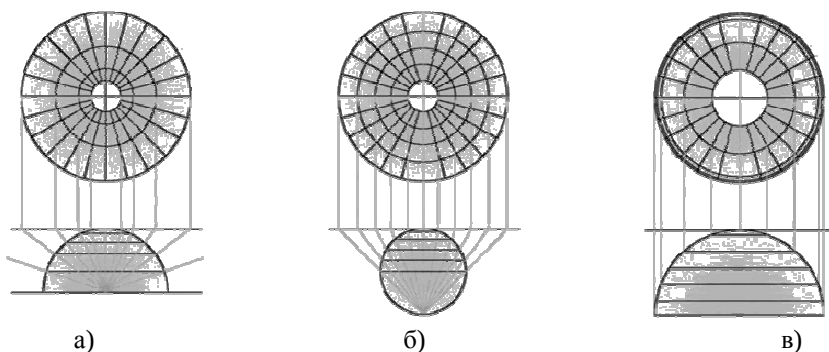


Рис. 3.3.11 - Азимутальні проєкції:
а) гномонічна, б) стереографічна, в) ортографічна [43]

За різними перспективами азимутні проєкції з полярним положенням поверхні проєціювання підрозділяються на три види:

- *Гномонічна проєкція* розглядає поверхневі дані з центру Землі;
- *Стереографічна проєкція* розглядає їх від полюса до полюса;

- *Ортографічна проекція* розглядає Землю з точки в нескінченності. Відмінності в перспективі визначають кількість спотворень у напрямі до екватора.

3.3.5.4. Інші проекції

Проекції, розглянуті вище концептуально, створені проєціюванням однієї геометричної форми (сфери, сфероїда) на іншу (конус, циліндр або площина). Проте багато інших проекцій не пов'язано безпосередньо з конусом, циліндром або площиною.

Модифіковані проекції – це перероблені версії інших проекцій (наприклад, Просторова похила проекція Меркатора є модифікація проекції Меркатора). Ці модифікації розроблені, щоб зменшити спотворення, часто включенням стандартних додаткових ліній або зміною моделі спотворень.

Псевдопроекції мають деякі характеристики проекцій іншого класу. Наприклад, синусоїдальна проекція названа псевдоциліндровою проекцією, тому що всі паралелі прямі й паралельні, й всі меридіани рівномірно розташовані. Проте це не істинно циліндрова проекція, тому що всі меридіани окрім центрального меридіана зігнуті. Це наводить до карти Землі, що має овальну форму замість прямокутної форми.

3.3.5.5. Параметри картографічних проекцій

Картографічна проекція сама не визначає проєціювану систему координат. Можна заявити, що набір даних знаходиться в проекції Трансверсальної Меркатора, але цієї інформації не вистачає. Де знаходиться центр проекції? Чи використовувався масштабний коефіцієнт? Без того, щоб знати точні значення параметрів проекції, набір даних не може проєціюватися.

Кожна картографічна проекція має набір параметрів, який необхідно задати. Параметри визначають початок координат і набудовують проекцію для області, що представляє інтерес. Кутові параметри використовують одиниці географічної системи координат, тоді як лінійні параметри використовують одиниці проєціюваної системи координат.

Лінійні параметри

Східне зміщення координат (False easting) - лінійне значення, жвиване до початку *x* правої системи координат.

Північне зміщення координат (False northing) - лінійне значення, жвиване до початку *y* правої системи координат.

Східне і північне зміщення координат застосовуються для того, щоб всі значення *x* або *y* були позитивними. Параметри східного і північного зміщення координат можна також використовувати, щоб зменшити діапазон *x* або *y* значень координат. Наприклад, якщо всі значення в більшій, ніж п'ять мільйонів метрів, можна застосовувати північне зміщення координат на 5 000 000 м.

Масштабний коефіцієнт - безрозмірне значення, застосоване до центру або лінії картографічної проекції. Масштабний коефіцієнт - звичайно дещо менше ніж одиниця. Система координат UTM, яка використовує поперечну проекцію Меркатора, має масштабний коефіцієнт 0,9996 уздовж центрального меридіана проекції. Це створює дві стандартні лінії приблизні на відстані 180 кілометрів від центрального меридіана, для яких масштабний коефіцієнт дорівнює 1,0, й в околі яких зменшуються спотворення проекції.

Кутові параметри

В одноточечних проекціях використовуються:

- *азимут* - вимірюється від північного напрямку центрального меридіана;
- *довгота початку координат* визначає початок *x*-координат; параметри центрального меридіан і довгота початку координат синонімічні;
- *широта початку координат* визначає початок *y*-координат.

У двоточковій рівнопроміжній проекції Хотіна (Hotine) (двоточковий центр і центр визначення азимута) і косокутній проекції Меркатора використовуються:

- *довгота центру*, щоб визначити початок *x*-координат;
- *широта центру*, щоб визначити початок *y*-координат.

У двоточковій равнопромежуточной проекції і в косокутній проекції Хотіна- Меркатора використовують чотири параметри:

- *довгота першої точки*
- *широта першої точки*
- *довгота другої точки*
- *широта другої точки*.

Вони визначають дві географічні точки, які фіксують центральну вісь проекції.

3.3.5.6 Приклади картографічних проєкцій

Програмні продукти ArcView GIS, ArcGIS включають інструменти для роботи з 66 картографічними проєкціями, які описані в керівництві [43]. Далі приведена інформація тільки про дві поширені проєкції.

Проекція Гаусса-Крюгера (Gauss–Krüger)

Історична довідка

У 1569 році фламандський картограф Герард Меркатор (Mercator) розробив рівнокутну циліндрову екваторіальну проєкцію, в якій площі спотворювалися до полюсів. У 1772 році Йоганн Ламберт (Johann Heinrich Lambert) модифікував екваторіальну проєкцію Меркатора в трансверсальну форму з метою мінімізації спотворень. У 1822 році Йоганн Карл Фрідріх Гаусс (Johann Carl Friedrich Gauss) виконав аналіз трансверсальної проєкції, а в 1912 р. Луїс Крюгер (Louis Krüger) розробив формули для еліпсоїда. В Європі конформна проєкція отримала назву Гаусса-Крюгера, а в США – трансверсальна Меркатора.

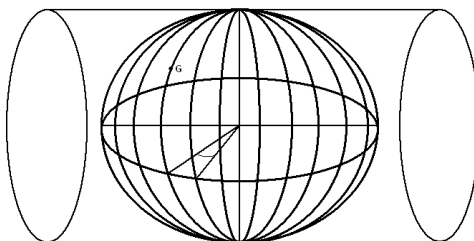


Рис. 3.3.12 - Проекція Гаусса-Крюгера

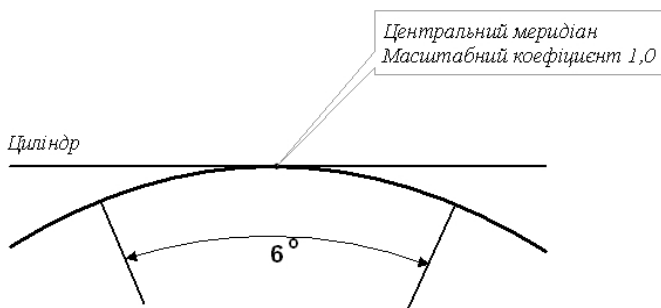


Рис. 3.3.13 – Дотичний циліндр проєкції Гаусса-Крюгера

Опис

Проекція Гаусса-Крюгера є окремим випадком проекції Transverse Mercator. Ця проекція подібна до трансверсальної проекції Меркатора за винятком того, що циліндр дотичний меридіана замість екватора. Проеціювання виконується по зоні, яка обмежена двома меридіанами. Центральний меридіан зони розташований в області, яка буде проєційованою. Це центрування мінімізує спотворення всіх властивостей у цій області. Результат - конформна проекція, яка не зберігає правильні напрями.

Система координат Гаусса-Крюгера (ГК) заснована на проекції Гаусса-Крюгера.

Метод проєціювання

Циліндрова проекція з центральним меридіаном, уміщеним в специфічну область.

Лінія контакту

Будь-який єдиний меридіан для тангенціальної проекції.

Прямі лінії сітки меридіанів і паралелей

Екватор і центральний меридіан.

Властивості

Форма

Конформна проекція. Підтримується мала форма. Форма великої області все більш й більш спотворена з видаленням від центрального меридіана.

Площа

Спотворення збільшується з видаленням від центрального меридіана.

Напрям

Локальні кути точні усюди.

Відстань

Точний масштаб уздовж центрального меридіана, якщо масштабний множник дорівнює 1.0. Якщо масштабний множник менше ніж 1.0, тобто дві прямі лінії, які мають точний масштаб, рівновіддалені в кожную сторону від центрального меридіана.

Обмеження

Дані відносно сфероїда в межах 90 градусів від центрального меридіана не можуть проектуватися. Фактично екстент на сфероїді має бути обмежений від 10 до 12 градусів в обидві сторони від центрального меридіана. У цьому діапазоні зворотне проєціювання не можливе. При використанні

сфери немає цих обмежень.

Використання і доповнення

Система координат Гаусса-Крюгера. Глобус розділяється на зони шириною шість градусів. Кожна зона має масштабний множник 1.0 і зміщення початку абсциси 500000 метрів. Центральний меридіан зони 1 розташований в 3° С. Деякі регіони також додають зональний номер помножений на один мільйон до зміщення початку абсциси на 500000. Так зона 5 може мати зміщення початку абсциси в координаті на 500000, або 5500000 метрів.

Ця проекція краще підходить для континентальних масивів, які витягнуті в напрямі північ-південь. Топографічне картографування в колишньому Радянському Союзі, Німеччині, Албанії, Австрії.

Універсальна трансверсальна проекція Меркатора

У геоінформаційних системах широко застосовується Універсальна трансверсальна проекція Меркатора (Universal Transverse Mercator - UTM). З 1977 р. UTM використовується Геологічною зйомкою США для точного картографування.

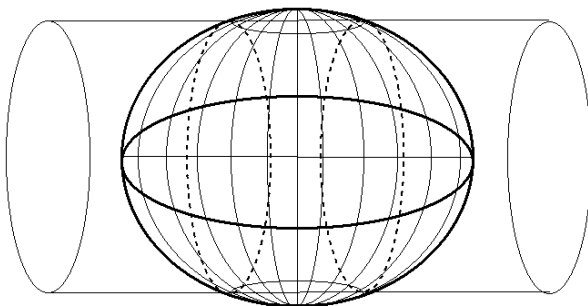


Рис. 3.3.14 - Проекція UTM

Опис

Універсальна система трансверсальної проекції Меркатора - спеціалізований додаток трансверсальної проекції Меркатора. Проекція UTM виходить подвійним проектуванням - еліпсоїда на кулю, а потім кулі на площину в проекції Меркатора. UTM

- січна проекція. Дві паралельні лінії рівновіддалені від центрального меридіана.

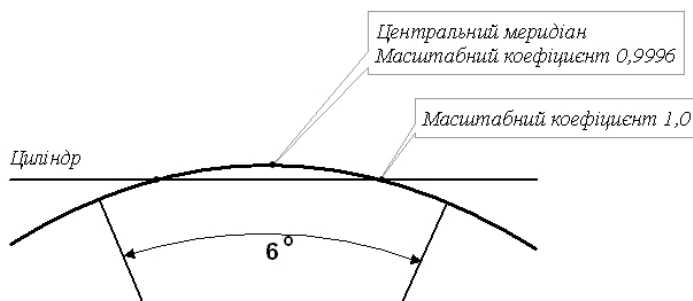


Рис. 3.3.15 - Січний циліндр проекції UTM

Земна куля розділена на 60 північних і південних зон, кожна охоплює шість градусів довготи. Кожна зона має власний центральний меридіан. Центральний меридіан зони 1 UTM - в 177° З. Зони 1Пн і 1Пд починаються від 180° З.

Межі кожної зони - 84° Пн і 80° Пд з підрозділом на північну і південну зону, які зустрічаються на екваторі. Полярна область використовує універсальну полярну стереографічну систему координати.

Початок для кожної зони - її центральний меридіан і екватор. Щоб виключити негативну координату, система координат змінює величину координати на початку. Величина, привласнена центральному меридіану, - зміщення початку абсциси, і величина, призначена екватору, - зміщення початку ординати. Застосовується зміщення початку координати на захід на 500000 метрів. Північна зона має зміщення початку ординати 0, тоді як південна зона має зміщення початку ординати 10000000 метрів.

Метод проєціювання

Циліндрова проекція з центральним меридіаном, розміщеним в особливій області.

Лінія контакту

Дві лінії паралельні центральному меридіану зони UTM і віддалені від нього приблизно на 180 км. з кожного боку.

Пряма лінія сітки меридіанів і паралелі

Центральний меридіан і екватор.

Властивості

Форма

Конформна проекція. Точне представлення малої форми.
Мінімальне спотворення великих форм в межах зони.

Площа

Мінімальне спотворення в межах кожної зони UTM.

Напрям

Локальні кути вірні.

Відстань

Масштаб постійний по центральному меридіану, але в масштабному коефіцієнті 0.9996, щоб понизити бічне спотворення в межах кожної зони. З цим масштабним коефіцієнтом лінія, яка знаходиться в 180 км. на схід і до заходу і паралельні до центрального меридіана, має масштабний коефіцієнт 1,0.

Обмеження

Проектована для масштабної погрішності, меншої 0,1 відсотка в межах кожної зони. Погрішність і спотворення збільшуються для області, яка перекриває більше, ніж одну зону UTM. UTM не розроблена для області, яка перекриває декілька зон.

Дані на сферіоді або еліпсоїді за 90 градусами від центрального меридіана не можуть проектуватися. Фактично екстент на сферіоді або еліпсоїді має бути обмежений 15-20 градусами з обох боків центрального меридіана. За цим діапазоном в поперечній проекції Меркатора проєційовані даних не мають зворотного проектування. Дані відносно сфери не мають цих обмежень.

Використання і доповнення

Використовується в Сполучених Штатах для топографічних листів масштабу 1:100000. Багато країн використовують локальні зони UTM, засновані на застосованих офіційних географічних системах координат. Великомасштабне топографічне картографування в колишньому Радянському Союзі.

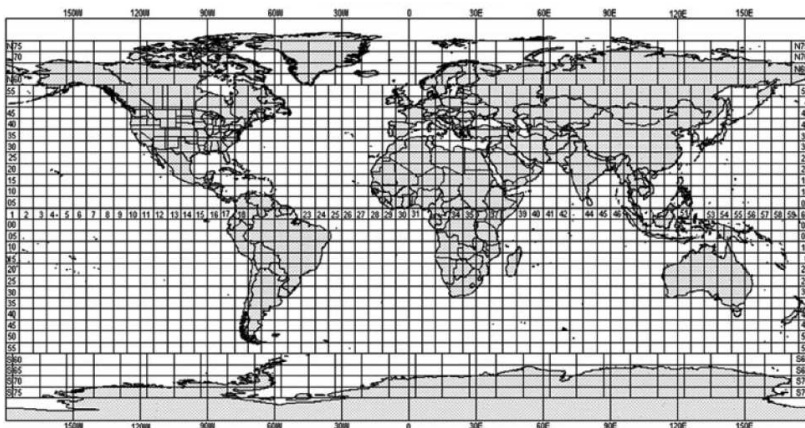


Рис. 3.3.16 – Покриття земної поверхні зонами UTM [46]

3.3.6 Географічні перетворення

Переміщення даних між системами координат включає перетворення між географічними системами координат. Оскільки географічні системи координат містять дати, які засновані на сфероїдах, географічне перетворення також змінює підстилаючий сфероїд.

Відомі методи мають різні рівні точності і діапазони для перетворення дат. Точність специфічного перетворення може розташовуватися від сантиметрів до метрів залежно від методу, якості і числа контрольних точок, що розташовуються, щоб визначити параметри перетворення.

Географічне перетворення конвертує географічні координати (широти, довготи). Деякі методи конвертують географічні координати в геоцентричні (X, Y, Z) координати, перетворюють X, Y, Z координати, і конвертують нові значення назад в географічні координати.

3.3.6.1 Метод з трьома параметрами

Найпростішим методом перетворення дат є геоцентричне перетворення або метод з трьома параметрами. Геоцентричне перетворення моделює відмінності між двома датами в системі

координат X, Y, Z . Одні дати визначені їх центром в $0,0,0$. Центр інших дат визначений на деякій відстані $(\Delta x, \Delta y, \Delta z)$. Ці три параметри є лінійними зміщеннями і завжди виражаються в метрах.

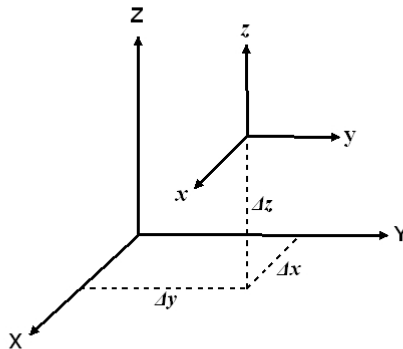


Рис. 3.3.17 - Метод з трьома параметрами

Звичайно параметри перетворення визначені як просування "від" місцевих дат "до" дат WGS 1984 або інших геоцентричних дат. Геоцентричне перетворення виконують за формулою

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad (3.3.13)$$

3.3.6.2 Метод з сім'ю параметрами

Більш комплексне і точне перетворення виконується шляхом додавання трьох лінійних зміщень $(\Delta x, \Delta y, \Delta z)$ і ще чотирьох параметрів до геоцентричного перетворення: три кутові повороти довкола кожної осі (r_x, r_y, r_z) і масштабного коефіцієнта. Географічне перетворення виконується за формулою

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{bmatrix} + (1 + s) * \begin{bmatrix} 1 & r_z & -r_y \\ -r_z & 1 & r_x \\ r_y & -r_x & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad (3.3.14)$$

Значення повороту встановлюють різними способами - за годинниковою стрілкою або проти годинникової стрілки.

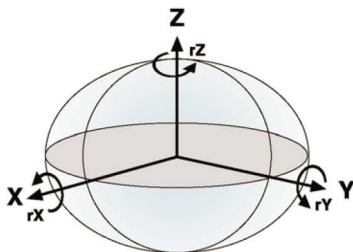


Рис. 3.3.17 - Напрями кутових поворотів

3.3.6.3 Метод Молоденського

Метод Молоденського конвертує дані безпосередньо між двома географічними системами координат фактично без перетворення в систему X, Y, Z. Метод Молоденського вимагає трьох зміщень (Δx , Δy , Δz) і відмінностей між великими півсями (Δa) і стиснення (Δf) цих двох сфероїдів. Процесор проекції автоматично обчислює відмінності сфероїда згідно з прийнятими датами, використовуючи залежності

$$(M + h)\Delta\varphi = -\sin\varphi \cos\lambda - \sin\varphi \sin\lambda\Delta y \quad ; \quad (3.3.15)$$

$$+ \cos\varphi\Delta z + \frac{e^2 \sin\varphi \cos\varphi}{(1 - e^2 \sin^2\varphi)^{1/2}} \Delta a$$

$$+ \sin\varphi \cos\varphi \left(M \frac{a}{b} + N \frac{b}{a} \right) \Delta f$$

$$(N + h) \cos\varphi \Delta\lambda = -\sin\lambda\Delta y \quad : \quad (3.3.16)$$

$$\Delta h = \cos\varphi \cos\lambda\Delta x + \cos\varphi \sin\lambda\Delta y$$

$$+ \sin\varphi\Delta z - (1 - e^2 \sin^2\varphi)^{1/2} \Delta a \quad , \quad (3.3.17)$$

$$+ \frac{a(1 - f)}{(1 - e^2 \sin^2\varphi)^{1/2}} \sin^2\varphi \Delta f$$

де

- | | |
|---|---------------------|
| h | - висота еліпсоїда; |
| j | - широта; |

l	- довгота;
a	- велика піввісь сфероїда;
b	- мала піввісь сфероїда;
f	- стиснення сфероїда;
e	- ексцентриситет сфероїда;
M, N	- радіуси кривизни - меридианальний і першого вертикала відповідно в даній широті:

$$M = \frac{a(1 - e^2)}{(1 - e^2 \sin^2 \varphi)^{3/2}} ; \quad (3.3.18)$$

$$N = \frac{a}{(1 - e^2 \sin^2 \varphi)^{1/2}} . \quad (3.3.19)$$

3.3.7 Контрольні питання і завдання для самостійної роботи

- 1) Яке значення координат в геоінформаційних системах?
- 2) Наведіть загальні характеристики фізичних і геометричних моделей фігури Землі.
- 3) Що є геодезичними датами?
- 4) Які типи систем координат розрізняються в ГІС?
- 5) Наведіть характеристику Світової геодезичної системи координат WGS-84.
- 6) Наведіть характеристики систем криволінійних координат.
- 7) Що таке Проеційовані системи координат і Картографічні проекції?
- 8) Наведіть характеристику класифікації проекцій за типом спотворень.
- 9) Наведіть характеристику класифікації проекцій за типом поверхні проєціювання.
- 10) Які параметри визначають картографічну проекцію?
- 11) У чому полягає відмінність універсальної трансверсальної проекції Меркатора від проекції Гаусса-Крюгера.
- 12) Опишіть методи географічних перетворень.

Частина 4

**ОРГАНІЗАЦІЯ ДАНИХ
У ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ
СИСТЕМАХ**

ПОНЯТТЯ СИСТЕМНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ ДАНИХ

4.1.1 Визначення, значення і завдання системної організації даних

Організацією даних називають процес зведення різномірних даних і моделей в єдину логічно несуперечливу модель, яку надалі можна буде ефективно застосовувати в різних технологіях аналізу і управління [38].

Зібрані дані можуть зберігатися у вигляді наборів або файлів. Крім того, при зборі дані можуть організовувати зв'язані сукупності, звані моделями. Для того, щоб різномірні дані і моделі можна було обробляти в одній системі, вони мають бути впорядковані і зведені до єдиної інформаційної моделі, в якій вони доповнюватимуть один одного. Результатом організації даних є створення такої інформаційної моделі, яка дозволяє організувати ефективне зберігання в базі даних і ефективну обробку в інформаційних системах і різних технологіях. Організація даних надає якісно нові властивості геоданим. Саме організація даних дає можливість використовувати географічні дані при вирішенні широкого круга прикладних завдань управління, аналізу, логістики, планування, проектування, прогнозування, використання ресурсів, моніторингу та ін.

Вихідна і заздалегідь оброблена інформація включає множину параметрів, деякі з яких можуть дублювати один одного. Зменшення числа даних про реальні об'єкти досягається вживанням моделей, що зберігають основні властивості об'єктів дослідження і другорядних властивостей, що не містять. Однією з особливостей збору даних в геоінформатиці є те, що вихідні дані можуть мати не тільки різну розмірність, але і вимірюватися в різних шкалах вимірів. Організація даних в геоінформатиці створює умови для зведення даної різної розмірності і шкал вимірів в єдине середовище і їх спільного аналізу. Саме це створює можливість комплексного аналізу даних при роботі з різномірними даними, виміряними в різних шкалах вимірів.

У процесі організації даних все різноманіття вхідної інформації - про об'єкти, їх характеристики, про форми і зв'язки між об'єктами, різні описові відомості - перетворюються в набори моделей. При обробці в геоінформаційних технологіях використовують інформаційні моделі. Інтегрована інформаційна модель включає

сукупність простіших моделей. Для ефективної обробки даних ця сукупність має бути оптимізована. Це завдання вирішується при організації даних.

Вибір того або іншого способу організації даних в ГІС, в першу чергу саме тій або іншій моделі даних, має ключове значення. Вибір моделі даних безпосередньо визначає багато функціональних можливостей створюваної ГІС - деякі функції просто неможливо реалізувати для певних типів організації даних, або вони забезпечуються дуже складними маніпуляціями. Організація даних в ГІС безпосередньо визначає і застосовність тих або інших технологій введення даних. У тій же мірі від неї залежить досяжна просторова точність представлення графічній частині інформації, можливість здобуття якісного картографічного матеріалу і організації контролю якості карт. У великій мірі спосіб організації даних в ГІС визначає також досяжну швидкодію системи, наприклад, при виконанні запиту або візуалізації на екрані. Можливість працювати з великими об'ємами даних або з точними даними по великих територіях теж пов'язана із способами і формами організації даних. Зручність редагування і оновлення даних, можливості організації розрахованої на роботи в режимі редагування багатьох користувачів, створення розподілених по мережі баз даних - це все теж пов'язано в першу чергу з організацією даних, і вже в другу - з конкретним програмним забезпеченням [27].

На підставі викладеного, можна виділити такі завдання системної організації даних:

- 1) перетворення інформації як описових відомостей в моделі;
- 2) зведення множини просторових даних до єдиної інтегрованої інформаційної моделі;
- 3) класифікація вихідних даних і моделей при перетворенні їх в інтегровану модель;
- 4) ідентифікація даних у процесі перетворення даних в інтегровану модель, чим зберігається їх індивідуальність;
- 5) встановлення додаткових зв'язків між геоданими на основі їх інтеграції;
- 6) уніфікація вихідних даних і створення можливості обробки й аналізу даних, виміряних в різних шкалах і з різною розмірністю, в єдиній системі;
- 7) створення бази для вирішення основного завдання геоінформатики - встановлення просторових відношень між просторовими процесами, об'єктами, явищами і їх характеристиками.

4.1.2 Рівні організації даних в ГІС

Організацію просторових даних в ГІС визначають особливості інформації про об'єкти реального світу, з якими ми маємо справу. Інформація про реальний світ частково відноситься до індивідуалізованих об'єктів, частково до деякої безперервно розподіленої в просторі властивості, тобто просторовому полю яких-небудь характеристик. Організація просторових даних в ГІС залежить також від того, як різні особи і організації сприймають реальний світ. Відчуття структури (розумовій моделі) на реальному світі залежить від освіти, відповідальності, мети організації, де людина працює, від того, що деякі частини світу мають велику значущість в порівнянні з іншими частинами.

Рівні організації даних співвідносяться в міру абстракції у вигляді послідовності, показаної на рис. 4.1.1.

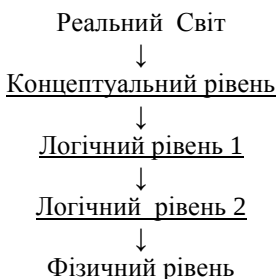


Рис. 4.1.1 – Послідовність рівнів організації даних

Концептуальний рівень

Організація даних починається з трансляції представлення користувача (аналітика) про структуру реального Світу в моделі, які можуть бути виконані на комп'ютері. Для цього здійснюють наступні заходи:

- обстеження предметної області, вивчення її інформаційної структури;
- виявлення всіх фрагментів, кожен з яких характеризується призначенням для користувача представленням, інформаційними об'єктами і зв'язками між ними, процесами над інформаційними об'єктами;
- моделювання і інтеграція всіх представлень.

При цьому визначають: які географічні об'єкти представляють область вивчення, які відношення між ними існують, в яких процесах вони беруть участь.

На цьому рівні організації даних отримують концептуальну модель даних, інваріантну до структури бази даних. Часто вона представляється у вигляді моделі "сутність-зв'язок".

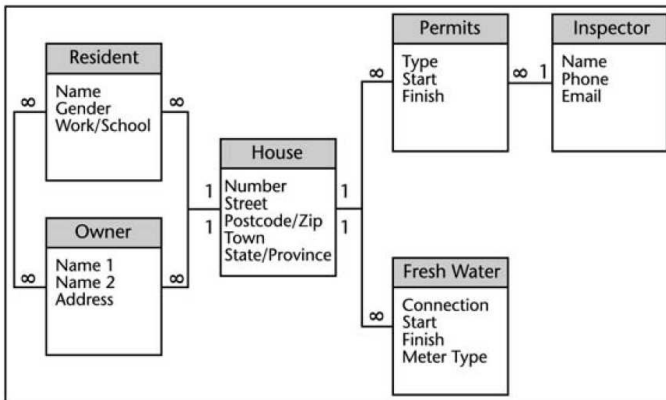


Рис. 4.1.2 – Приклад діаграми "сутність-зв'язок".

Моделі даних описують просторові сутності й атрибути, їх взаємини один з одним, як вони використовуються людьми, процеси, які використовуються для управління ними, і як дані переміщуються під час використання. Модель даних включає:

- просторові сутності, які є комп'ютерним представленням просторових об'єктів від сприйняття структури (наприклад, земельна ділянка, ліс, ділянка труби, нафтова свердловина),
- описові дані просторових сутностей, звичайно називаються атрибутами.

Взаємини сутностей виражаються зв'язками (Relationships). Розрізняють класи зв'язків і екземпляри зв'язків. Класи зв'язків – це взаємовідношення між класами сутностей, а екземпляри зв'язку – взаємовідношення між екземплярами сутностей. Клас зв'язків може зачіпати декілька класів сутностей. Число класів сутностей, що беруть участь в зв'язку, називається ступінню зв'язку $n = 2, 3, \dots$. При $n = 2$ зв'язок називається бінарним.

Залежно від того, скільки екземплярів сутностей одного класу пов'язано із скількома екземплярами сутностей іншого класу, розрізняють наступні типи зв'язків:

- зв'язок 1:1 - одиничний екземпляр сутності одного класу пов'язаний з одиничним екземпляром сутності іншого класу.
- зв'язок 1:M - одиничний екземпляр сутності одного класу пов'язаний з багатьма екземплярами сутностей іншого класу.
- зв'язок M:N - декілька екземплярів сутності одного класу пов'язано з декількома екземплярами сутностей іншого класу.

Числа, що описують типів бінарних зв'язків 1:1, 1:M, M:N, позначають максимальну кількість сутностей на кожній стороні зв'язку. Ці числа називаються максимальними кардинальними числами, а відповідна пара чисел називається максимальною кардинальністю.

До цього рівня відносяться терміни типа полігон, полілінія, дуга, ідентифікатор, таблиця, шар, тема, спосіб індексування. Це рівень більше користувача і адміністратора бази даних, а також розробника систем. Все це стосується не стільки програмування, скільки деяких розділів математики, з одного боку, і співвідношення елементів моделі даних з дійсними об'єктами реального світу, з іншою. Основне вирішуване на цьому рівні питання - це питання ступіні адекватності моделі даних вирішуваному завданню. Чи досить точно, із збереженням чи всіх потрібних зв'язків, вибрана модель даних дозволить змоделювати в комп'ютері реальну ситуацію?

Логічний рівень 1

На детальнішому логічному рівні 1 організації даних виконується перетворення вимог до даних у структури даних безвідносно до конкретної СУБД. Для представлення структур даних використовують записи, елементи даних, зв'язки між записами. Тут вже фігурують і математичні й програмістські терміни, такі, як матриці, списки, системи заслань, покажчики, механізми стиснення інформації. Основні питання, які розглядаються на цьому рівні, це питання ефективності в сенсі економії місця і швидкодії, тобто вже чисто внутрішні комп'ютерні питання ефективності. Логічний рівень 1 – це представлення програміста.

Логічний рівень 2

На наступному за детальністю логічному рівні 2 організації даних ми вже маємо справу із структурою файлів і їх форматами стосовно конкретної СУБД. Це розміщення інформації у файлі - що винесене в його заголовок, і як він організований, що в якій послідовності і якими формами представлення чисел записано в цих файлах. Це рівень вже чисто програміста. Рядовому кінцевому користувачеві корисно знати призначення конкретних файлів у певних структурах даних,

можливості і обмеження по використанню конкретних форматів файлів.

Фізичний рівень

На фізичному рівні організації даних створюється структура конкретної бази даних ГІС. Тут визначаються особливості зберігання даних, методів доступу, які об'єкти вносяться до бази даних, як вони розподілені між шарами, які використовуються класифікатори і так далі. Для опису структури використовуються угруповання даних, індекси, методи доступу. Рівень організації конкретної структури бази даних ГІС унікальний для кожного конкретного проекту.

На підставі викладеного основні характеристики рівнів організації даних в ГІС можуть бути подані табл. 4.1.1.

Таблиця 4.1.1 – Характеристики рівнів організації даних

Рівень	Інформаційна модель	Компоненти моделі
Концептуальний рівень	Модель даних	Сутності, атрибути, зв'язки
Логічний рівень 1	Структура даних	Записи, елементи даних, зв'язки між записами
Логічний рівень 2	Структура файлів, формати	Конкретні файли, формати
Фізичний рівень	Структура конкретної бази даних	Угруповання даних, індекси, методи доступу

Інструментарій

Приведеним рівням моделювання при розробці СУБД прикладної системи, що базується на використанні інформаційних моделей, відповідає досить обширний мовний інструментарій, що дозволяє організувати роботу з відповідними моделями. Приклад вживання сучасних засобів при розробці моделей даних в АТ "СПАЕРО Плюс":

- Логічні моделі предметної області і структури баз геоданих розробляють за допомогою CaseTools, ESRI, що поставляються, у складі ArcGIS. Логічну модель будують у вигляді набору UML-діаграм за допомогою програмного пакету Visio™. При цьому використовують модифіковані шаблони ESRI. UML-модель є, з одного боку, засобом документування і наочного представлення

майбутньої бази геоданих, а з іншого боку – вихідним матеріалом для опису структури бази геоданих на мові XML.

- Фізична структура бази геоданих генерується з XML опису за допомогою інструментів ArcCatalog і, при необхідності, доопрацьовується з їх же використанням.
- Перевагами застосованої технології є: повне документування розробки; наочність представлення структури бази геоданих, включаючи всі об'єктні і просторові класи, їх набори і класи відношень між ними; можливість легко і швидко модифікувати структуру бази геоданих з повним документуванням змін, що вносяться.

4.1.3 Принципи організації даних в ГІС

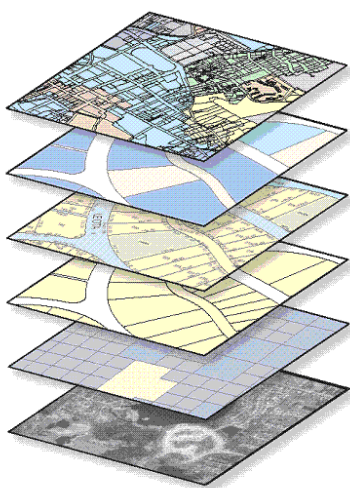
Існує множина структур даних, використовуваних для представлення географічних об'єктів, залежно від потреб в даних і їх подальшого використання. Найбільшого поширення набули два загальноприйняті принципи організації моделей просторових даних [27]:

- принцип пошарової організації інформації (його часто називають класичним)
- об'єктно-орієнтований принцип організації даних.

Пошаровий принцип організації інформації

Реальний світ складається з множини географічних об'єктів. Декомпозиція реального світу може бути виконана шляхом стратифікації - процедури, яка розбиває множину географічних об'єктів на страти або шари, зручні для обробки і аналізу. Область реального світу, що в результаті вивчається, представляється набором шарів взаємозв'язаних даних.

Пошаровий принцип організації інформації полягає в тому, що дані про територію організовуються (розширюються) у вигляді набору тематичних шарів. Шар складається з однорідних даних, що об'єднуються загальною тематикою. Наприклад, в один шар виносяться всі об'єкти гідрографії, або всі шосейні дороги, або все, що відноситься до рослинного покриву (рис.4.1.3).



Топографічна карта

Зони

Земельні ділянки

Квартали

Координатна сітка

Ортофотоплан

Рис. 4.1.3 - Ілюстрація концепції вертикального розширення об'єктів земної поверхні

Пошаровий принцип організації інформації дуже наочний і добре співвідноситься з прийомами традиційної картографії.

Об'єктно-орієнтований принцип організації даних

Інший принцип з'явився відносно недавно і пов'язаний з об'єктно-орієнтованим підходом, типовим для сучасного програмування. При цьому угруповання об'єктів відповідає їх логічним взаємозв'язкам. Об'єктно-орієнтований принцип організації даних в ГІС фокусує увагу не стільки на загальних властивостях об'єктів (модельованих через ділення на шари в попередньому підході), скільки на їх положенні в якій-небудь складній ієрархічній схемі класифікації і на взаєминах між об'єктами. Через це зручно відображаються різні родинні і генетичні відношення між об'єктами, відношення підпорядкованості, функціональні зв'язки між об'єктами.

Такий підхід ближче до структури людського мислення. Він ефективний, коли необхідно використання логічних взаємозв'язків об'єктів, але мало корисний при безперервному розподілі в просторі ознак (рельєф, питомий вміст корисної копалини, забруднення ґрунту важкими металами).

Комбінації принципів організації даних

При комбінації принципів організації даних використовуються і шари, і окремі об'єкти, кожен з яких представляється як окремий шар. Шари можуть бути інтегровані.

4.1.4 Види моделей організації даних

Принципи організації даних визначають відповідні моделі організації даних:

- 1) геореляційна модель організації даних;
- 2) об'єктно-орієнтована модель організації даних;
- 3) об'єктно-реляційна модель організації даних.

Широкого поширення набули моделі даних ESRI:

- геореляційна модель організації даних у вигляді моделі даних "Шейпфайл" і моделі даних "Покриття",
- об'єктно-орієнтована модель організації даних у вигляді моделі даних "База геоданих".

На рис. 4.1.4 подана ієрархія моделей даних ESRI від загального верхнього рівня моделей географічних об'єктів до нижнього спеціального рівня організації даних.

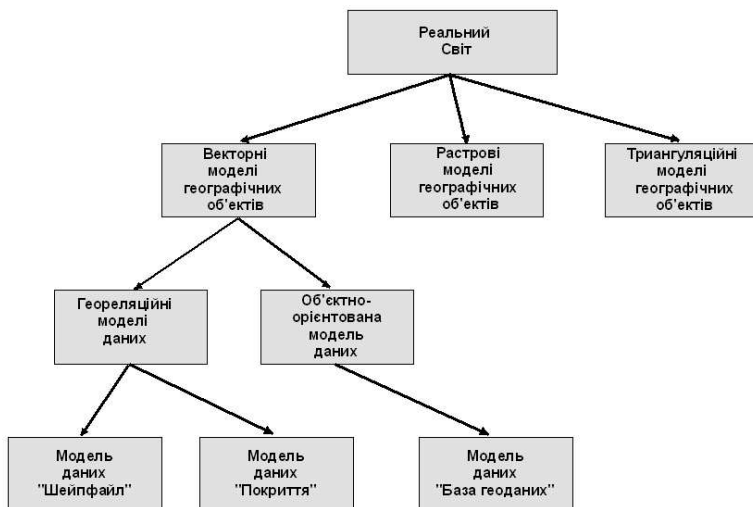


Рис. 4.1.4 – Моделі даних ESRI [47]

На рис. 4.1.4 модель даних "База геоданих" представлена як гілка векторної об'єктно-орієнтованої моделі, яка в ній грає провідну роль. Фактично база геоданих містить моделі даних "шейпфайл" і "покриття", растрові і триангуляційні моделі даних.

4.1.5 Контрольні питання і завдання для самостійної роботи

- 1) Що розуміється під системною організацією даних?
- 2) Наведіть характеристику рівнів організації даних.
- 3) Які принципи організації моделей просторових даних набули найбільшого поширення?
- 4) Наведіть ієрархію моделей організації даних.

Розділ 4.2

ГЕОРЕЛЯЦІЙНА МОДЕЛЬ ДАНИХ

4.2.1 Сутність геореляційної моделі даних

У базі даних, спроектованій як реляційна модель даних, дані зберігаються як набори таблиць (званих відношеннями), які логічно асоційовані один з одним за допомогою загальних атрибутів. Окремі записи зберігаються як рядки таблиць, тоді як атрибути зберігаються у вигляді колонок. Кожна колонка може містити атрибутивні дані тільки одного типу: дату, текстовий рядок, числові дані і тому подібне. Таблиці зазвичай стандартизуються для мінімізації дублювання.

ГІС містить два типів даних – просторові й семантичні.

- Просторові дані географічних об'єктів зберігаються в окремих таблицях просторових даних у вигляді послідовності координатних пар X,Y.
- Атрибутивні дані географічних об'єктів організовуються в таблиці атрибутивних даних. Число записів у таблицях атрибутів дорівнює числу графічних об'єктів у двійкових файлах.

Відношення між географічними об'єктами робляться явними за допомогою топології, яка також представляється відповідними таблицями.

У ГІС, орієнтованих на роботу з базами даних (зокрема, в ARC/INFO) [28], успішно застосовується геореляційна модель даних (Georelational Data Model). Сутність цієї моделі полягає в роздільному зберіганні взаємозв'язаних значень координат і атрибутивних даних. Геореляційна модель географічних даних представляє географічні об'єкти як набір взаємозв'язаних просторових і атрибутивних даних. Ця модель заснована на геометричному типі об'єкта і відображує світ у вигляді наборів точок, ліній і полігонів. Координати кожного об'єкта з унікальним ідентифікаційним номером, зберігаються в двійкових "arc"-файлах. Атрибутивні значення і опис топології зберігаються в таблицях реляційної СУБД (спочатку в INFO таблиці). Записи пов'язані з геометрією за допомогою ідентифікаційного номера об'єкта (Identifier – ID). При цьому ГІС здійснює спільне погоджене управління цілісною інформацією об'єктів, що розподіляється між файловою системою і базою даних.

Таким чином, геореляційна модель даних визначається наступними умовами:

- 1) між записами в таблицях просторових даних, які відображують моделі географічних об'єктів (точками, лініями, полігонами), і записами в таблиці атрибутів встановлюється відношення "один-до-одного";
- 2) зв'язок між географічним об'єктом і записом в таблиці атрибутів підтримується через єдиний унікальний номер – ідентифікатор об'єкта;
- 3) ідентифікатор зберігається в двох місцях: у файлах географічних об'єктів, що містять пари координат X,Y, і у відповідних записах таблиці атрибутів географічних об'єктів.

Важливою вимогою цієї моделі є так звана планарність виконань, що означає, що плоска поверхня покривається безперервно без яких-небудь петель об'єктів, що не перекриваються.

Сила реляційних таблиць в тому, що вони спрощують реальний світ і дають швидкі і достовірні відповіді на запити, які вони дозволяють обробляти.

У геореляційних моделях даних використовується фіксований набір вбудованих типів даних, таких як числа, дати і текстові рядки.

Геореляційні моделі вимагають складного прикладного програмування для результативного моделювання комплексних ситуацій реального світу. Складні змінні вимагають великої кількості взаємозв'язаних таблиць.

Проте геореляційна модель не здатна моделювати всю різноманітність географічних об'єктів для конкретної області користувача. У моделі об'єктів є геометричні структури, в яких один і той же об'єкт (наприклад, полігон) може відображувати будинок або земельну ділянку, якщо об'єкти збігаються. Єдина різниця полягає в їх атрибутах.

4.2.2 Шари просторових даних - вертикальна організація даних

У більшості програмних продуктів ГІС дані організовані в тематичні шари даних. Такий підхід дозволяє вводити дані як окремі теми і накладати їх на основі аналізу потреб. Це може бути представлено концепцією вертикального розширення об'єктів земної поверхні. Розуміння шарів просторових даних як вертикальної форми організації даних представлено в посібнику [48]. Інструментом

просторового взаємозв'язку шарів по вертикалі є єдина для всіх шарів система координат для визначення просторових об'єктів.

Ідея накладення настільки природна для фахівців картографів і природних ресурсів, що вона також була створена при розробці більшості векторних систем CAD. Підхід накладення /шар, вживаний в системах CAD, використаний для відділення основних класів просторових об'єктів. Ця концепція також використовується для логічного впорядкування даних в більшості ГІС програм.

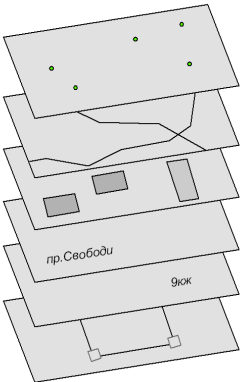
Термінологія може відрізнитися між програмним забезпеченням ГІС, але підхід є тим же. У комерційному програмному забезпеченні ГІС використовується різноманітність термінів для визначення даних шарів. Шар даних (Layer) і Тема (Theme) є найбільш поширеними термінами; вони не є власністю якого-небудь конкретного програмного забезпечення ГІС.

Шар даних або тема відповідає логічній сукупності просторових об'єктів із загальними характеристиками. Кожен шар/тема визначається наступними умовами:

- об'єкти одного класу,
- однаковий набір полів.

Геометричний тип об'єкта визначає шість класів шарів або тем (табл.4.2.1).

Таблиця 4.2.1 – Класи шарів

Класи шарів	Графічне представлення класів шарів
1) Точковий шар (Point Layer) 2) Лінійний шар (Line Layer) 3) Полігональний шар (Polygon Layer) 4) Шар анотацій (Annotation Layer) 5) Шар записів (Record Layer) 6) Шар точок реперів (Tic Layer)	

У наступній табл.4.2.2 наведені приклади деяких шарів даних з типової ГІС муніципального управління.

Таблиця 4.2.2 – Приклади шарів даних

<i>Назву шару</i>	<i>Об'єкт реального світу</i>	<i>Геометричний тип об'єкта</i>	<i>Атрибути користувача</i>
Осі вулиць	Міські вулиці	Лінійний	Назва, клас вулиці
Дорога	Проїжджі частини вулиць	Полігональний	№, площа, ширина
Квартали	Квартали міста	Полігональний	Щільність забудови, Чисельність населення
Будівлі житлові	Будівлі	Полігональний	Поверховість, кількість квартир, кількість мешканців
Будівлі промислові	Будівлі	Полігональний	Висота, об'єм
Земельні ділянки	Зонування	Полігональний	Код ділянки, площа, тип земле-користування
Залізниця	Основні залізничні лінії	Лінійний	Назва залізниці
Лінії газопостачання	Система газопостачання	Лінійний	Діаметр, тиск, довжина
Лінії водопостачання	Система водопостачання	Лінійний	Діаметр, матеріал, довжина
Колодязі водопостачання	Система водопостачання	Точковий	Відмітка верху, глибина, замочний пристрій
Скарги на каналізацію	Місця розташування аварійних ділянок каналізації	Точковий	Адреса, дата, код типа аварії

Для будь-якого ГІС-проекту будуть потрібні різні шари даних. Вони мають бути визначені до початку проекту. Має бути також визначений пріоритет введення або оцифрування просторових даних шарів. Це є обов'язковим, оскільки часто один шар даних містить просторові об'єкти, які збігаються з іншими, наприклад, озера можуть бути використані для визначення полігонів у шарі даних лісового

кадастру. Шари, як правило, визначаються розробником, виходячи з потреб користувачів і доступності даних. Визначення шарів може значно відрізнятися залежно від потреби в ГІС. Кількість шарів в тій, що діє ГІС крупної муніципальної освіти може вимірюватися декількома сотнями.

Як правило, в ГІС вводиться один шар даних за один раз. Шар даних буде повністю завантажений, коли будуть виконані графічні перетворення, редагування, топологічні побудови, перетворення атрибут, зв'язування, а також перевірки, перш ніж наступний шар даних буде запущений. Тому є декілька етапів в повному завантаженні шаруючи даних.

Більшість ГІС-проектів інтегрують шари даних, для створення похідних тем або шарів, які є результатом деякого обчислення або географічної моделі, наприклад, цінності лісів, придатності використання земель і так далі. Похідні шари повністю залежать від мети проекту. Кожен шар даних, інтегрований в індивідуальному порядку і топологічно, буде початковим для створення комбінованих даних шарів. Окремі функції аналізу даних можуть бути здійснені, ґрунтуючись на моделі даних, наприклад, векторній або растровій, і топологічній структурі. Поважно відзначити, що у векторній ГІС топологічна структура визначається тільки за допомогою унікальних міток для кожного просторового об'єкта.

При розробці логічної моделі даних з використанням реляційної моделі може потрібно розглянути пошарову й мозаїчну структуру даних, відому також як бібліотека карт.

Найчастіше при цьому зорганізовується також й ділення одного тематичного шару по горизонталі по аналогії з окремими листами карт. Це робиться в основному для зручності адміністрування баз даних, щоб уникнути роботи з надмірно великими файлами.

Число шарів при пошаровій організації даних може бути обмежене, може бути практично не обмежено залежно від конкретної реалізації. При пошаровій організації даних дуже зручно маніпулювати великими групами об'єктів, представлених шарами, як єдиним цілим, наприклад, включаючи або вимикаючи шари для візуалізації, визначати операції, засновані на взаємодії шарів. У цілому можна сказати, що пошарова організація даних має великий аналітичний потенціал.

Об'єкти, віднесені до одного шару утворюють деяку фізично окрему одиницю даних. Вони збираються в один файл або в одну директорію, мають єдину і окрему від інших шарів систему ідентифікаторів, до них можна звертатися як до деякої множини. По

одній темі може бути передбачені декілька шарів різного масштабу і відповідно різної точності або різних тимчасових інтервалів. Ця ідея також використовується для логічного впорядкування даних в більшості ГІС-програм.

4.2.3 Просторова індексація - горизонтальна організація даних

Внутрішня організація шарів даних в горизонтальній формі в ГІС відома як просторове індексування [48]. У векторних ГІС просторові індекси використовуються для швидшого доступу до об'єктів на певній ділянці карти. Індексування просторових об'єктів дозволяє зменшити обчислювальну складність процедур пошуку пересічних і вкладених об'єктів, тому індекси є важливою частиною алгоритмів накладення полігонів.

Просторова індексування – це метод використання програмного забезпечення для зберігання і здобуття просторових даних. Існують різні підходи для прискорення процесу пошуку просторових об'єктів в рамках програмного продукту ГІС. Більшість з них пов'язані з розділенням географічної області на керовані підмножини або блоки. Ці блоки потім індексуються математично, наприклад, методом розбиття квадродерева або побудови R-дерева, щоб забезпечити швидкий пошук і витягання при запиті за ініціативою користувача. Просторове індексування аналогічно визначенню листів карти, за винятком того, що конкретні методи індексування використовуються для доступу до даних через карту меж листів (блоків). Це робиться просто для підвищення продуктивності запитів для великих наборів даних, які охоплюють декілька листів карти, а також для забезпечення цілісності даних за допомогою меж листів карти.

Метод і процес просторового індексування, як правило, прозорий для користувача. Проте він стає дуже важливим, коли використовують особливо великі об'єми даних. Поняття просторової індексації відіграє все більш важливу роль в розробці великомасштабних застосувань з використанням ГІС-технологій.

Важливо відзначити, що растрові системи за характером своєї структури даних звичайно не вимагають методу просторового індексування. Растровий підхід накладає регулярні розділи, що легко адресуються за даними Світу нерозривно з її структурою даних. Таким чином, просторова індексація, як правило, не потрібна. Проте в складніших векторних ГІС потрібний спосіб швидкого здобуття просторових об'єктів.

4.2.4 Модель даних "Шейпфайл"

Модель даних "Шейпфайл" представляється цифровим форматом Shapefile.

Формат Шейпфайл (Shapefile) – це цифровий векторний формат ESRI для зберігання просторової і зв'язаної семантичної/атрибутивної інформації про географічні об'єкти. Цей формат не пристосований для зберігання топологічної інформації. Формат Shapefiles створений для ArcView GIS; він може використовуватися в ARC/INFO, ArcGIS.

Формат Shapefile містить набір файлів з однаковою назвою, але з різним розширенням. Наприклад:

1. Rivers.shp ,
2. Rivers.dbf ,
3. Rivers.shx ,
4. Rivers.sbn ,
5. Rivers.sbx ,
6. Rivers.ain ,
7. Rivers.aih .

Ці файли діляться на обов'язкові й факультативні (додаткові).

Обов'язковими файлами є три файли з розширенням .shp, .shx, .dbf, оскільки вони містять базові дані.

- *Файл форми* з розширенням **.shp (shape file)** – це головний файл, який зберігає географічні об'єкти в його власному записі як список координатних пар x,y. Оскільки кожен географічний об'єкт (окрім точкових) може містити різне число координатних пар, кожен запис в .shp файлі може бути різної довжини. Записи змінної довжини вимагають довгий час, щоб обробляти і представляти на екрані, тому .shp файл індексований з .shx файлом.
- *Файл індексу форми* з розширенням **.shx (shape index file)** містить один запис фіксованої довжини для кожного запису в .shp файлі. Кожен запис в .shx файлі містить номер запису і довжину в байтах відповідного запису в .shp файлі. Оскільки всі записи в .shx файлі рівної довжини, вони можуть читатися швидко і оброблятися так, як табличний пошук для звітів в .shp файлі. Файл індекс форми (.shx) прискорює викреслювання всіх просторових об'єктів в шейпфайлі. Можна прискорити запит і відбір індивідуальних просторових об'єктів, створюючи просторовий і атрибутивний індекси.
- *Файл атрибутів* з розширенням **.dbf (dBASE file)** зберігає атрибутивну інформацію про просторові об'єкти в .shp файлі як таблицю атрибутів у форматі dBASE. Таблиця атрибутів містить

один запис для кожного просторового об'єкта в .shp файлі. Кожен запис атрибутів має відношення один-до-одного з відповідним записом форми.

Додаткові 2 файли просторових індексів ArcView GIS створює всякий раз, коли користувач виконує просторове з'єднання або вибір теми.

- *Файл просторового лотка* з розширенням **.sbn** (**spatial bin**) розділяє область, що містить географічні об'єкти .shp файлу в прямокутні області, названі лотками. Кожен лоток містить запис числа просторових об'єктів в .shp файлі, які потрапляють в його область. Коли користувач робить просторовий запит, записи в .sbn файлі читаються першими, і розглядаються тільки просторові об'єкти, які пересікають лотки, вказані запитом. Це значно прискорює обробку. Оскільки різне число просторових об'єктів може потрапляти всередину кожного лотка, проте, записи лотка змінюються в довжині і потребують їх власного індексу.
- *Файл просторового індексу лотка* з розширенням **.sbx** (**spatial bin index**) файл містить один запис фіксованої довжини для кожного запису в .sbn файлі. Кожен запис в .sbx файлі містить запис числа і довжини в байтах відповідного запису лотка в .sbn файлі. Оскільки записи в .sbx усі однакової довжини, вони можуть читатися швидко і оброблятися так, як табличний пошук в записах змінної довжини в .sbn.

Додаткові 2 файли індексу атрибуту ArcView GIS створює всякий раз, коли користувач виконує зв'язок з таблицею.

- *Файл індексу атрибуту* з розширенням **.ain** (**attribute index**) файл містить один індекс для кожного поля, включеного в зв'язок, або такого, для якого створений індекс методом, описаним вище. Ці індекси покращують операції з даними типу з'єднання і зв'язку і прискорюють прості запити типа: [Назва] = "Харків". Індекс атрибуту не покращуватиме операції на запитах, які включають рядки відповідності типу [Назва] або порівняння [Кількість] < 100000.
- *Файл заголовка індексу атрибуту* з розширенням **.aih** (**attribute index header**) файл містить назву кожного поля, яке було індексовано. Він служить як каталог до значень, що містяться в .ain файлі.

До додаткових файлів відносяться ще три файли.

- *Файл системи координат* з розширенням **.prj** (**map projection**) зберігає інформацію про систему координат і картографічної проекції.

- *Файл метаданих* з розширенням **.xml** (extensible markup language) зберігає дані про дані в ArcInfo і ArcView 8.0 і вище для використання в Internet.
- *Файл легенди* з розширенням **.avl** (ArcView legend) зберігає символіку графічного відображення об'єктів.

Шейпфайли є простими, оскільки вони зберігають примітивних геометричних типів даних точкові, лінійні і полігональні. Ці примітиви мають обмежене використання без яких-небудь ознак для вказівки того, що вони представляють. Таким чином, таблиця записів зберігатиме просторові об'єкти / атрибути для кожної примітивної форми в шейпфайлі. Форми (точкові, лінійні, полігональні), а також дані атрибутів можуть створювати безкінечну множину уявлень про географічні дані. Представлення дає можливості для потужного і точного обчислення.

4.2.5 Модель даних "Покриття"

Покриття (Coverage) - це геореляційна модель, яка має векторний топологічний формат даних. Інститутом ESRI розроблено дві версії файлів покриття: для PC ARC/INFO у 1981 р., для версій ArcGIS з 2000 р.

У математиці Покриття множини X – є сімейство підмножин цієї множини, об'єднання яких є X , або сімейство підмножин простору, в якому розташоване X і яке містить X . Елементи покриття несуть в собі повну інформацію про локальну будову простору. Звичайне поняття покриття розглядається в контексті загальної топології.

Покриття містить просторові і атрибутивні дані географічних об'єктів. Покриття використовує набір класів просторових об'єктів для представлення географічних об'єктів.

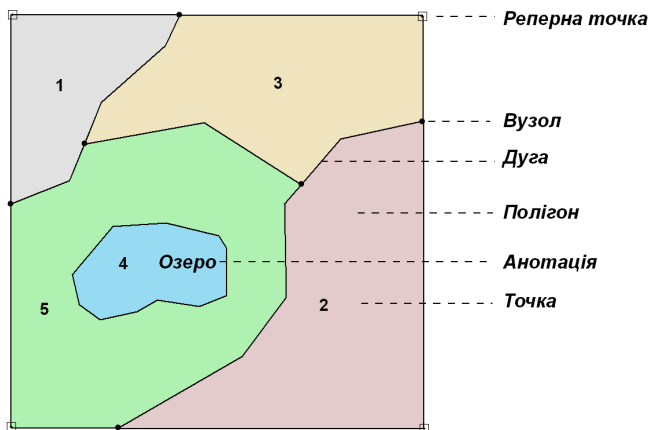


Рис. 4.2.1 - Класи просторових об'єктів в покритті

Модель даних Покриття використовує наступні класи просторових об'єктів:

- *Точка (Point)* – використовується для представлення точкових просторових об'єктів або призначених для користувача ідентифікаторів ID полігонів. Точка визначається парою координат x, y .
- *Дуга (Arc)* – використовується для представлення лінійних просторових об'єктів або меж полігонів. Дуга визначається послідовністю координатних пар x, y початкового вузла, проміжних вершин, кінцевого вузла. Дуги топологічно зв'язуються через їх кінцеві точки (вузли). Один лінійний об'єкт може бути утворений багатьма дугами.
- *Вузол (Node)* – представляє кінцеві точки дуг або пересічення лінійних об'єктів. Вузол має унікальний ідентифікатор. Вузол може бути топологічно пов'язаний з набором дуг, які з'єднані одна з іншою.
- *Шлях (Route)* – лінійний просторовий об'єкт, що становить одну або декілька дуг або частини дуг.
- *Секція (Section)* – дуга або частина дуги, яка використовується для визначення шляху або створення шляхових блоків.
- *Полігон (Polygon)* - представляє площадкові об'єкти. Полігони топологічно визначаються серією дуг, що формують їх кордони, включаючи дуги, що визначають острови усередині. Призначені

для користувача ідентифікатори ID полігонів представляються точками усередині кордонів.

- *Region (Region)* – сукупність полігонів, що представляють географічний об'єкт.
- *Анотація (Annotation)* - текст, використовуваний для позначення об'єктів. Анотації не мають топологічних зв'язків з іншими об'єктами, не використовуються для аналітичних цілей.
- *Точка репера (Tic)* – реєстраційна точка, що визначає положення відомої точки на земній поверхні, для якої відомі координати реального земного простору. Точки реперів дозволяють реєструвати і трансформувати координати покриття. Кількість точок реперів рекомендується 4 і більше.
- *Обхват покриття (Coverage Extent)* – мінімальний прямокутник, що обмежує покриття, який представляє територіальний обхват покриття. Обхват покриття визначається граничними координатами $X_{\max}$, $X_{\min}$, $Y_{\max}$, $Y_{\min}$ його елементів.

Описові дані для класів просторових об'єктів зберігаються у відповідних таблицях атрибутів. Зв'язування просторових об'єктів і атрибутів забезпечується наступними базовими положеннями:

- просторові об'єкти в покритті існують у відношенні один-до-одного з відповідними записами в таблиці атрибутів просторових об'єктів;
- ArcGIS підтримує зв'язок між просторовими об'єктами і атрибутами за допомогою унікального ідентифікатора, призначеного кожному об'єкту;
- порядковий номер просторового об'єкта фізично зберігається у двох місцях покриття: у файлах, що містять просторові дані для кожного просторового об'єкта (координатні пари) і з відповідним записом в таблиці атрибутів просторових об'єктів; ArcGIS автоматично створює і підтримує ці зв'язки.

Набір класів в покритті варіює залежно від географічних об'єктів, яке воно представляє. Покриття може містити:

- 1) набір точок, які представляють географічні об'єкти, й асоційовані таблиці атрибутів, які описують ці точкові об'єкти, або
- 2) набір вузлів і дуг, які представляють лінійні просторові об'єкти, й асоційовані таблиці атрибутів, які описують ці лінійні об'єкти, або
- 3) набір вузлів і дуг, які оточують географічні області (полігони), й асоційовані таблиці атрибутів, які описують ці області, або
- 4) комбінацію наборів 1) і 2), або
- 5) комбінацію наборів 2) і 3).

Звідси витікає, що дуга (Arc) і вузол (Node) є головними "будівельними" елементами покриття. Ключове значення дуги Arc використовується в назві програмних продуктів ArcInfo, ArcGIS...

Покриття може також містити інші елементи, такі як анотації і точки реперів.

Покриття зберігається як директорія, в якій кожен клас просторових об'єктів зберігається як набір файлів. Наприклад, покриття "дороги" є лінійне покриття, що містить файл дуг (Arc), файл анотацій (Annotation) для дуг, файл точок реперів (Tic). Просторові дані зберігаються в двійкових файлах, а атрибутивні і топологічні дані зберігаються в таблицях INFO. Покриття також може мати асоційовані файли.

Топологія має відношення до способу, згідно якому лінійні дані зберігаються і співвідносяться. Топологія реєструє просторові відношення між дугами і полігонами в покритті. Кожна дуга має атрибути "від-вузла", "до-вузла", полігон зліва і справа, унікальний ідентифікатор ID дуги і внутрішній порядковий номер. Групи дуг, які формують замкнуті форми (полігони), асоціюються з унікальною міткою. Зберігання даних таким чином дозволяє системі визначати, які полігони суміжні, які дуги формують полігони, як далеко віддалені центри дуг і полігонів один від одного і так далі.

Слід мати на увазі, що топологія не створюється автоматично. Користувач використовує для цього спеціальні команди.

4.2.6 Переваги і недоліки геореляційної моделі даних

Геореляційна модель має наступні переваги:

- 1) проста структура таблиць, які легко читати;
- 2) інтуїтивний, простий, призначений для користувача інтерфейс;
- 3) наявність множини інструментів для кінцевих користувачів (наприклад, макросів і скриптів);
- 4) простота зміни і додавання нових прив'язок, даних і записів;
- 5) простота використання таблиць, що описують географічні елементи із загальними атрибутами;
- 6) можливість прив'язки таблиць, що описують топологію, необхідну для ГІС-аналіза;
- 7) прямий доступ до даних, що забезпечує їх швидку і ефективну обробку;
- 8) незалежність даних від додатка;

- 9) наявність великих об'ємів ГІС-даних в цьому форматі.

Геореляційна модель має наступні недоліки:

- 1) обмежене представлення реального світу;
- 2) обмежену гнучкість управління запитами і даними;
- 3) повільний послідовний доступ;
- 4) трудність моделювання складних відношень даних, оскільки для цього часто необхідні кваліфіковані прикладні програмісти баз даних;
- 5) необхідність вираження складних відношень у вигляді процедур в кожній програмі, яка звертається до бази даних.

4.2.7 Контрольні питання і завдання для самостійної роботи

- 1) У чому полягає сутність геореляційної моделі даних?
- 2) Що є тематичними шарами, якими принципами необхідно дотримувати для їх організації ?
- 3) Для чого виконують просторове індексування?
- 4) Представте зміст моделі даних "Шейпфайл".
- 5) Опишіть зміст моделі даних "Покриття".
- 6) У чому полягають переваги і недоліки геореляційної моделі даних?

Розділ 4.3

ОБ'ЄКТНО-ОРІЄНТОВАНА МОДЕЛЬ ДАНИХ

4.3.1 Основні положення об'єктно-орієнтованої методології

Сприймана складність реального світу і її пізнання вимагають розвитку відповідних методів і засобів, у тому числі геоінформаційних систем. У свою чергу, розвиток геоінформаційних систем пов'язаний з необхідністю спільної обробки об'ємів просторової і непросторової інформації, що збільшуються, розробки складніших процесів обробки взаємозв'язаної різнопланової інформації, інтеграції цієї інформації у взаємодії з іншими різними за призначенням системами. Додаткові вимоги в частині знаходження кращих рішень, зручності, продуктивності, надійності і вартості також вимагають розробки і розвитку адекватних моделей.

Поширення потужних персональних комп'ютерів створило в 90-х роках основу для широкого застосування об'єктно-орієнтованого підходу в практиці проектування і програмування інформаційних систем. Нова методологія орієнтована перш за все на подолання складності, пов'язаної з розробкою програмних засобів, на створення великих складних систем, колективну їх розробку, подальший активний супровід при експлуатації і регулярні модифікації [9].

4.3.1.1 Поняття об'єкта

В основі об'єктно-орієнтованої методології лежить об'єктний підхід, при якому предметна прикладна область представляється у вигляді сукупності об'єктів, які взаємодіють між собою за допомогою передачі повідомлень [49].

Під *об'єктом* розуміється деяка сутність (реальна або абстрактна), що володіє станом, поведінкою і індивідуальністю.

- *Стан об'єкта* характеризується переліком всіх його можливих властивостей - структурою і значеннями кожної з цих властивостей.
- *Поведінка об'єкта* (або його функціональність) характеризує те, як об'єкт взаємодіє з іншими об'єктами або піддається взаємодії інших об'єктів, проявляючи свою індивідуальність. Поведінка об'єкта реалізується у вигляді функцій, які називають методами.

При цьому структура об'єкта доступна тільки через його методи, які в сукупності формують інтерфейс об'єкта.

- *Індивідуальність об'єкта* характеризують такі властивості об'єкта, які відрізняють його від всіх інших об'єктів.

Самі по собі об'єкти не представляють жодного інтересу: тільки в процесі взаємодії об'єктів реалізується система. Для об'єктно-орієнтованої методології представляють особливий інтерес два типи ієрархічних співвідношень об'єктів:

- *зв'язки* - позначають рівноправні відношення між об'єктами; об'єкт співробітничає з іншими об'єктами через зв'язки, що з'єднують його з ними;
- *агрегація* - агрегація описує відношення цілого і частини, що наводять до відповідної ієрархії об'єктів.

Об'єкти утворюють мінімальні одиниці інкапсуляції. *Інкапсуляцією* називається спосіб об'єднання структури і поведінки в одному місці (як би в "капсулі") і заховання всіх даних усередині об'єкта, що робить їх невидимими для всіх, за винятком методів самого об'єкта. У об'єктно-орієнтованій моделі об'єкти інкапсулюють атрибути і лінії поведінки.

Доступ до даних, ув'язнених в об'єкті, можливий тільки відповідно до ліній поведінки об'єкта. Таким чином, інкапсуляція захищає дані від пошкодження іншими об'єктами, а також закриває внутрішні деталі об'єктів від останньої системи. Інкапсуляція також забезпечує міру незалежності даних, щоб не виникла необхідність змінювати об'єкти-відправники або одержувачі повідомлень при їх взаємодії з об'єктом, поведінка якого змінилася. Інкапсуляція — це сутність об'єктно-орієнтованої моделі.

4.3.1.2 Поняття класу

Одне з ключових понять об'єктно-орієнтованого підходу – поняття класу. Під *класом* розуміється множина об'єктів, що мають загальну структуру і загальну поведінку. Саме клас спочатку описує змінні і методи об'єкта, тобто структуру і поведінку об'єкта. Будь-який конкретний об'єкт є екземпляром класу. Об'єкти, не зв'язані спільністю структури і поведінки, не можна об'єднати в клас, оскільки за визначенням вони не зв'язані між собою нічим.

Між класами істотними є наступні типи відношень:

- відношення "*узагальнення/спеціалізація*" (загальне і приватне) відображає міру спільності;

- відношення "ціле/частина" відображає агрегацію об'єктів;
- відношення "асоціація" відображає смисловий зв'язок між класами, які не зв'язані жодними іншими типами відношень;
- відношення "спадкоємство" - це таке відношення між класами, коли один клас повторює структуру і поведінку іншого класу (одиначне спадкоємство) або інших (множинне спадкоємство) класів. Клас, структура і поведінка якого успадковуються, називається суперкласом. Похідний від суперкласу клас називається підкласом. Це означає, що спадкоємство встановлює між класами ієрархію загального і приватного.

4.3.1.3 Поняття відношення

Відношення описують те, як об'єкти асоційовані один з одним. Вони визначають правила створення, зміни і видалення об'єктів. Існує декілька видів відношень, які можна використовувати в об'єктно-орієнтованій моделі даних.

- *Спадкоємство* - дозволяє одному класу успадковувати атрибути і лінії поведінки одного або декількох інших класів. Клас, що успадковує атрибути і лінії поведінки, відомий як підклас. Батьківський клас називається суперкласом. Окрім успадкованої ним лінії поведінки, підкласи можуть додавати або перевизначати успадковані атрибути і лінії поведінки. Суперклас - це генералізація його підкласів, а підклас - це уточнення свого суперкласу. Наприклад, будинок - це уточнення будівлі, а будівля - це генералізує будинок. Клас будинків може успадковувати атрибути і лінії поведінки класу будівель, такі як кількість поверхів, кімнат і тип споруди.
- *Асоціація* - загальні відношення між об'єктами. Кожна асоціація може також володіти асоційованою з нею множинністю, яка визначає кількість об'єктів, асоційованих з іншим об'єктом. Наприклад, асоціація може сказати вам, що "власник" об'єкта може володіти одним або багатьма будинками. Об'єднання (агрегація) і композиція - це особливі типи асоціацій.
- *Об'єднання* (агрегація) - певний тип асоціації. Об'єкти можуть містити інші об'єкти, тому об'єднання - це просто набір різних класів об'єктів, зібраних в один клас, який стає новим об'єктом. Класи об'єктів можуть бути зібрані в об'єднаний клас. Наприклад, об'єднаний клас "земельно-майновий комплекс" може бути створений шляхом об'єднання класів "Земельна ділянка" і

"Будівлі". Ці нові складені об'єкти важливі, тому що вони, на відміну від простих об'єктів, здатні представляти складніші структури.

- *Композиція* - це одна спеціальна форма асоціації. Це - сильніший асоціативний взаємозв'язок, при якому життя "вміщених" класів об'єктів управляє життям класу об'єктів, що "містить" (контейнера). Наприклад, будівля складена з підвалин, стін і даху. Якщо ви видалите будівлю, то автоматически видалите його підвалини, стіни і дах, але не його символ.

4.3.1.4 Принципи об'єктної моделі

Об'єктно-орієнтована технологія ґрунтується на так званій об'єктній моделі. Основними принципами, на яких будуються об'єктні моделі, є: абстрагування, інкапсуляція, модульність, ієрархічність, типізація, паралелізм і збережуваність.

- *Абстракція* виділяє істотні характеристики деякого об'єкта, що відрізняють його від всіх інших видів об'єктів і, таким чином, чітко визначає його концептуальні кордони з точки зору спостерігача.
- *Інкапсуляція* - це процес відділення один від одного елементів об'єкта, що визначають його пристрій і поведінку; інкапсуляція служить для того, щоб ізолювати контрактні зобов'язання абстракції від їх реалізації.
- *Модульність* - це властивість системи, яка була розкладена на внутрішньо зв'язні, але слабо зв'язані між собою модулі.
- *Ієрархія* - це ранжирування абстракцій, розташування їх по рівнях.
- *Типізація* - це спосіб захиститися від використання об'єктів одного класу замість іншого або, принаймні, управляти таким використанням.
- *Паралелізм* - це властивість, що відрізняє активні об'єкти від пасивних.
- *Збережуваність* - здатність об'єкта існувати в часі, переживаючи процес, що його породив, в просторі, переміщаючись зі свого первинного адресного простору.

4.3.2 Загальна характеристика об'єктно-орієнтованої моделі даних "База геоданих"

4.3.2.1 Визначення бази геоданих

З 2000 року в ArcGIS представлений новий підхід до зберігання і представлення географічних даних - об'єктно-орієнтована модель даних, названа "базою географічних даних", або скорочено "базою геоданих", або аббревіатурою БГД (Geographic Database - GDB).

База геоданих – це сукупність географічних наборів даних різних типів, використовуваних в ArcGIS, що містяться в загальних папках файлової системи або в реляційній базі даних.

Модель даних ГІС База геоданих базується на принципах реляційних таблиць. Модель даних використовує персональну базу даних Microsoft Access або розраховану на багато користувачів реляційну базу даних, таку як Oracle, Microsoft SQL Server, PostgreSQL, Informix або IBM DB2.

Ключовою концепцією бази геоданих є набір даних. База геоданих містить трьох основних типів наборов даних:

- класи просторових об'єктів (Feature classes);
- растрові набори даних (Raster datasets);
- непросторові таблиці (Tables).

Ці набори даних додають в базу геоданих з розширеними можливостями (наприклад, шляхом створення топології мережі або підтипів) для моделювання поведінки, збереження цілісності даних і роботи з одним з важливих наборів просторових відношень.

База геоданих забезпечує:

- доступ і управління великими об'ємами географічних даних, що зберігаються у файлах і базі даних,
- обробку різних типів даних і інших об'єктів,
- вживання складних правил і відношень в "інтелектуальних" ГІС, безпосередньо моделюючих реальність.

4.3.2.2 Об'єктно-орієнтована векторна модель даних

Модель бази геоданих підтримує об'єктно-орієнтовану векторну модель даних. У цій моделі сутності представлені як об'єкти з властивостями, поведінкою і відношеннями. Підтримка різних типів географічних об'єктів вбудована в систему. До цих типів об'єктів

відносяться прості об'єкти, географічні об'єкти, мережеві просторові об'єкти, анотації просторових об'єктів та інші, більш спеціалізовані типи просторових об'єктів. Модель дозволяє визначити взаємини між об'єктами, а також правила для підтримки цілісності посилальних даних між об'єктами.

Об'єктно-орієнтована модель даних розглядає географічні об'єкти реального світу як об'єкти бази даних. Об'єктами представляються просторові об'єкти, наприклад, дорога, будівля, земельна ділянка. Об'єкти можуть представляти шар доріг, систему координат шару доріг.

Модель бази геоданих визначає загальну модель для географічної інформації. Це типова модель, яка може бути використана для визначення і роботи широким колом різних користувачів або прикладань за конкретними моделями.

4.3.2.3 Переваги бази геоданих

Переваги бази геоданих в наданні можливості:

- централізовано зберігати географічні дані і управляти ними в одній реляційній СУБД;
- моделювати поведінку просторових об'єктів;
- застосувати складні правила і відношення до даних;
- підтримувати цілісність просторових даних в несуперечливій, точній базі даних;
- роботи в рамках розрахованого на багато користувачів доступу і редагування середовища;
- масштабування створених рішень;
- інтеграції просторових даних з іншими базами даних;
- підтримка призначених для користувача функцій і поведінки.

4.3.3 Засоби додання інтелектуальних властивостей просторовим об'єктам

У моделі даних покриття користувач може описувати тільки геометрію об'єкта і його характеристику, де опис його поведінки можливий тільки за допомогою додаткових створених користувачем програм, що обмежує можливості аналізу і обробки, наприклад аналіз різних типів об'єктів в реальному часі і т. д.

Модель даних бази геоданих володіє ключовою перевагою – можливістю побудувати інтелектуальну модель просторової системи [50]. За допомогою моделі даних бази геоданих користувач може створювати змістовніші об'єкти з новими якостями (інтелектуальні об'єкти) і, тим самим, моделювати об'єкти реального світу.

Користувач працює не просто із звичайними точками, лініями і полігонами, інформація про яких зберігається в таблицях. У БГД користувач може оперувати такими поняттями, як об'єкти реального світу, встановлювати і набудовувати властивості і взаємини об'єктів. Наприклад, замість точок можна працювати з трансформаторами, а замість ліній - з трубами. При цьому кожній трубі буде встановлено правило, через який перехідник вона з'єднується з іншою трубою.

Користувач може задавати поведінку окремих об'єктів, визначати взаємовідношення класів об'єктів, створювати правила і застосовувати топологічні моделі високого рівня без програмування.

Модель даних База геоданих має засоби створення змістовніших просторових об'єктів, якими моделюється поведінка, підтримується цілісність даних і робота з просторовими стосунками. Такими засобами є, перш за все, топологія, підтипи класів просторових і непросторових об'єктів, домени атрибутів, відношення, правила зв'язності та інші.

4.3.3.1 Топологія

Визначення і призначення топології

У базі геоданих топологія - це механізм, який визначає, як точкові, лінійні, полігональні просторові об'єкти використовують загальну геометрію. Наприклад, осі вулиць і поштових ділянок мають загальну геометрію, а суміжні полігони ґрунтів мають загальні межі.

Топологія визначає і забезпечує правила цілісності даних (наприклад, не повинно бути щілин між полігонами). Вона підтримує запити топологічних відношень і переміщень (наприклад, переміщення просторових об'єктів суміжності або зв'язності), підтримує складні інструменти редагування, а також дозволяє створювати просторові об'єкти з неструктурованою геометрії (наприклад, створення полігонів з ліній).

У ArcGIS топологія включає наступні компоненти:

- 1) топологічні моделі даних, що використовують відкритий формат для простих просторових об'єктів, правила топології і топологічно

інтегровані координати для просторових об'єктів із загальною геометрією;

- 2) топологічні шари, які використовуються для відображення топологічних взаємин, помилок і виключень;
- 3) комплекс інструментів геообработки для створення, аналізу, управління і перевірки топології;
- 4) передові програмні алгоритми для аналізу і знаходження топологічних елементів в класах просторових об'єктів точкових, лінійних і полігональних;
- 5) багаті засоби редагування і автоматизації даних, які використовують для створення, підтримки і перевірки топологічної цілісності й представлення загальних просторових об'єктів.

Властивості топології в базі геоданих

У базі геоданих для кожної топології визначають наступні властивості:

- ім'я топології, яка буде створена;
- кластерний допуск, що визначає мінімальну допустиму відстань між вершинами об'єктів;
- список класів просторових об'єктів, які візьмуть участь в топології;
- ранги відносної точності координат для кожного класу просторових об'єктів;
- список правил топології.

Правила топології

Топологія реалізують у вигляді набору правил цілісності, що визначають поведінку просторово взаємозв'язаних географічних об'єктів і об'єктних класів. Ці правила дозволяють моделювати в базі геоданих такі просторові відношення, як зв'язність (чи зв'язані лінії вулично-дорожньої мережі?) і суміжність (чи існує проміжок між двома полігонами ділянок?). Правила топології визначають допустимі просторові відношення між просторовими об'єктами. Правила використовуються для контролю топологічних відношень між просторовими об'єктами усередині одного класу просторових об'єктів, між просторовими об'єктами в різних класах або між підтипами просторових об'єктів.

Таблиця 4.3.1- Приклади застосування правил

Правило	Приклад застосування
Не повинні перекриватися	Земельні ділянки не повинні перекриватися; суміжні ділянки можуть мати загальні межі. Це правило може використовуватися для управління цілісністю просторових об'єктів.
Повинні суміщатися з об'єктами класу	Територія великого міста має бути повністю покрита площадковими об'єктами його адміністративних районів.
Межа повинна суміщатися з	Межі планувальних кварталів повинна суміщатися з червоними лініями забудови.
Повинні суміщатися з	Лінії автобусних маршрутів повинні суміщатися з осьовими лініями доріг.
Не повинні перетинатися	Горизонталі не повинні перетинатися.

У ArcGIS формалізовано 25 правил топології.

4.3.3.2 Підтипи

Підтипи (Subtypes) - це підмножина просторових об'єктів в класі просторових об'єктів або об'єкти в таблиці, які мають однакові атрибути.

Підтипи використовуються для створення розширених можливостей бази геоданих.

1) Підтипи дозволяють *підвищити ефективність бази геоданих*.

- Підтипи використовують як метод для класифікації даних, для розділення класів просторових об'єктів або таблиць на логічні групи, що базуються на значеннях атрибутів. Наприклад, вулиці в класі просторових об'єктів вулиць можна було б розбити на три підтипи: вулиці місцевого значення, вулиці районного значення і загальноміські вулиці. Представлення різних об'єктів реального світу як підмножини просторових об'єктів у даному класі просторових об'єктів замінює створення нового класу просторових об'єктів для кожного об'єкта.

2) Підтипи дозволяють *управляти значеннями атрибутів*, у тому числі:

- Встановити значення за умовчанням, яке автоматично застосовуватиметься при створенні нових просторових об'єктів. Наприклад, підтип вулиць місцевого значення може бути створений і визначений так, що коли цей підтип вулиці буде доданий класу просторових об'єктів вулиць, його атрибут максимальної швидкості буде автоматично встановлений на 40 км. в годину
 - Застосувати домен діапазонів або домен кодованих значень до просторових об'єктів, щоб обмежити введення інформації згідно встановленому набору значень. Наприклад, у водопровідній мережі, підтип магістральних водопроводів може мати домен кодованих значень для будівельних матеріалів, що обмежує їх виконання із заліза, чавуну або міді.
- 3) Підтипи дозволяють *розширити правила поведінки*, у тому числі:
- Створити правила з'єднання між іншими підтипами і класами просторових об'єктів для збереження цілісності мережі. Наприклад, у водопровідній мережі кінці труб різного діаметру можуть бути з'єднані спеціальним перехідним елементом.
 - Створити правила топології між іншими підтипами й класами просторових об'єктів, що знаходяться в топології. Наприклад, можна внести вимогу про те, що просторові об'єкти вулиць мають бути зв'язані з іншими просторовими об'єктами вулиць з обох боків, за винятком підтипів тупикових вулиць.
 - Розробити правила відношень між іншими підтипами, таблицями і класами просторових об'єктів. Наприклад, в електричній мережі можна створити правила відношень між підтипами, які полягають в тому, що сталеві стовпи підтримують клас трансформаторів В, а дерев'яні стовпи підтримують клас трансформаторів С.
 - Створити призначені для користувача правила між просторовими об'єктами за допомогою написання коду.

Підтипи можуть бути створені, використовуючи контекстне меню в ArcCatalog або використовуючи набір інструментів підтипів (Subtypes) геообробки.

4.3.3.3 Домени

Два чудові механізми Домени і Підтипи використовують для організації даних так, що операції управління, відображення і

редагування даними стають ефективнішими за підтримки цілісності атрибутів.

Домен – це фіксований список допустимих значень атрибуту. Всякий раз, коли домен асоціюється з полем атрибутів, тільки значення з домена будуть правильними для цього поля, іншими словами, поле не набуде значення не з домена.

У базі геоданих домен атрибутів є механізмом для посилення цілісності даних. Домени атрибутів встановлюють, які значення є допустимими в полі класу просторових об'єктів або таблиці непросторових атрибутів. Якщо просторові або непросторові об'єкти згруповані в підтипи, різні домени атрибутів можуть асоціюватися з кожним підтипом.

База геоданих використовує двох типів доменів атрибутів.

- *Домени діапазонів* створюються на інтервальних даних. Домен діапазонів задає допустимий діапазон значень для числового атрибуту. При створенні ряду доменів необхідно ввести мінімальне і максимальне значення. Наприклад, для підтипу ліній газопостачання низького тиску задається діапазон діаметрів труб від 40 мм. до 270 мм.
- *Домени кодів* створюються на номінальних даних. Домен кодованих значень може застосовуватися до будь-якого типа атрибутів – текстових, цифрових, дат і так далі. Домен кодованих значень визначає правильний набір значень для атрибуту. Наприклад, затверджений міською радою стандарт на назви вулиць, такий, що є доменом код, включає у тому числі значення атрибуту "Чернишевська вул."; поле назв вулиць не набуде значення атрибуту "Чернишевського вул."

4.3.3.4 Відношення і класи відношень

Різні види географічних і негеографічних сутностей можуть бути зв'язані між собою відношеннями. Відношення можуть існувати між:

- географічними сутностями та іншими географічними ествами, наприклад, будівля може бути пов'язана із земельною ділянкою;
- географічними сутностями і негеографічними сутностями, наприклад, земельна ділянка може бути пов'язана з власником;
- негеографічними сутностями і іншими негеографічними сутностями, наприклад, власник земельної ділянки може бути пов'язаний з податковим кодом.

При представленні зв'язків між географічними об'єктами необхідно моделювати просторові відношення між просторовими об'єктами.

ArcMap забезпечує два методи асоціації даних, що зберігаються в таблицях з географічними об'єктами: зв'язування і з'єднання.

Зв'язування (Relating) - операція, яка встановлює тимчасові зв'язки між записами в двох таблицях, використовуючи загальний ключ в обох. Зв'язування реалізують типи відношень "один-до-одного" (one-to-one), "один-до-багатьох" (one-to-many) і "багато-до-багатьох" (many-to-many).

З'єднання (Joining) – операція зв'язування і фізичного з'єднання двох таблиць атрибутів, використовуючи їх елементи, загальні для двох таблиць. З'єднання зазвичай використовується для того, щоб доповнити поля однієї таблиці до полів іншої таблиці за допомогою загальних атрибутів або полів. З'єднання реалізують типи відношень "один-до-одного" (one-to-one) і "багато-до-одного" (many-to-one).

Відношення один-до-одного і один-до-багатьох не вимагають нової таблиці в базі геоданих. Зв'язування і з'єднання використовуються для створення даних, вивчення і аналізу.

У базі геоданих відношення між об'єктами зберігаються у класах відношень. *Клас відношень (Relationship class)* – це елемент бази геоданих, який зберігає інформацію про відношення. Класи відношень управляють асоціаціями між об'єктами в одному класі (класі просторових об'єктів або таблиці) і об'єктами в іншому класі.

Класи відношень забезпечують множину просунутих можливостей, не наявних в операціях зв'язування і з'єднання в ArcMap.

1) Класи відношень допомагають забезпечувати цілісність посилальних даних.

- Клас відношень може бути налагоджений так, що при зміні об'єкта зв'язані об'єкти оновлюються автоматично. Це може включати фізичне переміщення зв'язаних просторових об'єктів, видалення зв'язаних об'єктів або оновлення атрибуту. Наприклад, можна створити такі відношення, при яких при переміщенні опори електромережі переміщаються разом з нею прикріплені трансформатори і інше устаткування.
- Встановлюючи правила, клас відношень може обмежити тип відношень. Наприклад, одна опора може підтримувати не більше трьох трансформаторів. Сталева опора може підтримувати трансформатори класу В, але не трансформатори класу С.

2) Класи відношень полегшують редагування, допомагаючи понизити витрати на технічне обслуговування.

- Забезпечуючи автоматичне оновлення для зв'язаних об'єктів, клас відношень може позбавити від виконання додаткових операцій редагування.
 - Класи відношень полегшують доступ до об'єктів, коли ви редагуєте. Ви можете вибрати один об'єкт, а потім знайти всі зв'язані об'єкти, використовуючи діалогове вікно атрибутів або таблиці. Вийшовши на відповідний об'єкт, ви можете редагувати його атрибути.
- 3) Класи відношень дозволяють робити запити до зв'язаних просторових об'єктів і записів, запрошувати, виконувати аналіз і формувати звіти з атрибутами з класу відношень.

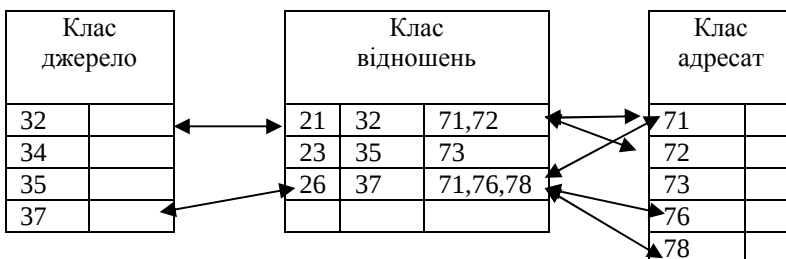


Рис. 4.3.1 – Клас відношень "один-до-багатьох" в базі геоданих

Клас відношень може мати атрибути. Клас відношень, який має атрибути, зберігається в таблиці бази геоданих. Кожне відношення зберігається як запис в таблиці класу відношень (рис. 4.3.1).

Класи відношень мають наступні характеристики: ім'я, атрибути відношення, клас-джерело і клас-адресат, первинні і зовнішні ключі, тип відношення, потужність, напрям повідомлення інформації.

- Всі відношення в класі відношень зв'язують об'єкти з одного класу-джерела (origin class) з об'єктами з одного класу-адресата (destination class).
- Таблиця класу відношень має пару зовнішніх ключів (foreign key - FK), один з яких відноситься до класу-джерела й інший – до класу-адресата. Класи об'єктів мають внутрішні ключі (primary key - PK), один з яких відноситься до класу-джерела й інший – до класу-адресата.
- Клас відношень має мітку прямого напрямку (forward path label) і мітку зворотного напрямку (backward path label). Приклади міток напрямку: "управляє", "управляється за допомогою".

Потужність відношення (cardinalities) визначає кількість об'єктів в класі-джерелі, які можуть належати до об'єктів в класі-адресатові. Відношення в базі геоданих можуть мати одне з трьох значень потужності: "один-до-одного", "один-до-багатьох" і "багато-до-багатьох".

- База геоданих підтримує двох типів відношень - прості і складені. Просте відношення (simple relationship) – це рівноправне відношення, при якому зв'язані об'єкти можуть існувати незалежно один від одного. Складене відношення (composite relationship) – це відношення один-до-багатьох, при якому об'єкти з класу-адресата не можуть існувати незалежно від об'єктів з класу-джерела. Коли джерело віддаляється, відповідні об'єкти з класу-адресата також знищуються.

4.3.4 Елементи БГД

База геоданих містить три основні типи наборів даних незалежно від системи їх використання [50]:

- таблиці (Tables);
- класи просторових об'єктів (Feature classes);
- набори растрових даних (Raster datasets).

Ці набори даних можна розглядати як універсальну відправну точку для розробки бази геоданих.

База геоданих має ряд додаткових елементів і типів наборів даних, які можуть бути використані для моделювання складної поведінки, підвищення цілісності даних, для розширення можливостей бази геоданих в управлінні даними (рис. 4.3.2).

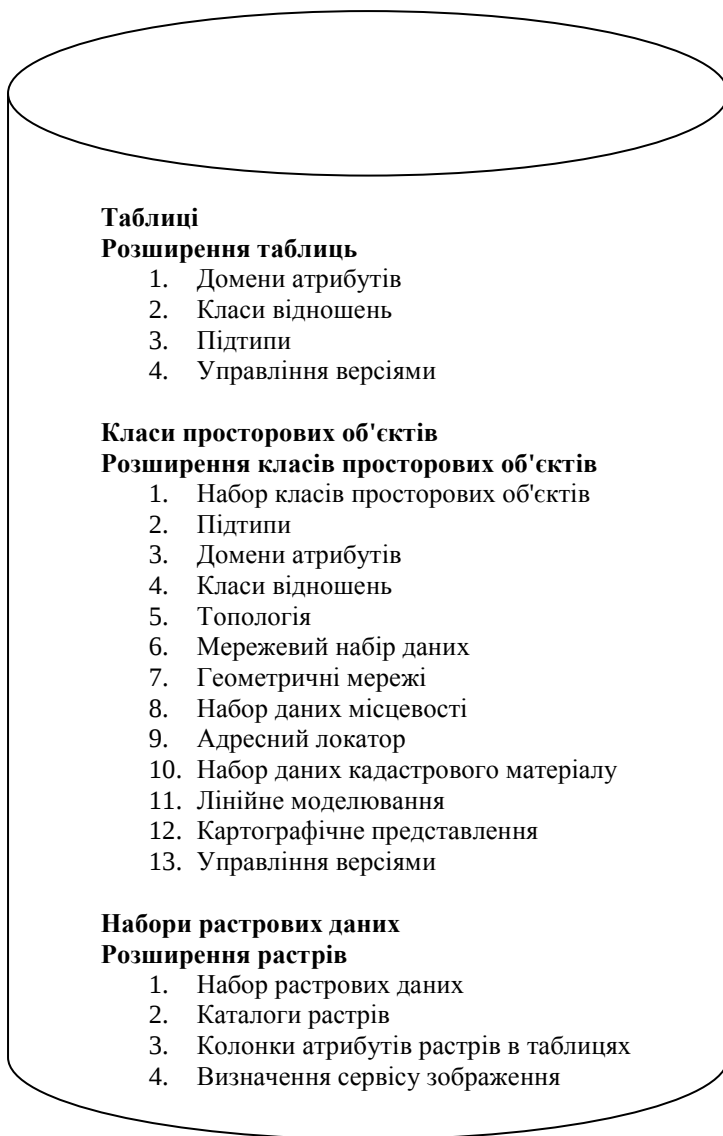


Рис. 4.3.2 - Компоненти бази геоданих

Всі три основні типи наборів даних в базі геоданих, а також інші елементи бази геоданих зберігаються у таблицях.

4.3.4.1 Таблиці

У базі геоданих атрибути управляються в таблицях, що базуються на серії простих істотних концептах реляційних даних:

- таблиці містять ряди;
- всі ряди таблиці мають однакові колонки;
- кожна колонка має тип даних;
- серія реляційних функцій і операторів доступна для операцій на таблицях і їх елементами даних.

Таблиці і відношення грають ключову роль в ArcGIS, оскільки вони знаходяться в прикладаннях традиційних баз даних. Користувачі виконують багато традиційних табличних і реляційних операцій, використовуючи таблиці.

Таблиці (Tables) забезпечують описовою інформацією географічні об'єкти, растри і традиційні таблиці атрибутів у базі геоданих. Ряди в таблиці можуть використовуватися для зберігання всіх властивостей географічних об'єктів. Вони включають зберігання і управління геометрією просторових об'єктів у колонці Shape.

4.3.4.2 Розширення таблиць

Для моделювання відношень і поведінки таблиці можуть використовуватися спільно з елементами, які додають просунуті можливості базі геоданих. База геоданих містить наступні елементи, які утворюють розширення таблиць (Extending tables).

- *Домени атрибутів (Attribute Domains)* – представляють списки допустимих значень або діапазону допустимих значень атрибутів стовпців. Домени використовують для забезпечення цілісності значень атрибутів і класифікації даних.
- *Класи відношень (Relationship Classes)* – створюють відношення між двома таблицями, використовуючи загальний ключ. Класи відношень визначають рядки в другій таблиці, відповідні вибраним рядкам в першій таблиці
- *Підтипи (Subtypes)* - управляють наборами атрибутів підкласів в одній таблиці. Підтипи часто використовують в таблицях класів просторових об'єктів для управління різною поведінкою в

підмножинах того ж типу просторових об'єктів.

- *Управління версіями* (Versioning) – управляють довгими транзакціями оновлення даних, історичними архівами і редагуванням багатьох користувачів.

4.3.4.3 Класи просторових об'єктів

Класи просторових об'єктів (Feature Classes) – це гомогенні збори просторових об'єктів з однаковим просторовим представленням, із загальною системою координат і набором атрибутів, що зберігаються в таблиці бази геоданих.

У базі геоданих основні класи просторових об'єктів мають наступні типи:

- 1) *Точки* (Points) — використовуються для представлення географічних об'єктів, розмірами яких можна нехтувати для даного завдання. Точками характеризують місце розташування географічних об'єктів.
- 2) *Лінії* (Lines) — використовуються для представлення географічних об'єктів, які мають довжину, але не мають площі. Лініями представляють форму і місце розташування географічних об'єктів.
- 3) *Полігони* (Polygons) — набір багатосторонніх площадкових просторових об'єктів, які представляють форму і місце розташування однорідних типів просторових об'єктів.
- 4) *Анотація* (Annotation) — текст карти, що містить властивості представлення тексту.
- 5) *Розміри* (Dimensions) — спеціальний тип анотації, який показує певну довжину або відстань, наприклад, довжина сторони будівлі або відстань між точками.
- 6) *Мультиточки* (Multipoints) — використовуються для представлення просторових об'єктів, які утворені більш ніж однією точкою із загальними атрибутами.
- 7) *Мультифрагменти* (Multipatches) — використовуються для представлення зовнішній поверхні або оболонки просторових об'єктів, які займають окрему область або об'єм у тривимірному просторі. Мультифрагменти включають планові 3D кільця і трикутники, які використовують в комбінації для моделювання тривимірної оболонки. Мультифрагменти можна використовувати для представлення будь-яких об'єктів від простих, таких як сфери або куби, до складених об'єктів, таких як ізоповерхні або будівлі.

4.3.4.4 Розширення класів просторових об'єктів

Для моделювання просторових відношень і поведінки класи просторових об'єктів можуть використовуватися спільно з елементами, які додають просунуті можливості бази геоданих. База геоданих містить наступні елементи, які утворюють розширення класів просторових об'єктів (Extending feature classes).

- 1) *Набір класів просторових об'єктів* (Feature dataset) – збори класів просторових об'єктів, які мають загальну систему координат.
- 2) *Підтипи* (Subtypes) - використовуються з таблицями класу просторових об'єктів для управління різною поведінкою в підмножинах одного типа просторових об'єктів. Підтипи управляють набором підкласів просторових об'єктів в одному класі просторових об'єктів.
- 3) *Домени атрибутів* (Attribute Domains) - визначають список допустимих значень або діапазони допустимих значень атрибутів стовпців. Домени використовуються для забезпечення цілісності значень атрибутів і для класифікації даних.
- 4) *Класи відношень* (Relationship Classes) - створюють відношення між класами просторових об'єктів і іншими таблицями з використанням загального ключа.
- 5) *Топологія* (Topology) – моделює загальну геометрію просторових об'єктів.
- 6) *Мережевий набір даних* (Network Dataset) – моделює транспортну зв'язність і потоки.
- 7) *Геометричні мережі* (Geometric Network) – моделює комунальні мережі і трасування.
- 8) *Набір даних місцевості* (Terrain Dataset) – моделює мережу нерегулярних трикутників (TIN) і управляє великими лідарними і гідролокаційними колекціями точок.
- 9) *Адресний локатор* (Address Locator) – адресне геокодування.
- 10) *Набір даних кадастрового матеріалу* (Cadastral Fabric Dataset) – інтегрує і підтримує геодезичну інформацію для підрозділів і планів земельних ділянок, як частина моделі даних безперервного кадастрового матеріалу в базі геоданих. Набір даних кадастрового матеріалу вносить додаткові поліпшення точності для матеріалу земельної ділянки, як тільки будуть введені новий підрозділ планів і опис земельної ділянки.
- 11) *Лінійне моделювання* (Linear Referencing) – визначає місце розташування подій уздовж лінійних просторових об'єктів з вимірами.

- 12) *Картографічне представлення* (Cartographic Representations) – управляє множиною картографічних представлень і правилами покращуваного картографічного креслення.
- 13) *Управління версіями* (Versioning) – керує деякими ключовими потоками робіт в ГІС для управління даними.

4.3.4.5 Набори растрових даних

Растрові дані показують географічні об'єкти шляхом ділення території на дискретні квадратні або прямокутні чарунки, вкладені в сітку. Кожне чарунка має значення, яке використовується для представлення деяких характеристик для цього місця.

Растрові дані зазвичай використовуються для управління і представлення зображень, цифрових моделей рельєфу, а також ряду інших явищ. Незрідка растри використовують як спосіб представлення точкових, лінійних і полігональних просторових об'єктів.

Растри цікаві з двох причин: по-перше, вони можуть бути використані для представлення всіх географічній інформації (просторових об'єктів, зображень і поверхонь), по-друге, вони мають багатий набір аналітичних операторів геопроецювання.

4.3.4.6 Розширення растрів

Растри інтенсивно і всі більше використовуються в ГІС прикладаннях. База геоданих може управляти растрами для багатьох цілей: як індивідуальні набори даних, як логічна колекція наборів даних, а також як атрибути зображень в таблицях.

Растри можуть використовуватися спільно з елементами, які додають просунуті можливості базі геоданих. База геоданих містить наступні елементи, які утворюють розширення растрів (Extending rasters).

- 1) *Набір растрових даних* (Raster Datasets) – управляє великими безперервними наборами даних зображень і мозаїками зображень.
- 2) *Каталоги растрів* (Raster Catalogs) – використовують для ряду цілей: управляти шаром листів зображень, де кожен аркуш є зображення; управляти серією зображень в СУБД; управляти серією тимчасових растрів.

- 3) *Колонки атрибутів растрів в таблицях* (Raster Attribute Columns in Tables) – зберігає зображення або документи, що сканують, як атрибути в таблиці.
- 4) *Визначення сервісу зображення* (Image Service Definition) – сервіси публікації зображень для колекції растрових даних в полі на диску, в каталозі зображень і базі геоданих.

4.3.5 Типи баз геоданих

Існує два типи баз геоданих - персональні і багатокористувацькі БГД.

У *персональних* базах геоданих дані зберігаються локально на окремому комп'ютері. Підтримка персональних баз геоданих вбудована в настільні продукти ArcGIS. Локальна версія бази геоданих може зберігатися і на настільному комп'ютері у вигляді файлу Microsoft Access (*.mdb). Використання персональних баз геоданих розумне при малих об'ємах даних і коли не потрібно використовувати розраховані на багатьох користувачів сеанси доступу і редагування.

У *багатокористувацьких* базах геоданих дані зберігаються на сервері, використовуючи як сховище даних відомі комерційні РСУБД, такі як IBM DB2, Informix, Oracle, SQL Server, PostgreSQL. Для цього слід застосувати ArcSDE - спеціальне прикладання сімейства ArcGIS. ArcSDE встановлюється на сервер даних для взаємодії з РСУБД в рамках корпоративної ГІС. Розрахований на багато користувачів варіант бази геоданих має сенс використовувати для крупних організацій, коли об'єми даних перевищують відмітку з шістьма нулями

Користувач може вибрати як початкову основу локальні версії баз геоданих. У міру зростання обсягу накопичених даних користувач може поступово здійснювати перехід на розраховану на багато користувачів корпоративну РСУБД. Цей перехід не потребує кардинальної реорганізації виробничого ГІС-процесу, що дуже важливо. При цьому локальна база геоданих збереже всю структуру даних і успадкує правила і властивості всіх об'єктів, задані в базі геоданих на сервері.

Розраховані на багато користувачів бази геоданих дозволяють редагувати одні і ті ж географічні дані багатьом користувачам одночасно на декількох робочих місцях. Наприклад, в організації є декілька відділів і кожен з відділів повинен брати участь в робочому процесі, причому бажано, а інколи і необхідно, щоб всі ці відділи

працювали спільно і одночасно - в реальному часі. Для цього потрібно правильно організувати робочий процес і завжди мати під рукою зручний інструмент для управління цим процесом. При такій постановці робочого процесу його учасники повинні оперувати свого роду версіями (копіями) загальної бази даних, з якими вони взаємодіють.

Версія представляє моментальну копію всієї бази геоданих. Вона містить всі набори даних в базі геоданих. Версія ізолює роботу користувачів за допомогою множини сесій редагування, дозволяючи користувачам редагувати без блокування просторові об'єкти у виконуваний версії.

Ефективність описаних вище можливостей, які забезпечує розрахована на багато користувачів база геоданих, очевидна.

4.3.6 Переваги й недоліки об'єктно-орієнтованої моделі даних

Об'єктно-орієнтована модель бази геоданих має ряд таких переваг:

- 1) забезпечує комплексне представлення реального світу;
- 2) модель інтуїтивна, оскільки в ній використовуються об'єкти, існуючі у реальному світі;
- 3) інкапсуляція, об'єднуючи атрибути і лінії поведінки об'єкта, робить можливим доступ до об'єкта за допомогою чітко визначеного набору методів і атрибутів без знання вмісту об'єкта;
- 4) забезпечує високий рівень цілісності даних (нові дані повинні слідувати правилам поведінки);
- 5) забезпечує моделювання складних відношень між даними;
- 6) підтримує множинні рівні генералізації, об'єднання і асоціації;
- 7) добре інтегрується з методами імітаційного моделювання;
- 8) має функцію підтримки версій для множинного одночасного оновлення;
- 9) вимагає менше кодування в ГІС-програмах, що означає менше помилок і нижчу вартість підтримки.

В об'єктно-орієнтованої моделі даних є такі недоліки:

- 1) комплексні моделі реального світу складніше розробляти і будувати;
- 2) великі й комплексні моделі виконуються повільніше;
- 3) ця модель залежить від ретельності опису явищ реального світу (що особливо важко в світі природи);

- 4) аналіз об'єктно-орієнтованих баз даних вимагають використання об'єктно-орієнтованих мов програмування;
- 5) деякі бізнес-застосування можуть не мати доступу до об'єктно-орієнтованій бази даних або можливості передачі в неї даних.

4.3.7 Контрольні питання і завдання для самостійної роботи

- 1) Що розуміється під об'єктом в об'єктно-орієнтованій методології?
- 2) Що розуміється під класом в об'єктно-орієнтованій методології?
- 3) Які види відношень використовуються в об'єктно-орієнтованій моделі даних?
- 4) Наведіть загальну характеристику моделі даних ГІС "База геоданих".
- 5) Наведіть загальну характеристику топології в моделі даних ГІС "База геоданих".
- 6) Яке призначення Підтипів і Доменів моделі даних ГІС "База геоданих"?
- 7) Як реалізуються відношення і класи відношень в базі геоданих?
- 8) Наведіть загальну характеристику таблиць і розширень таблиць як компонентів бази геоданих.
- 9) Наведіть загальну характеристику класів просторових об'єктів і розширень класів просторових об'єктів як компонентів бази геоданих.
- 10) Наведіть загальну характеристику растрових даних і розширень растрів як компонентів бази геоданих.
- 11) Які існують типи баз геоданих?

Частина 5

ОСНОВИ ГЕОПРОСТОРОВОГО АНАЛІЗУ

Розділ 5.1

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ГЕОПРОСТОРОВОГО АНАЛІЗУ

5.1.1 Визначення геопросторового аналізу

Геопросторовий аналіз – це процес пошуку просторових закономірностей в розподілі географічних даних і взаємозв'язків між об'єктами [51]. Просторовий аналіз – це серце ГІС [11]. Геопросторовий аналіз надає особливі точки зору на світ. Геопросторовий аналіз є унікальною лінзою, через яку вивчаються події, структури і процеси, які відбуваються на землі або поблизу поверхні нашої планети [52]. В результаті аналізу географічної інформації виходить якісно нова інформація і виявляються раніше невідомі закономірності.

Мішель Ф. Гудчайлд в передмові до книги Енді Мітчелла [51] пише, що процес просторового аналізу нагадує розтягування гумової стрічки, коли довга і важка робота по цифруванню елементів карт, формуванню баз даних, виявленню помилок і трансформації інформації у всілякі системи координат, врешті-решт, винагороджує ефективним результатом або знахідкою оптимального рішення.

Областю геопросторового аналізу є поверхня Землі, оболонка над нею при аналізі топографії і атмосфери, оболонка під нею при аналізі ґрунтових вод і геології. *Масштаб* сутностей тягнеться від невеликих об'єктів (наприклад, записи археологів про місця шматочків керамічних виробів розміром в декілька сантиметрів або меж власності виміряних до міліметра) до глобальних (наприклад, аналіз температури поверхні морів і глобального потепління). Аналіз тягнеться в минулий час (в історичні дослідження міграції населення, у вивчення структури в археологічних місцезнаходжень або в детальне картографування руху континентів) і в майбутнє (у спробах передбачити напрями ураганів, танення льодів або зростання міських районів). Методи просторового аналізу працюють у ряді просторових і тимчасових масштабів.

Кінець кінцем, геопросторовий аналіз має відношення до проблеми "що" відбувається і "де". Геопросторовий аналіз використовує географічну інформацію, яка є базовою інформацією для побудови на ній структур і аргументів, що забезпечують багатство

просторового аналізу. В принципі немає жодних обмежень на складність просторових аналітичних методів, які, можливо, знайшли застосування в світі, і можуть бути використані для стимулювання цікавих ідей і підтримки практичних дій і рішень. Насправді, деякі методи можуть бути простішими, кориснішими і глибшими, ніж інші.

Просторовий аналіз існує на стику між людиною і комп'ютером. Обоє в нім грають важливу роль – з одного боку, дорога людської інтуїції зі всією його розпливчатістю і неформальною, і з іншого боку, дорога формального, точного просторового аналізу світу.

5.1.2 Завдання геопросторового аналізу

Перевага геоінформаційної методології полягає в тому, що ГІС дозволяє ідентифікувати, підтримувати і управляти просторовими зв'язками між топологічними об'єктами, що представляють об'єкти реального світу, створювати нові об'єкти, зв'язки, зв'язувати нові атрибути.

Енді Мітчелл у керівництві по ГІС-аналізу [51] визначає найбільш загальні завдання геопросторового аналізу, які щодня виконуються людьми на їх робочих місцях:

- аналіз місця розташування об'єктів – пошук, де розміщуються об'єкти (Mapping where things are);
- аналіз розподілу числових показників – виявлення, де більше, де менше (Mapping the most and least);
- побудова карт щільності – картографування щільності (Mapping density);
- пошук об'єктів усередині області – пошук того, що усередині (Finding what's inside);
- аналіз оточення – пошук того, що поруч (Finding what's nearby);
- аналіз просторових змін – картографування змін (Mapping change)

Вирішення цих питань за допомогою власних засобів ГІС і залучених зовнішніх моделюючих систем дає, наприклад, можливість:

- обґрунтувати місце розташування учбового закладу або бизнес-центра з врахуванням багатьох, в т.ч. і просторових чинників;
- прогнозувати розвиток і наслідки соціологічних і економічних ситуацій, стихійних лих і аварій природного техногенного характеру в просторі й часі;
- знайти оптимальну трасу трубопроводу або шляхопроводу, який проектується;

- визначити місце оптимального розташування нового родовища, а також обчислити його економічну ефективність;
- оцінити ефективність діяльності міліції, служб охорони довкілля, пожежників і т.п.;

5.1.3 Методологія геопросторового аналізу

Одним із засобів просторового аналізу є картографічне моделювання. Картографічне моделювання – це загальна, і в той же час чітка методологія, яка використовується багатьма застосуваннями ГІС явним способом. Цим терміном визначається те, що картографічне моделювання включає моделі геопросторової інформації, представлені в картографічній формі, тобто, як карти.

Картографічне моделювання використовується для одночасного аналізу просторових і тематичних характеристик геопросторової інформації. Тематичний компонент геопросторової інформації аналізується за допомогою статистичних операцій з даними (наприклад, набуття середнього значення і середнього квадратичного відхилення), а просторові характеристики геопросторової інформації виходять методами просторового аналізу.

Аналітичні методи можуть бути як дуже простими – при звичайному створенні карти, так і складнішими, включаючими моделі, які імітують реальний світ шляхом об'єднання багатьох шарів інформації.

У більшості випадків геопросторовий аналіз виконується в наступній послідовності [51, 52]:

Етап 1. Постановка проблеми

Формулювання проблеми завжди починається з визначення мети аналізу у вигляді питань, на які необхідно отримати відповіді, наприклад:

- яка ступінь ризтку будівництва в позначеному місці заплави річки?
- де сталося понад усе крадіжок із зломом минулого місяця?
- скільки лісу зростає в межах кожного басейну водозбору?

Специфіка проблеми найчастіше визначає і вибір типа аналізу, і метод, найбільш ефективний в даному випадку, і спосіб інтерпретації результатів. Від характеру проблеми залежить також необхідна детальність рішення, яка у свою чергу визначає витрати на здобуття даних, придбання або оренду необхідних програмних засобів і

обчислювальних потужностей. Саме на цьому етапі формується відповідність між масштабом виниклої проблеми і засобами, необхідними для її вирішення.

Важливим чинником, який значною мірою визначає детальність дослідження і метод вирішення даної проблеми, є уявлення про призначення результатів аналізу. В одному випадку треба провести попередні дослідження, щоб оцінити правомірність вибраного методу або виділити значимі чинники, в іншому – надати результати в звіті на вченій пораді. У останньому випадку методи мають бути строгішими, а результати – більш обґрунтованими.

На цьому етапі визначаються також критерії, які визначають параметри використання бази геоданих для здобуття відповідей. Наприклад, земельна ділянка для будівництва повинна мати градієнт не більше 10 %.

Етап 2 .Оцінка вхідних даних

Тип даних і об'єктів, доступних для проведення даного дослідження, значною мірою визначає специфіку методу, який буде використаний, і досягну точність результату. З іншого боку, щоб отримати якісну інформацію, потрібно забезпечити відповідний рівень вхідних даних.

Як правило, база геоданих вже існуватиме. Потрібно чітко представляти, яку інформацію ви маєте в своєму розпорядженні, і що ще потрібно отримати або створити. Створення нових даних, у свою чергу, може послужити причиною появи нових атрибутів в таблиці даних або навіть нових шарів карт. На цьому етапі може виникнути необхідність підготовки даних для просторових операцій, у тому числі, зміни даних, перетворення одиниць виміру і системи координат, додавання даних, конвертації даних з одного формату в інший.

Оцінка вхідних даних – найважливіший етап аналітичного процесу. Саме в цей момент визначається принципова можливість реалізації вибраних методів аналізу і здобуття результату заявленої якості.

Етап 3. Вибір методу аналізу

Майже завжди є декілька шляхів отримання необхідної інформації. При виборі шляху слід спиратися на наступні положення.

По-перше, при виборі методу завжди виникає дилема: оперативність або точність аналізу. Оперативність аналізу виникає, коли потрібно швидко оцінити ситуацію в цілому й прийняти рішення. При цьому користуються простими, добре перевіреними методами, які

не потребують істотних витрат на здобуття детальної і всесторонньої вихідної інформації про стан об'єкта. Отриманий результат матиме невисоку точність і відображуватиме тільки загальні характеристики процесу, який вивчається. Точність аналізу потрібна для здобуття достовірної і повної вхідної інформації. Точність аналізу вимагає збільшення витрат часу і зусиль на обробку даних.

По-друге, метод аналізу визначається моделлю наявних даних. Векторні дані є найбільш зручними, коли необхідно зберігати точне місце розташування вхідного об'єкта, працювати з дискретними об'єктами, кордонами або моделювати лінійну мережу. Растрові дані доцільно використовувати для аналізу безперервних явищ. Триангуляційні дані доцільно використовувати для аналізу поверхонь. Сучасні ГІС дозволяють інтегрувати в процесі аналізу цих типів даних. У разі потреби перетворення можна конвертувати растрові дані у векторних і, навпаки, за допомогою вмонтованих функцій.

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

Етап 4. Обробка даних

Як тільки вибраний метод, необхідно збудувати ланцюжок його реалізації засобами ГІС. Кожна просторова операція наводить до нової інформації. У більшості випадків аналізу потрібний набір операцій з множиною шарів. При роботі з векторними наборами даних вони виконуються ступінчастим чином – два вхідних шари використовуються для формування нового шару, цей проміжний шар обробляється спільно з третім шаром, щоб формувати інший проміжний шар, і так далі до досягнення бажаного результуючого шару карти. При роботі з растровими наборами даних є можливість одночасної обробки декількох шарів, алгоритм якої реалізується в растровому калькуляторі (Raster Calculator).

Наявність модуля побудовника моделей процесів (Model Builder) в ArcGIS 9.x дозволяє аналітику автоматизувати виконання алгоритму моделі без послуг програміста.

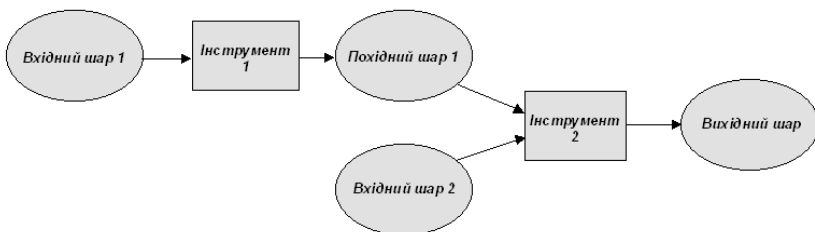


Рис. 5.1.1 - Приклад діаграми процесу аналізу в побудовнику моделей Modelbuilder

Не зважаючи на досить великий перелік методів і підходів, які застосовуються в сучасному ГІС-аналізі й моделюванні, практично завжди з їх допомогою отримуємо відповіді на два головні питання:

1. Де розташовані об'єкти із заданими властивостями?
2. Чому досліджувані об'єкти розміщені саме в цьому місці і в даний час?

Етап 5. Оцінка і відображення результатів

У процесі оцінки результатів виконують інтерпретацію результатів, визначають об'єктивність і достатність отриманої інформації. Якщо необхідно, то приймається рішення про повторення аналізу з іншими параметрами, або уточнення аналізу, або вживання іншого методу. ГІС дозволяє порівняно легко і оперативно зробити необхідні зміни і отримати новий результат. Можна також оперативно порівняти результати різних аналізів і побачити, який з підходів виявився кращим.

Результати аналізу можуть бути представлені у вигляді карти, діаграми, значень в таблиці – фактично новій інформації. Необхідно вирішити, яку інформацію виносити на карту, як групувати значення для найкращого відображення даних.

Ця методологія використовує як векторні, так і растрові моделі реального земного простору.

5.1.4 Класифікації аналітичних засобів ГІС

Геоінформаційні системи містять багатий набір різноманітних аналітичних засобів для проведення операцій з географічними об'єктами. Існує ряд підходів для класифікації аналітичних засобів

ГІС. Відсутність єдиної їх класифікації породжує різні трактування і погляди на суть аналітичного процесу взагалі.

У ряді фундаментальних робіт [53], [54], [55] набула поширення класифікація базових аналітичних засобів на основі виконуваних функцій, запропонована Стеном Ароноффом (Stan Aronoff) [56]. Згідно цієї класифікації базові аналітичні засоби згруповані в чотири обширних категорії:

1. Функції вимірів, вибору даних, класифікації;
2. Оверлейні функції;
3. Функції околу;
4. Функції зв'язності.

Деякі функції, що не увійшли до цієї класифікації, є спеціальними функціями геопроектингу. Слід також мати на увазі, що в багатьох випадках процес аналізу виконується за допомогою використання набору як аналітичних, так і спеціальних операцій.

5.1.5 Контрольні питання і завдання для самостійної роботи

- 1) Наведіть визначення і загальні завдання геопросторового аналізу.
- 2) У якій послідовності виконують геопросторовий аналіз?
- 3) Яка класифікація базових аналітичних засобів набула поширення?

Розділ 5.2

ФУНКЦІЇ ВИМІРІВ

Функції вимірів (Measurement functions), як і вибору даних і класифікації, дозволяють аналізувати дані без виконання істотних змін. Вони часто використовуються на початку аналізу. Функції геометричних вимірів включають обчислення місця розташування, довжин ліній, відстаней між двома об'єктами і площі окремих об'єктів.

5.2.1 Виміри на векторних даних

Властивість "місце розташування" просторових об'єктів описується координатами, які завжди зберігаються в базі даних у вигляді списку координатних пар. У ГІС використовуються різні інструменти здобуття координат, у тому числі зовні простий засіб - курсором. Для деяких аналітичних завдання представляє інтерес визначення координат особливих точок.

Визначення координат точки пересічення двох прямих

Операція знаходження точки пересічення ліній є однієї з базових в ГІС-аналізі, оскільки вона використовується у ряді операцій геопроецювання і в оверлейних операціях.

Початковим є рівняння прямої, відоме з аналітичної геометрії:

$$y = kx + b, \quad (5.2.1)$$

де b – відрізок, що відсікається прямою на осі ОУ;

k – кутовий коефіцієнт прямої $k = \tan \beta$;

β – кут між позитивним напрямом осі ОХ і прямою.

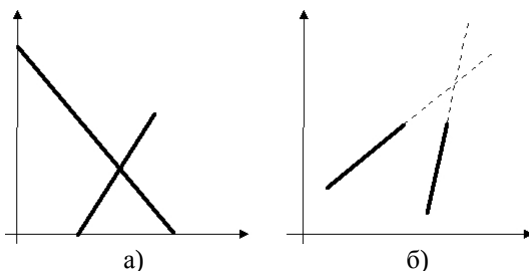


Рис. 5.2.1 – Точка пересічення: а) усередині відрізків прямих; б) зовні відрізків прямих

Дві лінії задаються рівняннями:

$$y_1 = k_1 x + b_1; \quad (5.2.2)$$

$$y_2 = k_2 x + b_2. \quad (5.2.3)$$

Спільне вирішення цих двох рівнянь дозволяє знайти координати точки пересічення цих двох ліній:

$$x = \frac{b_1 - b_2}{k_2 - k_1}; \quad (5.2.4)$$

$$y = \frac{k_2 b_1 - k_1 b_2}{k_2 - k_1}. \quad (5.2.5)$$

У оверлейних операціях при визначенні приналежності точки полігону враховується спеціальний випадок, коли одна лінія паралельна вибраної осі, наприклад, осі ОХ. В цьому випадку до $k = 0$, а координати точки пересічення таких двох ліній будуть рівні:

$$x = \frac{b_1 - b_2}{k_2}; \quad (5.2.6)$$

$$y = b_1. \quad (5.2.7)$$

Для визначення пересічення двох поліліній з p_1 і p_2 сегментами розроблено декілька способів.

Найпростішим способом знаходження їх точок пересічення є послідовна перевірка пересічення кожного сегменту першої лінії з кожним сегментом другої лінії. Складність цього алгоритму пропорційна добутку $p_1 * p_2$. Вона може бути зменшена, якщо заздалегідь перевіряти на пересічення екстенти (Extent - мінімальний обмежуючий прямокутник) сегментів і поліліній, подані на рис.5.2.2.

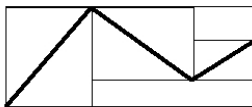


Рис. 5.2.2 - Екстенти сегментів і поліліній

Другий метод, використаний в ГІС ARCINFO, заснований на розбитті полілінії на секції, в яких лінія монотонно зростає або убыває по x і по y . Розбиття відбувається в точках локального мінімуму або максимуму по x або по y . Горизонтальна або вертикальна лінія пересікає таку секцію тільки в одній точці.

Визначення координат центроїдів і центрів

Терміни центри і центроїди мають різні значення і формули. Центри і центроїди полігонів виконують ряд важливих функцій в ГІС. Вони часто використовуються як "ідентифікаційні точки" полігонів. Для аналітичних цілей їх застосовують як об'єкти, які представляють полігони. Ефект заміщення точкою полігонів полягає в менших обсягах даних, а також в можливості виконувати деякі аналітичні операції. Доцільно використовувати центри полігонів, коли полігони невеликих розмірів однорідні або відносно компактні. У растрових ГІС представлення площадкових чарунок растру їх центрами розширює можливості геопросторового аналізу безперервних поверхонь.

Точковими об'єктами, які представляють полігон, можуть бути: 1) центр екстента - c_1 , 2) серединний центр - c_2 , 3) центроїд - c_3 (рис. 5.2.3).

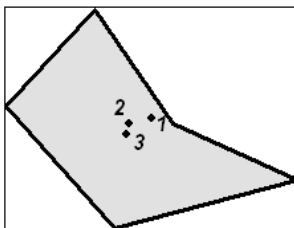


Рис. 5.2.3 - Точка заміщення полігонального об'єкта:
1 - центр екстента, 2 - серединний центр, 3 – центроїд

У деяких випадках центри і центроїди можуть знаходитися поза полігоном. ArcGIS включає функцію Features to Points, яка може створювати центри усередині полігону.

Центр екстента полігонального об'єкта обчислюють за формулою:

$$x_{c1} = \frac{x_{\max} + x_{\min}}{2}; \quad y_{c1} = \frac{y_{\max} + y_{\min}}{2}. \quad (5.2.8)$$

Серединний центр (Mean Centre) визначається серединною точкою або точкою симетрії геометричної фігури. Його місце розташування визначають середніми координатами:

$$x_{c2} = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{x_i}{n}; \quad y_{c2} = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{y_i}{n}. \quad (5.2.9)$$

Серединний центр не є центр тяжіння. У деяких випадках використовують зважений серединний центр (Weighted Mean Centre), який визначають зваженими середніми координатами:

$$x_{c2_p} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} p_i x_i}{\sum_i p_i}; \quad y_{c2_p} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} p_i y_i}{\sum_i p_i}. \quad (5.2.10)$$

Центроїд (Centroid) розглядається як центр тяжіння об'єкта або набору об'єктів. Координати центроїда отримують за формулою Гаусса:

$$x_{c3} = \frac{1}{6S} \sum_{i=1}^{n-1} (x_{i+1} y_i - x_i y_{i+1}) * (x_i + x_{i+1}), \quad (5.2.11)$$

$$y_{c3} = \frac{1}{6S} \sum_{i=1}^{n-1} (x_{i+1} y_i - x_i y_{i+1}) * (y_i + y_{i+1}). \quad (5.2.12)$$

де S – площа полігонального об'єкта.

У трикутнику центр тяжіння знаходиться на пересіченні прямих ліній, проведених з вершини до середніх точок протилежних сторін.

Визначення довжин ліній

Властивість "довжина" характеризує лінійні просторові об'єкти. Значення довжини зберігається в базі даних або обчислюється. У декартовій системі координат довжина лінії залежить від координат двох точок і обчислюється за формулою

$$d = \sqrt{(x_b - x_a)^2 + (y_b - y_a)^2}. \quad (5.2.13)$$

Властивість "відстань" характеризує видалення одного об'єкта від другого. Наприклад, нехай пряма лінія задана виразом:

$$ax + by + c = 0, \quad (5.2.14)$$

де a , b , c – коефіцієнти. Відстань ось точка $P(x_p, y_p)$ до прямої обчислюється за формулою

$$d_{p,l} = \frac{|ax_p + by_p + c|}{\sqrt{(a^2 + b^2)}}. \quad (5.2.15)$$

Визначення площі полігону

Для визначення площі полігону, заданого послідовністю вершин, найчастіше застосовують алгоритм Сімпсона (Simpson Thomas), заснований на розбитті багатокутника на трапеції, обмежені лінійними сегментами межі полігону, перпендикулярами, опущеними з вершини сегменту на вісь X й вісь Y (рис. 5.2.4). Для сегменту, що сполучає вершини (x_i, y_i) і (x_{i+1}, y_{i+1}) , площа такої трапеції дорівнює:

$$S_{i,i+1} = \frac{1}{2} (x_{i+1} - x_i) * (y_i - y_{i+1}). \quad (5.2.16)$$

Площа полігону дорівнює сумі площ трапецій для всіх сегментів полігону:

$$S = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n-1} (x_{i+1} - x_i) * (y_i - y_{i+1}). \quad (5.2.17)$$

Для сегментів, в яких $x_i > x_{i+1}$, площа виходить негативною. Слід зауважити, що полігон – замкнута фігура, тому потрібно враховувати сегмент, який з'єднує останню вершину з першою.

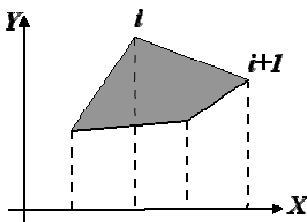


Рис. 5.2.4 - Обчислення площі полігону шляхом розбиття на трапеції

Формула обчислення площі полігону може бути перетворена до наступного вигляду:

$$S = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n-1} (x_{i+1} y_i - x_i y_{i+1}). \quad (5.2.18)$$

Формула обчислення площі полігону представлена для правої системи координат і нумерації вершини полігону за ходом годинникової стрілки. Для полігонів, оцифрованих проти годинникової стрілки, площа виходить негативною. Цим способом можна обчислити площі не тільки для опуклих багатокутників, але і для увігнутих, а також для полігонів, що мають діри. Алгоритм

непридатний для обчислення площ полігонів, що мають самопересічення меж.

5.2.2 Виміри на растрових даних

Виміри на растрових даних простіші через регулярність чарунки. Розмір площі чарунки постійний, і визначається роздільною здатністю чарунки.

Місце розташування окремої чарунки визначається точкою геоприв'язки растру, роздільною здатністю чарунки, номером колонки і номером ряду чарунки на растрі. Точкою геоприв'язки растру може бути нижній лівий або верхній лівий кут растру; ця умова враховується програмним продуктом.

Відстань між двома чарунками растру є функція місця розташування їх середніх точок і роздільною здатністю чарунок. У растровій моделі в ГІС визначення довжин вертикальних або горизонтальних ліній проводиться шляхом підрахунку кількості чарунок, по яких проходить лінія, і множення їх на розмір однієї чарунки. Якщо лінія орієнтована по діагоналях чарунок, то необхідно виконати добуток кількості чарунок на розмір чарунки й на $\sqrt{2}$.

Площу вибраних об'єктів на растрі обчислюють як добуток кількості чарунок на площу окремої чарунки.

5.2.3 Контрольні питання і завдання для самостійної роботи

- 1) Як визначити координати точки пересічення двох прямих?
- 2) Як визначити координати центроїдів і центрів?
- 3) Як визначити площу полігону?

Розділ 5.3

ФУНКЦІЇ ВИБОРУ ДАНИХ

При дослідженні просторового набору даних перш за все треба вибрати (селектувати) певні просторові об'єкти, щоб тимчасово обмежити область дослідження, використовуючи функції вибору даних (Retrieval functions). Такі виділення можуть бути зроблені на просторовій основі або на основі атрибутивних даних, пов'язаних з просторовими об'єктами. Способом вибору даних є запити просторового вибору (Spatial selection queries). Запити просторового вибору можна комбінувати або виконувати в деякій послідовності для одержання кінцевого результату.

5.3.1 Інтерактивний просторовий вибір даних

Інтерактивний просторовий вибір даних (Interactive spatial selection) виконують шляхом вказівки на об'єкті або викреслювання просторових об'єктів на дисплеї. Після цього вибрані просторові об'єкти відображаються на карті. Інтерактивно певні об'єкти називаються селектовуваними або вибраними об'єктами. Потім ГІС вибирає просторові об'єкти в активних шарах даних, які накладаються на вибрані об'єкти.

Просторові дані зв'язані з атрибутивними даними. Вибір просторових об'єктів за допомогою цих зв'язків приводить до вибору записів у таблицях. І навпаки, вибір записів у таблицях приводить до вибору просторових об'єктів.

5.3.2 Просторовий вибір за атрибутивними умовами

Просторові об'єкти можуть бути вибрані шляхом формування умов вибору на основі атрибутів просторових об'єктів (Spatial selection by attribute conditions). Ці умови формулюються у формі запитів на мові структурованих запитів (Structured Query Language - SQL), якщо дані знаходяться в реляційній базі даних, або на специфічній мові програмного забезпечення, якщо дані знаходяться в ГІС безпосередньо. Вирази запитів можуть бути простими й комбінованими.

Для однієї умови типу "де є просторові об'єкти з...?" створюється простий вираз, який містить послідовно назву атрибуту, оператор обчислення арифметичний (+, − *, /) або порівняння (=, < >, >= <, <=, Like), значення атрибуту. Наприклад, умова "де є земельні ділянки з площею меншою 0,05 гектарів?" трансформується у вираз запити:

"площа" < 0,05

Коли для вибору використовується більш за один критерій, створюється складений вираз, який містить назви атрибутів, операторів обчислень, значення атрибутів і логічних операторів (And, Or, Not). Наприклад, запит "де є земельні ділянки з площею менше 0,05 гектарів і тип використання землі житлова забудова?" містить два виразу з логічним оператором:

"площа" < 0,05 And "тип" = 'житлова забудова'

5.3.3 Просторовий вибір на підставі топологічних відношень

Просторовий вибір на підставі топологічних відношень (Spatial selection using topological relationships) може виконуватися одним оператором. Вибір просторових об'єктів залежить від їх місця розташування відносно інших просторових об'єктів. Найбільш загальними є наступні типи запитів:

- Вибір просторових об'єктів, які знаходяться всередині об'єктів (Selecting features that are inside selection objects). Цей тип запити використовує відношення включення (containment) між просторовими об'єктами. Вочевидь, що полігони можуть включати полігони, лінії і точки, а лінії можуть включати лінії і точки; інші включення неможливі.
- Вибір просторових об'єктів, які пересікаються (Selecting features that intersect). Необхідний для вибору оператор виділятиме просторовий об'єкт, який спільно використовує загальну геометричну частину об'єкта-джерела.
- Вибір просторових об'єктів, суміжних з вибраними об'єктами (Selecting features adjacent to selection objects). Суміжність є відношення зустрічі, яке виражає те, що просторові об'єкти спільно використовують межі. Вона застосовується тільки для лінійних або полігональних об'єктів.
- Вибір просторових об'єктів за їх видаленням (Selecting features based on their distance). Як засіб вибору просторових об'єктів цей тип запити використовує функцію відстані. Такий вибір може бути пошуком усередині певної відстані ось заданих об'єктів, або на

заданій відстані, або більше заданої відстані.

Ці запити мають різновиди операторів в списку в діалоговому окні "Вибір місцем розташування" (Select By Location).

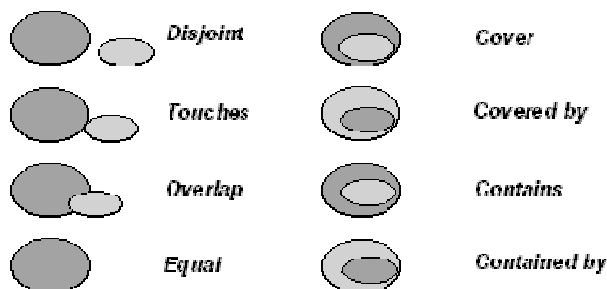


Рис.5.3.1 – Просторові відношення об'єктів

На рис.5.3.1 подані просторові відношення об'єкта В (світлого кольору) до об'єкта А (темного кольору):

- В "роз'єднаний з" А (Disjoint);
- В "торкається" А (Touches);
- В "накладається на" А (Overlap);
- В "рівний" А (Equal);
- В "покриває" А (Cover);
- В "покритий" А (Covered by);
- В "містить" А (Contains);
- В "міститься в" А (Contains by).

5.3.4 Контрольні питання і завдання для самостійної роботи

- 1) Як виконують просторовий вибір за атрибутивними умовами?
- 2) За якими топологічними відношеннями формуються запити просторового вибору?

Розділ 5.4

ФУНКЦІЇ КЛАСИФІКАЦІЇ

5.4.1 Мета класифікації за атрибутами

Ефективним інструментом просторового аналізу в ГІС є функції *автоматизованої класифікації об'єктів* по значеннях їх атрибутів (Classification functions). Функції класифікації за атрибутами – це техніка цілеспрямованого вилучення деталей із множини початкових даних з метою виявлення закономірностей у просторовому розподілі об'єктів і їх візуалізації.

Класифікації за атрибутами можуть бути:

- простими, створеними на основі одного критерію (тип ландшафту);
- складними, створеними на основі багатьох критеріїв одного покриття (висота, кількість опадів, екологічні показники і тому подібне);
- комбінованими, створеними на основі багатьох параметрів різних покриттів.

Набор початкових даних може бути результатом деякої класифікації; в такому разі говорять про повторну класифікацію (Reclassification). У процесі класифікації вхідна множина значень атрибутів може бути затільки нешкодженною.

У класифікації векторних даних можуть бути два можливі результати.

- 1) Вхідні об'єкти можуть стати вихідними об'єктами в новому шарі даних з додатково призначеною категорією. Іншими словами, просторова протяжність оригінальних просторових об'єктів не змінилася.
- 2) Вихідні об'єкти отримані в результаті об'єднання сусідніх просторових об'єктів з близькими значеннями атрибутів. Така функція називається просторовим злиттям, агрегацією або розчиненням.

5.4.2 Методи автоматизованої класифікації за атрибутами

При автоматизованій класифікації (Automatic classification) за атрибутами користувач визначає атрибут класифікації, метод класифікації і число класів.

Вибір методу класифікації спирається на оцінку розподілу даних за допомогою гістограми. На горизонтальну вісь гістограм виносять значення, а на вертикальну – частоту їх появи в межах даної вибірки. Для автоматизованої класифікації за атрибутами ArcMap дає можливість використовувати один з шести стандартних методів класифікації [57].

Рівний інтервал

Метод рівних інтервалів (Equal interval) заснований на наступному принципі класифікації: кожен клас має рівний діапазон значень. Різниця між максимальним і мінімальним значенням однакова для кожного класу. Програма віднімає мінімальне значення в наборі даних з максимального значення. Отримане значення ділить на задане число класів. Потім отримує граничне значення для першого класу шляхом збільшення результату ділення до самого меншого значення вибірки. Так само устанавлюються інтервали для останньої частини класів. Рівні інтервали простіші для розуміння, оскільки діапазон для кожного класу однаковий.

Заданий інтервал

Метод заданих інтервалів (Defined interval) дозволяє користувачеві визначити інтервал, на який буде розділений весь діапазон значень атрибуту. На відміну від схеми рівних інтервалів, де користувач визначає кількість інтервалів, тут необхідно вказати значення інтервалів. ГІС автоматично визначає кількість класів на підставі цього інтервалу.

Квантиль

Метод квантиль (Quantile) створює рівне число об'єктів у кожному класі. ГІС упорядковує об'єкти за принципом зміни їх атрибуту в інтервалі від максимального до мінімального значення і підсумовує їх кількість. Потім ділить загальну кількість об'єктів на число класів, які задав користувач. Після цього привласнює першим по порядку об'єктам значення найнижчого класу, поки цей клас не буде заповнений, потім переміщується до наступного класу, заповнює його і так далі.

Природне розбиття

Метод природного розбиття (Natural breaks) заснований на наступному принципі класифікації: кордони класів визначаються там,

де є різкий перепад між групами що значиться. По Jenks ГІС автоматично визначає максимальне і мінімальне значення для кожного класу, використовуючи математичну процедуру, яка аналізує різкі зміни в даних. Дана процедура вибирає інтервали, які краще всього групує близькі значення і максимізує відмінності між класами.

Геометричний інтервал

Метод геометричного інтервалу (Geometrical interval) ґрунтується на інтервалах класів, що мають геометричну серію. Геометрична серія - це послідовність що значиться, де кожне подальше значення виходить множенням попереднього значення на геометричний коефіцієнт. Алгоритм створює ці геометричні інтервали, мінімізуючи суму квадратів елементів на клас. Це гарантує, що діапазон кожного класу має приблизно одну кількість, що значиться в кожному класі, і що зміни між інтервалами досить послідовні.

Стандартне відхилення

Метод стандартного відхилення (Standard deviation) заснований на наступному принципі класифікації: кожен клас визначений величиною відхилення від середнього за виборкою. ГІС спочатку знаходить середнє за виборкою, розділивши суму всіх значень на загальне число об'єктів. Після цього обчислюється середньоквадратичне відхилення шляхом віднімання середнього з кожного значення і зведення різниці в квадрат. Отримані значення підсумовуються і діляться на число об'єктів. З одержаного виразу вилучують корінь. Формула середньоквадратичного відхилення кожного значення від середнього за виборкою має вигляд

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n}}, \quad (5.4.1)$$

де S – середньоквадратичне відхилення, x – значення об'єкта, $\bar{X}$ – середнє по вибірці, n – число об'єктів.

5.4.3 Контрольні питання і завдання для самостійної роботи

- 1) Яку мету має класифікація за атрибутами?
- 2) Наведіть загальну характеристику методів автоматизованої класифікації за атрибутами.

Розділ 5.5

ОВЕРЛЕЙНІ ФУНКЦІЇ

5.5.1 Визначення і загальна характеристика оверлейних функцій

Оверлей (Overlay) – це спільна обробка накладення двох або більшої кількості вихідних шарів однієї географічної області, в результаті якої створюється похідний шар з новими географічними даними як комбінація топологічних сегментів вихідних географічних даних. Оверлей – це потужний засіб аналізу множини різноименних і різнотипних просторових об'єктів.

Існує два основних шляхи виконання оверлейних операцій – на векторних моделях і на растрових моделях географічних об'єктів. Геоінформаційні системи надають можливість використовувати також комбінований шлях. Вибір методу залежить перш за все від цілей аналізу, від того, які дані вже існують, від необхідної точності аналізу, від складності операцій. Оверлейні операції можуть приводити до результатів, що відрізняються. Кожний шлях оверлейного аналізу має свою специфіку.

У системі, заснованій на *векторних моделях*, топологічні оверлейні операції є складнішими, ніж в системі, заснованій на растрових моделі. Оскільки просторові дані зберігаються як точки, лінії і полігони, вони вимагають відносно складних геометричних операцій, щоб вивести пересічення полігонів і створити нові вузли й дуги із об'єднаними значеннями атрибутів.

Елементами оверлейних операцій є вхідний шар, оверлейний шар, вихідний шар. Накладення просторових об'єктів вхідних шарів дозволяє розділяти їх на топологічні сегменти і комбінувати з цих сегментів нові об'єкти залежно від мети аналізу (рис. 5.5.1).

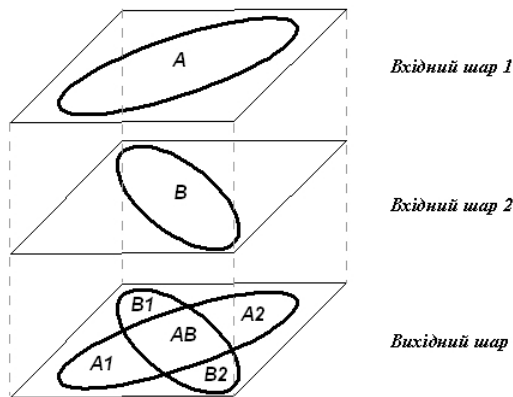


Рис. 5.5.1 - Концептуальне представлення топологічного накладення векторних шарів

Нові полігони створюються на пересіченні полігонів вхідного і оверлейного шарів. Накладення лінійного об'єкта на полігональний об'єкт розділяє його на два нові полігональні об'єкти. Нові об'єкти зберігаються у вихідному шарі; вхідний шар не змінюється. Атрибути просторових об'єктів в оверлейному шарі привласнюються відповідним новим просторовим об'єктам разом з атрибутами об'єктів вхідного шару.

У багатьох випадках потрібні маніпуляції з більш ніж двома шарами векторних даних для досягнення цілей аналізу. У таких випадках оверлейні операції виконують ступінчастим способом: два вхідних шару обробляються, щоб формувати похідний шар; цей проміжний шар потім обробляють з третім шаром, щоб формувати наступний проміжний шар, і т. д. до досягнення бажаного результуючого шару карти.

У системі, заснованій на *растрових моделях*, топологічні оверлейні операції є простішими, ніж в системі, заснованій на векторних моделях. Кожна чарунка растрового шару зв'язана з одним відповідним географічним місцем розташування. Це робить її зручною для комбінування характеристики багатьох шарів в одному шарі. Звичайно кожній характеристиці привласнюють багато значень, дозволяючи користувачеві математично комбінувати шари і призначати нові значення кожній чарунці у вихідному шарі.

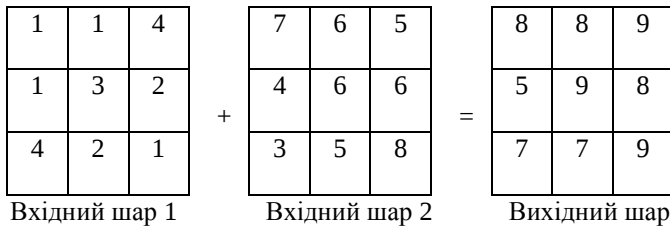


Рис. 5.5.2 – Ілюстрація підсумовування даних при накладенні растрових шарів.

5.5.2 Булева алгебра в топологічному накладенні

Для реалізації топологічного накладення в ГІС використовується алгебра логіки. Це розділ математичної логіки, що вивчає логічні операції над висловами. Її основоположником був англійський математик Джордж Буль (G.Boole). У алгебрі логіки істиннісні значення висловів прийнято позначати числами 1 (істина – true) і 0 (хибність – false). Кожній логічній операції відповідає функція, що набуває значень 1, 0. Такі функції називаються функціями алгебри логіки або булевими функціями.

Щоб визначити, чи є певний стан достеменним або помилковим, в просторовому аналізі використовуються логічні оператори булевої алгебри, які позначаються AND (І), OR (АБО), NOT (НЕ) в текстовому форматі, і відповідно $\cap$, $\cup$, $\neg$ у символічному форматі.

Два вхідних шару топологічного накладення можна розглядати як два набори даних – набір А і набір В. Для них визначають наступні базові логічні операції:

- логічна операція кон'юнкція $A \cap B$ – визначає пересічення двох наборів даних, що ідентифікує ті сутності, які належать і набору А і набору В (істинно А і В);
- логічна операція диз'юнкція $A \cup B$ – визначає об'єднання двох наборів даних, що ідентифікує ті сутності, які належать набору А або набору В (істинно А або В);
- логічна операція заперечення $A \neg B$ – визначає різницю двох наборів даних, що ідентифікує ті об'єкти які належать А, але не В (істинно не В).

Ці співвідношення можна візуалізувати за допомогою діаграм Венна.

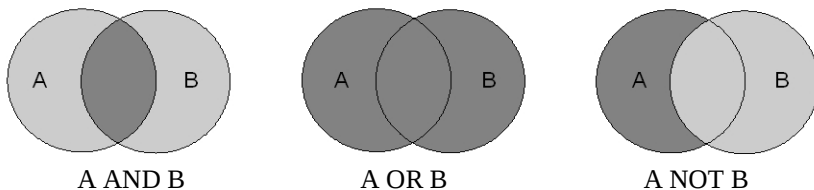


Рис. 5.5.3 – Діаграми Венна

Використовуючи базові логічні операції можна описати складні логічні функції.

Булеву алгебру застосовують в обчисленні або моделюванні нових об'єктів в топологічній оверлейній обробці для систем, заснованих як на векторних, так і на растрових моделях. Ці операції можуть застосовуватися до всіх типів даних – булевих, відносних, інтервальних, порядкових або номінальних.

5.5.3 Векторні оверлейні оператори

5.5.3.1 Класифікація векторних оверлейних операцій

Топологічні векторні оверлейні операції можна класифікувати за двома підставами [58]:

- 1) за типами елементів, що містяться в шарах для накладення (або за шарами, що містять точкові, лінійні або полігональні елементи)
- 2) за типом операції (наприклад, генерування вихідного шару операціями з'єднання, пересічення або іншими булевими операціями).

Класифікація векторних оверлейних операцій за типами елементів кожного шару.

Векторні оверлейні операції включають накладення точкових, лінійних або полігональних просторових об'єктів одного шару на полігональні просторові об'єкти другого шару.

Табл. 5.5.1 ідентифікує оверлейні опції для кожної можливої комбінації типів елементів, що містяться у двох вхідних шарах.

Таблиця 5.5.1 – Класифікація векторних оверлейних операцій за типами елементів

Тип елементів	Точка	Лінії	Полігони
Точка	Накладення точок (Point-on-Point)	Точка на лінії (Point-in-Line)	Точка в полігоні (Point-in-Polygon)
Лінії	Точка на лінії (Point-in-Line)	Накладення ліній (Line-on-Line)	Лінія в полігоні (Line-in-Polygon)
Полігони	Точка в полігоні (Point-in-Polygon)	Лінія в полігоні (Line-in-Polygon)	Накладення полігонів (Polygon-on-Polygon)

Класифікація векторних оверлейних операцій за типом операції

Тип оверлейної операції визначається комбінацією використання логічних операторів. При цьому кожна комбінація вироблятиме різний вихідний шар. Різні програмні продукти ГІС можуть мати свої назви операцій. Наприклад, ArcGIS 9.x має інструменти оверлейних операцій, наведені в табл. 5.5.2.

Таблиця 5.5.2 - Інструменти оверлейних операцій в ArcGIS 9.x

Інструмент	Опис
Erase (Стирання)	Цей інструмент створює клас просторових об'єктів з тих просторових об'єктів або частин просторових об'єктів, які знаходяться поза стираючим класом просторових об'єктів
Identity (Ідентичність)	Цей інструмент комбінує частини просторових об'єктів, які накладаються ідентичними просторовими об'єктами для створення нового класу просторових об'єктів

Продовження таблиці 5.5.2.

Intersect (Пересічення)	Цей інструмент створює новий клас просторових об'єктів з пересічних просторових об'єктів, загальних в обох класах просторових об'єктів
Spatial Join (Просторове з'єднання)	Створює тип з'єднання таблиць, в якому поля з таблиці атрибутів одного шару приєднані до таблиці атрибутів другого шару на підставі відносного місця розташування просторових об'єктів у двох шарах
Symmetrical Difference (Симетрична різниця)	Цей інструмент створює клас просторових об'єктів з тих вхідних і оверлейних просторових об'єктів або частин просторових об'єктів, що не накладають
Union (Об'єднання)	Цей інструмент створює новий клас просторових об'єктів, комбінуючи просторові об'єкти і атрибути кожного класу просторових об'єктів
Update (Оновлення)	Цей інструмент оновлює атрибути й геометрію вхідного класу просторових об'єктів або шару оновлюючим класом просторових об'єктів або шаром, яким вони накладаються

5.5.3.2 Алгоритми векторних оверлейних операцій

З можливих комбінацій накладання точкових, лінійних або полігональних просторових об'єктів одного шару на полігональні просторові об'єкти другого шару основними є три наступні алгоритми обробки:

- "Точка в полігоні" (Point-in-Polygon)
- "Лінія в полігоні" (Line-in-Polygon)
- "Полігон на полігоні" (Polygon-on-Polygon), іншими словами "Оверлей полігонів" (Polygon Overlay).

Алгоритм операції "Точка в полігоні"

Операція "Точка в полігоні" (Point-in-Polygon) ідентифікує полігон, в який падає кожна точка. Результатом накладення "Точка в полігоні" є множина точок з додатковими атрибутами полігону, в межах якого знаходяться точки.

Алгоритм операції "Точка в полігоні" наступний:

- 1) Спочатку використовується екстент полігону (мінімальний обмежувальний прямокутник). Якщо точка лежить зовні екстента полігону, тоді вона також повинна знаходитися поза полігоном. У такому разі аналіз закінчений (приклад на рис. 5.5.4 а). Але якщо точка падає всередину екстента, потрібне продовження обробки.
- 2) У одному напрямі від вибраної точки викреслюється лінія паралельно осі або X або Y, яка є направленим променем, званим інколи "половиною лінії".
- 3) Потім розраховують число пересічень цієї "половини лінії" з межею полігону. Якщо результат – парне число, то це вказує на те, що точка знаходиться поза полігоном. Якщо результат – непарне число, то це вказує на те, що точка падає всередину полігону.

Описаний алгоритм аналізу "Точка в полігоні" працює також і для окремих випадків: а) острівних полігонів, б) полігонів з дірами, в) увігнутих полігонів. Приклади цих окремих випадків показані на рис.5.5.4.

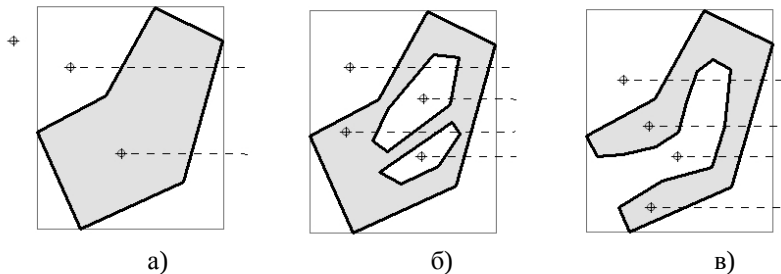


Рис. 5.5.4 – Накладення "Точка в полігоні"

Проблеми виникають, якщо а) точка знаходиться точно на кордоні, б) точка знаходиться на вузлі або вершині, в) сегмент лінії колінеарний "половині лінії". У цих випадках, індивідуальні пакети ГІС використовують їх власні правила рішення.

Приклад використання аналізу "Точка в полігоні": визначення числа правопорушень, зафіксованих в точковому шарі, по міліційних ділянках.

Алгоритм операції "Лінія в полігоні"

Полігональні просторові об'єкти одного вхідного шару можуть бути накладені на лінії (дуги) другого вхідного шару. Лінія може складатися з багатьох сегментів. Аналіз "Лінія в полігоні" ідентифікує полігон, який містить кожну лінію або сегменти лінії. Результатом накладення "Лінія в полігоні" є новий шар, що містить лінії з додатковими атрибутами полігонів, в які падають лінії.

Оскільки лінії і полігони складені з сегментів, аналіз "Лінія в полігоні" вимагає визначення: перетинається чи будь-який з цих сегментів з лінією, що накладається. Завдання визначення, перетинаються чи два сегменти лінії, вирішується за раніше наведеними математичними залежностями в розділі 5.2.

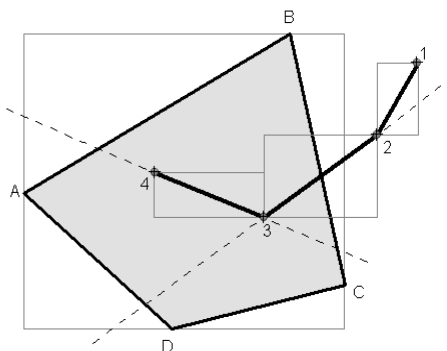


Рис.5.5.5 – Накладення "Лінія в полігоні"

Геоінформаційні системи використовують наступний алгоритм.

- 1) Щоб зменшити число необхідних обчислень використовуються екстенти елементів. Якщо екстент лінії повністю знаходиться зовні екстента полігону, лінія ясно знаходиться поза межами полігону, і на цьому аналіз закінчується. Інакше потрібне продовження обробки (наприклад, рис. 5.5.5).
- 2) Оскільки лінія може бути складена з багатьох лінійних сегментів, кожен сегмент лінії має бути випробуваний на пересічення або вкладення в межах полігону.

- 3) Полігони можуть мати угнутості або дірки всередині них, тому не достатньо визначити, чи лежать обидва кінця сегменту лінії в межах полігону. Щоб вирішити це завдання, і полігон, і сегмент лінії повертають так, щоб сегмент лінії став паралельним до однієї осі.
- 4) Щоб визначити, чи знаходиться кожен кінець сегменту усередині або поза полігоном, від кожного кінця сегмента викреслюють лінію паралельно осі або X або Y, яка є направленим променем. Потім використовують критерій "Половини лінії" (описаний в аналізі "Точка в полігоні") відносно кількості точок пересічення променя з межею полігону. Слід зауважити, що точки пересічення "Половини лінії" не обов'язково можуть бути точкою пересічення сегмента.
- 5) Якщо результат тестування за допомогою "Половини лінії" показує, що обидві точки сегмента знаходяться всередині полігону і немає пересічень сегмента, то вся лінія знаходиться всередині полігону. Інакше якщо початкова точка сегмента розташована поза полігоном і перша частина сегмента лінії знаходиться поза полігоном до першої точки пересічення сегмента, друга частина сегмента лінії розташована всередині полігону до наступної точки пересічення сегменту, і так далі.
- 6) Ця процедура застосовується для кожного з сегментів лінії, що формують лінію, яка аналізується.
Приклад використання аналізу "Лінія в полігоні": визначення локалізації трубопроводів у межах кварталів міста.

Алгоритм операції "Полігон на полігоні"

Процес "Полігон на полігоні" спільно обробляє полігони, що накладаються, від двох вхідних шарів, щоб створити нові полігони у вихідному шарі. Результатом аналізу "Полігон на полігоні" є вихідний шар, що містить нові полігони з атрибутами від кожного з двох оверлейних полігонів.

Оскільки кордони полігонів утворені з сегментів ліній, аналіз "Полігон на полігоні" вимагає визначення того, чи перетинаються ці сегменти оверлейних ліній. Обробка для аналізу "Полігон на полігоні" є, по суті, теж сама, що й аналіз "Лінія в полігоні".

5.5.3.3 Базові оверлейні операцій векторних моделей

Векторна оверлейна обробка використовує заздалегідь згадані булеві логічні операції AND, OR, і NOT, щоб визначити *пересічення* (Intersection) або *об'єднання* (Union) двох шарів, і *доповнення* (Complement) одного шару в систему.

Векторна оверлейна обробка використовує також булеві відношення *включення* (Inclusion (позначення $\subset$)) і *виключення* (Exclusion (позначення $\not\subset$)), щоб визначити, яка частину шару або міститься або не міститься в межах другого шару в системі.

Наприклад, розглянемо два шари A, B у ГІС:

- Операція “ $A \subset B$ ” визначає частину шару A, яка міститься в шарі B.
- Операція “ $A \not\subset B$ ” визначає частину шару A, яка не міститься в шарі B.

Існують багаточисельні векторні оверлейні операції, проте всі вони є похідними від чотирьох базових операцій: Union, Intersection, Inclusion, Exclusion [58].

Об'єднання

Об'єднання (Union) аналогічне булеву логічному операторові OR (АБО), де всі елементи від обох вхідних шарів присутні у вихідному шарі. Цей інструмент будує новий клас просторових об'єктів комбінуванням просторових об'єктів і атрибутів кожного класу просторових об'єктів. Об'єкти вхідного шару розбиваються об'єктами оверлейного шару, що пересікають їх. Атрибути об'єктів вхідного шару містять атрибути об'єктів вхідного і оверлейного шару.

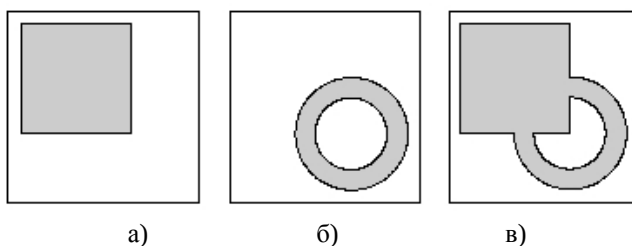


Рис. 5.5.6 – Об'єднання полігональних об'єктів двох шарів:
а) вхідний шар 1, б) оверлейний шар 2, в) вихідний шар 3

Операція об'єднання двох шарів може бути подана у формі булевої алгебри

$$\text{Шар } 1 \cup \text{Шар } 2 = \text{Шар } 3. \quad (5.5.1)$$

Пересічення

Пересічення (Intersection) аналогічне булеву логічному оператору AND (І), обчислює геометричне пересічення вхідних і оверлейних об'єктів. Об'єкти або частини об'єктів, загальні для всіх шарів і класів об'єктів, будуть записані в результуючий клас. Об'єкти вхідної карти, які не покриті об'єктами оверлейної карти, ігноруються. Атрибути полігонів вихідної карти містять атрибути полігонів вхідної і оверлейної карти.

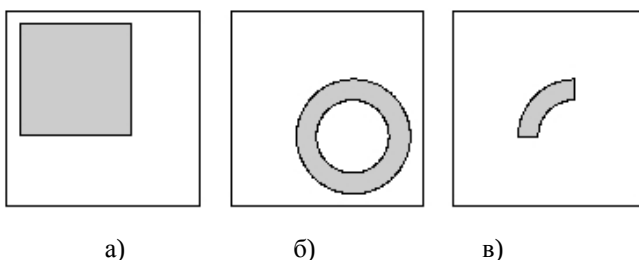


Рис.5.5.7 – Пересічення полігональних об'єктів двох шарів:
а) вхідний шар 1, б) оверлейний шар 2, в) вихідний шар 3

Операція пересічення двох шарів двох полігональних шарів може бути подана у формі булевої алгебри

$$\text{Шар } 1 \cap \text{Шар } 2 = \text{Шар } 3. \quad (5.5.2)$$

Включення

Операція *включення* (Inclusion) визначає частину оверлейного шару, який міститься у вхідному шарі. Вихідний шар міститиме всі елементи першого вхідного шару, а також всі елементи другого вхідного шару, що існують в географічному просторі першого вхідного шару. Включення використовує вхідний шар як шаблон, в якому об'єкти оверлейного шару відсікаються по ребрах і об'єднуються

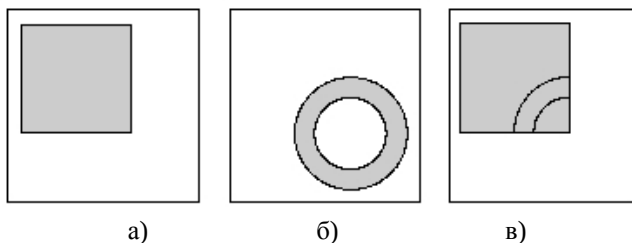


Рис. 5.5.8 – Включення полігональних об'єктів двох шарів
а) вхідний шар 1, б) оверлейний шар 2, в) вихідний шар 3

Операція включення двох шарів двох полігональних шарів може бути подана у формі булевої алгебри

$$(\text{Шар } 2 \subset \text{Шар } 1) \cup \text{Шар } 1 = \text{Шар } 3. \quad (5.5.3)$$

Виключення

Операція виключення (Exclusion) “ $A \not\subset B$ ” визначає частину вхідного шару, яка не міститься в оверлейному шарі. Вихідний шар міститиме тільки ті елементи першого вхідного шару, які не є географічним простором другого вхідного шару. Виключення використовує оверлейний шар як шаблон, яким об'єкти вхідного шару відсікаються по його ребрах.

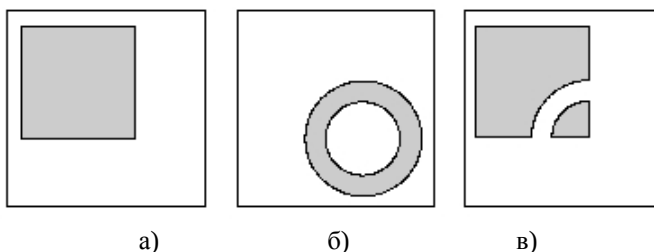


Рис. 5.5.9 – Виключення полігональних об'єктів двох шарів:
а) вхідний шар 1, б) оверлейний шар 2, в) вихідний шар 3

Операція виключення двох полігональних шарів може бути подана у формі булевої алгебри

$$\text{Шар } 1 \not\subset \text{Шар } 2 = \text{Шар } 3. \quad (5.5.4)$$

5.5.4 Растрові оверлейні оператори

Векторні оверлейні оператори приводять до більшої точності результату, але вони геометрично складні, що інколи може бути наслідком відносно повільної роботи оператора. Оверлейні програми з растрами (Raster overlay operators) не мають цього недоліку, оскільки більшість їх виконують обчислення "чарунка на чарунці", тому вони є швидкими. Керівним принципом є порівняння або комбінування характеристик місцезорозташування, отримуваних з двох шарів.

Обробку растрів виконують за допомогою мови представлення операцій на растрах. Така мова використовується в калькуляторі растрів (Raster Calculator). Він дозволяє обчислити нові растри на підставі тих, що існують, використовуючи ряд функцій і операторів. На жаль, числення растру проходять прихованими під різними назвами і не всі пропонують ту ж функціональність. Числення растрів спирається на алгебру карти. При виробництві нового растру потрібно забезпечити ім'я для нього і визначити вираження обчислення. Це робиться в призначенні оператора наступного формату:

Output_raster_name := Raster_calculus_expression (5.5.5)

(Ім'я вихідного растру : = Вираження обчислення растру)

Вираження справа оцінюється програмою і растр, в якому потім зберігаються результати, називається ім'ям з лівого боку.

Вираження може містити посилання на існуючі растри, операторів і функцій. Імена растру і константи, які використовуються у виразі, називаються його операндами. Коли вираз створений, програма обчислюватиме накладення "чарунка на чарунці", починаючи від першої чарунки в першому ряду, і продовжуючи до останньої чарунки в останньому ряду.

Програми ГІС мають широкий діапазон операторів і функцій, які можуть використовуватися в обчисленні растрів.

Арифметичні оператори

Вираз обчислення растру може включати арифметичних операторів (Arithmetic operators) +, −, *, /. Наприклад, обчислення растру на рис. 5.5.10 виконується на підставі наступного виразу:

$$B: = A + C.$$

1	1	4
---	---	---

7	6	5
---	---	---

8	8	9
---	---	---

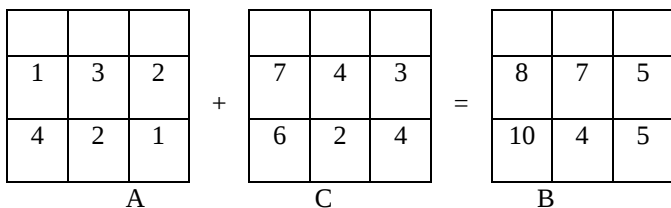


Рис. 5.5.10 Ілюстрація суми двох растрів

Вираз обчислення растру може також включати тригонометричні оператори $\sin$, $\cos$, $\tan$, asin , acos , atan .

Вираз обчислення растру може включати декілька арифметичних операторів.

Оператори порівняння і логічні

Калькулятор растрів може використовувати операторів порівняння (Comparison operators) $<$, $<=$, $=$, $>=$, $>$, $<>$ і логічні оператори (Logical operators) AND, OR, NOT, XOR. Вираз $A \text{ XOR } B$ правильний, якщо правильне або A або B , але не обоє. Приклад використання оператора порівняння:

$$C := A <> B.$$

Оператори порівняння і логічні обчислюють растри на істиннісних значеннях "істині" (true) і "хибність" (false).

Умовні вирази

Умовні вирази (Conditional expressions) в калькуляторі растрів дозволяють визначити, де виконується умова. Загальний формат виразу

Output raster := IFF(condition, then expression, else expression) (5.5.6)

(Вихідний растр := Умовна функція (умова; вираз, де умова виконується; вираз, де умова не виконується)).

Наприклад:

$$\text{IFF}(4 = 5, \text{"land"}, \text{"lake"})$$

Комплексні вирази

Обробка растрів може виконуватися комплексними виразами, що включають арифметичних операторів, оператори порівняння і логічні, на підставі їх табличних даних (Overlays using a decision table).

5.5.5 Контрольні питання і завдання для самостійної роботи

- 1) Наведіть визначення і загальну характеристику оверлейних функцій
- 2) Які логічні операції булевої алгебри можуть бути для двох наборів даних?
- 3) Наведіть класифікації векторних оверлейних операцій.
- 4) Опишіть алгоритм операції "Точка в полігоні".
- 5) Опишіть алгоритм операції "Лінія в полігоні".
- 6) Наведіть загальну характеристику базових оверлейних операцій для векторних моделей.
- 7) Наведіть загальну характеристику базових оверлейних операцій для растрових моделей.

Розділ 5.6

ФУНКЦІЇ ОКОЛУ

5.6.1 Визначення околу

Під окомом (Neighborhood) географічного об'єкта розуміється простір, що оточує його. У багатьох випадках придатність деякого місця розташування для певної мети залежить не тільки від того, що знаходиться в ньому, але й від того, що є біля нього. Тому геоінформаційні системи повинні надати можливість оцінити простір, прилеглий до певного місця, виконати аналіз близькості (Proximity).

Функції околу (Neighborhood functions) визначають характеристики близькості в околі місця розташування.

Щоб виконати аналіз околу, необхідно:

- 1) встановить, яке цільове місце розташування представляє інтерес і яка його просторова протяжність;
- 2) вирішити, як визначити окіл для кожної цілі;
- 3) визначити, які характеристики повинні обчислюватися для кожного околу.

Наприклад

- метою може бути торговельний центр;
- його окіл може бути визначений як:
 - область в радіусі 2 км.,
 - область в межах 10 хв. їзди по дорозі,
 - сукупність житлових будинків, для яких торговельний центр найближчий;
- характеристикою можуть бути:
 - просторове видалення,
 - кількість людей, що проживають в околі торговельного центру,
 - кількість торговельних об'єктів в околі.

У природних середовищах виникають різні випадки розташувань, околу і особливостей сусідства.

Сучасні програмні продукти ГІС дозволяють виконати аналіз околу, як на векторних моделях, так і на растрових моделях.

5.6.2 Операції околу у векторних моделях

Для обчислення близькості використовують геометричну дистанцію щоб визначити окіл одного або більшої кількості географічних об'єктів. Найбільш загальним і корисним методом є генерування буферних зони (Buffer Zone Generation). Другим методом, що базується на геометричній дистанції, є генерування полігонів Тіссена (Thiessen Polygon Generation).

5.6.2.1 Генерування буферних зон

Визначення і призначення буферів

Буфер (Buffer) – це зона точно встановленої ширини околу точкового, лінійного або полігонального просторового об'єкта. У результаті генерування буфера створюється новий полігональний об'єкт – буферна зона. Завдання побудови буферних зон вимагає визначення геометричного місця точок площини, видалених від множини об'єктів не більше ніж на задану відстань.

Просторовий буфер може бути згенерований для аналізу близькості. Його використовують для того, щоб визначити області і об'єкти, які знаходяться або всередині, або поза певною буферною зоною.

Буферизація точкових просторових об'єктів

Буферизація точкових просторових об'єктів – найпростіша форма буферизації, оскільки процес включає створення круглого полігону відносно кожної точки, радіус якого дорівнює ширині буфера b .

Є два методи визначення ширини буфера. Перший використовує фіксовану ширину буфера для всіх точок шару, другий - кожній точці призначається індивідуальна ширина буфера, заснована на атрибутах цього шару, що зберігаються в таблиці (тобто зважена ширина).

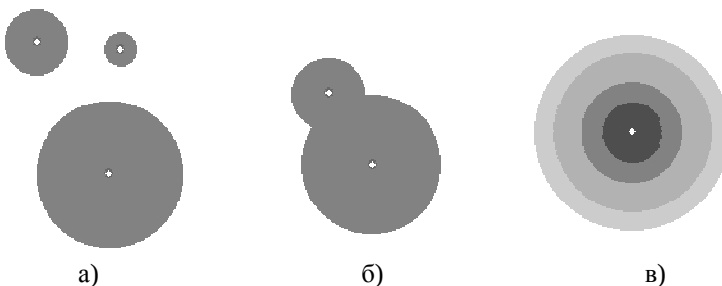


Рис. 5.6.1 - Буферизація точкових просторових об'єктів: а) буферні зони індивідуальної ширини, б) злиті буферні зони, в) концентричні буферні зони

Якщо є множина точок в шарі, об'єктів буферизації, то система повинна перевірити перекриття буфера кожної точки. Будь-які частини, що накладаються, мають бути видалені. Тому результатом операції є полігони, що представляють області, покриті всіма буферами, що накладаються. Цей процес включає дві додаткові операції: пересічення буферів і розчинення загальних меж буферів.

Буферизація лінійних просторових об'єктів

Алгоритм для буферизації лінійних просторових об'єктів складніший, ніж для буферизації точкових об'єктів, оскільки лінії можуть бути складені з множинних сегментів. Процес для буферизації лінійного просторового об'єкта наступний:

- 1) Кожному сегменту полілінії призначають відповідну ширину буфера (який може бути фіксованим для всіх ліній або зваженим). Ширину буфера називають буферною відстанню b .
- 2) Кожен сегмент полілінії має початкову вершину (X_1, Y_1) і кінцеву вершину (X_2, Y_2). Використовуючи ці координати, обчислюють різниці координат Δx і Δy між цими двома кінцевими точками.
- 3) Визначають координати кінцевих точок для паралельних буферних ліній кожного сегмента лінії з обох боків сегмента на перпендикулярі довжиною b за формулами

$$x_1 = X_1 (b * \cos [\arctg ((y / (x))]) \quad (5.6.1)$$

$$y_1 = Y_1 (b * \sin [\arctg ((y / (x))]) \quad (5.6.2)$$

і

$$x_2 = X_2 (b * \cos [\arctg ((y / (x))]) \quad (5.6.3)$$

$$y_2 = Y_2 (b * \sin [\arctg ((y / (x))]) \quad (5.6.4)$$

- 4) За отриманими координатами визначають рівняння граничних ліній буфера.
- 5) Розраховують пересічення граничних ліній буфера для суміжних сегментів і призначають координати точки пересічення.
- 6) У кожній вершині лінії граничні прямі лінії буфера спрягаються круговими кривими; у початковій і кінцевій точці полілінії граничні прямі лінії спрягаються півколом.
- 7) Окремі частини буфера полілінії зливаються в один буферний полігон.

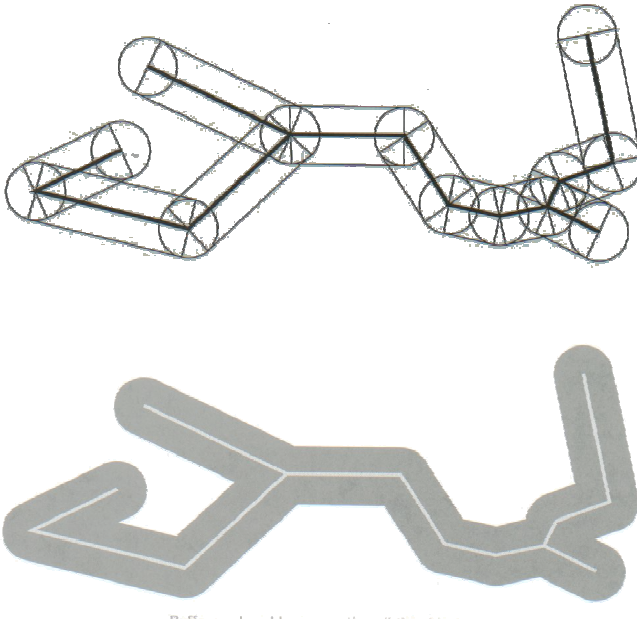


Рис. 5.6.2 – Буферизація лінійних просторових об'єктів [56]

Різні пакети програмного забезпечення ГІС можуть визначати кінці буфера різними методами:

- 1) Спряження початкової точки і кінцевої точки лінії з "напівкруговими" полігонами буфера радіусу b .
- 2) Просте відсікання паралельних буферних кінців.
- 3) Звуження паралельних буферних кінців, щоб зближувати кінцеві точки.

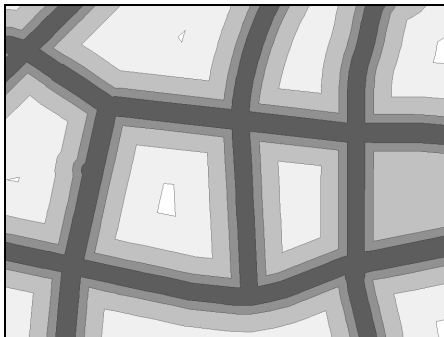


Рис. 5.6.3 – Зони вулично-дорожньої мережі

Якщо є множина ліній у вихідному шарі, то система повинна перевірити перекриття буферів для кожної лінії. Будь-які перетини, що накладаються, мають бути видалені так, щоб результатом операції були полігони, що представляють область, покриту всіма буферами. Цей процес включає дві додаткові операції: пересічення буферів і розчинення загальних кордонів буферів.

Процес буферизації наводить до нового шару в системі, що складається з полігональних даних, які представляють буферні зони. Таблиця результуючого полігону матиме ідентифікатори для кожного полігону, створеного в процесі буферизації, і додаткові атрибути: ширина буфера і вказівки, знаходиться чи полігон усередині буферної зони або поза буферною зоною.

Буферизація полігональних просторових об'єктів

Алгоритм буферизації полігональних просторових об'єктів використовує той самий процес, як алгоритм буферизації ліній, з однією невеликою відмінністю – буферний полігон створений тільки на одній стороні лінії, яка визначає полігон. За умовчанням метод полягає в тому, щоб створити буфер поза полігоном, який оточує кордон полігону. Деякі пакети програмного забезпечення ГІС надають також опції, щоб створити буфер, який знаходиться усередині межі полігону. На рис. 5.6.4 представлений приклад можливих результатів буферизації полігону.

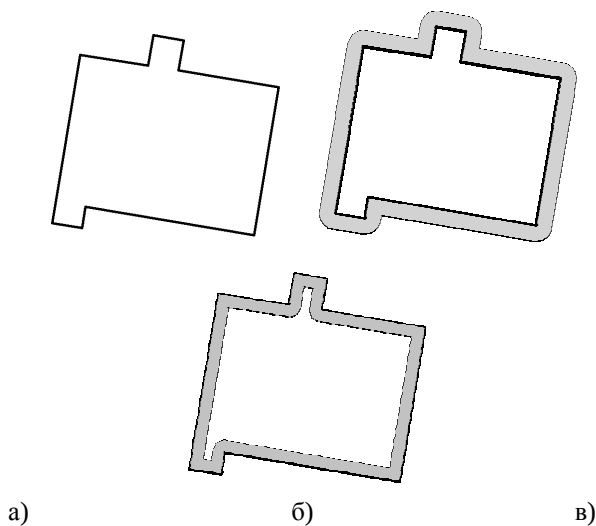


Рис.5.6.4 – Буферизація площадкових просторових об'єктів: а) вхідний полігон, б) зовнішній буфер, в) внутрішній буфер

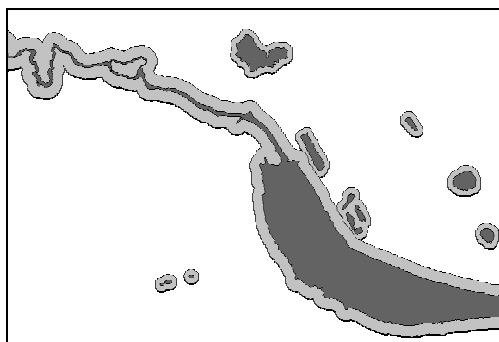


Рис. 5.6.5 – Прибережні захисні смуги водних об'єктів.

Після побудови буферів виконують операції вибору об'єктів, що знаходяться в буферних зоні, і аналізу їх атрибутів.

5.6.2.2 Генерування полігонів Тіссена

Інший метод використання геометричної відстані для визначення околу просторово розподілених точок полягає в генеруванні полігонів Тіссена (Thiessen Polygon Generation).

Полігони Тіссена (Thiessen (1912)) – Вороного (Voronoi (1909)) – Дріхле (Dirichlet (1850)) - це полігональні області, що утворюються на заданій множини точок таким чином, що відстань від будь-якої точки області до даної точки менша, ніж для будь-якої іншої точки множини. Завдання побудови зони близькості вимагає визначення всіх точок площини, для яких відстань до об'єктів множини є мінімальною.

Межами полігонів Тіссена є відрізки перпендикулярів, відновлених до середини сторін трикутників в триангуляції Делоне, яка побудована відносно тієї ж точкової множини. Полігонам привласнюються атрибути точкових об'єктів.

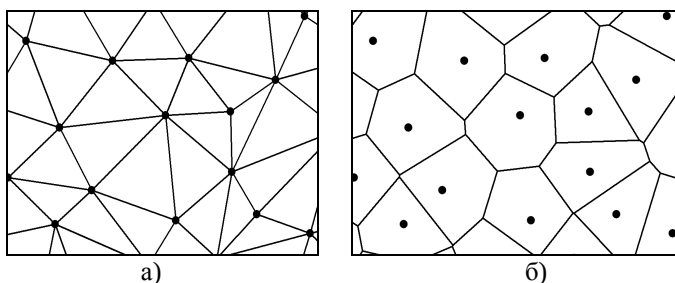


Рис. 5.6.6 – Генерування полігонів Тіссена:
а) триангуляція Делоне, б) полігони Тіссена.

Полігони Тіссена розділяють територію на області близькості до заданих точок, тому можуть розглядатися як околи цих точок.

5.6.3 Операції околу в растрових моделях

Операції околу в растрових моделях стають особливо важливим засобом, коли ситуація вимагає більшою мірою аналізу залежностей між локалізаціями, ніж інтерпретації характеристики в індивідуальних локалізаціях.

5.6.3.1 Функції фокальної статистики

Функції "Фокальні статистики" (Focal Statistics) обчислюють статистичні характеристики растрових даних у виділеному околу.

Сканована чарунка і сканований окіл

У методі сканування околу [58] операції околу на растрових моделях звичайно називаються "Фокальними функціями", оскільки кожна виконана операція генерує значення для "фокуса" околу. Фокус околу взагалі називають сканованою чарункою, а її довколишні сусідні чарунки називають сканованим оком. Сканований окіл може мати різні розміри і форми, які визначаються вибором відповідної опції в ГІС-пакеті. Найбільш загальні форми околу: квадрат, круг, кільце, клин (Рис. 5.6.7).

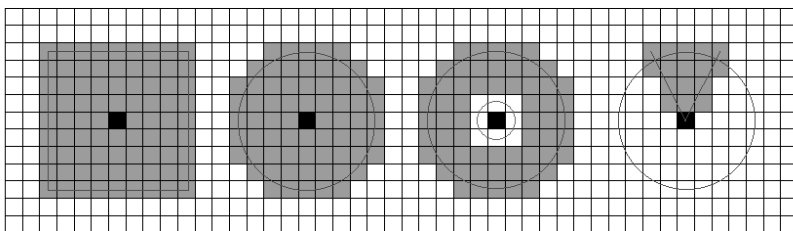


Рис.5.6.7 – Форми сканованого околу: квадрат, круг, кільце, клин.

У наведених прикладах на рис. 5.6.7 сканована чарунка темно-сірого кольору, а чарунки сканованого околу світло-сірого кольору. Сканований окіл для кожної з цих форми включає скановану чарунку, за винятком острівного околу.

Користувач ГІС може визначати будь-яку форму і розмір для околу залежно від завдання.

Процес сканування околу

Операції околу працюють, переміщуючись по растровій карті по одній чарунці. Як тільки чарунка відвідана, вона стає сканованою чарункою. Для цієї чарунки обчислюється нове значення як функція її сканованого околу. Всі обчислені значення потім поміщаються у відповідні чарунки вихідної карти.

Статистичний аналіз околу

Для аналізу можуть використовуватися різні статистичні характеристики, щоб характеризувати сканований окіл. Статистика, яка використовується в операціях околу, залежатиме від того, які типи даних вивчаються:

- дані відношень (Ratio)
- інтервальні дані (Interval)
- порядкові дані (Ordinal)
- номінальні дані (Nominal).

Модуль статистичного аналізу околу виконує дев'ять операцій.

- 1) *Сума (Sum)*. Ця операція складає значення сканованої чарунки і її сусідів (тобто, чарунок сканованого околу), і зберігає цю суму у вихідній темі. Даними вхідної карти можуть бути дані відношень або інтервальні дані.
- 2) *Середнє (Average)*. Ця статистична операція обчислює середню величину даних, що існують у сканованому околі. Даними вхідної карти можуть бути дані відношень або інтервальні дані.
- 3) *Максимум (Maximim)*. Ця операція привласнює значення чарунки у сканованому околу, яке має найбільше значення. Даними вхідної карти можуть бути дані відношень, або інтервальні дані, або порядкові дані.
- 4) *Мінімум (Minimim)*. Ця операція привласнює сканованій чарунці найнижче значення в сканованому околу. Даними вхідної карти можуть бути дані відношень, або інтервальні дані, або порядкові дані.
- 5) *Медіана (Median)*. Ця операція привласнює сканованій чарунці серединне значення значення у сканованому околі. Даними вхідної карти можуть бути дані відношень, або інтервальні дані, або порядкові дані.
- 6) *Велика частина (Majority)*. Ця операція привласнює сканованій чарунці значення, яке повторюється найчастіше в сканованому околі. Даними вхідної карти можуть бути дані відношень, або інтервальні дані, або порядкові дані, або номінальні дані.
- 7) *Менша частина (Minority)*. Ця операція привласнює сканованій чарунці значення, яке повторюється найменш часто у сканованому околі. Даними вхідної карти можуть бути дані відношень, або інтервальні дані, або порядкові дані, або номінальні дані.
- 8) *Різноманітність (Diversity)*. Ця операція привласнює сканованій чарунці значення, рівне числу різних у сканованому околі. Даними вхідної карти можуть бути дані відношень, або інтервальні дані,

або порядкові дані, або номінальні дані.

- 9) *Амплітуда (Range)*. Ця операція привласнює сканованій чарунці значення, рівне різниці між максимальним і мінімальним значенням у сканованому околі. Даними вхідної карти можуть бути дані відношень, або інтервальні дані, або порядкові дані, або номінальні дані.

Приклад сканованого околу представлений на рис.5.6.8.

3	7	16
7	16	11
11	16	25

Рис. 5.6.8 – Приклад сканованого околу

Для цього прикладу статистичні операції над сканованою чарункою і її сканованим оточенням представлені результатами:

Сума	= 112	
Середнє	= 12,44	(112 / 9)
Максимум	= 25	
Мінімум	= 3	
Медіана	= 11	(3,7,7,11,11,16,16,16,25)
Велика частина	= 16	
Менша частина	= 25	
Різноманітність	= 5	(3,7,11,16,25)
Амплітуда	= 22	(25 – 3)

5.6.3.2 Функції розповсюдження

Визначення околу одного або більшої кількості цільових місць (джерел) може залежати не тільки від відстані, але й також від напряму і відмінностей місцевості в різних напрямках. Звичайне цільове місце розташування містить "Вхідний матеріал", який поширюється через деякий час. Цей "вхідний матеріал" може бути повітрям, водою або забрудненням землі, пасажиром поїзда, які виходять, весняними водами, радіохвилями від ретрансляційної станції.

Просунуті методи аналізу околу полягають в обчисленні розповсюдження (Spread computations). Функції розповсюдження засновані на припущенні, що явище розповсюджується на всіх напрямках, хоча не обов'язково однаково на всіх напрямках. Тому,

вони використовують локальні особливості місцевості, щоб обчислити локальний опір розповсюдженню. Локальні чинники місцевості впливають на розповсюдження, роблячи його легким або складнішим. Багато ГІС-програм забезпечують підтримку цього виду обчислення розповсюдження.

У ArcGIS 9.x цей вид аналізу околу забезпечують функції витратної відстані (Cost distance functions). Тут під терміном "витрати" (Cost) в геопросторовому аналізі розуміється будь-який вид прямих або відносних витрат на переміщення, виражених у вибраних одиницях, – вартості, довжини, часу енергії, опору, імпедансу і т. п.

Растр витрат

Растр витрат (Cost raster) визначає витрати на розповсюдження через кожну чарунку.

Обчислення розповсюдження включає одне або декілька цільових місць, які є розташуваннями джерела будь-якого розповсюдження. Джерело представляє розташування об'єкта інтересу.

У загальному випадку растр витрат створюється на підставі декількох критеріїв. Наприклад, для створення растру витрат території для будівництва дороги входними даними можуть бути: А – растр типів ґрунтів, значення чарунок якого є код типів ґрунтів, В – растр ухилів рельєфу, значення чарунок якого виражені у відсотках крутості ската.

Вхідні набори даних можуть бути в різних системах виміру. Тому для спільного використання їх необхідно привести до загальної шкали. Один з методів приведення до загальної шкали є перекласифікація (Reclassifying) наборов даних. Наприклад, для будівництва дороги растр використання землі і растр ухилів рельєфу можуть бути перекласифіковані за шкалою 1–10. При цьому метод перекласифікації для кожного растру визначається впливом значення атрибуту на відносні витрати в будівництві дороги.

Наступний крок у створенні растру витрат - є об'єднання приведених до загальної шкали растрів. При рівному впливі початкових наборов даних на результат виконують просте складання двох растрів. При різному впливі початкових наборов даних на результат виконують зважене складання двох растрів. Наприклад, для будівництва дороги підсумковий растр витрати може бути отриманий за виразом:

$$C := A * P_A + B * P_B, \quad (5.6.5)$$

де P_A, P_B – ваги растрів.

Функція витратної відстані

Функція "Витратна відстань" (Cost distance) створює вихідний растр відстаней в одиницях накопичених витрат, в якому кожній чарунки привласнюється значення, що представляє найменші накопичені витрати на переміщення від цієї чарунки до найближчого джерела. При цьому окіл задається максимальною відстанню від джерела. Для обчислення вихідного растру відстаней в одиницях накопичених витрат потрібні растр з джерелом і растр витрат.

Алгоритм обчислення використовує представлення чарунки вузол/зв'язок. У представленні вузол/зв'язок кожен центр чарунки вважається вузол, а кожен вузол з'єднаний з сусідніми вузлами зв'язками.

При переході від чарунки до однієї з чотирьох сусідніх чарунок витрати на переміщення по зв'язках з сусідніми вузлами отримують за формулою

$$a1 = (cost1 + cost2) / 2 , \quad (5.6.6)$$

де cost1 - витрати чарунки 1, cost2 - витрати чарунки 2 і a1 - загальні витрати зв'язку з чарунки 1 у чарунку 2.

Якщо переміщення відбувається по діагоналі, шлях збільшується в $1.414214 = \sqrt{2}$ разів, тому витрати переміщення по зв'язку виходять за формулою

$$a1 = 1,414214 (cost1 + cost2) / 2 \quad (5.6.7)$$

Алгоритм використовує ітеративний процес, що починається з вхідних чарунок. У першій ітерації чарункам джерела призначається нуль, оскільки немає накопичених витрат на повернення до себе. Далі всі сусіди чарунок-джерел активізуються і витрати призначаються зв'язкам між вузлами чарунок-джерел і вузлами сусідніх чарунок з використанням вказаних вище формул. У подальшій ітерації список активних сусідніх чарунок розширюється з використанням чарунки найнижчих витрат.

Накопичені витрати (Accumulative cost) уздовж шляху найменших витрат обчислюються як проста сума витрат на переміщення по зв'язках від попередніх чарунок околу:

$$Accum_cost = a1 + a2 + \dots \quad (5.6.8)$$

Одержане значення привласнюється чарунці, відповідний початку переміщення до найближчого джерела. Результатом цього процесу є растр накопичених витрат або зваженої відстані.

1	1	1	2	8	14.50	14.95	15.95	17.45	22.45
4	4	5	4	9	12.00	12.45	14.61	16.66	21.44
4	3	3	2	10	8.00	8.95	11.95	13.66	19.66
4	5	6	8	8	4.00	6.36	8.00	10.00	11.00
4	2	1	1	1	0.00	3.00	4.50	5.50	6.50

Рис. 5.6.9 – Обчислення розповсюдження [54]

Функція "Витратна відстань" знаходить широке використання при визначенні шляху найменших витрат в багатьох застосуваннях, наприклад, при проектуванні траси дороги або магістрального трубопроводу.

Функція напрямку найменших витрати

У пошукових обчисленнях (Seek computations) передбачається, що для повернення до джерела феномен вибере шлях найменших накопичених витрат, а не розповсюдження на всіх напрямках. Прикладом можуть бути потоки дощових опадів. Це вимагає обчислення локального напрямку поширення, якому віддається перевага.

Функція "Напрямок найменших витрат" (Cost Back Link) в ArcGIS 9.x для кожної чарунки растру накопичених витрат обчислює суміжну чарунку з найменшими накопиченими витратами. Кожній чарунці привласнює код напрямку на суміжну чарунку з найменшими накопиченими витратами відповідно до системи кодування на рис. 5.6.10.

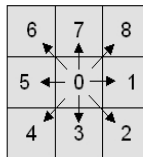


Рис.5.6.10 – Схема кодування напрямів

Ілюстрація функції напрямку найменших витрат представлена на рис.5.6.11.

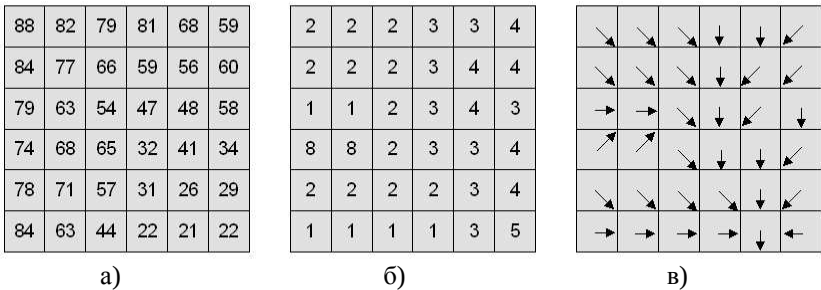


Рис. 5.6.11 – Ілюстрація функції напрямку найменших витрат:
а) растр накопичених витрати, б) растр кодів напрямів, з) растр напрямів

5.6.3.3 Функції розподілу

Функція "Розподіл"

Функція "Розподіл" (Allocation function) створює вихідний растр, в якому кожної чарунки привласнено значення найближчої до неї чарунки-джерела. Функція "Розподіл" дозволяє визначити, які чарунки, до якого джерела відносяться, на підставі значення по прямій.

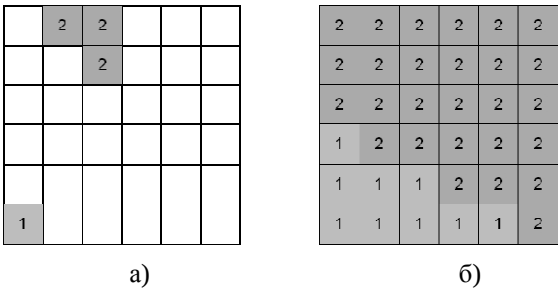


Рис.5.6.12 – Ілюстрація функції розподілу:
а) растр джерело, б) растр розподілу

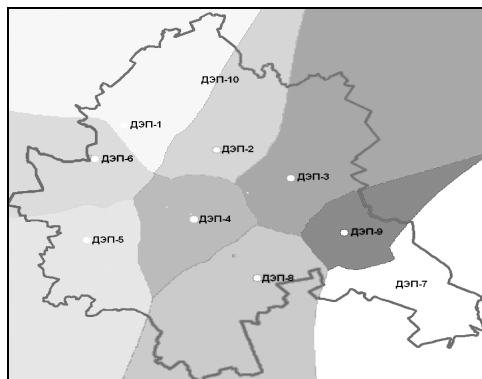


Рис. 5.6.13 – Приклад розподілу зон обслуговування вулично-дорожньої мережі

Функція розподілу використовується для визначення найближчих об'єктів до об'єкту-джерела. Наприклад, а) найближчих пожежних гідрантів до об'єкта пожежогасінні, б) зони обслуговування вулично-дорожньої мережі до технічних баз дорожньо-експлуатаційних управлінь міста (рис.5.6.13).

Функція "Витратний розподіл"

Функція "Витратний розподіл" (Cost Allocation) обчислює для кожної чарунки її найближче джерело за найменшими накопиченими витратами растру накопичених витрат.

	2	2			
		2			
1					

1	3	4	4	3	2
7	3	2	6	4	6
5	6	7	5	6	6
1	4	5		5	1
4	7	5		2	6
1	2	2	1	3	4

2	2	2	2	2	2
2	2	2	2	2	2
1	2	2	2	2	1
1	1	2		1	1
1	1	1		1	1
1	1	1	1	1	1

Рис. 5.6.14 – Ілюстрація функції витратного розподілу:
а) растр джерело, б) растр витрат, в) растр розподілу

5.6.4 Контрольні питання і завдання для самостійної роботи

- 1) Що є околом?
- 2) Для чого виконується буферизація точкових просторових об'єктів?
- 3) Опишіть алгоритм буферизації лінійних просторових об'єктів.
- 4) Опишіть буферизацію полігональних просторових об'єктів.
- 5) Для чого генеруються полігони Тіссена?
- 6) Як виконується статистичний аналіз околу?
- 7) Як створюється растр витрат і растр витратних відстаней?
- 8) Як побудувати растр напрямів найменших витрат?
- 9) У чому полягає відмінність між функцією розподілу і функцією витратного розподілу?

Розділ 5.7

ФУНКЦІЇ ЗВ'ЯЗНОСТІ

Функції зв'язності дозволяють виконувати мережевий аналіз.

5.7.1 Визначення і характеристика мережі

У геоінформаційних системі мережа (Network) – це система зв'язаних точками просторових лінійних об'єктів.

Мережі представляють географічні об'єкти для транспортування речовини енергії, інформації, наприклад, мережа доріг – автомобільних, залізних; вулично–дорожня мережа міста; мережі маршрутного транспорту, в тому числі пасажирського; мережі інженерної інфраструктури міста – водопостачання, водовідведення, тепlopостачання, газопостачання електропостачання; мережа гідрографії водотоків і т. д. По мережах може транспортуватися майже все: люди, машини, речі, продукція, забруднення води в річках, телефонні повідомлення в телефонній мережі .

На мережах вирішується множина різних транспортних завдань на основі мережевого аналізу (Network analysis):

- 1) управління інфраструктурою і її розвитком на основі бази даних на всі об'єкти транспортного процесу (аналіз транспортних потоків і пасажиропотоків, планування і аналіз маршрутної мережі, складання і аналіз звітів по ДТП), реструктурування маршрутів, підтримка експлуатації системи енергопостачання, сигналізації і зв'язку);
- 2) управління парком рухомих засобів і логістика (знаходження оптимального маршруту, завдання комівояжера, транспортне завдання, - повномасштабна організація перевезення різних вантажів з багатьох джерел за багатьма адресами, мультимодальне транспортування)
- 3) управління рухом (стеження за транспортними засобами за допомогою GPS, диспетчеризація, ув'язка розкладів з другими видами транспорту)

Мережевий аналіз може виконуватися на векторних або растрових даних. Мережі на векторних даних мають наступні особливості.

- У векторних даних лінійні просторові об'єкти *природно асоціюються* з елементами географічних об'єктів і дозволяють обробляти типові транспортні характеристики, такі як пропускна спроможність і витрати на одиницю. Крім того, мережевий аналіз на векторних даних дозволяє отримати точніші результати.
- Мережа визначається *топологічно зв'язаними* її елементами. Кожен лінійний просторовий об'єкт (дуга) має початкову і кінцеву точки. Дуга приєднуються одна до одної у вузлах, формуючи зв'язність (Connectivity) мережі. Зв'язність мережі робить можливими виконання мережевого аналізу. Зв'язність мережі використовується також для визначення міри складності мережі.
- Найважливішою особливістю будь-якою мережі є її *направленість*. За направленістю мережі розділяють на транспортні й інженерні. *Транспортні мережі* - це ненаправлені мережі. Це означає, що рух по лінії принципово може бути в прямому і зворотному напрямі, хоча організація руху може передбачати односторонній рух. Транспортні мережі моделюють використовуючи мережеві набори даних. *Інженерні мережі* – це направлені мережі. Потoki речовини переміщуються в одному напрямі лінії. Інженерні мережі моделюють, використовуючи геометричні мережі.
- Мережі можуть бути *однорівневими* або багаторівневими. Для багатьох додатків мережевого аналізу використовують однорівневі (планові) мережі, що розглядаються в двовимірному просторі, наприклад, водні потоки. Планові мережі легше в обробці, оскільки вони мають топологічні правила. Багаторівневі мережі не розглядаються як планові, оскільки вони мають багаторівневі пересічення, наприклад, тунелі, шляхопроводи, підземні переходи.

Математично мережі описуються теорією графів, а рішення мережевих завдань виконується засобами лінійного програмування. Програмними пакетами ГІС підтримуються різні функції просторового аналізу на мережах. Базовими класичними функціями є:

- знаходження кращої дороги, яка генерує дорогу найменших витрат на мережі між парою встановлених місць на підставі геометричних і атрибутивних даних;
- розділення мережі, яка призначає елементам мережі (вузлам або сегментам) різні місця розташування, використовуючи зумовлені критерії.

Просунутий мережевий аналіз використовує спеціальну модель даних - геометричну мережу. Геометрична мережа – це колекція зв'язаних ребер (Edges) і з'єднань (Junction) з правилами зв'язності, яка використовується для представлення і моделювання поведінки

загальної мережевої інфраструктури в реальному світі. Ребра і з'єднання можуть бути простими і складними. Прикладами ребер є вісі доріг, трубопроводи, середні лінії річок. Прикладами складних з'єднань є перехрестя, перемикачі, трансформатори, розподільні станції.

Геометричні мережі надають розширені можливості мережевого аналізу, моделювання географічних об'єктів для транспортування, забезпечують досконаліший рівень управління інженерною інфраструктурою.

5.7.2 Знаходження кращого шляху

Знаходження кращого маршруту (Finding the best route) або знаходження оптимального шляху (Optimal path finding) використовується, коли потрібно знайти шлях найменших витрат між двома вузлами в мережі.

Кращий маршрут може бути найкорішим, найкоротшим або визначеним відповідно до заданих витрат. Мета полягає у знаходженні послідовності зв'язаних ліній від вузла-джерела до вузла-призначення.

Для вирішення цієї задачі часто використовують алгоритм Дейкстри (Dijkstra's algorithm). Алгоритм на графах, винайдений нідерландським ученим Е. Дейкстрой у 1959 р., знаходить найкоротшу відстань від однієї з вершин графа до всіх інших.

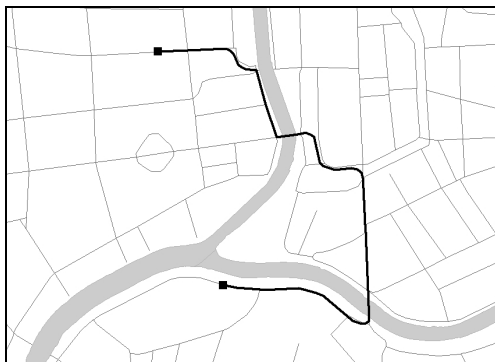


Рис. 5.7.1 – Найкоротший маршрут

Проблеми, пов'язані з пошуком оптимального шляху, можуть мати додаткову вимогу: додаткові вузли, які повинні відвідуватися в дорозі. Ця вимога може мати впорядкований і неврегульований характер. У впорядкованому пошуку оптимальної дороги визначена послідовність, в якій ці додаткові вузли повинні відвідуватися; у неврегульованому пошуку оптимальної дороги не визначена послідовність відвідин додаткових пунктів.

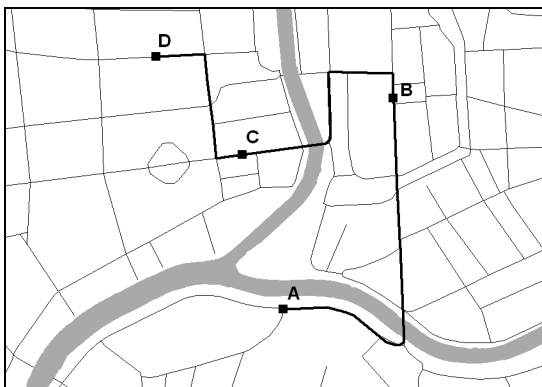


Рис. 5.7.2 - Маршрут А-В з додатковими вузлами В, С

Функція витрат може бути простою, наприклад, вона може визначатися як загальна довжина всіх ліній на дорозі. Функція витрат може бути більш комплексною, наприклад, аргументами якої будуть не тільки довжини ліній, але і пропускна спроможність, максимальний тариф перевезення і інші особливості. Можливий також детальний облік витрат на повороти в кожному вузлі - при вході на вузол по одній лінії і виході з вузла по іншій, а також заборонених /дозволених напрямів руху.

5.7.3 Розділення мережі

Розділення мережі (Network partitioning) має на меті призначення лініям і вузлам мережі деякої кількості цільових місць розташування взаємовиключним способом. До цієї групи відносяться функції розподілу мережі і трасування.

Розподіл мережі

Звичайно цільові розташування відіграють роль центру обслуговування для мережі . Це може бути будь-який вид сервісу: поліклінічне обслуговування, шкільна освіта, постачання водою. Тип розділення мережі відносно центрів обслуговування відомий як "Розподіл мережі" .

Нехай є ряд цільових місць розташування, що функціонують як ресурсні центри. При розподілі мережі (Network allocation) проблема полягає в тому, щоб розділити мережу на частини, яким призначить певний центр обслуговування виключно. У простій проблемі розподілу сервісний центр призначається тим лініям або сегментам, по яких він найближчий або знаходиться в межах заданої відстані. У складній проблемі розподілу виникає необхідність обліку додаткових чинників, наприклад, а) потужність центру (кількість відвідин поліклініки, кількість школярів, кіловати), б) споживання ресурсів, яке може змінюватися між лініями або сегментами лінії. Слід також мати на увазі, що деякі вулиці відрізняються кількістю випадків, дітей, що проживають там, об'єктів промисловості з високим споживанням електрики, суміжних земельних ділянок (рис. 5.7.3).

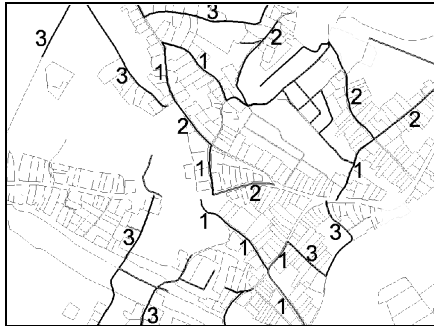


Рис. 5.7.3 - Категорії вулиць за кількістю суміжних земельних ділянок

Мережа обслуговування (Service net) будь-якого центру - це підмножина дистриб'юторської мережі , фактично зв'язана частина мережі. Існують різні методи, щоб віднести мережу ліній або їх сегменти до визначеного центру. У ArcGIS 9.x це завдання вирішується функцією "Область обслуговування" (Service area) рис.5.7.4.

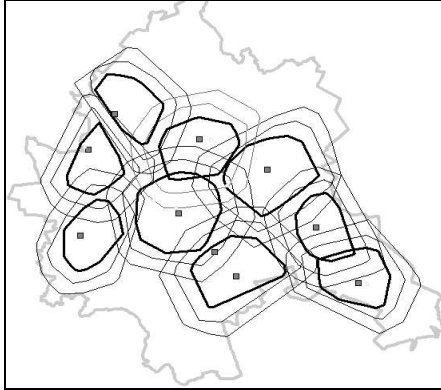


Рис. 5.7.4 - Области обслуговування, видалені від дорожньо-експлуатаційних управлінь міста по реальних шляхах на 3, 4, 5 км.



Рис. 5.7.5 - Мережа обслуговування доріг, видалених по реальних шляхах до 3,5 км. від одного дорожньо-експлуатаційного управління

Трасування

Мережевий аналіз включає функцію "Трасування" (Tracing). Трасування по геометричній мережі створює зв'язані набори елементів мережі, відповідно до деякої умови.

За допомогою інструментів трасування можна знайти:

- всі елементи мережі, які лежать вгору або вниз за течією від заданої точки на мережі (рис. 5.6.6, 5.6.7);

- загальні витрати всіх елементів мережі, які лежать вгору за течією від заданої точки на мережі ;
- загальні просторові об'єкти, які вище за течією від заданої точки;
- всі об'єкти, які зв'язані або не пов'язані з даною точкою через мережу;
- петлі, які можуть бути результатом маршрутів між точкою на мережі .

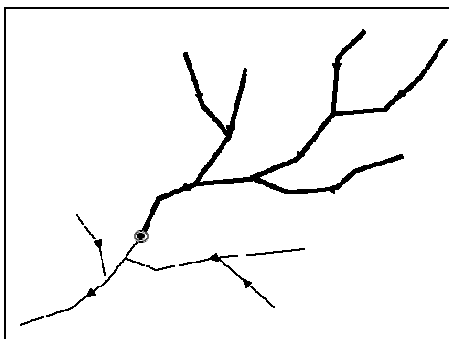


Рис. 5.7.6 – Трасування по геометричній мережі вгору за течією

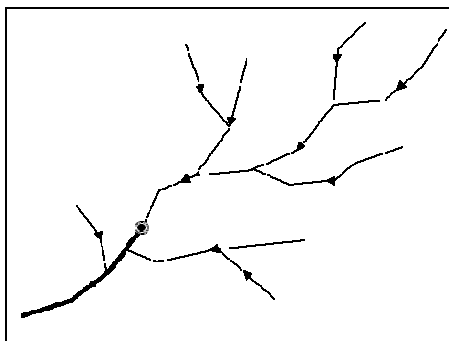


Рис. 5.7.7 – Трасування по геометричній мережі вниз за течією.

Трасування виконується, коли потрібно взяти, яка частина мережі умовно з'єднується з вибраним вузлом на мережі , відомим як початок траси. Для вузла або лінії бути умовно зв'язаним означає, що існує шлях від вузла/лінії до початку траси, і що шлях з'єднання виконує ряд

умов. Якими є ці умови, залежить від завдань. Вони можуть включати напрям шляху, місткість, довжину, вжиток ресурсів уздовж шляху, і так далі. Умова звичайна - це логічне вираження, наприклад:

- шлях повинний прямувати від вузла/лінії до початку траси;
- його місткість (визначується як мінімальна місткість ліній, які складають шлях) має бути нижче встановленого порогу;
- довжина шляху не повинна перевищувати встановленої максимальної довжини.

Трасування може бути корисною функцією для багатьох проблем, зв'язаних з інженерними мережами. Наприклад, визначення вентилів вгору за течією при аваріях в розподільних інженерних мережах.

5.7.4 Контрольні питання і завдання для самостійної роботи

- 1) Що таке окіл?
- 2) Для чого виконується буферизація точкових просторових об'єктів?
- 3) Опишіть алгоритм буферизації лінійних просторових об'єктів.
- 4) Опишіть буферизацію полігональних просторових об'єктів.
- 5) Для чого генеруються полігони Тіссена?
- 6) Як виконується статистичний аналіз околу?
- 7) Як створюється растр витрат і растр витратних відстаней?
- 8) Як побудувати растр напрямів найменших витрати?
- 9) У чому полягає відмінність між функцією розподілу і функцією витратного розподілу?

ПІСЛЯМОВА

Матеріал цього навчального посібника є каркасом теоретичної частини базового курсу "Основи ГІС". У посібнику викладені сталі концепції, підходи, принципи побудови і функціонування географічних інформаційних системи, які реалізовані в багатьох розвинених програмних продуктах ГІС.

Вивчення цього теоретичного матеріалу здійснюється при опрацюванні й закріпленні при практичному освоєнні програмних пакетів ГІС і створенні на їх основі ГІС-проектів. Інститут ESRI приділяє підвищену увагу популяризації ГІС-технологій і впровадженню географічного мислення в навчальний процес. По оцінках аналітиків відомої компанії Даратек, програмне забезпечення ESRI займає провідні позиції у сфері освіти. Відповідно до стратегії ESRI дистриб'ютори цієї компанії реалізують довгострокову програму підтримки навчальних закладів, направлену на розвиток ГІС-освіти.

Подальше нарощування знань в області геоінформаційних систем в рамках підготовки фахівців відбуватиметься шляхом вивчення подальших профілюючих дисциплін навчального плану, про які говорилося у вступі.

Навчальний посібник орієнтований на формування у фахівців початкових знань в області геоінформаційних системи і технологій. Разом з тим матеріал посібника може бути корисним як студентам інших спеціальностей, так і фахівцям, які упроваджують передові інформаційні технології в бізнес процеси, при вирішенні багатьох управлінських завдань. Цей підхід найбільш плідний, коли він починає щепитися з молодих років і органічно входить у свідомість людей.

Сьогодні ця технологія є одним з найбільш популярних і корисних інструментів у наукових дослідженнях. ГІС - це універсальний інструмент дослідника. Функції просторового аналізу застосовується у більш ніж 100 дисциплінах, що охоплюють більшість напрямків наукових і прикладних досліджень. ГІС також є чудовим засобом презентації результатів проведених досліджень.

У закінчення слід обернути особлива увагу на ще одну грань геоінформаційних системи і технологій. ГІС - це не просто одна з сучасних інформаційних технологій. ГІС допомагає сформувати у людей *новий погляд на світ, що забезпечує його комплексне сприйняття і краще розуміння взаємозв'язків між його складовими*. Це прогресивний образ мислення, спосіб пізнання навколишнього нас світу, інструмент, що допомагає перебудові нашого світогляду.

Використана література

1. Саати Т. Аналитическое планирование. Организация систем / Т. Саати, К. Кернс ; пер. с англ. - М.: Радио и связь, 1991. - 224 с.
2. Берталанфи Людвиг Фон. Общая теория систем: обзор проблем и результатов/ Берталанфи Людвиг Фон // Системные исследования. - М.: Наука, 1969. – С. 30-54.
3. Философский энциклопедический словарь / Гл. редакция: Л.Ф.Ильичев, П.Н.Федосеев, С.М.Ковалев, В.Г.Панов. - М: Сов. энциклопедия, 1983. - 840 с.
4. Аверьянов А.Н. Системное познание мира: Методологические проблемы / А.Н. Аверьянов.- М.: Политиздат, 1985.- 263 с.
5. Проблемы общей теории систем как методологии / В.Н. Садовский // Системные исследования, 1973, С. 127-135
6. Оптнер, Станфорд Л. Системный анализ для решения деловых и промышленных проблем / Оптнер, Станфорд Л. - М.: Сов.радио, 1969. – 312 с.
7. Диалектика и системный анализ / Под. ред. Д.М.Гвишиани. - М.: Наука, 1986. - 336 с.
8. Про затвердження "Програми розвитку земельної реформи та управління земельними ресурсами в місті Харкові до 2006 року" / Рішення XVIII сесії IV скликання від 24.12.2003 р. Харківської міської ради Харківської області [Electronic Resource] .- URL: www.city.kharkov.ua
9. Гради Буч. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений на С++. Второе издание / Гради Буч; пер. с англ; под ред. И. Романовского и Ф. Андреева.- Калифорния.: Rational Санта-Клара, 2006. - 380 с.
10. Клинтон У.Д., Президент США. Координация в области получения доступа к данным: национальная инфраструктура пространственных данных // Правительственное распоряжение, Белый дом, 11 апреля 1994 г.
11. ДеМерс М.Н. Географические информационные системы. Основы / ДеМерс М.Н.; пер. с англ. - М.: Дата+, 1999.- 491 с.
12. Goodchild, M.F. Geographical information science //International Journal of Geographical Information Systems, 1992, 6(1), p. 31-45.

13. The NCGIA Core Curriculum in GIScience / Goodchild, M.F., Kemp K.K., eds. - NCGIA University of California, Santa Barbara CA., 2000 [Electronic Resource] .- URL: <http://www.ncgia.ucsb.edu/>
14. Чоговадзе Г.Г. Информация: информация, общество, человек / Г.Г.Чоговадзе.- М.:ООО Дата+, 2003. -320 с., с.121-134
15. Кошкарев А.В. Геоинформатика / А.В.Кошкарев, В.С.Тикунов; под ред. Д.В.Лисицкого.- М.: "Картоцентр - Геодезиздат", 1993.- 213 с.
16. Геоинформатика: учебник для студ. высш. учебн. заведений / Е.Г.Капралов, А.В.Кошкарев, В.С.Тикунов и др.; под ред. В.С.Тикунова.В 2 кн. Кн1.- 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Издательский центр "Академия", 2008.- 384 с.
17. The GIS History Project [Electronic Resource] .- URL: http://www.ncgia.buffalo.edu/gishist/bar_harbor.html
18. Світличний О.О. Основи геоінформатики: Навчальний посібник / О.О.Світличний, С.В.Злотницький; за заг. ред.. О.О. Світличного. – Суми: ВТД Університетська книга, 2006. – 295 с.
19. Географічна інформація – Еталонна модель : Нац. стандарт України (ДСТУ ISO 19101:2002(E). – К.: Держспоживстандарт України, 2005. – 65 с.
20. David M. Mark. Geographic Information Science: Defining the Field [Electronic Resource] .- URL: <http://www.geog.buffalo.edu/~dmark/>
21. Huxhold W.E., Levinsohn A.G. Managing Geographic Information System Projects. - New York, Oxford: Oxford University Press., 1995. - 250 p.
22. The University Consortium for Geographic Information Science [Electronic Resource] .- URL: <http://www.ucgis.org/>
23. CSU Geospatial Review.- California State University GIS Specialty Center, 2006 [Electronic Resource] .- URL: <http://csugis.sfsu.edu/>
24. Савиных В.П. Геоинформационный анализ данных дистанционного зондирования / В.П.Савиных , В.Я. Цветков. - М.: Геодезиздат,- 2001 – 228 с.
25. David DiBiase, Michael DeMers, Ann Johnson, Karen Kemp, Ann Taylor Luck, Brandon Plewe, and Elizabeth Wentz. - Geographic Information Science & Technology. Body of Knowledge [Electronic Resource] .- URL: <http://www.ucgis.org/>
26. Берлянт А.М. Государственный образовательный стандарт по геоинформационным системам и проблемы деятельности Комитета ГИС-образование ГИС-Ассоциации [Electronic Resource] .- URL: http://loi.ssc.ru/gis/gisa/GIS_Educat/stand_eduac99.htm

27. Королев Ю.К. Общая геоинформатика. Часть 1. Теоретическая геоинформатика. Вып. 1./ Ю.К. Королев - М.: Дата+, 1998. - 118 с.
28. Understanding GIS - The ARC/INFO Method. - ESRI, 1990, 522 p.
29. Зейлер М. Моделирование нашего мира: Руководство ESRI по проектированию базы геоданных / М.Зейлер; пер. с англ. - М.: СП ООО Дата+, 2004. - 254 с.
30. Joseph K. Berry. Beyond Mapping III. Understanding Spatial Patterns and Relationships - BASIS Press, 2007, 227 p. [Electronic Resource] .- URL: <http://www.innovativegis.com/basis/MapAnalysis/>
31. Principles of Geographic Information Systems / Rolf A. de By (Ed.).- ITC, Enschede, The Netherlands. - 490 p.
32. GIS Glossary [Electronic Resource] .- URL: <http://www.geog.ubc.ca/courses/klink/gis.notes/glossary.html>
33. Spatial Analysis and GIS: A Primer / Gilberto Camara and other. - Image Processing Division, National Institute for Space Research (INPE), Brazil
34. Сковрцов А.В. Триангуляция Делоне и её применение / А.В. Сковрцов. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2002. – 128 с.
35. Класифікатор інформації, яка відображається на топографічних планах масштабів 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500 / Наказ Головного управління геодезії, картографії і кадастра, при Кабінеті Міністрів України № 25 від 9.03.2000 р.
36. Техніко-економічна доповідь по формуванню національної інфраструктури геопросторових даних України (УкрНІГД) // Звіт НДІГК, 2005. - 112 с.
37. Томлинсон, Роджер. Думая о ГИС. Планирование географических информационных систем: Руководство для менеджеров / Томлинсон, Роджер. – М.: Изд. Дата+, 2004. - 329 с.
38. Иванников А.Д. Прикладная геоинформатика / А.Д. Иванников, В.П.Кулагин, А.Н. Тихонов, В.Я. Цветков. - М.: МАКС Пресс, 2005. - 360 с.
39. Средства подготовки данных [Electronic Resource] .- URL: <http://www.tscoring.ru/dataprepaiment.htm>
40. Единая система классификации и кодирования. Термины и определения / ГОСТ 17369-85
41. Ситник В.Ф. Основи інформаційних систем: Навч. посібник / В.Ф.Ситник, Т.А.Писаревська, Н.В. Єрьоміна, О.С. Краєва ; за ред. В.Ф. Ситника. - К.: КНЕУ, 1997. - 252 с.
42. Шипулін В.Д. Створення базового набору геопросторових даних // Вчені записки ТНУ.- 2006.- Т. 19(58). - №2 – С. 151-156. (Серія Географія)

43. Melita Kennedy and Steve Kopp. Understanding Map Projections. - ESRI™, 2002. – 121 p.
44. World Geodetic System 1984, WGS 84 // TR 8350.2, Third Edition. – The National Imagery and Mapping Agency (NIMA), 2000.
45. Getting Started with Geographic Information Systems / Keith C. Clarck - 4 ed. -Prentice Hall, 2003.- 342 p.
46. Harvey Francis. A Primer of GIS. - The Guilford Press, 2008.- 310 p.
47. Sarah Battersby and Nicholas Matzke. Lab 3: GIS Data Models - UC Santa Barbara, 2000 [Electronic Resource] .- URL: <http://cda.morris.umn.edu/~jonesjv/gis/labs/lab3.html>
48. David J. Buckley. The GIS Primer [Electronic Resource] .- URL: <http://www.innovativegis.com/education/primer.html>
49. Объектно-ориентированная методология [Electronic Resource] .- URL: <http://belani.narod.ru/3/OOM.htm>
50. ArcGIS Desktop Help [Electronic Resource] .- URL: <http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/>
51. Энди Митчелл. Руководство по ГИС Анализу. Часть 1: Пространственные модели и взаимосвязи / Энди Митчелл; пер. с англ. – Киев, ЗАО ECOMM Со; Стилос, 2000. – 198 с.
52. Ішук О. О. Просторовий аналіз і моделювання в ГІС: Навчальний посібник / О. О.Ішук, М. М.Коржнев, О. Е.Кошляков; за ред. акад. Д.М.Гродзинського. – К.: Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2003.– 200 с.
53. Aronoff Stan. Geographic Information Systems: A Management Perspective. WDL Publications, Ottawa, Canada, 1989.
54. Principles of Geographic Information Systems. Rolf A. de By (ed.). Second edition.– Enschede, The Netherlands, 2001, 490 p.
55. Berry, J. K. 1989. Beyond mapping: Spatial data analysis. pp. 10–16. In The GIS Sourcebook. GIS World, Inc., Ft. Collins, CO. 180 p.
56. Chrisman Nicholas. Exploring Geographical Information Systems. 2 edition John Wiley & Sons – 2003, 306 p.
57. ArcGIS 9. Using ArcMap.– ESRI, 2005, 598 p.
58. GIS self learning tool [Electronic Resource] .- URL: <http://www.sli.unimelb.edu.au/gisweb/>
59. Geospatial Analysis - a comprehensive guide. 2nd edition © 2006-2008 de Smith, Goodchild, Longley

Рекомендована література для самостійного вивчення

Основна література

1. Геоинформатика: учебник для студ. высш. учебн. заведений / Е.Г.Капралов, А.В.Кошкарев, В.С.Тикунов и др.; под ред. В.С.Тикунова. В 2 кн. Кн1.- 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Издательский центр "Академия", 2008.- 384 с.
2. ДеМерс М.Н. Географические информационные системы. Основы / ДеМерс М.Н.; пер. с англ. - М.: Дата+, 1999.- 491 с.
3. Світличний О.О. Основи геоінформатики: Навчальний посібник / О.О.Світличний, С.В.Злотницький; за заг. ред.. О.О. Світличного. – Суми: ВТД Університетська книга, 2006. – 295 с.

Додаткова література

1. Журкин И. Г. Геоинформационные системы / И. Г. Журкин, С. В.Шайтура. - М : КУДИЦ-ПРЕСС, 2009. - 272 с.
2. Зейлер М. Моделирование нашего мира: Руководство ESRI по проектированию базы геоданных / М.Зейлер; пер. с англ. - М.: СП ООО Дата+, 2004. - 254 с.
3. Ішук О. О. Просторовий аналіз і моделювання в ГІС: Навчальний посібник / О. О.Ішук, М. М.Коржнев, О. Е.Кошляков; за ред. акад. Д.М.Гродзинського. – К.: Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2003.– 200 с.
4. Королев Ю.К. Общая геоинформатика. Часть 1. Теоретическая геоинформатика. Вып. 1./ Ю.К. Королев - М.: Дата+, 1998. - 118 с.
5. Лурье И. К. Геоинформационное картографирование. Методы геоинформатики и цифровой обработки космических снимков: учебник / И.К.Лурье. - М.: КДУ, 2008, - 424 с.: с илл.,табл.
6. Митчелл Энди. Руководство по ГИС Анализу. Часть 1: Пространственные модели и взаимосвязи / Митчелл Энди; пер. с англ. – Киев, ЗАО ЕСОММ Со; Стилос, 2000. – 198 с.
7. Иванников А.Д. Прикладная геоинформатика / А.Д. Иванников, В.П.Кулагин, А.Н. Тихонов, В.Я. Цветков. - М.: МАКС Пресс, 2005. - 360 с.
8. Хаксхольд Виллиам. Введение в городские геоинформационные системы / Хаксхольд Виллиам; пер. с англ. - М.: Дата+, 1998.- 321 с.

Навчальне видання

Шипулін Володимир Дмитрович

ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Навчальний посібник

Редактор *М. З. Аляб'єв*

Комп'ютерне верстання *Є. Г. Панова*

Дизайн обкладинки *Т. Є. Клочко*

Підп. до друку 31.08.2010 р.
Друк на ризографі
Тираж 500 пр.

Формат 60х84 1/16
Ум. друк.арк. 18,41
Зам. №

Видавець і виготовлювач:

Харківська національна академія міського господарства,
вул. Революції, 12, Харків, 61002

Електронна адреса: rectorat@ksame.kharkov.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи: ДК №731 від 19.12.2001