

6 ПРОСТОРОВИЙ АНАЛІЗ

6.1 Вимірювальні операції

До *вимірювальних операцій (картометричних функцій)* у ГІС відносять функції, що уможливають визначення геометричних характеристик об'єктів, явищ або простору по карті (у проекції або по поверхні), такі як відстані, площі, азимути тощо.

Усі вимірювання в ГІС можна виконувати двома способами: вказуючи об'єкти, характеристики яких необхідно отримати, й інтерактивно задаючи точки вимірюваної геометричної фігури.

Розглянемо головні *вимірювальні операції*, які можна використовувати в геоінформаційних системах:

1. *Визначення координат точок на карті.* Щоб використати цю функцію, у більшості ГІС зазвичай не потрібно обирати спеціальний режим роботи. При переміщенні мишки по карті в рядку статусу зазвичай з'являються координати зазначеної курсором точки. До того ж рядку статусу може відображатися й висотна відмітка цієї точки, якщо в ГІС деяка поверхня обрана як поточна.

Координати точок, які відображаються в ГІС, зазвичай зазначаються у початкових координатах об'єктів на карті (наприклад у градусах), проте можуть бути подані і в системі координат проекції (наприклад у метрах у проекції Гаусса-Крюгера).

2. *Вимірювання відстаней, азимутів і кутів.* Користувач повинен вказати на карті в ГІС послідовність точок ламаної, довжину якої потрібно обчислити. У рядку статусу ГІС виводить загальну довжину ламаної, а також довжину останнього сегмента ламаної. Крім того, для останнього сегмента може виводитися азимут і кут повороту щодо попереднього сегмента.

3. *Вимірювання площ і периметрів.* Як і при попередньому способі, користувач повинен задати в ГІС вершини деякого багатокутника. При цьому в рядку статусу ГІС будуть виводитися площа й периметр.

4. *Вимірювання лінійних координат (пикету і зміщення) точки щодо траси.* У цьому режимі користувач повинен вказати деяку лінію, щодо якої визначаються лінійні координати. У процесі, переміщення курсору мишки по карті в рядку статусу ГІС виводиться пикет і зміщення зазначеної точки.

Зазначимо, що деякі геоінформаційні системи забезпечують вимірювання відстаней і площ відповідно до форми земної поверхні. При цьому обчислення можна здійснювати або за поверхнею референс-

еліпсоїда, або за деякою цифровою моделлю рельєфу, заданою у вигляді регулярної або нерегулярної мережі.

6.2 Векторний аналіз

Під терміном *векторний аналіз* у геоінформатиці розуміють набір інструментів, що дають змогу аналізувати наявні геометричні об'єкти й будувати нові.

Усі операції векторного аналізу визначені щодо фігур трьох типів: точкових, лінійних і площинних.

У наступних підрозділах буде розглянуто різні види операцій векторного аналізу та застосування їх на практиці.

6.2.1 Аналіз відношень

Під час аналізу просторових об'єктів часто виникає необхідність пошуку об'єктів, що пов'язані один з одним, є суміжними, вкладеними або перебувають у якихось інших відношеннях. Наприклад, нехай задано деяку автомобільну дорогу на карті області. По карті земельних ділянок можна визначити смугу відведення, у якій розташовується дорога, і відповідну охоронну зону. Після цього можна визначити всі будівлі, які вістяться всередину відповідної охоронної зони.

Усі операції аналізу відношень розподіляються на три групи:

А. *Бінарні операції визначення відношень* між парою заданих об'єктів. Результатом таких операцій є отримання логічного значення, за якими можна визначити, перебувають два об'єкти в цьому відношенні чи ні.

Б. *Пошукові запити*, що обирають всі об'єкти із заданого набору просторових даних, які перебувають у деякому бінарному відношенні до зазначеного об'єкта. Результатом цієї операції є отримання безлічі об'єктів із заданого набору даних, що задовольняють вказані співвідношення.

В. Операції *просторового поєднання* двох наборів просторових даних. Результатом цієї операції є отримання безлічі пар об'єктів, що задовольняють деякі задане бінарне відношення, до того ж перші об'єкти в цих парах повинні належати до першого набору просторових даних, а другі - до другого.

Усього виокремлюють вісім головних різновидів *бінарних відношень* між просторовими об'єктами. Надалі їх буде розглянуто, щодо кожного з них буде наведено рисунки, які характеризують їх стосовно трьох головних типів (залежно від розмірності) векторних даних: точкових (0-мірних), лінійних (1-мірних) і площинних (2-мірних). Для деяких поєднань типів фігур описані операції не мають значення, про що зазначено на рисунках.

Кожне відношення має два аргументи, які на малюнку позначені як «Перша фігура» і «Друга фігура», відповідно на перетині розміщується приклад співвідношення. Усі відношення відповідно названі дієсловом (із можливістю подальшого наведення), наприклад «Містить в собі», тому потрібно читати так:

«Перша фігура містить в собі другу фігуру».

Розглянемо ці відношення:

1. Співвідношення «Чи співпадає з» (*Equals*). Дві фігури перебувають у цьому відношенні, якщо вони співпадають (рис. 6.1). До того ж фігури вважаються співпадними, якщо всі вузлові точки фігур (ламаних або полігонів) мають співпадні координати. Співвідношення визначається тільки для фігур, що мають однакові розмірність.

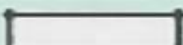
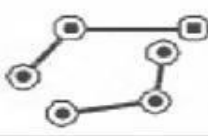
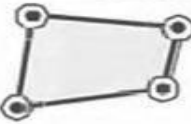
Equals	Перша фігура		
			
		Відношення не визначене	Відношення не визначене
	Відношення не визначене		Відношення не визначене
	Відношення не визначене	Відношення не визначене	

Рисунок 6.1 – Співвідношення «Чи співпадає з» (*Equals*)

2. Співвідношення «Містить в собі» (*Contains*). Дві фігури перебувають у цьому відношенні, якщо друга фігура перебуває всередині першої, до того ж жодна точка другої фігури не повинна перебувати поза першою.

Співвідношення не визначається в разі, якщо друга фігура більша за розміром, порівняно з першою.

Варіантом цього відношення є вираз «Повністю містить в собі» (*Covers*), коли друга фігура не перетинає межу першої.

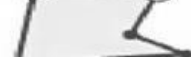
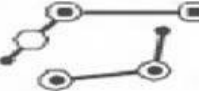
Contains		Перша фігура		
				
  				
		Відношення не визначене		
		Відношення не визначене	Відношення не визначене	

Рисунок 6.2 – Співвідношення «Містить у собі» (Contains)

3. Співвідношення «Міститься в» (*Within, Inside*). Дві фігури перебувають у цьому відношенні, якщо перша фігура розміщується всередині другої, до того ж жодна точка першої фігури не повинна перебувати поза другою (рис. 6.3). Співвідношення вважається невизначеним, якщо друга фігура менша за розміром порівняно першого. По суті, це відношення є протилежним щодо попереднього («Містить в собі»), тобто потрібно тільки поміняти місцями аргументи відношень. Варіантом цього відношення є «Повністю міститься в» (*Covered By*), коли перша фігура не перетинає межу другої.

Within		Перша фігура		
				
  			Відношення не визначене	Відношення не визначене
				Відношення не визначене
				

Рисунок 6.3 – Співвідношення «Міститься в» (Within)

4. Співвідношення «Перетинається з» (*Crosses*) можливе тільки між лінійними і площинними об'єктами, при цьому хоча б одна фігура повинна бути лінією.

Якщо обидві фігури є майданними, то таке співвідношення називається «Накладається на». Дві фігури перебувають у цьому відношенні, якщо вони мають спільні точки, тобто дві лінії повинні мати

точку перетину, а лінія й полігон мають перетинатися за деякою лінією (рис. 6.4).

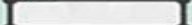
Crosses		Перша фігура		
				
		Відношення не визначене	Відношення не визначене	Відношення не визначене
		Відношення не визначене		
		Відношення не визначене		Відношення не визначене

Рисунок 6.4 – Співвідношення «Перетинається з» (Crosses)

6. Співвідношення «Відокремлена від» (Disjoint). Дві фігури перебувають у цьому відношенні, якщо вони не мають спільних точок (рис. 6.5).

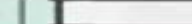
Disjoint		Перша фігура		
				
				
				
				

Рисунок 6.5 – Співвідношення «Відокремлена від» (Disjoint)

7. Співвідношення «Перекривається з» (Overlaps). Дві фігури перебувають у цьому відношенні, якщо область перетину цих фігур має ту саму розмірність, що й самі фігури, тобто ці фігури мають спільні внутрішні точки (рис. 6.6). Співвідношення визначається тільки для фігур, що мають однакові розміри.

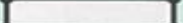
Overlaps		Перша фігура		
				
  		 Відношення не визначене	Відношення не визначене	Відношення не визначене
		Відношення не визначене		Відношення не визначене
		Відношення не визначене	Відношення не визначене	

Рисунок 6.6 – Співвідношення «Перекивається з» (Overlaps)

7. Співвідношення «Межує з» (*Touches*). Дві фігури перебувають у цьому відношенні, якщо вони з'єднуються тільки своїми межами, а не внутрішніми областями, тобто ламані можуть поєднуватися тільки своїми вершинами, а полігони – контурами (рис. 6.7). Співвідношення не визначається тільки для двох точкових фігур.

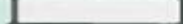
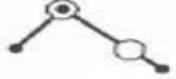
Touches		Перша фігура		
				
  		Отношение не определено		
				
				

Рисунок 6.7 – Співвідношення «Межує з» (*Touches*)

8. Співвідношення «Торкається» (*Any Interacts*). Дві фігури перебувають в цьому відношенні, якщо вони мають спільні точки (рис. 6.8).

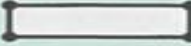
Crosses		Перша фігура		
				
				
				
				

Рисунок 6.8 – Співвідношення «Торкається» (Any Interacts)

Крім бінарних, відомі й інші відношення, наприклад – тернарне (аргументами є дві фігури і деякий параметр) «На відстані» (*Distance*). У різних варіантах цього відношення відстань між найближчими точками двох фігур має позначатися так: «дорівнює», «менше», «більше», «не більше» або «менше» заданої величини.

Як було зазначено, під час пошукових запитів із заданого набору даних виокремлюються всі фігури, що перебувають у деякому бінарному співвідношенні із вказаною фігурою. Зазвичай на практиці використовуються такі різновиди запитів (особливо при інтерактивному позначенні об'єктів на карті):

1. *Пошук фігур*, вкладених у заданий прямокутник, коло або довільний багатокутник. Знайдені об'єкти повинні повністю поміщатися всередині заданої фігури.
2. *Пошук фігур, що перетинаються* із заданим прямокутником, колом або довільним багатокутником. Знайдені фігури повинні повністю або хоча б частково поміщатися всередині заданої фігури.

Зазначимо, що з усіх можливих *операцій поєднання* здебільшого використовують такі:

1. *Пошук усіх пар вкладених багатокутників* із двох множин багатокутників за умови, що багатокутник першої множини має увійти в багатокутник другої.
2. *Пошук усіх пар багатокутників*, що перетинаються, із двох множин багатокутників, якщо багатокутник першої множини перетинається з деякими багатокутниками другої.

Зазначимо, що відношення фігур перевіряються з деякою заданою величиною допуску, до того ж точки, координати яких відрізняються на величину, меншу заданого допуску, вважаються співпадними.

6.2.2 Відсікання й розрізання

Операція відсікання забезпечує видалення частини просторового об'єкта, що розташовуються поза областю відсікання. До того ж частини, що розміщуються на межі області відсікання потрапляють всередину цієї області, а тому не відсікаються. Областю відсікання може вважатися будь-який площинний об'єкт, хоча зазвичай використовуються прямокутники й одноконтурні багатокутники, зрідка – довільні багатоконтурні багатокутники й кола.

Операція відсікання може застосовуватися щодо просторових об'єктів будь-якої розмірності. Якщо вихідний об'єкт міститься в області відсікання, то під час операції вихідний об'єкт повертається без змін. Інакше, із відсіканням деяких частин вихідного, створюється новий просторовий об'єкт, який повністю вміщується в області відсікання. До того ж при відсіканні від об'єкта може взагалі нічого не залишитися, а тому операція відсікання закінчиться поверненням порожнього об'єкта. Якщо новий об'єкт буде меншим за розміром порівняно з вихідним, то операція відсікання закінчиться так само. Інакше внаслідок операції відсікання отримаємо новий об'єкт, що за розмірами буде співпадати з вихідним.

На рисунку 6.9 подано приклад виконання операції відсікання для фігур різного виду. Як 0-мірні (точкові) об'єкти використовується мультиточка – фігура, що складається з декількох точок.

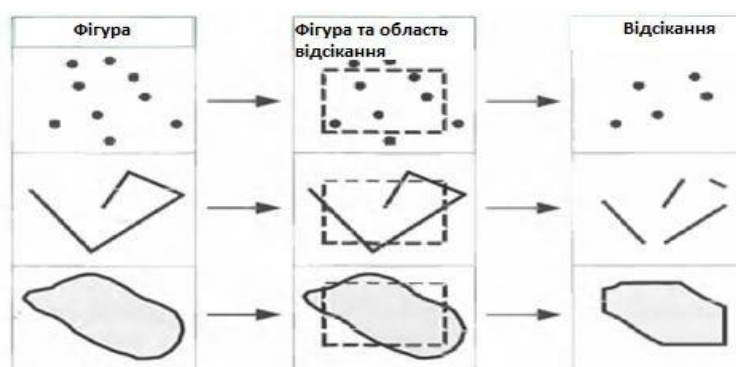


Рисунок 6.9 – Операція відсікання просторових об'єктів

У ГІС операція відсікання зазвичай здійснюється так. Користувач виділяє деякі об'єкти на мапі й обирає команду відсікання. ГІС пропонує користувачеві інтерактивно вказати на карті область відсікання (прямокутник, багатокутник, окружність), після чого ГІС відсікає частини виділених фігур, що розташовуються поза заданою областю.

Операція розрізання багато чим схожа на відсікання. Ця операція забезпечує розрізання деякого лінійного або площинного об'єкта уздовж заданої ламаної, яка не повинна самоперетинатися. Результатом операції розрізання є *відрізки зліва й справа* – частини вихідного об'єкта, що опинилися по різні боки від лінії розрізу (рис. 6.10).

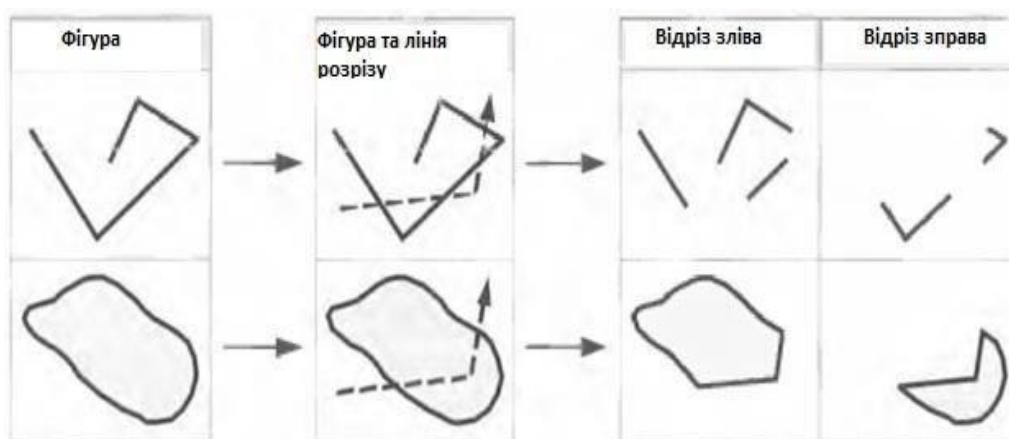


Рисунок 6.10 – Операція розрізання просторових об'єктів

У ГІС операція розрізання зазвичай здійснюється так. Користувач виділяє деякі об'єкти на мапі й обирає команду відсікання. ГІС пропонує користувачеві інтерактивно вказати на карті ламану розрізання, після чого виділені фігури ГІС розрізає на частини, що розташовуються ліворуч і праворуч від заданої ламаної.

6.2.3 Оверлейні операції

Оверлейні операції (*операції накладання, картографічної алгебри, алгебри карт*) дають змогу обчислити поєднання, перетин, різницю окремих просторових об'єктів або одразу дві множини об'єктів. Оверлейні операції призначені для просторових об'єктів усіх розмірностей, але в одній операції можуть використовуватися тільки однакові за розміром об'єкти. Результатом операції є новий об'єкт, однаковий за розмірами із вихідними об'єктами, або порожня множина. Іноді внаслідок формального виконання правил оверлейних операцій можуть виникати фігури, менші за розмірами порівняно з вихідними (наприклад область перетину двох межевин фігур є

лінією або точкою), але такі фігури не використовуються, вважається, що операція приводить до отримання порожньої множини. Результатом *операції об'єднання* двох просторових об'єктів є об'єкт, що складається з усіх точок площини, які належать хоча б одному вихідному об'єкту (рис. 6.11).

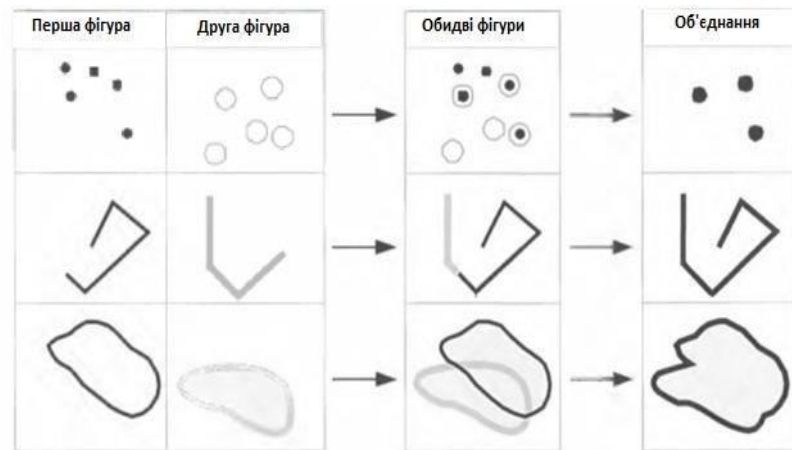


Рисунок 6.11 – Операція об'єднання просторових об'єктів

Результатом *операції перетину* двох просторових об'єктів є об'єкт, що складається з усіх точок площини, які належать обом вихідним об'єктам (рис. 6.12).

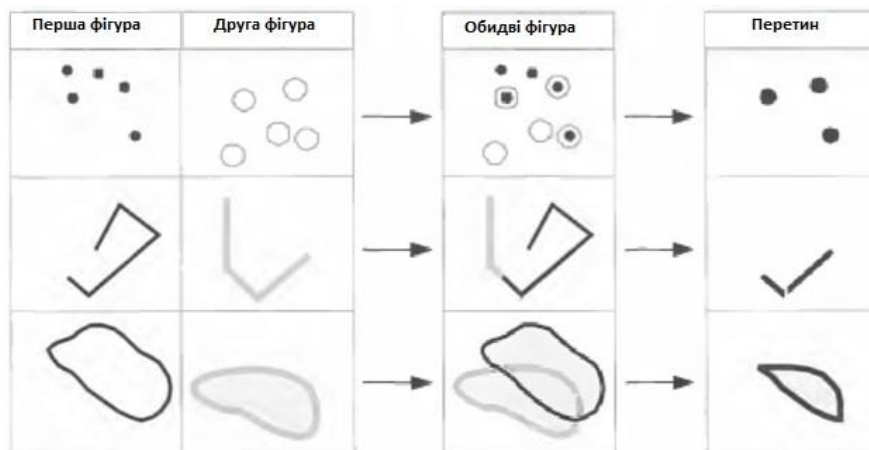


Рисунок 6.12 – Операція перетину просторових об'єктів

Результатом *операції різниці* двох просторових об'єктів є об'єкт, що складається з усіх точок площини, які належать першому об'єкту, але не належить другому (рис. 6.13).

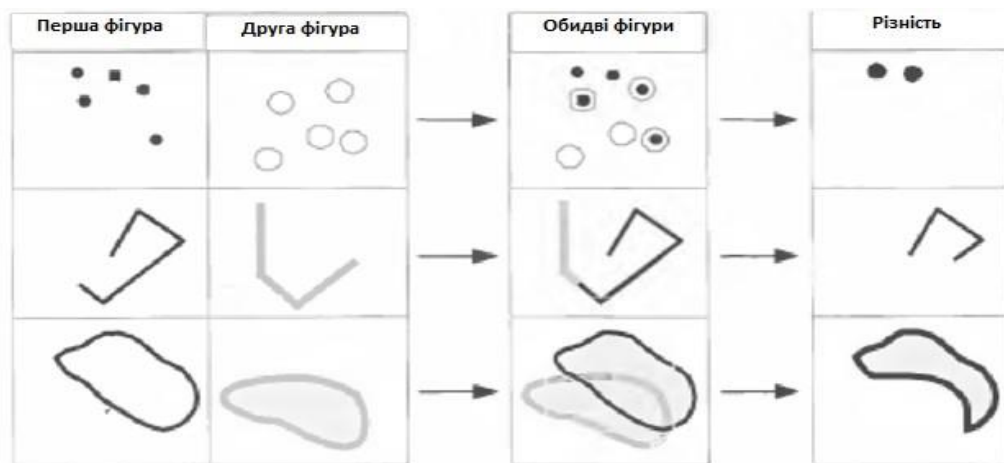


Рисунок 6.13 – Операція різниці просторових об'єктів

Результатом *операції симетричної різниці* двох об'єктів є об'єкт, що складається з усіх точок площини, які належать першому або другому об'єкту, але не обом одразу (рис. 6.14).

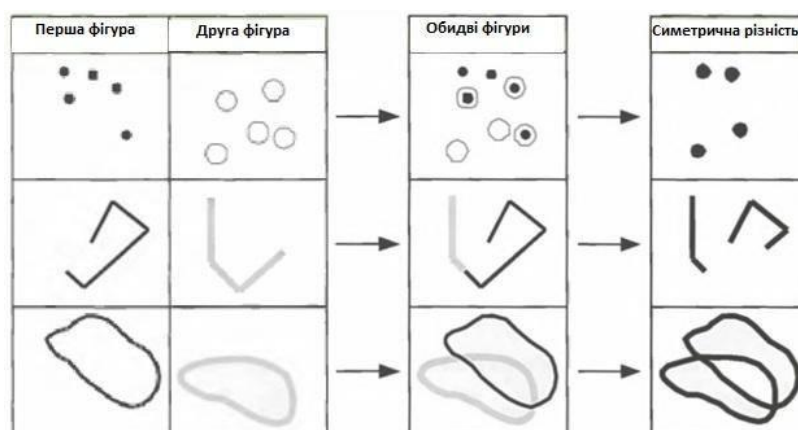


Рисунок 6.14 – Операція симетричної різниці просторових об'єктів

Операції побудови об'єднання, перетину й різниці ліній і багатокутників міститься в багатьох графічних програмах, які не належать до ГІС. Однак в ГІС ми використовуємо справу не просто геометричні фігури, а просторові об'єкти, які крім геометричного складника мають ще й атрибути. Саме тому після виконання оверлеїв нові об'єкти будуть мати атрибути, значення яких сформулюються на підставі вихідних об'єктів. Новий набір атрибутів зазвичай є об'єднанням наборів атрибутів вихідних об'єктів. При цьому значення нових атрибутів визначаються на підставі значень вихідних атрибутів за допомогою одного одним з двох таких способів:

1. *Значення атрибута копіюється з вихідного об'єкта.* Якщо цей атрибут був в обох вихідних об'єктах, то обирається атрибут з того об'єкта, площа якого більша. Такий спосіб використовується, якщо в атрибуті

зберігаються не числа (наприклад рядки, дата, час, логічні значення) або числа, які не мають безперервну інтерпретацію (наприклад код типу земельних угідь).

2. *Значення атрибута змінюється пропорційно до змінювання площі нового об'єкта стосовно вихідного об'єкта.*

6.2.4 Буферні зони, оболонки, зони близькості

Буферна зона навколо фігури F – це найбільша область на карті, усі точки всередині якої віддалені від F не більше ніж на задану відстань L (рис. 6.15). Під час побудови в ГІС буферних зон відстань L може бути задана заздалегідь або обчислюватися для кожного об'єкта окремо на підставі його атрибутів. Деякі ГІС дають змогу за один раз побудувати для кожного об'єкта не одну, а одразу декілька *кільцевих буферних зон*. Наприклад, вказавши, що $L=15$ і задавши умову, за якою потрібно побудувати по три зони, будуть створені три області. У першій із них відстань l від будь-якої точки до вихідного об'єкта буде $0 < l < 5$, у другій $5 < l < 10$, а в третій $10 < l < 15$.

Буферні зони використовуються в геоінформатиці, наприклад, для моделювання смуг відведення вздовж доріг, санітарних зон навколо річок і озер, охоронних зон уздовж ліній газопроводів і ліній електропередач, оцінки сфер несприятливого впливу на людину навколо різних джерел.

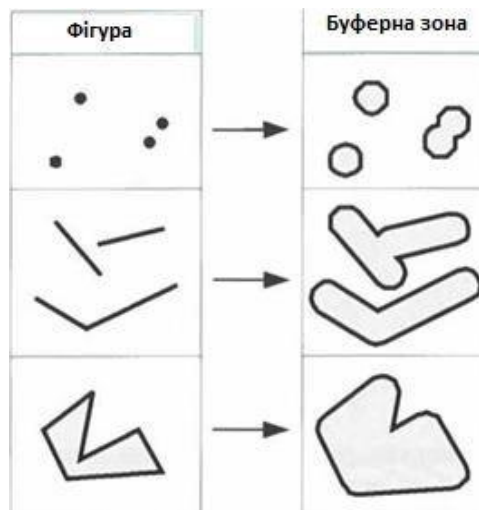


Рисунок 6.15 – Операція побудови буферної зони

Опукла оболонка безлічі об'єктів P – це найменша опукла область на карті, яка містить всі об'єкти P (рис. 6.16). Оболонка може бути побудована за об'єктами будь-якої розмірності, але результатом у ГІС завжди буде полігон.

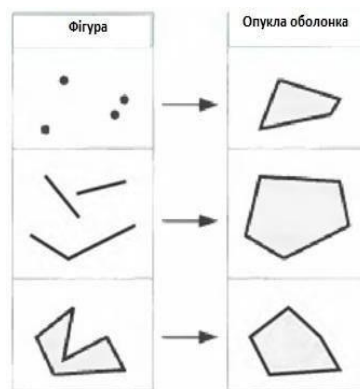


Рисунок 6.16 – Операція побудови опуклої оболонки

У задачі побудови *зон близькості* потрібно знайти всі точки площини, для яких відстань до заданої множини об'єктів $\{a\}$ є мінімального. У разі, якщо всі об'єкти є точками, уся задача є задачею побудови *діаграм Вороного* (рис. 6.17).

Операція побудови зон близькості може використовуватися, наприклад, для знаходження зон якнайшвидшого обслуговування (зон близькості) із заданих базових пунктів. Нехай, наприклад, в деяких точках на території регіону розташовані аеродроми з пожежними гвинтокрилами. У разі виникнення лісової пожежі по заданих точках його локалізації визначимо зону близькості, а отже і те, який гвинтокрил найшвидше зможе долетіти до місця пожежі.

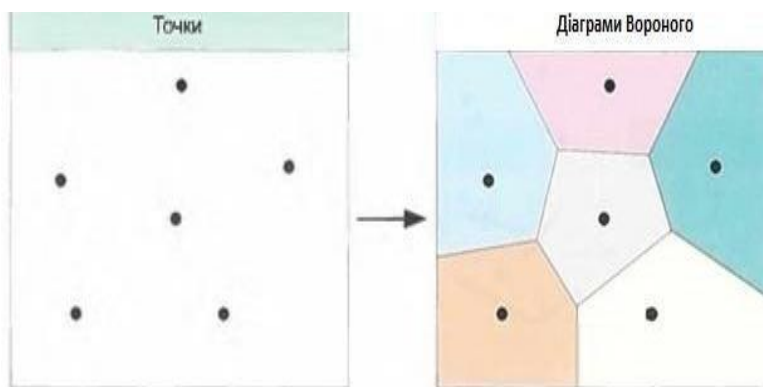


Рисунок 6.17 – Операція побудови діаграм Вороного (побудова зон близькості для точкових об'єктів)

Наведений приклад передбачає однакову швидкість переміщення гвинтокрилів, але в дійсності вони можуть відрізнятися, можуть відрізнятися і питомі витрати на переміщення.

В операції побудови *зважених зон близькості* потрібно визначити всі точки площини, для яких відстань до заданої множини об'єктів $\{a\}$, помножене на ваги, є мінімальним.

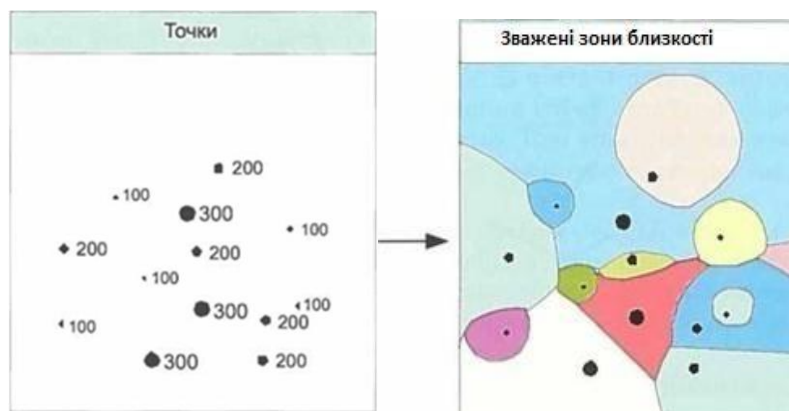


Рисунок 6.18 – Операція побудови зважених зон близькості

Для нашого прикладу вкажемо швидкості польоту гвинтокрилів як вагу. Отримані зважені зони близькості наведено на рисунку 6.18.

6.2.5 Генералізація

Під терміном *генералізація* в геоінформатиці розуміють набір операцій узагальнення, призначених для відображення просторових даних відповідно до заданих масштабу, змісту й тематики карти. У найрозповсюдженішому випадку генералізація приведе до зменшення кількості і спрощення складу просторових об'єктів при заданому зменшенні масштабу карти (рис. 6.19).

Розглянемо головні операції генералізації при роботі з векторними об'єктами. Одразу зазначимо, що не всі з наведених нижче операцій реалізовані в сучасних ГІС, тому що багато операцій чітко не формалізовані й не можуть бути алгоритмізовані.

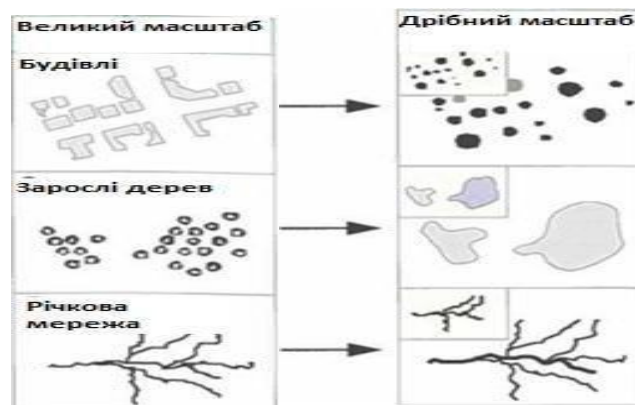


Рисунок 6.19 – Операція генералізації

Саме тому процес генералізації в ГІС, як і раніше, потребує творчої інтерактивної роботи користувача (рис. 6.19).

1. *Спрощення.* Ця операція змінює внутрішню геометричну структуру лінії або полігону, видаляючи деякі точки (наприклад ті, що майже збігаються, а також послідовні, що розміщуються майже на одній прямій) виходячи із заданого геометричного критерію.
2. *Згладжування.* Ця операція змінює деякі точки ліній і меж полігонів з метою усунення дрібних порушень і виділення найбільш значущих тенденцій змінювання фігури.
3. *Зсування об'єктів.* Ця операція незначно (в межах заданої величини) переміщує цілі об'єкти з метою унеможливлення їхнього злиття або накладання об'єктів у разі зменшення масштабу.
4. *Чищення* (видалення дрібних об'єктів). Ця операція видаляє лінійні й площинні об'єкти, розміри яких менші за деякий встановлений мінімум (рис. 6.20).

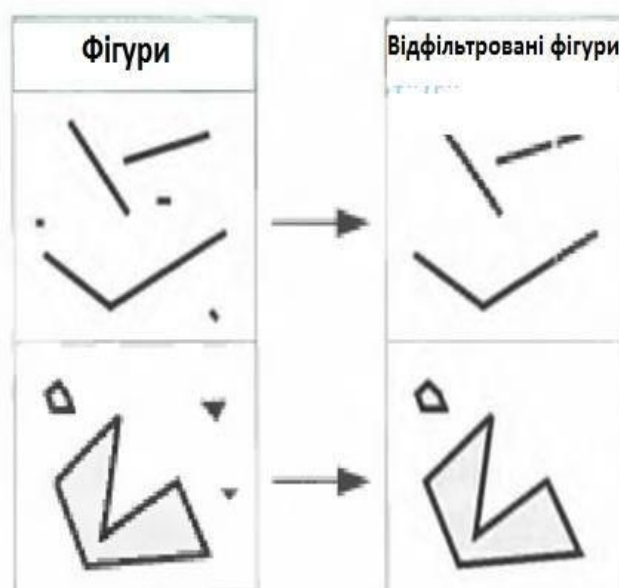


Рисунок 6.20 – Операція видалення дрібних об'єктів

5. *Адаптивне чищення.* Ця операція видаляє з карти будь-які за розмірами об'єкти, які накладаються один на один і відзначаються найнижчим ступенем «важливості». Ця операція реалізується за допомогою «жадібного» алгоритму. Спочатку всім об'єктам, які дозволено видаляти, присвоюється певний рівень значущості (важливості), і всі ці об'єкти сортуються в порядку зменшення значущості. Потім об'єкти по чергово розміщуються на площині починаючи з найважливішого. Якщо зображення наступного об'єкта, що додається на карту, зливається з раніше розміщеними об'єктами, то такий об'єкт відкидається.

6. *Злиття близьких і межових об'єктів.* Ця операція зменшує загальну кількість об'єктів на карті шляхом об'єднання близьких фігур. Об'єднувати можна тільки ті фігури, які межують одна з одною (рис. 6.19) або які розташовані досить близько одна до одної (наприклад дві паралельні дороги).

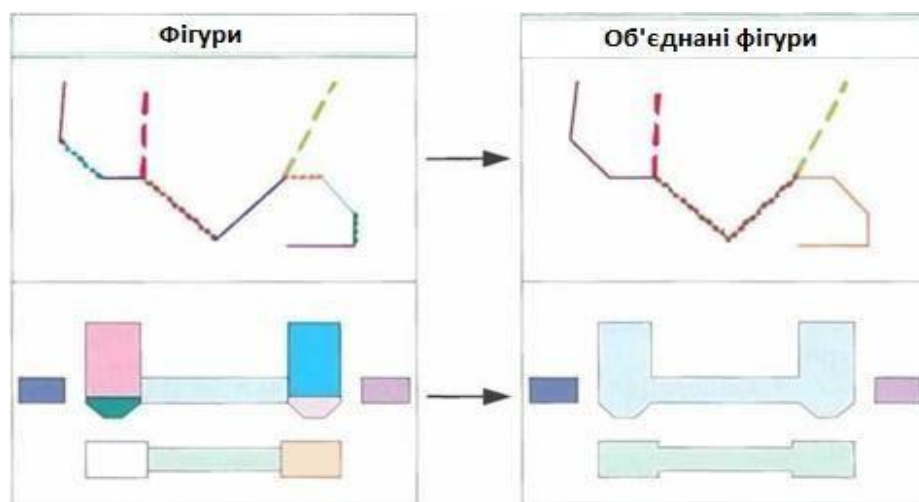


Рисунок 6.21 – Операція об'єднання межових фігур

7. *Зниження розмірності.* Ця операція замінює маленькі багатокутники лініями або точками, а маленькі лінії – точками (див. рис. 6.19). Наприклад, на великомасштабній карті населені пункти й озера можуть зображуватися контурами, а на дрібній карті – точками. На великій карті річки зазвичай зображуються як області з кордонами по лініях урізання води, а на дрібних картах – як осьові лінії. На великій карті мости й тунелі на автомобільній дорозі можуть бути зображені у вигляді ліній, які є частиною дороги, а на дрібномасштабних картах – у вигляді точок на осьовій лінії дороги.

8. *Оконтурювання груп окремих об'єктів.* Ця операція застосовується, наприклад, для заміни множини окремих дерев на області, що позначаються як парки або зелені насадження (див. рис. 6.19).

9. *Коригування (текстурування).* Ця операція призначена для нанесення деяких додаткових точок у лінії й полігони для надання фігурам натуральності. Наприклад, річка може бути зображена на карті гладкою осьовою лінією, однак при цьому ми усвідомлюємо, що насправді річка дуже звивиста, але ці звивини зовсім не видно в масштабі карти. Такі невеликі звивини можна створити за допомогою цієї команди.

Розглянемо деякі аспекти генералізації об'єктів, поданих в інших моделях даних.

Генералізація растрових даних зазвичай зводиться тільки до зменшення розміру растру й інтерполяції значень пікселів нового растру на підставі вихідного. Наприклад, при зменшенні розміру растру по висоті й ширині в чотири рази кожен новий піксель має обчислюватися на підставі значень 16 вихідних.

Якщо у вихідному растрі в пікселях зберігаються числові безперервні дані, то значення пікселів у новому растрі усереднюються на підставі вихідних значень. У решті випадків зазвичай обирається те значення, яке найчастіше подається в початкових пікселях.

Унаслідок генералізації триангуляційних поверхонь будується нова поверхня з меншою кількістю вузлів триангуляції, яка відрізняється від вихідної поверхні не більше ніж на задану величину. У процесі генералізації поверхні можуть виконуватися три різновиди спрощень: видалення вузлів, заміна коротких ребер і невеликих трикутників триангуляції одним вузлом.

6.2.6 Застосування операцій векторного аналізу

Для демонстрації можливостей просторового аналізу розглянемо, наприклад, таку задачу. У певному районі міста вирішили побудувати нову школу. За допомогою оверлейних операцій і операцій побудови буферних зон можна визначити потенційні місця, де можливо здійснювати будівництво.

Спочатку визначимо місця, де взагалі може проводитися будівництво в районі міста. Для цього оберемо багатокутник, що оконтурює район міста, і вилучимо з нього всі дороги.

Потім визначимо всі області, у яких заборонено розміщувати дитячі установи через близькість їх до промислових об'єктів. Для цього оберемо

шар даних із заводами й побудуємо для нього буферну зону завширшки 500 м. Вилучимо з області дозволеного будівництва цю буферну зону.

Тепер залишилося розмістити в області школу, урахувавши її близькість до місць проживання учнів. Для цього усереднимо координати всіх житлових будинків щодо їхньої значущості за кількістю мешканців у будинках і отримаємо місце, яке в середньому є найближчим.

6.3 Геостатистика

Геостатистика – це розділ математичної статистики, який досліджує явища, що розподіляються територіально, тобто різниця полягає в тому, що класична статистика здебільшого оперує з випадковими величинами, тоді як в геостатистиці передбачається, що всі випадкові події співвідносяться з деякими координатами на площині або в просторі.

Геостатистика забезпечує аналіз розподілу випадкових величин по території Землі, а що найважливіше, – дає змогу передбачити, яким буде значення цих величин у нових місцях, а також визначити причини такого розподілу відповідно до інших просторово розподілених випадкових величин.

У наш час геостатистика використовується в найрізноманітніших сферах:

1. У *геології* – для передбачення рівня залягання і обсягу нафтогазоносних і інших шарів. Припустимо, відомо дані щодо буріння в декількох точках на поверхні Землі. Використовуючи методи геостатистики, можна передбачити рівень ґрунтових вод, а також глибину залягання й товщину геологічних пластів у будь-якій точці.
2. У *екології* – для аналізу рівня забруднення навколишнього середовища. Наприклад, виконавши заміри рівня шуму й забруднення СО в достатній кількості точок уздовж деякої дороги або в місті, можна визначити стан забруднення дороги й міста загалом. Співставивши ці результати в ГІС із розміщенням на карті міста промислових та інших об'єктів, можна визначити головні джерела забруднень.
3. У *метеорології* – для прогнозування погоди. Отримуючи дані метеорологічних постів про температуру, тиск, силу та напрям вітру, можна з певною точністю визначити ці величини і в інших місцях.
4. У *медицині* – для аналізу різноманітних захворювань. Отримавши дані про захворювання в різних районах міста або в різних населених пунктах, можна відновити загальну картину розподілу захворювань по всьому місту або регіону. Зіставивши цю картину на карті з іншими

просторовими даними, можна визначити причини хвороб і розробити необхідні заходи.

5. У соціології – для аналізу регіонального розподілу різноманітних величин і визначення їхніх причин.

6. У демографії – для аналізу народжуваності, смертності, міграції населення та пошуку їхніх причин.

З погляду ГІС вихідними даними для геостатистики є точкові об'єкти, для яких в атрибутах вказані деякі значення. На їхній підставі можна побудувати деяке «поле даних» – тривимірну поверхню, апроксимуючий розподіл цих випадкових величин по всій аналізованій території. Отримане поле значень можна використовувати для передбачення значень випадкових величин у нових точках, а також виконання кореляційного аналізу порівняно з іншими просторовими величинами.

У геостатистичі використовується декілька головних методів, що умовно поділяються на детерміністичні й стохастичні. Детерміністичні методи включають *метод інверсійних відстаней*, *глобальний і поліноміальний методи*. До стохастичних належать *метод функцій із радіального базису*, а також найпотужніші методи *кригінгу* й *кокригінгу*.

У наш час тільки деякі ГІС містять функції геостатистичного аналізу. Раніше геостатистика застосовувалася здебільшого в геологічних додатках, а тому в ГІС загального призначення таких функцій не було. На сьогодні ситуація змінилася. Існує ряд інших програмних пакетів, які використовуються одночасно з ГІС і мають потужні засоби геостатистики.

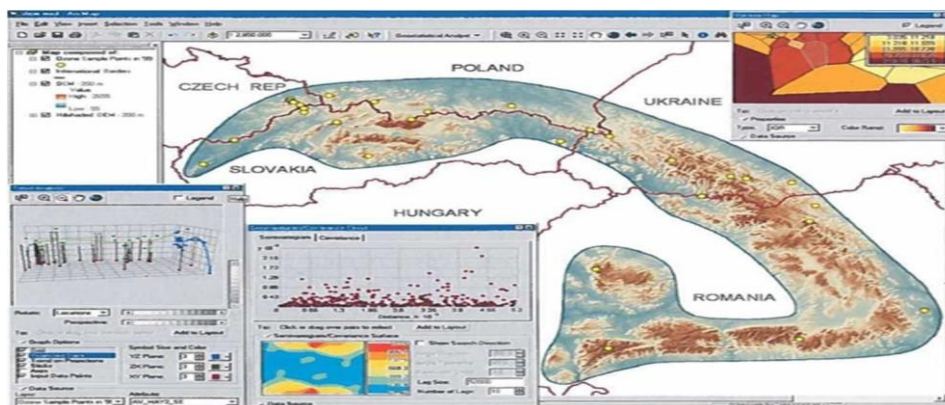


Рисунок 6.22 – Застосування модуля ArcGIS Geostatistical Analyst для моніторингу озонових дірок у Європі в гірських районах Карпат

Геостатистичні функції зазвичай містяться в системах обробки ДДЗ, таких як ERDAS Imagine, Idrisi 32, ER Mapper тощо. Серед широко

розповсюджених універсальних ГІС найбільше геостатистичних функцій має ArcGIS 8.x/9.x, у якій для цього є спеціальний модуль Geostatistical Analyst (рис. 6.22).

6.4 Мережний аналіз

На підставі розміщення транспортних мереж у ГІС можна вирішувати різноманітні завдання, об'єднані під загальною назвою «*мережний аналіз*»:

1. *Пошук найкоротшого за часом або відстанню маршруту між двома заданими вузлами транспортної мережі* (рис. 6.23). Пошук необхідно проводити з урахуванням часу проходження по дугах, часу виконання поворотів у вузлах, а також з урахуванням допустимого напрямку руху в дугах.



Рисунок 6.23 – Приклад пошуку найкоротшого маршруту між заданими пунктами в IndorGIS 5.2

2. *Пошук найкоротшого обходу заданого набору пунктів (завдання комівояжера)*. У цьому завданні між кожною парою заданих пунктів спочатку визначають найкоротший маршрут пересування, а потім вирішується математичне завдання комівояжера, перебираючи різні варіанти порядку обходу цих пунктів (рис. 6.24).

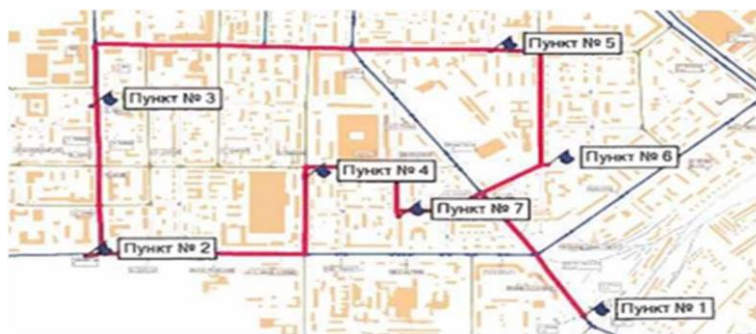


Рисунок 6.24 – Приклад пошуку найкоротшого обходу заданих пунктів в IndorGIS 5.2

3. *Пошук найближчих пунктів обслуговування.* Передбачається, що на карті проставлено точковий шар з деякими пунктами обслуговування, наприклад, автозаправними станціями або магазинами. У цьому завданні для заданої точки на площині необхідно визначити декілька найближчих пунктів обслуговування (рис. 6.25).

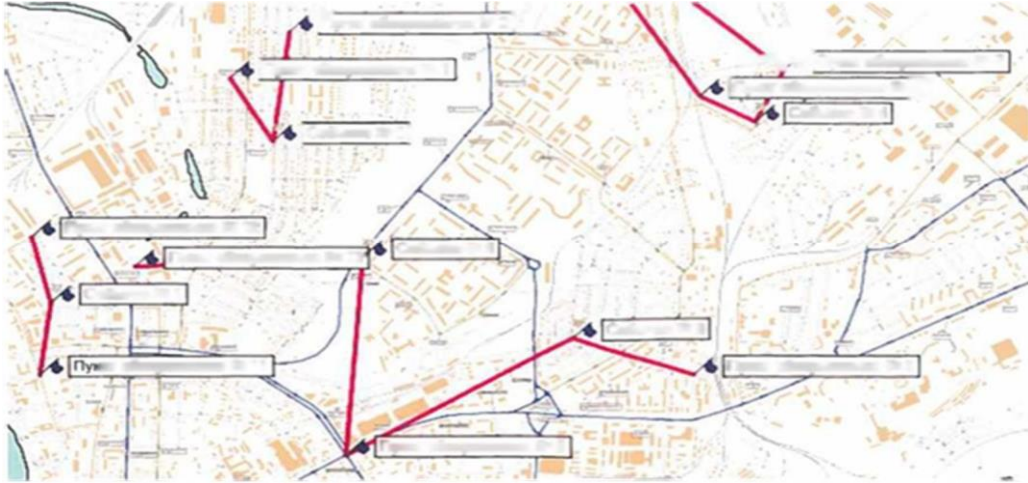
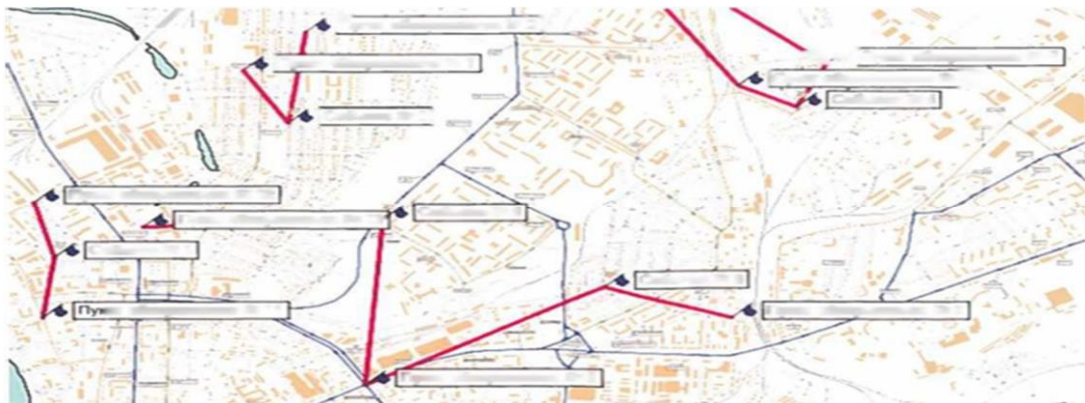


Рисунок 6.25 – Приклад пошуку найближчих пунктів обслуговування в IndorGIS 5.2

4. *Розрахування зон обслуговування.* Як і для попереднього завдання, передбачається, що на карті проставлено точковий шар із деякими пунктами обслуговування, наприклад автозаправними станціями або магазинами. Необхідно розбити всю карту на непересічні частини, кожна з яких буде відповідати одному пункту обслуговування, який є найближчим для будь-якої точки всередині отриманої частини (рис. 6.26).



5. *Розрахування транспортної доступності.* У цьому завданні передбачається, що на карті задано два точкових шари: один з аналізованими об'єктами (наприклад населеними пунктами на карті області), а інший – із деякими обслуговуючими об'єктами (наприклад районними центрами у областях). Для кожного населеного пункту необхідно визначити мінімальний час, протягом якого з нього можна доїхати до районного центру, або вказати, що проїзду немає.

6. *Розрахування міжрайонних транспортних зв'язків.* Це завдання передбачає, що територія міста або регіону розбита на деякі транспортні райони (групи кварталів у місті або окремі поселення), щодо яких необхідно встановити ступінь їхньої залежності одне від одного і рівень транспортної забезпеченості районів відповідно до деякого різновиду пересування, спричиненого цією залежністю.

Ступінь залежності районів визначається на підставі їхніх *можливостей і привабливості*, а також *транспортних зв'язків* між районами.

При розрахуванні *трудових переміщень* до можливостей районів належить показник кількості працездатного населення, а привабливості – кількість робочих місць. Наприклад, при розрахуванні *культурно-побутових переміщень із дому* можливостями районів вважається кількість мешканців, а привабливості – обсяг послуг, що надаються районом за одиницю часу (цей обсяг включає середню кількість проданих квитків у всіх кінотеатрах, театрах, музеях, концертних залах, на стадіонах; кількість і площа магазинів, перукарень, аптек, пунктів ремонту тощо). При *розрахуванні культурнопобутових переміщень не з будинку* (із роботи) привабливість має бути такого самого, а можливостями вважається кількість робочих місць.

Транспортний зв'язок між кожною парою районів визначається за транспортною мережею як мінімальний час, необхідний для переміщення між районами. До того ж у місті розрахунок зазвичай ведеться по мережі маршрутного транспорту, а при розрахуванні на рівні регіонів – по загальній мережі автомобільних доріг.

Розрахування транспортних зв'язків між районами проводиться на підставі *моделі кореспонденцій*, яка передбачає, що чим більше часу потрібно людині, щоб дістатися з одного району в інший, тим менш

привабливим є цей район. Наприклад, більшість людей обирають місце роботи поблизу від місця проживання, а тільки менша кількість – на віддалі.

Унаслідок розрахування транспортних зв'язків отримуємо матрицю, що показує загальну кількість осіб, які в середньому переміщуються з одного району в інший відповідно до обраного різновиду пересування (наприклад, скільки часу витрачає людина для поїздки на роботу в певний район). Крім того, для кожного району визначається, скільки в середньому часу витрачає один мешканець району на ці поїздки. Такі середні величини характеризують якість транспортної забезпеченості району.

Зазначимо, що за допомогою методу кореспонденцій можна також розрахувати обсяги вантажних перевезень.

7. *Розрахування транспортних потоків.* У цьому завданні передбачається, що транспортні зв'язки між районами (обчислені або виміряні) відомі і потрібно визначити, по яких саме дорогах будуть пересуватися автомобілі й пасажери. Для цього на підставі відомого обсягу перевезень між транспортними районами визначається декілька найкоротших маршрутів, а також кількість машин, що поїдуть по певній ділянці дороги.



Рисунок 6.27 – Картограма транспортних потоків

Результат зазвичай відображають на карті у вигляді картограм потоків (рис. 6.27).

6.5 Аналіз поверхонь

У цьому розділі буде розглянуто набір операцій, що забезпечують (уможливлюють) виконання аналізу поверхонь, використовуваних у ГІС як моделі рельєфу й поданих у вигляді регулярної або триангуляційної мереж.

1. *Інтерполяція висот.* Ця операція дає змогу обчислити значення висоти поверхні для будь-якої заданої планової точки.
2. *Побудова профілів.* Ця операція забезпечує побудову повздовжнього вертикального розрізу уздовж деякої заданої лінії. Додатково при відображенні профілю можна задати ступінь його розтягування по вертикалі.
3. *Побудова горизонталей (ізоліній).* За допомогою цієї операції будуються *ізолінії* – лінії однакового рівня (див. п. 5.6., рис. 5.23, а). Результат зберігається у векторній моделі даних у вигляді поліліній. Ізолінії можна також розглядати як переріз поверхні горизонтальною площиною, розташованою на заданій висоті.
4. *Побудова ізоконтурів.* Ця операція забезпечує побудову *ізоконтурів* – області між ізолініями суміжного рівня (див. п. 5.6). Результат зберігається у векторній моделі даних у вигляді полігонів.
5. *Побудова ізоклінів.* Відбудовуються операція будує ізокліни – лінії з однаковим нахилом (див. п. 5.6). Результат зберігається у векторній моделі даних у вигляді поліліній. Варіантом цієї операції є побудова *ізоклінів* у вигляді контурів, які утворюються як області між суміжними ізоклінами.
6. *Розрахування експозицій нахилів.* Обчислюються нормалі до кожного елемента поверхні і визначається, у який бік щодо світла повернута нормаль. Результат відображається на карті різними кольорами (див. п. 5.6).
7. *Розрахування обсягів земляних робіт.* Ця операція передбачає, що є модель певного рельєфу і задано, якої форми має набути цей рельєф. Потрібно визначити обсяг ґрунту, який потрібно перемістити для отримання проектованого рельєфу.

Проста постановка цієї задачі передбачає, що потрібно вирівняти дно копання, заданого у вигляді багатокутника, до заданої висотної позначки.

Інша (складніша) постановка передбачає необхідність створення другої моделі рельєфу. До того ж потрібно обчислити різницю між наявною і проектованою поверхнями. Результатом обчислень є деяка нова поверхня (яку вже не можна вважати рельєфом).

8. *Аналіз видимості.* Ця операція визначає, які області на карті видно з заданої в тривимірному просторі точки. Результат видається на карті як області, із яких видно зазначену точку. На рисунку 6.31 подано приклад розрахування зон видимості.

У деяких випадках ця задача розв'язується тільки для деякої однієї окремо взятої прямої. Наприклад, такою вважається видимість автомобільної дороги з автомобіля. Як для огляду обирається точка над

дорогою на висоті 1,20 м. Результатом розрахунків є відстань, починаючи з якої дороги вже не видно.



а

б

Рисунок 6.28 – Розрахування зон видимості:

а – вихідна модель і точка спостереження на поверхні; б – зона видимості, зображена як біла область із чорним контуром

9. *Побудова мережі тальвегом і вододілів.* Ця операція призначена для аналізу форми рельєфу місцевості (рис. 6.29) й відокремлення таких структурних елементів, як лінії тальвегом і вододілів, а також особливих елементів (вершин, хребтів, ярів). Ця операція забезпечує аналіз кожної клітинки моделі поверхні і визначення напрямку, у якому буде текти вода з цієї області. Потім визначаються тальвеги – лінії, що з'єднують найнижчі точки дна річкової долини, яру, рівчака тощо. Оконтурувши всі області, що утворюють водозбір для кожної окремо взятої річки й водоймища, отримаємо лінії вододілів.

Цю операцію використовують зазвичай у гідрології під час аналізу рельєфу на дрібномасштабних картах.

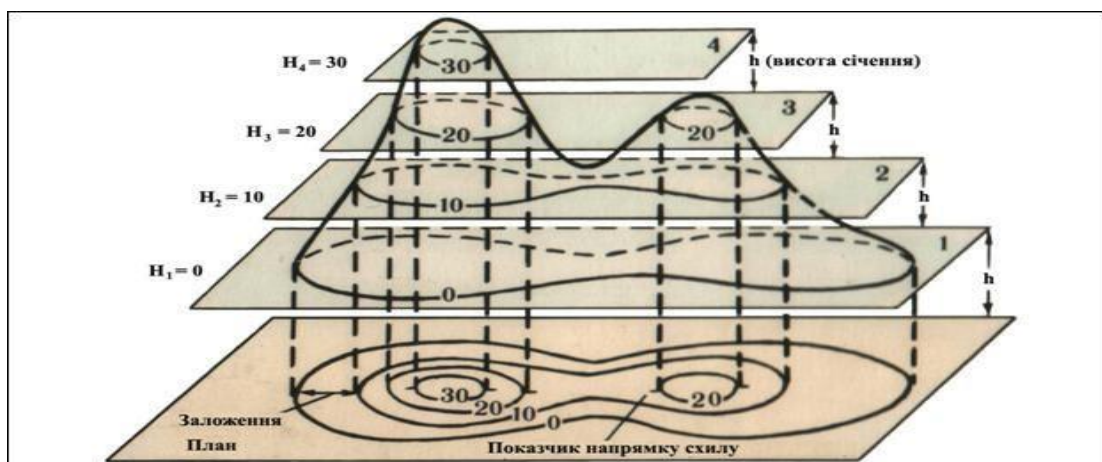


Рисунок 6.29 – Рельєф місцевості і його різні елементи

10. *Аналіз водосток.* Ця операція призначена для аналізу рельєфу місцевості: ті в великому масштабі і визначення місць скупчення води. Для

цього на місцевості спочатку визначають всі точки локального мінімуму, а потім ці місця поступово заповнюють водою доти, поки калюжі не переповняться і вода не стане переливатися через край (рис. 6.30).

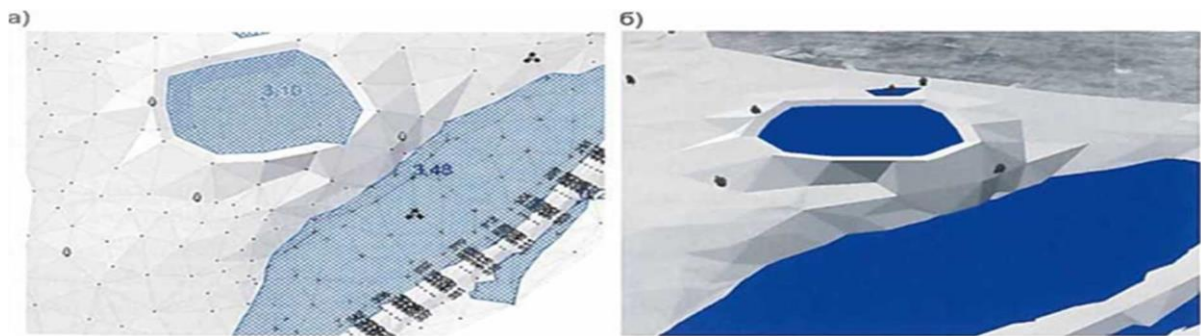


Рисунок 6.30 – Розрахування потенційних місць утворення калюж: а – зображення калюж на плані; б – тривимірна візуалізація калюж

Цей спосіб використовується, наприклад, під час проектування автомобільних доріг і розроблення генеральних планів для визначення потенційних місць утворення калюж. Щоб унеможливити утворення калюж, необхідно перепроєктувати рельєф або запланувати встановлення в центрі цих калюж зливових колодязів.