

5 ВІЗУАЛІЗАЦІЯ ПРОСТОРОВИХ ДАНИХ

5.1 Тематичні карти

Однією з найбільших переваг геоінформаційних систем є те, що вони дають змогу людині наочно уявити інформацію про територіально розподілені об'єкти і явища.

За відсутності карт потрібно довго вивчати різноманітні таблиці, графіки, текстові дані, тоді як ознайомлення із даними карти робить цей процес одномоментним. Саме тому в картографії застосовується термін «*тематичні карти*», який характеризує карти, створені для демонстрації будь-яких явищ або об'єктів. Створення геоінформаційних систем прискорило подальший процес розроблення тематичних карт, унаслідок чого було знайдено нові образотворчі інструменти й методики. Потрібно зауважити, що використання ГІС пришвидшує процес створення нової тематичної карти.

Особливістю геоінформаційних систем є те, що дані в них (*геометрія і атрибутика*) і їхній зміст (*семантика*) роз'єднані. Щоб відобразити просторові дані на карті, необхідно обрати для них деякі візуалізатори – набори правил відображення даних на карті. У деяких ГІС візуалізатори просторових даних називаються також символікою відображення даних.

Для різних моделей даних існують різні види візуалізаторів, використовуючи які, можна створювати різноманітні *тематичні карти*.

5.2 Умовні знаки

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

Умовні знаки визначають спосіб відображення певного об'єкта на карті. Зазначимо також, що візуалізатори набору просторових даних задають правила, за якими із цього набору даних буде обрано умовні знаки для окремих об'єктів.

У картографії виокремлюють три базові типи умовних знаків — *точкові, лінійні і майданні*.

Точковими умовними знаками (рис. 5.1) на карті зображують об'єкти або явища, розміри яких стосовно масштабу карти надзвичайно малі (зазвичай менше 1 мм). До того ж розмір умовного знака обирається не пропорційно до розміру зображуваного об'єкта, а так, щоб він був оптимальним для сприйняття людиною.

Кожен точковий умовний знак характеризується координатами розміщення на карті, типом, розміром, кутом повороту й кольором.

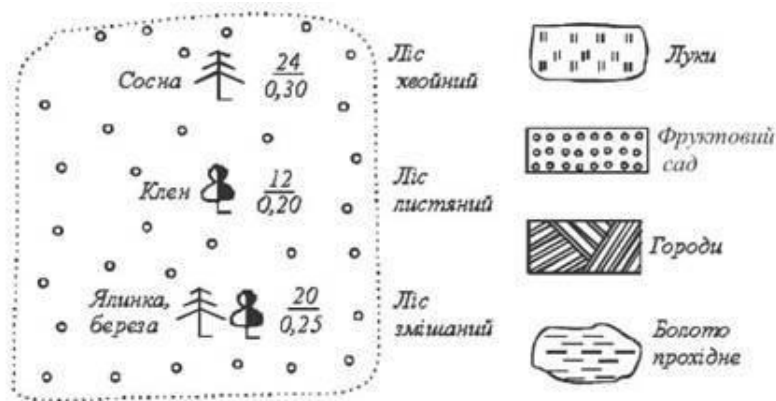


Рисунок 5.1 – Деякі стандартні точкові умовні знаки, що застосовуються для складання топографічних карт в Україні

Лінійними умовними знаками (рис. 5.2) на карті зображають об'єкти або явища, протяжні в масштабі карти, але які незначні за шириною (зазвичай менше 1 мм).

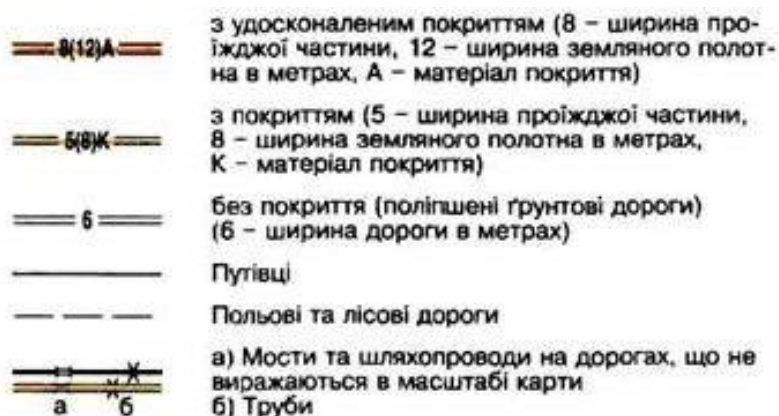


Рисунок 5.2 – Деякі стандартні, лінійні, умовні знаки, що застосовуються для складання топографічних карт в Україні

Кожен лінійний умовний знак на карті повторює деяку лінію (ламану або криву), додатково характеризуючись типом знака, товщиною і кольором.

Лінійні умовні знаки в деяких випадках можуть включати якості складників точкових умовних знаків, які розміщуються вздовж лінії через певний проміжок або в особливих характерних точках, зокрема у вузлах вони відображаються ламаною. До того ж точкові умовні знаки можуть повертатися разом із лінією або бути зорієнтовані однаково.

Майданними умовними знаками (рис. 5.3) на карті зображують «регулярні» об'єкти або явища, протяжні в масштабі карти, які можна зобразити за допомогою точкових або лінійних умовних знаків. Термін «регулярні» означає, що зовнішній вигляд майданного умовного знака не залежить від порядку задання точок у контурі об'єкта. Умовні знаки, які не є «регулярними», зазвичай вважають спеціальними умовними знаками – особливим підвидом майданних знаків (рис. 5.3).

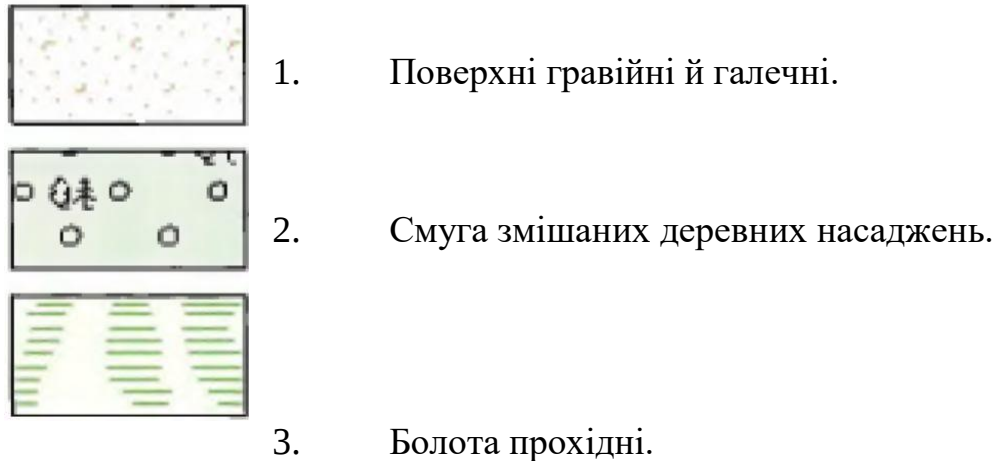


Рисунок 5.3 – Деякі стандартні майданні умовні знаки, що застосовуються для складання топографічних карт в Україні

Спеціальними умовними знаками (рис. 5.4) на карті зображують такі об'єкти/явища, які не вдається зобразити за допомогою звичайних майданних умовних знаків.

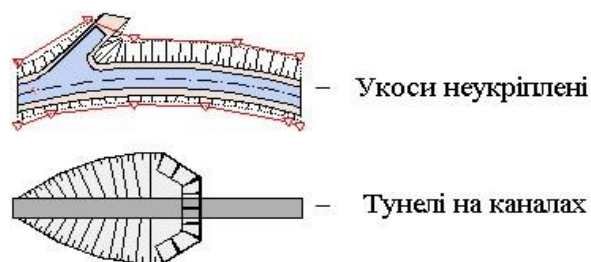


Рисунок 5.4 – Деякі стандартні спеціальні умовні знаки, що застосовуються для складання топографічних карт

Крім точкових, лінійних, площинних, у геоінформатиці до категорії умовних знаків іноді також відносять текстові умовні знаки (рис. 5.5), які включають опис способу подання текстових написів на карті.

Текст Текст Текст Текст Текст
Текст Текст Текст Текст Текст
Текст Текст Текст Текст Текст

Рисунок 5.5 — Деякі текстові умовні знаки, що застосовуються для складання карт

Кожен текстовий умовний знак характеризується текстом напису, а також типом, розміром і кольором шрифту, який використовується для відображення написів. Крім того, текстовий умовний знак може характеризуватися кутом нахилу, або лінією, уздовж якої потрібно розмістити напис.

На рисунку 5.6 подано фрагмент типової топографічної карти, що демонструє застосування різних умовних знаків.

Особливістю умовних знаків, використовуваних у традиційній картографії, є те, що їх вибір і розміщення на карті недостатньо формалізовані, багато залежить від індивідуальних уподобань і досвіду картографа. Саме тому, а також через технічну складність можливості програмування багатьох поширених ГІС щодо відображення умовних знаків обмежені, що унеможливорює створення карт відповідно до наявних стандартів складання картографічних матеріалів.

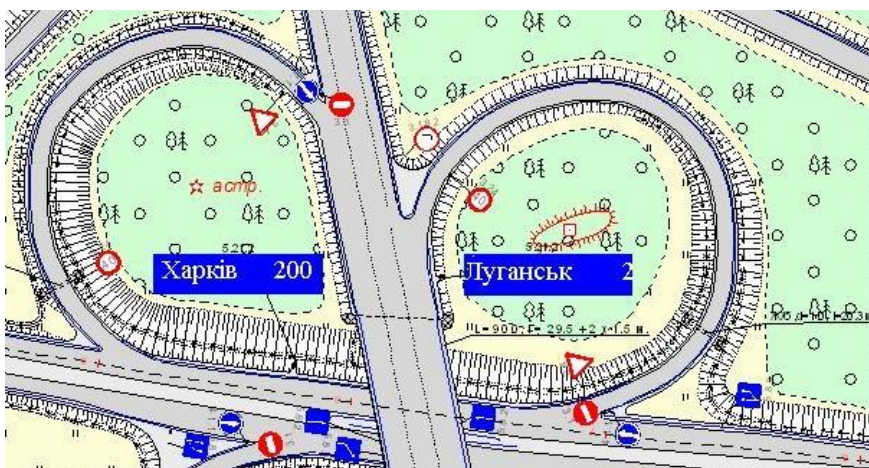


Рисунок 5.6 – Фрагмент топографічної карти, що демонструє застосування різних умовних знаків

Для створення умовних знаків у геоінформаційних системах використовується декілька способів.

Точкові умовні знаки проставляють за допомогою таких способів:

1. Прості стандартні фігури і коло, квадрати, ромби, трикутники, перехрестя. Цей спосіб дає змогу швидко відображати точкові об'єкти на екрані і, незважаючи на те, що він не відповідає нормам складання карт, його використовують у більшості ГІС.

2. Стандартні стрілки. Цей спосіб використовується для відображення точкових подій і об'єктів, що мають певну орієнтацію в просторі. Для стрілок задаються тип, розмір, довжина й кут повороту. Цей спосіб застосовують у багатьох ГІС.

3. Растрові зображення. Такі умовні знаки задаються у вигляді прямокутного растру, при цьому деякі пікселі позначаються як прозорі. Перевагою цього способу є простота проставлення умовних знаків. Недоліками можна вважати піксельність зображення, помітне при збільшенні карти (цього можна уникнути, тільки істотно збільшивши розмір растру), технічні складнощі плавного масштабування і повороту растрів, а також відображення прозорих частин растру, незначну швидкість виведення растрів порівняно з висновком векторних рисунків. Проте останнім часом унаслідок розвитку програмноапаратних технологій роботи з растрами ці недоліки майже нівелювалися. Цей спосіб реалізований в багатьох ГІС.

4. Символи шрифтів Windows (OpenType, TrueType, Type 1). Такі умовні знаки складаються з декількох символів шрифтів, послідовно накладених один на один, і кожен із яких має свій індивідуальний розмір, колір, кут повороту і зміщення щодо інших символів. Головними перевагами є висока швидкість виведення та якість одержуваних умовних знаків на екрані комп'ютера, оскільки зображення символів на екрані здійснюється стандартними засобами Windows, що забезпечують згладжування схожих ефектів символів. Недоліком методу є складність створення умовних знаків для звичайних користувачів ГІС, оскільки для цього потрібно формувати нові символи шрифтів Windows за допомогою спеціальних програм редагування шрифтів. Цей спосіб реалізований, наприклад, в ArcGIS.

5. Векторні рисунки, створювані в спеціалізованих векторних редакторах умовних знаків. Цей спосіб є найгнучкішим, оскільки векторні зображення створюються дуже швидко, якість зображення друкованого варіанта (не на екрані) є вищим, ніж при інших способах, дає змогу користувачеві швидко створювати нові умовні знаки. Цей спосіб реалізований, наприклад, у технології «ех-шрифтів», використовуваній системою IndorGIS.

6. Метафайли. Умовні знаки задаються у вигляді векторних зображень, збережених у форматі Windows Metafile. Цей спосіб є досить швидким і якісним, проте незручним для користувача, якщо потрібно створити нові умовні знаки.

7. Багатошарові умовні знаки, що складаються із знаків, заданих різними, наведеними вище способами. Цей спосіб використовується, наприклад, в ArcGIS, а також у деяких інших ГІС.

Лінійні умовні знаки:

1. Прості стандартні лінії, оцифрування яких вбудоване у Windows (реалізовано у Windows GDI). Це суцільні, штрихові, пунктирні лінії. До того ж тільки товщина суцільних ліній може бути одиничною. Цей спосіб уможливорює швидке відображення лінійних об'єктів на екрані, проте він не відповідає нормам створення картографічних матеріалів. Спосіб реалізований у більшості ГІС.

2. Штрихові лінії, якими можна задавати товщину й довжину штрихів, а також проміжок між ними. Цей спосіб сприяє розвиткові образотворчих можливостей ГІС, але не вирішує проблеми відображення повноцінних умовних знаків. Цей спосіб реалізований у багатьох ГІС.

3. Рубані лінії. При цьому способі лінії відображаються з певною періодичністю, позначаються невеликі відрізки під заданим що до лінії кутом. Рубані лінії визначаються розміром і формою маленьких відрізків, а також проміжками між ними. Цей спосіб реалізований тільки в деяких сучасних ГІС.

4. Точкові умовні знаки, повторювані уздовж лінії з певною періодичністю, а також окремі знаки, повторювані на кінцях лінії. Цей спосіб реалізований в багатьох сучасних ГІС.

5. Багатошарові умовні знаки, що складаються із знаків, заданих різними наведеними вище способами. Цей спосіб використовується, наприклад, в ArcGIS, а також у деяких інших ГІС.

Головною проблемою при комп'ютерному зображенні лінійних умовних знаків є в зображення решти ліній і місць перегину. Справа в тому, що для багатьох умовних знаків, які застосовуються в картографії, існують різноманітні, чітко не формалізовані обмеження. Наприклад, якщо лінійний умовний знак є штриховою лінією, то її проміжки не повинні доводитися на кінці, а точки повороту позначаються лініями. Саме тому багатолінійні умовні знаки на створених картах мають неформальну (не періодичну) структуру.

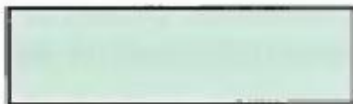
Майданні умовні знаки задають такими способами (рис. 5.7):

1. Одноколірне зафарбовування. Видима область зафарбовується одним кольором. Цей спосіб використовується у всіх ГІС.

2. Градієнтне зафарбування. При цьому способі зображувана область заповнюється шляхом плавного переходу кольорів відповідно до деякого колірної шаблону. Цей спосіб реалізований, наприклад, в ArcGIS.

3. Зафарбовування за шаблоном. При цьому способі задається деяка матриця розміром 8×8 , кожен елемент якої має значення 0 або 1. При відображенні вся область заповнюється такими шаблонами за пікселями, із використанням двох кольорів для відтворення значень 0 і 1 в матриці. У цьому способі можна плавно змінювати масштаб зображення зафарбовування, а це прийнятно тільки для зображення просторових даних на екрані комп'ютера, оскільки на принтері пікселі настільки малі, що малюнок при друкуванні буде виглядати, як звичайне одноколірне зафарбовування. Недоліком є те, що можна використовувати тільки два кольори. Цей спосіб дещо застарів, але, як і раніше, застосовується в багатьох ГІС.

4. Текстурне зафарбовування. Цей спосіб є логічним продовженням попереднього, він забезпечує створення текстури – довільного растрового зображення, яким буде заповнена відображена область на карті. На відміну від попереднього способу, текстури можуть масштабуватися. Недоліком цього способу є те, що в разі певного збільшення стають помітнішими окремі піксельні текстури. Цей спосіб використовується в багатьох ГІС.



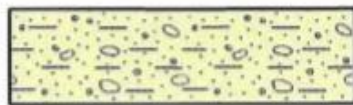
1. Одноколірне зафарбовування



2. Градієнтне зафарбовування



3. Зафарбовування за шаблоном



4. Текстурне зафарбовування



5. Заповнення точковим умовним знаком



6. Заповнення паралельними лініями

7. Багатошарові умовні знаки

Рисунок 5.7 – Різні способи завдання майданних умовних знаків в ГІС

5. Заповнення точковими умовними знаками. При цьому способі заданий довільний точковий умовний знак розмножується всередині відображуваної області. Якщо точковий умовний знак потрапляє на межу зафарбованої області, то залежно від налаштувань, він може або не зафарбовуватися зовсім, або відсікатися уздовж межі зафарбованої області. Цей спосіб реалізується в багатьох ГІС.

6. Заповнення паралельними лініями. При цьому способі відображається область, яка заповнюється паралельними лініями під деяким кутом і на деякій відстані одна від одної. Кожна з паралельних ліній визначається як деякий лінійний умовний знак. Цей спосіб реалізований, наприклад, в ArcGIS.

7. Багатошарові умовні знаки, що складаються із знаків, заданих різними наведеними вище способами. Цей спосіб використовується, наприклад, в ArcGIS, а також у деяких інших ГІС.

Необхідно зазначити, що всі умовні знаки можуть бути масштабованими і немасштабованими. Для перших розмір задається в одиницях системи координат карти, а тому в разі збільшення зображення розмір знака на екрані пропорційно збільшується. У немасштабованих знаках розмір задається в деяких одиницях (наприклад в міліметрах; це зручно, якщо карта готується для друку) або в системі координат екрана (у пікселях), а тому знак на екрані зображується завжди одного розміру, незалежно від поточного масштабу відображення.

У більшості ГІС (наприклад у ArcGIS) усі умовні знаки є немасштабованими. У деяких ГІС (наприклад у IndorGIS) умовні знаки можуть бути також масштабованими.

5.3 Візуалізація векторних даних

Більшість візуалізаторів векторних даних (як і умовні знаки) масштабуються або ні. Якщо вони масштабуються, то в разі збільшення розміру карти на екрані будуть пропорційно збільшуватися і відображатися й розміри умовних знаків. Якщо вони не масштабуються, то їх розміри на екрані будуть завжди однаковими незалежно від поточного масштабу зображення.

Розглянемо найпоширеніші різновиди візуалізаторів векторних даних.

1. Візуалізатори з однаковим умовним знаком. Ці візуалізатори є найпростішими. Усі просторові об'єкти відображаються однаково — одним і тим самим умовним знаком (рис. 5.8).

2. Візуалізатори за категоріями. Для використання таких візуалізаторів необхідно вказати певний атрибут, наявний у всіх відображуваних об'єктах.

Після цього ГІС аналізує весь набір просторових даних і для кожного можливого значення зазначеного атрибута задає певний умовний знак. Потім користувач може змінити умовні знаки, якими будуть відображатися просторові об'єкти, що мають певні значення атрибута.



Рисунок 5.8 – Відтворення карти світу за допомогою однакових умовних знаків

Щоб продемонструвати можливості візуалізації за категоріями, на рисунку 5.9 подано відтворення карти світу. Було обрано набір просторових даних із країнами світу, для яких вказано атрибут з іменами країн.

3. Візуалізатор за діапазонами. У цьому візуалізаторі, як і в попередньому, користувачем задається деякий атрибут. При цьому, однак, не кожному можливому значенню цього атрибута відповідає окремий умовний знак, а тільки деяким діапазнам значень цього атрибута.

4. Візуалізатор за умовними виразами. Цей спосіб є логічним продовженням попереднього методу. При цьому способі можна над атрибутами просторових об'єктів вказати логічні вирази, а також ті умовні знаки, які будуть відповідати цим атрибутам.

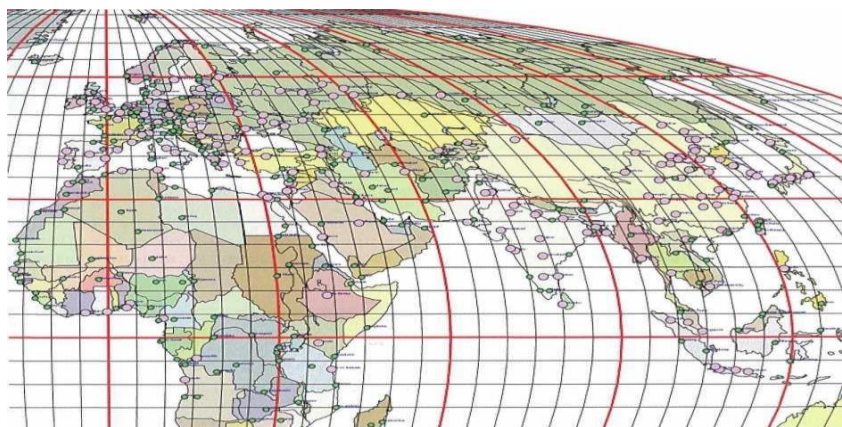


Рисунок 5.9 – Відтворення карти світу за допомогою різних умовних знаків

5. Візуалізатор за підписами дає змогу розмістити текстові написи поблизу об'єктів. Для цього необхідно вказати деякий атрибут або вираз над атрибутами, значення якого повинні бути виведені поблизу відповідних векторних об'єктів; також необхідно вказати параметри шрифту (ім'я, розмір, стиль і колір). Крім того, можна зазначити, що повторювані написи не повинні виводитися на екран, а написи не перекриватися один одним.

6. Візуалізатор за діаграмами дає змогу візуально аналізувати розподіл по карті обраних параметрів просторових об'єктів. При цьому необхідно вказати декілька атрибутів об'єктів, які будуть використовуватися для побудови діаграм (рис. 5.10).

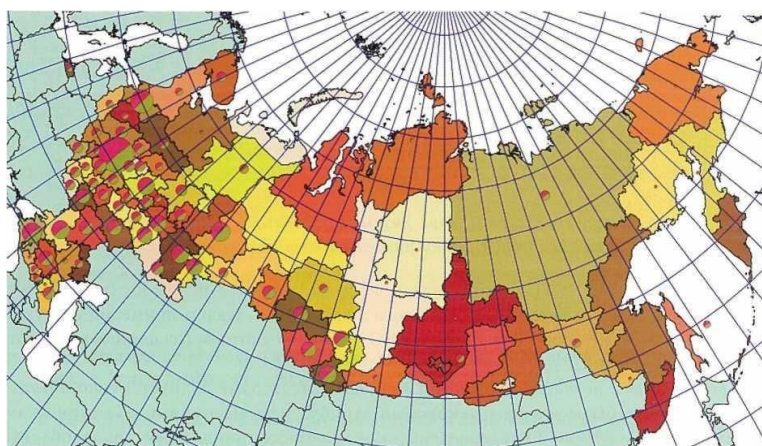


Рисунок 5.10 – Відтворення карти світу за допомогою діаграм* Площа діаграм показує населення суб'єктів України, а сегменти діаграм – співвідношення чоловічого і жіночого населення

7. Візуалізатор за точками щільності. Розкидані випадковим чином по полігону з певною щільністю деякі точкові умовні знаки (зазвичай це маленькі кружечки) дають змогу наочно уявити деякі характеристики об'єктів, наприклад щільність населення країн (рис. 5.11).

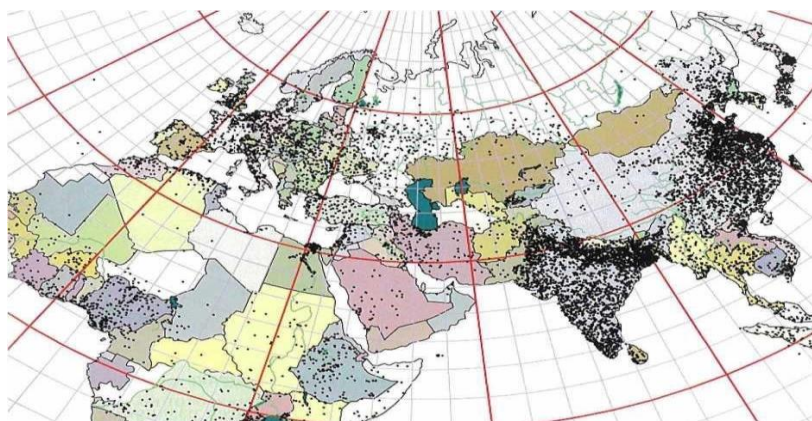


Рисунок 5.11 — Відтворення за допомогою точок щільності населення в різних країнах світу

8. Візуалізатор за сплайнами. Візуалізація поліліній і полігонів стандартним способом у вигляді ламаних не завжди дає змогу отримати адекватні візуальні результати, коли за допомогою цих геометричних фігур зображуються гладкі об'єкти. У такому разі фігури можна згладити сплайнами.

Зазначимо, що у всіх візуалізаторах є різні параметри, значення яких повинен заздалегідь вказати користувач (наприклад у візуалізаторі фіксованим умовним знаком потрібно вказати розмір умовного знака). У деяких ГІС такі значення не фіксуються, а обираються із вказаного атрибута або обчислюються на підставі деяких атрибутів.

5.4 Візуалізація растрових даних

Растрові просторові дані подаються у вигляді матриці, у кожному осередку (пікселі) якої зберігаються одне або декілька чисел. Кількість чисел що зберігаються в кожному пікселі, визначаються кількістю каналів (англ. band), з яких складається растр. На практиці зазвичай використовуються один або три канали (проте каналів може бути два, чотири й більше). Зазвичай три канали становить окремі RGB - складники видимого людським оком спектру світла – червоний (R), зелений (G) і синій (B). У разі використання тільки одного каналу в кожному пікселі зберігається деякий код, інтерпретування якого обумовлюється предметною областю (здебільшого за цим кодом за допомогою палітри растру зіставляється деякий колір). Відомо такі різновиди візуалізаторів растрових даних:

1. *Композитний візуалізатор.* Цей візуалізатор використовується для відображення растрів, що мають кілька каналів. При цьому користувач повинен

вказати, які з каналів растру будуть відповідати червоному, зеленому і синьому кольору під час формування кольору виведеного пікселя.

Цей різновид візуалізатора найоптимальніший в разі, якщо растр містить три канали з RGB-складниками кольору. Однак він може застосовуватися і для інших каналів. Наприклад, дані дистанційного зондування, що надходять від супутників, зазвичай містять безліч каналів з даними як у видимому, так і в ультрафіолетовому, інфрачервоному або радіодіапазоні хвиль. Такі дані відображають за допомогою композитного візуалізатора, вибираючи для відображення ті або інші канали. Про зображення, отримане цим способом, кажуть, що воно «показано в умовних кольорах», оскільки кольори зображення не співвідносяться із звичайними для людського ока кольорами (рис. 5.12).

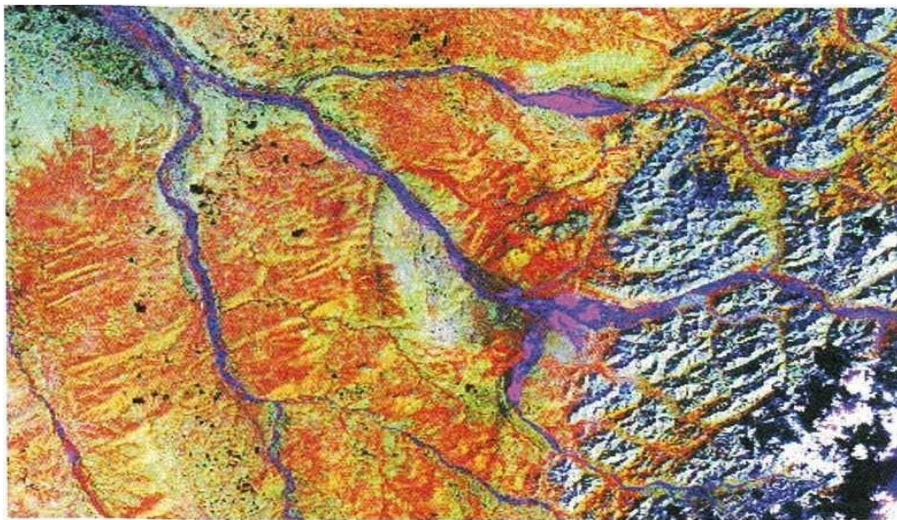


Рисунок 5.12 — Композитна візуалізація ДДЗ в умовних кольорах

2. *Візуалізатор за унікальними значеннями.* Цей візуалізатор уможлиблює відображення даних тільки одного каналу растру. У ньому з усіма можливими значеннями растру в пікселях співставляється деякий колір, за допомогою якого й відображається відповідний піксель. Таблиця такої відповідності називається палітрою.

3. *Візуалізатор за діапазонами значень.* Цей візуалізатор, як і попередній, дає змогу відображати дані тільки одного каналу растру. При цьому всі можливі значення в пікселях растру розбиваються на деякі діапазони, із якими співвідноситься деякий колір. При відображенні растру для кожного його пікселя визначається діапазон, у який потрапляє значення пікселя, а отже, визначається і відповідний для відображення колір на карті.

4. *Візуалізатор з розтягуванням значень уздовж колірного ряду.* Кожне значення в пікселях растру масштабується і приводиться до речових значень у

діапазоні від 0 до 1. Отримана величина визначає значення кольору вздовж деякого безперервного колірної ряду. На рисунку 5.19 наведено приклад візуалізації растру, що становить собою модель рельєфу, у кожному пікселі якого записана висота відповідної точки на поверхні Землі в деякій системі висот.

5.5 Візуалізація транспортних мереж

Нагадаємо, що транспортна мережа складається з вузлів, ребер і маршрутів (див. п. 2.4). При відображенні об'єктів транспортної мережі на карті можна застосовувати звичайні візуалізатори, використовувані для векторних даних. Однак у деяких ГІС є специфічні способи візуалізації для транспортних мереж. Наприклад, дуги мережі відображаються лініями зі стрілками на кінцях, що показують допустимі напрями руху. Маршрути громадського транспорту позначені лініями зі стрілками, що проходять уздовж дороги.

В окремих випадках інформація про транспортну мережу може відображатися за допомогою інших способів, а саме:

1. *Картограми транспортних потоків.* У цьому візуалізаторі дуги мережі відображаються лініями однакового кольору, але різної товщини, пропорційної до транспортного потоку на відповідній дузі мережі. Транспортний потік може становити певна кількість автомобілів, що проїхали по дорозі за деякий час (наприклад за годину або добу), кількість пасажирів, перевезених за вказаною дугою, або інше.



Рисунок 5.13 – Візуалізація транспортних потоків

2. *Міжрайонні зв'язки* – це картограма укрупнених транспортних потоків між транспортними районами.

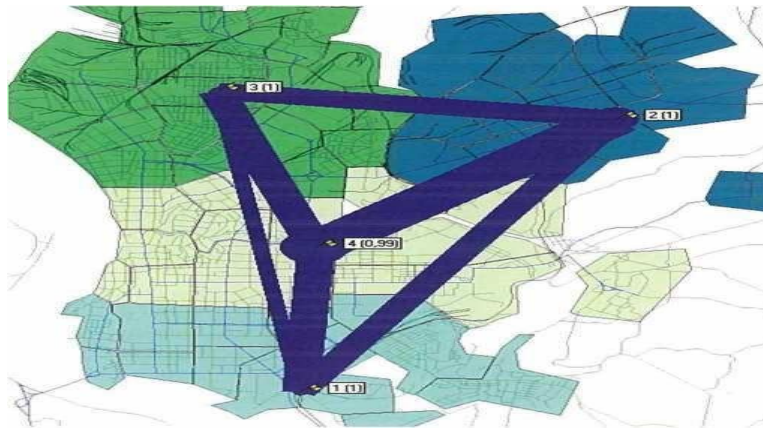


Рисунок 5.14 – Візуалізації міжрайонних зв'язків транспортних районів

Між центрами транспортних районів проводяться лінії, товщина яких має бути пропорційною величині узагальненого транспортного потоку по всіх дорогах між двома районами (рис. 5.14).

5.6 Візуалізація поверхонь

Поверхні в ГІС зазвичай подаються двома способами – у вигляді регулярної або нерегулярної мережі відліків, тобто за допомогою растрової або триангуляційної моделі.

Відомо декілька головних способів відображення поверхонь на карті:

1. *Відображення кольорами за висотою.* Кожна точка на карті відображається кольором, який обирається відповідно до висоти відповідної точки на поверхні (рис. 5.15, а).

2. *Світлотіньове відображення (спосіб «відмивання рельєфу»).* При цьому способі кожна точка на карті відображається кольором так, щоб створювався ефект «опуклого» тривимірного зображення (рис. 5.15, б).

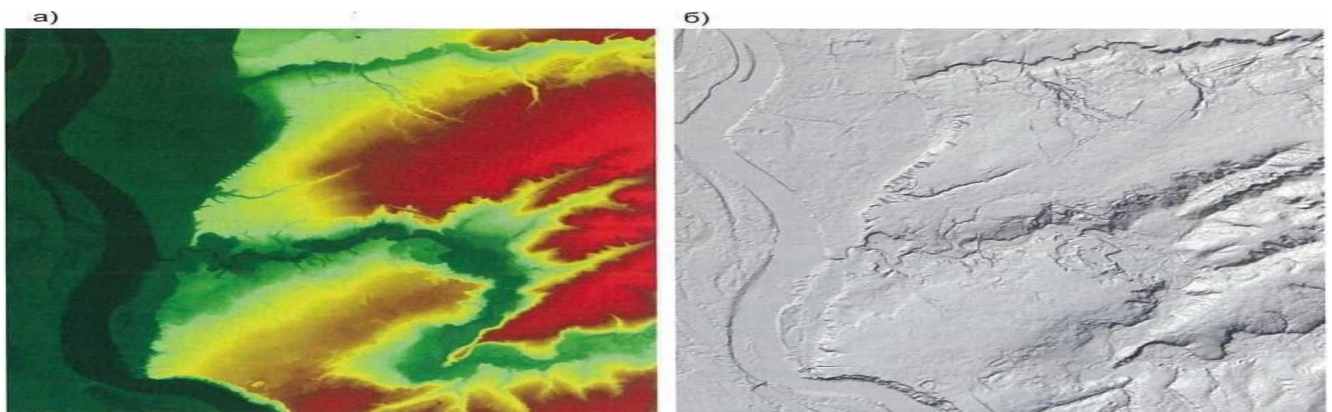


Рисунок 5.15 – Відображення моделі рельєфу кольорами за висотою (а) і світлотінню (б)

3. *Відображення ізолініями.* Цей спосіб є найпоширенішим у традиційній («паперовій») картографії. При ньому на карті відображається безліч ізоліній – ліній однакової висоти, що проводяться через різні висотні позначки з деяким кроком (рис. 5.16, а).

4. *Відображення ізоконтрами.* Ізоконтри – це області на карті, у яких висоти розподілені в деякому діапазоні. По суті, ізоконтри – це області між суміжними ізолініями. Цей спосіб відображення є комп'ютерним узагальненням способу ізоліній, що дає змогу в деяких випадках наочніше відображати розподіл висот на карті. Під час відображення ізоконтурів на карті їх зазвичай розфарбовують залежно від висот окремих контурів (рис. 5.16, б).

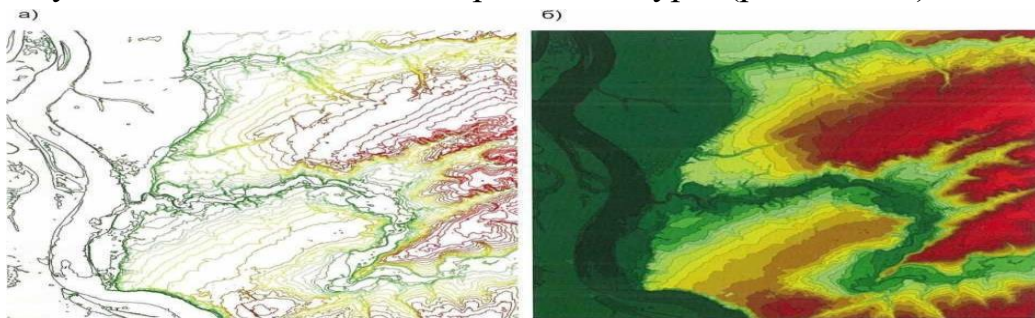


Рисунок 5.16 – Відображення моделі рельєфу ізолініями (а) й ізоконтрами (б)

5. *Зображення ізокліни.* Ізокліни – це лінії з однаковим нахилом на поверхні, побудовані з певним кроком. Нахил у визначеній точці поверхні вимірюється як відхилення нормалі до поверхні в цій точці від вертикалі. нахил може вимірюватися в градусах, однак здебільшого він вимірюється у відсотках або проміле.

Величина нахилу поверхні у відсотках вказує, на скільки метрів зміниться висотна відмітка на поверхні в разі переміщенні уздовж поверхні на 100 м. Наприклад, відсотки використовуються для позначення ухилу на дорожніх знаках. Приміром, значення нахилу 5 % означає перепад висот у 5 м на 100 м дороги.

Аналогічно вимірюється величина нахилу поверхні в проміле, тільки за основу береться переміщення по поверхні на 1000 м. Наприклад, нахил дороги в 20 ‰ означає перепад висот у 20 м на 1000 м дороги.

У ГІС ізокліни, як і ізолінії, можуть зображуватися як окремі лінії (рис. 5.17, а), так і у вигляді замкнутих контурів (рис. 5.17, б).

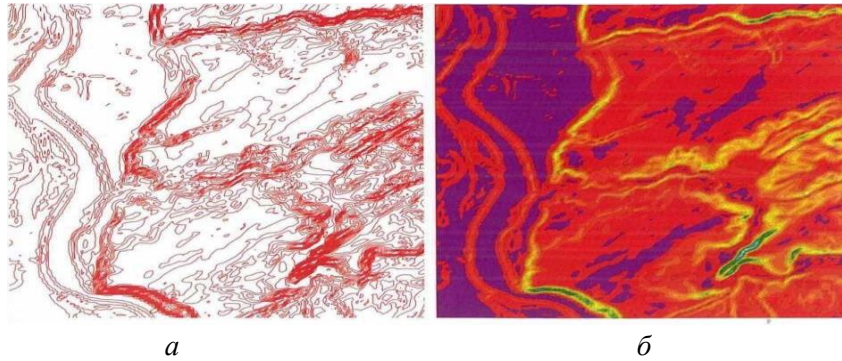


Рисунок 5.17 – Відображення моделі рельєфу ізокліни у вигляді ліній (а) і контурів (б)

6. *Відображення векторами нахилів.* Цей спосіб візуалізації зазвичай використовується при роботі у великому масштабі, коли досить візуально визначити напрям і кут нахилу поверхні. Зазвичай в центрі кожного осередку поверхні (у кожному осередку регулярної моделі або в кожному трикутнику нерегулярної) позначається стрілка, спрямована в бік нахилу поверхні, а її довжина показує ступінь нахилу: що довша стрілка, то більший нахил (рис. 5.18, а). Іноді замість довжини стрілки позначається її товщина: що товща стрілка, то більший нахил.

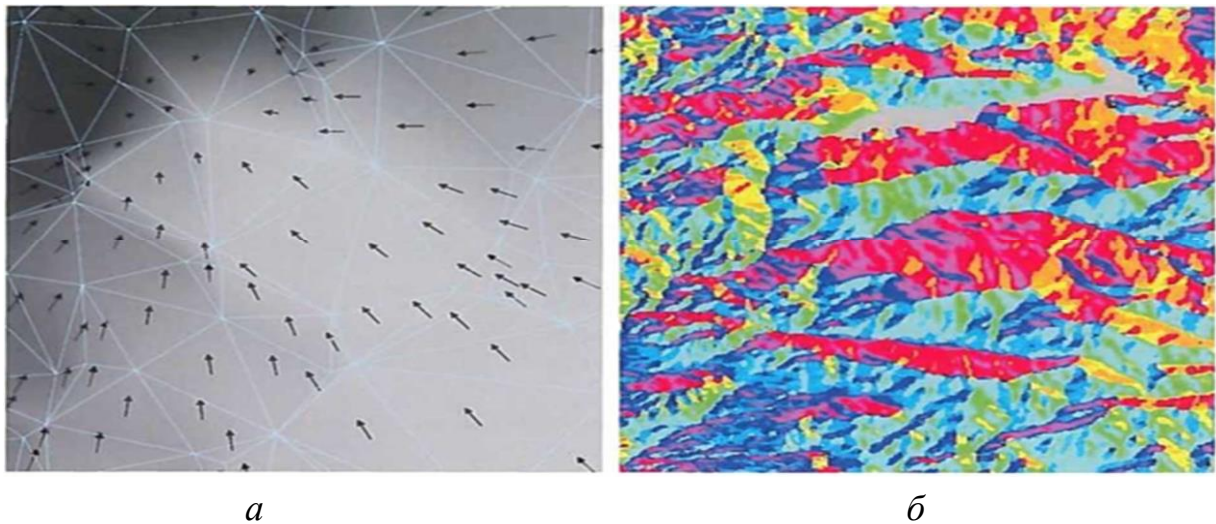


Рисунок 5.18 – Відображення моделі рельєфу векторами нахилів (а) і експозиціями схилів (б)

7. *Відображення експозиціями схилів.* Цей спосіб дає змогу візуально визначити, у який бік щодо світла нахилена поверхня. Зазвичай сторони світу ділять на вісім частин секторами по 45° (північ, південь, захід, схід, північний захід, північний схід, південний захід і південний схід), а потім для кожного

осередку моделі поверхні визначають напрям нахилу поверхні і обирають один із восьми кольорів відображення осередку (рис. 5.18, б).

5.7 Тривимірна візуалізація

Тривимірна візуалізація в ГІС є додатковим ілюстративним засобом, що дає змогу інтерактивно оглянути цифрову модель місцевості з ефектом присутності.

Звичайна ЦММУ зазвичай не містить достатньо інформації для створення повноцінного тривимірного зображення. Така ЦММ, доповнена допоміжними відомостями, називається віртуальною моделлю місцевості (далі — ВММ), яку іноді називають сценою.

У наш час віртуальні моделі місцевості відображаються на екрані комп'ютера за допомогою стандартних засобів, наявних у всіх сучасних комп'ютерах. Майже всі сучасні комп'ютери в своєму складі мають відеокарти, що забезпечують роботу в тривимірному режимі. Майже всі операційні системи містять програмні бібліотеки для тривимірної візуалізації, серед яких найвідоміші OpenGL і DirectX. Використання тієї чи іншої програмної бібліотеки в спричиняє певні обмеження. Насамперед це обмеження по швидкості, якості й детальності візуалізації.

Віртуальна модель місцевості містить такі різновиди:

1. *Моделі рельєфу (ЦМР)* у вигляді регулярної або нерегулярної мережі відліків. Щодо якості тривимірної візуалізації найкращого результату зазвичай досягають за допомогою нерегулярної (триангуляційної) моделі рельєфу, особливо в разі однакової кількості елементів ЦМР. Однак часто застосовується і регулярна (растрова) модель, особливо для дрібномасштабних карт.

Відомо, що швидкість тривимірної візуалізації (кількість кадрів, ГІС за 1 с) моделі рельєфу зазвичай обумовлюється тільки кількістю елементів ЦМР, а тому зазвичай обирається нерегулярна триангуляційна модель ЦМР, незважаючи на те, що файл нерегулярної моделі займає на диску набагато більше місця, ніж файл аналогічної регулярної моделі.

На рисунку 5.19 наведено приклад тривимірного зображення триангуляційної моделі рельєфу, а на рисунку 5.20 – приклад регулярної моделі.

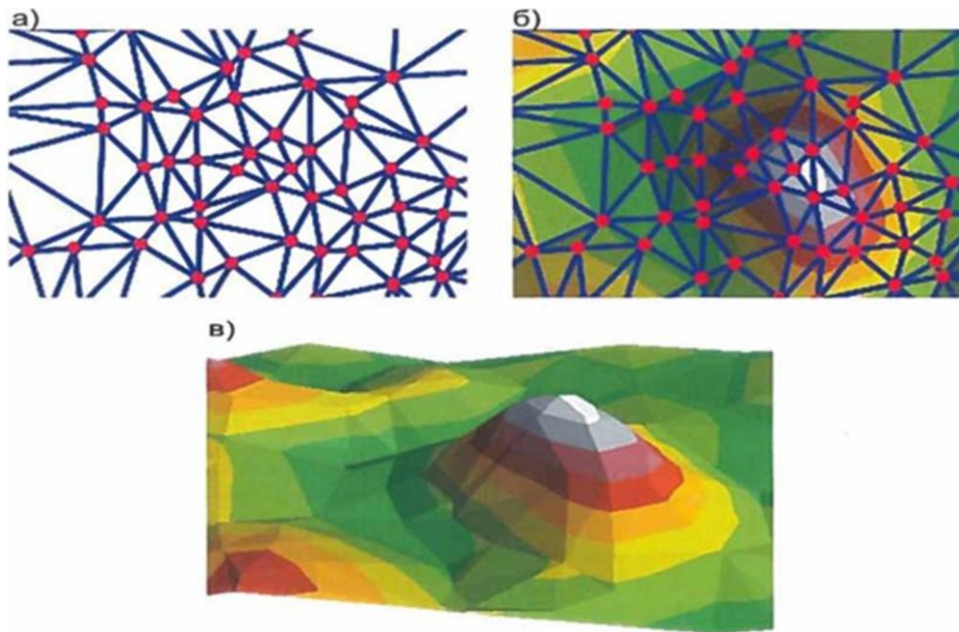


Рисунок 5.19 – Тривимірне відображення триангуляційної моделі рельєфу: а – триангуляція; б – триангуляційна модель рельєфу; в – тривимірне відображення рельєфу

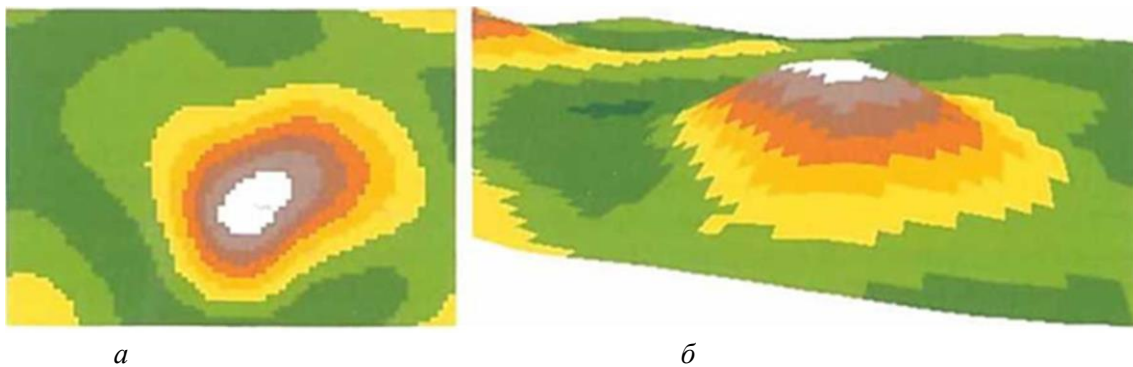


Рисунок 5.20 – Тривимірне відображення регулярної моделі рельєфу: а – регулярна мережа; б – тривимірне відображення рельєфу

2. *Растрові зображення земної поверхні.* Такими може бути космічний або аерофотознімок, відскановане зображення карти або зображення двомірної карти, автоматично з генерованої звичайними засобами ГІС. Такі растрові зображення накладаються (натягуються) поверх моделі рельєфу методом текстуровання (рис. 5.21).



Рисунок 5.21 – Тривимірне зображення місцевості з натягнутими на рельєф аерофотознімками й векторними даними (будівлі)

3. *Векторні дані*, які шляхом видавлювання по вертикалі набувають об'ємного вигляду. Наприклад, шар будівель, поданий у вигляді полігонів, шляхом видавлювання вгору на деяку висоту (залежно від значень атрибутів) набуває вигляду багатогранників. Сторони цих будівель можуть бути пофарбовані одним кольором, або на них можна нанести текстуру (рис. 5.21).

4. *Підписи об'єктів*. Виокремлюють два різновиди таких підписів — плоскі й тривимірні. Плоскі підписи наносяться поверх готового тривимірного зображення поблизу обраних об'єктів. При цьому недоліком є те, що такі плоскі підписи можуть взаємно перекриватися, спотворюючи текст, і не завжди зрозуміло, якого об'єкта стосується напис.

Тривимірні підписи – це, по суті, повноцінні тривимірні об'єкти, які є частиною тривимірної сцени. Тривимірні підписи зазвичай подібні до дорожніх знаків, встановлених у деяких точках місцевості, але при цьому їх можна повернути до читача. За необхідності можна наблизитися до цього підпису й розглянути його.

5. *Тривимірні об'єкти спеціального призначення*. Зазвичай ці об'єкти імпортуються з інших програм у вигляді готових моделей, поданих у деякому стандартному форматі, при цьому здебільшого використовуються формати 3D Studio (файли з розширенням .3DS) і X-файли (файли з розширенням .X). Таким способом можна, наприклад, імпортувати детальну тривимірну модель будівлі і

встановити її в деякому місці на карті, при цьому будівля з'явиться у тривимірному вікні.

Деякі геоінформаційні системи уможливають створення автоматичних тривимірних моделей деяких стандартних різновидів об'єктів, зокрема будівель (мають дах зі скатами), автомобілів, літаків, трубопроводів, дорожніх знаків, обгороджень, парканів, зелених насаджень тощо (рис. 5.22).



Рисунок 5.22 — Тривимірне зображення місцевості з дорогою, будівлями, шляхопроводом і зеленими насадженнями

На сьогодні здебільшого використовуються такі способи перегляду віртуальних моделей місцевості:

1. *Статичний перегляд ВММ з певної точки огляду.* Цей спосіб найбільш простий і не потребує великих потужностей комп'ютера.

2. *Обліт ВММ в реальному часі (в режимі літака).* Цей спосіб забезпечує найповніший візуальний огляд місцевості, проте він передбачає наявність великої потужності відеокарти й комп'ютера загалом, оскільки для забезпечення ефекту присутності зображення повинно перераховуватися в реальному часі зі швидкістю не менше 10 — 20 кадрів/с. У цьому режимі користувач може пересуватися по тривимірній сцені, використовуючи клавіатуру або мишу.

3. *Об'їзд ВММ в реальному часі (у режимі автомобіля або пішохода).* Цей спосіб, по суті, еквівалентний попередньому, за винятком того, що в цьому випадку висота точки огляду зафіксована над поверхнею.

4. *Заздалегідь записаний відеофайл.* Попередні два способи не завжди можна повноцінно використовувати внаслідок високих вимог до швидкості роботи відеокарти й комп'ютера загалом. Саме тому в багатьох тривимірних ГІС існують можливості для створення відеоролика, що відтворює зображення уздовж деякої заздалегідь заданої траєкторії польоту. ГІС прораховує окремі кадри зображення і зберігає їх у відеофайл, наприклад у форматі AVI. Після цього отриманий відеоролик можна вже переглядати за допомогою будь-яких засобів перегляду відеофільмів на звичайних (найпотужніших) комп'ютерах.

Зазначимо, що більшість ГІС не забезпечують роботу з великими ВММ в реальному режимі часу. Це зазвичай обумовлено технічними особливостями реалізації ГІС, коли ВММ цілком завантажується в оперативну відеопам'ять.

У наш час можливість роботи з ВММ перебачена в багатьох ГІС, однак більшість із них істотно обмежені. Серед безлічі рішень для роботи з ВММ можна виокремити програмний продукт SiteBuilder 3D (виробник MultiGen-Paradigm, США), за допомогою якого можна створювати віртуальні моделі місцевості з великою кількістю об'єктів і високим ступенем деталізації. Цей продукт реалізований як програмна надбудова для ArcView GIS 3.2 і для ArcGIS 8.x / 9.x.

SiteBuilder 3D на підставі звичайних (плоских) даних у ГІС самостійно створює необхідну ВММ з додатковими структурами даних, що уможливають виконання візуалізації тривимірних карт в реальному режимі часу. На рисунку 5.23 наведено приклад ВММ, побудованого за допомогою SiteBuilder 3D на підставі карти в ArcView GIS 3.2.

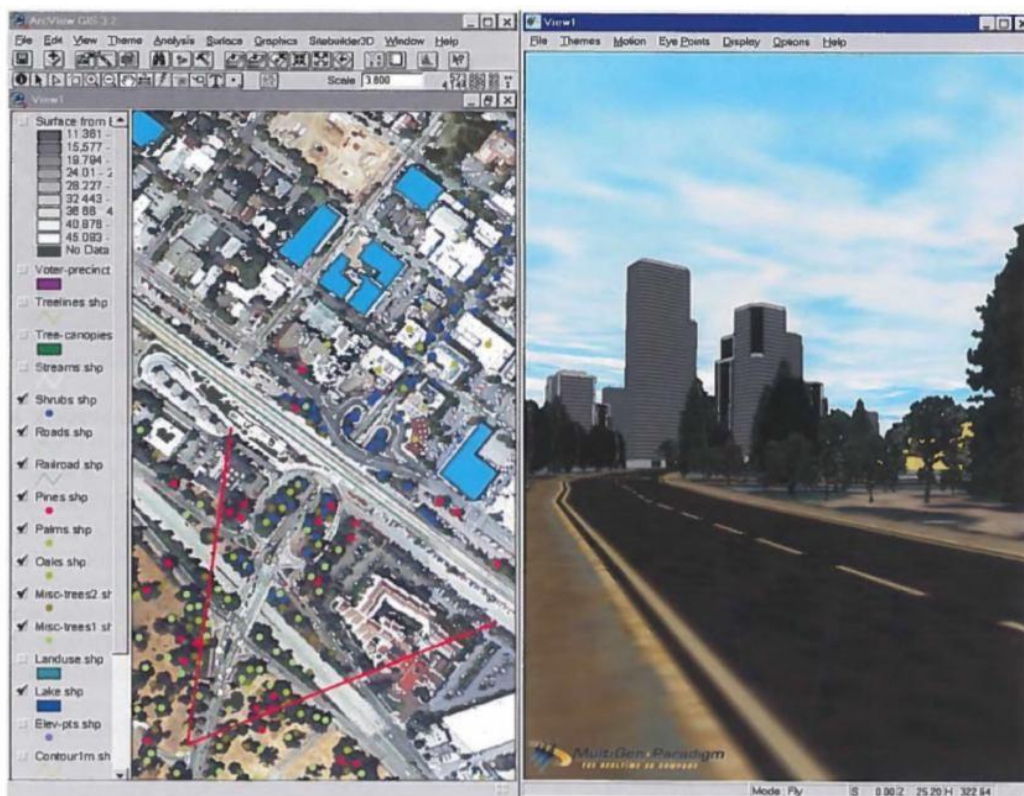


Рисунок 5.23 – Тривимірне зображення місцевості, побудоване за допомогою програми SiteBuilder 3D в середовищі ArcView GIS 3.2

У лівій частині екрана подано вихідну двовимірну карту, у правій – відповідне тривимірне зображення. Для зручності навігації в просторі в лівій частині екрана двома лініями зображено кут огляду.

5.8 Картографічні анімації

Карти в ГІС є прямим комп'ютерним аналогом паперових карт, проте комп'ютери забезпечують використання нових образотворчих можливостей, що не мають аналогів в традиційній картографії. Одним з таких інструментів є функція тривимірної візуалізації, розглянута в попередньому розділі. У цьому розділі розглянемо інший інструмент, що уможливорює створення динамічних (рухливих, анімаційних) зображень картографічних об'єктів.

Динамічні карти можна розподілити на такі різновиди:

1. *Оперативні карти*, що змінюються відповідно до змінювання геометричних або атрибутивних характеристик просторових об'єктів. Такі зображення призначені для оперативного моніторингу стану об'єктів у реальному режимі часу.

Типовим прикладом застосування оперативних карт є відстеження стану об'єктів, що рухаються на місцевості. Це можуть бути, наприклад, автомобілі оперативних служб, що переміщуються по місту. Ці машини повинні бути забезпечені GPS-приймачами і періодично передавати інформацію в певний комп'ютерний центр, повідомляючи про змінювання свого розміщення в просторі. У цьому центрі інформація про стан автомобілів повинна зберігатися в базі даних. Зі свого боку, ГІС повинна періодично робити запити до цієї бази даних, отримувати звітти інформацію про становище автомобілів і перемальовувати карту з автомобілями.

Ще одним типовим прикладом застосування оперативних карт є використання їх для відображення різноманітної технологічної інформації, що надходить від різних давачів шляхом телеметрії. Наприклад, система управління світлофорами в місті складається з електронної карти, на якій відображається стан всіх світлофорів, а також засобів віддаленого управління світлофорами.

Світлофори можуть як керуватися з одного центру, так і самостійно змінювати свій стан (наприклад після натискання кнопки пішоходом, який бажає перейти дорогу). Тому на світлофорах повинні розміщуватися давачі, що передають в центральну базу даних відповідну інформацію. Зі свого боку, ГІС повинна періодично перевіряти стан усіх світлофорів і перемальовувати зображення карти.

Зазначимо, що такі системи, що включають засоби для відображення і змінювання стану об'єктів, зазвичай відносять до класу програмних продуктів АСУ ТП (автоматизовані системи управління технологією виробництва). Ці АСУ ТП зазвичай включають засоби для візуального відображення різних параметрів об'єктів на схемах, кресленнях і планах. У деяких випадках АСУ ТП можуть бути побудовані на базі ГІС.

Зауважимо, що на відміну від попереднього прикладу щодо автомобілів, де змінювалися геометричні характеристики просторових об'єктів (координати автомобілів на місцевості), в АСУ ТП геометрія об'єктів зазвичай фіксована, але змінюються атрибутивні характеристики. За допомогою телеметрії в АСУ ТП знімаються покази з різних приладів і передаються на сервер у базу даних. Зі свого боку, ГІС періодично обирає з бази даних різні атрибути просторових об'єктів і перемальовує карту (рис. 5.24).

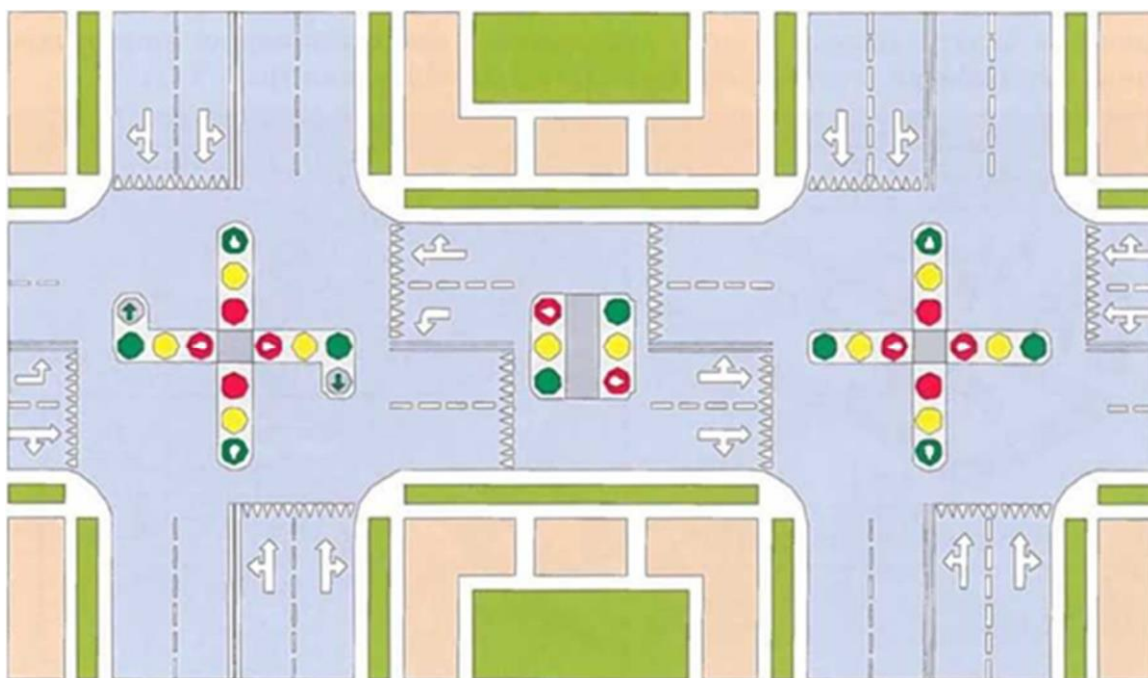


Рисунок 5.24 – Карти, на якій оперативно відображається стан світлофорів

2. *Карти з анімованими умовними знаками.* На таких картах використовуються особливі умовні знаки, які постійно змінюють свій вигляд. У звичайній картографії умовні знаки мають відповідні форму, розмір, колір, яскравість, орієнтацію і внутрішню структуру. В анімованих умовних знаках ці характеристики постійно змінюються за деякими законами. При цьому додатковою характеристикою умовних знаків є закон змінювання знаків, зокрема швидкість змінювання.

Розглянемо деякі найпоширеніші способи анімації умовних знаків.

Анімація форми. Наприклад, на карті країни міста можуть бути зображені у вигляді пульсуючих кружечків. Розмір кружечків повинен періодично змінюватися від максимального розміру, пропорційного до кількості населення міста, до мінімального (наприклад половина від максимального). При цьому швидкість змінювання розміру кружечків повинна бути пропорційна до середньорічного приросту населення у відсотках. Якщо приріст населення незначний, то кружечки повинні зменшуватися від максимального до мінімального розміру, а потім одразу ставати максимальними. Якщо приріст населення значний, то кружечки повинні збільшуватися.

Анімація кольору. При цьому способі колір умовного знака періодично змінюється від одного значення до іншого, до того ж швидкість пульсації кольору може бути пропорційна деякому заданому параметру. При використанні способу анімації розташування умовного знака не змінюється, але змінюється його розташування на карті. Умовний знак може переміщуватися по деяким траєкторіям (наприклад уздовж переважаючих напрямів переміщення

повітряних мас) або навколо однієї точки на карті. Наприклад, такими умовними знаками, розміщеними на карті у населених пунктах, можна описати рівень міграції. При цьому частота випадкових коливань умовного знака повинна бути пропорційною до обсягу міграції на душу населення, а амплітуда – до середньої дальності.

3. *Анімовані двовимірні карти динаміки.* Такі карти складаються з послідовності карт, що містять один і той самий набір просторових об'єктів (точкових, лінійних або майданних), але з різними геометричними (зображення динаміки розташування) і атрибутивними (зображення динаміки стану) характеристиками. За допомогою такого способу, наприклад, можна показати динаміку в часі руху фронтів повітряних мас по поверхні Землі, динаміку змінювання забруднення навколишнього середовища.

Такі карти динаміки можна переглядати окремими кадрами, обираючи певну дату й час, або за допомогою ГІС можна заздалегідь прорахувати всі кадри зображення і зберегти їх у відеофайл (файл з розширенням .AVI). Такий файл надалі можна переглядати у будь-якій стандартній програмі програвання відеофільмів.

4. *Анімовані анаморфози.* Цей різновид анімації можна розглядати як різновид попереднього – як карти динамічні, що за допомогою анаморфічних засобів передають змінювання різних параметрів у часі. Наприклад, так можна створити відеофільм змінювання населення Землі в різних регіонах і в різні часові періоди.

5. *Анімовані двовимірні карти руху.* У таких картах всі об'єкти фіксовані й не змінюються під час анімації. Змінюється масштаб зображення і координати центру карти на екрані. Послідовність кадрів, що відповідають різним ракурсам, за допомогою ГІС зберігається у відеофайл для подальшого перегляду. Такі анімовані карти руху зазвичай використовуються для презентацій.

6. *Анімовані тривимірні карти динаміки.* Двовимірні карти уможливають анімування фіксованого набору просторових об'єктів, що змінюють свої геометричні або атрибутивні характеристики. Перевагою тривимірної анімації порівняно з двовимірною є можливість повніше анімувати поверхні і інші тривимірні об'єкти.

7. *Анімовані тривимірні карти руху.* Цей спосіб анімації співпадає з попереднім, де описано процес анімування тривимірної моделі місцевості.