



Білоус Людмила Федорівна –

завідувач кафедри фізичної географії та геоекології Київського національного університету імені Тараса Шевченка, кандидат географічних наук, доцент

Сфера діяльності – методично-прикладні дослідження з геопросторового аналізу, охорони та збереження біорізноманіття, ландшафтного планування, оцінки впливу на довкілля (ОВД), стратегічної екологічної оцінки (CEO) та архітектури і дизайну ландшафту. Автор та співавтор понад 70 наукових та навчально-методичних праць.



Самойленко Віктор Миколайович –

старший науковий співробітник навчально-наукової лабораторії екології ландшафту LandscapeLabKNU кафедри фізичної географії та геоекології Київського національного університету імені Тараса Шевченка, доктор географічних наук, професор

Сфера діяльності – теоретичні та методично-прикладні дослідження в географії, геоекології і науках про Землю, серед них геоінформаційне моделювання динаміки та стійкості геосистем різного типу для їхньої збалансованої реабілітації, створення екомереж і оптимізації геоекологічного моніторингу та сервісів довкілля, зосібна для міжнародного природоохоронного співробітництва, а також розвідки з дидактики географії. Автор понад 300 наукових і навчально-методичних праць, поміж них 17 монографій та 37 підручників і навчальних посібників.

БІЛОУС Л.Ф., САМОЙЛЕНКО В.М. ГЕОПРОСТОРОВИЙ АНАЛІЗ

**БІЛОУС Л.Ф.
САМОЙЛЕНКО В.М.**

ГЕОПРОСТОРОВИЙ АНАЛІЗ

МОНОГРАФІЯ

ТОВ "ДІА"

Л.Ф.БІЛОУС
В.М.САМОЙЛЕНКО

ГЕОПРОСТОРОВИЙ АНАЛІЗ

Монографія

Київ
ТОВ "ДІА"
2026

УДК 910.1:004.9

Б61

*Рекомендовано до видавання вченою радою географічного факультету
Київського національного університету імені Тараса Шевченка
(протокол № 10 від 24 березня 2026 року)*

Автори: *Л.Ф.Білоус* – завідувач кафедри фізичної географії та геоекології Київського національного університету імені Тараса Шевченка, кандидат географічних наук, доцент

В.М.Самойленко – старший науковий співробітник навчально-наукової лабораторії екології ландшафту *LandscapeLabKNU* кафедри фізичної географії та геоекології Київського національного університету імені Тараса Шевченка, доктор географічних наук, професор

Рецензенти: *В.І.Осадчий*, академік Національної академії наук України, доктор географічних наук, професор (*Український гідрометеорологічний інститут*)

С.С.Кохан, доктор технічних наук, професор (*Київський національний університет імені Тараса Шевченка*)

В.В.Удовиченко, доктор географічних наук, доцент (*Київський національний університет імені Тараса Шевченка*)

Білоус Л.Ф., Самойленко В.М.

Б61 Геопросторовий аналіз : монографія (електронна версія). Київ : ТОВ "ДІА", 2026. 249 с.

ISBN 978-617-7785-92-6

Викладено головні теоретико-методичні аспекти та особливості геопросторового аналізу, який ґрунтується на застосуванні поступальних географічних інформаційних систем (ГІС) та геоінформаційних технологій. Геопросторовий аналіз розуміється як група функцій і операцій, які забезпечують оцінювальний аналіз розташування, зв'язків і інших відношень геопросторових об'єктів як систем довкілля.

Розглянуто засновки геопросторового аналізу як основи сучасної географії та наук про Землю та поняття про геоінформаційні структури геопросторових даних для такого аналізу. Наведено підходи до введення, збереження, вибірки, редагування та виводу геопросторових даних і управління цими даними для їхнього аналізу. Висвітлено питання класифікації та перекласифікації геопросторових об'єктів, оперування поверхнями та геопросторовими розподілами точок, ліній і полігонів, накладання цифрових шарів і дизайну результатів геопросторового аналізу. Розглянуто особливості сучасних програмних засобів такого аналізу, передусім ГІС-інструментарію.

Для фахівців у сфері збереження і відновлення довкілля на основі оптимізації ресурсокористування з урахуванням транскордонного природоохоронного співробітництва, а також здобувачів вищої освіти та викладачів географії та наук про Землю в університетах і вищих закладах освіти.

УДК 910.1:004.9

ISBN 978-617-7785-92-6

© Л.Ф.Білоус, В.М.Самойленко 2026

*Recommended for publication by academic council of geographic department
of Taras Shevchenko Kyiv National University
(Protocol No 10 dated March 24, 2026)*

Authors: *L.F.Bilous* – Chief of the Chair for Physical Geography and Geoecology at Taras Shevchenko Kyiv National University, Candidate of Sciences in Geography, Associate Professor

V.M.Samoilenko – Senior Researcher at the Educational-Scientific Laboratory of Landscape Ecology *LandscapeLabKNU* of the Chair for Physical Geography and Geoecology at Taras Shevchenko Kyiv National University, Doctor of Sciences in Geography, Professor

Reviewers: *V.I.Osadchyi*, Academician of Ukrainian National Academy of Sciences, Doctor of Sciences in Geography, Professor (*Ukrainian Hydrometeorological Institute*)

S.S.Kokhan, Doctor of Sciences in Engineering, Professor (*Taras Shevchenko Kyiv National University*)

V.V.Udovychenko, Doctor of Sciences in Geography, Associate Professor (*Taras Shevchenko Kyiv National University*)

Bilous L.F., Samoilenko V.M.

B61 Geospatial analysis : monography (electronic version). Kyiv: LLC 'DIA', 2026.
249 p.
ISBN 978-617-7785-92-6

The principal theoretical and methodological aspects and features of geospatial analysis, which is based on the application of progressive geographic information systems (GIS) and geoinformation technologies, are outlined. Geospatial analysis is understood as a group of functions and operations that provide an evaluative analysis of the location, connections and other relationships of geospatial objects as systems of environment.

The foundations of geospatial analysis as the basis of modern geography and Earth sciences and the concept for geoinformation structures of geospatial data for such analysis are considered. Approaches to the input, storage, selection, editing and output of geospatial data and the management of this data for their analysis are presented. The issues of classification and reclassification of geospatial objects, operation with surfaces and geospatial distributions of points, lines and polygons, overlaying digital layers and design of geospatial analysis results are highlighted. The features of modern software tools for such analysis, primarily GIS tools, are considered.

Monography is intended for specialists in the scope of conservation and restoration of the environment based on the optimization of resource use, taking into account transboundary environmental cooperation, as well as for higher education applicants and lectures of geography and Earth sciences at universities and higher education institutions.

ЗМІСТ

Передмова.....	5
Вступ.....	7
1 Геопросторовий аналіз як основа сучасної географії та наук про Землю.....	33
2 Геоінформаційні структури та моделі даних для геопросторового аналізу.....	65
3 Уведення, збереження та редагування геопросторових даних...	97
4 Елементарний геопросторовий аналіз і вимірювання.....	116
5 Класифікація та перекласифікація геопросторових об'єктів...	138
6 Геопросторовий аналіз поверхонь.....	149
7 Геопросторові розподіли об'єктів і їхній аналіз.....	167
8 Накладання шарів при геопросторовому аналізі.....	181
9 Вивід результатів геопросторового аналізу.....	192
10 Сучасні програмні засоби геопросторового аналізу.....	209
Словник основних термінів.....	225
Першоджерела.....	240

ПЕРЕДМОВА

При розробці цієї монографії використано багаторічний науково-методичний досвід і прикладні розробки авторів за предметом монографії. Їх було отримано, зокрема, під час проєктування та створення інформаційної системи оптимізації експлуатації дніпровських водосховищ з елементами ГІС, ГІС стану геосистем гідродовкілля в північному регіоні України та ГІС екомереж басейну Росі та Приазов'я. Ураховано й досвід участі другого автора як експерта від України в міжнародній комісії і проєкті зі створення ГІС транскордонних басейнів річок Дунаю та Дніпра та як модератора міжнародного освітнього проєкту з розбудови національної інфраструктури геопросторових даних. Також враховано досвід викладання авторами низки дисциплін, які стосуються геопросторового аналізу, на географічному факультеті Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

Мета монографії – виклад теоретичних основ і принципів геопросторового аналізу на основі застосування геоінформаційних систем (ГІС) і технологій насамперед у площині предметної області знань географії, геоєкології та наук про Землю.

Монографія відзначається певними **загальними особливостями**.

По-перше, більшість розділів присвячено теоретико-методичним аспектам геопросторового аналізу.

По-друге, приділено увагу і технологічним аспектам – розгляду особливостей сучасних програмних засобів геопросторового аналізу, передусім найбільш розповсюдженого ГІС-інструментарію.

По-третє, у монографії відсутні певні розділи, які відображають, наприклад, деталізовані розробки з питань геоінформаційного моделювання тощо. З ними за потреби можна додатково ознайомитися насамперед за використаними та іншими спеціальним першоджерелами, зважаючи і на відповідні публікації авторів у цій сфері.

Автори вдячні за слушні зауваження науковим рецензентам монографії, а саме: академіку Національної академії наук України, доктору географічних наук, професору Володимирі Івановичу Осадчому, доктору технічних наук, професору Світлані Станіславівні Кохан і доктору географічних наук, доценту Удовиченко Вікторії Віталіївні.

Монографію призначено для науковців і фахівців, які застосовують геопросторовий аналіз і географічні інформаційні технології у сфері збереження та відновлення довкілля з урахуванням міжнародного природоохоронного співробітництва, а також для здобувачів вищої освіти та викладачів природничих спеціальностей університетів і вищих закладів освіти.

Примітка. Розподіл внеску авторів у монографію такий: доц. Білоус Л.Ф. – 10,3 д.а., проф. Самойленко В.М. – 11,0 д.а.

Білоус Л.Ф., Самойленко В.М. Геопросторовий аналіз

Автори будуть вдячні за критичні зауваження і пропозиції стосовно побудови та змісту цього видання, які можна надсилати кандидату географічних наук, доценту Людмилі Федорівні Білоус за електронною адресою bi-louslf@knu.ua та доктору географічних наук, професору Віктору Миколайовичу Самойленку за електронною адресою viksam1955@gmail.com

ВСТУП

Якщо стисло визначити систему загалом як сукупність взаємопов'язаних елементів і процесів, то при цьому *інформаційну систему* (аббревіатурно *ІС*) можна кваліфікувати як комп'ютеризовану систему, що виконує процедури з даними для аналізу інформації, корисної для прийняття рішень. *Геоінформаційну систему* можна ідентифікувати як інформаційну систему для геопросторового аналізу, який використовує географічно координовані дані. Саме через останню **принципову відмінність** ГІС від ІС геоінформаційну систему можна попередньо визначити як інформаційну систему для геопросторового аналізу, яка забезпечує збір, збереження, обробку, доступ, відображення та розповсюдження *геопросторових даних*.

Під *геопросторовими даними* надалі розуміються дані про геопросторові об'єкти, які містять інформацію, по-перше, щодо їхнього *місцезнаходження* і, по-друге, щодо *властивостей* цих об'єктів, поданих через їхні геопросторові та негеопросторові кількісні і якісні *атрибути* (англ. *geospatial and non-geospatial attributes*). Тому зазвичай геопросторові дані поділяють на дві взаємопоєднані частини: позиційний та непозиційний їхній складник. Іншими словами, такі дані складаються з опису геопросторового положення об'єкта та тематичного його змісту.

Примітка. У більш точному розумінні під **атрибутом** (син. **реквізит**) розуміють властивість, кількісну або якісну ознаку, яка характеризує геопросторовий об'єкт, але не вказує на місцезнаходження цього об'єкта та асоційована з його унікальним номером, або ідентифікатором (див. далі). При цьому процес присвоєння геопросторовим об'єктам атрибутів або поєднання їх з атрибутами носить назву *атрибутування* (англ. *attribute tagging or attribute matching*).

Зрозуміло, що необхідність врахування динамічності та мінливості даних вимагає зважання і на часовий аспект, чому поняття геопросторових даних у геопросторовому аналізі розширене до поняття *геопросторово-часових даних*. До **позиційної частини геопросторових даних** у цілому можна віднести:

- 1) географічні широту та довготу;
- 2) прямокутні координати;
- 3) поштові адреси;
- 4) поштові індекси та інші коди, які ідентифікують попередньо розмежовані ділянки території;
- 5) інформацію про місцезнаходження об'єкта, зафіксоване на карті, враховуючи топологічну інформацію (див. далі).

Слід одразу зазначити, що, як і у випадку наприклад з геоекологією, термін "ГІС" як основа геопросторового аналізу загалом є тим, що складно визначається. Він є наслідком об'єднання багатьох предметних областей, через що і

немає загально визнаного визначення "ГІС", позаяк цей термін змінюється в залежності від інтелектуальних, культурних, економічних і навіть політичних цілей. У цьому аспекті Майкл ДеМерс (*DeMers, 2008*) наводить характерний приклад синонімічних до "ГІС" понять (табл.В.1) (всі таблиці вступу наведено за *DeMers, 2008, Samoilenko, 2010, 2012*).

Табл.В.1 Приклади синонімічних до "ГІС" понять та їхні джерела

Термін	Джерело
Географічна інформаційна система (<i>Geographic Information System</i>)	Американська термінологія
Географічна інформаційна система (<i>Geographical Information System</i>)	Європейська термінологія
Геоінформатика (<i>Geoinformatics</i>)	Канадська термінологія
Геореляційна інформаційна система (<i>Georelational Information System</i>)	Технічна термінологія
Інформаційна система з природних ресурсів (<i>Natural Resources Information System</i>)	Дисциплінарна термінологія
Інформаційна система з геології чи наук про Землю (<i>Geoscience or Geological Information System</i>)	Дисциплінарна термінологія
Просторова інформаційна система (<i>Spatial Information System</i>)	Негеографічний термін
Система аналізу просторових даних (<i>Spatial Data Analysis System</i>)	Термінологія на основі функцій системи

Стосовно змісту табл.В.1 треба зазначити, що, по-перше, у наведених термінах-синонімах "ГІС" слід одразу дистанціюватися від внесення до них наукової дисципліни – *геоінформатики*, навіть у її розумінні як технології чи виробничої діяльності у сфері ГІС. По-друге, слід вважати найбільш сприйнятливими для завдань цієї монографії перші дві адекватні форми терміна "ГІС". Останнє пов'язане і з тим, що у вітчизняній літературі (див. *Samoilenko, 2010, 2012*) подане таке **точне визначення ГІС у широкому розумінні**, яке доцільно і прийняти за *вихідний робочий термін*.

А саме, **ГІС** – це система комп'ютерних апаратно-програмних засобів і алгоритмічних процедур, створена для цифрової підтримки, поповнювання, управління, маніпуляції, аналізу, математично-картографічного моделювання та образного відтворення геопросторових даних.

При цьому під **геоінформаційними технологіями** слід розуміти технологічну основу створення та використання географічних інформаційних систем, яка дозволяє реалізувати функціональні можливості ГІС в царині геопросторового аналізу.

Питання щодо трансформації та варіабельності поняття "ГІС" буде ще розглянуте далі, а наразі треба відзначити два принципових моменти, зумовлені щойно наведеним визначенням.

По-перше, крім вже зазначеного, при геопросторовому аналізі **безумовними відмінностями ГІС** від інших інформаційних систем є те, що ГІС:

1) забезпечує взаємозв'язок між будь-якими кількісними та якісними характеристиками географічних об'єктів і явищ, поданих у базах даних у вигляді точок, ліній, областей і поверхонь;

2) містить алгоритми аналізу геопросторових даних.

По-друге, зрозуміло, що ГІС змістово тісно поєднано з низкою інших типів інформаційних систем і систем комп'ютеризованої картографії тощо. А проте, зазначена можливість ГІС маніпулювати та проводити аналіз геопросторових даних, як визначальна її відмінність від таких систем, робить необхідним для подальшого розуміння змісту ГІС *відокремити поняття "ГІС" насамперед від таких сутнісно поєднаних з ним технологій*, як:

1) *системи настільного картографування (Mapping-системи)*, спеціально призначені для професійного виробництва карт, які і є в них базами даних. Більшість Mapping-систем мають вельми обмежені можливості управління даними, геопросторового аналізу та настроювання, не згадуючи вже картографічне моделювання тощо;

2) *системи автоматизованого проєктування (САПР) (англ. Computer-Aided Design або Computer-Aided Drafting, CAD)*, які загалом підтримують виготовлення креслень проєктів і планів споруд та інфраструктури. Вони свого часу були спеціально розроблені для створення графічних зображень, не поєднаних із зовнішніми описовими даними. САПР правили для будь-якого архітектора за чудовий інструмент, що прискорював виробництво архітектурних креслень тощо, але не мав засобів аналізу тих же креслень тощо. Такі САПР було засновано на відносно невеликому числі правил об'єднання компонентів і вони мали досить обмежені аналітичні функції. Надалі, в межах загального постійного удосконалення САПР-технологій, певні САПР було розширено до підтримки картографічного подавання даних, утім зазвичай їхній інструментарій не дозволяв ефективно управляти та аналізувати великі бази геопросторових даних. На сьогодні ж спостерігається тенденція до все більшого зближення функцій САПР з функціями власне ГІС, зокрема за рахунок створення додаткових або модифікації наявних відповідних інструментальних модулів САПР тощо (див. *Samoilenko, 2024*);

3) *системи дистанційного зондування (англ. Systems of Remote Sensing, SRS) і глобальні системи позиціонування (англ. Global Positioning Systems, GPS)*. Дистанційне зондування – це загалом науковий напрям і технології, поєднані з проведенням вимірів земної поверхні з використанням сенсорів (датчиків), таких як різноманітні камери на борту літальних апаратів, а також, додатково, приймачів глобальних систем позиціонування та інших пристроїв. Сенсори

збирають дані у вигляді зображень і забезпечують спеціалізовані можливості обробки, аналізу та візуалізації отриманих зображень. Через відсутність потужних засобів управління даними та їхнього аналізу, зазначені системи не можна вважати "справжніми" ГІС, інша річ, що вони можуть бути складником останніх тощо (див. далі).

Примітка. В останні десятиріччя спостерігається відчутна *тенденція до інтеграції програмного забезпечення*, зокрема через створення відповідних комплексних програмних продуктів, *і технологій*, які покликано забезпечувати різні аспекти геопросторового аналізу даних різного гатунку. Ця тенденція виявляється, крім вищезазначеного наближення функцій САПР до ГІС, у нагальній необхідності та створеній можливості синергічної технологічної комбінації застосування різних програмних продуктів, призначених для різноманітної маніпуляції геопросторовими даними (тобто суто програмного забезпечення ГІС чи ГІС-інструментарію із програмними засобами тих же САПР або засобами спеціального геопросторового аналізу та моделювання), трансформації даних дистанційного зондування, мобільного польового цифрового картографування з визначенням місцезнаходження, перетворення форматів, створення довідкових систем тощо (див. *Samoilenko, Bilous, 2024*).

У призначеній для геопросторового аналізу робочій геоінформаційній системі у цілому загальнометодологічно можна вирізнити **п'ять принципових (ключових) складників ГІС**, а саме (рис.В.1):

1) **апаратні засоби**. Сюди відносяться комп'ютерні засоби, завдяки яким власне і функціонує та використовується ГІС. У наш час підтримка та доступ до геоінформаційних систем здійснюється за допомогою різноманітних типів комп'ютерів – централізованих серверів глобальної інформаційної мережі, робочих станцій, самостійних або поєднаних локальною мережею персональних комп'ютерів тощо;

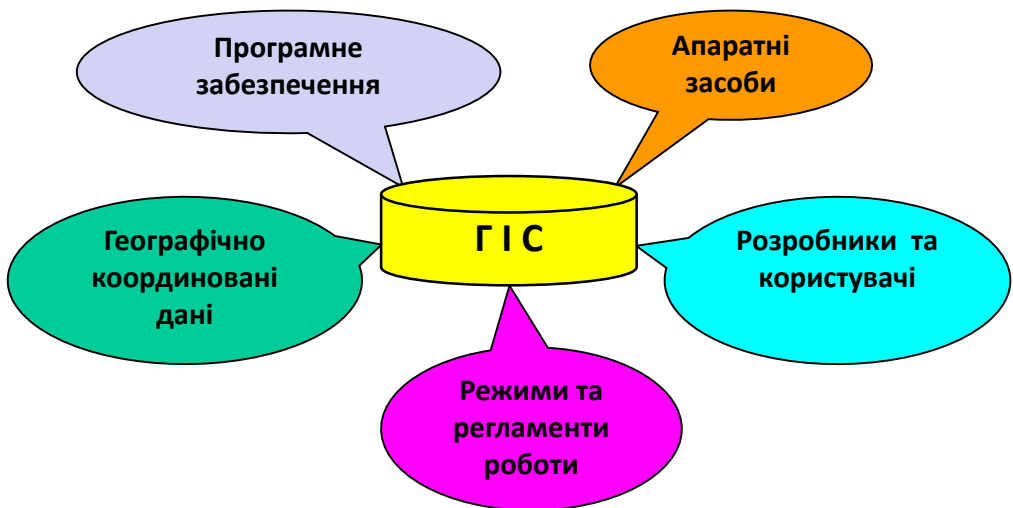


Рис.В.1 Принципові (ключові) складники ГІС

2) **програмне забезпечення**, яке містить функції та інструментарій, необхідні для збереження, аналізу та візуалізації геопросторової інформації. Ключовими компонентами програмного забезпечення ГІС є:

а) програмний інструментарій для введення та оперування геопросторовою інформацією;

б) система управління базами даних (СУБД) (англ. *Data Base Management System, DBMS*);

в) програмний інструментарій підтримки геопросторових запитів, аналізу та візуалізації (відображення);

г) графічний інтерфейс користувача (ГІК, англ. *graphical user interface, GUI*) для полегшення доступу до програмного інструментарію;

3) **дані**, як один з найбільш важливих складників ГІС. Геопросторові дані та поєднані з ними таблиці можуть збиратися та готуватися або самим користувачем, або шляхом придбання у постачальників на комерційній чи іншій основі. У процесі управління геопросторовими даними ГІС може інтегрувати їх з іншими типами та джерелами даних і при цьому може використовувати СУБД, які застосовуються іншими організаціями для упорядкування та підтримки даних, якими вони володіють;

4) **розробники та користувачі**. Широке застосування ГІС для геопросторового аналізу неможливе без людей, які працюють з програмними продуктами та розробляють плани їхнього використання під час вирішення реальних задач. Розробниками та користувачами ГІС можуть бути технічно-технологічні спеціалісти, які створюють і підтримують систему, а кінцевими користувачами – звичайні співробітники, науковці тощо;

5) **режими** (плани) та **регламенти** (правила) **роботи** (використання) ГІС, від яких значним чином залежить ефективність її функціонування.

ГІС як геопросторово організована і "та, що геопросторово мислить", сучасна система є вельми важливою у найрізноманітніших сферах наукової та виробничої діяльності, починаючи від наук про Землю та геоекології, і закінчуючи соціологією та політологією. Вона завдячує своїм створенням і розвитком таким науковим дисциплінам, як географія, геодезія і картографія, математика, статистика, інформатика та теорія управління, фотограмметрія тощо. Наразі ГІС стали багатомільйонною індустрією, до якої залучені сотні тисяч людей у всьому світі.

У стислому викладі **важливість і переваги ГІС** над іншими системами та технологіями зумовлюються тим, що ГІС:

1) інтегрує геопросторову та будь-які інші типи інформації;

2) притримується єдиної концептуальної, методичної та технологічної основи для організації геопросторових даних;

3) створює можливість розгляду даних, заснованих на ознаках графічного взаєморозташування об'єктів (близькість / віддаленість) в реальному довкіллі;

4) пропонує нові, легко сприйнятливі, способи маніпуляції та відображення даних, зокрема через картографічні образи.

Історія розвитку географічних інформаційних систем у багато чому схожа до історії створення систем з обробки даних на електронно-обчислювальних машинах в інших галузях знань. Однією з найбільш цікавих рис розвитку ГІС, особливо у шістдесяті роки минулого століття, є те, що *перші ініціативні проекти* та дослідження самі було *географічно розподілено за багатьма осередками*. При цьому такі проекти здійснювалися *незалежно*, досить часто без згадування і навіть з ігноруванням собі подібних. Такі перші роботи зі створення ГІС було започатковано в кінці 1950-х – на початку 1960-х у США і Канаді.

Загалом виникнення та бурхливий розвиток ГІС було зумовлено багатим досвідом топографічного та, особливо, тематичного картографування, успішними спробами автоматизації картоскладального процесу, а також революційними досягненнями у сфері комп'ютерних технологій, інформатики та комп'ютерної графіки. Особливо слід відзначити ідеї та досвід *комплексного тематичного картографування*. Цей досвід переконливо продемонстрував ефект системного використання різнохарактерних даних для здобування нових знань щодо геопросторових об'єктів. Комплексність і інтегрованість до цього часу залишаються найважливішими властивостями ГІС, які залучають до них користувачів.

Досить цікавим є той факт, що один з перших вдалих дослідів використання принципу комплексування (узгодження та накладання) геопросторових даних за допомогою поєданого набору карт датується XVIII сторіччям (*DeMers, 2008*). Французький картограф *Луї-Олександр Берт'є* використав прозорі шари, які накладалися на базову карту для демонстрації пересування військ у битві під *Йорктауном*.

У 1970-х роках у побудові ГІС *спільно* починають брати участь *різні організації та наукові колективи* і ГІС створюються як комплексні багатоцільові інформаційні системи, найбільш відомою з яких була **Канадська геоінформаційна система (CGIS) (Canadian GIS)**. Саме з початку 1970-х років розвиток ГІС йде "повною ходом" у багатьох галузях наук про Землю. Так, у 1976 році в системі Геологічної служби США налічувалося більш ніж 50 автоматизованих інформаційних систем, які було спрямовано на збір та обробку картографічної інформації.

У ті ж 1970-ті істотним розвитком відзначалися ГІС, орієнтовані на вирішення завдань *управління ресурсами довкілля*. Завдання цих інформаційних систем були багатогранними, а проте серед них переважало прийняття рішень при розробці планів еколого-економічного розвитку регіонів. Такі системи відрізняли від традиційних ГІС (GIS) шляхом присвоєння їм назви *LRIS (Land Resources Information System)* (див. далі) тощо. Доцільно стисло розглянути, для загального уявлення, структуру інформаційного забезпечення, яка є вельми типовою при організації зарубіжних ГІС у 1970-ті – 1980-ті роки, на

прикладі **Oak Ridge Regional Modeling Information System (ORMIS)**, створеної для інформаційного забезпечення завдань регіонального природоохоронного планування в штаті Теннессі (США) (Samoilenko, 2012, 2024).

Щойно зазначена ГІС містила набір програм з переведення картографічної інформації у цифрову, з прив'язки тематичної інформації до геодезичної мережі, а також програми вирізнення та формування заданих масивів даних. Близько 80% вихідної інформації було отримано на основі картографічних матеріалів, за інші в основному правили різноманітні соціально-економічні дані. Слід окремо підкреслити, що *ORMIS* була зразком спеціалізованої ГІС, безпосередньо призначеної для вирішення задач моделювання. Тобто її структура та набір інформації визначалися цілями, які ставила лабораторія еколого-економічного моделювання. Тому результат підсумкової обробки даних наводився у *ORMIS* серед іншого у вигляді коефіцієнтів, розрахованих для моделей економічного розвитку регіону.

Прикладом регіональної ГІС того ж періоду, але більш широкого призначення, є система **TNRIS (Texas Natural Resources Information System)** (Samoilenko, 2012, 2024), яка оперувала такою інформацією, як:

- 1) метеорологічна інформація, яка містить дані щодо забруднення повітряного басейну;
- 2) гідрологічна інформація, а також інформація щодо гідроспруд і водного господарства;
- 3) інформація щодо ґрунтів, земельних ресурсів і структури землекористування;
- 4) інформація щодо біологічних ресурсів, а також дані щодо впливу людини на живі організми;
- 5) соціально-економічна інформація: соціальні умови, економіка, торгівля, урядові установи;
- 6) картографічна та геодезична інформація (аерофотознімки, карти тощо) стосовно конкретного району.

У цілому **в історії світового процесу розвитку геоінформаційних систем можна вирізнити чотири періоди:**

1) **піонерний період (пізні 1950-ті – ранні 1970-ті)**. Він характеризується дослідженням принципових можливостей створення ГІС, суміжних областей знань і технологій, напрацюванням емпіричного досвіду та першими великими проектами та теоретичними розробками з ГІС;

2) **період державних ініціатив (ранні 1970-ті – ранні 1980-ті)**. Для цього періоду визначальним є розвиток великих геоінформаційних проєктів, формування державних інституцій в області ГІС, зниження ролі та впливу окремих дослідників і невеликих груп на процес розвитку ГІС;

3) **період комерційного розвитку (ранні 1980-ті – до теперішнього часу)**. Період характеризується широким розвитком різноманітних програмних засобів ГІС, розвитком настільного ГІС-інструментарію, розширенням

області його застосування за рахунок інтеграції з базами негеопросторових даних, виникненням інформаційно-мережних прикладних програм, появою значної кількості непрофесійних користувачів. При цьому системи, які підтримують набори даних на окремих комп'ютерах, відкривають шлях системам, які підтримують корпоративні та розподілені бази геоданих;

4) **користувальний період (нізні 1980-ті – до теперішнього часу)**. Період визначається підвищеною конкуренцією серед комерційних виробників геоінформаційних технологій і послуг для геопросторового аналізу. Така конкуренція надає переваги користувачам, створює доступність і відкритість програмних засобів для них, дозволяє користувачам навіть модифікувати програми. З'являються т.зв. клуби користувачів ГІС-інструментарію, телеконференції, територіально розмежовані, але поєднані єдиною тематикою груп користувачів. Зростає потреба у геоданих, починає формуватися та розвивається світова інфраструктура геопросторових даних.

У зазначений останнім період приклад нового відношення до користувачів ГІС-інструментарію показали розробники та власники програмного продукту **GRASS (Geographic Resources Analysis Support System)** для робочих станцій. Його було створено американськими військовими спеціалістами (**Army Corps of Engineers**) для завдань планування природокористування та землепорядження. Вони відкрили GRASS для безкоштовного користування *на ривні програм, які вільно копіюються (англ. public-domain software)*, включаючи відмову від авторських прав на вихідні тексти програм (див. детальніше про це у р.10). У результаті цього користувачі та програмісти могли створювати власні прикладні програми шляхом інтегрування GRASS з іншими програмними продуктами. Так *GRASS Version 4.1*, створена у 1993 році, разом з вихідними текстами програм, системною та довідковою документацією, навчальним посібником для користувачів і низкою наборів даних для прикладів відкрито розповсюджувалася у мережі Інтернет.

Приклад *Army Corps of Engineers* наслідувала компанія **ESRI, Inc.**, яка у 1994 році, відкрила для необмеженого безкоштовного використання свій програмний продукт (візуалізатор) **ArcView 1 for Windows**, який також був доступним у мережі Інтернет.

Примітки.

1. *Світовими лідерами постачання програмного забезпечення ГІС (і поєднаних з ними за роботою з геопросторовими даними систем і технологій), як переважно комерційного готового, так і відкритого (див. р.10), є насамперед відомі компанії та корпорації США, а саме:*

– компанія **ESRI, Inc.** (*абр. від англ. Environmental System Research Institute* – компанія "Інститут досліджень систем довкілля"), яка є "патріархом" ринку ПЗ ГІС, працюючи на ньому з 1969 р.;

– компанія з назвою *Pitney Bowes Business Insight* або, скорочено, **PBVI**, яка почала свою діяльність як *Mapping Information Systems Corp.* (*скоп. MapInfo Corporation* –

корпорація "Картографічні інформаційні системи") (*New York, США*) з випуску ГІС-інструментарію у 1987 р. Зараз правовласником продуктів *MapInfo* є корпорація *Precisely Inc.*, США (див. р.10);

– корпорація *Intergraph Corp.* (*Huntsville, Alabama, США*), яка тісно співпрацює із корпорацією *Bentley Systems Inc.* (англ. абр. *BSI*) (*Exton, Pennsylvania, США*);

– корпорація *Autodesk, Inc.* (*США*), яка починала свою діяльність зі створення програмного забезпечення САПР у 1982 р.

2. Відомими у світі розробниками програмного забезпечення для геопросторового аналізу, зокрема ГІС-інструментарію, є також такі компанії, організації та фірми, як: Університет *Кларка* (*Clark University, Massachusetts, США*); корпорація *Bentley Systems Inc.* (*США*); компанія *Leica Geosystems Geospatial Imaging* (*США*); фірма *PCRaster Environmental Software* (Нідерланди), яка співпрацює з Утрехтським університетом; корпорація *Golden Software Inc.* (*США*); компанія *ViewTec LLC* (*США*); компанія *Blue Marble Geographic* (*США*); корпорація *RockWare Inc.* (*США*) тощо.

3. У цілому на сьогодні в світі і в Україні найбільш забажаними є з десятків найменувань ГІС-інструментарію, серед якого перед ведуть певні комерційні програмні продукти компанії *ESRI, Inc.* та безкоштовний відкритий ліцензований настільний ГІС-інструментарій, передусім *QGIS Desktop*.

Насичення ринку програмними засобами ГІС, особливо призначеними для персональних комп'ютерів (*настільний ГІС-інструментарій*, англ. *desktop GIS tools*), значно розширило область застосування технологій геопросторового аналізу. Це почало вимагати істотних наборів цифрових (англ. *digital*) геоданих, а також створило необхідність у формуванні системи професійної підготовки та навчання спеціалістів з геопросторового аналізу. У найбільш розвинутих у геоінформаційному відношенні країнах зазначені проблеми зараз розв'язуються шляхом формування державних і міжнародних ініціатив з розробки та створення т.зв. **інфраструктур геопросторових даних**. Такі інфраструктури поєднано зі сферою геоінформаційних технологій, телекомунікації, стандартизації даних і професійної підготовки.

Загалом на сьогодні у світі існує істотна кількість ГІС як апаратно-програмних засобів з геопросторовими даними. Вони відрізняються за функціональними можливостями програмного забезпечення, джерелами інформації, технічними засобами тощо. Стосовно предметної області наук про Землю найбільший розвиток отримало створення галузевих (тематичних) ГІС, які зорієнтовано на вивчення одного чи групи природних ресурсів або елементів геосфери. До них, наприклад, відносяться ГІС у ґрунтознавстві, ландшафтознавстві, геології, гідрології, океанології, лісовому та аграрному секторах економіки. Крім цього створюються також і *комплексні ГІС*.

У цілому детальна інформація щодо наявності та характеристик сучасних тематичних і комплексних ГІС у світі та в Україні не є безпосереднім питанням цього розділу монографії, де лише стисло розглянуто принципові аспекти з історії розвитку ГІС та геоінформаційних технологій для потреб геопросторового аналізу. Така інформація потребує окремого дослідження.

Таким чином, зважаючи на все викладене вище, слід констатувати, що, по-перше, геоінформаційні технології є *потужними специфічними технологіями цифрового геопросторового аналізу*, виникнення та розвиток якої можна порівняти (DeMers, 2008) хіба що з виникненням і розвитком книгодрукування, винаходами телефону, автомобіля, комп'ютера тощо. Сучасний ГІС-інструментарій трансформував спосіб використання карт шляхом заміни їх великою кількістю цифрових картографічних шарів із взаємопов'язаними темами. Такі шари може бути автоматично проаналізовано, а їхнє тематичне наповнення може бути об'єднано для отримання змістовних відповідей, необхідних фахівцям, які приймають рішення з оптимізації природокористування та відновлення довкілля.

По-друге, сучасні тенденції ринку технічних засобів свідчать, що *геоінформаційні технології є швидко зростаючим сектором промисловості*, який далеко випереджає за темпами розвитку багато інших секторів, причім навіть у періоди загального спаду економіки (Samoilenko, 2024; Samoilenko, Bilous, 2024). Тому, на тлі зростання числа установ, організацій і індивідуальних користувачів, які долучаються до ГІС і геоінформаційних технологій, буде зростати потреба і в розумінні їхньої ролі у геопросторовому аналізі, чому значною мірою і присвячено цю монографію.

Доцільно ще раз повернутися до питання про *трансформацію та варіабельність поняття "ГІС"*, що є важливим для щойно зазначеної необхідності розуміння принципів її функціонування.

Так, поряд з ГІС, свого часу широкого розповсюдження набула організація проблемно-орієнтованих банків даних (БнД), призначених для картографування природних і соціально-економічних явищ. Такі банки досить часто називали **картографічними банками даних (КБнД)**. Зарубіжні дослідники подекуди розглядали КБнД як частину ГІС.

У інших випадках досить часто важко чітко визначити різницю між КБнД і ГІС і розмежувати їхні функції. Це зумовлено тим, що інформаційну основу і ГІС, і КБнД складають передусім географічні карти, а результати аналізу або запитів в обох системах також подаються досить часто у вигляді карт. Утім, не дивлячись на їхню близькість, функції ГІС і КБнД доцільно відрізнити, виходячи з методологічних міркувань. Таким чином, методологічною основою побудови ГІС, наприклад у геоєкології, має бути системний підхід до відображення структури та динаміки геосистем різними методами, передусім методами математично-картографічного моделювання. У КБнД ж провідне значення належить суто картографічному методу дослідження, зокрема моделювання, як інструменту пізнання структури та динаміки геосистем. З огляду на це, можна умовно вважати, що *КБнД є "менш методологічно і технологічно розвинутою" ГІС*, а також досить архаїчним терміном.

З іншого боку, останнім часом при створенні інформаційних систем у географії та науках про Землю велика увага приділяється і побудові т.зв.

експертних систем (ЕС). Вони у цілому кваліфікуються як *системи логічного виводу результатів аналізу, які базуються на фактах (знаннях) і евристичних прийомах (емпіричних правилах) обробки даних* і зараз фактично замінюються більш прогресивними системами штучного інтелекту (ШІ). При цьому принциповими складниками зазначених систем є *бази знань* як організовані набори фактів і механізми логічного вирішення поставленої задачі. Виходячи з таких позицій, у випадку, якщо експертну систему будь-якого рівня буде поєднано саме з ГІС у традиційному розумінні, або ж навпаки, якщо у ГІС буде включено певні елементи експертної системи, то таку *комбіновану інформаційну систему* можна розглядати як *специфічний*, головним чином за методами та технологіями аналізу, *різновид ГІС.*

Крім того, зараз у предметній області наук про Землю значного поширення набувають спеціальні системи, найбільш характерною за змістом назвою яких є, наприклад, **інформаційні системи екологічного менеджменту (ІСЕМ).** Принциповою ознакою такого типу систем, яка вирізняє їх з-поміж інших, є наявність у їхньому складі спеціально розробленого програмно-алгоритмічного блока (модуля або підсистеми) – **системи підтримки прийняття рішень (СППР).** І знову-таки, якщо ІСЕМ буде створено на основі традиційної ГІС, або навпаки, якщо ГІС буде містити елементи ІСЕМ, то *зазначені поєднання* (враховуючи і можливість додаткового поєднання і з елементами експертної системи) можна змістово кваліфікувати як *певні модифіковані ГІС.*

Методологічно корисним може бути стислий огляд трансформації та варіабельності власне визначення "ГІС" з різних позицій. Так, досить характерним є визначення *Девіда Райнда (DeMers, 2008),* який назвав ГІС "комп'ютерною системою для збору, перевірки, інтеграції та аналізу інформації, що відноситься до земної поверхні". За такого визначення увага акцентується, поперше, на земній поверхні як домінуючому об'єкті ГІС, а, по-друге, нагадується про велику кількість операцій, які є необхідними для будь-якого геопросторового аналізу. Було запропоновано досить багато інших визначень ГІС (*DeMers, 2008*), серед яких фігурували такі критерії, як відмінність між ручними та комп'ютерними методами аналізу карт, головні цілі використання ГІС як засобу аналізу інформації щодо Землі тощо, аж до включення до визначення "ГІС" організацій і людей, які працюють з геопросторовими даними.

Усе це є закономірним для систем і технологій, які швидко розвиваються, а проте найбільш корисним для розуміння сутності методології ГІС, на наш погляд, є *структурно-функціональне визначення ГІС за Майклом ДеМерсом (DeMers, 2008; Samoilenko, 2012, 2024),* згідно з яким **ГІС розглядається як набір підсистем, які її утворюють.** До таких обов'язкових **структурно-функціональних підсистем ГІС** належать:

1) **підсистема збору та введення геопросторових даних,** яка збирає та проводить попередню обробку таких даних з різноманітних джерел. Ця підсистема також перетворює різних типи геопросторових даних;

2) підсистема збереження, вибірки та редагування геопросторових даних, яка організує ці дані з метою їхньої вибірки, поновлення та редагування;

3) підсистема маніпуляції даними та їхнього геопросторового аналізу, яка вирішує різні задачі на основі цих даних, групує та розмежовує їх, встановлює параметри та обмеження та виконує функції моделювання. До цієї підсистеми може бути додатково залучено елементи вже розглянутих експертної системи, системи типу ICSEM або системи штучного інтелекту для аналізу сценаріїв і прийняття рішень;

4) підсистема виводу (візуалізації) результатів геопросторового аналізу, яка відображає всі результати такого аналізу або їхню частину у табличній, діаграмній або картографічній формі.

Зміст вищенаведеного визначення "ГІС" за М. ДеМерсом дозволяє порівняти можливості сучасних цифрових ГІС з можливостями традиційних паперових карт, особливо якщо дотримуватися схеми етапів картографічного процесу (табл.В.2).

Табл.В.2 Порівняння процесу картографування для традиційної картографії (карта) та геоінформаційних систем і технологій (ГІС) на різних етапах картографічного процесу

Карта	ГІС
Збір даних: аерофотознімки, геодезичні роботи тощо	Збір даних: аерофотознімки, геодезичні роботи тощо
Обробка даних: агрегація, класифікація тощо, все – як лінійний процес	Обробка даних: агрегація, класифікація тощо плюс аналіз, все – як циклічний процес
Виготовлення карти: кінцева стадія (без розповсюдження)	Виготовлення карти: не завжди кінцевий етап. Зазвичай на основі однієї карти створюються і інші
Тиражування карти	Тиражування карти

При такому порівнянні першу підсистему ГІС може бути співвіднесено з першим і другим етапом процесу картографування – збором даних і компіляцією (складанням) карти.

За традиційної технології карта збирається точок, ліній і областей на фізичному носії, такому як папір або пластик. При цьому інформація постачається передусім за рахунок таких джерел, як:

- 1) експедиційні дослідження;
- 2) стаціонарні та напівстаціонарні дослідження;
- 3) аеровізуальні спостереження;
- 4) дистанційне зондування;
- 5) телеметричний (радіотелеметричний) збір даних, зокрема інтегрований з GPS;

- 6) геодезичні роботи;
- 7) тематичне картографування;
- 8) наземна система моніторингу;
- 9) зовнішні інформаційні системи та мережі;
- 10) літературні, фондові, архівні, статистичні дані та дані з інших першоджерел.

У геоінформаційних технологіях використовують електронні пристрої для запису або кодування точок, ліній і областей в цифровій системі. При цьому за основні пристрої та засоби введення інформації в геопросторові БД правлять клавіатура, сканер і дигітайзер, а також зовнішні інформаційно-мережні системи та комп'ютерні носії інформації. Джерела постачання інформації – ті ж, що і для традиційної технології, утім до них додається широкий спектр цифрових джерел, таких як:

- 1) готові цифрові карти;
- 2) цифрові моделі висот (ЦМВ);
- 3) цифрові ортофотознімки;
- 4) цифрові бази даних і багато інших.

За аналогічного до табл.В.2 порівняння схожа ситуація виникає і для **другої підсистеми ГІС** – підсистеми збереження, вибірки та редагування геопросторових даних (табл.В.3).

Табл.У.3 Порівняння функцій підсистеми збереження, вибірки та редагування геопросторових даних для традиційної картографії (карта) та геоінформаційних систем і технологій (ГІС)

Карта	ГІС
Точки, лінії та області малюються на папері тощо за допомогою символів	Точки, лінії та області зберігаються як растрові зображення або координати та ідентифікатори у комп'ютері
	Таблиці атрибутів пов'язані з координатами
Вибірка – це просто читання карти	Вибірка забезпечується ефективними методами комп'ютеризованого пошуку

Примітка. **Ідентифікатор** (англ. *identifier*) – унікальний номер, який призначається геопросторовому об'єкту певного цифрового шару автоматично або користувачем і править за засіб зв'язку позиційної та непозиційної частини геопросторових даних (див. р.2).

Хоча у традиційному картографічному методі і нема прямої відповідності другій підсистемі ГІС, власне карта є засобом збереження та вибірки інформації і точки, лінії та області, які на ній нанесено, і зберігаються там для вибірки їх читачем карти. Утім, досить часто насиченість і складність карти заважають користувачу вибирати з неї інформацію.

Для ГІС такі вади відсутні і підсистема збереження та вибірки дозволяє користувачу робити запити, за якими отримується лише потрібна, контекстно поєднана інформація. Така підсистема переносить акцент із загальної інтерпретації карти на формулювання адекватних запитів. Це забезпечується тим, що, по-перше, зазначена підсистема зберігає явно чи неявно координати точкових, лінійних і площинних геопросторових об'єктів і поєднані з ними характеристики (атрибути). По-друге, комп'ютеризовані методи пошуку природним чином властиві власне програмному забезпеченню ГІС.

У традиційному картографічному методі немає прямого аналога і для **підсистеми маніпуляції даними та їхнього геопросторового аналізу**, не говорячи вже про елементи комп'ютеризованих СППР тощо, за винятком того, що карта є фундаментальним інструментом аналізу геопросторових даних (табл.В.4).

Табл.В.4 Порівняння функцій підсистеми геопросторового аналізу даних для традиційної картографії (карта) та геоінформаційних систем і технологій (ГІС)

Карта	ГІС
Потрібні лінійка, планіметр, транспортир і інші інструменти, що використовуються людиною-аналітиком	Використовуються можливості комп'ютера для вимірювання, порівняння і опису інформації в базах даних
Можливості обмежені даними, згрупованими та поданими на паперовій карті	Забезпечений швидкий доступ до вихідних даних, є можливість групувати та перекласифікувати дані для подальшого аналізу

Традиційна карта (див. табл.В.4) потребує застосування лінійки для вимірювання відстаней, транспортира для визначення напрямку та ґратки або планіметра для вимірювання площі. Більше того, людину, яка аналізує карту, обмежено графічними методами, які було використано при подаванні даних на аркуші паперу або пластика.

Для ГІС підсистема маніпуляції даними та їхнього геопросторового аналізу є ключовою. Геопросторовий аналіз використовує потенціал сучасних геоінформаційних технологій для вимірювання, порівняння та опису інформації, яка зберігається в базах даних. Програмні продукти забезпечують швидкий доступ до вихідних даних і дозволяють агрегувати та перекласифікувати дані для наступного аналізу. Користувачі ГІС і ГІС-інструментарію не тільки не обмежені видами інформації, що використовуються, а й можуть комбінувати обрані набори даних унікальними та цінними способами, які виходять далеко за межі простого аркуша із нанесеною на нього картою.

Після проведення аналізу постає питання про подавання його результатів, тобто про **підсистему виводу (візуалізації) результатів геопросторового**

аналізу. У картографії кінцевий продукт є одним і тим же – це карта, тобто виробництво та тиражування карт є двома кінцевими етапами у картографічному методі.

Істотною ж різницею між ГІС і картографією, крім різниці у підсистемі аналізу, є способи подавання результатів геопросторового аналізу (табл.В.5) (див. також р.9).

Табл.В.5 Порівняння функцій підсистеми виводу результатів геопросторового аналізу для традиційної картографії (карта) та геоінформаційних систем і технологій (ГІС)

Карта	ГІС
Тільки графічне подавання	Карта – лише один з видів виводу у ГІС
Багато форм карт	Ті ж можливості, що й традиційні карти
Модифікації можуть містити діаграми і ін.	Містить також картограми, таблиці, графіки, діаграми, фотографії тощо

Хоч багато хто з користувачів все ж таки буде використовувати традиційне картографічне подавання, у сучасних геоінформаційних технологіях, які вельми розширюють таке подавання, зокрема за рахунок електронних тривимірних карт тощо, є багато і інших можливостей – картограми, таблиці, графіки, фотографії тощо, поміж них їхні комбінації між собою та з картою. Принциповою відмінністю геоінформаційних технологій у цьому аспекті є також набір пристроїв і засобів (систем), на які спрямовано і через які реалізується підсистема виводу ГІС, а саме:

- 1) монітор;
- 2) плотер (*англ. plotter*);
- 3) принтер;
- 4) магнітні носії;
- 5) відеофільми;
- 6) слайди;
- 7) зовнішні інформаційні системи та мережі тощо.

Примітка. Багато перерахованих пристроїв і засобів застосовуються і при підготовці тих же паперових карт засобами, наприклад, *Mapping-систем*, які, утім, вельми відрізняються від ГІС за змістовими та функціональними можливостями створення карт тощо (див. попередній текст, р.9 і р.10).

Важливою проблемою методологічно об'єктивного вивчення основ геопросторового аналізу є також проблема **загальної структурованої класифікації інформаційних систем** для визначення в ній **місця ГІС** (окремі тематичні класифікації буде розглянуто далі за текстом). Таку класифікацію, в цілому в досить вдалій, на наш погляд, інтерпретації, було запропоновано Майклом ДеМерсом (*DeMers, 2008*) у формі таксономічного дерева (рис.В.2).

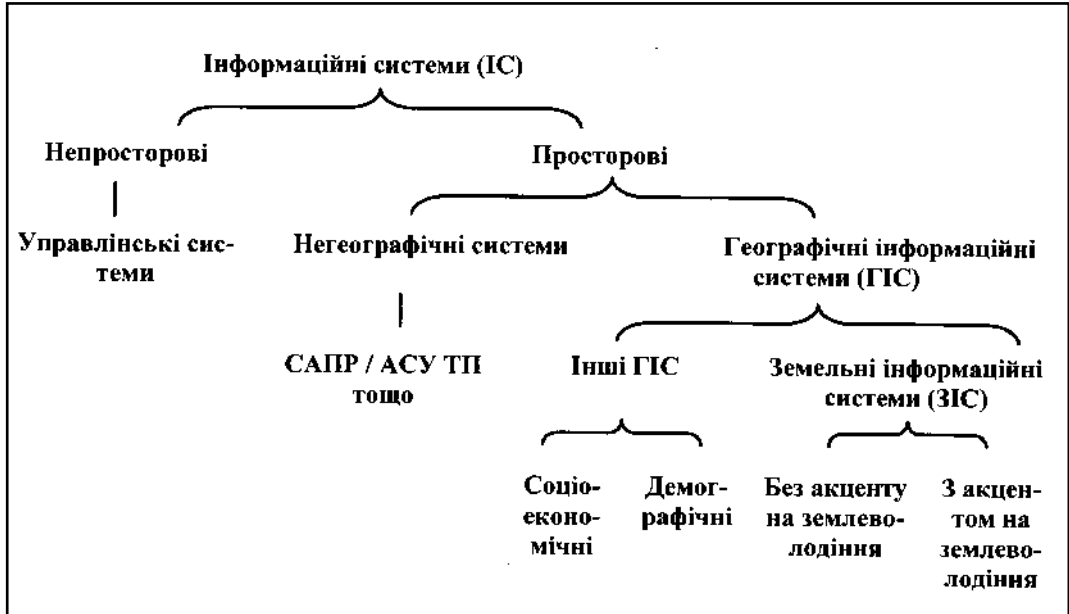


Рис.В.2 Класифікація інформаційних систем з урахуванням місця в ній ГІС та ЗІС (за DeMers, 2008)

Рис.В.2 наочно ілюструє розподіл між *просторовими* (геопросторовими за прийнятою у монографії термінологією) та *непросторовими* інформаційними системами, де, зрозуміло, ГІС потрапляють до категорії (гео)просторових ІС. Вирізнено також два класи (гео)просторових ІС: *географічні* і *негеографічні*.

Негеографічні (гео)просторові ІС хоча і оперують певною частиною географічного простору, зазвичай мають слабкий зв'язок з власне землею поверхнею та координатами на ній, тобто, іншими словами, вони зазвичай не використовують геокодування. Таким чином, такі класи ІС, як системи комп'ютеризованого креслення та автоматизованого проєктування (САПР) (з урахуванням наших застережень щодо САПР, див. раніше), комп'ютерної графіки при автоматизованому управлінні технологічними процесами (АСУ ТП) тощо і відносяться до негеографічних (гео)просторових ІС.

Гілка геоінформаційних систем має ще два відгалуження: ГІС у (DeMers, 2008) поділено на *земельні ІС (ЗІС)* і "*неземельні*" або *інші ГІС*.

Такий поділ є вельми умовним, утім інколи корисним, позаяк він відрізняє застосування ГІС, які сфокусовано власне на землі (земельно-територіальних ресурсах), від тих, де, хоч і використовується геокодування, більш значущою є інформація, яка може чинити вплив на пов'язані з землею чинники або підпадати під вплив з боку останніх. У "*неземельні*" застосування ГІС за такого підходу включено соціальні, економічні, транспортні, політичні і інші тематичні спрямування ГІС.

Поєднані з земельно-територіальними ресурсами види діяльності стосуються другого, досить часто використовуваного типу ГІС – *земельних ІС (ЗІС)* (див. раніше). Тому на схемі рис.В.2 ЗІС диференційовано на ті, які засновано на поділі землі на ділянки власності (ГІС із землеволодіння та зумовлених цим питань), і ті, які такий поділ не використовують (ГІС з природних ресурсів, ландшафтознавства, геоєкології, гідрології тощо), які власне і викликають найбільший інтерес, зважаючи на спрямованість цієї монографії. Загалом класифікаційна схема рис.В.2 звичайно *не є універсальною* і головним чином має методологічно-пізнавальне значення для розуміння місця ГІС у інформаційних системах у цілому.

Примітка. Поділ ГІС за схемою рис.В.2, на наш погляд, доцільніше було б починати наприклад з їхнього віднесення до певних дисциплін (економічної, соціальної, фізичної географії тощо), відтворюючи складники системи "природа – суспільство", з подальшою обґрунтованою моно- або полікритеріальною їхньою диференціацією.

Доцільно зупинитися також на *загальному понятті про апаратне забезпечення ГІС та операційні системи* для їхньої розробки та експлуатації.

У цілому під *апаратним забезпеченням* (англ. *hardware*) (син. **апаратні засоби, апаратура, технічні засоби**) розуміється *технічне обладнання системи обробки інформації* (на відміну від програмного забезпечення, англ. *software*, процедур, правил і документації), *яке містить власне комп'ютер і інші механічні, магнітні, електричні, електронні та оптичні периферійні пристрої або аналогічні прилади, які працюють під управлінням системи чи автономно, а також будь-які пристрої, необхідні для функціонування системи* (наприклад, *GPS-апаратура, електронні картографічні та геодезичні прилади тощо*).

Примітка. **Архітектурою** (англ. *architecture*) зветься загальна організація взаємозв'язку апаратного забезпечення обчислювальної системи, а **конфігурацією** (англ. *configuration*) – сукупність функціональних частин цього забезпечення.

Як вже зазначалося, сучасні ГІС і ГІС-інструментарій створюються та функціонують на основі різного виду та типу комп'ютерів. **Класифікація комп'ютерів за областями застосування** розподіляє їх на:

- 1) *персональні комп'ютери (ПК) і робочі станції* (англ. *workstation*);
- 2) *X-термінали*;
- 3) *сервери*;
- 4) *мейнфрейми*;
- 5) *кластерні архітектури (системи)*.

Дуже часто термін "**робоча станція**", яку, на відміну від ПК, стисло можна визначити як *великий, потужний і швидкодіючий комп'ютер*, синонімічно ототожнюють з терміном "**автоматизоване робоче місце**" (АРМ). Хоча у більш строгому формулюванні під АРМ слід було б розуміти індивідуальний комплекс апаратних і програмних засобів, призначений для автоматизації

професійної праці фахівців, проєктувальників, операторів тощо. АРМ в обох значеннях функціонує у складі інформаційної мережі певного рівня (мірила) (англ. *networked workstation*) або в автономному режимі (англ. *stand-alone workstation*). Інколи окремо вирізняються т.зв. *графічні робочі станції* як високопродуктивні комп'ютери з потужним графічним прискорювачем (*графічним процесором*), які зазвичай працюють під управлінням операційної системи *UNIX* (див. далі).

X-термінали відрізняються від ПК і робочих станцій не тільки тим, що не виконують функцій звичайної локальної обробки. Робота X-терміналів залежить від *головної ("гост")* (англ. *host*) системи, до якої їх підключено через мережу. Для того, щоб X-термінал міг функціонувати, необхідно інсталиувати програмне забезпечення багатовіконного сервера на головному процесорі, який виконує прикладну задачу. Локальні обчислювальні ресурси X-терміналу зазвичай використовуються для відображення інформації, яка отримується з віддаленого **головного комп'ютера (сервера)**.

Прикладні багатофункціональні інформаційні системи, зокрема ГІС, зараз зазвичай застосовують модель (технологію) "*клієнт-сервер*" і розподілену обробку інформації. У розподіленій моделі "*клієнт-сервер*" частину роботи виконує сервер, включаючи *суперкомп'ютери*, серед них квантові, а частину – комп'ютер користувача. Існує *декілька типів серверів*, які зорієнтовано на різні застосування: *файл-сервер, сервер баз даних, обчислювальний сервер, сервер прикладних програм*. Тобто за таких умов тип сервера визначається *видом ресурсу*, яким він володіє (файлова система, бази даних, принтери, процесори або пакети прикладних програм тощо). Інколи сервери типізують і за *специфікою та/або мірилом інформаційної мережі*, в якій вони використовуються (*сервер робочої групи, корпоративний сервер, сервер глобальної мережі* тощо) (рис.В.3).

Мейнфрейми (англ. *mainframe*) і дотепер залишаються, не враховуючи суперкомп'ютерів, вельми потужними обчислювальними системами загального призначення, які забезпечують неперервний цілодобовий режим експлуатації. Вони можуть містити один чи декілька процесорів, кожен з яких може бути обладнано векторними співпроцесорами як прискорювачами операцій з суперкомп'ютерною продуктивністю.

На сьогодні все більше розвиваються також т.зв. *системи високої доступності* (англ. *High Availability Systems*). Вони підпорядковані одній загальній меті – мінімізації часу простою комп'ютерної техніки через її несправності, викликані відмовами тощо. Існує декілька типів систем високої доступності, але через велику вартість їхнього створення *найбільше розповсюдження* у світі отримали т.зв. *кластерні системи (кластерні архітектури)*, через те, що вони забезпечують досить високий рівень відмовостійкості систем при відносно низьких витратах. Достатньо точним визначенням терміна "**кластеризація**" у сучасній комп'ютерній індустрії може бути таке, як *реалізація*

об'єднання комп'ютерів, яке уявляється єдиним цілим для операційної системи, системного програмного забезпечення, прикладних програм і користувачів. Комп'ютери, кластеризовані разом таким чином, можуть при відмові одного процесора швидко перерозподілити роботу на інші процесори всередині кластера. Першою концепцією **кластерної системи** анонсувала компанія DEC, визначивши її як *групу об'єднаних між собою обчислювальних машин, яка є єдиним вузлом обробки інформації*. Наразі домінують UNIX-кластери.

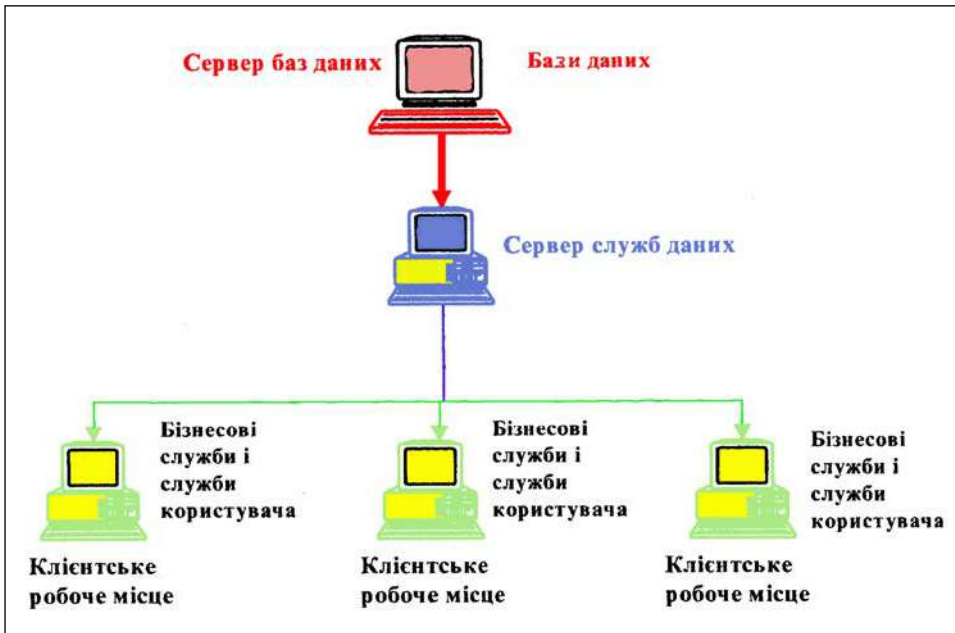


Рис.В.3 Приклад рішення "клієнт – сервер баз даних" у корпоративному варіанті (за *Samoilenko, 2010, 2024*)

Стосовно **операційних систем (ОС)** для розробки та експлуатації ГІС можна стисло зазначити таке, нагадавши, що під ОС загалом розуміється *програмний комплекс комп'ютеризованої системи, який забезпечує підтримку всіх програм та їхню взаємодію з апаратними засобами та користувачем, керуючи пам'яттю, зокрема зовнішньою, і доступом у системі та здійснюючи її захист, облік використання ресурсів, обробку командної мови тощо*.

Примітки.

1. **Програма** (англ. *program*) – послідовність команд і даних до них, які призначено для управління конкретними компонентами певної системи обробки інформації з метою реалізації заданого алгоритму.

2. **Програмне забезпечення (ПЗ)** (англ. *software*) у цілому є сукупністю програм певної системи та програмних документів, необхідних для експлуатації цих програм. Так ПЗ ГІС (англ. *GIS software*) підтримує функціональні можливості ГІС та

геопросторового аналізу (див. далі). Зазвичай розрізняють загальне, зокрема системне ПЗ (*англ. system software*) і прикладне ПЗ (*англ. application software*).

Наразі на світовому ринку персональних комп'ютерів і робочих станцій домінують такі **операційні системи**, як сім'я ОС *Windows* компанії *Microsoft*, сім'я ОС *UNIX* різних компаній і сім'я *MacOS*.

Примітка. **UNIX (Unix)** – операційна система, яка відзначається високою надійністю, призначена для вирішення багатьох задач широким колом користувачів і має розвинуті засоби для роботи в інформаційних мережах. Розроблена на початку 1970-х років для міні-ЕОМ *PDP-11* фірми *DEC* і застосовувала спеціально створену для неї мову програмування *C*. Згодом *UNIX* було перенесено на комп'ютери всіх класів – від ПК до мейнфреймів і суперкомп'ютерів. Графічний інтерфейс користувача цієї ОС забезпечується стандартом *X-Windows*, а протоколом обміну файлами є *UUCP* (від *англ. абрєвіатури Unix-to-Unix Copy Program*), який широко застосовується в електронній пошті, зважаючи також на те, що ОС *UNIX* є базовою системою мережі Інтернет.

Периферійні пристрої апаратного забезпечення для введення інформації у БД (сканери, дигітайзери тощо) та виводу інформації (принтери, плотери тощо) буде частково розглянуто у наступних відповідних розділах монографії.

Доцільно стисло розглянути також, зокрема і ретроспективно, ще **декілька тематичних класифікацій, які стосуються ГІС-інструментарію**.

Так, в залежності від **потрібного апаратного забезпечення** ще у кінці минулого сторіччя загалом вирізнялося **три типи ГІС-інструментарію**:

1) **перший**, до якого відносили *потужне, орієнтоване головним чином на робочі станції, сервери та інформаційно-мережну експлуатацію, універсальне програмне забезпечення*, за допомогою якого можна обробляти величезні обсяги інформації, використовуючи різноманітні засоби як її введення, від дигітайзерів до станцій обробки космічних знімків, так і виводу, який забезпечує практично друкарську якість отримуваних карт тощо;

2) **другий**, який ототожнювали із *спеціалізованим програмним забезпеченням*, також призначеним для високопродуктивних комп'ютерів, але *дещо менш потужним, ніж ПЗ першого типу*. Воно створювалося для визначених тематичних задач, наприклад обробки геодезичних даних або даних земельного кадастру. Таке програмне забезпечення сприяло досягненню у своїх областях застосування результатів, що нерідко перевершували аналогічні результати для універсального ПЗ, маючи при цьому необхідний набір функцій, який забезпечував йому стандартні можливості ГІС-інструментарію;

3) **третій**, що був представлений *ГІС-інструментарієм настільного типу (настільним ГІС-інструментарієм)*, який функціонував на основі персональних комп'ютерів.

Окремо вирізнялися також урізані версії універсального ГІС-інструментарію для робочих станцій тощо, які були призначено для персональних комп'ютерів.

На сьогодні щойно подана класифікація за умов сучасного бурхливого прогресу технічної основи інформаційних технологій, передусім продуктивності та операційних систем тих же персональних комп'ютерів (ПК), виглядає вельми умовною. Це спричинено тим, що залишається все менше обмежень на застосування універсального повнофункціонального ГІС-інструментарію на ПК, які вже використовуються як сервери тощо. Тому і на сьогоднішній день, в окремих випадках, формально можна розрізняти **повнофункціональний професійний ГІС-інструментарій для робочих станцій** чи ще продуктивніших систем, та **ГІС-інструментарій настільного типу (настільний ГІС-інструментарій, англ. *desktop GIS tools*) для ПК**. Утім, при цьому не слід забувати що, з одного боку, визначені функціональні можливості певного настільного ГІС-інструментарію для ПК можуть бути не гіршими, а подекуди навіть кращими, ніж у повнофункціонального інструментарію для робочих станцій, зокрема з огляду на можливість і професійного застосування цих настільних інструментальних засобів. З іншого боку, такі програмні засоби, як, наприклад, *MapInfo Professional* сучасних версій тощо, взагалі кваліфікуються як **повнофункціональний професійний ГІС-інструментарій настільного типу**, призначений для роботи як **на ПК**, так і більш **потужних комп'ютерах**. За таких умов застосування терміна "настільний ГІС-інструментарій" покликане скоріше дистанціювати його як тип від інших сучасних типів ГІС-інструментарію, таких як серверний, мобільний, спеціалізований тощо.

У цілому, знову-таки повертаючись до **варіабельності поняття "ГІС"**, подекуди досить еkleктичної, слід зазначити, що **методологічно доцільно відрізнити між собою такі тлумачення цього поняття**:

1) **ГІС як програмний продукт**, який слід коректніше називати *програмним інструментальним засобом* чи *програмним інструментарієм ГІС* або *програмним ГІС-інструментарієм* чи, найкраще, *ГІС-інструментарієм*. Він може бути у вигляді, по-перше, програмного забезпечення (ПЗ) ГІС, яке підтримує створення та експлуатацію ГІС і/або той чи інший набір функціональних можливостей ГІС, що вже створена та експлуатується як інформаційна система. По-друге, ГІС-інструментарій найчастіше розглядається як один з видів програмних засобів автономного геопросторового аналізу та/або моделювання геопросторових даних. ГІС-інструментарій містить у собі спеціалізовані програмні засоби різного ступеня інтегрованості та комплектації: від т.зв. *комплексних програмних ГІС-продуктів* (наприклад, сім'я програмних продуктів *ArcGIS* компанії *ESRI, Inc.* тощо) до окремих складників цих продуктів, зокрема самостійних (симплексний інструментарій), або комбінацій таких складників. Серед окремих щойно зазначених складників можна вирізнити, наприклад, програмувальний (для розробки нових програм), серверний і мобільний ГІС-інструментарій, т.зв. векторизатори (див. р.3), програмні засоби: відтворення та перегляду картографічних зображень (див. р.9), настільного картографування (англ. *desktop mapping*), перетворення форматів тощо.

Головне при цьому уяснити, що зазвичай ГІС-інструментарій створюється та постачається саме у вигляді окремих *функціональних модулів*, які комплектуються в *набори*, які забезпечують вирішення комплексу обраних геоінформаційних задач. До того ж слід враховувати, що, з одного боку, навіть комплексний ГІС-інструментарій може бути адаптовано, змінено та дороблено для певних нестандартних процедур і задач. З іншого боку, об'єднано з ГІС-інструментарієм можуть використовуватися і інші типи програмного забезпечення, такі як, наприклад, спеціалізовані пакети геопросторового аналізу та моделювання, СУБД (додаткові до власних, вбудованих в ГІС), САПР, програмні засоби обробки даних дистанційного зондування, інструментарій інформаційно-довідкових систем тощо (див. детальніше *Samoilenko, 2024*).

Примітка.

Програмні продукти, зазвичай на рівні комплексного ГІС-інструментарію, можуть бути доукомплектовані навіть т.зв. включеними (доданими) геоданими, наприклад, базовими регіональними цифровими шарами геоданих з адміністративним поділом, кордонами тощо.

2) **ГІС як апаратно-програмний комплекс, який підтримує сукупність заданих процедур** (див. точне визначення ГІС на початку вступу) **і є інформаційною основою певної предметної геопросторової області**. Тобто у цьому випадку мова йде саме про інформаційну систему для виконання окресленого набору операцій з визначеними геопросторовими даними. Така система може бути в процесі її проектування, запроєктована, частково або повністю реалізована згідно з її проектом (див. *Samoilenko, Bilous, 2024*) Вона має охоплювати чи вже охоплює насамперед усі п'ять ключових складників ГІС (див. рис.В.1) – апаратні засоби, програмне забезпечення, розробників, режими та регламенти роботи та користувачів, а до того ж мати робочу чи остаточну назву за призначенням ГІС, наприклад, ГІС Дунаю, ГІС природокористування певного регіону тощо.

Існувала класифікація і за **можливостями зміни та розширення функцій ГІС-інструментарію**, за якою в кінці минулого сторіччя розрізняли:

1) **закритий ГІС-інструментарій**. Він не мав можливостей розширення, тому що у ньому відсутні вбудовані мови програмування, а отже не передбачено написання нових, потрібних користувачу прикладних програм, чому такий інструментарій виконував лише ті функції, які передбачені на момент його поставки;

2) **спеціалізований ГІС-інструментарій**. Програмне забезпечення такого типу зазвичай містило т.зв. *бібліотеку прикладних програм*, з якої і формується визначений набір цих програм, потрібних користувачу;

3) **відкритий ГІС-інструментарій**. Засоби такої категорії найчастіше мали певну кількість вбудованих функцій і при цьому могли бути побудовані самими користувачами за допомогою спеціального апарата створення прикладних програм. У цілому термін "відкритий" у даному випадку означає

відкритість ГІС-інструментарію для безпосереднього користувача – його власника, легкість пристосування, розширення, зміни, адаптації до нових форматів і даних, які змінилися, та взаємозв'язок між існуючими програмними засобами тощо.

Зараз ж, завдяки інформаційно-технологічному поступу, існують умови для *досить вільної комплектації* користувачами робочого ГІС-інструментарію. Це зумовлено наявністю програм з відкритим кодом, можливостями поєднання, на основі спеціальних сучасних програмувально-інтегрувальних технологій (*OLE, ActiveX*, див. наступні примітки), програмних засобів різного призначення та різних постачальників, а також завдяки, у більшості випадків, відсутності проблем із сумісністю відмінних між собою форматів геопросторових даних, модулів їхньої обробки при геопросторовому аналізі тощо.

Примітки.

1.**OLE** (абр. від англ. *Object Linking and Embedding* – *сполучення та вкладання (впровадження, вбудовування) об'єктів* (у цьому випадку програмного інструментарію):

1) до 1996 р. – загальна назва групи об'єктно-орієнтованих технологій *Microsoft* на основі моделі *COM*, таких як *OLE 1, OLE 2, OLE Automation, OLE Database* тощо;

2) з 1996 р. після запровадження терміна "*ActiveX*" – назва технологій на основі моделі *COM*, які використовуються для створення інтегрованих об'єктів шляхом сполучення та вкладання (впровадження, вбудовування).

2.**ActiveX** – назва групи технологій, розроблених *Microsoft* для розробки прикладних програм на основі моделі *COM*.

3.**COM** (абр. від англ. *Component Object Model* – *Модель Компонентних Об'єктів*) – стандартна програмувальна технологія (модель), разом з відповідними інтерфейсами, для надавання сервісних можливостей одним об'єктів для використання іншими об'єктами.

4.**OLE Automation** (букв. *OLE-автоматизація*) – автоматизована технологія на основі *COM*, яка дозволяє надавати сервісні можливості певної серверної прикладної програми для застосування в інших програмах клієнтів, використовуючи т.зв. диспетчерські інтерфейси (диспінтерфейси, англ. *dispinterfaces*).

5.3 огляду примітки 1-4 застосовуються і такі терміни, як "*ГІС-інструментарій, що вкладає (впроваджує, вбудовує)*" (англ. "*Embedding GIS tools*"), "*вкладений (впроваджений, вбудований) ГІС-інструментарій*" (англ. "*Embedded GIS tools*"). Також можна зустріти термін "*вкладена (впроваджена, вбудована) ГІС*" (англ. "*Embedded GIS*"), який вже стосовно ГІС як апаратно-програмного комплексу можна тлумачити як компонент (модуль) інтегрованої інформаційної системи (інформаційно-управлінської тощо).

Слід також мати на увазі, що інколи під терміном "*відкриті ГІС*" розуміються ГІС як тематичні чи комплексні інформаційні системи геопросторових даних, до яких забезпечено *відкритий доступ* будь-яких користувачів, пересудим через *інформаційні мережі* тощо.

Примітка. **Інформаційна мережа** – різна за організацією, архітектурою, територіальним охопленням та призначенням (робочої групи, корпоративна тощо) сукупність комп'ютерів і периферійних пристроїв обумовленого класу, з'єднаних для взаємодії за допомогою апаратно-програмних компонентів.

За **цільовим призначенням**, що вже зазначалося, ГІС як інформаційні системи можна диференціювати на **тематичні** за різними ознаками (наприклад, за природними ресурсами, за науковими галузями, за елементами геосфери тощо) та **комплексні багатоцільові**.

За **територіальним охопленням** або за **геопросторовими рівнями геоінформаційного картографування** ГІС як апаратно-програмні комплекси геопросторової інформації можна поділити на (*в дужках зазначено приблизний діапазон мірила геоінформаційного картографування*):

- 1) **глобальні** (1 : 10 000 000 – 1 : 45 000 000);
- 2) **регіональні** (1 : 500 000 – 1 : 4 000 000);
- 3) **локальні** (1 : 50 000 – 1 : 1 000 000).

За приклад **глобальних ГІС** можуть правити чинні системи моделювання глобальних процесів, поєднані зі спробами оцінити зміни довкілля внаслідок антропогенного впливу, наприклад для вивчення глобальних змін клімату, аналізу можливих наслідків ядерної війни тощо. Для такого типу досліджень, наприклад, геоекологічний геопросторовий аналіз можна здійснювати на рівні природних зон, тому результати моделювання, які подаються у геоінформаційно-картографічному вигляді, матимуть значною мірою оглядовий характер.

Завданням же планування та територіального управління природокористуванням і відновлення довкілля більше відповідають **регіональні та локальні ГІС**, на основі яких можна приймати рішення з організації виробництва, оптимізації ландшафту тощо. Вимоги до вхідної та вихідної інформації тут є більш жорсткими, вони мають відповідати чинним нормативам, які використовуються у практиці екологічних експертиз, розробки схем і проєктів природокористування тощо.

Насамкінець і як частковий підсумок викладеним у вступі положенням доцільно зупинитися на **загальному понятті про структуру ГІС**, використавши з певними змінами та доповненнями блочну схему, подану в (*Samoilenko, 2010, 2012*) для загальної структури ГІС (рис.В.4). Ця схема, не дивлячись на її певну еkleктичність, є корисною з методичних позицій узагальнення початкових уявлень про ГІС як апаратно-програмний комплекс геопросторових даних.

На рис.В.4 схему структури ГІС подано за блочним (модульним) принципом, з відображенням лише принципів моментів і ілюстрацією *можливості розширювати систему* за рахунок додавання нових блоків (модулів) або *можливості працювати лише з визначеним блоком ГІС*. Про наведені блоки в основному вже йшла мова, тому слід стисло зробити ще такі пояснення до цього рисунка, враховуючи і певні специфічні моменти.

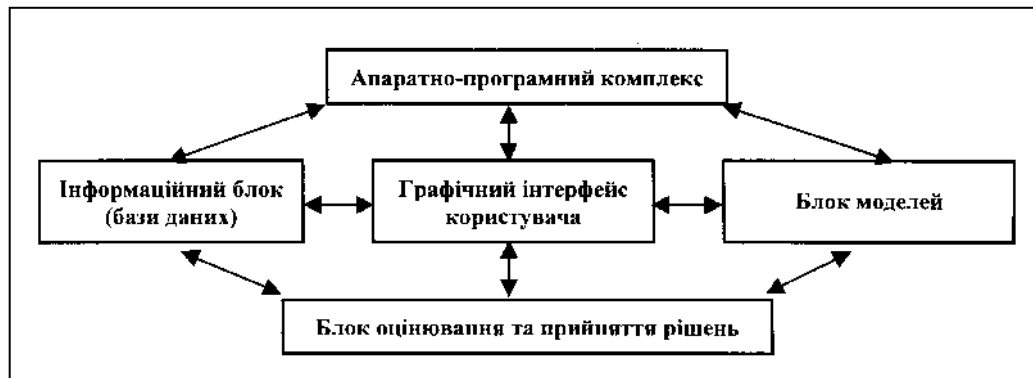


Рис.В.4 Схема структури ГІС за блочним (модульним) принципом

Графічний інтерфейс користувача (ГІК, англ. GUI) – це та, що оформлена у графічному середовищі, сукупність засобів і правил організації взаємодії користувача з ПЗ ГІС (вікна, меню, лінійки та панелі інструментів, кнопки команд, списки тощо). Сучасний програмний інструментарій ГІС, з одного боку, містить стандартні інтерфейси, зручні для кінцевого непідготовленого користувача. З іншого боку, цей інструментарій дозволяє більш підготовленому користувачу, а проєктанту ГІС і поготів, розробляти власні макрокоманди та більш складні, але також зручні багатовіконні інтерфейси та меню. До того ж у користувачів сучасного ГІС-інструментарію взагалі є можливість створювати власні складні прикладні програмні продукти для вирішення специфічних завдань з реалізацією в середовищі цього інструментарію математично-картографічних моделей відповідних процесів або явищ на додаток до стандартних моделей геопросторового аналізу. Усі зазначені моделі і входять до складу **блока моделей** з їхньою реалізацією через ГІС як апаратно-програмний комплекс.

Доступ до **блока баз даних** забезпечується СУБД і іншими програмними засобами, вбудованими або сполученими з ГІС-інструментарієм. У цілому під **СУБД** (англ. *DBMS*), як типом ПЗ, розуміється комплекс програм і мовних засобів, які призначено для створення, ведення та використання баз даних.

СУБД підтримують зазвичай одну з трьох найбільш розповсюджених структур (або схем) баз даних, які буде детально розглянуто у р.2, а саме: реляційну (англ. *relational*), ієрархічну (англ. *hierarchical*) або мережну (англ. *network*). Більшість сучасних комерційних СУБД відносяться до реляційного типу, а необхідність підтримки *мультимедійних технологій* призвела до появи *об'єктно-реляційних* СУБД. У багатofункціональних операційних системах СУБД забезпечують спільне використання різних даних.

Мовні або інші засоби СУБД забезпечують різні операції з даними, серед них введення, збереження, маніпуляцію, обробку запитів, пошук, вибірку,

сортування, поновлення, збереження цілісності та захист даних від несанкціонованого доступу або втрати.

СУБД використовується як засіб управління атрибутивною частиною геопросторових даних. Цю функцію найчастіше виконують комерційні *реляційні СУБД* (англ. *relational DBMS, RDBMS*), у яких користувач сприймає дані як таблиці. Більшість програмних засобів ГІС мають механізми імпорту/експорту даних за допомогою найбільш розповсюджених СУБД, насамперед *Oracle* тощо.

Примітки

1. **Мультимедійні технології** – різновид інформаційних технологій, який є інтеграцією технологій, які дозволяють інформаційним системам спільно вводити, обробляти, зберігати, передавати та відтворювати такі типи даних, як текст, графіка, нерухомі зображення, анімація, відео, звук тощо, забезпечуючи інтерактивний доступ користувачів до цих даних, об'єднаних у різних комбінаціях.

2. **Інтерактивний** – заснований на взаємодії, діалозі.

Блок оцінювання та прийняття рішень у схемі рис.В.4 може бути представлено, по-перше, *в уявному вигляді* як рішення на рівні користувача на основі просто виводу потрібних даних. По-друге, цей блок існувати *в явному вигляді* для ГІС з СППР і елементами експертних систем різного рівня, зокрема штучного інтелекту, тощо. Більш детальний розгляд принципових блоків ГІС за схемою рис.В.4 буде частково здійснено у відповідних розділах монографії при поступовому розкритті підвалин геопросторового аналізу.

1 ГЕОПРОСТОРОВИЙ АНАЛІЗ ЯК ОСНОВА СУЧАСНОЇ ГЕОГРАФІЇ ТА НАУК ПРО ЗЕМЛЮ

Першим кроком для розуміння сутності та змісту геопросторового аналізу має бути крок, поєднаний з формуванням *геопросторового мислення*. Тим більше, що зміст інформації досить часто визначається не тільки тим, яким чином подаються системи довкілля в геопросторових базах даних, а й тим, наскільки ефективно можна аналізувати та подавати та інтерпретувати результати цього аналізу. Сформована *геопросторова мова* стає інтелектуальним фільтром, через який проходить лише певна вибіркова інформація, і впливає на те, що вважається важливим, і як приймаються рішення за допомогою геоінформаційних технологій.

Саме тому першу частину цього розділу присвячено найбільш важливим *вихідним поняттям і принципам геопросторового аналізу* як основи сучасної географії та наук про Землю.

При цьому власне під *геопросторовим аналізом у географії та науках про Землю* у цілому треба розуміти *групу функцій, які забезпечують аналіз розташування, зв'язків і інших геопросторових відношень геопросторових об'єктів як систем довкілля* (геосистем тощо). **Геопросторовий аналіз безпосередньо у геоінформаційних технологіях** можна більш вузько кваліфікувати і як *операції з дослідження геопросторових даних для їхнього вилучення або створення нових даних*.

Доцільно почати розвідки із розгляду загальних уявлень про **геопросторові елементи**, а саме з *типів об'єктів, які аналізуються за допомогою геоінформаційних технологій*. При цьому **геопросторові об'єкти (елементи) реального світу** можна розділити на **чотири типи**, які легко ідентифікуються, а саме:

- 1) *точки (або точкові об'єкти)*;
- 2) *лінії (або лінійні об'єкти)*;
- 3) *області (або площинні об'єкти чи полігони)*;
- 4) *поверхні (або об'ємні об'єкти)*.

Ці чотири типи об'єктів спільно і відтворюють більшість природних і соціальних явищ, які вивчає як географія, так і науки про Землю. Загальну схему картографічного подавання зазначених типів геопросторових об'єктів (або подавання їх як **картографічних об'єктів**) наведено на рис.1.1.

При геопросторовому аналізі об'єкти реального світу явно представлено трьома типами картографічних об'єктів – точками, лініями та областями, які відображаються відповідними *геометричними (графічними) примітивами* тощо. Поверхні ж подаються найчастіше як третій вимір точок, наприклад їхньої висоти, у вигляді плоских або об'ємних цифрових зображень, які буде розглянуто далі.






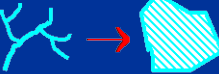

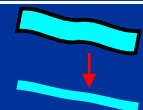

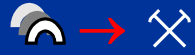

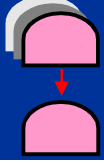
ОБ'ЄКТИ СВІТУ	КАРТОГРАФІЧНЕ ПОДАВАННЯ		
	ТОЧКОВЕ	ЛІНІЙНЕ	ПЛОЩИННЕ
ТОЧКОВІ			
	ДЕРЕВО	ЛАНЦЮГ ВАЛУНІВ	АРЕАЛ ВИДУ ТВАРИН
ЛІНІЙНІ			
	АЕРОПОРТ	ЗАЛІЗНИЦЯ	РІЧКОВА МЕ-РЕЖА БА-СЕЙН РІЧКИ
ПЛОЩИННІ			
	ДІЛЯНКА ЗАБРУДНЕННЯ	ВОДОСХОВИЩЕ	ЗЕМЕЛЬНА ДІЛЯНКА
ОБ'ЄМНІ			
	КАР'ЄР	ЗАПЛАВА РІЧКИ	БУДІВЛЯ

Рис.1.1 Загальна схема картографічного подання геопросторових об'єктів реального світу

Точкові об'єкти – це об'єкти, кожен з яких розташовано лише в одній точці геопростору. Іншими словами, *точковим є нульвимірний геопросторовий об'єкт, який визначається однією парою плоских координат X і Y* . Такі об'єкти називають *дискретними*, маючи на увазі, що у будь-який момент часу кожний з них може займати лише визначену точку геопростору. Таким чином, при геопросторовому аналізі умовно вважається, що дискретний точковий об'єкт не має протяжності (довжини або ширини), але може бути позначений координатами свого місцезнаходження. Ідентифікація та подання точкових об'єктів зазвичай залежать від мірила їхнього спостереження та відображення.

Лінійні об'єкти – це *геопросторові об'єкти, які визначаються набором послідовних пар плоских координат*. При цьому пряма лінія, зрозуміло,

відтворюється двома парами таких координат тощо. Лінії найчастіше є узагальненою формою відображення особливостей геооб'єктів, наприклад, осями доріг, річок, кордонів тощо. Таким чином, лінії *подаються як неперервні одновимірні геопросторові об'єкти* у прямокутному координатному просторі. Мірило, з яким спостерігаються або відтворюються такі об'єкти, знову-таки зумовлює поріг, при перетині якого можна вважати їх тими, які не мають ширини. Для лінійних об'єктів, на відміну від точкових, можна оперувати їхнім геопросторовим розміром шляхом вимірювання довжин ліній, а також визначати форму та орієнтацію останніх.

Об'єкти, які відтворюються серією пар плоских координат таким чином, що мають і довжину, і ширину, тобто є двовимірними геопросторовими об'єктами, називаються **областями** або **площинними об'єктами** чи **полігонами**. При визначенні місцезнаходження області її межею є лінія, яка починається та закінчується в одній і тій самій точці. Зрозуміло, що крім форми та орієнтації можна віднайти і величину площі, яку займає полігон.

Додавання до площинних об'єктів нового, третього виміру (Z), наприклад висоти, перетворює їх на **поверхні** або **об'ємні об'єкти** (рис.1.2). Вони кількісно описуються за допомогою визначення місцезнаходження, форми, орієнтації, площі з урахуванням третього виміру, а отже з можливістю визначення і їхнього об'єму.

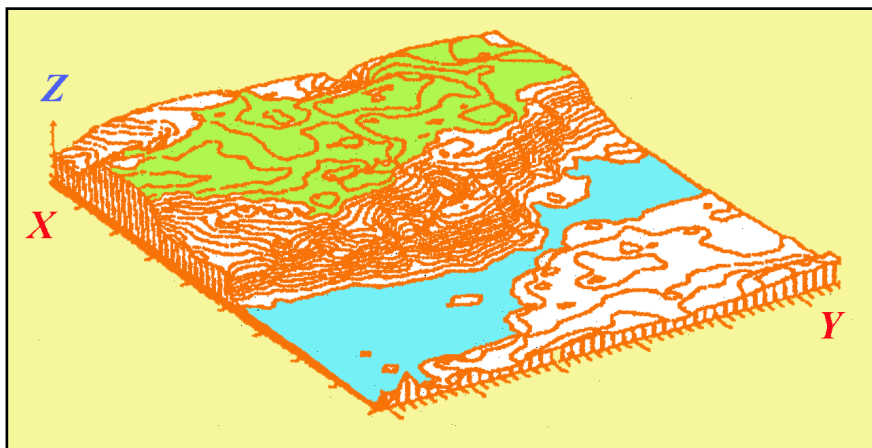


Рис.1.2 Поверхні або об'ємні об'єкти (на прикладі комп'ютерної моделі території Кисва з перетинами горизонталей)

Поверхні, значення третього виміру яких визначено у всіх точках координатних областей цих поверхонь, звуться *неперервними*, на відміну від *дискретних* поверхонь, які можуть бути окремими угрупованнями щойно зазначених точок (більш детальне тлумачення цих понять – у р.6). Обидва типи поверхонь досить часто відображаються *ізолініями значень третього виміру*, лише за якими, зрозуміло, не можна скласти судження щодо неперервності

або дискретності поверхонь (приклад для фрагментів поверхонь – на рис.1.3). Крім того слід мати на увазі, що *третім виміром поверхонь* зовсім не обов'язково є висотна позначка, ним *може бути будь-який інший кількісний атрибут об'єкта*, який характеризує наприклад інтенсивність певного явища або процесу тощо.

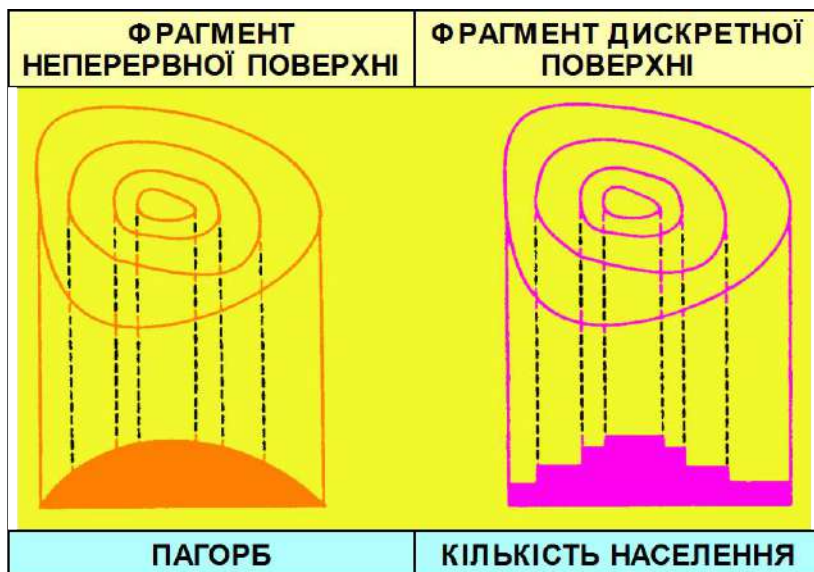


Рис.1.3 Відображення за допомогою ізоліній фрагментів неперервних та дискретних поверхонь

Як вже зазначалось, картографічні об'єкти містять інформацію не лише про їхнє місцезнаходження, а й про те, чим є ці об'єкти. *Додаткова незпозиційна інформація, що є допоміжною для опису об'єктів, які спостерігаються у геопросторі*, утворює набір **атрибутів** цих об'єктів та за змістом і зветься власне **атрибутивною інформацією**. При вивчанні елементів довкілля їхні атрибути розподіляються за класами чи категоріями (тобто здійснюється класифікація атрибутів) і задається їхній розподіл за об'єктами (детальніше – у р.2).

Але перед тим, як присвоїти атрибути певним геопросторовим об'єктам, слід визначитись з способами та еталонами їхнього вимірювання тощо. Саме для цього і існує *усталена основа для вимірювання практично всіх видів даних*, включаючи геопросторові, яка зветься **шкалами вимірювання даних, які мають різні рівні** (англ. *levels of scales for data measurement*). Вибір певної шкали вимірювань (або рівня шкали вимірювань) загалом зумовлюється:

- 1) об'єктом класифікації і специфікою останньої;
- 2) спрямованістю процесу досліджень;
- 3) можливостями проводити вимірювання при заданому мірілі спостережень.

Розрізняються **чотири види (рівні) шкал вимірювань**, а саме:

- 1) *номінальна* шкала (або шкала *найменувань*);
- 2) *порядкова* (або *рангова*) шкала;
- 3) *інтервальна* шкала;
- 4) *шкала відношень*.

На рис.1.4 проілюстровано зазначені шкали вимірювань, поєднані з трьома типами геопросторових об'єктів, які найчастіше використовуються, а саме точками, лініями та областями.


























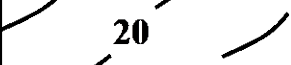


Шкала	Приклади вимірювань характеристик різних об'єктів					
	точки		лінії		області	
номінальна		місто		дорога		озеро
		кар'єр		межа		рілля
		аеропорт		річка		сад
порядкова		Місто: велике		Шосе: федеральне		Забрудненість: значна
		середнє		регіональне		помірна
		мале		місцеве		незначна
інтервальна / відношень	Дебіт свердловини:		Мітки горизонталей:		Інтервали висот:	
		> 10,0		40		> 5,0
		5,0 – 9,9		30		2,0 – 4,9
	0,0 – 4,9		20		0,0 – 1,9	
			10			

Рис.1.4 Шкали вимірювань геопросторових об'єктів і приклади таких вимірювань

На першому рівні знаходиться т.зв. **номінальна шкала** (англ. *nominal scale*), за якою геопросторові об'єкти розрізняються лише згідно з їхніми змістовими найменуваннями. Ця шкала не дозволяє робити прямого кількісного чи якісного зіставлення одного об'єкта з іншим, за винятком прямої тотожності. Змістово-якісний аспект об'єктів, які зіставляються, характеризується **порядковою (або ранговою) шкалою** (англ. *ordinal scale*). Це може бути наприклад хімічна забрудненість ділянок геосистеми: значна, помірна і незначна, що встановлюється за якісними показниками стану цих ділянок. Більш високому рівню вимірювання відповідає **інтервальна шкала**, яка при об'єктивно обраній, а не довільній, точці відліку перетворюється на **шкалу відношень**.

Фундаментальне визначення шкал вимірювань і різниці між ними є досить складним і зумовленим властивостями, які вивчає абстрактна алгебра як спеціальний розділ вищої математики. Тому, без викладу останніх, доцільно навести лише принципову схему наявності певних відношень і операцій при застосуванні зазначених вище видів шкал вимірювань (табл.1.1).

Табл.1.1 Наявність певних відношень і операцій при застосуванні різних видів (рівнів) шкал вимірювань геопросторових об'єктів

ВІДНОШЕННЯ І ОПЕРАЦІЇ		ВИДИ (РІВНІ) ШКАЛ ВИМІРЮВАНЬ			
ВІДНОШЕННЯ	ОПЕРАЦІЇ	НОМІНАЛЬНА	ПОРЯДКОВА	ІНТЕРВАЛЬНА	ВІДНОШЕНЬ
ТОТОЖНІСТЬ	ДОРІВНЮЄ / НЕ ДОРІВНЮЄ	Є	Є	Є	Є
ПОРЯДОК	ДОРІВНЮЄ / НЕ ДОРІВНЮЄ	НЕМАЄ	Є	Є	Є
РІЗНИЦЯ (АБСОЛЮТНА)	ВІДНІМАННЯ / ДОДАВАННЯ	НЕМАЄ	НЕМАЄ	Є	Є
ВІДНОШЕННЯ	МНОЖЕННЯ НА КОЕФІЦІЄНТ / ДІЛЕННЯ	НЕМАЄ	НЕМАЄ	НЕМАЄ	Є

До цих пір розглядалася принципова можливість ідентифікації знаходження об'єктів у геопросторі як перша важлива геопросторова ідея, необхідна для розуміння методології геопросторового аналізу. Але визначення місцезнаходження означає, що має існувати *певний механізм передачі позиції кожного об'єкта*, який вивчається. Такий механізм може бути *двох типів*, за якими розрізняються:

1) **абсолютне місцезнаходження**, яке оперує певними фіксованими точками на поверхні Землі;

2) **відносне місцезнаходження**, яке оперує відношенням між геопросторовими об'єктами у географічному просторі, зокрема відстанню між ними тощо.

Обидва місцезнаходження, за умови допустимого спрощення термінології, визначаються насамперед за допомогою *географічних систем координат* (або

систем географічних, інші різновиди – сферичних, еліпсоїдальних, інколи земних, геодезичних або референційних, – координат) для різних проєкцій. У цих системах за координати правлять широта (B , інколи φ) (англ. *latitude*) та довгота (L , інколи λ) (англ. *longitude*) і можуть використовуватися екватор і перший (Гринвіцький) меридіан як фіксовані точки відліку тощо. Застосовуються також картографічні системи прямокутних координат, які описують двовимірне положення зазвичай додатних координат об'єкта X і Y на певній віддалі від заданої визначеним чином точки відліку. Системи координат і картографічні проєкції буде детальніше розглянуто далі у цьому розділі. А проте, одразу зрозуміло, що знаючи абсолютне місцезнаходження, наприклад, двох об'єктів, завжди можна отримати характеристики їхнього відносного місцезнаходження, зокрема шляхом віднімання координат тощо. При цьому досить суттєвою є можливість визначення ступеня близькості об'єктів як властивості бути розташованим поблизу чогось, що є важливим поняттям геопросторового аналізу.

У геопросторовому аналізі базовим є також поняття про **геопросторові розподіли** або *геопросторову конфігурацію* картографічних об'єктів у випадку, коли мова вже йде не про два таких об'єкти, а про їхню сукупність. Наприклад стосовно наборів точкових або площинних об'єктів, враховуючи щільність їхнього розміщення, можна розрізнити декілька *типів розподілів* (рис.1.5) (див. далі детальніше р.7), а саме:

- 1) **регулярний рівномірний** (англ. *regular and uniform distribution*);
- 2) **випадковий** (англ. *random distribution*) (рівномірний або нерівномірний);
- 3) **згрупований (кластерний)** (англ. *clustered distribution*). Характерним прикладом цього розподілу є розташування населених пунктів з тяжінням до водних об'єктів (рис.1.6). Згрупований розподіл, як і інші, може відзначатися високою щільністю чи бути розрідженим.

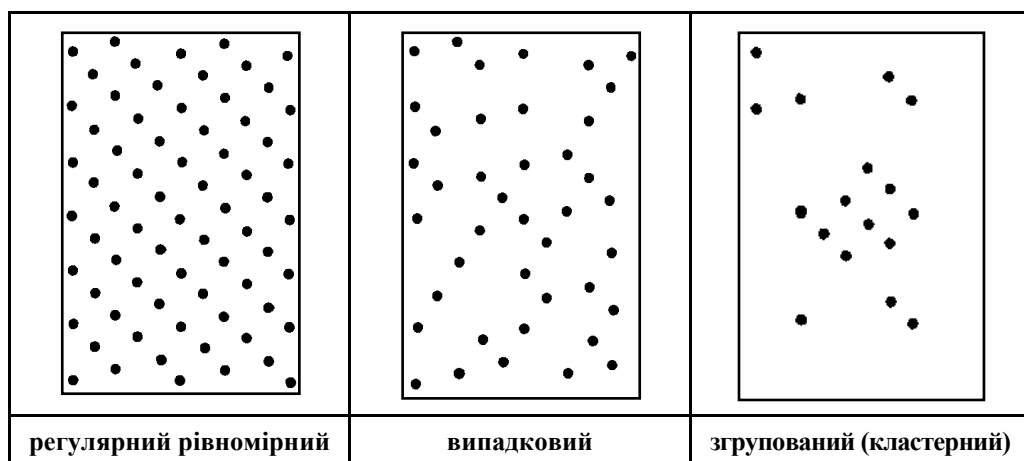


Рис.1.5 Приклади типів розподілів точкових картографічних об'єктів

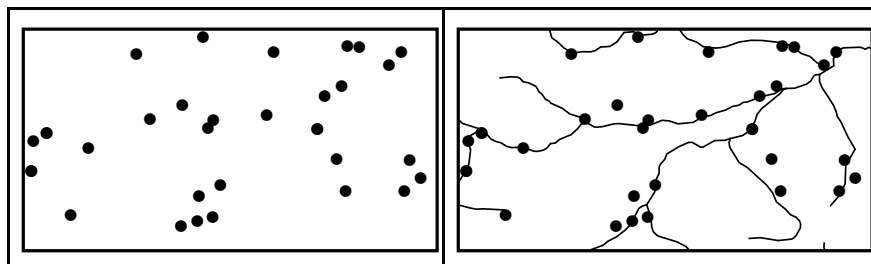


Рис.1.6 Згрупований розподіл точкових картографічних об'єктів (на прикладі тяжіння населених пунктів до річок)

Крім того, важливою властивістю будь-якого типу геопросторових об'єктів є *властивість орієнтованості* (природна та штучна), яка найбільш помітно виявляється стосовно лінійних об'єктів, властивість *дифузії* одних об'єктів у / на інші, а також *ступінь зв'язку розподілів* різних груп об'єктів. З огляду на останню вирізняють *геопросторово скорельовані або некорельовані* розподіли. За приклад скорельованих розподілів може правити наявність геопросторового кореляційного зв'язку між розподілами певних видів ґрунтів і рослинності тощо.

Суттєвим для оцінювання можливостей геопросторового аналізу є питання про *засоби та способи збору фактографічної інформації* для такого аналізу.

Багато вихідних даних, передусім для відносно невеликих геопросторових об'єктів, до цих пір отримуються в результаті **традиційних**, хай навіть модифікованих за обладнанням, **наземних спостережень**. Наземні геодані, такі як якісні та описові, збираються подекуди шляхом прямого візуального спостереження, збором зразків для наступної їхньої ідентифікації, методом перепису тощо. Для кількісних даних на зміну вимірюванню відстаней за допомогою рулетки прийшло застосування лазерних дальномірів. Актуальною для локальних вимірювань залишається топо-геодезична зйомка із застосуванням традиційних геодезичних методів, таких як числення шляху, триангуляція, трилатерація тощо. Певне число традиційних приладів для наземних спостережень наразі модернізовано з відчутним підвищенням їхньої точності, простоти застосування та зчитування результатів на цифровому дисплеї (один з прикладів – сучасні цифрові теодоліти). Утім, слід зазначити, що застосування цих навіть модернізованих приладів має сенс лише з метою отримання високоточних позиційних даних для невеликих територій тощо та є практично неефективним для великих.

Технічні та технологічні нововведення корінним чином змінили і покращили методи, за допомогою яких можна отримувати позиційну геоінформацію, особливо для великих ділянок Землі, чим насамперед завдячують **супутникам**.

Усесвітньо відомою є програма *Landsat*, яка об'єднує під таким загальним найменуванням серію американських автоматичних штучних супутників

Землі для зйомки її поверхні. Перший супутник цієї серії стартував з території США у липні 1972 р. Програма *Landsat* передбачає багатозональні та періодично повторювані довготермінові зйомки за допомогою сканувальних пристроїв для природно-ресурсних, природоохоронних, моніторингових і картографічних цілей з передачею даних радіоканалами. Крім зазначеної програми космічну зйомку поверхні Землі з аналогічними цілями здійснюють супутники *NOAA* (США), *SPOT* (Франція), *QuickBird* (США) та інші (рис.1.7).

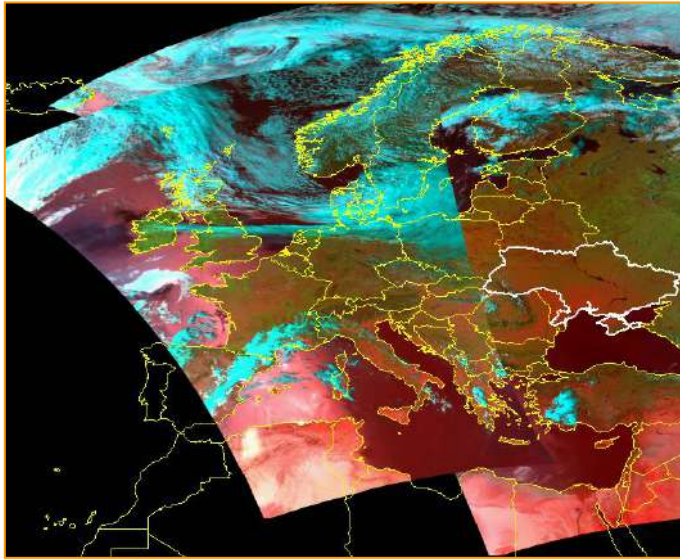


Рис.1.7 Охоплення території Європи космічними знімками супутників *NOAA* (за даними УЦМЗР)

Крім іншого (див. наступний текст), супутники можуть приймати радіосигнал про своє місцезнаходження від наземних станцій керування та передавати їх польовому блоку (англ. *field unit*), який визначає за ним свої координати та висоту. Однією з найбільш перспективних і тих, що найбільш використовуються наразі, таких систем є **Глобальна система позиціювання (GPS) NAVSTAR**. Загалом точність систем типу *GPS* залежить від числа видимих супутників, сервісу та обсягу інформації, моделі польового пристрою (*GPS*-приймача) і методики вимірювань. Наявні сьогодні системи забезпечують точність визначення місцезнаходження від відносно грубих 100 м до 10 см і менше. При цьому не потрібна пряма видимість станції керування від польового приладу, натомість потрібна видимість супутника.

Таким чином, необхідність отримання комплексної інформації щодо природних явищ і антропогенних чинників впливу на геосферу у регіональному чи навіть континентальному мірілі зробила вельми доцільним застосування **непрямих методів** (англ. *indirect methods*) **збору даних**. Такі непрямі методи зазвичай використовують *датчики* (сун. *сенсори*) (*sensing devices*), значно

віддалені від досліджуваних об'єктів, і тому звуться узагальнено *дистанційним зондуванням*, яке виконується за допомогою супутників, аерофотозйомки тощо.

Дистанційне зондування (ДЗ, син. дистанційні зйомки, аерокосмічні зйомки) (англ. *remote sensing, remote surveying, RS*) – це процес отримання інформації щодо поверхні Землі (як і інших космічних тіл) та об'єктів, розташованих на ній або в її надрах, дистанційними методами (рис.1.8).

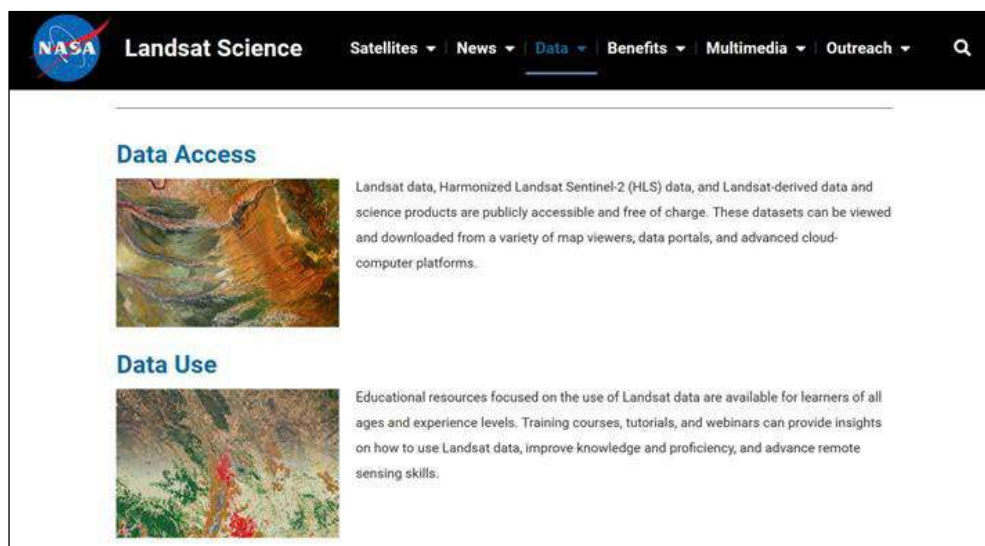


Рис.1.8 Фрагменти інтерфейсу веб-сайту "*Landsat Program*" (за *NASA Landsat Science*, 2025)

Дистанційне зондування здійснюється з поверхні суходолу чи моря, з повітря або з космосу у різних зонах електромагнітного спектра. Зйомки при цьому можуть бути *пасивними*, коли фіксується власне або відбите сонячне випромінювання, та *активними*, коли досліджувані об'єкти опромінюються, наприклад радіохвилями. У залежності від *діапазону* електромагнітного випромінювання, який фіксується, розрізняються такі види дистанційного зондування: 1) ультрафіолетове; 2) у видимому, ближньому, середньому та дальньому (теплому) інфрачервоних діапазонах; 3) у мікрохвильовому діапазоні. При одночасному використанні декількох діапазонів застосовується багатозональна або багатоспектральна зйомка, а при значній кількості діапазонів, які використовуються, – гіперспектральна. *За видом використаної знімальної апаратури* розрізняються фотографічні, телевізійні, фототелевізійні, сканерні, радіолокаційні, гідролокаційні, лазерні та лідарні зйомки. Окремо загалом вирізняється *аероспектрометрування*, яке є *реєстрацією за допомогою спектрографів спектральної яскравості певної поверхні вздовж напрямку руху літального апарата*.

Слід не забувати, що дані дистанційного зондування, як і власне методи їхнього отримання, є непрямыми. У більшості випадків такі дані має бути оброблено фахівцями з їхнього *дешифрування* перед тим, як категорії об'єктів буде адекватно встановлено. Треба нагадати, що **дешифрування** (*син. інтерпретація*, *англ. decoding, interpretation, photo interpretation*) – це *процес вивчення за аеро- та космічними зображеннями територій, акваторій і атмосфери, який базується на залежності між властивостями об'єктів, які дешифруються, та характером їхнього відтворення на знімках*. Зміст і завдання дешифрування полягають у отриманні визначеного обсягу якісної та кількісної інформації за даними дистанційного зондування щодо стану, складу, структури, розмірів, взаємозв'язків і динаміки процесів, явищ і об'єктів за допомогою *дешифрувальних ознак*. Розрізняються візуальне, інструментальне (або вимірювальне) та автоматичне дешифрування. За змістом дешифрування може бути поділене на загальногеографічне (топографічне) та тематичне (грунтове, геоботанічне, геологічне тощо).

Якщо у дистанційному зондуванні датчик є віддаленим від об'єкта вимірювання, то в т.зв. **телеметричних (радіотелеметричних) методах від датчика віддалено одержувача інформації**. Телеметричні датчики зазвичай розташовуються на стратегічних позиціях, які повинні відповідати характеру довкілля.

Найбільш відомим прикладом приладу телеметричного збору даних є *автоматизована метеорологічна станція*. Загалом існують цілі мережі датчиків для неперервного або періодичного збору даних щодо температури повітря та ґрунту, вологості та інших важливих характеристик ґрунтів, вмісту хімічних елементів у водних об'єктах і багатьох інших геопараметрів. Зазвичай такі мережі підключаються *через мережі передавання даних до базової станції*, яка отримує та зберігає інформацію, зокрема у вигляді цифрових

геопросторових баз даних. Розроблено і більш екзотичні пристрої, наприклад, для запису траєкторій польоту комах, руху плазунів, переміщення частинок піску або для спостереження за забрудненням вод і атмосфери. Нинішньою тенденцією у розвитку радіотелеметричних методів є їхня *інтеграція з GPS*, що дозволяє спостерігати об'єкти на значно більших територіях і із значно збільшеною точністю. Такі технології продовжують підвищувати свою якість і легкість використання при одночасному зменшенні їхньої вартості, що і веде до збільшення якості та кількості даних, які стають доступними для геопросторового аналізу.

Доцільно зупинитися також на **типах і методах відбору та особливостях узагальнення результатів відбору даних для геопросторового аналізу.**

При відборі геопросторових даних для зазначеного аналізу згідно з реальними можливостями апарата досліджень досить часто використовуються *вибірки даних* (англ. *data sample*) з метою отримання висновків щодо всієї множини об'єктів на основі меншої, але репрезентативної їхньої підмножини. Безпосередньо база вибірки містить типи об'єктів, які нас цікавлять, разом з *областю відбору* з визначеними геопросторовими координатами.

При цьому існує два принципові **типи геопросторового відбору даних: спрямований і неспрямований відбір.** Кожен такий тип і відповідні йому методи вирізняються як засторогами та обмеженнями на отримання геопросторових даних, так і висновками, які бажано мати щодо всієї сукупності даних шляхом використання їхніх вибірок при геопросторовому аналізі.

Спрямований відбір (англ. *directed sampling*), як і засвідчує його назва, спрощує прийняття рішень щодо того, які геопросторові об'єкти має бути переглянуто та надалі внесено у список. Це зумовлено тим, що дослідник "вимушено" спрямовує свій відбір лише на наявні визначені геооб'єкти згідно з реальними результатами або можливостями їхньої фіксації, вимірювання, відбирання проб чи зразків тощо.

Неспрямований (імовірнісний) відбір (англ. *non-directed or probability-based sampling*) загалом є кращим, позаяк він усуває систематичну помилку, зміщення та певну суб'єктивність отримуваних оцінок даних. Утім інколи він буває об'єктивно неможливим для здійснення через специфіку вихідної інформації в області відбору тощо.

Якщо ж перепон для застосування ймовірнісного геопросторового відбору немає, то методи такого відбору обираються, базуючись на вихідній умові забезпечення всім об'єктам рівної ймовірності потрапляння у вибірку.

Серед **методів імовірнісного геопросторового відбору даних** для одного-меншого аналізу вирізняються (рис.1.9):

- 1) *випадковий* відбір (англ. *random sampling*);
- 2) *систематичний* відбір (англ. *systematic sampling*);
- 3) *однорідний* відбір (англ. *homogeneous sampling*);
- 4) *стратифікований* (або *пошаровий*) відбір (англ. *stratified sampling*).

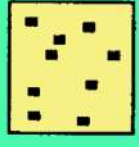
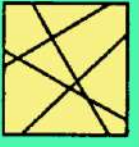
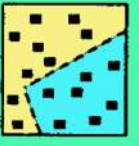



ІМОВІРНІСНИЙ ВІДБІР	ВИПАДКОВИЙ		СИСТЕМАТИЧНИЙ	
	ТОЧКИ АБО КВАДРАТИ	ПЕРЕТИНИ ЛІНІЯМИ	ТОЧКИ АБО КВАДРАТИ	ПЕРЕТИНИ ЛІНІЯМИ
ОДНОРІДНИЙ				
ПОШАРОВИЙ				

Рис.1.9 Схеми методів імовірнісного геопросторового відбору даних для геопросторового аналізу

Ці методи, як засвідчує рис.1.9, вже є попарно скомбінованими, хоча загалом можуть бути і більш складні схеми їхнього поєднання. А проте, у цьому розділі розглядається зміст лише *сингулярних* методів імовірнісного геопросторового відбору, що створює для дослідника можливість їхньої наступної потрібної модифікації шляхом комплексування тощо.

Отже, **випадковий відбір** є головним методом. Його метою є забезпечення кожному точковому, лінійному, площинному та об'ємному геопросторовому об'єкту такої ж імовірності відбору, як і сусідньому. Якщо геопросторові дані, які відбираються, є *дискретними* для відбору (тобто дерева, озера тощо), то випадковий відбір спрямовано конкретно на ці об'єкти. При цьому кожному з них присвоюється власний унікальний номер і за допомогою генератора випадкових чисел випадково обирається досліджувана частина об'єктів із їхньої загальної сукупності. Якщо ж дані є *неперервними* для відбору (висоти земної поверхні, температура ґрунту тощо), то випадковим чином обираються точки, у яких можна зафіксувати такі дані. Усі ці точки нумеруються і відбір потрібних з них виконується таким же чином, як і для дискретних щодо відбору об'єктів. В обох випадках можливим є вибір *випадкових точок*, *випадкових областей*, які зветься *квадратами* і досить часто використовуються для визначення біомаси тощо, або *випадкових перетинів лініями*, які використовуються у відборі об'єктів вивчення.

Схеми **систематичного методу** діють майже так, як і для випадкового, але для них за основу відбору замість випадкових чисел править *шаблон, що повторюється*. Так, для точок або відносно невеликих квадратів можна обрати, наприклад, кожний десятий об'єкт або кожний *n*-ний квадрат через *n* метрів.

Аналогічно, якщо використовуються перетини лініями для відбору, що загалом є популярною схемою для дослідження рослинних асоціацій тощо, то можна за щойно згаданою системою визначити, де знаходиться кожний шаблонно обраний перетин, і оперувати даними вздовж кожної такої лінії перетину. Якщо ж потрібно повністю проаналізувати окремі відносно значні за площею квадрати, то можна знову-таки обрати їх за допомогою систематичного шаблону.

Стратифікований метод імовірнісного геопросторового відбору, на відміну від **однорідного методу**, зміст якого зрозумілий з його назви та рис.1.9, вносить додатковий вимір шляхом вибору невеликих областей різних шарів як частин області відбору. Усередині останніх відбираються окремі геопросторові об'єкти певного типу. При цьому можна вирішувати, який метод обрати – випадковий чи систематичний, працюючи з точками, квадратами або перетинами. Загалом існують декілька модифікацій стратифікованого метода.

Переходячи до *особливостей узагальнення результатів геопросторового відбору даних* для геопросторового аналізу за наведеними вище методами, слід зазначити, що *отримані таким чином дані можуть підпасти під маніпуляції трьох типів:*

- 1) характеристики не відібраних місцезнаходжень *прогнозуються* за характеристиками відібраних;
- 2) дані всередині меж області відбору *агрегуються* таким чином, що їм може бути призначено один спільний клас характеристик тощо;
- 3) дані з одного набору геопросторових елементів *перетворюються* в дані іншого набору з *відмінними геопросторовими обрисами* (конфігурацією).

При зазначеному у першому типі розрахунку та прогнозуванні найчастіше застосовують методи інтерполяції або екстраполяції, зокрема моделі підбирання поверхонь тощо. *Інтерполяція* використовується при визначенні відсутніх значень, які знаходяться у геопросторі між відомими точками вибірки. Прогнозування значень за межами області відбору на основі виявлених всередині неї закономірностей зветься *екстраполяцією*. Застосування і проблеми інтерполяції буде детально розглянуто у р.6 при вивченні статистичних поверхонь у геопросторовому аналізі.

Підсумовуючи першу частину цього розділу, треба зазначити, що всі викладені у ньому загальні погляди на геопросторовий аналіз передбачають ще один важливий складник – *карту*. Вона є основним механізмом, за допомогою якого подається довілля і в межах якого геоінформаційні технології і будуть підтримувати аналіз цього довілля.

Карта – "основна мова" географії та наук про Землю, – є *моделлю геопросторових даних*, абстракцією у тому розумінні, що вона не є мініатюрною версією реальності, яку призначено відтворити всі деталі. З таких позицій доцільно стисло зупинитися лише на деяких принципових моментах, важливих для спрямованості цієї монографії.

Отже, **карта** – це *математично визначене, зменшене, генералізоване зображення поверхні Землі, іншого небесного тіла або космічного простору, яке відтворює розташовані або спроектовані на них об'єкти в прийнятій системі умовних знаків.*

Карта розглядається як *образно-знакова модель*, яка володіє високою інформативністю, геопросторово-часовою подібністю оригіналу, метричністю, особливою оглядовістю та наочністю, що робить її найважливішим засобом пізнання в географії та науках про Землю.

За мірилом розрізняються карти:

- 1) *великомірільні* (1 : 100 000 і більше);
- 2) *середньомірільні* (1 : 200 000 – 1 : 1 000 000);
- 3) *дрібномірільні* (дрібніше 1 : 1 000 000).

За змістом також розрізняються *загальногеографічні* та *тематичні* карти.

Тематичні карти, в свою чергу, може бути поділено на такі групи (види):

- 1) *карти елементів геосфери*;
- 2) *соціально-економічні карти*;
- 3) *карти взаємодії елементів геосфери та суспільства*;
- 4) *спеціальні та інші карти*.

Карти можуть бути аналітичними (*симплексними*) та синтетичними (*комплексними*). **За практичною спеціалізацією** розрізняють декілька типів карт:

- 1) *інвентаризаційні карти*, які показують наявність і локалізацію об'єктів;
- 2) *оцінювальні карти*, які характеризують об'єкти за їхньою мірою антропоізації тощо;
- 3) *рекомендаційні карти*, які ілюструють розміщення заходів, які пропонуються для відновлення довкілля і оптимального використання ресурсів тощо;
- 4) *прогнозні карти*, які містять наукове передбачення параметрів явищ чи процесів тощо.

Основними властивостями карти як моделі, або, іншими словами, *картографічної моделі*, які тісно пов'язані одна з одною, є (Samoilenko, 2010, 2024):

- 1) *геопросторово-часова подібність системи-оригіналу*. Virізняють три основні форми подібності – геометричну, часову та взаємовідношень (взаємного розміщення об'єктів, їхніх зв'язків з територією та між собою);
- 2) *об'єктивна відповідність*. Під нею розуміється науково обґрунтоване зображення системи-оригіналу та головних типових особливостей її елементів з урахуванням їхнього генезису, ієрархії та внутрішньої структури;
- 3) *змістовна відповідність або ізофункціоналізм*. Ця властивість розглядається через відповідність системи-оригіналу інформаційної моделі як джерела побудови картографічної;
- 4) *поєднання конкретності та абстрактності*. Джерелом останньої властивості є генералізація;
- 5) *поєднання вибірковості та синтетичності*;

б) *метричність*. Під нею розуміється властивість картографічної моделі, яку забезпечено математичним законом проєкції, точністю укладання та відтворення (видавання) карт. Більш високим рівнем цієї властивості є властивість *математичної обґрунтованості* карти як моделі;

7) *однозначність картографічного зображення*;

8) *нетерпимість до геопросторової неповноти інформаційної бази*;

9) *наочність*. Ця властивість пов'язана з намаганням передати образ об'єкта чи явища шляхом візуалізації інформації щодо них;

10) *оглядовість*, яка як властивість зумовлюється наочністю;

11) *наявність "словника" – легенди карти*, яка будується у відповідності з логікою відтворення картографічною моделлю географічного простору системи-оригіналу.

Надалі доцільно зазначити, що погляди на зміст карти істотно трансформувалися за останні десятиріччя. Ці зміни зробили певний внесок у широке застосування геоінформаційних технологій для геопросторового аналізу, поєднаний зі способом поводження із геопросторовими даними, які використовуються. Іншими словами, відбулася *зміна парадигми геопросторового аналізу*.

Традиційний підхід до карт і їхнього аналізу, або **парадигма сполучення** (англ. *communication paradigm*), припускав, що власне карта є кінцевим продуктом, який покликано повідомляти про геопросторові розподіли через використання символів, класифікацій тощо. Таким є традиційний погляд на геопросторовий аналіз, утім він є обмеженим, позаяк через карту користувачу не є доступною вихідна, не класифікована інформація. Тобто користувач, маючи карту лише як кінцевий продукт, не може перегрупувати дані для отримання більш корисної віддачі карти за обставин чи потреб, які змінилися.

Альтернативний підхід до геопросторового аналізу, який підтримує збереження вихідних даних для забезпечення можливості наступної їхньої перекласифікації, було розроблено приблизно тоді ж, коли виготовлювачі карт почали застосовувати досягнення комп'ютерної техніки (пізні 1950-ті). За такого підходу, який зветься **аналітичною парадигмою** (англ. *analytical paradigm*), вихідні атрибутивні дані зберігаються на комп'ютерних носіях і відображаються, виходячи з потреб користувача та з реалізацією його класифікацій. Значений підхід, як ранній попередник цифрового геопросторового аналізу на основі геоінформаційних технологій, на сьогодні вже як метод став більш гнучким, ніж його початкові версії. За імпульс до розвитку такого методу править ідея про те, що карта при застосуванні геоінформаційних технологій, повинна підтримувати функції як сполучення, тобто постачання інформації користувачу, так і аналізу цієї інформації.

Аналітична парадигма виникла при роботі з картами площинних об'єктів, на яких кожній області ставилися у відповідність її унікальний колір і штрихування, які відповідали значенням ознак, що вони представляли. Такі карти

мали головний недолік – складність інтерпретації користувачем, і у цьому відношенні були аналогічними до недешифрованих космічних знімків. А проте, з використанням цифрових технологій як засобу збереження та класифікації даних, користувач і дістав можливість отримувати декілька класифікацій даних, кожну з яких можна негайно побачити.

Незалежно від обраної картографічної парадигми, при дослідженні втілення геопросторового уявлення людини у вигляді карти слід завжди пам'ятати, що карти – це спрощення дійсності. Головна ціль будь-якої тематичної карти – показати важливі відомості, наприклад для великого регіону, без відволікання уваги на недоречні або надлишкові подробиці. Ступінь спрощення при цьому визначається головним чином рівнем деталізації, який потрібен для дослідження обраного об'єкта та його області. **Мірило карти** і є тим поняттям, яке найбільш часто використовується для позначення ступеня зменшення картах як різновиду або складника ступеня спрощення.

Мірило (англ. *scale, horizontal scale*) – це відношення довжини нескінченно малого відрізка на геозображенні до нескінченно малого відрізка на поверхні еліпсоїда або кулі. **Мірило карти** (англ. *map scale*) може подаватися у **трьох формах**, а саме як:

1) **чисельне мірило** (англ. *representative fraction or natural scale*) як дріб з чисельником, що дорівнює одиниці, та знаменником, що дорівнює ступеню зменшення довжин на карті;

2) **вербальне або пояснювальне мірило** (англ. *verbal or explanatory scale*) як напис, що зазначає довжину лінії на місцевості, яка відповідає 1 см на карті;

3) **графічне або лінійне мірило** (англ. *graphic scale, linear scale, bar scale*) як шкала з позначками, для яких підписані відповідні довжини на місцевості (у м або км).

На дрібномірних картах виникають викривлення мірила довжин за рахунок картографічних проєкцій, при цьому розрізняють головне та часткові мірила (див. далі). На планах, аркушах топографічних карт, великомірних картах і картах невеликих територій протяжністю до 1000 км викривлення мірила практично не відчуються.

Крім іншого, розрізняють *мірило зйомки*, у якому вона проводиться, *мірило складання*, у якому здійснюється складання карти, та *мірило видавання*, у якому карта видається та яке досить часто буває більш дрібним, ніж мірило складання.

ГІС-інструментарій без утруднень виконує **зміну мірила**. І звичайно, мірило вхідних даних може відрізнятися від мірила відображення результатів. Утім, здатність програмного забезпечення як завгодно перетворювати мірило карти може призвести до надмірної довіри до карти та надалі викликати певні проблеми. Як буде показано далі у р.3, достовірність результатів геопросторового аналізу істотно залежить від якості даних, які вводяться в їхні бази, і великою мірою залежить від мірила карт з цими даними. Крім того, не слід

забувати про таке просте правило: завжди краще зменшувати мірило карти після аналізу, ніж збільшувати його для аналізу.

Як відомо, при відображенні положення геопросторових об'єктів, їхньої форми та атрибутів на карті використовують певний набір символів для їхнього подавання. Символи у свою чергу повинні мати ключ до їхнього розуміння, який зветься *легендою карти*. Легенда фактично поєднує картографічні об'єкти з їхніми атрибутами, після чого кожен з них може сприйматися як подавання реального об'єкта з його кількісними та/або якісними характеристиками.

Отже, **легенда карти** (англ. *legend, map legend*) – це *зведення умовних позначень, використаних на карті, з текстовими поясненнями до них*. Зазвичай легенди карт створюються на основі класифікацій об'єктів і явищ, які відображаються, стають графічною моделлю останніх і часто правлять за основу побудови класифікаторів. Великі та складні легенди карт поділяються на розділи та підрозділи, причім графічні засоби та написи підкреслюють їхню ієрархічну супідрядність.

Кarti відображають не тільки об'єкти на поверхні, а й форму Землі, для чого власне і розроблено набір способів, які називаються **картографічними проєкціями** та які призначено для зображення з прийнятною точністю сферичної поверхні Землі на плоскому носії. У буквальному розумінні процес створення проєкції подається як розміщення джерела світла всередині прозорого глобуса, на якому розміщуються непрозорі земні об'єкти, та проєктування їхніх контурів на двовимірну поверхню, яка розташована поруч або оточує глобус.

Таким чином, **картографічна проєкція** (англ. *map projection, projection*) – це *математично визначений спосіб зображення поверхні Земної кулі або еліпсоїда (чи іншої планети) на площині*. Загальне рівняння картографічної проєкції поєднує географічні широти (B) і довготи (L) з прямокутними координатами X і Y на площині

$$X = f_1(B, L), \quad Y = f_2(B, L), \quad (1.1)$$

де f_1 і f_2 – незалежні, однозначні та кінцеві функції.

Усі картографічні проєкції мають ті чи інші *викривлення* (англ. *distortions*), які виникають при переході від сферичної поверхні до площини. Загалом спрощено процес проєктування можна розбити на два етапи: спочатку земна куля перетворюється у *проміжний глобус* у залежності від обраного мірила, а потім цей глобус проєктується на плоску поверхню. Чисельне мірило першого перетворення звать **головним** або **загальним мірилом карти** (англ. *principal scale*). Воно показує ступінь зменшення лінійних розмірів еліпсоїда (кулі) при його зображенні на карті та є постійним за всією поверхнею проміжного глобуса, позаяк форма останнього повторює форму земної кулі.

Викривлення мірила проявляються у наявності **часткового мірила карти** (англ. *particular scale*) у будь-якій її точці. Під ним і розуміється відношення довжини нескінченно малого відрізка на карті до довжини нескінченно малого відрізка на поверхні еліпсоїда (кулі). За міру викривлень у картографічній проєкції у кожній точці карти править нескінченно малий *еліпс викривлень*. Існують спеціальні карти, які ілюструють розподіл викривлень різних видів за допомогою *ізокол* (англ. *distortion isograms, lines of equal distortions*) – ізоліній рівних викривлень.

За **характером викривлень** картографічні проєкції ділять на:

- 1) *конформні* або *рівнокутні проєкції* (англ. *conformal projections, orthomorphic projections*), які не мають викривлень кутів і напрямків;
- 2) *рівновеликі проєкції* (англ. *equivalent projections, equal-area projections, authalic projections*), які не містять викривлень площ;
- 3) *рівнопроміжні* або *еквідистантні проєкції* (англ. *equidistant projections*), які зберігають без викривлень якийсь один з напрямків, тобто за меридіанами або паралелями;
- 4) *довільні проєкції* (англ. *arbitrary projections, compromise map projections*), у яких тією чи іншою мірою містяться викривлення кутів і площ.

У залежності від **положення сферичних координат** картографічні проєкції поділяють на:

- 1) *нормальні проєкції* (англ. *normal projections, normal aspect (or case) of a map projections*), у яких вісь сферичних координат збігається з віссю обертання Землі;
- 2) *поперечні проєкції* (англ. *transverse projections, transverse aspect (or case) of a map projections*), у яких вісь сферичних координат лежить у площині екватора;
- 3) *похилі проєкції* (англ. *oblique aspect (or case) of a map projections*), коли вісь координат розташовано під кутом до земної осі.

У цілому відмінні між собою вимоги до карт різного геопросторового охоплення, тематики та призначення, а також власне особливості конфігурації території, яка картографується, та її положення на Земній кулі призвели до розробки великої кількості різноманітних картографічних проєкцій та їхніх комбінацій.

При цьому за принциповим підходом до їхнього створення вирізняються **чотири сім'ї картографічних проєкцій**, а саме сім'ї: *планарних* або *плоских* (англ. *planar*), *циліндричних* (англ. *cylindrical*), *конічних* (англ. *conical*) та *азимутальних* (англ. *azimuthal*) проєкцій. Змістовне уявлення про перші три сім'ї проєкцій дає рис.1.10, а сім'ю азимутальних проєкцій загалом засновано на ідеї проєктування земних об'єктів паралельними променями світла на плоский матеріал.

За **виглядом меридіанів та паралелей сітки нормальних проєкцій** вирізняються такі види цих вихідних проєкцій:

1) *циліндричні проєкції*, в яких меридіани зображено рівновіддаленими паралельними прямими, а паралелі – прямими, перпендикулярними до них (рис.1.11);

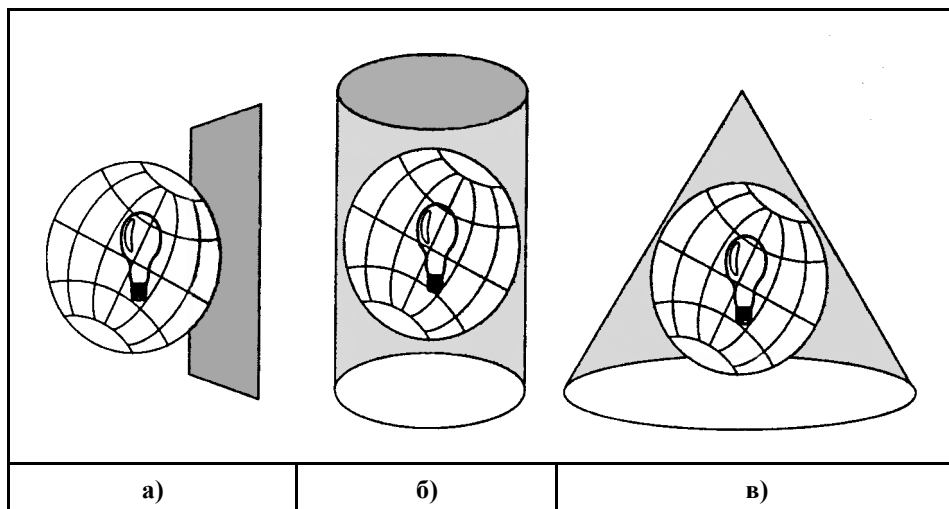


Рис.1.10 Принципова схема отримання сімей планарних (а), циліндричних (б) та конічних проєкцій (в)

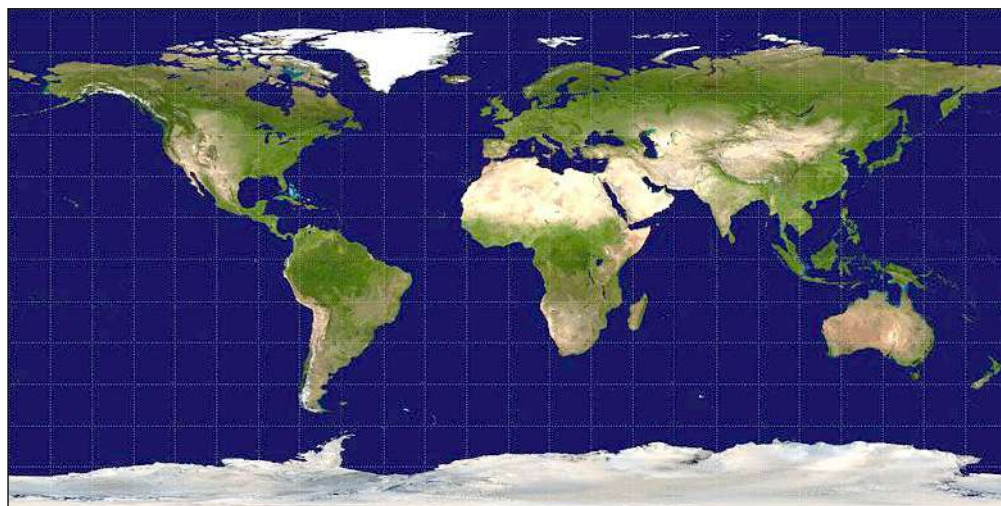


Рис.1.11 Нормальна циліндрична проєкція (застосовується NASA) (за *Samoilenko, 2012*)

2) *конічні проєкції* з прямими меридіанами, які виходять з однієї точки, та паралелями, які представлено дугами концентричних кіл;

3) *азимутальні проєкції*, в яких паралелі зображуються концентричними колами, а меридіани – радіусами, проведеними із загального центру цих кіл;

4) *псевдоциліндричні проєкції*, де паралелі представлено паралельними прямими, а меридіани – у вигляді кривих, які збільшують свою кривизну у міру віддалення від прямого центрального меридіана;

5) *псевдоконічні проєкції*, в яких паралелі представлено дугами концентричних кіл, середній меридіан – прямою, а інші меридіани – кривими;

6) *поліконічні проєкції*, в яких паралелі зображено ексцентричними колами, центри яких лежать на прямому центральному меридіані, а всі інші меридіани представлено кривими лініями, які збільшують кривизну з віддаленням від центрального меридіана;

7) *умовні проєкції*, в яких меридіани та паралелі можуть мати найрізноманітнішу форму.

Для карт, які створюються у вигляді серій аркушів, використовують *багатогранні* (англ. *polyhedral*) проєкції, параметри яких можуть змінюватися від аркуша до аркуша чи групи аркушів.

Геоінформаційні технології дозволяють розраховувати картографічні проєкції будь-якого вигляду із заздалегідь заданим розподілом викривлень. У (Samoilenko & Bilous, 2024) спеціально розглянуто проблему наявності різних проєкцій при створенні геоінформаційної системи, особливо при введенні даних.

У цьому ж розділі доцільно зупинитися на **певних практичних правилах** для визначення того, які з множини картографічних проєкцій є найбільш зручними в залежності від спрямованості геопросторового аналізу, який виконується.

Якщо геопросторовий аналіз потребує відстеження руху або зміни напрямків руху об'єктів, то найбільш зручними будуть **конформні проєкції**. Цей вид проєкцій також найбільше підходить для виробництва навігаційних карт і тоді, коли важливою є кутова орієнтація, як це часто буває з метеорологічними або топографічними даними. Зазначений вид проєкцій містить проєкції: *Меркатора, поперечну Меркатора, конічну конформну Ламберта* (рис.1.12) та *конічну стереографічну*.

Рівновеликі проєкції є найбільш зручними, коли при геопросторовому аналізі переважають розрахунки площ, наприклад при обчисленні зміни співвідношень різних видів рослинності тощо. Розглядаючи застосування рівновеликих проєкцій, слід враховувати розмір території, яка досліджується, а також величину та розподіл кутових викривлень. Невеликі ділянки відображаються із значно меншими кутовими викривленнями при використанні рівновеликих проєкцій, що може бути корисним, коли для аналізу важливими є і площі, і форми. З іншого боку, чим більшою є площа досліджуваної території, тим більш точними є вимірювання цієї площі при використанні рівновеликої проєкції у порівнянні з проєкціями інших типів. Для середньомірильних карт найчастіше застосовується *рівновелика проєкція Альберса* та *рівновелика проєкція Ламберта* (рис.1.13).



Рис.1.12 Конічна конформна проєкція Ламберта (за *Samoilenko, 2012*)

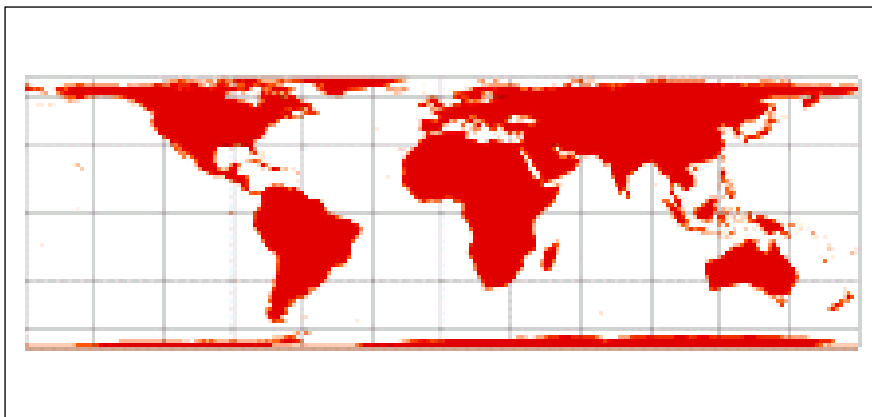


Рис.1.13 Циліндрична рівновелика проєкція Ламберта (за *Samoilenko, 2012*)

Проекції, у яких потрібним є визначення найкоротших маршрутів, особливо для значних відстаней, потребують **азимутальних проєкцій**, позаяк у них є можливим зображення великих кіл як прямих ліній. Такі проєкції найчастіше використовуються на картах повітряного сполучення, радіопеленгації, стеження за супутниками, для картографування інших небесних тіл тощо. Азимутальні проєкції стали популярними відносно недавно, але їхнє використання буде зростати разом із зростанням використання геоінформаційних технологій. Найбільш часто зустрічаються такі азимутальні проєкції, як *рівновелика Ламберта*, *стереографічна*, *азимутальна еквідистантна* (рис.1.14), *ортографічна* (рис.1.15) і *гномонічна* проєкції. Зазначимо, що певні з цих проєкцій зберігають без викривлень як напрямки, так і площі, що може бути корисним, наприклад, для аналізу явищ макрообміну у атмосфері тощо.



Рис.1.14 Азимутальна еквідистантна проєкція (емблема ООН) (за *Samoilenko, 2012*)



Рис.1.15 Азимутальна ортографічна проєкція (за *Samoilenko, 2012*)

Система координат необхідна для визначення відстаней і напрямків на Землі. При цьому **географічні системи координат**, які використовують широту та довготу, є зручними для визначення положень об'єктів, розташованих на сферичній поверхні Землі чи проміжному глобусі.

Позаяк вельми часто при геопросторовому аналізі використовують двовимірні карти, які спроектовано із проміжного глобуса, виникає необхідність у відповідних системах координат, які поєднано з різними проєкціями. Такі **системи координат на площині** зветься **картографічними** (або **плановими**) **системами прямокутних** (або **плоских**, *англ. planar*) **координат**.

Основна система прямокутних координат (або **декартова**, *англ. Cartesian coordinate system*) широко відома завдяки роботі з графіками та числовими осями. Вона складається з двох осей – абсцис ("іксів") і ординат ("ігреків"), першу з яких при загальній північній орієнтації карти спрямовано на схід, а друге – на північ.

У основній системі прямокутних координат початкова точка (точка відліку) розміщується на карті так, щоб усі точки потрапили у північно-східний квадрант (чверть). Завдяки цьому *всі такі координати є додатними*. Інколи розмір території може вимагати введення зміщених (ненульових) початків координат, щоб забезпечити для кожної ділянки Землі достатньо точно її подання на плоскій поверхні.

Як вже зазначалося, числові значення плоских координат зазвичай не використовуються при геопросторовому аналізі дрібномірільних карт через складний характер викривлень і через те, що для таких карт потрібна компенсація викривлень, які виникли при проєктуванні.

Незважаючи на велику кількість наявних проєкцій, для переважної більшості систем координат на площині рівнокутного ефекту намагаються досягти за допомогою застосування тільки конформних проєкцій, зазвичай *поперечної Меркатора, полярної стереографічної та конічної конформної Ламберта*. Хоча, якщо наприклад досліджується область поблизу екватора, то крисною може виявитись і *проєкція Меркатора*.

У США використовується п'ять основних координатних систем, деякі з яких засновано на властивостях картографічних проєкцій, інші – на історичних методах поділу Землі. У багатьох країнах світу, серед них і США, *найбільш відомими типами координатних систем є UTM та UPS*, розглянуті далі.

Найбільш широко розповсюдженою при геопросторовому аналізі системою проєкцій і координат є **універсальна поперечна Меркатора** (англ. *universal transverse Mercator (UTM)*). Вона використовується у більшості робіт з дистанційного зондування, при підготовці топографічних карт, побудові баз даних щодо природних ресурсів тощо, позаяк вона забезпечує точні вимірювання у метричній системі.

UTM ділить земну поверхню на 60 пронумерованих вертикальних *зон* шириною по 6° довготи, кожна з яких проходить від 80° південної широти до 84° північної широти. Для того, щоб усі координати були додатними, в *UTM* є *два початки координат*: перший – на екваторі (для північної півкулі), а другий – на 80 -тій паралелі південної широти (для південної півкулі). Зазначені зони пронумеровано від 180 -градусного меридіана у східному напрямку. Земну поверхню поділено також на *ряди* по 8° широти кожний, за винятком самого північного, який становить 12° , дозволяючи тим самим охопити весь суходіл північної півкулі. Кожна *секція*, утворена перетином зони та ряду, позначається комбінацією числа та літери, що дозволяє вирізнити досить малі ділянки земної кулі. За винятком самого північного ряду, кожна з таких секцій має сторону біля 100 км, тому для вимірювання з точністю до одного метра достатньо використовувати відліки на схід і північ з п'яти десяткових знаків (рис.1.16-1.17).

Як випливає з назви, *UTM* використовує поперечну проєкцію Меркатора. Для кожної із 60 -ти зон за довготою застосовується окрема реалізація проєкції з метою зменшення викривлень. Початок координат розміщується у центрі кожної зони на перетині центрального меридіана зони з екватором (або з 80 -ю південною паралеллю), причём нульове за абсцисою зміщення розташоване від нього на 3° на захід. Мірільний коефіцієнт $0,99960$ не змінюється у напрямку "північ – південь", він змінюється у напрямку "захід – схід", а проте навіть на

самій межі кожної шестиградусної зони цей коефіцієнт практично той самий – 1,00158. Така майже повна еквівалентність ілюструє незначність викривлень, що властиві *UTM*, яка забезпечує точність, що наближається до одного метра на кожні 2500 м відстані.

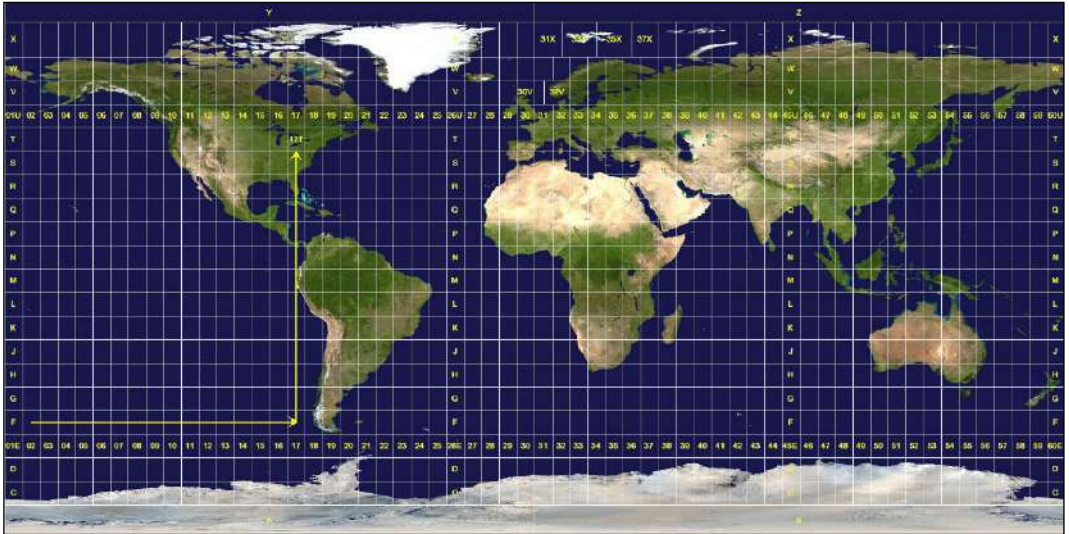


Рис.1.16 Гратка систем проєкцій і координат *UTM* і *UPS* (за *Samoilenko, 2012*)

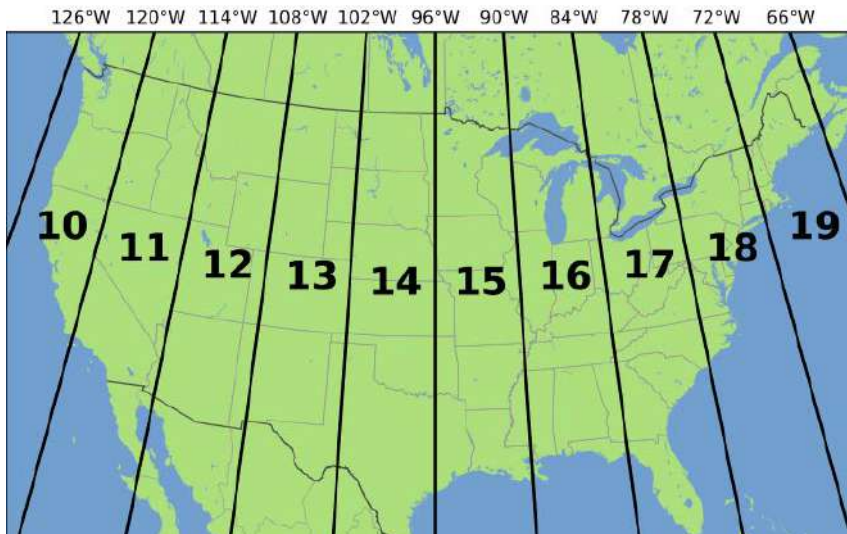


Рис.1.17 Спрощений вигляд меж зон *UTM* на території США (за *Samoilenko, 2012*)

Для полярних регіонів, які лежать за межами території, охопленої координатною системою *UTM*, з такою ж точністю використовується **універсальна**

полярна стереографічна (англ. *universal polar stereographic (UPS)*) проєкція та система координат (див. рис.1.17).

Ця система ділить полярні регіони на концентричні зони, а потім поділяє кожен на дві половини за меридіанами 0° і 180° . Такі половини зон по-різному позначаються для північної та південної півкуль. У північній півкулі західна половина позначається як зона *Y*, східна – як зона *Z*, у південній півкулі західна половина – як зона *A*, східна – як зона *B*. Як і для випадку з *UTM*, відліки подаються на схід і північ аж до 2000 км (рис.1.18-1.19). І так само як в *UTM*, зони може бути поділено на квадрати по 100 км, причём кожний – зі своєю власною реалізацією проєкції, забезпечуючи точність приблизно до одного метра на 2500 м.

Отже, *UTM* і *UPS* спільно забезпечують охоплення всієї земної кулі з дуже невеликими викривленнями та вельми точними вимірюваннями.

Примітка. В Європі досить часто рекомендувалося (Samoilenko et al., 2015) використовувати для геопросторового аналізу систему координат **ETRS89 Ellipsoidal Coordinate Reference System** (*ETRS89 Еліпсоїдальну Систему Відліку Координат*, де *ETRS89* як скорочена назва системи є аббревіатурою від англ. *European Terrestrial Reference System 1989*, тобто *Європейської Наземної Системи Відліку 1989 року*), яка базується на еліпсоїді *GRS80* (аббревіатура від англ. *Geodetic Reference System 1980*).

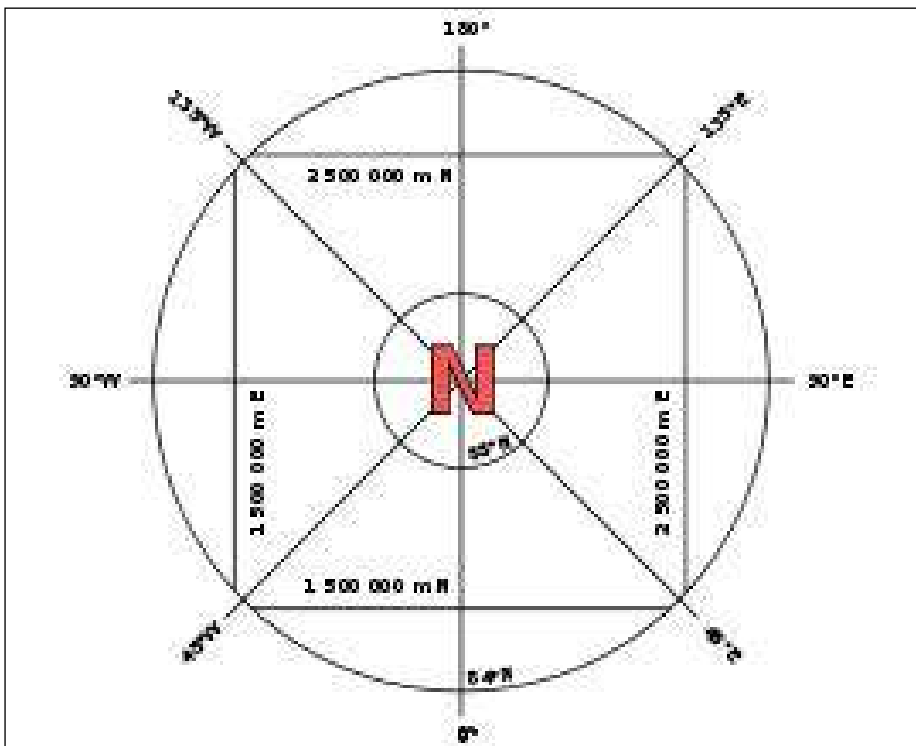


Рис.1.18 Система проєкцій і координат *UPS* (північна півкуля) (за Samoilenko, 2012)

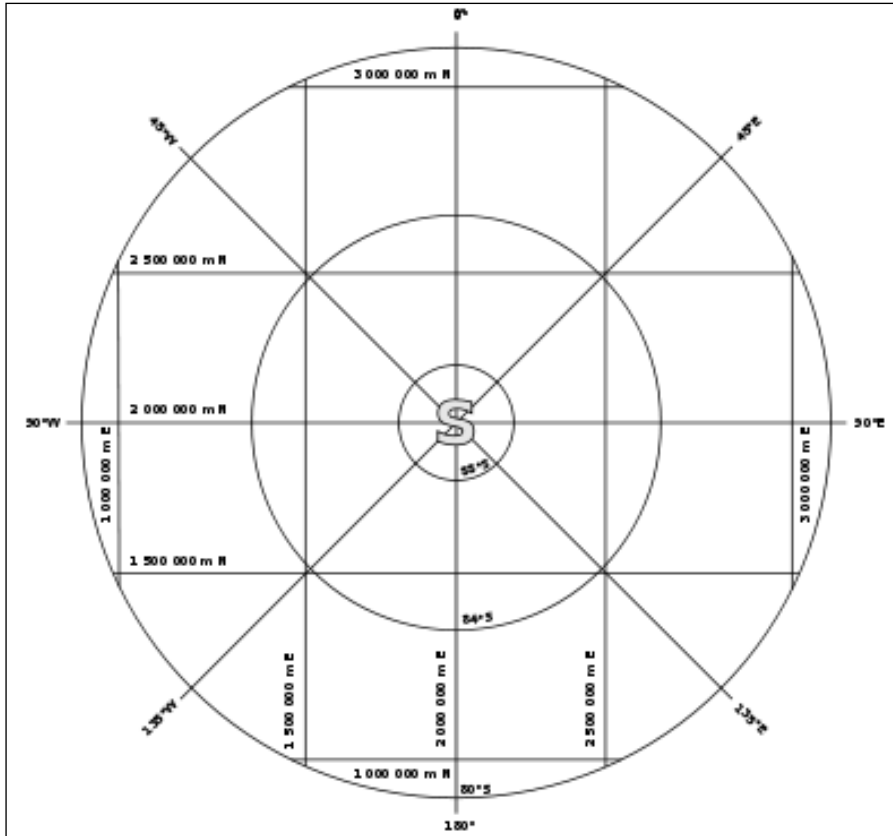


Рис.1.19 Система проєкцій і координат UPS (південна півкуля) (за *Samoilenko, 2012*)

Треба зупинитись на ще одній специфічній рисі геопросторового аналізу, а саме на **умовності карт і геопросторових баз даних**. Мірило карти обмежує обсяг даних, які може бути подано на одному картографічному документі. Саме мірило визначає ступінь генералізації об'єктів і їхнє зміщення відносно точного положення для забезпечення читабельності карти. Це і потрібно враховувати при перенесенні картографічних документів, з їхнім інформаційним змістом, мірками, типами відображення та символізації, у відповідне середовище геопросторових баз даних (БД).

Дані картографічного документа, тобто символи, які зображують об'єкти, є умовним подаванням реальності. Їхній розмір і розміщення часто є приблизними, менш точними при визначенні їхніх характеристик, ніж точність пристроїв цифрового введення інформації. Таким чином, перехід від паперової карти до цифрової бази даних потребує вирішення питання про те, яка саме ділянка точкового чи іншого символу повинна використовуватися для визначення координат об'єкта, який зображується. Якщо, наприклад, положення точкового символу фізично зміщене від дійсного положення з метою надання місця іншому об'єкту, то при введенні у БД буде отримано точні координати

символу, які насправді не відповідають точному положенню об'єкта. До того ж, власне символ займає якусь площу і тому слід вирішувати, чи є, наприклад, центр символу найбільш точним положенням об'єкта.

З іншого боку, при створенні геопросторових баз даних, скажімо за допомогою геодезичних приладів, можна досить імовірно натрапити на іншу проблему, коли точність такого приладу може бути порядку декількох сантиметрів і навіть міліметрів, а цифрове подавання не в змозі відтворити таку точність.

Схожими до вищезазначених проблемами, які також призводять до умовності карт і баз даних, є проблеми, які виникають при створенні геопросторових БД з карт різних мірил. Тому мірила карт, які поєднуються в БД, мають бути максимально близькими між собою.

Останнім часом все ширше для введення в геопросторові БД застосовуються **дані дистанційного зондування**, особливо там, де потрібен аналіз великих територій або аналіз змін на поверхні Землі. Саме тому доцільно розглянути **певні особливості використання** таких даних.

Отже, **дані дистанційного зондування (ДДЗ, син. дані аерокосмічного зондування)** (англ. *remote sensing data, remotely sensed data, remote surveying data, aerospace data*) – це дані щодо поверхні Землі та об'єктів, розташованих на ній або у її надрах, які отримано в процесі зйомок будь-якими неконтактними, тобто дистанційними методами (див. раніше).

Традиційно до ДДЗ відносяться дані, отримані за допомогою знімальної апаратури наземного, повітряного або космічного базування, яка дозволяє передавати зображення у одному чи декількох частинах електромагнітного спектра. Характеристики такого зображення залежать від багатьох умов, передусім природних і технічних. До *природних умов* відносяться сезон зйомки, освітленість поверхні, яка знімається, стан атмосфери тощо. До основних *технічних умов* належать тип платформи, яка несе знімальну апаратуру, тип датчика (або сенсора), метод управління процесом зйомки, орієнтація оптичної осі знімального апарата та метод отримання зображення. Головні характеристики ДДЗ визначаються числом та градаціями спектральних діапазонів, геометричними особливостями отриманого зображення з огляду на вид проєкції і розподіл викривлень, *розрізнюванням* цього зображення (англ. *image resolution, resolution*).

Датчики (сенсори) дистанційного зондування можуть сприймати різні ділянки електромагнітного спектра, як у видимому діапазоні, так і поза ним. Вони забезпечують повторну зйомку тих же ділянок поверхні Землі через певний інтервал часу (рис. 1.20), а також можуть створювати стереозображення. Кожна система ДЗ унікальна і характеризується власними особливостями. Утім, незалежно від типу чутливих елементів, сенсори передають зображення у вигляді прямокутної матриці *пікселів* (скорочення від англ. *picture element – елемент зображення*).

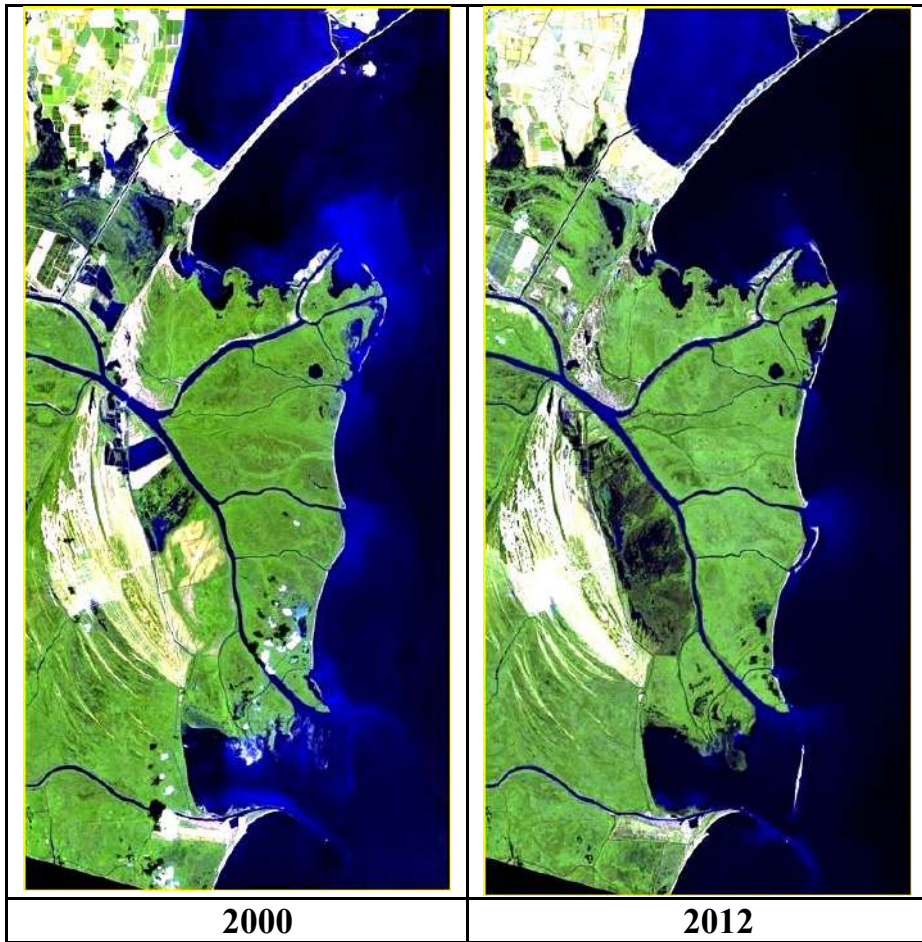


Рис.1.20 Зіставлення космічних знімків *Landsat* 2000 та 2012 років для геопросторового аналізу плинну різних природно-антропогенних процесів в дельті Дунаю (за даними УЦМЗР)

Отже, **піксел** (син. **пел**) (англ. *pixel, pel*) – це двовимірний елемент зображення, найменший з його складників, який отримується в результаті дискретизації (квантування) зображення, тобто поділу його на далі неподільні елементи, т.зв. *комірки (чарунки) растра* (які буде розглянуто у р.2).

Піксел характеризується *прямокутною формою та розмірами*, які визначають **геопросторове розрізнювання зображення** (або просто **геопросторове розрізнювання**). Під ним у цілому розуміється *розмір порції земної поверхні, який охоплюється одним пікселом*. Чим меншим є розмір піксела, тим вищим є геопросторове розрізнювання. У залежності від призначення, апаратури, способів і умов зйомки, зображення дистанційного зондування можуть мати розмір піксела, тобто розрізнювання, від декількох сантиметрів до декількох кілометрів.

Примітки.

1. Інколи, особливо при характеристиці можливостей апаратури дистанційного зондування тощо, застосовується термін "**розрізнявальна здатність**" як синонім терміна "розрізнявання".

2. Для подавання поверхонь або багат шарих комбінацій зображень як цифрових тривимірних зображень використовується тривимірний аналог піксела. За нього править найменший тривимірний елемент об'ємного зображення, який несе в собі інформацію, тобто своєрідна "кубічна" комірка, яка зветься **воксел** (англ. *voxel* як скорочення від *volume element* або *volume pixel*). Крім того, піксел, утворений змішуванням декількох суміжних з ним комірок з відмінними значеннями класів, а також піксел, який не піддається віднесенню до жодного з класів з визначеного їхнього набору, у технології цифрової обробки зображень отримав назву **міксел** (англ. *mixel* як скорочення від *mixed element*).

Кількість електромагнітної енергії, яка потрапляє в один піксел, перетворюється у число та у бінарному вигляді передається з апаратури на Землю. *Число бінарних розрядів (бітів), якими кодується кожен піксел, зветься радіометричним розрізняванням зображення* (або просто **радіометричним розрізняванням**). Чим більше бітів використовується на кожний піксел, тим вищий є радіометричне розрізнявання.

Для кожного піксела визначаються *декілька відліків* – по одному на кожну зону спектра. Позаяк кожна система ДЗ працює у визначених зонах спектра, для того, щоб обрати належний сенсор, потрібно визначитись не тільки з вимоговими значеннями геопросторового та радіометричного розрізнявань, а і з зоною спектра, у якій відображаються досліджувані явища та об'єкти.

До найбільш складних проблем, пов'язаних з використанням ДДЗ, відносяться їхня *геометрична корекція та отримання корисної інформації із знімків (дешифрування)*, які окремо і розглядаються далі.

Стосовно *проблеми геометричної корекції ДДЗ* слід зазначити, що квантування простору на піксели створює ще один рівень спрощення зображення наземних об'єктів. Об'єкти, які є істотно меншими за розмір пікселів, не може бути виявлено внаслідок недостатнього геопросторового розрізнявання. Утім, їхня присутність впливає на кількість випромінювання, яке потрапляє на сенсор, створюючи *проблему змішаних пікселів або мікселів*, про які вже йшла мова. Практично завжди піксели містять більше або менше число різних об'єктів чи їхніх частин – питання лише у тому, як таке змішування вплине на наступний аналіз інформації. Коли на знімок потрапляє ділянка з відносно невеликою часткою дрібних "сторонніх" об'єктів, можна вважати, що такі об'єкти, менші геопросторового розрізнявання зображення на знімку, не впливають на результати аналізу. Але у випадку наприклад міського середовища, знімки із низьким розрізняванням можуть істотно спотворити результати дешифрування, позаяк в окремих пікселах будуть змішуватися суттєво різні за класом об'єкти (рис.1.21).

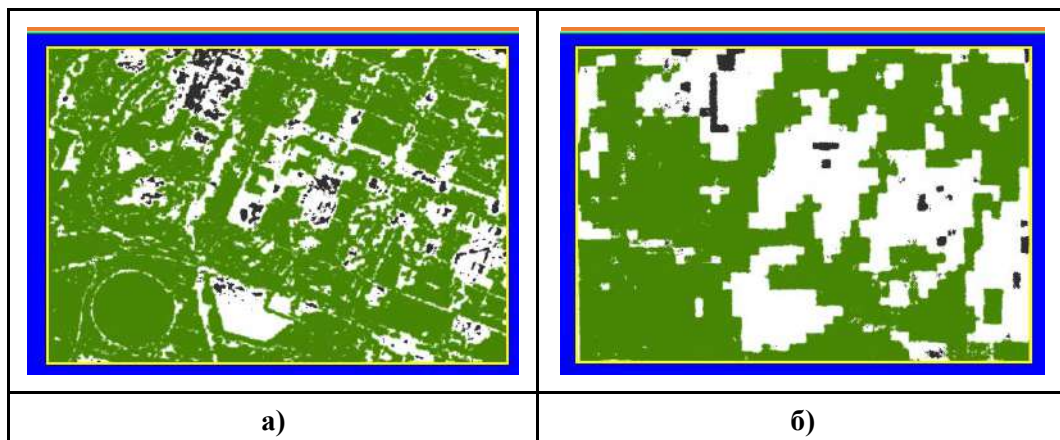


Рис.1.21 Проблема геометричної корекції при квантуванні ділянки земної поверхні на піксели (а – високе, б – низьке геопросторове розрізнення зображення та непридатні для дешифрування міксели)

Іншою проблемою є *дешифрування ДДЗ*, процедури якого поділяються на **дві групи**:

1) **процедури поліпшення читабельності знімків** (англ. *enhancement*). Їхнє призначення – полегшення сприйняття зображення людиною-аналітиком. Сюди входять такі дії, як зміна яскравості та контрастності всього зображення чи окремих його частин, згладжування, в основному для шуму, який створює розмитість зйомки, а також підкреслювання контурів і дрібних деталей;

2) **процедури класифікації (категорування) об'єктів** (англ. *categorization*). Класифікація по відношенню до ДДЗ є схожою до всіх інших видів класифікації при геопросторовому аналізі тим, що вона зазвичай вносить додаткове спрощення даних у кінцевий продукт, переводячи ці дані з шкали відношень у більш "грубі" шкали – інтервальну, порядкову та номінальну. Утім, аналітична парадигма потребує забезпечення доступності вихідних даних для користувача з метою отримання максимуму інформації. Тому недешифровані знімки все частіше стають частиною геопросторових баз даних, особливо поєднаних з фактографічною геопросторовою інформацією.

Усі методи класифікації (категорування), які застосовуються при дистанційному зондуванні, мають один результат – *групування пікселів за категоріями, яким може бути присвоєно назви (або які вже мають назви)*.

Примітка. З огляду на останнє, не дивлячись на спорідненість, взаємопоєднання та вживання як синоніми термінів "класифікація" і "категорування", доцільним, на наш погляд, є їхнє певне змістовне розрізнення. Згідно з ним класифікацію слід більшою мірою ототожнювати з обґрунтуванням класифікаційних ознак і власне створенням універсальних предметних класифікаційних схем, а категорування – з безпосереднім процесом розподілу та віднесення об'єктів до категорій прийнятої

класифікаційної схеми. За таких умов категорювання є близьким до поняття "типізація за класифікаційними ознаками" (див. також р.4 і р.5).

Таким чином, можна вирізнити **три основних методи класифікації та/або категорювання при дешифруванні ДДЗ:**

1) **автономна класифікація** з наступним категорюванням, коли для визначення її інтервалів використовуються спеціальні алгоритми, які забезпечують потрібні умови розподілу пікселів за класами (категоріями). Деякі з цих алгоритмів вимагають від користувача введення числа класів, інші реалізуються повністю автономно;

2) **класифікація та категорювання за еталонами**, коли оператор обирає набір заздалегідь встановлених еталонів, які визначаються за існуючими класифікаційними схемами або за характеристиками обраних користувачем областей знімка тощо, після чого програма автоматично "класифікує та категорює" всі піксели цього знімка;

3) **інтерактивне категорювання**, коли користувач задає програмі декілька пікселів або навіть один, які повинні подавати обраний об'єкт, після чого програма "відшукує та показує" всі інші сусідні піксели з аналогічними значеннями.

Усі перелічені методи класифікації та/або категорювання тією чи іншою мірою є автоматизованими, а проте навіть автономна класифікація потребує від користувача певного уявлення щодо змісту знімка, не кажучи вже про інтерактивне категорювання.

Окрім вищезазначених проблем використання ДДЗ, можна окреслити ще й такі. *По-перше*, це проблеми, які виникають у зв'язку з тим, що отримані при дешифруванні категорії можуть бути погано зіставними з тими, які раніше створювалися при інтерпретації знімків і інших цифрових шарів і з якими порівнюються актуальні знімки. *По-друге*, існують також певні труднощі, зумовлені порівнянням знімків території, зробленими у різний час при відмінних між собою погодних умовах, зокрема з різних супутників, проблеми корекції геометричних і часових викривлень, зумовлених постійним рухом Землі та супутника та деякі інші проблеми. Для всіх них загалом існують певні способи їхнього розв'язання.

Насамкінець слід зазначити, що не дивлячись на відносну складність використання ДДЗ для геопросторового аналізу із застосуванням геоінформаційних технологій, ці два підходи наразі невпинно та поступально інтегруються.

2 ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ СТРУКТУРИ ТА МОДЕЛІ ДАНИХ ДЛЯ ГЕОПРОСТОРОВОГО АНАЛІЗУ

До цих пір за змістом монографії розглядався геопросторовий аналіз переважно у традиційних формах, тобто на рівні картографічно поданого доквілля, що надалі вивчається шляхом картографічних вимірювань або застосування окремих геопросторово-аналітичних і статистичних методів. Такі традиційні підходи звичайно роблять свій внесок у розуміння того, як функціонують розподілені за поверхнею Землі об'єкти.

Утім, розвиток геоінформаційної техніки та технологій зумовлює перехід до автоматизованих методів досліджень, які містять як *аналіз картографічного подавання об'єктів*, так і *геопросторовий аналіз без застосування карт*. При цьому відокремити будь-який з цих методів дослідження від розвитку геоінформаційних технологій досить важко.

По-перше, обидва методи є частиною загального і більш об'ємного інструментарію цифрової географії та наук про Землю.

По-друге, в усіх випадках ставиться одна і та ж сама мета – отримати доступ до широкого та ефективного набору методів дослідження геопросторових даних.

Задля досягнення такої мети необхідним є розуміння **структурної будови даних у геоінформаційних технологіях**. Кожна така технологія застосовує свої власні унікальні структури геопросторових даних з відповідними методами подавання та способами аналізу таких структур. Утім, їх може бути згруповано у відносно невелику кількість основних типів структур даних. Кожна з цих структур і використовується певним програмними засобами геопросторового аналізу.

Подавання геопросторових даних безпосередньо у цифрових базах даних – це ще одна їхня формалізація. Вона схожа до тієї, яка вже розглядалася у р.1 при переході від реальних геопросторових об'єктів до чотирьох типів картографічних об'єктів за допомогою обраного набору *геометричних (графічних) примітивів*.

До останніх найчастіше відносяться точки, лінії, полігони, а також, інколи, еліпси, кола, дуги, примітиви "спагеті" тощо. При цьому виходять з того, що дані на карті є поєднаними індивідуальними та/або комплексними об'єктами, які складаються із зазначених геометричних примітивів і їхніх атрибутів (рис.2.1).

Специфіка ж формалізації об'єктів стосовно вже геоінформаційних технологій полягає у тому, що потрібно з'ясувати, як можна подавати зазначені дані карти як примітиви та атрибути у цифрових базах даних таким чином, щоб з'явилася можливість їхнього редагування, вимірювання, аналізу та виводу (візуалізації) у будь-якій зручній формі.

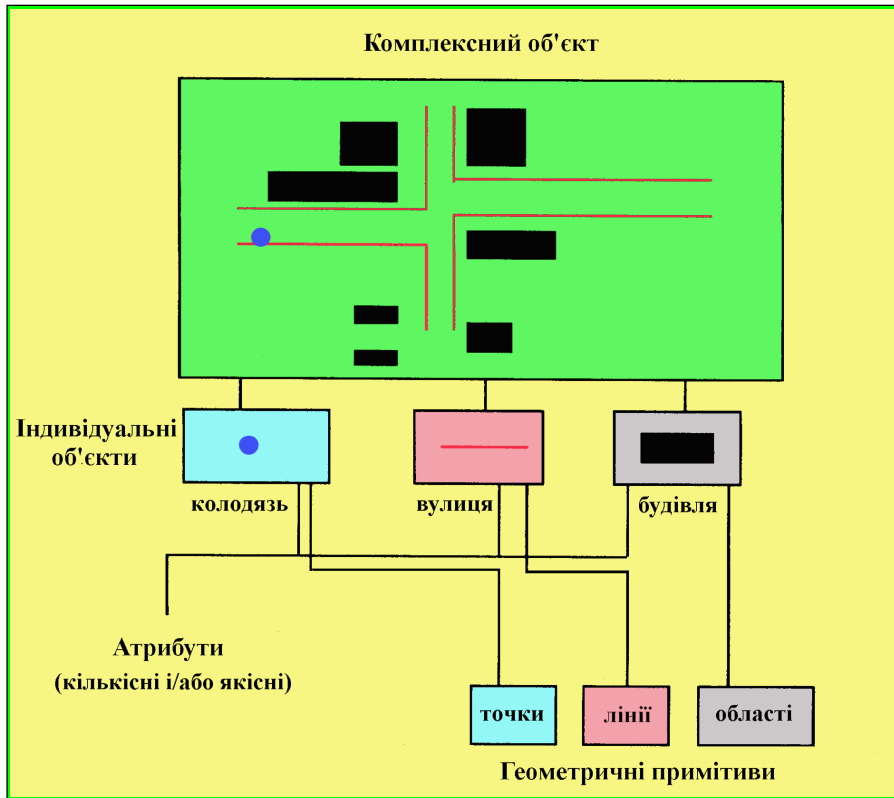


Рис.2.1 Приклад поєднання індивідуальних і комплексних об'єктів карти, утворених сукупністю примітивів і їхніх атрибутів

Ураховуючи вищевикладене, у цьому розділі доцільно *послідовно* розглянути:

- певні *основні (традиційні) структури комп'ютерних файлів*, які забезпечують збереження, упорядкування та пошук елементів даних;
- *цифрові бази даних (БД) і їхні структури*, які забезпечують організацію, пошук і аналіз великих обсягів даних на більш складному рівні управління інформацією;
- основні концепції щодо подавання геопростору та його об'єктів за допомогою *графічних структур даних*;
- детальні *моделі даних*, які дозволяють поєднувати інформацію про місцезнаходження численних наборів геопросторових об'єктів з інформацією про атрибути останніх для утворення *завершених структур даних у геопросторових БД*.

Для ознайомлення із зазначеними структурами в порядку зростання їхньої складності спочатку у загальних рисах слід сформулювати **загальний принцип подавання геопросторових даних у геоінформаційних технологіях** або ж перетворення географічного простору у геопросторові бази даних. У цілому

він полягає у тому, що, після збору даних обраним методом або способом, приймається аналітичне рішення щодо подавання їх у графічній формі – порівнюються та групуються дані, обирається проєкція та система координат тощо. Далі, у певних випадках, створюється карта безпосередньо з цих даних і тільки після цього вони вводяться як картографічні бази даних. З іншого боку, наразі значно частіше дані постачаються (імпортуються) безпосередньо, утворюючи геоінформаційні бази даних, засновані на прямих спостереженнях. Звідси *принциповий ланцюжок подавання даних* виглядає таким чином: *реальний світ – подавання фахівця-географа чи фахівця з наук про Землю – картографічне подавання* (цієї ланки може і не бути) – *цифрове подавання у БД*. А отже зазначені процеси містять два дуже важливих складники. Першим є попереднє оцінювання довкілля, що досліджується, з рішенням про те, яке вихідне концептуальне подавання є необхідним. Другим є подальше абстрагування у певній формі для безпосереднього введення даних у БД, враховуючи поєднані різнорівневі структури та моделі попереднього абзацу та те, що людська графічна мова має будову, відмінну від мови цифрового середовища.

Дотримуючись прийнятої схеми викладу матеріалу у цьому розділі, треба почати з розгляду *основних структур комп'ютерних файлів*.

Основні (традиційні) структури комп'ютерних файлів можна розподілити на:

1) **невпорядковані файли**. Єдиною досить умовною перевагою неспорядкованих масивів записів є те, що для збереження нового запису треба лише розмістити його у кінці файлу після всіх записів, а проте будь-який пошук даних у такій структурі пов'язаний із значним гаянням часу;

2) **послідовно впорядковані файли**. Для їхнього створення використовуються або літери абетки, або числа у певній послідовності, і виникає самостійна задача правильного введення нових записів;

3) **індексовані файли**.

Для розуміння змісту останніх файлів, враховуючи майбутній розгляд власне геопросторових баз даних, слід зробити невеликий відступ і *попередньо* зазначити, що *інформація щодо будь-яких індивідуальних геопросторових об'єктів у БД* має бути щонайменше *трьох типів*: *ідентифікатор, інформація щодо місцезнаходження, атрибути*.

Як вже зазначалось (див. вступ), **ідентифікатор** – це унікальний (формальний) номер, який присвоюється геопросторовому об'єкту автоматично чи призначається користувачем у процесі введення цього об'єкта у БД, або його номер (код) за певним переліком чи кадастром тощо. Ідентифікатор править для зв'язку позиційної (*локатора*) та непозиційної (*атрибутив*) частини геопросторових даних.

Інформація щодо місцезнаходження (або **локатор**) – це відомості про місцезнаходження геопросторового об'єкта з урахуванням його топології, які відокремлені від ідентифікатора.

Уся інша інформація щодо індивідуального геопросторового об'єкта може розглядатися як його **атрибути** – набір характеристик, про що вже йшла мова.

Таким чином, *атрибути* – це будь-яка геопросторова та/або негеопросторова властивість об'єкта, яка не містить даних про його місцезнаходження. Звідси можна розрізнити, по-перше, *геопросторові атрибути*, зазвичай кількісні, наприклад, периметр і площа області, довжина лінії, третій вимір поверхні тощо. По-друге, можна оперувати *негеопросторовими атрибутами*, які разом з геопросторовими можуть бути вельми різноманітними – числовими, символічними, текстовими (вербальними) тощо – значеннями певних характеристик, які описують об'єкт (приклад – у табл.2.1, яка загалом і ілюструє власне процес атрибутування).

Табл.2.1 Приклад задавання атрибутів і їхніх значень для лінійного об'єкта "дорога"

Атрибут	Значення атрибута
Тип дороги	Символьне (через легенду): 1 – автострада; 2 – головна дорога; 3 – допоміжна дорога; 4 – дорога, що ремонтується; 5 – дорога, що будується
Матеріал покриття	Символьне (через легенду): 1 – бетон; 2 – асфальт; 3 – ґрунт
Ширина	Числове: величина в метрах
Число смуг	Числове: кількість смуг
Ім'я	Вербальне: назва дороги

Треба зазначити також, що крім *індивідуальних об'єктів* можна вирізнити і *комплексні*, які є об'єднаннями індивідуальних (елементарних) геопросторових об'єктів як постійні чи тимчасові групи цих об'єктів (див. рис.2.1). Якщо така група має єдиний ідентифікатор, то вона може розглядатися також і як індивідуальний об'єкт.

Тепер можна повернутися до **змісту індексованих файлів**. Для невпорядкованих і впорядкованих файлів, виходячи з їхньої сутності, записи про геопросторові об'єкти можна ідентифікувати або за їхнім *ключовим атрибутом*, насамперед назвою чи типом об'єкта тощо, або за *кодом (ідентифікатором) запису (об'єкта)*. Тоді стратегію пошуку інформації щодо об'єкта буде засновано на розпізнаванні значень саме цих атрибутів або кодів. Утім, досить часто об'єктам присвоюється певний, досить великий набір атрибутів, причому

якісних негеопросторових або їх же у поєднанні з кількісними (наприклад, помірно забруднені земельні ділянки або такі ж ділянки з похилом менше 10^0 тощо). У таких випадках сортування записів і відбір за ними об'єктів з потрібним атрибутом, не лише ключовим, чи з їхньою певною комбінацією стає вельми складним завданням, яке вирішується за допомогою т.зв. *зовнішніх індексів*.

Зовнішній індекс (або **індексний файл**) будується таким чином, що з вихідного файлу даних у новий копіюються значення одного або декількох атрибутів для всіх записів (об'єктів) разом з адресами (кодами) цих записів. Потім у новому файлі упорядковуються записи згідно із значеннями обраного атрибута.

Тепер, відшукавши потрібні записи у індексному файлі, можна визначити адреси записів вихідного файлу, за якими вже і отримуються всі потрібні атрибути об'єктів. Таким чином, *файл, для пошуку у якому використовується додатковий індексний файл (зовнішній індекс)* і зветься **індексованим файлом**.

Використання зовнішнього індексу має задовольняти *дві головні умови*.

По-перше, слід заздалегідь визначити критерій, за яким виконується пошук (*критерій* або *ключ запити*) і за яким власне і створюється кожний індексний файл.

По-друге, посилання на будь-яку інформацію вихідного файлу повинні розміщуватися у відповідних місцях індексних файлів таким чином, щоб не порушувати їхню впорядкованість. Приклад індексованого файлу – на рис.2.2.

Зрозуміло, що, зазвичай, рідко обмежуються лише одним файлом. Зазвичай використовується велика їхня кількість. І тоді організований набір взаємопов'язаних файлів або елементів даних, зокрема і геопросторових, утворює цифрові **бази даних**.

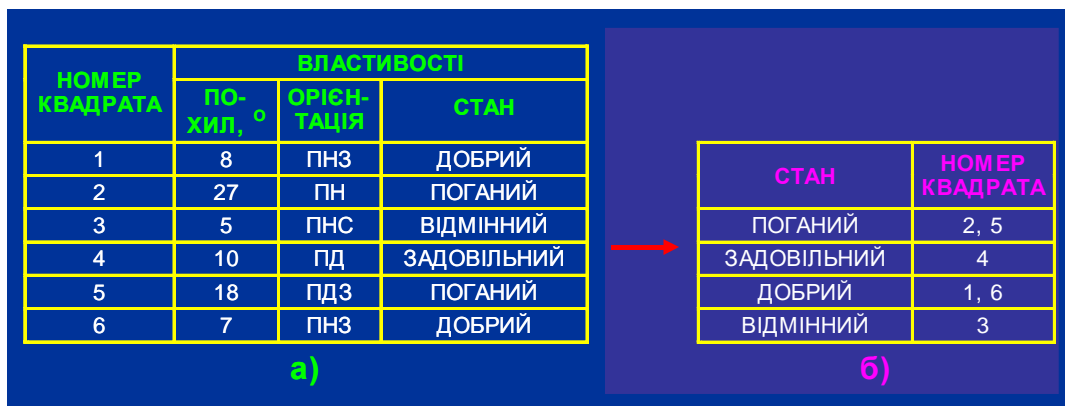


Рис.2.2 Приклад індексованого файлу. Файл даних (а) і індексний файл (зовнішній індекс) (б) за критерієм (ключем) запити "Стан" для квадратів дослідної ділянки землі

Більш точно у широкому розумінні **бази даних (БД)** (англ. *data bases, databases, DB*) – це сукупність даних, які організовано за визначеними правилами, які встановлюють загальні принципи опису, збереження та маніпуляції даними за допомогою цифрових засобів. Зберігання даних в БД забезпечує централізоване управління ними, дотримання стандартів, безпеку та цілісність даних, скорочує надмірність і ліквідує суперечливість даних.

Створення баз даних і звертання до них за запитами здійснюються за допомогою системи управління базами даних (СУБД), про яку вже йшла мова в уведенні. Так, програмне забезпечення інформаційних мереж може підтримувати режим роботи, за якого робочі станції цих мереж відсилають запити до БД, розміщених на сервері, отримують від нього необхідні дані та самостійно виконують з ними сукупність операцій пошуку, вибірки та коригування, іншими словами *транзакцій*. За іншого режиму інформаційно-мережні робочі станції можуть виступати суто у ролі клієнтів, а сервер повністю обслуговуватиме запити та відсилатиме таким клієнтам результати, повномірно реалізуючи технологію "клієнт – сервер" (див. вступ).

Бази даних може бути розміщено на декількох комп'ютерах інформаційної мережі, у такому випадку вони зветься **розподіленими БД (РБД)** (англ. *distributed databases*), а СУБД, яка ними управляє, – *системою управління розподіленими базами даних (СУРБД)* (англ. *distributed databases management system*). Бази даних, які містять набори даних про геопросторові об'єкти, утворюють **геопросторові БД** (англ. *geospatial databases*).

Примітка. Для зіставлення доцільно одразу зазначити, що, на відміну від баз даних, **бази знань (БЗ)** (англ. *knowledge bases*) є сукупністю знань про певну предметну область, на основі яких можна розмірковувати. Це основна частина експертних систем різного гатунку (див. вступ), де за допомогою баз знань накопичуються навички та досвід експертів, які розробляють евристичні прийоми розв'язання певних проблем. Зазвичай бази знань є набором фактів і правил, які формалізують досвід фахівців у конкретній предметній області та дозволяють на запити про цю предметну область давати відповіді, які у явному вигляді не містяться у базах знань.

Не дивлячись на те, що постійно створюються все нові реалізації структур, у цілому можна вирізнити **три основні типи структур (або схем) баз даних**, а саме:

- 1) ієрархічну або деревоподібну;
- 2) мережну;
- 3) реляційну або табличну.

Ієрархічну або деревоподібну структуру баз даних засновано на тому, що досить часто існує взаємозв'язок між елементами даних згідно з відношенням "один до багатьох" ("багато хто до одного") або "один до одного". Таке відношення домислює, що кожний елемент даних, як т.зв. *предок*, має прямий взаємозв'язок з певним числом т.зв. *нащадків*, і, звичайно, кожен такий нащадок у свою чергу може мати взаємозв'язок зі своїми визначеними

"нащадками" тощо або навпаки, при "просуванні" від "нащадків" до "предків". За такої схеми "предки" та "нащадки" напряму поєднано між собою, що робить доступ до даних простим і ефективним (приклад – на рис.2.3).

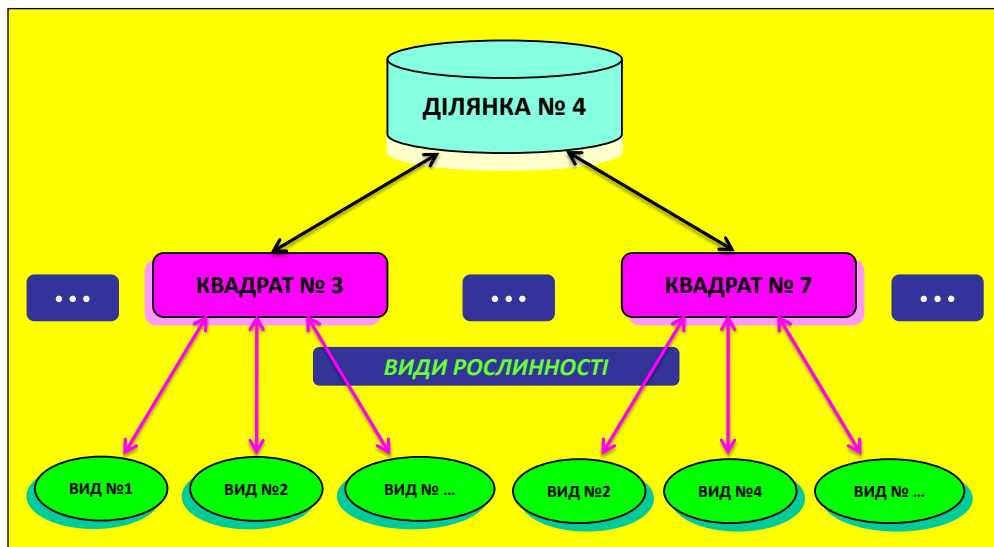


Рис.2.3 Приклад ієрархічної структури баз даних (квадрати дослідної ділянки землі та види їхньої рослинності)

Головною властивістю ієрархічної структури є те, що утворені нею розгалуження, як *деревоподібна структура* або *графічна модель* чи *граф зв'язків*, засновано на формальних **ключових ознаках** або **атрибутах**, які і визначають просування за цією структурою, тобто за її "гілками". Природа ієрархічної схеми потребує явного визначення кожного відношення (зв'язка) для того, щоб створити власне таку структуру та її **правила розгалуження**. З одного боку, перевагою ієрархічної структури є те, що в ній легко виконувати пошук, позаяк вона добре визначена та може відносно легко розширюватися шляхом додавання нових "гілок" і формулювання нових правил розгалуження. З іншого боку, якщо початковий опис структури є неповним або якщо потрібно просуватися за структурою на основі критерію, який не включений у структуру, то пошук стає неможливим. Тобто, для створення ієрархічної структури конче потрібно *знати всі можливі запити*, які можуть виникнути, позаяк ці запити використовуються як основа розробки правил розгалуження або ключових ознак.

Ситуації недостатньо визначених запитів є досить частими при роботі з інформацією для геопросторового аналізу, і при цьому головна проблема – неможливість передбачити усі потенційні запити користувачів, оскільки БД зазвичай містять велику кількість типів інформації, насамперед тематичної геопросторової. Як буде показано далі, *однією з вельми важливих*

особливостей геоінформаційних технологій є їхня здатність виконувати пошук чи досліджувати взаємозв'язки, які не передбачалися до реалізації геопросторових БД. І тому ієрархічна структура не дуже задовольняє останні вимоги через її жорстку ключову будову. До того ж, ієрархічна структура досить часто вимагає наявності великих індексних файлів, що значно збільшує обсяг збереження даних у БД та час доступу до інформації.

Мережна структура баз даних використовує відношення "багато хто до багатьох", за якого один елемент даних може мати багато атрибутів і при цьому кожний атрибут явно взаємопоєднано з багатьма елементами.

Так, на наведеному на рис.2.4 прикладі мережної структури баз даних дослідна ділянка землі може мати багато квадратів, з кожним з яких може бути поєднано декілька рослинних видів. При цьому кожний вид може бути присутнім у більш ніж одному квадраті, які, у свою чергу, явно взаємопоєднано між собою. До того ж, за необхідності, на цьому рисунку можна було б визначено взаємно поєднати і власне ділянку без її квадратів безпосередньо з її видами рослинності.

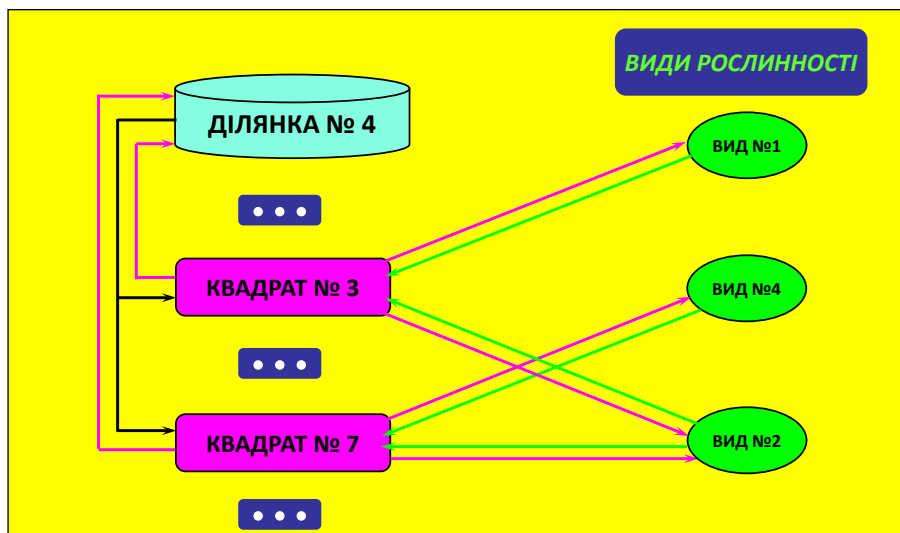


Рис.2.4 Приклад мережної структури баз даних (квадрати дослідної ділянки землі та види їхньої рослинності)

Для спільної реалізації відношень, наведених на рис.2.4, кожен елемент даних повинен мати спеціальну змінну, яка зветься **покажчиком** (англ. *pointer*). Він спрямовує користувача до всіх інших елементів даних, взаємопоєднаних з обраним, і навпаки, тобто застосовується **структура взаємозворотних зв'язків через ланцюжок покажчиків**.

Отже, не обмежуючись деревоподібною структурою зв'язків, у мережній структурі БД кожний окремий елемент даних може бути напряму але визначено поєднано з будь-яким місцем баз даних без введення відношення "предок – нащадок" чи навпаки.

Мережні структури забезпечують значно *більш гнучку систему пошуку*, ніж ієрархічні структури, зменшуючи до того ж надмірність даних. Але головними вадами мережних структур є те, що у значних за обсягом геопросторових БД *кількість показчиків може стати надто великою* та утворити велими заплутану мережу з втраченими або помилковими зв'язками тощо. До того ж такі зв'язки знову-таки *мають бути явно визначеними*.

Недолікам великої кількості показчиків і необхідності їхнього явного визначення можна запобігти, застосовуючи ще одну структуру геопросторових баз даних – *реляційну* (від англ. *relational*, тобто "відносний" або "властивий відносинам").

За *реляційної* або *табличної структури* дані зберігаються як впорядковані записи, за які правлять **табличні рядки** (англ. *row, table row*) значень атрибутів. Атрибути об'єктів групуються в цих окремих рядках у вигляді т.зв. **відношень** (англ. *relations*), позаяк вони зберігають свої положення у кожному рядку та визначено поєднані з об'єктами та між собою (рис.2.5).

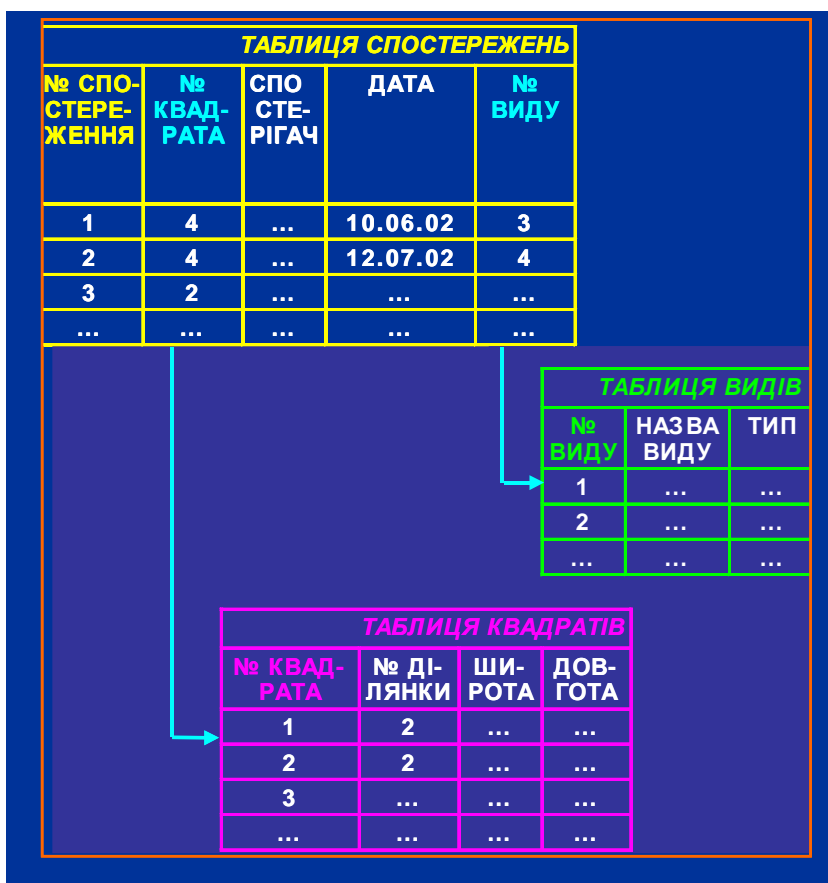


Рис.2.5 Приклад реляційної (табличної) структури баз даних з трьома таблицями відношень (спостереження за рослинністю на квадратах дослідної ділянки землі)

Так, кожен табличний рядок містить інформацію щодо окремого геопросторового об'єкта, а кожен **стовпець** (син. **поле таблиці**) (англ. *column, table field*) містить значення одного певного атрибута для всього набору об'єктів. При цьому класу (категорії) атрибута (англ. *attribute class*) чи просто його назві відповідає ім'я стовпця. Атрибути об'єктів можуть також об'єднуватися у інші, з'єднані **таблиці відношень**, звідки і друга назва цієї структури БД – *таблична*.

Реляційні структури або схеми БД засновано на наборі математичних принципів, які зветься *реляційною алгеброю* або *алгеброю відношень*. В основу цієї алгебри покладено теорія множин. Через це кожна таблиця відношень функціонує як множина і *перша умова* говорить про те, що таблиця не може мати рядок, який повністю збігається з будь-яким іншим рядком. А позаяк *кожен з рядків є унікальним*, один чи декілька стовпців можуть використовуватися як критерій (критерії) пошуку. Такий критерій зветься **первинним** (або **основним**) **ключем** (англ. *primary key*) для пошуку значень в інших стовпцях бази даних. За *другою умовою*, будь-який рядок таблиці повинен мати *унікальне значення у стовпці первинного ключа*, інакше задача однозначної ідентифікації об'єктів або атрибутів за первинним ключем не буде мати вирішення.

Реляційні схеми є дуже цінними, тому що дозволяють групувати дані у достатньо спрощені таблиці. Більше того, задачі організації даних при цьому також є спрощеними. Так, за необхідності можна стикувати рядки однієї таблиці з відповідними рядками іншої, використовуючи механізм або процес зв'язку, який зветься **реляційним з'єднанням** (англ. *relational join*). Позаяк реляційні структури переважають у геопросторовому аналізі, слід розглянути більш детально такий процес.

Отже, за реляційної схеми будь-яку кількість таблиць відношень може бути з'єднано між собою. З'єднання відбувається за *рівністю унікальних значень обраного стовпця однієї таблиці значенням іншого стовпця другої таблиці*, який при такому з'єднанні використовує форму *первинного ключа* але зветься вже **зовнішнім ключем** (англ. *foreign key*). При цьому всі стовпці другої таблиці буде відповідно поєднано з стовпцями першої, завдяки чому забезпечується стикування рядків обох таблиць і кожна з них може бути найбільш простою, що полегшує управління даними. До зазначеного з'єднання двох таблиць аналогічним чином можна приєднати і третю, почавши з іншого обраного стовпця першої або другої таблиці тощо (див. рис.2.5). Такий процес може тривати і далі за рахунок приєднання все нових спрощених таблиць для проведення складного пошуку. Зазначений підхід усуває можливість плутанини зв'язків і надмірності показників, яка властива мережним структурам.

Загалом для встановлення реляційних з'єднань необхідно, щоб кожна таблиця мала *хоча б один спільний стовець* з іншою таблицею. Крім того, для визначення виду, якому має задовольняти кожна таблиця відношень,

встановлено *набір правил*, які називають *нормальними формами*. Існує **три основні нормальні форми таблиці відношень**:

1) **перша** говорить про те, що у кожному стовпці на кожному рядку таблиці має знаходитися лише одне значення;

2) **друга** вимагає, щоб кожний стовпець, який не є первинним ключем, цілком залежав від такого ключа;

3) **третя** є наслідком другої та завбачує, що первинний ключ має бути незалежним від будь-якого стовпця, який не є первинним ключем.

Щойно розглянуті основні типи структур баз даних можуть безпосередньо використовуватися для графічного подавання геопросторових об'єктів, утім такий процес у геоінформаційних технологіях відрізняється специфічними рисами. Тому наступним кроком буде розгляд *методів і структур графічного подавання географічного простору*, тобто позиції геопросторових об'єктів та їхніх атрибутів.

Існує *два основних методи* графічного подавання географічного простору – *растровий* і *векторний* (англ. *raster and vector*) – з відповідними їм графічними структурами даних.

Перший, *растровий метод* з його растровою структурою даних базується на **квантуванні**, тобто розподілі геопростору на множину *елементів растра*, кожен з яких являє собою невелику, але цілком визначену частину земної поверхні. Цей метод може використовувати елементи будь-якої геометричної форми за умови, що їх може бути об'єднано як суцільне утворення, яке подає весь обраний для дослідження географічний простір.

Можливим є застосування різних форм елементів растра, наприклад шестикутних або трикутних, утім простіше використовувати *прямокутники* або *квадрати*, які зветься **комірками** (син. **чарунками**) **растра** (англ. *grid cells*). У растрових моделях комірки растра зазвичай мають однаковий розмір, що і буде домислюватися у цьому розділі.

Примітка. Прямокутні комірки растра є спорідненим поняттям з *пікселами*, які розглядалися у попередньому розділі.

Растрова структура даних не забезпечує точної інформації про місцезнаходження об'єкта, позаяк географічний простір є поділеним на дискретні комірки кінцевого розміру. Таким чином, замість точних координат точок, які задають місцезнаходження того чи іншого об'єкта, оперують окремими комірками растра, в яких такі точки знаходяться (рис.2.6).

За зазначеного підходу відбувається **зміна геопросторової вимірності**: точковий об'єкт, що є нульвимірним, зображується за допомогою комірки – об'єкта, який має довжину та ширину, а лінія, тобто одновимірний об'єкт, відтворюється фактично областю – як ланцюжок сполучених комірок тощо. Тобто кожна точка, як окрема, так і та, що належить лінії або області, подається коміркою растра і ця точка має знаходитися десь усередині однієї з

таких комірок. У результаті лінії та області досить часто мають східчастий вигляд (див. рис.2.6).

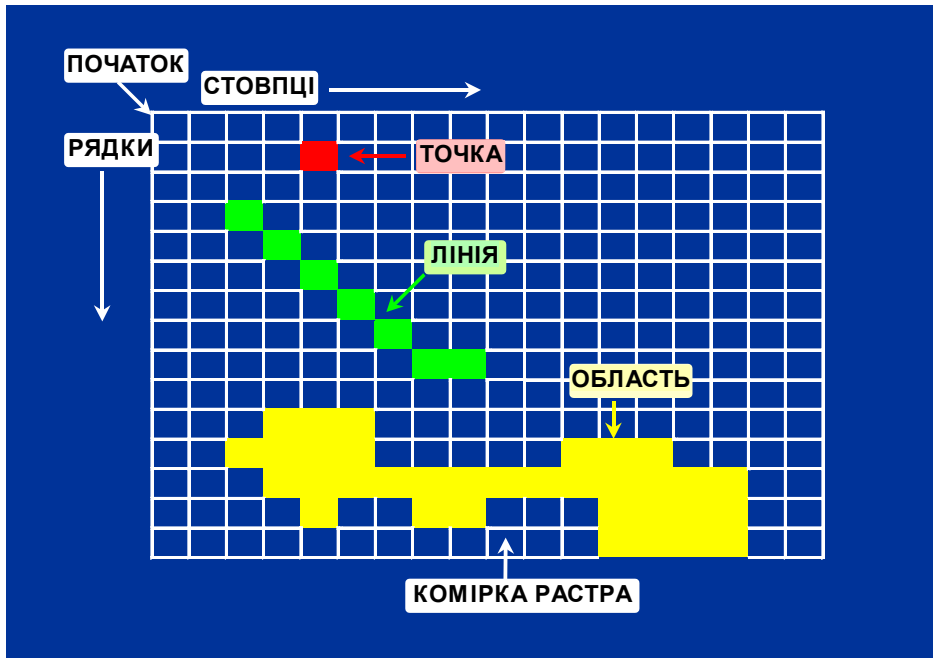


Рис.2.6 Растрове подавання геопросторових об'єктів

Для *растрової графічної структури даних* у цілому існує **два способи включення атрибутивної інформації** щодо геопросторових об'єктів, а саме:

1) *перший*, найпростіший, коли *кожна комірка* растра поєднується з *одним певним атрибутом* (наприклад, належність комірки до водної поверхні тощо);

2) *другий*, більш складний за попередній, за якого *кожна комірка* растра з'єднується з базами даних таким чином, що їй може бути присвоєне *довільне число атрибутів*. Саме такий спосіб є більш поширеним, позаяк він зменшує обсяг даних, які зберігаються, та може забезпечувати зв'язок з іншими структурами даних, які також використовують СУБД для накопичення та пошуку інформації.

Загалом у растровій структурі даних *абсолютне місцезнаходження* домілюється через *співвідносне розташування комірок*: полігони подаються суміжними комірками тощо. Зрозуміло, що чим більшим є розмір комірки, тим нижчим (більш грубим) є геопросторове розрізнювання растра і тим меншою є точність положення точок, ліній і областей, поданих такою структурою.

Номера комірок растра за вертикаллю та горизонталлю можна використувати як *координати*. З цими ж номерами також можна поєднати наприклад звичайні прямокутні координати (див. р.1). Крім того, подавання об'єктів

комірками растра може мати *вбудовану координатну систему*, подекуди навіть більш досконалу, ніж прямокутна, наприклад для пікселів зображень дистанційного зондування тощо. Утім, точні вимірювання у будь-якій растровій структурі утруднені та, до того ж, потребують великого обсягу пам'яті. Натомість растрова структура даних має і багато переваг. Серед них, наприклад, повна сполучність цієї структури із зображеннями дистанційного зондування, відносно спрощене виконання багатьох функцій, поєднаних з операціями з поверхнями та накладанням зображень (див. р.6-8) тощо.

Другий основний метод графічного подавання географічного простору – **векторний**, як і відповідна векторна графічна структура даних, – дозволяє задавати *точні геопросторові координати явним чином*. При цьому виходять з того, що географічний простір є *суцільним*, а не квантованим на дискретні комірки. Таким чином, *точки* фіксуються парою координат (X і Y) координатного простору, *лінії* – поєднаною послідовністю пар координат їхніх вершин, *області* – замкненою послідовністю сполучених ліній, початкова та кінцева точки яких збігаються (рис.2.7).

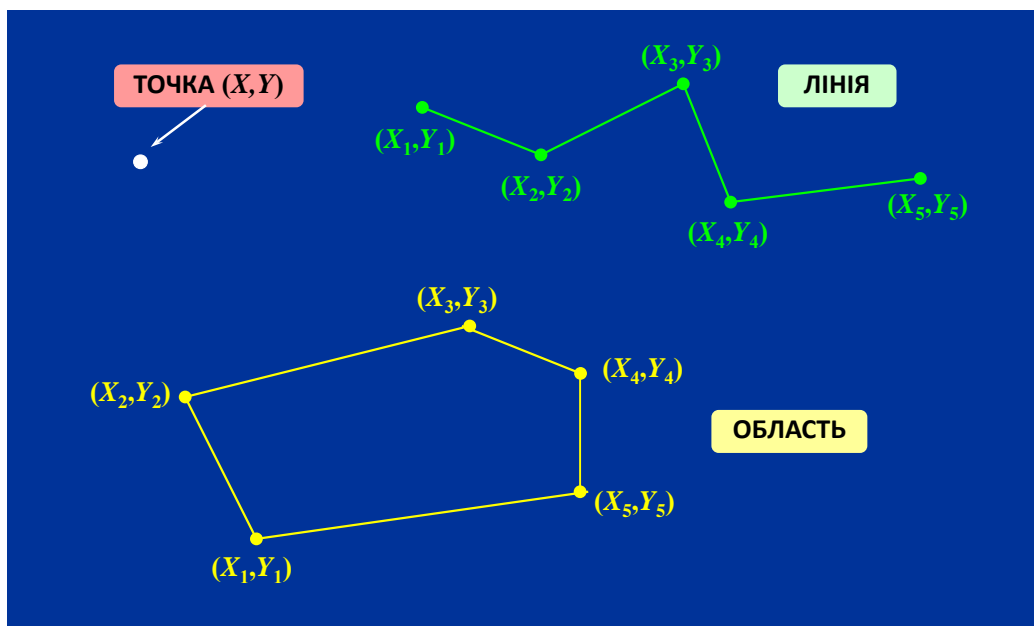


Рис.2.7 Векторне подавання геопросторових об'єктів

У векторному методі для кривих ліній може використовуватися наближене їхнє зображення за допомогою великого числа коротких прямих відрізків, причому, чим вони менші, тим кращим є відображення складної лінії. Таким чином очевидно, що *векторна структура теж не є абсолютно точним, а наближеним відображенням географічного простору*, хоч і більш точним, ніж растрова структура.

Більш складні набори ліній, які звать *мережами*, містять також додаткову інформацію щодо геопросторових відношень цих ліній, наприклад мережа доріг – про можливий напрям руху, вузли, які з'єднують окремі ділянки доріг тощо. Така явна інформація про зв'язність (англ. *connectivity*) і геопросторові відношення об'єктів зветься **топологічною інформацією**. Цю тему більш детально буде висвітлено при розгляді моделей на основі векторної структури даних.

Примітки (за *Busyhin et al., 2007; Samoilenko, 2012*).

1. **Топологія** (від грецьких слів *topos* – "місце" і *logos* – "вчення") – 1) розділ математики, який вивчає топологічні властивості фігур, тобто властивості, що не змінюються за будь-яких деформацій, які виконуються без розривів і склеювань, точніше, при взаємно однозначних і неперервних відображеннях. Прикладами топологічних властивостей фігур є розмірність, число кривих, які обмежують певну область тощо; 2) інформація щодо геопросторових взаємовідношень геопросторових об'єктів цифрової карти або окремого цифрового шару; 3) взаємовідношення між геопросторовими об'єктами, які з'єднано між собою, зокрема між полігонами, дугами, вузлами та точками.

2. **Топологічний простір** – математичне поняття, яке узагальнює поняття метричного простору та є множиною елементів довільної природи, у якому тим чи іншим способом визначено граничні співвідношення.

Площинні об'єкти може бути подано у векторній структурі аналогічно лінійним. При з'єднанні відрізків ліній у замкнутий контур (див. рис.2.6) утворюються *області*, які частіше називають **полігонами** як синонім *багатокутників* у геометрії.

Зрозуміло, що векторна графічна структура даних відтворює лише геометричну та/або топологічну інформацію щодо геопросторових об'єктів. Тому, щоб надати їй корисність карти, така графічна інформація поєднується з відповідними атрибутивними даними, які зберігаються в окремому файлі або базах даних.

Картографи загалом віддають перевагу векторній структурі даних у порівнянні з растровою через схожість першої до графічних структур традиційних карт. Однак слід зважати і на те, що, по-перше, за певних умов векторна структура може бути не досить зручною для опису властивостей, які змінюються неперервно, наприклад типологічних характеристик ґрунтів тощо, для яких растрова структура може бути більш ефективною. По-друге, сучасні геоінформаційні технології можуть одночасно оперувати як растровою, так і векторною структурами та відповідними їм моделями (див. наступний текст).

Растрова та векторна структури даних є засобами відображення певних геопросторових утворень і процесів на окремих картах. А проте існує необхідність у більш складних підходах, за якими створюються моделі даних з метою включення у бази даних взаємовідношень об'єктів, поєднання об'єктів та їхніх атрибутів, забезпечення спільного аналізу декількох шарів карти. Саме такій

тематиці, яку загалом можна визначити як *багатошарі моделі геопросторових даних*, і присвячено другу частину цього розділу.

Насамперед слід визначитися із *загальним поняттям про пошарову організацію геопросторових даних*.

Пошарова організація даних з її певними модифікаціями є найбільш розповсюдженою у геоінформаційних технологіях, як і відповідний такий організації загальний тип моделей – *багатошарі моделі*. **Сутність пошарової** (англ. *layered*) або **багатошарової** (англ. *multi-layered*) **організації даних** у широкому розумінні полягає в тому (рис. 2.8), що *виконується поділ картографічної чи іншої інформації щодо геопросторових об'єктів на тематичні шари з вирізненням об'єктів, віднесених до одного шару*. Ці об'єкти, наприклад, розміщуються в одному файлі чи каталозі, мають єдину та окрему від інших шарів систему ідентифікаторів тощо, до якої можна звертатися як до певної множини. Так, можна винести в один шар всі чи визначені водні об'єкти, всі чи обрані дороги, все, що відноситься до рослинного покриву тощо. Досить часто при цьому здійснюється і додатковий поділ площини певного тематичного шару на фрагменти – за аналогією з поділом традиційних карт на частини. Число шарів при пошаровій організації геопросторових даних може бути вельми великим і залежить від відповідних різновидів геоінформаційних моделей даних. При цьому зручно маніпулювати великими групами об'єктів конкретного шару, наприклад шляхом вмикання або вимикання потрібних шарів при перегляді тощо. Крім того, зручним є вибір операцій, заснованих на взаємодії шарів.

Тип багатошарих моделей є зараз зазвичай тим, який частіше застосовується для БД об'єктів довкілля, ніж тип т.зв. *об'єктно-орієнтованих моделей і підходів до організації геопросторових даних*. У останніх зроблено акцент не стільки на загальних властивостях об'єктів, які моделюються через поділ на шари, скільки на положенні таких об'єктів у певній складній ієрархічній системі класифікації та взаємовідношеннях об'єктів у ній (див. попередній текст про ієрархічні структури баз даних). Усе це спричинює різні вади організації інформації, насамперед велику складність реалізації об'єктно-орієнтованого типу моделей. Утім за змістом такий тип є дуже привабливим для геопросторового аналізу і наразі тривають розробки з його удосконалення.

Повертаючись до пошарової організації геопросторових даних, слід сформулювати більш точно певні її вихідні поняття. Отже, цифровий **шар** (англ. *layer, theme*) у широкому розумінні – це *сукупність однотипних за властивостями чи вимірністю геопросторових об'єктів, які віднесено у БД до однієї теми (класу об'єктів) у межах певної території та в системі координат, спільної для набору шарів*.

Існує також термін "**покриття**" (англ. *coverage*), який у геоінформаційних технологіях загалом трактується у двох варіантах. За першим з них покриття вважається синонімом або певним еквівалентом терміна "цифровий шар". За

другим варіантом покриттям зветься *фізична одиниця*, яка відповідає одному аркушу як субшару одного цифрового шару.

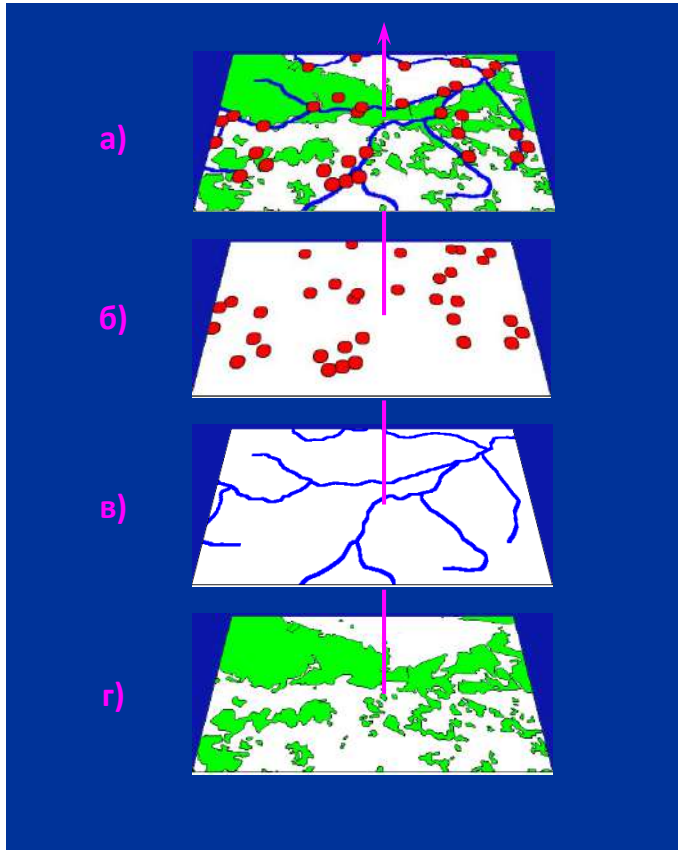


Рис.2.8 Приклад пошарової організації геопросторових даних (а – результативний шар або вікно карти; б – шар "Населені пункти"; в – шар "Річки"; г – шар "Ліси")

Примітка. Надалі зазвичай буде застосовуватися термін "шар" саме згідно з поданим його визначенням і термін "покриття" у спеціальному його розумінні як фізичної одиниці.

Отже, з визначення цифрового шару стає зрозумілим, що у цілому в окремий шар можуть вирізнятися, з одного боку, *об'єкти з однією класифікаційною ознакою за їхніми властивостями*, наприклад річки, населені пункти тощо. З іншого боку у шар можуть вирізнятися *об'єкти однакової геопросторової вимірності* (див. р.1), згідно з чим можна вирізнити шари точок, ліній, полігональні шари або навіть шари поверхонь. Слід мати на увазі, що за необхідності окремий цифровий шар або певне його покриття може відображати і лише окрему властивість (атрибут) певних об'єктів або, за необхідності, поєднувати геопросторові об'єкти різної вимірності тощо (див. далі).

Прямуючи власне до понять про багатопланові моделі геопросторових даних, доцільно окремо розглянути растрові та векторні багатопланові моделі геопросторових даних і підходи до застосування цих моделей у геоінформаційних технологіях для геопросторового аналізу.

Доцільно почати з *растрових моделей*. Як вже зазначалося, найпростішим способом атрибутування растрової структури даних є *поєднання кожної комірки з одним атрибутом*. За таких умов для створення наприклад растрової комплексної (багатотемної) карти накопичуються дані за кожною визначеною темою у формі двовимірного масиву комірок растра, де кожна з них є атрибутом окремої теми. Саме такий двовимірний масив і можна кваліфікувати у даному випадку як шар. І тоді для встановлення взаємозв'язків атрибутів однієї теми (наприклад теми ґрунтів) з атрибутами інших (тем водних об'єктів, рослинності тощо), кожен з яких відповідає окремому шару, у найпростішому випадку можна просто скласти ці шари на зразок листкового пирога. І тоді сполучення атрибутів усіх тем створює можливості для адекватного відтворення всіх потрібних характеристик області вивчення.

А проте, існує декілька способів збереження та адресації значень окремих комірок растра та їхніх атрибутів, а також назв шарів і легенд. У цьому аспекті слід розглянути **три найбільш характерні растрові багатопланові моделі даних**, а саме:

- 1) модель *GRID/LUNR/MAGI*;
- 2) модель *IMGRID*;
- 3) модель *MAP*.

Модель *GRID/LUNR/MAGI* була однією з перших моделей такого типу і весь "ранній" ГІС-інструментарій застосовував саме її підходи. Схему такої моделі наведено на рис.2.9.

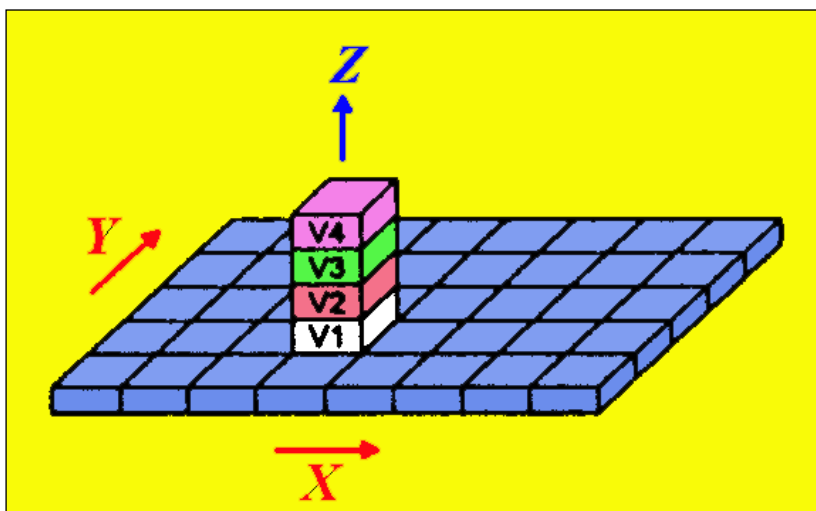


Рис.2.9 Схema моделі *GRID/LUNR/MAGI*

У моделі *GRID/LUNR/MAGI* кожна комірка містить усі визначені атрибути на зразок вертикального стовпця їхніх значень, де кожне значення відноситься до окремої теми (шару). Так, наприклад, значення атрибута типу ґрунту в позиції ($X=10, Y=10$) буде знаходитися поруч зі значенням атрибута типу рослинності у тій же позиції ($X=10, Y=10$). Загалом же зазначене подавання можна уявити собі у вигляді *керна*, де сукупність всіх таких "кернів" і відтворює цілковито область дослідження. Перевагою такого підходу звичайно є простота обчислювального порівняння багатьох тем (шарів) для кожної комірки растра. Утім, вельми незручним є порівняння групи комірок одного шару з групами комірок іншого, позаяк при цьому кожна комірка має адресуватися індивідуально.

Схему іншої моделі – моделі *IMGRID* – наведено на рис.2.10. У цій моделі кожен з атрибутів має бути вирізнено як окремий шар, причому *прямо адресується кожна ознака (властивість)*, а не комірки растра, як це було у попередній моделі. Тобто, наприклад для задовільного / незадовільного шару стану ґрунтів, комірки із задовільним станом можна позначити числом 1, а з незадовільним – 0 тощо. Насамкінець різні шари можна скласти вертикально, отримавши єдину зведену карту.

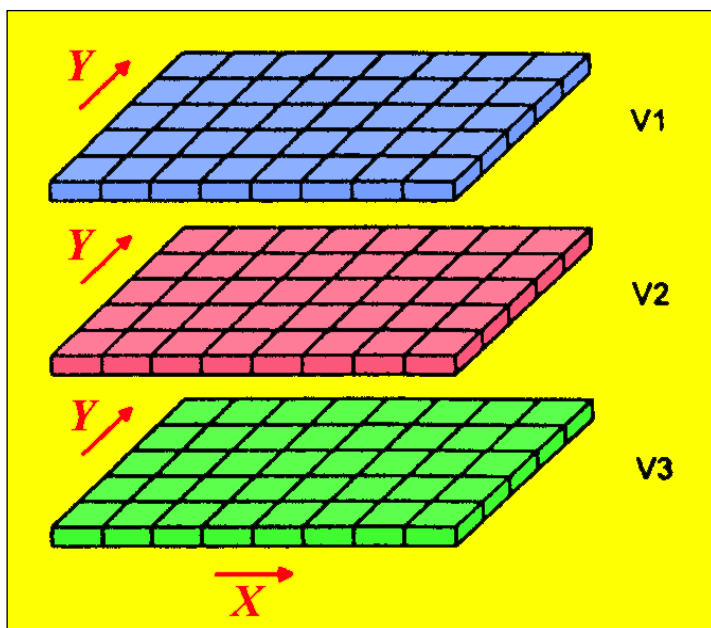


Рис.2.10 Схema моделі *IMGRID*

Модель *IMGRID* має *три основні переваги*:

– по-перше, внаслідок збереження двовимірних масивів чисел для різних шарів, а не масивів стовпців, отримується суцільна структура, яка більше нагадує карту;

– по-друге, зменшення діапазону значень атрибута для кожного шару до одного бінарного розряду спрощує розрахунки та усуває необхідність у складній легенді;

– по-третє, оскільки кожна ознаку однозначно ідентифіковано одним бітом, можна не обмежуватися одним атрибутом для кожної комірки растра, дотримуючись при цьому лише тієї умови, що кожній комірці повинно бути присвоєно лише одне значення кожного атрибута.

Обмеження моделі *IMGRID* пов'язані в основному з *проблемою вибухового росту числа елементів даних*, якими треба управляти через створення значної кількості шарів із певними значеннями атрибутів тощо.

Третя растрова модель – **модель MAP** – формально об'єднує переваги двох перших моделей (рис.2.11). У цій моделі даних кожний тематичний шар, наприклад багатотемної (зведеної) карти, з його набором атрибутів зберігається та вибирається окремо за його назвою. Крім того, кожний показник (картографічна секція) теми шару, відповідний певному атрибуту, записується за допомогою окремої *мітки (числового коду)*, яка може бути індивідуально доступною при вибірці з шару. Мітка відповідає частині легенди і з нею поєднано призначений їй власний символ для відображення.

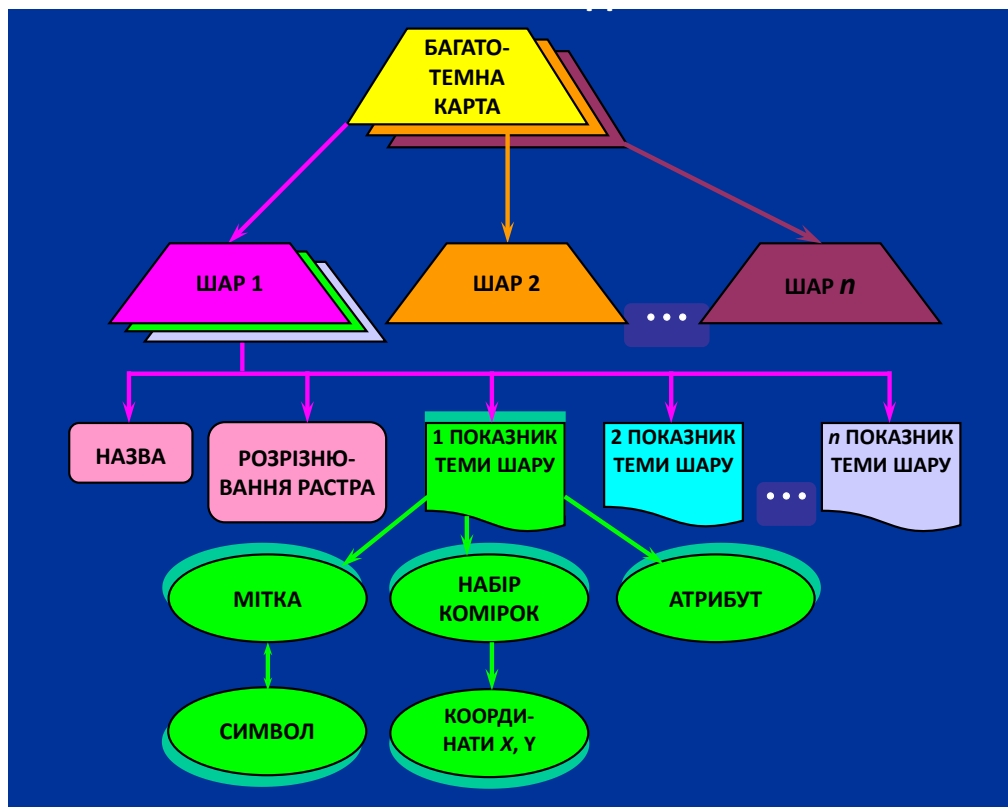


Рис.2.11 Схема моделі MAP

Таким чином, у моделі *MAP* нескладно виконуються операції з окремими комітками растра та групами схожих коміток. Результат же зміни величини потребує перезапису лише одного числа на картографічній секції, спрощуючи тим самим обчислення. Головною перевагою цієї моделі є те, що вона забезпечує полегшену маніпуляцію значеннями атрибутів і наборами коміток растра у відношенні "*багато хто до одного*".

Растрова модель даних *MAP* – одна з тих, які найбільше використовуються на ринку ГІС-інструментарію у багатьох формах, зокрема у версіях для персональних комп'ютерів і сучасних робочих станцій під управлінням *UNIX*. Гнучкість і простота застосування зробили *MAP* легкодоступним засобом для навчання у геоінформатиці. Ця модель також використовується як основа програмних продуктів геопросторового аналізу та моделювання, зокрема *PCRaster* (див. *Samoilenko, 2024*).

Загалом сучасні розширення растрових моделей геопросторових даних і удосконалення відповідного програмного інструментарію за рахунок його безпосередньої взаємодії з існуючими СУБД дозволили встановити прямий зв'язок цього інструментарію з інструментарієм, який базується на векторній графічній структурі даних. Таке *інтегроване растрово-векторне програмне забезпечення* містить модулі з можливостями перетворення інформації з растрової форми у векторну та навпаки. Це дозволяє користувачу поєднувати переваги обох структур даних, не особливо зважаючи на вигляд вихідних даних. Це тим більше є важливим тому, що зазначені можливості посилюють взаємобмін між програмним забезпеченням традиційної обробки цифрових зображень і геопросторового аналізу.

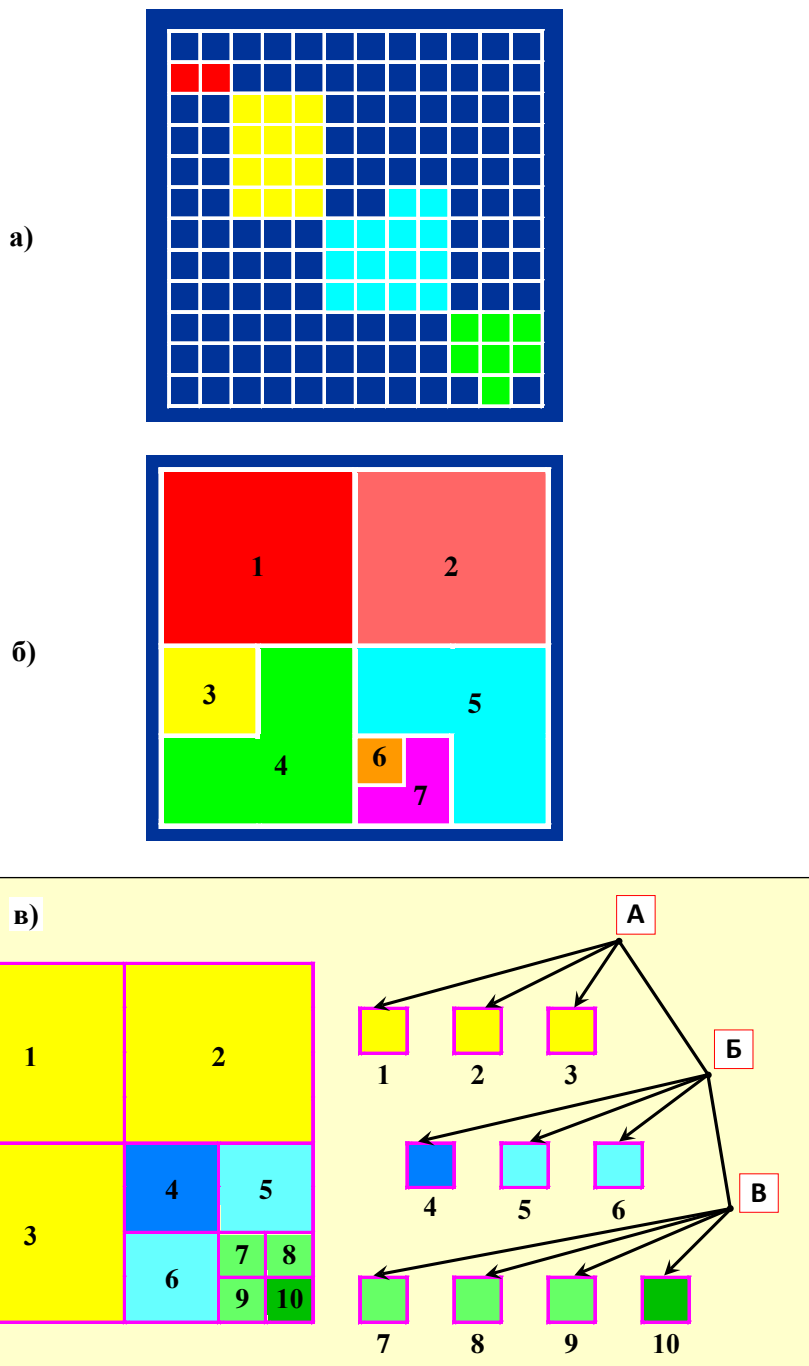
Тепер доцільно розглянути також **чотири методи стискання растрових даних** (див. також р.3). До таких методів належать:

1) **групове кодування**, яке у цілому можна застосовувати для стискання не тільки растрових даних. Суть методу полягає у тому, що при кодуванні та введенні у БД значень кожної комітки в межах одного рядка растра об'єднано кодуються всі комітки з однаковими значеннями. Тобто програмується, наприклад, умова, що з 8 до 56 позиції йдуть самі одиниці, з 57 до 79 – двійки тощо;

2) **ланцюжкове кодування**, при якому "прокладається" ланцюг коміток растра вздовж кожної лінії або межі кожної області як набір коміток з однаковими значеннями, для чого задаються вектори кодування (рис.2.12, а);

3) **блокове кодування**, яке засновано на квадратних матрицях і практично є *двовимірним груповим кодуванням*. Тобто, на відміну від групового, при блоковому кодуванні замість задавання початкової та кінцевої точок і значення коміток, обирається *квадратна група коміток* растра. У ній призначається початкова точка, задається значення комітки та ширина квадрата коміток з таким значенням для кодування (рис.2.12, б). Таким чином може бути записано кожну квадратну групу коміток, серед них і окремі комітки, з мінімальною

кількістю чисел та з операціями пошуку або збереження, які стосуються ідентифікації або виключення груп комірок у цілому;



4) **метод квадродерева**. Цей метод, як і блокове кодування, базується на квадратних групах комірок растра. Утім, при цьому загальна область дослідження послідовно ділиться на *квадранти комірок* з однаковим значенням атрибута всередині, поступово відкидаючи вже закодовані однорідні квадранти та зменшуючи їхні розміри аж до однієї комірки (див. рис.2.12, в). Системи пошуку та збереження даних, засновані на методі квадродерева, зветься *системами із змінним розрізнюванням*, тому що вони можуть оперувати будь-яким рівнем квадродерева.

Примітка. Інколи модель типу квадродерева розглядається і як один з типів растрових моделей геопросторових даних, який реалізується на основі кратно змінюваних розмірів квадрантів комірок.

Продовжуючи тему багатопланових моделей геопросторових даних, слід перейти до **векторних моделей даних та їхнього стискування** та розглянути **чотири основні типи** таких моделей, а саме:

- 1) "спагеті"-модель;
- 2) векторно-топологічні моделі;
- 3) векторні нетопологічні моделі;
- 4) моделі кодування ланцюжків векторних даних (моделі стискування цих даних).

Найпростішою векторною моделлю даних є "спагеті"-модель, яка за змістом відбиває практично ідентично графічне зображення карти (рис.2.13).



Рис.2.13 Векторна "спагеті"-модель геоданих

Досить специфічна назва моделі є вельми точною за її сутність: якщо уявити собі кожний графічний об'єкт паперової карти "шматочком макаронів" (одним чи декількома), то можна отримати точне уявлення щодо принципів побудови "спагеті"-моделі. Кожний зазначений "шматочок" діє як *один геометричний примітив*: дуже короткі – для точок, більш довгі – для відрізків прямих тощо. Кожен же примітив править за *один логічний запис* у геопросторовій БД, зроблений як змінної довжини рядки пар координат (X, Y) .

У "спагеті"-моделі сусідні області сформовано різними ланцюжками "спагеті" для спільних сторін. Утім, ці сторони, навіть у випадку окремого запису у БД, повинні мати однакові набори координат. Позаяк "спагеті"-модель виглядає як ідентичний відбиток аналогової паперової карти, геопросторові відношення між об'єктами (*топологічні відношення*), наприклад положення суміжних областей тощо, – *домислюються, а не записуються в явному вигляді*. Через зазначені властивості "спагеті"-модель є ефективним методом картографічного відображення та все ще часто використовується у цифровій картографії, коли головною метою є не геопросторовий аналіз, а створення карти.

На відміну від "спагеті"-моделі, **векторно-топологічні моделі**, з огляду на їхню назву, містять *топологічну інформацію в явному вигляді*.

Для векторно-топологічних моделей, з метою підтримки розвинутих аналітичних методів, потрібно ввести у геопросторову БД якомога більше явної топологічної інформації. Подібно до того, як співпроцесор об'єднує багато спеціалізованих операцій, топологічні моделі векторних даних об'єднують застосування деяких функцій, які найбільш часто використовуються у геопросторовому аналізі. Це забезпечується насамперед включенням у структуру даних *інформації про суміжність геопросторових об'єктів* для усунення необхідності її повторного визначення при вибіркового формуванні та аналізі даних.

У **базовій векторно-топологічній моделі** (приклад – на рис.2.14) топологічна інформація описується *набором вузлів, дуг і областей*.

Вузол (*англ. node*) – це більше, ніж просто точка, зазвичай це *перетин двох або більше дуг*. Номер вузла використовується для посилань на будь-яку дугу, якій він належить. Кожна **дуга** (*англ. arc*) починається та закінчується або у точці перетину з іншою дугою, або у вузлі, який не належить іншим дугам. Дуги у цілому утворюються *послідовностями відрізків ліній, з'єднаних проміжними (формотворчими) точками*. За таких умов кожна дуга має *два набори чисел*: пари координат проміжних точок і номери вузлів. Крім того, кожна дуга має свій ідентифікаційний номер (ідентифікатор), який використовується для вказівки на те, які вузли є її початком і кінцем.

Області, обмежені дугами, також мають коди (номери), які їх ідентифікують і використовуються для визначення відношень областей з дугами. Кожна дуга, у свою чергу, містить явну інформацію про номери областей справа та зліва від неї, що дозволяє знаходити суміжні області.

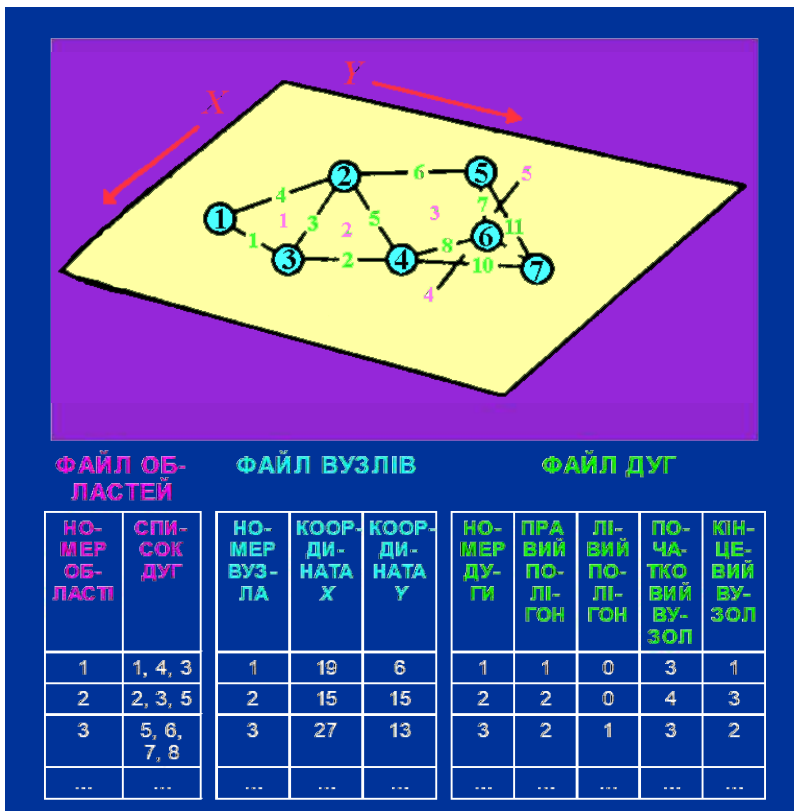


Рис.2.14 Базова векторно-топологічна модель геоданих

Зазначені особливості векторно-топологічних моделей створюють можливість геопросторової ідентифікації дійсних відношень між графічними об'єктами. Іншими словами, такі векторні моделі даних краще, ніж "спагеті"-модель, відображають уявлення користувачів карт щодо геопросторових взаємовідношень, поданих традиційним картографічним документом.

Примітка. Дуги, задані згідно із щойно зазначеними принципами, інколи називаються сегментами контурів областей (полігонів) (див. далі рис.2.15, б).

У цілому розроблено та застосовується декілька різновидів векторно-топологічних моделей даних, найбільш характерними з яких є:

- 1) модель GBF/DIME;
- 2) модель системи TIGER;
- 3) модель POLYVRT.

Найбільш відомою є модель GBF/DIME (аббревіатура від англ. geographic base file / dual independent map encoding) (DeMers, 2008). У топологічній структурі даних цієї моделі кожна дуга закінчується при зміні напрямку або при перетині з іншою дугою. Тобто тут не використовуються проміжні точки, а вузли ідентифікуються кодами. На розвиток базової топологічної моделі

рис.2.14, в моделі *GBF/DIME* дугам присвоюються *коди напрямів у формі пар вузлів* "початковий вузол – кінцевий вузол". Додатковою корисною властивістю цієї моделі є те, що для вузлів кожної дуги явно визначено координати *UTM* (див. р.1).

А проте, моделі *GBF/DIME* властиві ті ж *певні вади*, що і базовій топологічній, як, зрозуміло, і "спагеті"-моделі також. Ці вади полягають насамперед у тому, що немає визначеного порядку, у якому відрізки ліній зустрічаються у моделі. Тому для знаходження якогось конкретного відрізка ПЗ має виконати "стомливий" *послідовний пошук за всіма файлами*, що є найповільнішим способом такого пошуку. Крім того, модель *GBF/DIME* засновано на ідеях теорії графів, де *форма лінії*, яка з'єднує довільні дві точки, *не є важливою*, а отже частково втрачається та графічна точність, до якої звикли користувачі паперових карт.

Певні недоліки моделі *GBF/DIME* було усунуто при розробці іншої векторно-топологічної **моделі**, яка є основою **системи TIGER** (*аббревіатура від англ. topologically integrated geographic encoding and referencing system*). У цій системі точки, лінії та області можуть адресуватися явно. Крім того, позаяк зазначену модель засновано не лише на теорії графів, то об'єкти реального світу складних обрисів, такі, як, наприклад, звивисті річки, берегова лінія тощо, відображаються графічно більш точно.

Ще однією векторно-топологічною моделлю є **модель POLYVRT** (*вибіркова аббревіатура від англ. POLYgon conVeRTer*). Вона, як і модель системи *TIGER*, усуває неефективність збереження та пошуку, властиву базовій топологічній моделі, шляхом *роздільного збереження кожного типу об'єктів*, тобто точок, ліній і полігонів. Ці окремі об'єкти потім з'єднуються в ієрархічну структуру даних, де точки через покажчики поєднано з лініями, а лінії – з областями. Кожний набір відрізків, який зветься у цій моделі *ланцюжком*, починається та закінчується у визначених вузлах як перетинах двох ланцюжків.

POLYVRT, як і *TIGER*, має *переваги* роздільного збереження кожного типу об'єктів: можна вибрати точки, лінії або області (як і їхні атрибути) за бажанням, ідентифікуючи їх за кодами. Розмір геопросторової БД для моделі *POLYVRT* визначається більшою мірою числом полігонів, ніж складністю їхніх геометричних форм. Це також підвищує ефективність збереження та пошуку даних. Головний *недолік* моделі *POLYVRT* – це *певна складність* визначення правильного ідентифікатора заданого полігона до того, як цей полігон буде реально обраним.

Для векторно-топологічних моделей у цілому існували також деякі *додаткові обмеження* (див. *Samoilenko, Bilous, 2024*).

На відміну від останніх моделей, т.зв. **векторні нетопологічні моделі**, загальну схему яких наведено на рис.2.15 а), є *більш гнучкими* за рахунок відсутності в них топологічної інформації в явному вигляді, зокрема вузлів тощо

(див. для порівняння рис.2.15, а і б). Утім, подекуди у векторних нетопологічних моделях в одному цифровому шарі або його покритті можна розташовувати об'єкти лише одного геометричного типу.

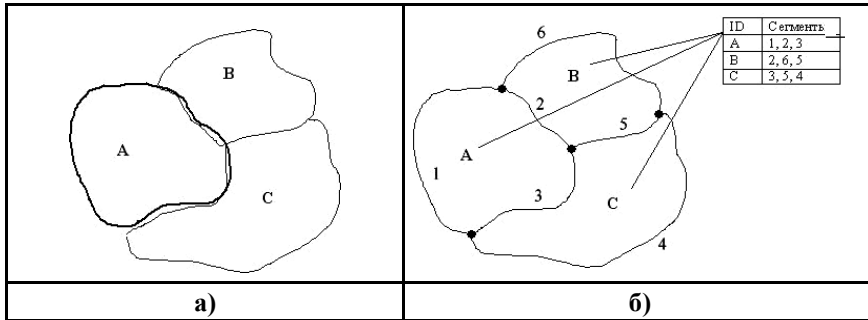


Рис.2.15 Загальна схема векторної нетопологічної моделі даних для трьох полігонів А, В і С (а) та її порівняння з відповідною схемою векторно-топологічної моделі з сегментами 1-6 (б) (за *Samoilenko, 2010, 2012*)

Моделі кодування ланцюжків векторних даних (або *моделі ланцюжкових кодів*) з метою стиснення таких даних, що зменшує їхній обсяг, принципово відповідають простій схемі процесу кодування, розробленій ще у XIX сторіччі *Франсісом Голтеном*. Він використав вісім чисел для позначення чотирьох головних і чотирьох проміжних географічних напрямків (рис.2.16, а).

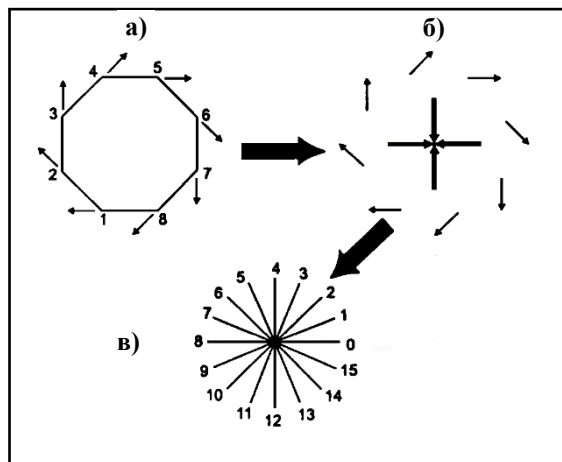


Рис.2.16 Моделі кодування ланцюжків векторних даних. Порівняння схеми позначення напрямків Голтена (а) з базовою моделлю у вигляді ланцюжкових кодів Фрімена-Гофмена (б) і її модифікацією (в)

Вельми схожа модель кодування, розроблена у наш час, відома як **ланцюжкові коди Фрімена-Гофмена**. У цій моделі цілі числа, але вже від 0 до 7, призначаються восьми векторним напрямкам, причім метод Фрімена-

Гофмена у базовій моделі використовує ті ж головні та проміжні напрямки для векторів, що і Ф. Голтен (рис. 16, б). Таким чином, задавши довжину кожного вектора, можна записувати окремі об'єкти, зазначаючи до того ж їхній початок і напрямок. Модифікації зазначеної базової моделі збільшують кількість кодів до 16 (рис.2.16, в) і навіть до 32 для збільшення точності та досягнення головного результату – скорочення обсягу векторних баз даних. Моделі ланцюжкових кодів, як і векторні нетопологічні та "спагеті"-моделі, не містять топологічної інформації. Це обмежує їхню корисність для реалізації функцій збереження, вибірки та виводу інформації через аналітичні обмеження нетопологічних структур даних.

До цих пір за змістом розділу не висвітлювалася **проблема подавання поверхонь**. Вони є вагомими за розповсюдженістю та інформативністю об'єктами, які досить своєрідно відтворюються та геопросторово аналізуються за допомогою ГІС-інструментарію. Саме тому останньому аспекту присвячено окремий розділ монографії (р.6). Утім, для формування загальних уявлень щодо специфіки передусім найбільш розповсюджених *неперервних поверхонь* у контексті поданих вище понять можна стисло зазначити таке.

Насамперед слід мати на увазі, що **типовими загальними способами фіксації третього виміру неперервних поверхонь**, які у цілому розглядаються як поля цього виміру, є:

- 1) *мережі точок* (регулярна та нерегулярна);
- 2) *ізолінії*.

Нерегулярна мережа точок є сукупністю довільно розташованих точкових об'єктів, для яких за значення головного геопросторового атрибута правлять значення поля третього виміру в кожній конкретній точці. Обробка даних за такої фіксації у багатьох випадках є досить складною, хоч подекуди і досить корисною. Приклад цього способу фіксації для поля висот наведено на рис.2.17.

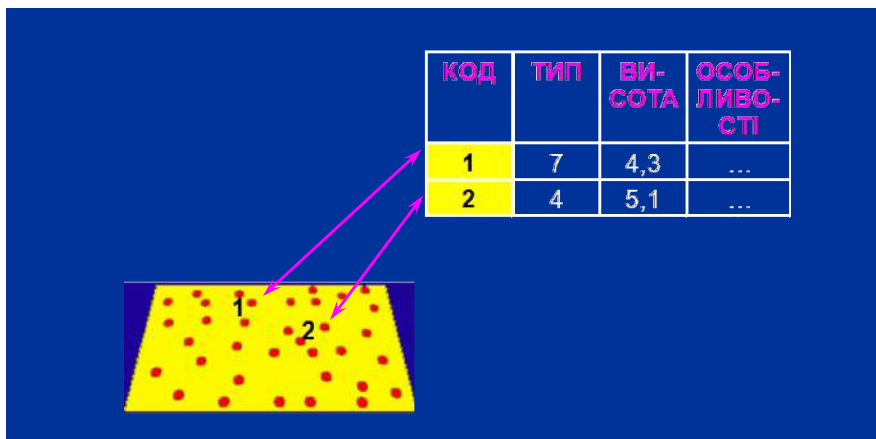


Рис.2.17 Приклад способу фіксації неперервних поверхонь у вигляді нерегулярної мережі точок

Регулярна мережа задається рівномірно розташованими у геопросторі точками достатньої щільності (див. р.1). Особливо цінним для подальшого відображення поверхонь є випадок, коли значення поля третього виміру у регулярних точках отримано не інтерполяцією з нерегулярних тощо, а шляхом проведення прямих вимірювань саме за регулярною мережею.

Примітка. Досить часто паралельно до щойно поданого поняття "мережа" (англ. *network*) точок як їхня система чи сукупність, застосовується, інколи навіть як синонім, і поняття "сітка" ("ґратка") (англ. *lattice, grid*) точок. Утім, під останньою загалом слід розуміти ґратку, утворену прямими паралельними вертикальними та горизонтальними лініями, перетини яких як вузли ґратки власне і визначають місцезнаходження точок сітки. Останні обираються для вимірювань значень третього виміру поверхонь, формуючи таким чином мережу точок як їхню систему. При цьому зазначена сітка (ґратка) подекуди використовується як для неперервних, так і для дискретних поверхонь. Зважаючи на все це, на наш погляд, доцільно давати необхідні додаткові пояснення при застосуванні обох термінів, дотримуючись тези про те, що точки сітки (ґратки) містять переважно позиційну інформацію, а точки мережі – і ту ж позиційну, і атрибутивну, насамперед щодо значень третього виміру поверхонь.

Спосіб фіксації третього виміру поверхонь **ізолініями** у геоінформаційних технологіях наслідують найбільш розповсюджену у традиційній картографії форму подавання поверхонь. При цьому ізолінії можна загалом застосовувати як для растрових структур даних, так і для векторних, хоч останнє загалом переважає більше. *Ізолінії*, утім, і як спосіб фіксації, і як досить візуально спрощена форма подавання поверхонь, *не є достатньо зручними для геопросторового аналізу*. Це зумовлено, по-перше, відсутністю інформації щодо значень полів третього виміру між ними, і, по-друге, неоднозначною визначеністю інтерполяції та проведення власне ізоліній.

Зрозуміло, що вихідна інформація щодо поверхонь з мереж точок, ізоліній або іншого джерела, по-різному інтерпретується при растровій та векторній структурах даних.

Так, *при подаванні поверхонь у межах* квантованого простору *растрової графічної структури даних* кожна комірка може мати значення атрибута у вигляді абсолютного чи відносного значення третього виміру поверхонь, яке є *найбільш репрезентативним для цієї комірки*, наприклад середнім значенням тощо. А отже, існуючі растрові структури цілком спроможні подавати поверхні за зазначеним принципом, зокрема і за допомогою ізоліній. Утім, при цьому більш розповсюдженими для поверхонь растровими моделями є ті, які використовують *матриці значень третього виміру у точках вихідних мереж*. Саме такий тип моделей відтворює наприклад досить відомий **стандарт** Геологічної служби США для т.зв. **цифрових моделей висот** (інколи **рельєфу**) – **DEM** (аббревіатура від англ. *Digital Elevation Model(s)*, син. *DTM – Digital Terrain Model(s)* – *цифрові моделі рельєфу*). За стандартом **DEM** растрові моделі висот саме і подаються у вигляді матриць висотних відміток у точках

регулярної мережі, відрізняючись між собою кутовим розміром комірок сітки (гратки), яка лягла в основу побудови такої мережі, системою координат, охопленням території, точністю та іншими характеристиками.

Примітка. Під **DEM** у більш широкому (буквальному) тлумаченні розуміються загалом цифрові моделі висот (**ЦМВ**) (див. р.6).

Дещо інша ситуація виникає за умови **відображення поверхонь на основі векторної структури даних** з метою подальшого створення векторних моделей поверхонь.

У цьому випадку, що вже зазначалось, більша частина геопростору поля поверхні між геометричними примітивами доміслюється, а не визначається явним чином. Для подавання цього геопростору саме як поверхні слід розподілити його за принципами, які забезпечать збереження інформації щодо поверхонь у вигляді фіксованих значень полів їхнього третього виміру та побічне відтворення областей з певними похилами тощо.

З такою метою можна подати будь-яку поверхню, наприклад, у вигляді фрагмента кристала з його плоскими гранями, ребрами та вершинами. Для цього насамперед слід створити з будь-якого джерела **вихідний набір регулярно або нерегулярно розподілених точок**, кожна з яких має явно задане значення полів третього виміру – висоти тощо. Провівши через три найближчі точки із їхнього набору площину, можна зобразити **трикутну область з постійним похилом**. Отримані в результаті трикутники утворюють структуру, яка і буде кристалоподібною моделлю поверхні.

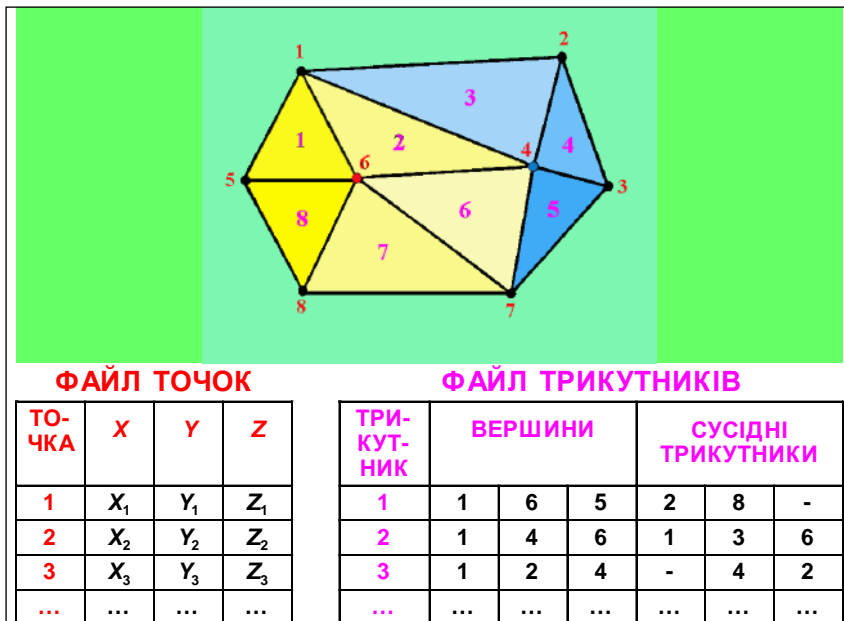


Рис.2.18 Принцип побудови моделі TIN

Такого типу модель загалом називається **нерегулярною тріангуляційною мережею** (англ. *Triangulated Irregular Network, TIN*) або **моделлю TIN**. Вона дозволяє використовувати для опису обраних неперервних поверхонь, наприклад, полів рельєфу, геофізичних, гідрогеологічних і інших полів, вищезазначений вихідний набір точок. При цьому безпосередньо для отримання моделі *TIN* потрібно з'єднати пари точок ребрами визначеним способом, який власне і зветься *тріангуляцією* (див. рис.2.18).

За необхідності тривимірного подавання поверхонь як геопросторових об'єктів, векторну структуру *TIN* може бути відтворено у вигляді *дротяної моделі, моделі із зафарбованими (штрихованими) гранями* тощо. Детальніше модель *TIN* і тривимірні зображення буде розглянуто у р.6 і р.9.

Послідовність викладу матеріалу цього розділу – від файлових структур через СУБД до моделей геопросторових даних – логічно викликає необхідність стисло розгляду і останнього його питання – щодо *створення завершених стосовно відповідних структур баз даних і принципів організації зв'язку позиційної та атрибутивної інформації*.

Більшість **растрових структур даних** є простими настільки, що власне обрана модель даних забезпечує відносно повну їхню характеристику за змістом попереднього абзацу.

А от для **векторних структур** існують декілька підходів до інтеграції позиційних (графічних) елементів моделі даних з БД атрибутів. Так, **під час організації зв'язку позиційної та атрибутивної інформації** використовують **три підходи (або відповідні моделі взаємодії даних) і одну їхню комбінацію**.

Найбільш відомим і розповсюдженим є **перший підхід**, що базується на **геореляційній моделі взаємодії даних**, яка також зветься **гібридною** або **змішаною**. При використанні такої моделі виходять з того, що її позиційний (координатний і топологічний) та атрибутивний компоненти структуруються по-різному. Між цими компонентами встановлюються та підтримуються програмні зв'язки через ідентифікаційні номери (ідентифікатори) графічних об'єктів. Таким чином, *позиційна інформація*, метрична, а подекуди і топологічна, управляється та зберігається згідно з обраним типом векторних моделей даних чи його різновидом у *відповідних файлах окремо від атрибутивної*. Атрибутивна ж інформація розміщується в таблицях баз даних, які управляються за допомогою *реляційних СУБД*. Такі СУБД з їхніми власне БД можуть бути зокрема або *вбудованими* у ГІС як її функціональна підсистема, або бути *зовнішніми* по відношенню до ГІС, хоч досить часто використовуються обидва варіанти. Приклад однієї із таких схем для геореляційної (гібридної) моделі взаємодії даних із збереженням атрибутів у зовнішній БД наведено на рис.2.19.

Примітка. Слід розрізняти два змісти терміна "гібридні" по відношенню до моделей взаємодії даних. У широкому розумінні гібридними називаються моделі, які поєднують растрові та векторні дані, у більш точному – моделі, які використовують щойно розглянуту геореляційну модель взаємодії графічних і атрибутивних векторних даних.



Рис.2.19 Зовнішні СУБД і БД геореляційної моделі взаємодії даних

Другий підхід до збереження та спільного управління графічними та атрибутивними даними базується на **інтегрованій моделі взаємодії даних**. У такому випадку інтегрована модель є процесором геопросторових запитів, надбудованим над *реляційною СУБД*, яка використовується для управління як *атрибутивною*, так і *графічною інформацією*. Інтегрована модель зберігає координати об'єктів (або і топологічну інформацію щодо них) і атрибути у різних таблицях одних БД, які поєднуються механізмом, подібним до реляційного з'єднання (рис.2.20). Утім, у деяких випадках атрибути може бути розміщено в тих же таблицях, що і графіка.



Рис.2.20 Інтегрована модель взаємодії даних

Третій підхід до взаємодії позиційної та атрибутивної інформації базується на **об'єктно-орієнтованій моделі організації та взаємодії геопросторових даних**, про яку вже йшла мова. Він володіє багатьма привабливими рисами. Це, наприклад, відносна легкість опису складних структур даних, зокрема опису взаємовідношень між об'єктами та їхньої ієрархії, а також можливість вирішувати численні задачі моделювання, зосібна застосовуючи

об'єктно-орієнтоване програмування. Наразі цей підхід не отримав широкого розповсюдження, насамперед враховуючи вже відзначені складності ієрархічної організації даних тощо.

Найбільш інтенсивно зараз розвивається **новий підхід** до спільного управління позиційними та атрибутивними даними. Він є **комбінацією першого та третього підходів** і базується на **об'єктно-реляційній моделі даних та їхньої взаємодії**.

Насамкінець слід зазначити, що на сьогоднішній день для **геопросторового аналізу зазвичай використовуються такі типи моделей геопросторових даних** (з певними модифікаціями у їхній організації):

- 1) *растрові моделі* – на основі *регулярної мережі* точок;
- 2) *растрові моделі типу квадродерева* – із кратно змінюваними розмірами комірок сіток, тобто розмірами квадрантів комірок растра, які відображають вихідну мережу точок;
- 3) *векторні нетопологічні моделі* – з елементами об'єктної організації або без них;
- 4) *векторно-топологічні моделі*;
- 5) *векторні моделі*, які призначені для використання *топологічної інформації*, але не зберігають її у файлах чи БД, а розраховані на *"миттєве" відтворення* такої інформації в процесі запиту;
- б) *векторні моделі типу TIN*.

Кожна із щойно перелічених моделей може мати також варіанти, які відрізняються за способами взаємодії позиційної та атрибутивної інформації, за розміщенням СУБД і баз геопросторових даних тощо.

3 УВЕДЕННЯ, ЗБЕРЕЖЕННЯ ТА РЕДАГУВАННЯ ГЕОПРОСТОРОВИХ ДАНИХ

Перед тим, як використовувати структури даних, моделі та підходи, які було розглянуто у попередньому розділі, необхідно перетворити реальний географічний простір, який нас оточує, у форму, "зрозумілу" для геопросторових баз даних. Методи, за допомогою яких це робиться, певним чином залежать від відповідного наявного обладнання та конкретно обраного програмного інструментарію. Утім, незалежно від цих чинників, відповідна **підсистема введення** (див. вступ) має **загальні риси**, а саме:

1) *по-перше*, вона проєктується для перенесення позиційних і атрибутивних даних у цифрове середовище. При цьому процес отримання позиційної інформації щодо геопросторових об'єктів з вихідного її джерела (карти, плану, знімка, графічного файлу тощо) за допомогою певних спеціальних пристроїв або програм з одночасним чи наступним введенням цієї інформації у цифровому вигляді в бази даних для векторної чи растрової структури геопросторових даних загалом носить назву **цифрування** (син. **дигіталізація**) (англ. *digitalization, digitizing, numeralization*);

2) *по-друге*, підсистема введення відповідає хоча б одному з двох фундаментальних методів цифрового подавання геопросторових об'єктів – *растровому* або *векторному*;

3) *по-третє*, вона має зв'язок з підсистемою збереження та вибірки геопросторових даних, з метою гарантування такого збереження та вибірки, а також можливості редагування інформації, яка вводиться.

Найрізноманітніші **пристрої введення інформації** у комп'ютеризоване середовище **іляхом** або **з метою її цифрування** були у обігу та використовуються зараз.

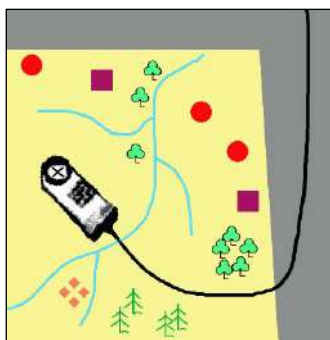


Рис.3.1 Знімач інформації (курсор) у початкових версіях дигітайзера

Зокрема застосовується т.зв. **дигітайзер** (англ. *digitizer*). За нього початково правив *пристрій* для ручного цифрування картографічної та графічної

документації у вигляді множини чи послідовності точок, положення яких описується прямокутними координатами площини дигітайзера (приклад на рис.3.1).

Зараз для цифрування картографічних і графічних матеріалів застосовуються більш сучасні пристрої, зокрема такі, як *автоматизовані дигітайзери* та *растрові сканери* з програмами векторизації або без них.

Автоматизовані дигітайзери або **дигітайзери з відстеженням (скануванням) ліній** мають пристрій для оптичного зчитування елементів зображення. Він фіксується на обраній користувачем лінії та, самостійно пересуваючись вздовж неї, передає координати точок лінії у БД. Застосування автоматизованих дигітайзерів може досить часто призводити до помилок на складних картах, тому більше розповсюдження отримали растрові сканери.

Сканер (син. **сканувальний пристрій** або **растровий сканер**) (англ. *scanner*) – це пристрій для аналого-цифрового перетворення зображення з метою його автоматизованого введення у цифрове середовище у растровому форматі із заданим у дрі оптичним розрізнюванням шляхом сканування у відбитому чи прохідному світлі.

Примітки.

1.**Dpi** – аббревіатура від англ. *dots per inch*, тобто "точки на дюйм", кількість яких як одиничних елементів растра і характеризує ступінь *оптичного розрізнювання зображення*.

2.**Сканером** також зветься пристрій, який розміщується на аеро- або космічних апаратах для дистанційних сканерних зйомок – одного з основних видів дистанційного зондування (див. р.1).

Конструктивно розрізняються такі **види сканерів**, як *ручні, роликові* (з протягуванням аркуша), *планшетні, барабанні* (рис.3.2) і деякі інші, зокрема *клавіатури-сканери* тощо.

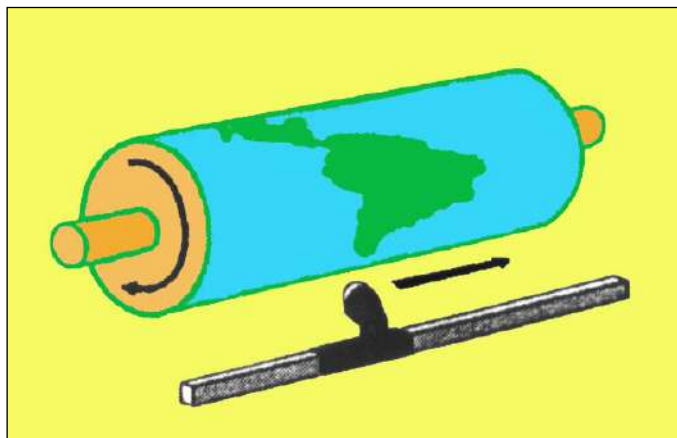


Рис.3.2 Барабанний сканер (барабан, що обертається, та датчик сканувального пристрою, який переміщується вздовж барабана)

При введенні геопросторових даних у бази даних треба окремо зважати на те, що **перехід від растрової до векторної структури даних або навпаки** – досить звичайний процес у сучасних геоінформаційних технологіях, який передбачає застосування спеціального програмного забезпечення (див. *Самойленко, 2024*). При цьому слід користуватися такими визначеннями.

Растрово-векторне перетворення (або векторизація) (англ. *vectorization, raster to vector conversion*) тлумачиться як *автоматичне або напівавтоматичне перетворення (конвертування) растрового подавання геопросторових об'єктів у векторне за допомогою набору операцій*.

Ці операції зазвичай містять:

- 1) "скелетування" растрового запису ліній;
- 2) зменшення товщини ліній;
- 3) генералізацію із застосуванням операторів розрядження, тобто усунення надлишкових проміжних точок у запису ліній, їхнє згладжування та спрощення вигляду;
- 4) усунення розривів;
- 5) усунення ліній, "які висять", тощо.

Векторно-растрове перетворення (син. растеризація) (англ. *rasterization, vector to raster conversion*) – це *перетворення (конвертування) векторного подавання геопросторових об'єктів у растрове шляхом присвоєння елементам растра значень, які відповідають належності або неналежності до них елементів векторних записів об'єктів*.

Слід звернути увагу на **певні особливості процесів растеризації і векторизації**.

Результати перетворення векторів у растр (растеризації) найчастіше є *візуально задовільними*, а проте такі результати досить часто *не є достатньо задовільними для атрибутів*, які презентують кожну комірку. Це особливо стосується геопростору вздовж меж областей, де існує невизначеність з присвоєнням коміркам растра атрибутів з однієї чи іншої сторони такої межі. З іншого боку, при перетворенні растра у вектори (векторизації) можна зберегти переважну більшість атрибутивних даних, але візуальні результати при цьому будуть зазвичай відображати блоковий, *східчастий вигляд комірок растра*, з якого здійснювалося перетворення. Існують спеціальні програмні алгоритми згладжування цього "східчастого" ефекту, які використовують математичні методи т.зв. *сплайн-інтерполяції*, як і інші відповідні засоби (*Samoilenko, 2024*).

Окремою проблемою при введенні картографічної інформації за допомогою дигітайзерів є **перетворення координат**, позаяк карти є подаванням сферичної поверхні, яке спроектовано на плоску поверхню.

При цьому певний ГІС-інструментарій тощо виконує цілу низку перетворень, за яких здійснюється перехід від плоских координат дигітайзера у прямокутні координати картографічної проєкції, а звідти, через обернену

картографічну проєкцію, – у сферичні координати, тобто широту та довготу. Можливим є і зворотний шлях з кінцевим отриманням плоских координат для монітора тощо (рис.3.3).

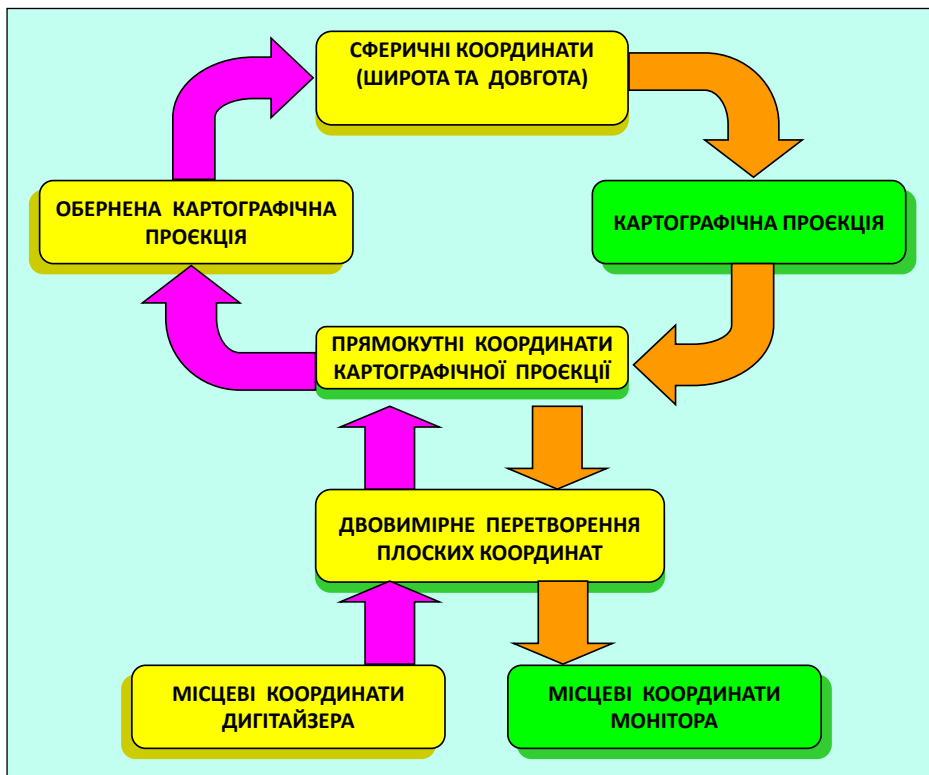


Рис.3.3 Перетворення координат ГІС-інструментарієм

Для підтримки таких різноманітних перетворень обраний програмний інструментарій досить часто одночасно виконує **три основних види графічних операцій**, а саме: **переміщення**, **зміну мірила (гомотетію)** та **обертання** (англ. *translation, scale change (homothety) and rotation*) геопросторових об'єктів або їхніх частин.

У цілому при виборі способу цифрування (див. *Samoilenko, 2024*) слід враховувати низку чинників. До них насамперед відносяться характер і кількість документів, які обробляються, цілі роботи, вартість потрібних програмних продуктів, трудові затрати, вже наявні програмні та апаратні засоби тощо. Але в усіх випадках **"класичне" введення інформації у БД на основі її цифрування** є послідовним процесом, який складається з таких етапів, як:

- 1) підготовка вихідного джерела інформації (карти тощо) до цифрування;
- 2) вирізнення шарів і об'єктів;
- 3) складання відомостей на об'єкти;
- 4) безпосереднє цифрування;

5) занесення атрибутивної інформації (вручну, імпортом тощо) у відповідні файли.

Крім того, слід вирізнити декілька **принципових підходів до введення геопросторових даних при створенні БД**, до яких належать (див. більш детально *Samoilenko & Bilous, 2024*):

- 1) точне формулювання *мети* створення геопросторових БД;
- 2) врахування *перспектив і етапності* створення таких баз даних;
- 3) визначення *кінцевих результатів*, які передбачаються, та які інколи називають **геопросторово-інформаційними** (син. **геоінформаційними**) **продуктами** (англ. *geospatial information (geoinformation) products*);
- 4) визначення *найбільш доцільних методів отримання вихідних даних*, особливо за наявності їхніх декількох альтернативних джерел, наприклад, наземних, дистанційного зондування тощо;
- 5) використання *оптимальних вихідних даних* для поставлених задач, орієнтуючись на *необхідну їхню точність*, а не на максимальну, яку може бути в цілому досягнуто;
- 6) використання *інформації щодо споріднених об'єктів* комплексних тематичних карт як *окремих цифрових шарів для одного і того самого аркуша карти*;
- 7) досягнення *максимально можливої спеціалізації окремих цифрових шарів*;
- 8) зважання на те, що *обсяг інформації*, яка вводиться, є *прямо пропорційним складності об'єктів*, які відображаються;
- 9) необхідність *перманентного контролю введення атрибутивної інформації*.

Ефективним підходом до введення інформації та побудови геопросторових БД, який істотно зменшує час і вартість їхньої підготовки, є використання **зовнішніх баз даних**, тим більше, що зараз стабільно збільшується кількість загальнодоступних, зокрема цифрових, баз даних (див. *Samoilenko & Bilous, 2024*). Утім наявність готових БД, обраних для імпорту, створює власні **проблеми для процесу введення зовнішніх даних у геопросторові БД**.

Це насамперед проблеми технічного характеру, головною з яких є **якість і достовірність** інформації зовнішніх БД.

Щойно зазначені питання стосуються загальної придатності зовнішніх БД. А проте існує ще одна проблема, яку зумовлено використанням зовнішніх БД, як і геопросторових БД у цілому. Бадам даних потрібна інформація щодо їхнього власного складу. Ці т.зв. **метадані** є "*інформацією щодо інформації*" або "*даними про дані*".

Більш детально та точно, **метадані** (англ. *metadata*) – це *каталоги, довідники, словники, інвенторії, бази метаданих* (англ. *metadata base*) і *інші форми опису (метасупроводу) наборів цифрових і аналогових даних*. Такі форми метасупроводу містять відомості про склад зазначених наборів, їхній зміст,

статус (актуальність і поновлення), місцезнаходження, якість (повноту, несуперечливість, достовірність), формати та форми подавання, умови доступу, придбання та використання, авторські та суміжні з ними права на дані, а також інші датометричні характеристики.

Крім того, **геопросторові метадані** (англ. *geospatial metadata*) можуть містити *додаткові обов'язкові або факультативні відомості*. Це, наприклад, відомості щодо способів цифрування картографічних джерел, системи координат, геопросторової точності, різних видів розрізнювання та рівнів деталізації, мірила, картографічних проєкцій, легенди карт і інших специфічних особливостей подавання, обробки та відтворення геопросторових даних. Бази метаданих можуть правити за *засіб інвентаризації інформаційних ресурсів*, серед них регіональних і національних. Ці бази можуть входити як складник у існуючі інформаційні системи та бази даних як один із предметів адміністрування останніх, а також використовуватися *при пошуку та оцінці вихідних джерел геопросторових даних*.

За змістом існують **дві форми метаданих**: *пасивні та активні*.

Пасивні метадані можуть містити, наприклад, відомості щодо мірила, ступеня розрізнювання, назви полів в геопросторовій БД, кодів, які використовуються, та їхніх значень. Ці метадані повинні *бути достатньо докладними з метою гарантування того, що будь-який аналіз, заснований на даних, що вони описують, є коректним*. Така вимога підкреслює необхідність стислої та зрозумілої фіксації всіх операцій при створенні БД у формі, яка дозволяє будь-якому користувачу, який незнайомий з вихідними процедурами введення інформації у БД, відтворити за необхідності зазначені процедури.

Активні метадані призначено для *перевірки коректності запитів і введених даних під час функціонування геопросторової БД*. Наприклад, якщо СУБД налаштовано лише на чотиризначні коди для визначення об'єктів, то активний словник метаданих може перевірити кожну операцію для того, щоб гарантувати, що це чотиризначне обмеження дотримане скрізь. Такі перевірки є вельми корисними для забезпечення належного функціонування БД і запобігання наявності помилкових результатів, які можуть виникнути через некоректні вхідні запити.

Крім проблем технічного характеру, використання у геопросторових базах даних зовнішніх БД поєднане з низкою суттєвих законодавчих і організаційних проблем, які стосуються пошуку та використання даних, плати за це використання та її обґрунтованості тощо. Це загалом є предметною областю, яка потребує окремого дослідження.

Тепер доцільно перейти до розгляду питання щодо **підсистеми збереження та редагування геопросторових даних**, яка комплектується низкою засобів для збереження та підтримки цифрового подавання цих даних. Ця підсистема має також засоби для перевірки шарів на помилки суб'єктивного та об'єктивного характеру, які могли виникнути при створенні таких шарів.

Методи збереження геопросторових даних у БД істотно визначаються моделлю даних, яка використовується в системі (див. попередній розділ), а конкретні технології такого збереження є предметом окремого вивчення. Тому доцільно висвітлити лише певні загальні погляди на цю проблему, акцентуючи увагу на спрямованості підсистеми збереження на потреби редагування та поновлення геопросторових баз даних.

Таким чином, для **растрових структур** головними тематичними даними є значення атрибутів комірок растра, які зберігаються у БД. Місцезнаходження кожної комірки растра визначається, крім її власних координат, і відносно місцезнаходження інших комірок. Через це *редагування пов'язано головним чином із контролем правильності розташування кожної комірки растра*, зважаючи і на те, що певні растрові моделі (див. р.2) використовують методи стиснутого збереження. Тому для дійсного визначення та контролю відносного місцезнаходження окремих комірок растра слід забезпечити такий спосіб вибірки та відображення даних із БД, за якого з'явиться можливість ідентифікації кожної окремої комірки растра за номерами стовпця та рядка, а також за кодом атрибута.

Якщо растрову структуру забезпечено *зв'язком із зовнішньою СУБД*, проблема ускладнюється тим, що з кожною коміркою растра поєднано декілька різних кодів атрибутів. У залежності від особливостей такого зв'язку, може виникнути *необхідність у відображенні та аналізі атрибутів кожного тематичного цифрового шару як окремих карт*. Інші системи можуть створювати можливість огляду переліку кодів атрибутів для кожної комірки растра при доступі до неї тощо, тому в усіх конкретних випадках слід мати достатню інформацію щодо можливостей редагування для вибору підходів до нього.

У випадку **векторних структур**, графіка та атрибути можуть зберігатися або як окремі таблиці всередині однієї БД, або як самостійні файли даних, поєднані низкою покажчиків. Розмежування графіки та атрибутів потребує особливої уваги до процедур редагування, які застосовуються *до графіки та атрибутів нарізно та баз даних у цілому*. Більше того, досить часто ГІС-інструментарій тощо дозволяє окремо зберігати частини БД як великі секції для цілей комп'ютеризованої архівації. Такий спосіб, який загалом зветься *мозаїчним розміщенням*, найчастіше застосовується для зменшення обсягу даних, потрібних для одночасного аналізу у дуже великих БД. Утім одночасно він потребує спеціальних засобів контролю при редагуванні, зважаючи і на нові об'єкти контролю, зокрема межі вирізнених окремих секцій при їхньому стикуванні тощо.

Крім вищевикладеного, слід зазначити, що сучасне програмне забезпечення геопросторового аналізу щодо як векторних, так і щодо растрових структур даних забезпечує механізм відображення, який підсилює можливості *візуалізації помилок* в геопросторових базах даних, враховуючи і можливості *інтерактивного редагування*.

Найбільш розповсюдженими **типами помилок в геопросторових базах даних** є такі три їхні типи, як:

1) **графічні помилки**. Ці помилки, які стосуються головним чином векторних структур, зустрічаються зазвичай у вигляді *трьох характерних підтипів*, а саме: *пропуск об'єкта, неправильна позиція об'єкта* (помилка місцезнаходження, *англ. positional error*) та *неправильний порядок об'єктів* (див. детальніше далі);

2) **помилки атрибутів** (*англ. attribute error*). Вони зустрічаються однаково часто і у векторних, і у растрових структурах і зумовлені *насамперед помилками друку*. У векторних системах помилки атрибутів є результатом використання неправильного коду для атрибута або помилками запису однакових за вимовою, але різних за написанням слів, тощо. У растрових моделях вводяться найчастіше атрибути, тому наслідком набору неправильного коду або його віднесення не до потрібної комірки растра може бути наприклад карта, яка відображає ці неправильно закодовані комірки з некоректним їхнім місцезнаходженням;

3) **помилки узгодження графіки та атрибутів**. Вони вирізняються як наслідок щойно відзначених у другому типі неправильно геопросторово розташованих атрибутивних даних. Такі помилки трапляються і у векторних структурах при сполученні правильно набраних кодів атрибутів з невідповідними їм графічними об'єктами.

З наведених трьох типів помилок в геопросторових БД найбільш важкими для виявлення є останні два, обидва зумовлені атрибутами. А загалом при створенні складних БД доцільною є поступова перевірка достовірності цих баз у міру їхнього заповнення даними.

Слушно зупинитися більш детально на певних особливостях **виявлення та усунення помилок різних типів**, характерних за своїми різновидами для застосування найбільш розповсюджених програмних засобів геопросторового аналізу.

Починаючи з **графічних помилок у векторних системах**, слід усвідомлювати, що по закінченні цифрування для БД, які використовують векторно-топологічні моделі, потрібним є визначення топологічних відношень, якщо це не було частиною власне процесу цифрування.

Але в усіх випадках топологічна інформація у БД повинна дозволити ідентифікувати **графічні помилки шести основних видів**, які відповідають **невиконанню таких вимог**:

- 1) присутність всіх графічних об'єктів, які має бути введено;
- 2) відсутність цифрованих об'єктів у кількості, більшій, ніж передбачалось при введенні;
- 3) знаходження об'єктів у належних місцях і відповідність їх належній формі та розмірам;
- 4) з'єднання всіх об'єктів, які має бути з'єднано;

5) наявність у всіх полігонів саме однієї мітки як точки для відображення атрибутів;

б) знаходження всіх об'єктів в межах робочої області, яку визначено опорними точками.

Програмні засоби, передусім ГІС-інструментарій, повинні бути здатними забезпечувати виконання щойно наведених вимог, які безпосередньо і використовуються для виявлення помилок, зокрема шляхом візуалізації карти на моніторі та порівняння її з оригіналом тощо. Крім того, ці засоби та інструментарій досить часто мають набір символів для індикації певних помилок.

Тепер доцільно розглянути деякі **конкретні типові різновиди графічних помилок**, які можуть трапитися внаслідок невиконання шістьох вищезазначених вимог.

Насамперед, слід нагадати (див. р.2), що у векторних моделях геопросторових даних *вузлами* є спеціальні *точки для індикації зв'язку між дугами* (наприклад, перетин вулиць, місце впадіння річки в озеро тощо). Існує поняття і т.зв. **псевдовузлів** (англ. *pseudo nodes*) – *вузлів, в яких лінія з'єднується сама з собою або вузлів, де з'єднуються, а не перетинаються дві лінії* (рис.3.4). ГІС-інструментарій зазвичай дає змогу відмічати псевдовузли за допомогою графічного символу, який легко розрізняється. Але далеко не всі псевдовузли є помилками, чому потрібний їхній спеціальний аналіз після виявлення і з огляду на те, що **першим типовим різновидом графічних помилок є псевдовузли, непередбачені для створення**.

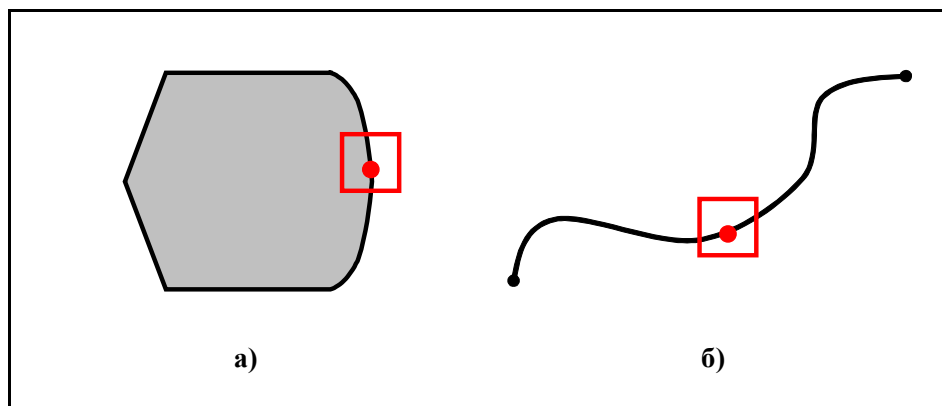


Рис.3.4 Два види псевдовузлів (а – ізолюваного полігона, б – окремої лінії), які можуть бути різновидом графічних помилок

Підтвердженням наявності непередбаченого псевдовузла може бути, *поперше*, ситуація, коли *лінія* по обидва боки виявленого псевдовузла *не трактувалася як дві самостійні дуги* (див. рис.3.4, б). З іншого боку, дрібні ізолювані полігони часто зображуються однією, замкнутою на себе у псевдовузлі дугою і такі псевдовузли зазвичай не є помилками (див. рис.3.4, а). А от

псевдовузли, які не є наслідком свідомого створення ізолюваного полігона з однієї дуги, зокрема одного полігона всередині іншого, безумовно, та по-друге, є непередбаченими. Вони є тими, що виникли внаслідок помилок при цифруванні тощо. Дієвим способом спрощення вилучення непередбачених псевдовузлів, є окрема нумерація всіх передбачених псевдовузлів або використання механізму т.зв. динамічної сегментації, зміст якої розкрито у (Peters, 2012).

Розрізняють також т.зв. **висячі вузли** – вузли на кінцях ні з чим не поєднаних ліній. Другим же типовим різновидом графічних помилок є саме **помилкові висячі вузли**, причинами виникнення яких є:

- 1) незамкнутість межі полігона (рис.3.5, а);
- 2) недодоліт дугою об'єкта, до якої її має бути приєднано (ситуація "недоліт", англ. *undershoot*) (рис.3.5, б);
- 3) перетин дугою об'єкта приєднання (ситуація "переліт", англ. *overshoot*) (рис.3.5, в).

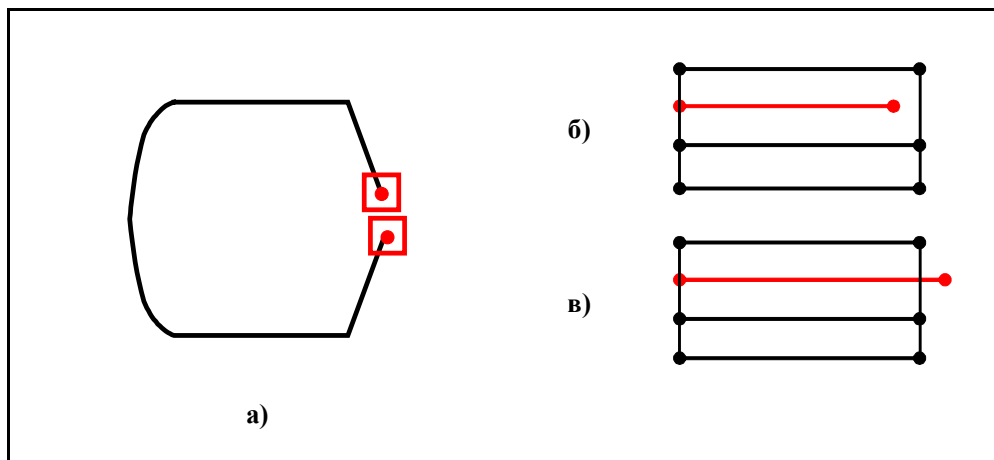


Рис.3.5 Причини виникнення помилкових висячих вузлів (а – незамкнутий полігон, б – "недоліт", в – "переліт")

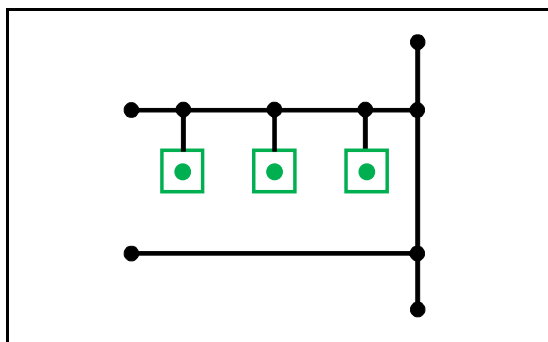


Рис.3.6 Приклад допустимих висячих вузлів (завулки біля дороги у селитебній зоні)

Висячі вузли при їхньому виявленні досить просто виправляються як помилки, зокрема автоматизованими модулями ГІС-інструментарію. А проте, *не всі висячі вузли є помилковими*, наприклад, завулки у селитебній зоні (див. рис.3.6), витoki річок тощо, на що теж треба зважати.

При цифруванні полігонів потрібно зазначити **мітку** – *обрану точку всередині кожного з них, яка править за місце відображення атрибутивної інформації щодо певного полігона*. Тому **третім типовим різновидом графічних помилок є відсутні та зайві мітки полігонів**, які також досить легко виправляються як помилки за умови їхнього визначення (рис.3.7).

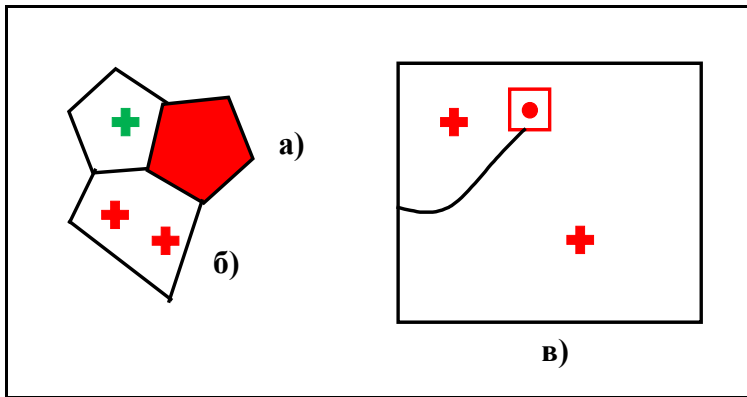


Рис.3.7 Помилки з мітками (+): відсутні мітки (а – полігон без міток) і зайві мітки (б – дві мітки в одному полігоні, в – те ж саме через висячий вузол)

Четвертий типовий різновид графічних помилок найчастіше зустрічається, коли програмні засоби використовують векторну модель, в якій кожний полігон повинен мати свою окрему межу і через це *спільні лінії меж полігонів цифруються більш ніж один раз*. Це призводить до виникнення послідовності крихитних полігонів, які називають **осколковими** або **рукавоподібними полігонами** (англ. *sliver polygons*) (рис.3.8), поєднуючи їх з четвертим різновидом помилок, які розглядаються.

Примітка. Осколкові полігони можуть виникати і в результаті операцій накладання (див. р.8), а також коли кожна з двох суміжних вихідних карт має свою проєкцію (див. далі цей розділ).

Супутніми до осколкових полігонів, як графічних помилок, інколи є помилкові висячі вузли. У всіх випадках *просте видалення відповідної лінії* може вирішити обидві проблеми. Утім, *головними труднощами* при цьому є саме *пошук та виявлення осколкових полігонів*. Це можна виконати *декількома способами*: порівнянням числа введених полігонів з числом вихідних полігонів, відшуканням найменших за площею полігонів, які до того ж зазвичай не мають міток, і іншими способами. Крім того, за наявності певних програм можна *автоматизовано видаляти* невеликі осколкові полігони без висячих

вузлів, збільшивши параметр відстані, на якій не розрізняються точки при введенні у геопросторові БД.

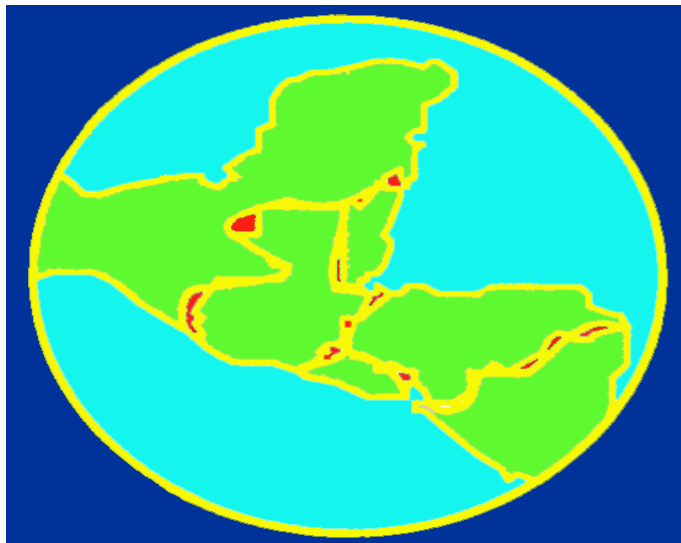


Рис.3.8 Приклад осколкових полігонів, які виникли через вади цифрування

П'ятий типовий різновид графічних помилок поєднано з проблемою створення "дивних" полігонів (англ. *weird polygons*), у яких не вистачає вузлів. У такому випадку полігон є графічним артефактом, який виглядає як справжній полігон з відсутністю одного чи кількох вузлів. Це зазвичай трапляється, коли перетинаються декілька, починаючи з двох, ділянок межі полігонів. Найчастіше за причину останнього править точка, яку введено у неправильному місці або у неправильній послідовності (рис.3.9).

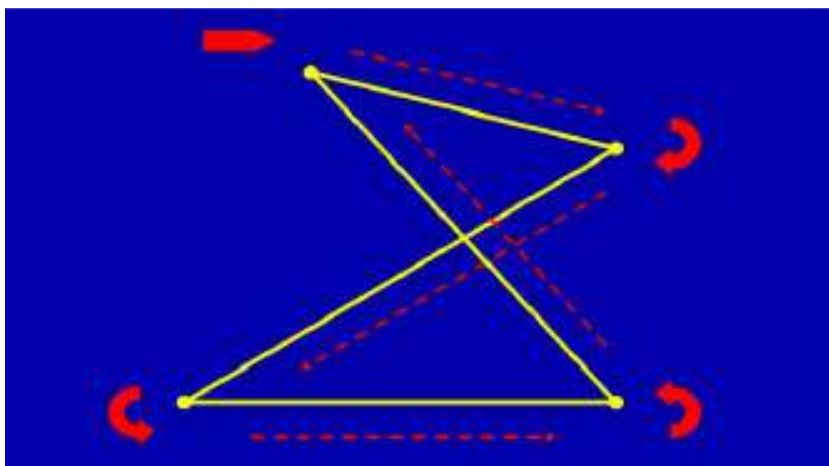


Рис.3.9 Приклад схеми створення "дивного" полігона з відсутнім у центрі вузлом

Найпростіший спосіб уникнути проблеми "дивних" полігонів – нумерація всіх точок, які вводяться, та дотримання однакових напрямків цифрування (наприклад, завше за годинниковою стрілкою). Досить простим способом виявлення зазначених полігонів є також вирізнення вузлів та їхнє відображення спільно з полігональними шарами. При усуненні помилок у вигляді "дивних" полігонів досить часто надійніше видалити помилкові лінії та створити нові, ніж редагувати чинне зображення об'єктів.

Розглянуті п'ять типових різновидів графічних помилок є найбільш простими для пошуку помилками для векторних структур даних. Їх зазвичай можна виправляти без виводу карти тощо на друк. Більш істотні проблеми виникають для видів помилок, які зумовлено невиконанням 1, 2, 3 і 6 вимог, викладених вище. Виявлення таких помилок потребує вже зіставлення створеної у БД карти з вихідною картою чи іншим джерелом, а їхнє виправлення найчастіше поєднано з видаленням помилкових і введенням нових, виправлених об'єктів тощо.

Помилки атрибутів і узгодження графіки та атрибутів для растрових і векторних структур даних, як вже зазначалося, є найбільш важкими для ідентифікації, позаяк, по-перше, програмне забезпечення геопросторового аналізу зазвичай не містить критеріїв коректності або некоректності атрибутів. По-друге, відсутні явно виражені правила, які стверджують, що визначений атрибут має зустрічатися у певній послідовності по відношенню до інших. Саме тому виявлення більшості видів помилок атрибутів і узгодження графіки та атрибутів наразі здійснюється лише зіставленням атрибутів геопросторової БД з вихідним джерелом інформації.

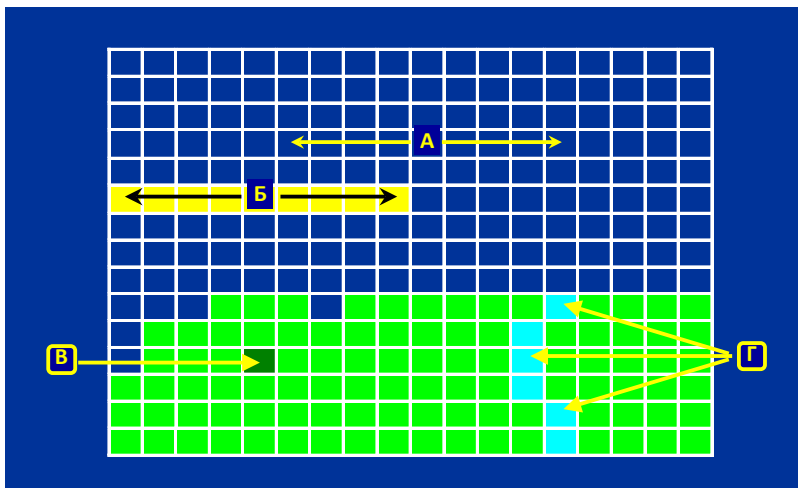


Рис.3.10 Помилки атрибутів растрової структури даних

А – пропущена частина рядка; Б – неправильні або зміщені атрибути (виглядають як одна чи більше частин рядка з істотно відмінними значеннями); В – одиночні неправильні атрибути; Г – помилки атрибутів вздовж меж областей (зумовлені найчастіше проблемами цифрування)

При цьому, наприклад, **пропуск атрибутів** можливо є єдиним видом щойно зазначеного типу помилок, який може бути знайдено і без прямого порівняння з вихідним джерелом даних. У *растрових структурах* ці помилки зустрічаються у вигляді *втрати цілих рядків або стовпців растра* чи їхніх частин (див. рис.3.10, А). У *векторних структурах* пропущені атрибути зазвичай зумовлено тривіальним *невключенням інформації в таблиці атрибутів* для окремих точок, ліній або полігонів. Це можна виявити при перегляді табличної інформації або одночасному відображенні об'єктів та їхніх атрибутів на екрані монітора. Для обох типів структур даних пропуск атрибутів можна компенсувати введенням, певним способом, потрібних значень атрибутів для обраних об'єктів.

Неправильні значення атрибутів дуже важко виявити як для растрових, так і для векторних структур. Утім, у *растрових моделях* велика відмінність у значеннях атрибутів є добре помітною. При цьому виявлення неправильних атрибутів на великих площах найчастіше свідчить про *некоректне введення значень атрибута при груповому або блочному кодуванні* (рис.3.10, Б і В). Тому усунення таких помилок для суцільних відрізків або смужок неправильних значень атрибутів можна виконати тим же методом кодування для зміни значень відповідних комірок. Окремі ж некоректні комірки растра може бути визначено та змінено індивідуально.

У растрових структурах даних неправильні атрибути можуть також зустрічатися *вздовж меж площинних об'єктів* (рис.3.10, Г) і проблема полягає у виборі суміжної області, до якої дійсно належать зазначені атрибути. Після з'ясування цього питання кожну конкретну комірку можна вирізнити та відредагувати.

Неправильні атрибути, як і неузгодження їх з графікою, *складніше виявити для векторних структур даних*, ніж для растрових. Це зумовлено тим, що у такому випадку зазвичай необхідним є добре знання вихідного джерела інформації, його атрибутів та їхніх розподілів, а власне редагування доцільно проводити в *інтерактивному режимі*.

Крім доміантної функції виправлення графічних і атрибутивних помилок підсистема збереження та редагування геопросторових даних часто використовується і для *перетворення координат* дигітайзера в координати реального світу, а інколи – і для *перетворення проєкцій* для забезпечення можливості зіставлення шарів, отриманих з карт з різними проєкціями.

Перетворення координат ГІС-інструментарієм є необхідним для будь-якого аналізу, який потребує вимірювань у системі координат реального світу. Для **географічної прив'язки** карт, які вводяться, можуть використовуватися **опорні точки** з достеменно відомими сферичними координатами, які є на цих картах. БД функціонують у сферичній (географічній) системі координат, але сприймають введення даних у плоских координатах дигітайзера, чому і потрібні зазначені опорні точки та перетворення координат, яке здійснюється за загальною схемою, вже розглянутою у цьому розділі на рис.3.3.

Примітка. Точки, які використовуються для прив'язки під час введення дигітайзером, інколи називаються *ресстраційними*, а ті, які використовуються для прив'язки ДДЗ – *опорними*.

Для *перерахунку координат для векторних і растрових структур даних* можуть застосовуватися *афінні, поліноміальні та більш складні перетворення*. Вони є результатом розв'язання рівнянь, які отримуються з математичних моделей проєкцій. При координатній трансформації знімків дистанційного зондування до найкращих результатів призводить застосування тих математичних моделей, які найбільш точно відтворюють положення сенсора, території зйомки, геометричних і інших параметрів камери.

Для **растрових зображень** вирізняються два **способи географічної прив'язки**:

- 1) **трансформація**. При цьому *створюється новий шар*, координати пікселів якого точно відповідають проєкції, у яку здійснювалася трансформація;
- 2) **калібрування**. У результаті *новий шар не створюється*, а параметри прив'язки зберігаються разом з файлом обраного шару або всередині нього, якщо це дозволяє зробити формат, який використовується.

Другий спосіб має очевидні переваги у тому, що завжди можна змінити проєкцію, не чіпаючи власне дані, утім цей спосіб є застосовним не для всіх растрових структур даних.

Ще однією проблемою, яку розв'язує підсистема збереження та редагування геопросторових даних, є **стикування суміжних цифрових шарів або частин (фрагментів) шару при зшиванні**.

Зазначене стикування передусе або безпосередньо входить до загального процесу **зшивання**, під яким розуміється, по-перше, *автоматизоване об'єднання в базах даних векторних цифрових записів двох окремих суміжних цифрових карт чи їхніх аркушів або суміжних шарів чи їхніх частин (фрагментів) (англ. *map join*)*. Зшивання також тлумачиться як *монтаж окремих цифрових знімків або інших цифрових зображень у растровому форматі (англ. *mosaicking*)*. Операція, обернена до зшивання, носить назву **фрагментування (англ. *tiling*)**.

Отже, необхідність **стикування вздовж меж** виникає, коли два горизонтально суміжні цифрові шари або суміжні частини (фрагменти) площини певного шару *фізично поєднуються для отримання більшої області, яка вивчається (рис.3.11)*.

Проблеми такого **стикування у векторних структурах**, які розв'язуються насамперед через погодження об'єктів на межах суміжних шарів чи їхніх фрагментів, зумовлено зазвичай *двома причинами*:

- 1) різною точністю введення в БД інформації з двох вихідних її джерел з однаковою проєкцією через різні умови такого введення;
- 2) поєднанням суміжних шарів з різними проєкціями або з однаковою проєкцією, отриманою за різними процедурами.

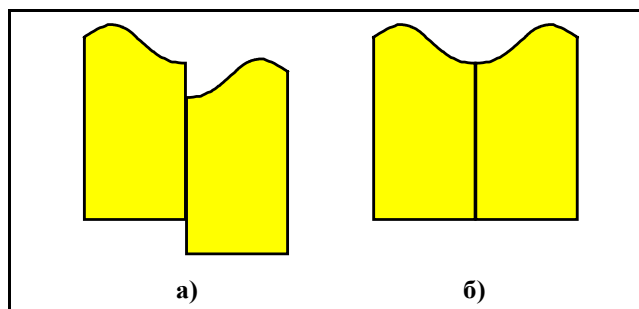


Рис.3.11 Приклад стикування вздовж меж: два суміжних фрагменти цифрового шару до (а) і після (б) стикування

Проблеми стикування можуть стосуватися також і *растрових форматів*. Характерним прикладом цього є використання ДДЗ, таких як багатозональні знімки системи *Landsat* (див. р.1). Позаяк сусідні за довготою знімки робляться у різний час, інколи з інтервалом у декілька днів, імовірним є те, що супутник не буде знаходитися у ці два моменти точно на тій же широті. Це часто призводить до зсуву між двома зображеннями на один чи декілька пікселів (комірок растра). Це досить легко коригується зміщенням одного з наборів даних допоки обидва зображення не зістикуються. До того ж, разом із зазначеними ДДЗ зазвичай надаються достатньо точні географічні координати окремих точок знімка, що дозволяє користувачу стикувати суміжні знімки за їхньою допомогою.

Досить часто при введенні чи редагуванні даних у геопросторовій БД виникає також загалом окрема **проблема накладання декількох однакових за змістом шарів, які репрезентують одну і ту ж саму територію але у різний час**. Така проблема більше стосується *векторних даних* і принципово полягає у *незбігові одних і тих же геопросторових об'єктів, суміщених з двох різночасових шарів*, за умови фактичної незмінності положення, конфігурації тощо цих об'єктів. При цьому стає очевидним, що для наступного коректного аналізу потрібно знайти спосіб сполучення не тільки кутів загальної області шарів, які накладаються, а і всіх об'єктів цієї області. Іншими словами, потрібно створити можливість неначе закріплення об'єктів певного шару, які знаходяться на коректних місцях, доки пересуваються інші об'єкти цього ж шару з метою досягнення їхнього більш точного місцезнаходження. Такий процес, за схожістю до розтягування традиційної карти, якби її була зроблено з гуми, інколи називається **перетворенням за типом гумового аркуша** (англ. *rubber sheeting*), але більш точною назвою зазначеного процесу є **конфляція** (англ. *conflation*).

Конфляція виконується в *інтерактивному режимі*, коли оператор чи користувач спочатку вирішує питання про те, який шар "припасовувати", щоб його певні об'єкти збіглися з об'єктами інших шарів, після чого пересуваються обрані об'єкти.

При конфляції слід зважати на *два аспекти*:

- 1) конфляція є *суто графічною операцією*, яка не гарантує найбільш точного результату по відношенню до координат;
- 2) результати конфляції можуть виявитися *гіршими, ніж початкові дані шарів*, тому слід завжди зберігати останні для випадку необхідності повторного проведення конфляції.

Зважаючи на всі вище викладені проблеми із стикуванням чи спільним розглядом декількох цифрових шарів, інколи обирають *один шар, інформація якого вважається найбільш достовірною*, та використовують його як **шар-шаблон** (англ. *template layer*). Такий шар дає змогу окреслити спільні межі дослідження для набору шарів, привести всі шари до однакової форми, розміру та координат тощо. При цьому не виключено можливість виникнення певного непогодження у площях тощо між шарами, яке не підлягає редагуванню та має сприйматися як об'єктивний наслідок здійсненого суміщення шарів.

Насамкінець цього розділу доцільно розглянути **поняття про стандарти та формати в сфері геоінформаційних технологій**.

Зарубіжний досвід стандартизації в сфері геоінформаційних технологій налічує декілька десятків років. Ініціативи щодо стандартизації у цій сфері започатковувалися національними органами із стандартизації, міжнародними організаціями та приватними компаніями. Розробки у сфері стандартів обміну геопросторовою інформацією здійснювалися практично в усіх розвинутих країнах (див. *Samoilenko, 2024*).

Стандарти сприяють розв'язанню проблеми файлового обміну, опису структур даних, обміну даними та взаємодії прикладних програм у інформаційних мережах, при цьому окрему роль відіграють стандарти метаданих. Структура файлу не є критичною для стандарту і один і той же стандарт може бути реалізовано через декілька різних типів файлів, чому слід *розрізняти поняття стандарту та формату файлу*.

Найбільш істотними та прогресивними в сфері стандартизації для геоінформаційних технологій є американські та канадські розробки та проекти. У **США** затверджено стандарт на передачу просторової інформації **SDTS** (абр. від англ. *Spatial Data Transfer Standard (Specification)*). На його основі створюються національні стандарти і інших держав, наприклад, у **Австралії** **ASDTS** (абр. від англ. *Australian Spatial Data Transfer Standard*). Конвертори у формат файлів стандарту **SDTS** включено до складу розповсюдженого ГІС-інструментарію. Цей стандартизований формат дозволяє підтримувати багато із наразі широко вживаних моделей подавання геопросторових даних, серед них векторно-топологічні та растрові, а також растрові зображення.

У **Канаді** за національний прийнято стандарт **SAIF** (абр. від англ. *Spatial Archive and Interchange Format*). Він дозволяє підтримувати більшу кількість моделей геопросторових даних і обмінюватися більшими обсягами

інформації, ніж *SDTS*. Стратегія *SAIF* лягла в основу стандарту *SQL/MM* (абр. від англ. *Structured Query Language / MultiMedia Extension*, укр. *Структурна Мова Запитів / Мультимедійне Розширення*) – розширення стандартизованої в США тощо мови *SQL*. Вона використовується для аналізу інформації, яка зберігається у реляційних базах даних, і править за розповсюджений засіб розробки таких БД і обслуговування систем типу "клієнт – сервер". *SQL/MM* як міжнародний стандарт *ISO* (абр. від англ. **International Standardization Organization**, укр. **Міжнародна організація із стандартизації**), підтримує різні моделі геопросторових даних, які використовуються у більшості широко розповсюджених геоінформаційних програмних продуктах. Робота з атрибутивними даними згідно з *SQL/MM* здійснюється за допомогою вже зазначених реляційних СУБД. Крім того передбачено передавання додаткової інформації щодо проєкції, системи координат тощо, а також метаданих. Щодо останніх розроблено міжнародний стандарт *ISO 19115 "Geographic Information – Metadata"* ("*Географічна Інформація – Метадани*").

Примітка. *ISO* як всесвітня федерація національних комітетів із стандартизації, які є її членами, займається створенням цілої *системної сукупності міжнародних стандартів*, які стосуються *геопросторових даних*.

Функції конвертації (перетворення) форматів може бути як включено безпосередньо в основне ПЗ геопросторового аналізу, так і забезпечуватися окремим модулем чи *утилітною програмою*.

Форматів файлів загалом існує дуже багато, і деякі з них стали настільки популярними, що вважаються *загальноживаними* ("*неформальними стандартами*"). Це спричинено як *поширеністю програмних продуктів*, у яких вони використовуються, так і *власне їхніми характеристиками*, такими як:

- 1) швидкість читання / запису;
- 2) потенційна величина стискання даних;
- 3) повнота опису даних тощо.

Загальноживані формати існують як для растрових, так і для векторних геопросторових даних. До **загальноживаних растрових форматів файлів** відносяться, наприклад, *PCX*, *TIFF*, *GIF* тощо.

Формат *PCX* застосовує найпростіший спосіб стискання зображень, який дозволяє виконувати швидкий перезапис з файлу у відеопам'ять і у зворотному напрямку. Він використовується у багатьох програмах обробки зображень.

Формат *GIF*, за достатньо простої структури файлу та наявності невеликого числа атрибутів зображення, застосовує *більш ефективний, ніж *PCX*, механізм стискання даних*.

Формат *TIFF* має значну кількість атрибутів, які дозволяють подавати складні зображення. Крім програм графіки, він використовується в програмах, які поставляються разом зі сканерами. *TIFF* було створено розробниками

систем *Aldus PageMaker* і *Windows* фірми *Microsoft*. При цьому передбачалося, що файли формату *TIFF* формуватимуться за допомогою сканера або програм графіки. У процесі проектування цього формату було розроблено таку структуру файлу, яка *мінімізує зміни в структурі при наступному додаванні нових можливостей* (розширенні). *TIFF* не залежить від операційної системи. Цей формат є вельми *повнофункціональним*.

До **загальноживаних векторних форматів файлів** відносяться формати *DXF*, *DX-90*, *PIC*, *DWG*, *IGES*, *DGN*, *HPGL*, *DWF* і багато інших. Наприклад, поширений формат ***DXF*** з програмного продукту *AutoCAD* компанії *Autodesk Inc.* навіть увійшов до складу однойменного міжнародного стандарту не в останню чергу завдяки його популярності. Цей формат є добре документованим і використовується як обмінний для даних САПР (див. вступ). Також наразі досить поширеним є формат ***DWF*** – сучасний стандартизований стиснутий обмінний векторний формат файлів, створений для інформаційно-мережного застосування компанією *Autodesk Inc.* (див. також *Samoilenko, 2024*).

Насамкінець слід зазначити, що основні характеристики деяких **національних стандартів різних держав**, серед них і один міжнародний, які є **найбільш розповсюдженими саме у сучасних геоінформаційних технологіях**, що робить ці стандарти наразі тими, які широко застосовуються серед користувачів цих технологій усього світу, розглянуто у (*Samoilenko, 2024*; *Samoilenko, Bilous, 2024*).

4 ЕЛЕМЕНТАРНИЙ ГЕОПРОСТОРОВИЙ АНАЛІЗ І ВИМІРЮВАННЯ

Вирізнена у вступі структурно-функціональна підсистема маніпуляції даними та їхнього геопросторового аналізу (*надалі скорочено просто "підсистема аналізу"*) є визначальною у геоінформаційних технологіях. Утім, вона є і підсистемою, яка часто-густо найбільш некоректно використовується, від спроб порівняння непорівнюваних безпосередньо даних номінальної шкали з високоточними даними шкали відношень до тверджень про причинний зв'язок явищ, які геопросторово корелюються, зроблених без належного змістового обґрунтування та перевірки альтернативних гіпотез тощо. *Некоректне застосування підсистеми аналізу* значною мірою зумовлено, по-перше, браком розуміння природи геопросторових даних, які накопичено у їхніх базах. По-друге, це спричинено маніпуляцією зазначеними даними за допомогою потужного ПС-інструментарію тощо, яку здійснюють *без чіткого усвідомлення базових географічних, геоекологічних, математичних, стохастичних (статистичних) і інших концепцій*.

Крім того, слід усвідомлювати, що навіть найсучасніший ПС-інструментарій не є абсолютно повним набором геопросторово-аналітичних засобів. У багатьох випадках користувач буде змушений *комбінувати такий інструментарій* з, наприклад, програмами суто статистичного аналізу, спеціалізованими програмними продуктами геопросторового аналізу та об'ємного моделювання, програмувальними засобами для удосконалення роботи з ПЗ у визначеному спектрі задач тощо.

За умови розуміння такої проблеми вона не є надто складною, позаяк існує безліч різноманітних геоінформаційних програмних модулів. Такі модулі або забезпечують прямий зв'язок з іншими аналітичними програмами для підвищення ефективності інтерпретації наявних даних, або підтримують структури даних, які дозволяють передавати інформацію з геопросторової БД для зовнішнього аналізу і назад тощо. При цьому постає окрема задача вибору потрібного програмного забезпечення геопросторового аналізу. Її оптимально може бути вирішено насамперед на основі знань про численні *аналітичні можливості*, які є у *предметній області геоінформаційного геопросторового аналізу*, саме чому значною мірою присвячено зміст як цього, так і наступних розділів.

Тому передусім слід зупинитися на вихідних питаннях елементарного геопросторового аналізу та вимірювань у геоінформаційних технологіях, а саме на питаннях *пошуку та ідентифікації геопросторових об'єктів*.

У будь-якій цифровій геопросторовій БД зазвичай є багато різних шарів, кожен з яких відповідає окремій темі. При роботі з такими шарами дослідника зазвичай можуть цікавити питання про те, які з обраних об'єктів

зустрічаються найбільш часто, наскільки часто вони зустрічаються, де знаходяться тощо, що разом і складає *елементарний набір операцій пошуку*.

Для **растрових структур** ГІС-інструментарій підтримує **декілька способів пошуку та наступної ідентифікації обраних геопросторових об'єктів**. Найпростішим з них є *створення нового шару, де видалено всі непотрібні дані*. Для реалізації такого підходу можна насамперед провести *просту перекласифікацію даних*, детально розглянуту у р.5, з віднесенням обраних об'єктів за їхніми атрибутами до групи *цільових (шуканих) комірок*, а всього іншого у шарі – до *фону*. ГІС-інструментарій також дозволяє вивести результати щойно зазначеного відбору у таблицю, за якою, до того ж, можна підрахувати кількість цільових комірок растра та комірок фону, їхнє співвідношення тощо (приклад у табл.4.1). Елементарний процес власне такого відбору при пошуку початково зводиться до позначення кожної потрібної окремої комірки тим чи іншим способом, що призводить до зчитування номерів її рядка та стовпця, а також атрибутів такої комірки.

Табл.4.1 Приклад підсумкового списку комірок растра, відібраних за кодами атрибутів полігонів

Атрибут	Код атрибута	Кількість комірок
Відсутній	0	225
Угіддя	1	642
Міські території	2	201
Пасовища	3	981
Водна поверхня	4	64

Примітка. У таблицях зразка табл.4.1 можуть бути відомості не тільки про атрибут та їхні коди, а й про категорії (класи) атрибутів, коди значень атрибутів тощо.

При узагальненні результатів пошуку не слід забувати, що *визначення точних координат точкових об'єктів у растрових моделях не має сенсу*, позаяк у растровій структурі геопростір квантується на комірки, а різноманітні точкові об'єкти лише розташовані у певних комірках растра, а не займають їх цілком. Тому, наприклад відсоток шару, який займають обрані точкові об'єкти, визначений за часткою відповідних комірок, зазвичай має певну похибку.

Стосовно ж інших типів геопросторових об'єктів слід зазначити таке. У растровій структурі *лінії* – це лише набори комірок растра, суміжних за стороною або діагоналлю в системі прямокутних координат, а *полігони* – це групи комірок растра, які з'єднані аналогічно до ліній, але мають при цьому значну ширину. Досить часто поряд з окремими полігонами розглядаються також т.зв. **регіони** – *великі групи об'єднаних суміжних або несуміжних полігонів, які мають певні однакові атрибути*. Пошук і визначення всіх цих об'єктів –

ліній, полігонів і регіонів – також потребує їхньої ідентифікації за атрибутами, аналогічно до точкових об'єктів. І знову-таки, відсоток шару певних лінійних площинних об'єктів, визначений через зіставлення числа комірок, є вельми умовним. Точність у цьому випадку, наприклад для полігонів, визначається головним чином підходом, використаним для утворення категорій атрибутів комірок растра.

Ідентифікація обраних об'єктів у векторних структурах найчастіше початково зводиться до пошуку. Він полягає у відборі рядків таблиці атрибутивної БД, які мають коди відповідних атрибутів чи значень атрибутів шуканих об'єктів, з відображенням за потреби саме цих об'єктів за їхніми ідентифікаторами на моніторі (приклад у табл.4.2). І навпаки, можна виконати *зворотну операцію* – помітити потрібні об'єкти на екрані тим чи іншим способом та потім отримати необхідну зведену атрибутивну і, на відміну від растрових структур, *точну координатну інформацію* з геопросторової БД.

При ідентифікації векторів *для ліній та областей*, на відміну від точкових об'єктів, потрібно знати пари координат кожної з точок, які використовуються для визначення всіх відрізків, за допомогою яких зазначені об'єкти задано. Таку операцію пошуку *на екрані* знову-таки може бути виконано вказівкою курсором на окремі потрібні об'єкти або їхні елементи чи вибиранням їх рамкою тощо. І незалежно від виду об'єктів векторних структур – точкових, лінійних або площинних – будь-який з них може бути відібрано шляхом *запиту до таблиць* атрибутів БД.

Табл.4.2 Список полігонів у векторній структурі даних, ідентифікованих за значеннями атрибута "землекористування"*

Код значення атрибута	Значення атрибута	Кількість полігонів
100	Технічні культури	30
120	Зернові	64
130	Пасовища	3

Код значення атрибута	Значення атрибута	Ідентифікатор полігона
130	Пасовища	25
130	Пасовища	28
130	Пасовища	29

*У нижній частині таблиці – список полігонів з кодом значення атрибута 130 та їхніх ідентифікаторів, у верхній – загальна кількість таких полігонів

У цілому **ідентифікація об'єктів** при елементарному геопросторовому аналізі за допомогою будь-якого ПС-інструментарію тощо **має на меті, поперше**, підтримку основного пізнавального процесу, який можна порівняти з

візуальним читанням традиційної карти користувачем. *По-друге*, її спрямовано на вихідне забезпечення наступних більш складних вимірювань, аналітичних зіставлень, порівнянь тощо.

Перший складник передбачає існування можливості виокремлювати та визначати місцезнаходження певних об'єктів, позаяк такі дії призводять до розуміння загальної складності тематичних цифрових шарів у БД. Наявність чи відсутність певних об'єктів, їхня конкретна позиція та розподіли одних об'єктів при порівнянні з іншими можуть використовуватися для виявлення причин виникнення певних схем геопросторового розподілу або хоча б для висунення гіпотез геопросторові зв'язки між показниками тощо. Це власне і відноситься до *другого складника* мети ідентифікації об'єктів. Так у геоекології, наприклад, досить часто виникає потреба визначення співвідношень між малими, відокремленими полігонами, які звать клаптями (*англ. patches*), та матрицею або загальним фоном досліджуваної області. Це дозволяє оцінювати *міру фрагментації* певної структури геосистеми чи її модуля, яка вважається одним з індикаторів стану певного ландшафту.

Отже, саме створення можливості наступних вимірювань і аналітичних порівнянь є найбільш важливою причиною пошуку та ідентифікації геопросторових об'єктів, які насамперед потребують початкового з'ясування розміщення таких окремих об'єктів у межах БД. Тому доцільно стисло розглянути ***загальні підходи до визначення точкових, лінійних і площинних об'єктів на основі їхніх атрибутів*** (поверхні буде розглянуто окремо у р.6, позаяк вони зберігаються у БД часто-густо зовсім іншим чином).

При визначенні за атрибутами точкових об'єктів як правило застосовується така класифікаційна операція, як їхнє *категорювання*, зокрема рангування тощо із застосуванням різних шкал вимірювань (див. р.1).

Примітки.

1.У цьому випадку та далі за текстом під терміном "**категорювання об'єктів**" розуміється *визначення категорій (класів) геопросторових об'єктів за спільними категоріями їхніх атрибутів, зокрема власне атрибутами, їхніми значеннями тощо*. Тобто за таких умов, по-перше, синонімом категорювання може бути термін "типізація за класифікаційними ознаками" (див. р.1). По-друге, процес категорювання атрибутів є або тим, що безпосередньо передуює категорюванню геопросторових об'єктів, або тим, що практично є адекватним останньому. Наприклад, категорія певного рівня об'єктів "пасовища" є одночасно значенням атрибута "землекористування" тощо.

2.Рівні категорій не деталізуються та не розглядаються, позаяк це є окремим завданням обґрунтування різних класифікаційних схем у відповідних географічних дисциплінах або дисциплінах наук про Землю, зважаючи і на те, що *category* з англійської загалом перекладається не тільки як власне *категорія*, а й як *розряд, вид, клас, рід*.

При цьому потрібно, щоб робоче програмне забезпечення геопросторового аналізу давало змогу визначати кожну категорію окремо та *заносити в*

відповідну таблицю результати пошуку. Крім того, необхідною є, по-перше, можливість створення цифрового шару з точкових об'єктів заданих категорій за певними значеннями їхніх атрибутів. По-друге, необхідною є і можливість показу геопросторових відношень між об'єктами точкового типу різних категорій з метою виконання наступних аналітичних операцій з кількісного визначення таких відношень.

При визначенні за атрибутами лінійних об'єктів слід згадати про те, що, з одного боку, у БД вони є одновимірними утвореннями, які визначаються двома або більшою кількістю точок з відповідними парами координат. З іншого боку, слід не забувати, що лінійні об'єкти можуть містити також вузли, які є точками, що маркують початки та кінці дуг, тобто повідомляють про зміни атрибутів вздовж ліній. Лінійні об'єкти, як і точкові, *категоруються за атрибутами*, які подаються за допомогою різноманітних шкал вимірювання даних тощо. А отже, подібно до точок, лінії можуть вирізнятися на основі порядкового рангування або застосування певної іншої категорійно-класифікаційної міри. При цьому атрибути можуть використовуватися для вибірки як цілих ліній, так і їхніх частин.

Інші потрібні характеристики лінійних об'єктів можуть стосуватися не просто атрибутів власне лінії, а й *ідентифікації геопростору з кожної її сторони*. У растрових моделях визначення таких характеристик досить утруднене та потребує виконання спеціальних операцій, які називають *аналізом сусідства* (див. також р.5). Вони зазвичай вимагають створення окремого шару лінійних об'єктів або збереження "атрибутів сусідства" в окремих стовпцях таблиць атрибутів. У векторних же структурах, які використовують топологічну модель даних, відношення між лінією та прилеглими до неї полігонами записуються в геопросторову БД в явному вигляді під час введення даних або формалізації топологічної інформації.

Зрозуміло, що для визначення місцезнаходження лінії необхідно мати відомості щодо пари координат усіх точок, які утворюють лінію у векторній структурі, або значення рядків і стовпців всіх формотворчих для лінії комірок растра в растровій структурі.

Такий підхід зумовлює існування і *трьох основних геопросторових атрибутів*, які може бути використано для вибірки лінії, а саме атрибутів *довжини, орієнтації та форми*. Довжину та орієнтацію досить важко точно обчислювати для більшості растрових структур, тоді як для векторних структур це не викликає утруднень. Мірою форми для лінійних об'єктів найчастіше є **звивистість** (англ. *sinuosity*). Вона визначається як *відношення суми довжин всіх відрізків лінії до відстані між її крайніми точками*, хоча існують способи і більш складного аналізу форми. Усі три зазначені основні атрибути – довжина, орієнтація та форма – може бути поєднано як окремі геопросторові атрибути з кожним лінійним об'єктом або з кожною ділянкою цього об'єкта, яку можна виокремити.

Як і точкові та лінійні об'єкти, **площинні об'єкти**, тобто області чи полігони, **може бути визначено за їхніми атрибутами** з виокремленням і вибором на основі їхніх геопросторових або негеопросторових категорій. Кожна з характеристик таких категорій має зберігатися в БД або як атрибути комірок растра, або як атрибути векторних полігонів. При цьому вирізнення та вибір областей здійснюються аналогічно до точок і ліній. Утім, на відміну від останніх, площинні об'єкти мають додатковий параметр вимірності, який дозволяє присвоювати їм *більше атрибутів на основі їхньої геометрії*.

Так до корисних геопросторових атрибутів полігонів відноситься, *по-перше, форма полігона*. Оцінка останньої може бути "точно евклідовою", коли форма ідентифікується як певна варіація відомої геометричної фігури (круга, квадрата тощо).

Разом з тим відомими є міри форми, які використовують фрактальну геометрію, яка враховує нерегулярність зовнішньої межі полігона. Поєднанням з категорією форми є атрибут **витягнутості полігона**, тобто *відношення довжини його більшої осі до меншої*. Зрозуміло, що при оцінюванні витягнутості, може виникнути потреба у визначенні *орієнтації витягнутих полігонів* по відношенню до сторін світу тощо. У цьому аспекті в географії та науках про Землю загалом наразі досліджуються такі питання, як взаємозв'язок форм антропогенних і природних площинних об'єктів і їхнього функціонування тощо. Вимірювання форми та орієнтації полігонів детально буде розглянуто далі за текстом. На цьому ж етапі такі атрибути доцільно розглядати наприклад як характеристики, які можуть використовуватися для підрахунку полігонів певного категорійного діапазону їхньої форми тощо.

По-друге, геопросторовим атрибутом полігонів, який використовується більш широко, є *площа полігона*. У растрових структурах даних площа визначається як кількість комірок заданої категорії, які утворюють полігон. Позаяк такі комірки можуть відноситися не до одного, конкретного полігона, як правило виникає *проблема ізоляції певних полігонів*. Для цього часто потрібна операція перекодування значень комірок, тобто перекласифікації об'єктів (див. р.5). При цьому точність вимірювань форми знову-таки не буде високою через дискретну природу растрової структури. Для векторних структур таких проблем не існує і будь-який ГІС-інструментарій тощо дає швидку відповідь на запит щодо площі, а також периметра полігонів, значення яких досить часто до того ж заносяться безпосередньо в таблиці атрибутів об'єктів. Для відбору ж полігонів за параметрами їхньої площі або периметра при цьому досить лише задати інтервали відповідних значень тощо.

Попередньо доцільно розглянути також *дві інші характеристики полігонів*. Перша з них як геопросторовий атрибут називається **цілісністю полігона** і вона є *мірою його т.зв. перфорованості*. Тобто не суцільний, а перфорований полігон, який містить певну кількість так званих *отворів* – менших полігонів, які цілковито знаходяться в його межах, – має тим меншу величину цілісності,

чим більшим є число таких отворів. Геопросторова цілісність як міра застосовується в географії та науках про Землю, наприклад при аналізі ареалів популяцій і угруповань, загрози розповсюдження лісових пожеж тощо. ГІС-інструментарій має певні засоби для визначення цілісності для більшості растрових структур, а от векторні моделі, за винятком векторно-топологічних, менше пристосовано до такого аналізу.

Іншим додатковим геопросторовим атрибутом, який може бути корисним для площинних об'єктів, є **однорідність області**, яку складено або утворено з декількох суміжних одиночних полігонів. Через останнє цю однорідність можна розглядати з двох позицій.

По-перше, однорідність можна кваліфікувати як міру того, яка частина периметра області відображає прямий контакт областетворчих полігонів, які мають однакові атрибути. Наприклад два полігони як складники області можуть торкатися один одного лише вздовж невеликої ділянки. З такої позиції однорідність дуже схожа на простий показник довжини ліній.

По-друге, однорідність може розглядатися як атрибут, який містить і обумовлену величину *внутрішньої неоднорідності області*. Така ситуація виникає при створенні області, наприклад, шляхом групування полігонів з кількісними атрибутами, використовуючи категоризацію з операторами "більше ніж" або "менше ніж" тощо. Тобто при об'єднанні полігонів, наприклад з індексами видової різноманітності менше ніж 10, в об'єднану область можуть потрапити вихідні полігони, початково неоднорідні за зазначеним індексом тощо.

І для растрових, і для векторних структур даних зазвичай існує певний програмний інструментарій для оцінювання однорідності з обох позицій. При цьому, як і скрізь у попередньому тексті, щойно зазначені атрибути дозволяють користувачу виокремлювати, вибирати та виводити результати вимірювань площинних об'єктів індивідуально за потрібними категоріями.

До цих пір йшла мова про вирізнення точок, ліній та областей, які або вже мають атрибути, або атрибути яких може бути обчислено тим чи іншим чином. А проте, існує і клас *геопросторових об'єктів*, які повинні бути не тільки розраховано, а й побудовано та/або оцінено за децю іншими критеріями тощо на основі вже введених у БД місцезнаходження об'єктів та їхніх атрибутів. Цей клас об'єктів називається "**геопросторовими об'єктами високого рівня**" і їх доцільно розглянути, вирізняючи знову-таки *точкові, лінійні, комбіновані та площинні об'єкти високого рівня*.

До основних типів точкових об'єктів високого рівня відносяться *центроїди* та *вузли*. Так, **центроїд у цілому** – тип *точкового об'єкта високого рівня*, який, в залежності від виду, маркує певну центральну точку геопросторових об'єктів або їхніх *розподілів*. Центроїди у свою чергу поділяються на такі головні **різновиди**, як: *простий (координатний) центроїд полігона, центр інерції полігона, центроїд еліпса полігона, центр тяжіння (мас) і важений центр тяжіння (мас)*.

Перший з них, **простий** або **координатний центроїд** (англ. *centroid*) зазвичай визначається як *точка, яка знаходиться у точному координатному (геометричному) центрі полігона*. Знаходження такої точки є нескладним для простих багатокутників (рис.4.1) і, зрозуміло, потребує більшого числа операцій для складних. Прості центроїди складних багатокутників при векторному подаванні обчислюються за *правилом чотирикутників*. Згідно з ним полігон-багатокутник поділяється на певне число чотирикутників, які перекриваються. За центроїдами (центральною координатою) кожного з цих чотирикутників визначається їхнє *середнє виважене значення* як виважений центр тяжіння центроїдів чотирикутників, яке і приймається за *простий центроїд усього полігона-багатокутника* (рис.4.2).

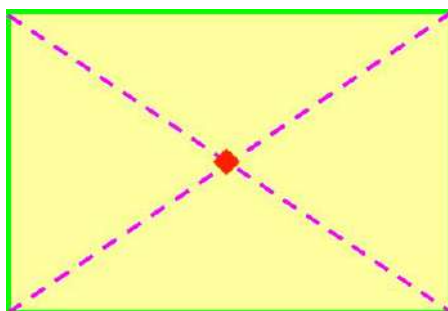


Рис.4.1 Приклад визначення простого центроїда полігона-прямокутника

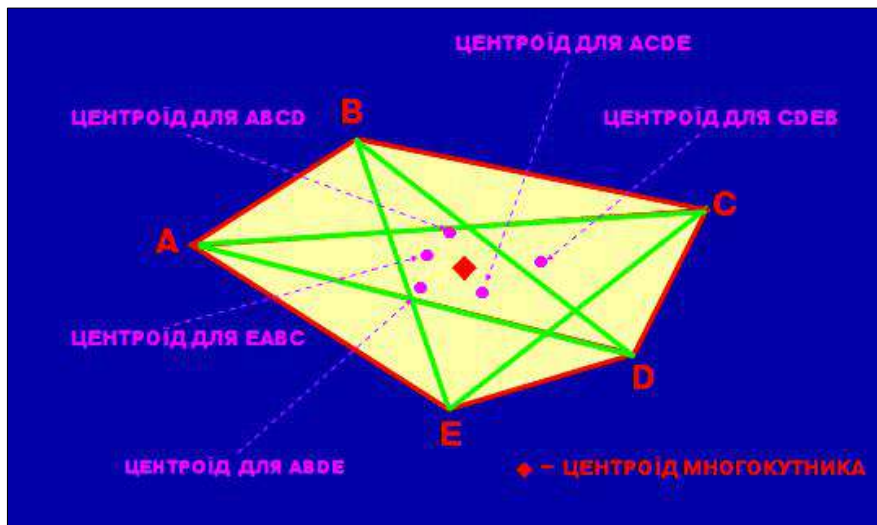


Рис.4.2 Приклад визначення простого центроїда полігона-багатокутника за правилом чотирикутників

Центром інерції полігона як різновиду центроїдів є центр прямокутника, описаного навколо полігона. Канонічним же для ГІС-інструментарію тощо

різновидом є **центроїд еліпса полігона**, який є центром еліпса, що найбільш близький за формою до контуру полігона. Велику вісь такого еліпса до того ж може бути використано для визначення орієнтації полігона.

Загалом будь-який центроїд полігона досить часто виконує функцію точки, до якої, за визначених умов, можна віднести певні атрибути всього полігона, а *центроїд* тоді править за *мітку полігона*. Набір центроїдів у таких випадках може бути використано і при проведенні ізоліній за атрибутами, які стосуються кожного з полігонів у їхній групі, тощо.

Центроїди може бути розташовано не в координатному центрі багатокутника, а в *координатному центрі розподілу точкових показників певного явища чи процесу* за тематичним цифровим шаром тощо. Така точка, як вид центроїда, зветься вже **центром тяжіння** (*center of gravity*) або **центром мас** і потребує усереднення координат X і Y за всіма точками у шарі (рис.4.3).

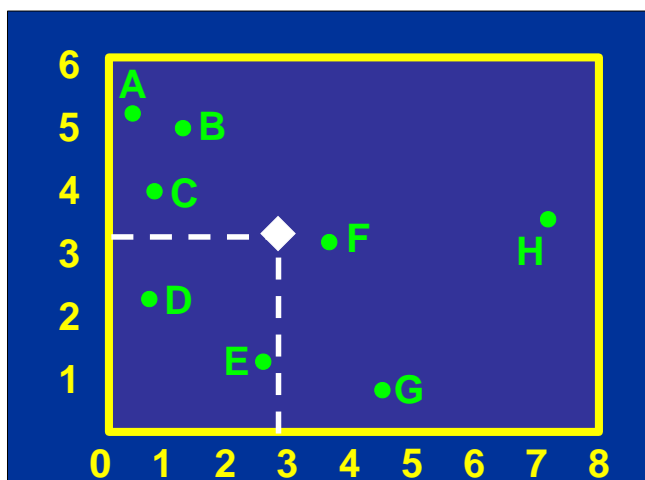


Рис.4.3 Приклад визначення центра тяжіння (центра мас)

Крім того, подекуди при визначенні центра розподілу точок останнім надають власні ваги, наприклад при оперуванні координатами точок виміру рівня радіоактивного забруднення ґрунту з урахуванням густини випадів радіонуклідів у цих точках. За таких умов можна обчислити центр розподілу, зважаючи на зазначений "ваговий" чинник. Тоді такий центроїд як різновид буде називатися **виваженим центром тяжіння** або **виваженим центром мас** і мати *координати центра розподілу з урахуванням вагових коефіцієнтів кожної точки* (рис.4.4).

Програми більшості ГІС-інструментарію здатні розраховувати центри тяжіння (центроїди) обох видів. Вони застосовуються у географії та науках про Землю, наприклад, при дослідженні активності певних популяцій у харчуванні, визначенні місцезнаходження торгового центру або підприємства при

аналізі попиту та збуту продукції, аналізі зміни центрів розселення видів у часі при вивчанні їхньої великомірильної міграції тощо.

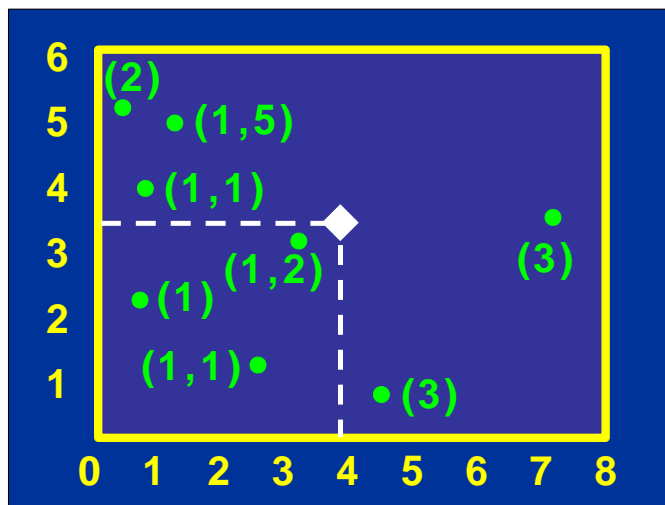


Рис.4.4 Приклад визначення виваженого центра тяжіння (центра мас) (в дужках – вагові коефіцієнти кожної точки)

Другий основний тип точкових об'єктів високого рівня – **вузли** – вже розглядався у р.2. У контексті цього розділу вузли є важливими як певні позначки на лінійних і площинних об'єктах. Вузли не існують як визначені об'єкти у растрових структурах даних, а от у векторних структурах атрибутивні вузли запроваджуються для позначення зміни геопросторових, а інколи і негеопросторових атрибутів. Загалом вузли кодуються явним чином в процесі введення інформації та повинні легко ідентифікуватися за рахунок простих процедур пошуку, крім випадків, коли є помилки кодування.

Найбільш важливими підвидом лінійних геопросторових об'єктів високого рівня є **межі**.

Межі подаються у вигляді ліній, при перетині яких передбачається суттєва зміна одного чи багатьох атрибутів прилеглих до меж областей. При цьому, наприклад кордони держав у геопросторовій БД повинні мати *специфічні власні атрибути меж*, які підкреслюють обов'язковий їхній статус як державних кордонів, а не як меж адміністративних провінцій, областей тощо.

За основні підвиди комбінованих об'єктів високого рівня правлять **мережі, полігональні угруповання точок і полігональні угруповання ліній**.

Як вже зазначалося, **мережі** може бути визначено як підвид комбінованих геопросторових об'єктів високого рівня у вигляді набору поєднаних *вузлів мереж* (точок чи полігонів) і *дуг мереж* (ліній або видовжених полігонів), уздовж яких є можливим просування (рух) від одного вузла мереж до іншого.

За конфігурацією мережі бувають **трьох основних різновидів** (рис.4.5):

- 1) *прямолінійні мережі*, наприклад автомагістралі;
- 2) *деревоподібні мережі*, наприклад річкові мережі;
- 3) *мережі у вигляді контурів*, наприклад певна комбінація вулиць, екологічна мережа тощо.

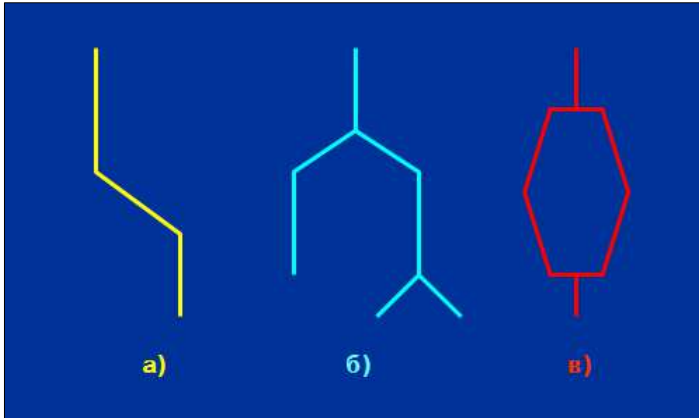


Рис.4.5 Різновиди мереж: прямолінійні (а) і деревоподібні (б) мережі та мережі у вигляді контурів (в)

Крім того, розрізняються *спрямовані* та *неспрямовані* мережі. У *спрямованих мережах* (англ. *directed networks*) рух за мережами може мати лише один напрямок. У *неспрямованих мережах* (англ. *undirected networks*) можливим є просування за мережами у будь-якому напрямку (приклад для вулиць наведено на рис.4.6). Подібні характеристики мереж має бути закодовано відповідним чином і ГІС-інструментарій, який застосовує векторні моделі даних, має здатність до збереження відповідних мережних атрибутів і моделювання певного руху за їхньою допомогою (див. *Samoilenko, 2006, 2012, 2017, 2019*).

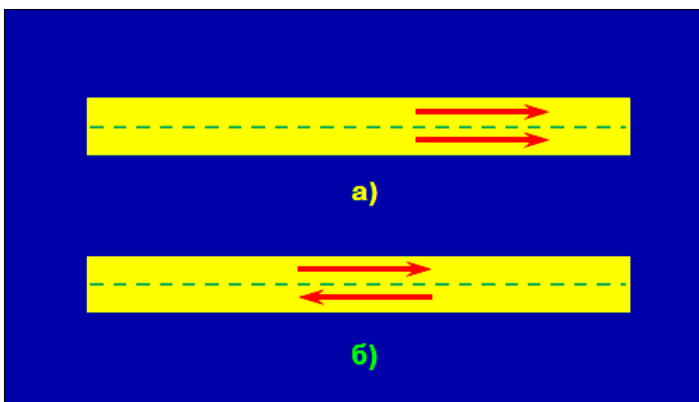


Рис.4.6 Спрямовані (а) та неспрямовані (б) мережі на прикладі вулиць з одностороннім і двостороннім рухом

Полігональні угруповання точок як другий і своєрідний підвид комбінованих геопросторових об'єктів високого рівня можуть утворюватися двома способами. По-перше, вони виникають *при групуванні точок за якісною ознакою і перетворенні таких угруповань точок вже у площинні об'єкти*. За приклад такого може правити полігон, утворений за точками з певним домінантним атрибутом, який змістово вирізняє таку область. По-друге, кількісні характеристики розподілу груп якісно однорідних точкових об'єктів – регулярність або випадковість – також можуть використовуватися для *визначення меж окремих полігонів як об'єктів високого рівня за межами певних угруповань точок*. Тобто мова йде про *полігони, які містять схожі за кількісними параметрами рисунки точкових розподілів* (приклад на рис.4.7).

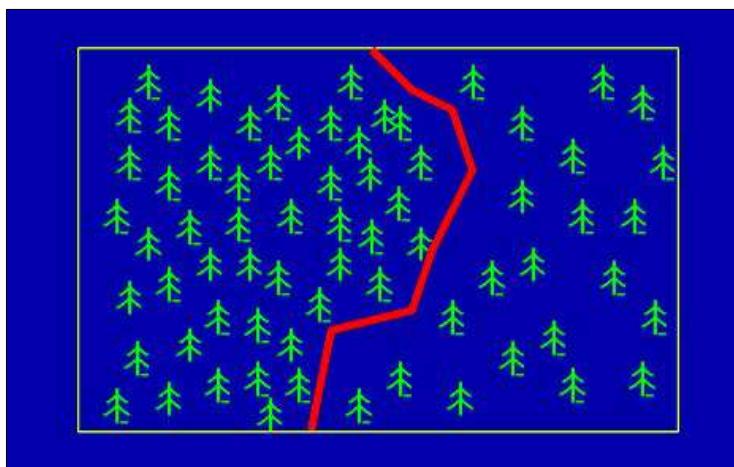


Рис.4.7 Приклад визначення меж полігонів за межами угруповань точок, вирізнених на основі щільності розміщення точкових об'єктів

Третім підвидом комбінованих геопросторових об'єктів високого рівня є **полігональні угруповання ліній**. Вони розрізняються за щільністю лінійних об'єктів, регулярним чи випадковим їхнім розподілом тощо з виокремленням відповідних полігонів. Приклад полігонів із різними категоризованими значеннями коефіцієнта густоти річкової мережі наведено на рис.5.76.

Площинні об'єкти високого рівня представлено **регіонами** схожих географічних характеристик. Вирізнення регіонів – політичних, фізико-географічних, економічних тощо – як ділянок земної поверхні, які мають певну єдність параметрів (атрибутів) їхніх суміжних або несуміжних полігонів-складників, становить один з найважливіших предметів дослідження географії та наук про Землю.

Можливість визначення регіонів за набором атрибутів, отриманих досить часто з декількох різних шарів, на основі великого різноманіття цих атрибутів є однією з найпривабливіших рис геоінформаційних технологій. І якщо у

цьому розділі ідентифікація регіонів трактується головним чином як виокремлення однорідних наборів геопросторових даних або їхніх комбінацій, то у наступному розділі цей аспект розглянуто вже з класичних позицій географії та наук про Землю – класифікаційних.



Рис.4.8 Виокремлення полігонів на основі щільності угруповань ліній (на прикладі фрагмента карти коефіцієнта густоти річкової мережі України за Атлас, 2000)

Треба завважити, що в окремих випадках регіони можуть подаватися і як області, які містять схожі "суміші" різних найчастіше непросторових атрибутів, а не тільки як ті, які утворено на основі однакових атрибутів.

Регіони різняться не тільки непросторовими атрибутами, а й *власною цілісністю та компоновкою у геопросторі*. За такого підходу розрізняються **три основні види регіонів** (рис.4.9):

- 1) *суцільні (однотв'язні) (англ. contiguous) регіони;*
- 2) *фрагментовані (неоднотв'язні) (англ. fragmented) регіони з суцільних або перфорованих полігонів;*
- 3) *перфоровані (англ. perforated) регіони.*

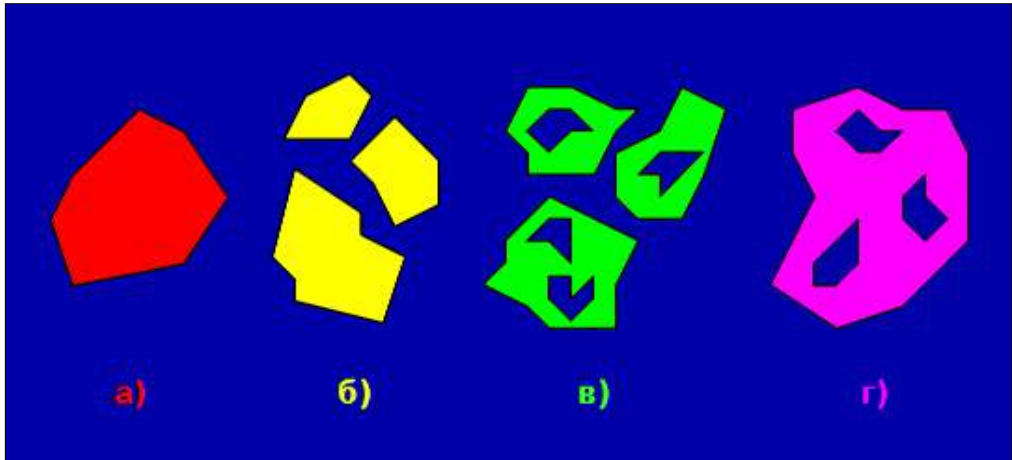


Рис.4.9 Приклади основних видів регіонів: суцільні (а), фрагментовані з суцільних (б) і перфорованих полігонів (в) та перфоровані (г) регіони

Примітка. Фрагментовані регіони можуть бути також *комбінованими*, тобто одночасно складатися і з суцільних, і з перфорованих полігонів.

Суцільний регіон утворює *одну суцільну область*, при цьому негеопросторові атрибути полігонів, які він об'єднує, можуть бути однаковими (*гомогенний регіон*) або різними (*гетерогенний регіон*).

Фрагментований регіон, знову-таки гомогенний або гетерогенний, складається з *двох або більше полігональних фігур, розмежованих геопростором, який не відноситься до цього регіону*. Для фрагментованого регіону немає обмежень на відстань між полігонами, які його утворюють, за умови збереження схожості атрибутів.

Перфорований регіон, на відміну від фрагментованого, не складається з окремих полігонів, а виключає їх. Тобто такий регіон є *зв'язною областю, з якої виключено певні внутрішні полігони*, які називають *отворами* або *островами* вже регіону. Зрозуміло, що якщо останні мають схожі між собою атрибути, то вони здатні утворювати свій власний регіон, але вже фрагментований.

Усі розглянуті у попередньому тексті об'єкти, як прості, так і більш високого порядку, мають розпізнаватися програмним забезпеченням з метою їхнього наступного аналізу. Але для обґрунтованого проведення такого геопросторового аналізу слід визначити *зміст і основні особливості вимірювань геопросторових атрибутів різних об'єктів у растрових та векторних структурах даних*. Ці особливості і розглянуто далі стосовно *лінійних і площинних об'єктів*, позаяк точки не мають геопросторової вимірності, а лише значення їхніх атрибутів.

Лінії мають лише одну міру величини – довжину. Власне *вимірювання довжини лінійних об'єктів* вельми відрізняється, насамперед за точністю, для інструментарію, який працює з растровими та векторними структурами.

У **растрових структурах** для ліній, орієнтованих точно за горизонталлю або вертикаллю вимір довжини не є проблемою та виконується шляхом множення числа комірок, через які проходить лінія, на величину геопросторового розрізнення растра. Дещо складнішим, за допомогою тригонометричних формул, є вимірювання довжини ліній, орієнтованих точно за діагоналями растра або під іншим постійним кутом. А от для *звивистих ліній*, які проходять випадковим чином за растром, *вимірювання довжини може призвести до великих помилок*, особливо при низькому геопросторовому розрізненні, коли цілі "петлі" ліній здатні потрапити лише в одну комірку растра (приклад на рис.4.10). У **векторних структурах** такі вади є відсутніми, позаяк ці системи зберігають координати крайніх точок кожного з відрізків, які утворюють лінію, і *точність вимірювання довжини ліній залежить лише від кількості їхніх форматворчих точок*. Чим більше останніх – тим вища точність (див. р.2).

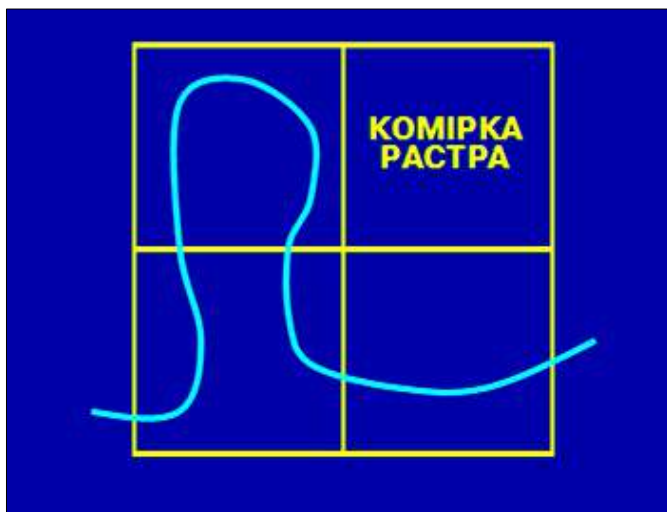


Рис.4.10 Лінійний об'єкт при низькому розрізненні растра (на прикладі звивини річки)

При **вимірюванні полігонів**, тобто визначенні лінійних і площинних мір областей, які є двовимірними об'єктами, результати таких вимірювань, як вже зазначалося на початку цього розділу, можуть використовуватися для категоризування площинних об'єктів за розмірами тощо.

Знаходження **лінійних мір полігонів** насамперед поєднане з визначенням довжини короткої та довгої осей полігона, зважаючи на їхню орієнтацію, співвідношення тощо. Це знаходить своє застосування при різних видах геопросторового аналізу. Зрозуміло, що задачі цього типу є більш складними для растрових структур. У всіх випадках при вимірюванні осей полігона простіше мати справу з т.зв. *опуклими полігонами*, тобто з тими, які цілковито знаходяться з одного боку будь-якої прямої, яка містить одну з сторін полігона.

У інших випадках досить часто застосовуються *спеціальні методи*, зокрема найменшої опуклої оболонки (DeMers, 2008) тощо. Визначення **периметра полігона** знову-таки наражається на *певні складності для растрових структур даних*, які вже розглядалися для ліній. Загалом же вимірювання периметра є досить корисною функцією ГІС-інструментарію, особливо якщо застосовувати відношення периметра області до її площі (див. наступний текст).

Обчислення площ полігонів є найбільш *нескладним для векторних структур даних*, тим більше, що у багатьох з них такі площі підраховуються при введенні об'єктів і заносяться у таблиці атрибутів. Вже зазначене **співвідношення "периметр / площа області"** є досить *стислою характеристикою складності полігонів*. Найменше таке співвідношення має круг, у той час як витягнуті полігони характеризуються його великим числовим значенням. Співвідношення "периметр / площа" досить часто використовують *для аналізу в географії та науках про Землю*. Наприклад, чим воно більше для певного водного об'єкта, тим більшою є довжина пляжів, на які зважають при рекреаційному освоєнні об'єкта. Чим менше зазначене співвідношення для ділянки лісу, тим більшою є ймовірність виявлення у ньому популяцій тварин, які віддають перевагу внутрішнім областям для мешкання. Це може бути важливим для збереження видів, моделювання екомережі тощо.

У цілому щойно зазначені аспекти, як і інші функціональні співвідношення, які можна віднести до **мір форми лінійних і площинних об'єктів**, є досить важливими для визначення стану геопросторових об'єктів, які досліджуються. Наприклад звивистість річки певним чином відображає особливості режиму її водного та твердого стоку тощо.

Доцільно зупинитися на *простих мірах форми* евклідової геометрії, позаяк застосування аналізу складних мір форм за допомогою фрактальної геометрії з використанням уявних чисел тощо наразі розвивається та обґрунтовується у спеціальних геопросторових дослідженнях.

Отже, для **характеристики лінійних об'єктів** застосовуються **дві прості міри форми**, поєднані із **звивистістю ліній**:

- 1) **власне звивистість лінії** (див. попередній текст);
- 2) **радіус вигину лінійного об'єкта**, визначення якого для як растрових, так і для векторних структур потребує спеціальної участі людини-оператора та, досить часто, застосування додаткових програм.

При вивченні **простих мір форми площинних об'єктів** принципово розглядаються **два види цих мір**:

- 1) *перший*, який поєднано з вже відзначеними фрагментованими та перфорованими регіонами, та який загалом носить назву *геопросторової цілісності регіону* (англ. *region geospatial integrity*);

- 2) *другий*, який відображає *конфігурацію меж полігона або суцільного регіону* та є досить близьким до вже розглянутого співвідношення "периметр / площа".

Найбільш розповсюдженою мірою **геопросторової цілісності регіону** є *функція Ейлера*, яка і презентує ступінь його фрагментованості та перфорованості. Функція Ейлера застосовує для порівняння двознакове число, яке зветься **числом Ейлера** (англ. *Euler number*) (E_N) і визначається за формулою

$$E_N = N_0 - (N_P - 1) , \quad (4.1)$$

де N_0 – сумарна кількість отворів у всіх полігонах фрагментованого регіону або кількість отворів у перфорованому регіоні; N_P – кількість полігонів у фрагментованому регіоні (для перфорованого регіону $N_P = 1$, тобто $E_N = N_0$).

Слід зважати на те, що навіть при однаковому числі Ейлера *фрагментовані регіони* можуть мати *різну геопросторову цілісність і компоновку* (приклад на рис.4.11).

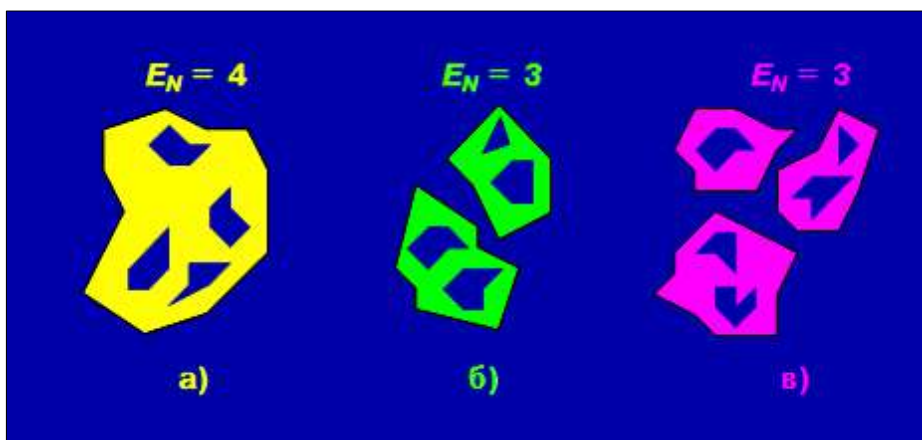


Рис.4.11 Приклади визначення чисел Ейлера: а) перфорований регіон з 4 отворами, $E_N = 4 - (1 - 1) = 4$; б) фрагментований з 2 перфорованих полігонів регіон, $E_N = 4 - (2 - 1) = 3$; в) фрагментований з 3 перфорованих полігонів регіон, $E_N = 5 - (3 - 1) = 3$

Другий вид мір форми полігонів, який відображає **конфігурацію меж полігона**, загалом об'єднує *міри*, отримані на основі *співвідношень довжин осей*, на основі *тільки периметра*, на основі *співвідношень периметра та площі*, *площі та довжин осей*, а також на основі інших характеристик, наприклад *округлості сторін*.

Досить розповсюдженим і інформативним при цьому способом є відображення **міри опуклості (або увігнутості) форми полігона при порівнянні її з кругом**, зважаючи, що при заданій площі круг має найменший периметр (довжину кола) у порівнянні з периметрами інших фігур. Загальна формула **індексу опуклості** (англ. *convexity index*) полігона (CI_V) для векторних структур має вигляд

$$CI_V = k P_V / S_V, \quad (4.2)$$

де P_V – периметр; S_V – площа; k – певний коефіцієнт, який визначається розмірами кола, описаного навколо полігона, таким чином, що індекс CI_V набирає значень в діапазоні 1 ... 100, причім більше його значення відповідає більшій подібності до круга, а при значенні $CI_V = 100$ оперують власне ідеальним кругом (колом).

Для растрових структур формулу індексу опуклості полігона (CI_R) за-сновано на аналогічній ідеї. Утім, для таких структур площа полігона визна-чається через кількість комірок растра. Тому застосовується корінь квадрат-ний з цієї площі для отримання відповідного діапазону із 1 ... 99 індексних значень подібності до круга, зважаючи, що у растровому форматі отри-мання ідеального круга або кола є неможливим. Власне формула індексу опу-клості за таких умов має вигляд

$$CI_R = P_R / S_R^{0.5}, \quad (4.3)$$

де P_R – периметр; S_R – площа в растровому форматі.

Для оцінки конфігурації меж полігона також використовується дещо більш складна міра, яка зветься **розвиненістю меж** і застосовує крайові фільтри (див. р.5).

Способи та результати **вимірювання відстаней**, як ще однієї з операцій елементарного геопросторового аналізу, за змістом призначено не тільки для подальшого простого визначення відношень між певними геопросторовими об'єктами, а й для безпосередньої оцінки руху (просування) до таких об'єктів, від них і навколо них. Тому принципово за змістом розрізняють міри *простих і функціональних відстаней*.

Визначення **простих** (або *евклідових*, тобто прямолінійних) **відстаней**, яке вже розглядалося, є відносно нескладним, як для растрових, так і для вектор-них структур. **Традиційний спосіб** такого визначення, наприклад щодо раст-рових структур, зведено до підрахунку кількості комірок між обраними точ-ками з можливістю подавання відстаней у стандартних одиницях шляхом множення числа комірок на величину геопросторового розрізнювання растра.

А проте, є і **інший спосіб визначення простих відстаней між точками**, за якого заздалегідь обчислюються *відстані від заданої точки до усіх інших можливих точок цифрового шару*.

У растрових структурах остання операція виконується шляхом *створення набору концентричних кіл з центром у заданій точці*. Кожне з них має радіус на одну комірку більше від попереднього, з отриманням у результаті і так зва-ної *ізотропної поверхні*, приклад якої у плоскому подаванні наведено на рис.4.12. При об'ємному подаванні ця поверхня за таких умов може зображу-ватися як конус, центр основи якого знаходиться в обраній точці.

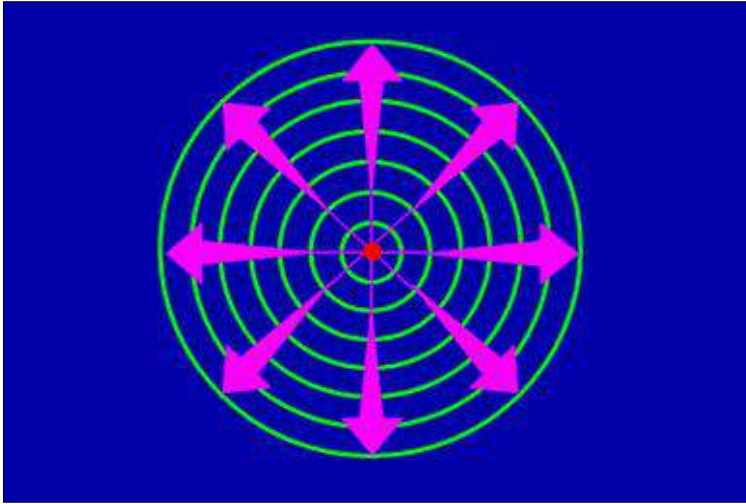


Рис.4.12 Приклад простих відстаней на увігнутій ізотропній поверхні

Існує *варіант щойно зазначеного способу визначення відстаней*, за яким вони вимірюються *не від точки, а від полігона*, наприклад відстані від межі міста тощо. За такого варіанта отримується "карта руху" до всіх точок шару вже не від точки, а від заданих меж полігона. При цьому загалом під **ізотропною поверхнею** розуміється *поверхня з однаковими властивостями незалежно від напрямку руху за нею* та на відміну від **анізотропної поверхні** (див. приклад далі).

Векторні структури даних не задають явним чином параметри геопростору у проміжках між введеними об'єктами. Тому у таких проміжках, зрозуміло, ускладнено і розрахунки відстаней за щойно поданим способом. Розв'язання цієї проблеми, яка відповідно стосується і створення ізотропних або анізотропних поверхонь, вимагає *спеціальних векторних моделей поверхонь*. До них відноситься, наприклад, досить розповсюджена *модель TIN*, розглянута у р.2. За її допомогою визначаються відстані, про які йде мова, та здійснюються інші супутні операції, але з великими обчислювальними витратами. Тому користувачі, які моделюють поверхні, досить часто обирають для цього растрові структури та моделі, особливо саме за необхідності зазначеного вимірювання відстаней тощо на поверхнях.

Для *переходу до розгляду функціональної відстані* слід зважати на такі моменти. Рух за прямою досить часто може обмежуватися або складною місцевістю, або перешкодами (бар'єрами).

При цьому вирізняються, *по-перше*, т.зв. **фрикційні поверхні (поверхні тертя)** (англ. *friction surfaces*) – *поверхні, які сповільнюють рух ними, збільшуючи час досягнення потрібної точки у порівнянні з поверхнею без тертя (опору)*. Таку фрикційну поверхню, до того ж анізотропну, зображено в плоскому поданні на рис.4.13.

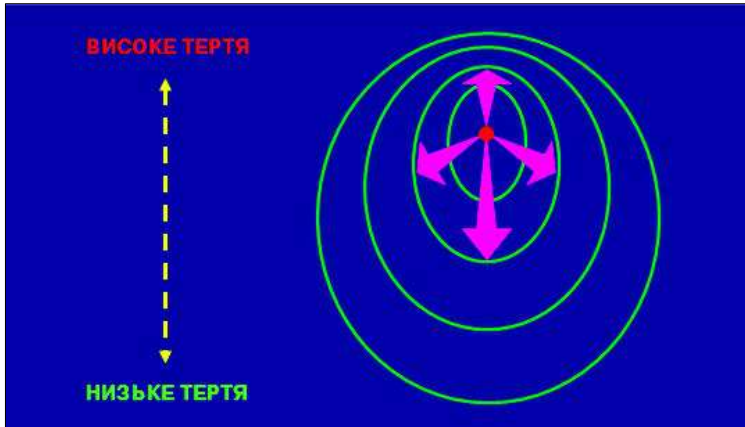


Рис.4.13 Приклад увігнутої анізотропної фрикційної поверхні та функціональних відстаней

По-друге, вирізняються **бар'єри двох типів**:

1) **абсолютні**, рух через які є неможливим (наприклад, скелі, огорожа, водний об'єкт тощо);

2) **умовні (відносні)**, які адекватні за змістом фрикційним поверхням, але займають лише невеликі ділянки шару з відмінним від сусідніх тертям (опором).

Абсолютні бар'єри *зупиняють або відхиляють рух*, а відносні бар'єри та фрикційні поверхні *накладають певну, зокрема додаткову, вартість на рух*, сповільнюючи його або вимагаючи більших витрат (енергії, часу тощо), але є *переборними* (приклад – на рис.4.14).

При русі *ізотропною поверхнею без бар'єрів*, програмне забезпечення, наприклад щодо растрових структур, просто "додає" одну комірку растра на одиницю шляху. Тоді *результувальна поверхня функціональних відстаней буде схожа до поверхні простих геометричних відстаней*, незалежно від того, яке за величиною значення т.зв. **імпедансу** (англ. *impedance*), або, іншими словами, **опору**, припадає на одиницю шляху. Для бар'єрів (див. рис.4.14) значення імпедансу у їхніх комірках різко зростають і *у місці умовних, тобто переборних бар'єрів графік відповідних витрат на рух робить вертикальний стрибок*. При цьому умовні бар'єри можуть бути як лініями, так і площинними об'єктами, до того ж неоднорідними за значеннями імпедансу. А от *абсолютний бар'єр*, розвиваючи ідею умовного, можна уявити собі як *бар'єр з імпедансом, значення якого роблять бар'єр непереборним в межах заданих для оцінювання умов*.

Примітки.

1. Умовні бар'єри можна розглядати і як ділянки фрикційної поверхні на поверхні без опору, і як ділянки загальної фрикційної поверхні шару з більшим за сусідні ділянки імпедансом.

2. Абсолютні бар'єри можуть існувати на поверхнях з опором або без нього.

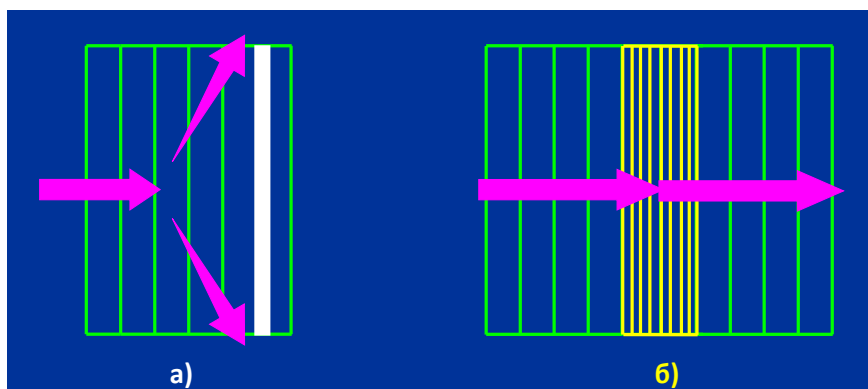


Рис.4.14 Приклад абсолютних (а) і умовних (б) бар'єрів у рядку растра

Власне ж **функціональну відстань** (англ. *functional distance*) у цілому можна кваліфікувати як *відстань, при вимірюванні якої враховують вартість просування (руху) фрикційною поверхнею чи через переборні бар'єри, або в обхід непереборних бар'єрів.*

Крім того, що відстань може розглядатися як проста (евклідова, за прямою) або неевклідова (за ламаною), "безопірна" або функціональна, на ізотропній або анізотропній поверхні, вирізняється ще таке поняття, як **інкрементна або та, що накопичується, відстань** (англ. *incremental or cumulative distance*). Ця відстань формується з довжин етапів пройденого шляху, коли кожний наступний етап додається просто як міра довжини. При цьому **інкрементна відстань** кваліфікується як *найкоротший шлях між двома точками без урахування опору під час руху.*

Якщо інкрементна відстань вимірюється за всією поверхнею, то отримують **поверхню найкоротших відстаней**. Якщо ж обмежуються лініями або дугами чи лінійними групами комірок растра, то мова йде щодо **ліній найкоротших відстаней**.

При оперуванні функціональними відстанями на поверхні з опором (топографічній тощо), окремою оптимізаційно-ітераційною задачею є **пошук маршруту найменшої вартості** (англ. *least-cost routing*) як *пошук найменшої за вартістю (витратами) відстані (англ. least-cost distance) між двома точками шару*. Аналогічним чином можна отримати і **поверхню найменшої вартості** для пересування з однієї точки в усі інші точки шару.

Примітка. У реальних задачах зазвичай враховуються вартісні показники декількох цифрових шарів, які за допомогою вагової функції приводяться до певного загального вартісного шару.

Наприклад, при оперуванні *топографічною растровою поверхнею*, на якій *вартість руху поєднано зі зміною значень висот від комірки до комірки,*

процес відшукування маршруту найменшої вартості можна умовно порівняти з розміщенням вододжерела на вершині поверхні та відстеженням руху (стоку) води. Останній і промаркує *шуканий маршрут як маршрут найменшого опору*. Тобто при цьому, починаючи з верхньої комірки, визначається серед восьми сусідніх комірок з найменшим значенням імпедансу, у цьому випадку з *найменшим значенням висоти*, і так само далі. Для створення маршруту найменшої вартості досить часто як команди в операторах або інструментах програмного забезпечення використовують такі слова, як "стік" (*англ. flow*) або "потік (річка, водотік)" (*англ. stream*). Це змістово і відображає щойно наведений приклад, проілюстрований на рис.4.15.

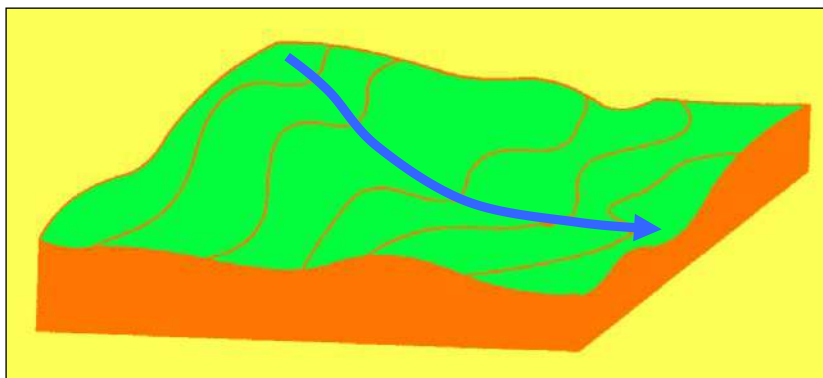


Рис.4.15 Визначення маршруту найменшої вартості на топографічній поверхні на прикладі водотоку, який бере початок на пагорбі

У *векторних структурах* для визначення відстаней застосовується серія модифікацій стандартної теореми Піфагора. Слід нагадати, що для **евклідової (простой)**, тобто прямолінійної **відстані** між двома точками (d_y) для координат використовується формула

$$d_y = \{(X_i - X_j)^2 + (Y_i - Y_j)^2\}^{0,5} . \quad (4.4)$$

У випадку неможливості руху за прямою, тобто коли є певна перешкода (абсолютний бар'єр), що змушує відхилитися від прямої, і просування здійснюється за ламаною лінією, застосовується *узагальнений варіант формули (4.4) для неевклідової відстані*, а саме

$$d_y = \{(X_i - X_j)^k + (Y_i - Y_j)^k\}^{1/k} , \quad (4.5)$$

де k – певний коефіцієнт з діапазону його можливих значень за (DeMers, 2008).

Будь-яку відстань у векторній структурі може бути знайдено за допомогою використання відповідного коефіцієнта у формулі (4.5), причім це стосується і фрикційних поверхонь. Наприклад, за (DeMers, 2008), при $k = 0,6$ можна знайти найкоротшу відстань в обхід такого бар'єра, як озеро, ставок тощо.

5 КЛАСИФІКАЦІЯ ТА ПЕРЕКЛАСИФІКАЦІЯ ГЕОПРОСТОРОВИХ ОБ'ЄКТІВ

Класифікація геопросторових об'єктів, як і будь-яка класифікація об'єктів чи явищ у географії та науках про Землю, є складним і дуже важливим процесом. Він методично практично повністю зумовлює *способи аналізу геопросторових даних* і істотно визначає висновки такого геопросторового аналізу. Більше того, прийнятий спосіб класифікації при формуванні сучасних геопросторових БД впливає і на вибір *засобів спостереження* – наземних, повітряних, космічних тощо. **Класифікації** можуть бути **монокритеріальними**, наприклад за родом ландшафту, або **багатокритеріальними**, наприклад спільно за висотою, кількістю опадів, випаровуваністю тощо. При цьому певні класифікації можуть створюватися шляхом *комбінування багатьох параметрів з різних цифрових шарів*, а способи класифікації одного набору шарів можуть істотно змінюватися в залежності від поставлених конкретних завдань.

Через вищезазначене, цей розділ присвячено стислому викладу *певних особливостей і базових методів класифікації геопросторових об'єктів*, які можуть використовуватися для геопросторового аналізу. Чудовою властивістю останнього є те, що вихідна або прийнята класифікаційну схему може бути на певному етапі аналізу розкладено на її складники або доповнено даними нових шарів. Тобто ГІС-інструментарій тощо створює безліч можливостей **як для класифікації, так і для перекласифікації** об'єктів досліджень.

Якщо розглянути певні загальні *особливості класифікації* для геопросторового аналізу, то слід зазначити таке.

У цілому сутність класифікації повинна зводитися до **формування критеріальної системи**. Остання дає *розуміння головних рис функціонування певних об'єктів досліджень і відмінностей такого функціонування від інших об'єктів*, зокрема визначеного за іншими класифікаційними схемами.

Класифікаційна схема насамперед залежить від **типу об'єктів**, які обрано для групування. Зрозуміло, що різними є класифікації рослинності, ґрунтів, геологічних формацій тощо.

Класифікації можуть бути **простими**, як класифікації рослинності на основі лише її видів, або **функціональними**, як категорювання геосистем, а не лише їхньої рослинності.

Варіанти класифікації досить часто визначаються **мірилом геоінформаційного картографування**, коли, наприклад, та ж рослинність відображається не для окремих регіонів, а для всієї Земної кулі тощо.

Класифікаційну схему може бути цілком орієнтовано на **функціональні обов'язки або повноваження** певної організації чи установи, або вона може визначатися **способом отримання вихідних даних**, наприклад за допомогою супутникового дистанційного зондування тощо.

Класифікаційні схеми за **цільовим принципом** може бути адресовано **відомій або передбачуваній взаємодії чинників**, які покладено в основу таких схем. За приклад такого правлять класифікації ландшафтно-геохімічних систем, бонітету земельних ресурсів у аспекті їхньої придатності для різних видів використання чи освоєння тощо.

Іншою стороною **цільового спрямування** класифікацій є те, що їх спрямовано на **кінцевих користувачів**. До того ж, геопросторові БД, на відміну від традиційних "негнучких" для використання карт, можуть *зберігати вихідні дані, які підпали або не підпали під класифікацію*, та обробляти такі дані будь-яким заданим чином. Це сприяє більш точному орієнтуванню класифікаційної схеми на потреби користувачів із збільшенням її корисності.

Загалом геоінформаційні технології забезпечують широкі можливості класифікації та перекласифікації *атрибутивних даних* для досягнення щойно зазначеної корисності. Слід зважити і на те, що фактично *застосування ГС-інструментарію найчастіше зведено саме до перекласифікації*, оскільки дані, які вводяться у геопросторову БД, зазвичай вже є класифікованими на тому чи іншому рівні. При цьому *користувач БД*, з одного доку, може реалізувати вже існуючу класифікацію через безпосереднє категорювання об'єктів, до яких вона застосовується. З іншого боку, він може *комбінувати наявні атрибути для створення класифікації, яка краще відповідає поставленим задачам чи наміченим рішенням*. Останнє власне і визначає зміст **перекласифікації об'єктів**.

Примітка. За такого підходу до перекласифікації загалом складніше розрізнити за змістом і послідовністю виконання "нову" класифікацію та "нове" категорювання об'єктів згідно з пропозиціями р.1 і р.4. Тому для спрощення далі скрізь у цьому розділі жививається лише термін "перекласифікація".

Доцільно розглянути деякі **найпростіші операції з перекласифікації** для геопросторового аналізу.

У *растрових структурах* точки, лінії та області може бути перекласифіковано **простим перекодуванням атрибутів у їхніх таблицях або перекодуванням значень комірок растра** для створення нових точкових, лінійних і інших шарів. У такому простому процесі користувач лише змінює атрибути об'єктів, базуючись практично на вже розглянутих принципах роботи з площинними об'єктами у растрових моделях.

У *векторних структурах* щойно зазначена операція з перекласифікації вимагає зміни як **атрибутів, так і координат меж об'єктів**. При цьому, поперше, слід виконати субоперацію, яка зветься **розчиненням меж**. Вона полягає у видаленні всіх ліній, які розмежовують два чи більше класи (категорії) об'єктів, які об'єднуються. По-друге, наступним кроком є *перезапис атрибутів* зазначених класів (категорій) для всіх відповідних об'єктів нового цифрового шару у вигляді нового єдиного атрибута (приклад для двох класів і полігонів наведено на рис.5.1).

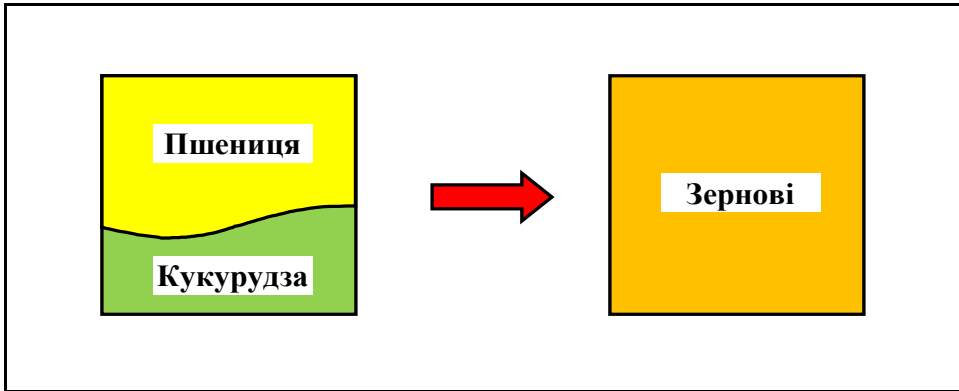


Рис.5.1 Приклад найпростішої перекласифікації для векторних структур даних: субоперація з розчинення меж (об'єднання класів "пшениця та "кукурудза" в більш крупний клас "зернові")

Загалом операції з перекласифікації і для растрових, і для векторних структур, які мають своїм наслідком зменшення кількості вихідних категорій (класів) внаслідок їхнього обумовленого об'єднання, називаються **агрегацією даних** (англ. *data aggregation*).

До цих пір розглядалися найпростіші операції з перекласифікації об'єктів за даними лише стосовно номінальної шкали вимірювань. Утім цей процес є нескладним і для інших шкал – порядкової тощо (див. р.1). Він найчастіше реалізується шляхом застосування **рангованих** (англ. *ranged*) **класифікацій** і зводиться до *перекодування атрибутів на основі нових категорійних інтервалів, у які вони потрапляють*. При цьому, як і для номінальної шкали, здійснюється заміна кодів комірок растра або заміна атрибутів і розчинення меж. Натомість одночасно стає можливим виконання таких функцій, як упорядкування комірок растра чи міток полігонів, їхня інверсія або виконання інших перетворень, які містять математичні операції з даними, зокрема множення, ділення тощо.

Найпростіша перекласифікація на основі насамперед змістової атрибутивної інформації – лише один з чотирьох загальних методів перекласифікації (Samoilenko, 2012). Три інших з них базуються також на відомостях про місцезнаходження, розмір і форму геопросторових об'єктів. При цьому важливою особливістю геопросторового аналізу є те, що три зазначених останніми методи, як і перекласифікація за негеопросторовими атрибутами, *не вирізняються як окремі, а комбінуються між собою*, формуючи зміст **складних операцій з перекласифікації**. До них належать *аналіз функцій сусідства геопросторових об'єктів, застосування фільтрів, буферів тощо* і ці операції послідовно стисло розглядаються далі.

Таким чином, стосовно **аналізу функцій сусідства геопросторових об'єктів** слід зазначити, що існують *процедури перекласифікації об'єктів*,

засновані на ідеї характеристики кожного з них як частини більшого **оточення об'єктів**.

Оточення (син. сусідство) об'єктів при перекласифікації може розглядатися з **двох позицій**.

По-перше, оточення може визначатися, базуючись на спільному атрибуті, який об'єднує всю обрану для дослідження територію (*цільову область*), і місцезнаходженні останньої у цілому. Така перекласифікація зветься **загальним аналізом сусідства** (англ. *total analysis of neighborhood*). Цей аналіз, який також зветься **аналізом розширеного оточення** (англ. *analysis of extended neighborhood*), стосується *перекласифікації атрибутів об'єктів, зі зміною їхніх меж тощо, розташованих як всередині чи у безпосередній близькості до меж цільової області, так і віддалених на певну відстань від неї*.

По-друге, перекласифікація як **цільовий аналіз сусідства** (англ. *targeted analysis of neighborhood*) або **аналіз безпосереднього оточення** (англ. *analysis of immediate neighborhood*) стосується вже лише об'єктів, які безпосередньо прилягають до меж цільової області.

Загалом детальну диференціацію функцій сусідства наведено у (DeMers, 2008). У цьому ж розділі слід зазначити, що **функції сусідства** для аналізу (перекласифікації) розширеного або безпосереднього оточення дво- та тривимірних об'єктів розподіляються на:

1) **статичні функції сусідства** (англ. *static neighborhood functions*), областю визначення яких є вся цільова область;

2) **функції сусідства у вигляді ковзного вікна** (англ. *roving window neighborhood functions*), коли аналіз (перекласифікація) послідовно проводиться лише в межах вікна певних розмірів, яке переміщується за шаром (до речі, такі функції можна застосовувати для характеристики розвиненості меж області, див. р.4).

Зазначені "віконні" функції називаються також **фільтрами**, особливо якщо саме вікно є матрицею чисел, які правлять за операнди у виразах із значеннями атрибутів комірок **растра**.

Перекласифікація за допомогою фільтрів зазвичай часто використовується при обробці даних дистанційного зондування, а проте має таке ж розповсюдження і при застосуванні ГІС-інструментарію для растрових структур геопросторових даних.

Зокрема для **растрових структур** можна вирізнити такі **види фільтрів**:

1) **фільтри високих частот (ФВЧ)** (англ. *high path filters*). Їх призначено для вирізнення певних деталей об'єктів растрового шару, які можуть бути непомітними через розташування поряд комірок растра, які містять відносно близькі значення атрибутів, зокрема для вирізнення чи уточнення меж площинних або лінійних об'єктів;

2) **фільтри низьких частот (ФНЧ)** (англ. *low path filters*). Вони застосовуються для уточнення, шляхом посилення або усереднення, загальних

градієнтів геопросторових об'єктів і абстрагування від дрібних флуктуацій і шуму (див. *Samoilenko et al., 2019, 2025*) у растровому зображенні;

3) **спрямовані фільтри** (англ. *directional filters*), які призначено для підкреслювання або уточнення орієнтації геопросторових об'єктів.

Більшість видів ГІС-інструментарію, які виконують фільтрацію, тобто застосовують при перекласифікації функцію ковзного вікна, дозволяють при цьому *змінювати розмір матриці та значення її коефіцієнтів (операнд)*. Чим більшим є розмір матриці, тим більше просторове усереднення можна отримати для ФНЧ, позаяк більше число комірок бере участь в усередненні. Для ФВЧ при збільшенні розміру матриці може бути отримано більш якісне вирізнання дрібних особливостей області або поверхні. Оптимальний розмір і коефіцієнти матриці у зазначених випадках досить часто встановлюються шляхом ітерації.

Загалом у більшості програмного забезпечення геопросторового аналізу є велика кількість команд та їхніх опцій, призначених для класифікації та перекласифікації оточення. Причём це стосується не тільки ліній і полігонів, а й більш складних шарів поверхонь, наприклад топографічних тощо. Тому доцільно розглянути *застосування характеристик поверхонь при перекласифікації оточення*. За ці характеристики досить часто правлять такі **чотири параметри поверхонь**, як **похил, експозиція (аспект) схилів, поперечний профіль і взаємна видимість**. Слід зупинитися на цих характеристиках окремо, зважаючи однак на те, що вони можуть бути застосовними і у їхній комбінації.

Отже, коли у поверхнях досліджується *зв'язок між горизонтальною відстанню та відповідною різницею значень поля третього виміру*, використовується *відношення* другої величини до першої, що власне і є величиною **похилу поверхні**.

Для растрової поверхні визначення такого відношення не викликає утруднень, якщо компенсувати похибки, які виникають через дискретність растрового геопростору. Для векторної ж структури потрібна модель, подібна до моделі TIN (див. р.2). Зазвичай ГІС-інструментарій "прораховує" відношення зміни значень поля третього виміру на одиницю відстані *для всього шару*, створюючи *набір категорій величини похилу*. Якщо користувачу потрібна менша кількість таких категорій, то він перекласифіковує зазначений вихідний набір.

Не дивлячись на те, що методи оцінки похилу розроблені та застосовуються найбільш широко саме для топографічних поверхонь, останні, як було з'ясовано у р.1 та р.2 можуть бути і будь-якими іншими за їхнім третім виміром. Більше того, у р.6 уявлення про поверхні розвивається стосовно довільних видів поверхонь, параметри яких вимірюються в шкалах рангів, інтервалів і відношень. Такі поверхні звуться **статистичними поверхнями** (англ. *statistical surfaces*) і вони є тривимірним подаванням у плоскому або

об'ємному вигляді геопросторово розподілених даних (див. детальніше р.6). Таким чином, за допомогою статистичних поверхонь створюється можливість *аналізувати величину похилу (градієнт) поверхні будь-якого геопараметра*, який є наприклад неперервним за шаром, тобто температуру, опади тощо. При цьому зрозуміло, що номінальна шкала вимірювань є непридатною для такого аналізу.

У **векторних структурах**, для яких ГІС-інструментарій застосовує модель TIN, програма просто "порівнює" різницю значень третього виміру між вершинами кожної грані TIN (англ. TIN facet) з відповідними горизонтальними відстанями. Такі значення для вершин граней і відстані може бути вибрано з БД. Тому похили, наприклад топографічної поверхні, може бути розподілено на ті, що мають крутизну меншу за 25% як придатні для забудови, і ті, у яких крутизна більша за 25% як непридатні для забудови тощо. Таким чином у наведеному прикладі наочно проілюстровано *перекласифікацію топографічної поверхні за величиною її похилу* для вирішення задач забудови.

Як прості, так і складні операції з перекласифікації поверхонь на основі врахування лише їхнього похилу можуть виконуватися і щодо **растрових структур даних**. Найпростіша така операція полягає в оцінюванні восьми безпосередніх сусідів кожної комірки растрового шару як центральної. За допомогою ПЗ за вісьмома найближчими до центральної комірки будується площа шляхом пошуку або **найбільшої величини похилу** для обраного оточення, або **середнього похилу як тренду поверхні**. При цьому використовується розрізнювання растра як міра відстані за сторонами або діагоналями комірок і порівнюються значення атрибута центральної комірки із значеннями атрибута всіх комірок оточення (приклад – на рис.5.2).

Існує досить *багато способів обробки інформації щодо похилів поверхні* у векторних і растрових моделях, особливо тих способів, які застосовують методи нелінійної інтерполяції, зокрема *крігінг* (англ. kriging), *операції підгонки поверхонь* (англ. surface fitting) для генералізації третього виміру поверхонь з показом їхнього тренду (див. рис.5.2) тощо. Такі методи докладно висвітлено у (Samoilenko, 2024) і буде частково розглянуто у р.6.

Позаяк поверхні мають похил, зрозуміло, що вони мають і орієнтацію, яку називають **експозицією** або **аспектом** (англ. aspect, практично син. азимута) **схилів**. Вирішення таких задач, як, наприклад, оптимальне розміщення вітрових енергогенераторів, аналіз рослинності схилів, орієнтованих на північ і на південь, тощо, і виконується за допомогою операцій, на основі яких здійснюється *класифікація та перекласифікація поверхонь за експозицією їхніх схилів*.

Для **векторних структур**, де ГІС-інструментарій використовує модель TIN, така перекласифікація поверхонь є *аналогічною до ситуації з похилами*. Тобто, наприклад, з БД можна вибрати потрібні величини експозиції схилів і згрупувати їх у обрані категорії. Наприклад, при біоценологічному аналізі таким чином можна визначити орієнтовані на північ схили з азимутом у

діапазоні від 345° до 15° і орієнтовані на південь з діапазоном аспекту від 165° до 195° , відкинувши з розгляду всі інші поверхні, тощо.

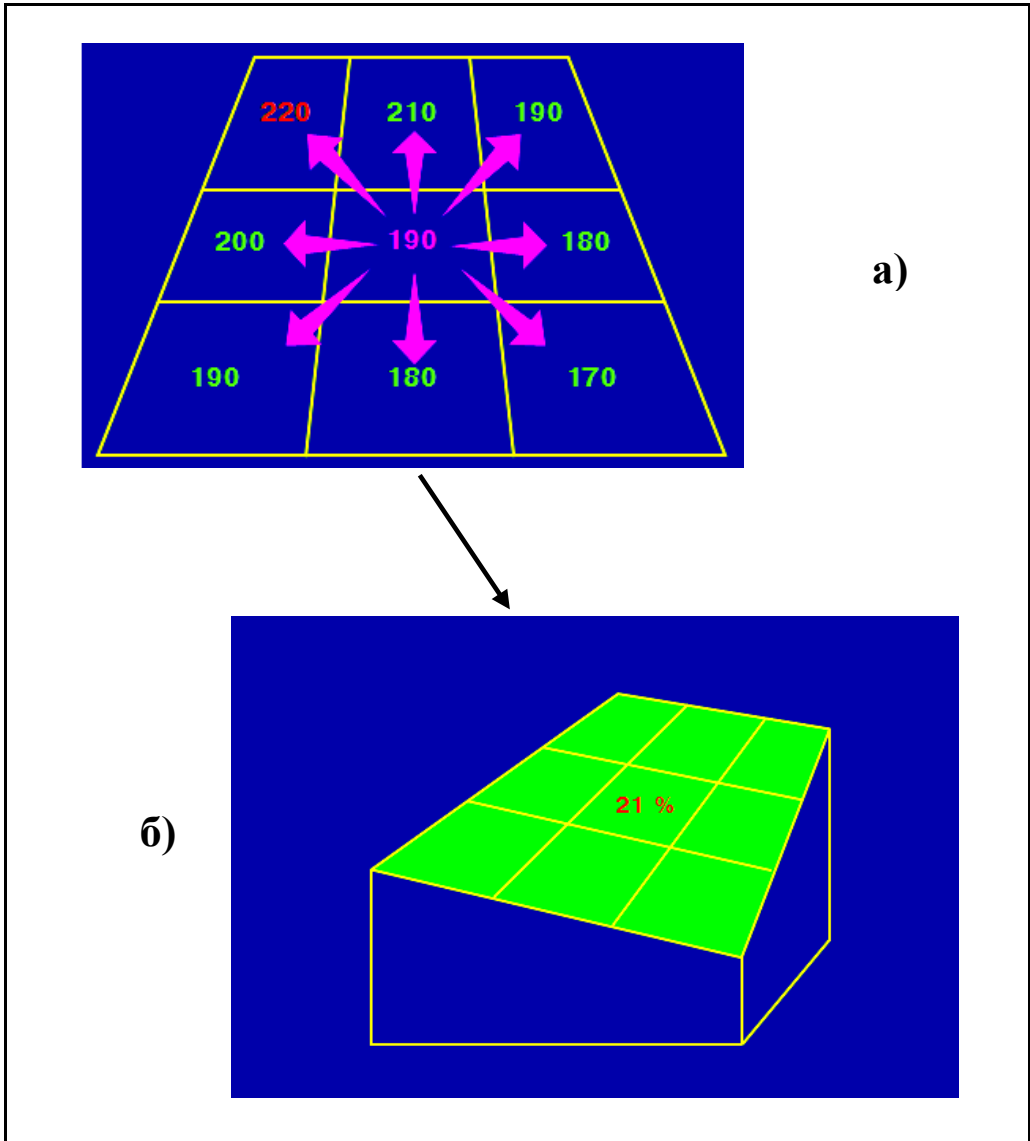


Рис.5.2 Приклад визначення максимального (а) та середнього похилу (тренду) (б) поверхні в растрі

Для **растрових структур** для перекласифікації за експозицією схилів знову-таки слід відповідно послідовно розглянути всі комірки як центральні у порівнянні з їхніми сусідами. Результати аналізу аспекту схилів у растрі можуть подаватися як у градусах, так і більш простим набором чисел, які за змістом нагадують векторні ланцюжкові коди Фрімена-Гофмена (див. р.2).

Корисну можливість перекласифікації статистичних поверхонь поєднано з оцінюванням їхньої форми. Найпростішим способом візуалізації форми поверхні є побудова її **поперечного профілю** (англ. *cross-sectional profile*). Цей процес легко виконується для **векторної структури** з використанням моделі TIN, де лінія профілю проводиться за певною ділянкою шару. Для **растрової структури**, якщо вона не має засобів побудови профілів поверхні, застосовується *допоміжний метод*. Він зводиться до пошуку на основі зіставлення сусідніх комірок, який орієнтовано на перегляд горизонтальних рядків, вертикальних стовпців або навіть діагональних наборів комірок растра з присвоєнням відповідних кодів, які відображають зростання, зниження та інші послідовні комбінації значень третього виміру комірок.

Усі вищезазначені характеристики поверхонь (похил, експозиція схилів, поперечний профіль), які застосовуються для різних видів перекласифікації, характеризують всю поверхню або її точки по відношенню до сусідніх. Утім, поверхня, наприклад рельєф, може аналізуватися і більш складним чином. Для цього використовується така її характеристика, як **взаємна видимість** (англ. *intervisibility*), яка відображає ступінь видимості певних ділянок поверхні цифрового шару з обраних точок. Для **векторних структур** найпростіша операція з визначення взаємної видимості починається з поєднання місцезнаходження спостерігача з кожною заданою цільовою точкою шару. Потім з останньої виконується трасування променів (англ. *ray tracing*). При ньому рух здійснюється вздовж лінії кожного променя з визначенням точок із значеннями полів третього виміру, наприклад відміток висот для рельєфу тощо, які перевищують аналогічні значення цієї лінії. Саме такі точки і будуть заступати для спостерігача ділянки поверхні шару, які знаходяться за ними. У цілому існує багато і більш складних способів визначення ділянок видимості для векторних структур даних, зокрема з використанням TIN. Для **растрових структур** є також подібні за змістом способи визначення видимості, але вони мають більшу обчислювальну вартість. Слід зважати і на те, що коли ділянки видимості будуються для топографічних поверхонь, то зазвичай враховуються відмітки поверхні Землі, хоч інколи при цьому можуть додатково орієнтуватися і на інші відмітки, а саме на висоти дерев, будівель тощо.

Як було зазначено, до складних операцій з перекласифікації належать також операції з побудови т.зв. **буферів** (англ. *buffers*). Під ними розуміються полігони з межею на певній відстані від точки, лінії або контуру області.

На перший погляд **буферизація** відноситься до операцій з перекласифікації об'єктів на основі лише їхнього місцезнаходження та геопросторових атрибутів. Утім, буфер може визначатися не просто однаково відкладеною в усі боки відстанню від меж обраного геопросторового об'єкта. Наприклад, буфер річки, зображений на рис.5.3, було створено перекласифікацією області по обидві сторони цього лінійного об'єкта для відрізнення певних прируслових ділянок від загального тла області долини річки.

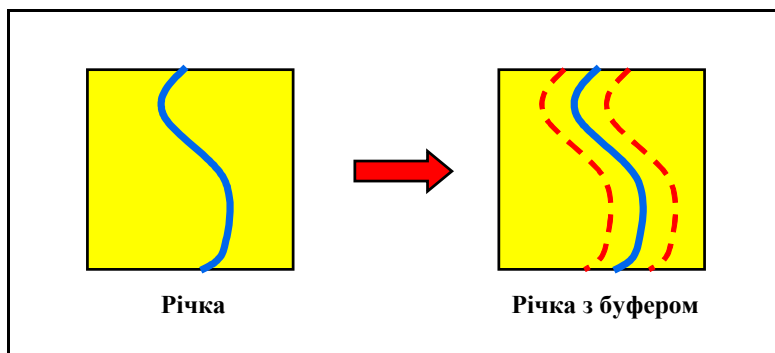


Рис.5.3 Буфер лінійного об'єкта на прикладі річки

Тобто *буферизація*, крім вихідної детермінованості місцезнаходженням, формою та орієнтацією об'єктів, може зумовлюватися і їхніми *негеопросторовими атрибутами*, поєднаними з наявністю поверхонь ґрунту, бар'єрів тощо. Власне буфер може зберігатися в *окремому шарі* і певний ГІС-інструментарій до того ж має окремі спеціальні оператори для побудови буферів.

Таким чином, *буферизація безпосередньо проводиться шляхом відкладання певної заданої чи обумовленої відстані від геопросторового об'єкта* – точки, лінії або області. **Буфер точки** маркується однаковою відстанню за всіма напрямками від цієї точки, а **буфер полігона** будується на певній однаковій відстані від межі такого об'єкта (рис.5.4). Бувають випадки, коли застосовуються **кільцеві буфери** (англ. *doughnut buffers*) (приклад на рис.5.5).

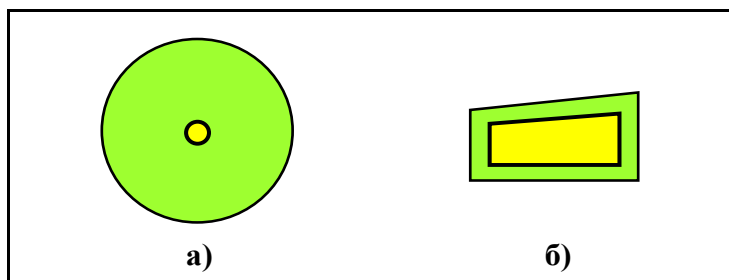


Рис.5.4 Приклади буферів точки (а) та полігона (б)

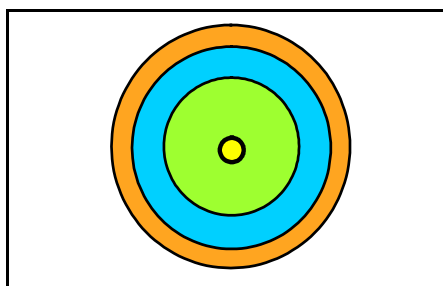


Рис.5.5 Приклад кільцевого буфера точки

Примітка. Для векторних структур даних, як вже зазначалося раніше, існує необхідність явного кодування топологічної інформації, зокрема для кожного нового об'єкта, який створюється. Також, крім іншого, потрібна інформація щодо зв'язків між геопросторовими об'єктами. У випадку відсутності останньої, саме процедуру багаточислової буферизації і покликано створити за потреби наприклад острівний полігон, який не є поєднаним явно з сусіднім полігоном чи полігонами, тощо.

Принциповим питанням при буферизації є задавання **розмірів буферів, за способом обґрунтування яких вирізняють чотири види буферів:**

1) **довільні буфери** (англ. *arbitrary buffers*). Вони повністю відповідають своїй назві і встановлюються досить часто *на основі інтуїції* або інформації з невідомих джерел чи *взагалі навмання*;

2) **спричинені буфери** (англ. *causative buffers*). Вони будуються з огляду на *апріорні уявлення щодо розмірів буферів*. Наприклад, якщо створювати буфер навколо річки, виходячи з можливості надходження в неї політантів внаслідок площинного змиву та фільтрації, і знати при цьому, що лівий берег є піщаним а правий – глинистим, то зрозуміло, що ширина буфера з правого берега буде більшою;

3) **вимірні буфери** (англ. *measurable buffers*). Вони створюються *на основі визначеної, вимірної величини або величини, яку може бути розраховано чи змодельовано*. Тобто, якби у попередньому прикладі із спричиненими буферами було б точно змодельовано довжину шляху фільтрації для піщаного та глинистого берегів і такі точні величини стали б основою для маркування буферів, то оперували б саме вимірними, а не взагалі спричиненими буферами;

4) **встановлені буфери** (англ. *mandated buffers*), розміри яких *визначаються нормативними актами*. При цьому, зрозуміло, встановлені буфери є вимірними, проте їхня величина може визначатися шляхом певного вибору з її вимірних значень. Це може стосуватися наприклад зони обмеження нового будівництва навколо водного об'єкта з урахуванням повені різної забезпеченості. По-різному може задаватися і ширина водоохоронних зон тощо.

Незалежно від диференціації на зазначені вище чотири види, **буфери за розмірами** можна поділяти на **постійні** та **змінні** (англ. *variable buffers*). Причём буфери можуть бути змінними, з одного боку, для всіх різних за сусідством до об'єкта областей, наприклад у попередньому прикладі з берегами річки. З іншого боку, вони можуть бути змінними для різних ділянок об'єкта. Наприклад, змінний буфер може бути постійним за величиною з обох боків лінійного об'єкта, але одночасно різним для різних його ділянок. *Змінність (або варіабельність) розмірів буферів* може бути викликано різноманітними причинами – імпедансом, бар'єрами або іншою будь-якою властивістю оточення. Цю варіабельність може бути зумовлено вимірним параметром ландшафту, законодавчим регулюванням тощо. У *векторній моделі* даних для встановлення відмінностей у величинах буферів вздовж ліній найчастіше використовуються вузли. У *растровій моделі* при змінності розмірів буферів

комірки мають бути відповідно вибірково закодованими з метою наступного встановлення ширини буфера для кожної групи комірок і зазвичай такі змінні буфери вирізняються в *окремий буферний шар*.

Застосування буферів є вельми дієвим інструментом при геопросторовому аналізі об'єктів на основі їхньої класифікації та перекласифікації, утім основною проблемою при цьому є необхідність наявності достатньої бази даних і знань щодо взаємодії елементів геопросторових об'єктів тощо.

6 ГЕОПРОСТОРОВИЙ АНАЛІЗ ПОВЕРХОНЬ

У попередніх розділах раз по разу вже тематично викладалися певні особливості найбільш складного для геопросторового аналізу типу геопросторових об'єктів реального світу – **поверхонь**. Так у р.5 у межах його завдань було навіть *попередньо* розглянуто *поняття про статистичні поверхні*, які вимірюються в ранговій та інтервальної шкалах, а також шкалі відношень, і є тривимірним, у плоскому або об'ємному вигляді, подаванням геопросторово розподілених даних. А проте, істотна методична та прикладна значущість вивчення та геоінформаційного моделювання саме поверхонь – неперервних і дискретних, природного та антропогенного походження тощо – спонукає присвятити їм цей окремий розділ. При цьому досить часто за класичний приклад поверхні у розділі буде використовуватися рельєф місцевості, не забуваючи однаке і про інші, нетопографічні поверхні.

Отже, спочатку слід дещо конкретизувати загальний **зміст поверхонь**. Таким чином, **поверхні** можна кваліфікувати як *тривимірні геопросторові об'єкти реального світу, які тим чи іншим способом подаються значеннями параметра (головного атрибута) Z , розподіленими за досліджуваною областю (випадковим полем) параметра, яку визначено координатами X і Y* . При цьому, про що вже йшла мова, параметр Z найчастіше асоціюється з висотою рельєфу місцевості. Це є зручним для сприйняття, але не обов'язковим, позаяк будь-які вимірні за атрибутами величини, які мають координатну прив'язку, можуть розглядатися як ті, що утворюють поверхню.

Примітка. **Параметр Z (або Z -параметр) і його значення** у цьому розділі вживаються як *синоніми третього виміру поверхонь і його значень* (або випадкового поля третього виміру як головного геопросторового атрибута об'ємних об'єктів), які як терміни застосовувалися у попередніх розділах.

Зазвичай у сфері геоінформаційних технологій використовується вже частково розглянутий термін "**статистична поверхня**" (*англ. statistical surface*), тому що оперування значеннями параметра Z передусім можна трактувати як *статистичне подавання кількісних значень явищ, процесів або об'єктів, які досліджуються*. Вивчення саме статистичних поверхонь є однією з *найбільш важливих геопросторових концепцій у географії та науках про Землю* через те, що за такого підходу можна охопити практично весь спектр геопараметрів і об'єктів реального світу.

Примітка. Позаяк мова йде про випадкові **поля** третього виміру, то (див. *Samoilenko & Dibrova, 2025, Samoilenko et al., 2025* і наступну примітку) більш коректним було б застосування у цьому випадку не терміна "статистичні поверхні", який збережено у монографії скоріш як данина традиції, а терміна "**стохастичні поверхні**".

Статистичні поверхні підтримуються концепцією про те, що зазначений Z -параметр ϵ , по-перше, координатно неперервним за областю, яка цікавить дослідника. По-друге, він інколи умовно може вважатися неперервним за координатами з метою його моделювання та геоінформаційного картографування, насамперед при побудові ізоліній із застосуванням інтерполяції тощо.

У цілому ж **статистичні поверхні**, утворені величинами, визначеними у всіх точках досліджуваної координатної області, звуться **неперервними** (англ. *continuous*). Відповідно, статистичні поверхні, утворені величинами, які зустрічаються лише "індивідуально", але з певними відмінностями у кількості точок з такими величинами на одиницю площі зазначеної області, аж до подекуди повної відсутності цих точок, називаються **дискретними** (англ. *discrete*).

Примітка. У основних використаних для цієї монографії джерелах (DeMers, 2008, тощо) *неперервність і дискретність поверхонь трактується зазвичай лише на основі неперервності або дискретності координат значень Z -параметра*. Такий підхід у цілому практично і збережено у монографії для спрощення сприйняття. Утім, при зазначеному підході практично не приділяється увага власне числовим значенням Z -параметра, які, у свою чергу, можуть диференціюватися на неперервні та дискретні. Тобто, користувач цієї монографії, який бажає більш точно зрозуміти поняття, про які йде мова, має звернутися до праць одного з авторів цієї монографії (Samoilenko & Dibrova, 2025, Samoilenko et al., 2026 і ін.), щоб у контексті цього та інших, поєднаних з ним розділів зважати на таке. Будь-який геопараметр може розглядатися як випадкова величина, тобто величина, числові значення якої змінюються випадковим чином, до того ж дискретного або неперервного типу. Дискретною випадковою величиною буде та, числові значення якої є лічильними та тими, які можна перенумерувати, зокрема число пожеж, кількість біовидів тощо. За неперервну ж випадкову величину буде правити та, значення якої, які не можна перелічити, цілковито заповнюють весь проміжок на числовій осі, наприклад значення температури, висота та безлічі інших характеристик. Випадкову величину будь-якого типу може бути подано вже у вигляді випадкового поля, тобто т.зв. випадкової функції. Аргументами її є як набір числових значень випадкової величини, так і характеристики геопросторової (координатної) та часової прив'язки таких значень. Отже, за зазначених умов і у цьому випадку *точніше було б розрізняти статистичні поверхні не тільки за дискретністю чи неперервністю координат значень Z -параметра, а й за цими ж властивостями стосовно власне зазначених числових значень*. Таким чином, можна було б вести мову про дискретні або неперервні координатні поля третього виміру поверхонь, зважаючи на дискретність або неперервність числових значень Z -параметра. І тоді не виключеним було б існування і варіанта, по-перше, "дискретне поле неперервних значень Z -параметра" або, відповідно, "дискретна поверхня неперервних значень Z -параметра" чи більш стисло "дискретна поверхня неперервного Z -параметра". За неї може правити наприклад вимірjana доза внутрішнього опромінення населення, яка у числовому вираженні є неперервним параметром але з дискретним місцезнаходженням через прив'язку лише до населених пунктів як дискретних місць розселення тощо. По-друге, цілком імовірним міг бути б і варіант "неперервна поверхня

дискретних значень Z-параметра" або більш стисло "неперервна поверхня дискретного Z-параметра", поперечний профіль якої мав би описуватися т.зв. шматково-неперервною функцією із скінченними розривами (див. *Samoilenko & Dibrova, 2025*). За приклад такого може правити геоінформаційне відтворення неперервного за геопростором але дискретного за значеннями геопараметра "число діб із заморозками на ґрунті у травні" за багаторічний період для певної території тощо.

Значення неперервного за місцезнаходженням (координатами) Z-параметра немов би "є присутніми" у кожній можливій точці досліджуваної області. При цьому *серед неперервних поверхонь* розрізняються, з одного боку, **гладкі поверхні** (англ. *smooth surfaces*). Вони відзначаються *відносно невеликою зміною значень статистичної інформації щодо третього виміру на одиницю відстані*, наприклад зміна температури повітря менш ніж на одну десяту градуса через 100 м. З іншого боку, коли спостерігається *різка зміна статистичних даних*, які характеризують неперервні поверхні, останні зветься **нерівними** (англ. *rough surfaces*). За приклад останнього можуть правити різкі зміни тієї ж температури повітря між різними за походженням повітряними масами тощо.

Провести вимірювання нескінченної кількості точок *неперервної поверхні* теоретично неможливо. Тому *визначення такої поверхні зазвичай зводиться до моделі, що використовує істотно важливі геопросторові відліки* як вибіркві точки (англ. *sample points*) поверхні, які розглядаються як геопросторовий аналог числових фіксованих значень неперервної випадкової величини за (*Samoilenko & Dibrova, 2025*) (див. попередні примітки).

Загалом при **зображенні статистичних поверхонь на картах** застосовуються методи побудови *карт щільності точок, карт хороплет, дасиметричного картографування та ізоліній*. Перші три з них найчастіше стосуються дискретних поверхонь і будуть стисло розглянуті окремо у кінці розділу. Основним же методом **зображення статистичних поверхонь на картах** є **метод ізоліній**. Він використовується передусім для неперервних поверхонь, хоч при певних додатково заданих умовах ізолінії можна застосовувати і для дискретних поверхонь (див. далі).

Доцільно нагадати, що **ізолінії** – це *загальна назва ліній, які поєднують точки однакових значень у цьому випадку Z-параметра як статистичної величини (син. випадкової величини за Samoilenko & Dibrova, 2025, і попередніми примітками)*. Для рельєфу, як неперервної статистичної поверхні, ізолінії, які називаються *горизонталями* або *ізогіпсами*, можна уявити у вигляді послідовності неперетнутих ліній, які оточують певну топографічну поверхню (приклад на рис.6.1-6.2).

Ізолінії є *лінійними символами для відображення даних щодо поверхонь*. Більше того, вони дозволяють відстежувати конкретні форми тієї чи іншої поверхні. Задана величина, яка зветься **інтервалом між ізолініями** (англ. *contour interval*), використовується для *поділу значень або квантування зміни Z-*

параметра на рівні проміжки (висот тощо). Це дозволяє інтерпретувати частоту проходження ізоліній як показник похилу неперервних поверхонь (приклад на рис.6.3).

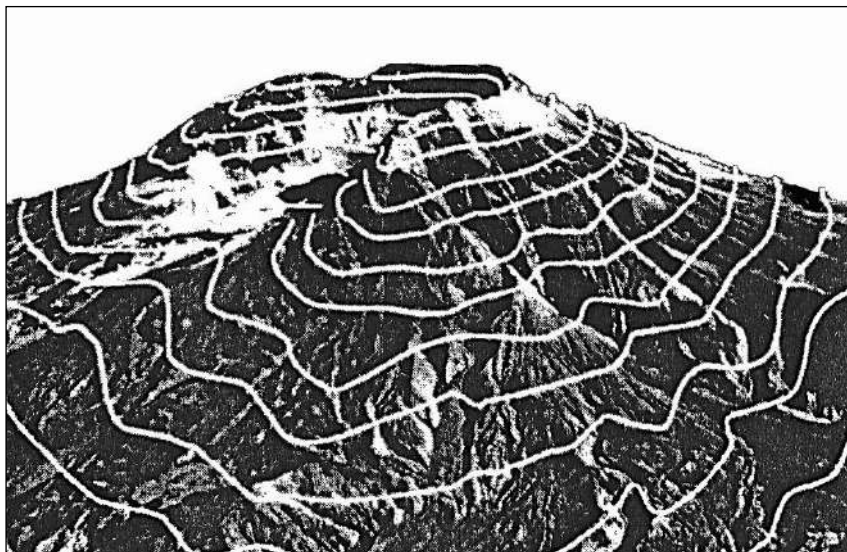


Рис.6.1 Об'ємний вигляд топографічної поверхні з горизонталями (за DeMers, 2008)

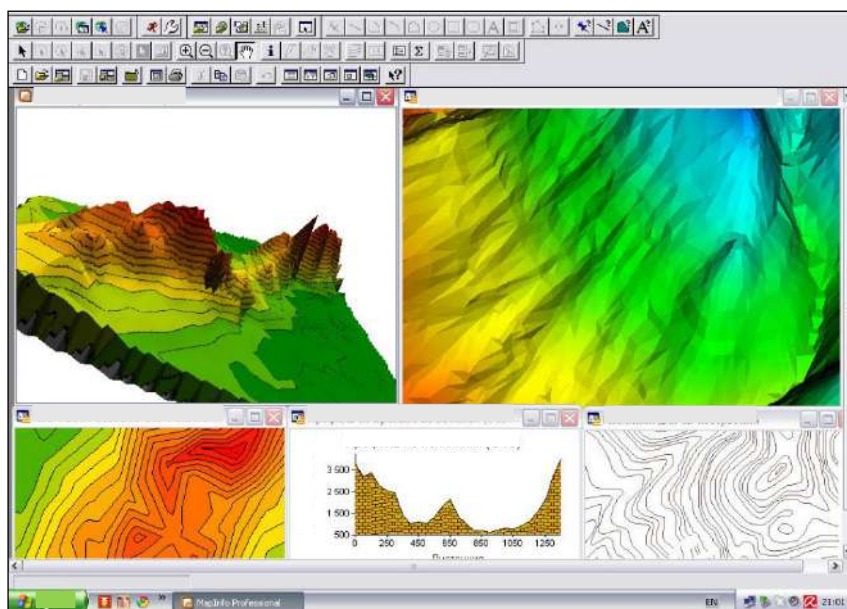


Рис.6.2 Об'ємне та плоске подання топографічної поверхні з горизонталями та її поперечним профілем засобами ГІС-інструментарію *MapInfo Professional*

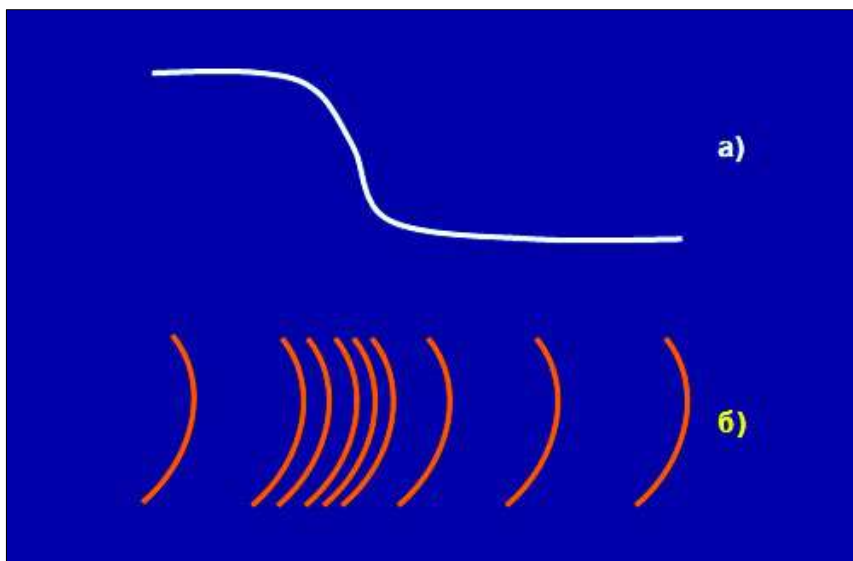


Рис.6.3 Відстань між горизонталями (б) та похил поверхні на її поперечному профілі (а)

Переходячи до розгляду *вибірки* будь-яких *статистичних поверхонь*, слід зазначити, що для отримання місцезнаходження значень *Z-параметра* поверхні використовуються:

1) конкретні **індивідуальні відібрані точки *Z-параметра* неперервної поверхні**, які *реально виміряно в натурі або отримано інтерполяцією за прямими вимірюваннями* (наприклад відліки висоти рельєфу, атмосферного тиску, температури тощо);

2) *розраховані або виміряні дані*, які репрезентують *Z-параметр* для полігонів (наприклад кількість населення в адміноблестях) тощо та інші дані, що можуть умовно розглядатися як **точки певної вибірки *Z-параметра* дискретної поверхні**. Іноді оперують не точками, а цілими областями такої вибірки (див. кінець розділу).

При побудові **ізоліній** для двох зазначених випадків слід виходити з такого.

По-перше, дійсні значення *ізоліній* (ізометричних ліній) називають ще **ізоритмами**, тобто *лініями рівних значень неперервного за місцезнаходженням *Z-параметра**. **Карти ізоритмів** звуться, наприклад, для рельєфу **ізометричними** (англ. *isometric*) або картами ізогіпс, для атмосферного тиску **ізобаричними** (англ. *isobaric*) або картами ізобар тощо для всього різноманіття третього виміру поверхонь.

По-друге, серед *ізоліній* розрізняються також т.зв. **ізоплети** (англ. *isopleths*). Це *лінії рівних значень *Z-параметра* дискретної статистичної поверхні*. Їх ще називаються **псевдоізолініями**, позаяк між ними значення *Z-параметра* можуть бути невизначеними за координатами, та до того ж

змінюватися "стрибками" або бути невизначеними за величиною для дискретного Z -параметра (див. *Samoilenko & Dibrova, 2025*). **Карта ізоплет**, побудована наприклад для набору полігонів, потребує умовного подавання значень Z -параметра для кожного з них у точковому вигляді. За такі точки можуть правити центроїди тощо (див. р.4), чому *ізоплети досить часто будуються за розрахованими, а не вимірними точками поверхонь*.

У випадку, коли карти ізоритмів або ізоплет будуються на основі **вимірних точок статистичних поверхонь**, розрізняють *два підходи* до відбору таких точок. Вони є схожими до способів фіксації третього виміру неперервних поверхонь, загальне уявлення про які викладено у р.2.

Перший з них, який найчастіше застосовується для неперервних поверхонь і досить рідко для дискретних, є відносно простим і використовує **регулярну сітку** (ґратку) (*англ. regular grid, regular lattice*). Цей підхід передбачає, що відібрані точки вимірювань розташовано у вузлах ґратки, яку утворено рівновіддаленими між собою прямими лініями (рис.6.4, а). Істотні труднощі можуть виникнути при виборі інтервалу між лініями регулярної сітки, коли потрібна різна кількість інформації для складних і простих ділянок поверхні. У цьому випадку застосовується *другий підхід* до відбору точок, заснований на **нерегулярній сітці** (*англ. irregular grid*) (рис.6.4, б). Обидві сітки (ґратки) є основою для однойменних мереж точок – регулярної та нерегулярної – та певних наступних побудов щодо поверхонь (див. далі).

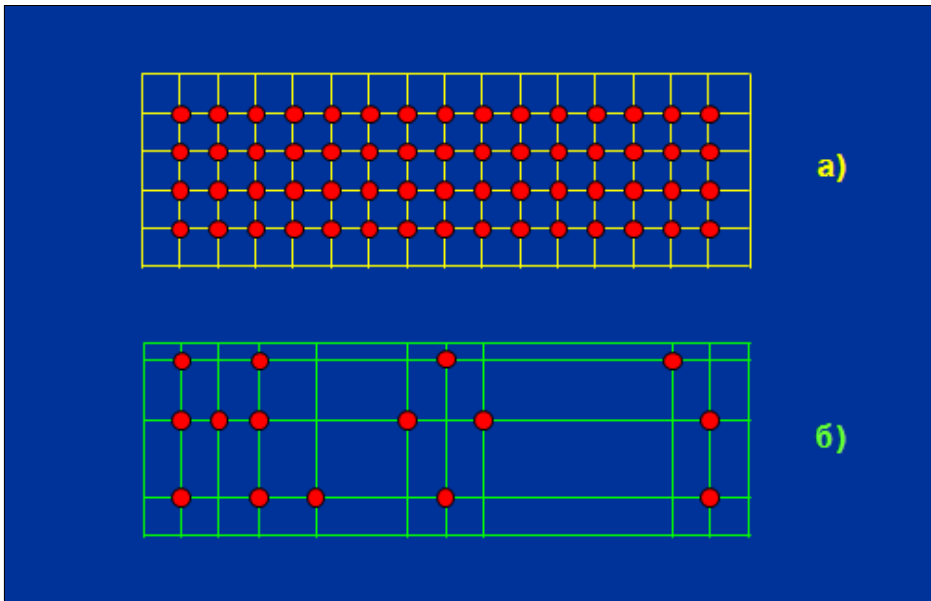


Рис.6.4 Приклад регулярної (а) та нерегулярної (б) сітки (ґратки) як основи однойменних мереж точок (● – мережні точки вимірювань у вузлах сітки) (див. також рис.2.17 у р.2 тощо)

При використанні нерегулярної сітки та мережі можна отримувати досить надійні моделі поверхонь за меншого числа точок, у порівнянні з регулярною сіткою, за рахунок зменшення їхньої щільності на більш простих, тобто більш гладких для неперервних поверхонь ділянках.

Примітки.

1. Точки мережі, створеної на нерегулярній сітці, можуть розміщуватися і не у всіх вузлах останньої (див. рис.6.4, б).

2. Для дискретних поверхонь за їхнім змістом досить часто мова може йти про "припасування" сітки до можливих точок вимірювань, а не навпаки.

Крім процедур відбору точок вимірювань, слід визначитися, *на прикладі топографічних поверхонь*, і з тим, яким чином поверхні практично може бути подано геоінформаційно, як для растрових, так і для векторних структур. Певні способи такого відображення через стандарт растрових моделей *DEM* і векторну модель *TIN* вже попередньо викладалися у р.2.

Отже, у цілому *вся сукупність способів подавання топографічних поверхонь у геоінформаційних технологіях* розглядається як група "**цифрових моделей висот**" (**ЦМВ**) (англ. *Digital Elevation Models (DEM)*). Такі моделі умовно можна розділити на:

1) **власне математичні моделі**, розуміючи під ними моделі аналітичного подавання поверхонь, тобто у символічному записі тощо;

2) **візуальні моделі** або **моделі зображення** (англ. *image models*), які трактуються як математично-картографічні моделі *наочного подавання зображень поверхонь*, розроблені для комп'ютеризованої обробки вихідних даних і геоінформаційного їхнього подавання (рис.6.5).

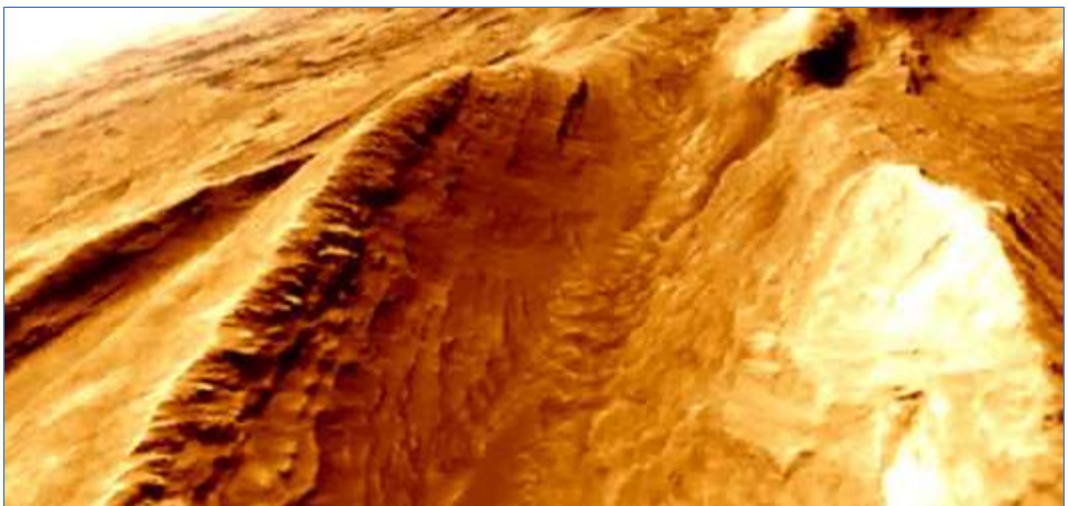


Рис.6.5 Фрагмент тривимірного відео на основі ЦМВ Марса (за *Dug Ellison*, див. *Samoilenko, 2012*)

Моделі зображення (візуальні ЦМВ) у свою чергу бувають **двох типів**:

- 1) побудовані на основі ліній;
- 2) побудовані на основі точок.

Візуальні ЦМВ на основі ліній фактично є *графічним еквівалентом традиційного методу карт ізоліній*. Вони найчастіше створюються за допомогою цифрування (див. р.3) існуючих ізоліній, метою якого є "видобування" форми поверхні з наявних ліній, які її відтворюють. Після введення в геопросторову БД такі дані подаються або як *лінійні об'єкти*, або як *полігони з визначеним головним атрибутом*, тобто висотою для топографічних поверхонь (див. рис.6.5).

Позаяк моделі на основі ліній є незручними для визначення похилу, експозиції схилів тощо, їх зазвичай перетворюють у **візуальні точкові ЦМВ**. Останні в результаті подаються у вигляді т.зв. **дискретних матриць висот** або, зрозуміло, значень іншого *Z-параметра* для нетопографічних поверхонь, коли мова буде йти про відповідну **точкову матрицю**, яка згідно з вже викладеними положеннями може бути регулярною або нерегулярною.

Зазначені *матриці у цілому*, незалежно від джерела чи способу отримання точкових даних, *відповідають методу точкового зображення поверхні, де кожна точка має одне значення Z-параметра* (стосовно ЦМВ – висоту). Це за змістом дещо схоже на точкову дискретизацію неперервної поверхні. Дискретна матриця висот використовує множину точок, які, наприклад для *растрових структур*, можуть бути відібрані із стереопар або аерофотознімків зазвичай за допомогою *аналітичного стереоплота* (англ. *analytical stereoplotter*). Він визначає значення висот рельєфу за зміщенням між двома зображеннями при застосуванні способів фіксації поверхонь через регулярну або нерегулярну мережу точок. Існують і *автоматизовані сканувальні стереоплоти*, які "власноруч" підвищують щільність вибірки висот на ділянках із складним рельєфом, що значно спрощує процес створення матриць.

Інформацію нерегулярних, як загалом і регулярних мереж про *Z-параметр* може бути перетворено у *векторну модель TIN двома способами*. За першим з них використовуються *власне точки мережі як вершини трикутних граней TIN* (див. р.2). Це не потребує додаткових даних і формує теж своєрідну дискретну (точкову) матрицю значень *Z-параметра*, зокрема висот. Згідно з *другим способом* відстані між точками та значеннями їхнього головного атрибута використовуються для розрахунку значень зазначених вершин граней *TIN* шляхом *інтерполяції*. Загальні особливості інтерполяції стосовно растрових і векторних поверхонь буде розглянуто далі за текстом.

Растрові візуальні ЦМВ за однойменним стандартом вже існують або досить легко можуть бути отриманими для багатьох частин світу як матриці висот рельєфу у точках регулярної мережі, які в свою чергу базуються, зокрема, на топографічних картах мірила 1:250000 та 1:100000 (див. *Samoilenko, 2024*). Цифрові моделі висот, цілковито побудовані на основі нерегулярної мережі,

при введенні у растрові структури даних мають підлягати *растровій інтерполяції*. Тому далі доцільно стисло зупинитися на певних **особливостях растрових неперервних поверхонь та їхньої інтерполяції**.

Для розуміння **особливостей растрових неперервних поверхонь** треба зазначити, **по-перше**, що у растровій моделі даних кожна комірка може мати *лише одне значення Z-параметра*. Крім того, ця комірка *займає певну площу*, із збільшенням якої зменшується точність подавання поверхні. Обидва щойно зазначених аспекти власне і зумовлюють дискретну інтерпретацію неперервної поверхні через растр.

По-друге, важливим є те, де в межах комірки растра знаходиться реальна точка присвоєного цій комірниці значення третього виміру поверхонь. *Позиція значення Z-параметра в комірниці растра* чинить значний вплив на *точність розрахунків*, і тому уточнення цієї позиції, наприклад в центрі комірки, на її кутах, є обов'язковим.

По-третє, побудова растрової поверхні буде значною мірою зумовлюватися тим, з якої *мережі отримано матрицю значень Z-параметра* – регулярної чи нерегулярної. Якщо *регулярна мережа* є достатньо дрібною, щоб відповідати реальному розміру комірок растра, то значення третього виміру матриці досить легко *перетворюються безпосередньо у такі ж значення комірок растра*, зрозуміло, при попередньому визначенні позиції цих значень у комірках. Якщо ж дані щодо поверхні подано у вигляді *нерегулярної мережі*, виникає *необхідність визначення всіх відповідно потрібних відсутніх значень Z-параметра і їхнього місцезнаходження на основі відомих даних*.

Остання процедура, яка загалом зветься *інтерполяцією* (див. вихідні визначення у р.1) у цьому випадку **растрових неперервних поверхонь**. Така інтерполяція у цілому є корисним інструментом для моделювання та геопросторового аналізу поверхонь, причім як окремо, так і при комбінації з іншими методами аналізу для побудови більш складних моделей.

Серед *видів інтерполяції растрових поверхонь* насамперед вирізняють найбільш просту – **лінійну інтерполяцію**. Вона базується на *апріорній тезі про зміну значень третього виміру поверхні за лінійною залежністю*. Ідеться про ситуацію, коли залежність значень Z-параметра від відстані між відповідними цим значенням точками апроксимується прямою у звичайних шкалах осей відповідного графіка зв'язку (див. *Samoilenko & Dibrova, 2025*). У такому випадку визначення невідомих значень Z-параметра та їхнього місцезнаходження на основі відомих значень, хоч у точковому вигляді, хоч у вигляді ізоліній, не є утрудненим. А проте, *апріорна теза про лінійність* зазначених залежностей для неперервних поверхонь *справджується далеко не завжди*. Це зумовлено досить частою нелінійністю згаданих вище зв'язків. Крім того існують і *інші підходи* до інтерполяційної інтерпретації інформації щодо певної поверхні, які можуть потребувати *розуміння загальних закономірностей її зміни*, а не просто детального опису цієї поверхні тощо.

З огляду на такі аспекти, слід зважити і на те, що загалом існує велика кількість методів нелінійної інтерполяції поверхонь, багато з яких мають досить складний математичний апарат.

Тому доцільно обмежитися розглядом на концептуальному рівні **найбільш відомих методів нелінійної інтерполяції растрових неперервних поверхонь**, а саме таких методів, як:

- 1) *метод обернено виважених відстаней (метод ОБВ)*;
- 2) *метод поверхні тренду*;
- 3) *крігінг*.

При інтерполяції **за методом ОБВ** виходять з того, що *чим ближче одна до одної знаходяться обрані точки поверхні (її відліки), тим ближчими за величиною є в них значення Z-параметра*. При цьому вимірюються відстані між точкою, третій вимір якої інтерполюється, та всіма найближчими з оточення точками з відомими значеннями параметра Z. Потім ці значення у кожній точці оточення виважуються в залежності від квадрата відстані та визначається шукане значення третього виміру у точці інтерполяції як *частка від ділення суми виважених значень Z-параметра на суму вагових коефіцієнтів*. Таким чином і досягається ефект того, що більш близько розташовані точки роблять більший внесок у визначення значення Z-параметра, яке інтерполюється. Існує багато модифікацій методу ОБВ (Samoilenko, 2024). Деякі з них застосовують як вагові коефіцієнти третій або більш високий степінь відстані, інші враховують непереможні бар'єри, через які інтерполяція не здійснюється тощо.

У певних випадках при геопросторовому аналізі може бути об'єктом дослідження не точне відтворення дрібних коливань третього виміру у відліках поверхні, а *загальні тенденції її зміни*. Така ситуація може виникнути наприклад при визначенні того, скільки потрібно видалити ґрунту для досягнення кам'яновугільного пласта при відкритих виробітках тощо. За таких умов для характеристики неперервної поверхні та як метод її інтерполяції використовується **метод поверхні тренду**, про який вже частково згадувалося (див. р.5, рис.5.2).

Як і у методі ОБВ, у методі поверхні тренду використовуються *набори відліків поверхні в межах заданого певним чином її оточення*. У межах кожного такого оточення будується **поверхня найкращого наближення** на основі нелінійних математичних рівнянь, таких як інтерполяційні *поліноми* або *сплайни* (англ. *interpolating polynomials or splines*). Для побудови поверхні тренду кожне значення Z-параметра з точок (комірок) оточення підставляється у рівняння. При використанні цього рівняння для побудови поверхні найкращого наближення отримується одне значення, яке і присвоюється цільовій точці, яка інтерполюється. Потім такий процес продовжується для інших цільових точок, а *поверхня тренду розширюється на весь цифровий шар чи його досліджувану ділянку*.

Поверхні тренду можуть бути плоскими, віддзеркалюючи спільну загальну тенденцію зміни значень третього виміру для всього шару (див. рис.5.2), або мати більш складну форму. Це залежить від степеню застосованого для апроксимації тренду рівняння полінома або сплайна. Відповідно вирізняються **поверхні тренду різного порядку: першого** (без вигинів), **другого** (один вигин) і наступних (рис.6.6).

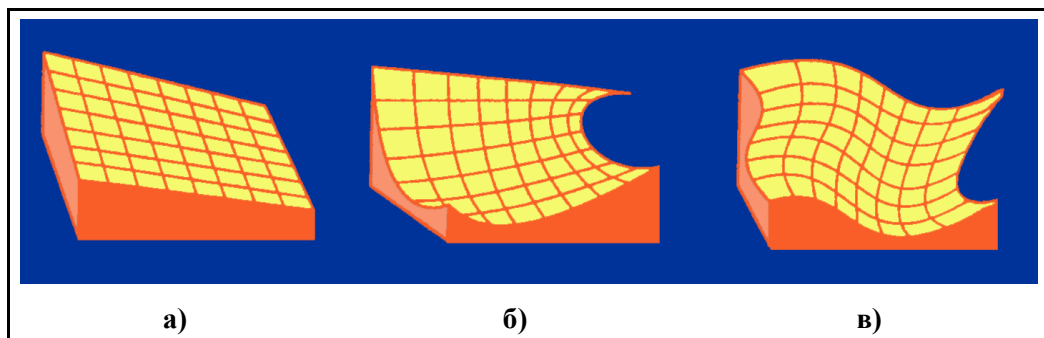


Рис.6.6 Растрові поверхні тренду першого (а), другого (б) та третього (в) порядків

Крігінг, як метод інтерполяції неперервних поверхонь, оптимізує процедуру інтерполяції на основі статистичної (ймовірнісної) природи поверхні. Цей метод використовує ідею регіоналізованого змінного **Z-параметра** (англ. *regionalized variable*) поверхні. Він варіює від точки до точки з певною неперервністю при графічному відтворенні, утім не може бути змодельований лише одним математичним рівнянням. Як було встановлено (DeMers, 2008), під таку інтерпретацію підпадає багато як топографічних, так і інших неперервних статистичних поверхонь, зокрема певні показники ґрунтів і рослинності тощо.

При застосуванні крігінга **регіоналізований змінний Z-параметр поверхні** вважається тим, що утворений з трьох незалежних між собою складників, а саме з:

1) **дрейфу** або **структури** (англ. *drift or structure*), яка практично є трендом тобто загальною тенденцією зміни значень третього виміру поверхні за певним напрямком;

2) **випадкових, але геопросторово скорельованих між собою, флуктуацій** як відхилень від дрейфу або коливань навколо нього (англ. *fluctuations*);

3) **випадкового шуму** (англ. *random noise*), який не пов'язаний із дрейфом і флуктуаціями, та значення якого, до того ж, є геопросторово некорельованими.

Щойно зазначені складники, які використовуються при застосуванні крігінга, проілюстровано на прикладі схилу топографічної поверхні на рис.6.7. Кожним з цих складників *оперують окремо*, застосовуючи створений за певною

моделлю спеціальний графік, який зветься *варіограмою* (англ. *variogram*) (DeMers, 2008). Оцінивши за нею значення всіх трьох складників третього виміру, визначаються ваги, необхідні для виконання інтерполяції у локальному оточенні, з метою мінімізації дисперсії оцінок значень Z -параметра для всіх потрібних комбінацій відліків поверхні. Таку дисперсію отримують безпосередньо з моделі, за якою було побудовано варіограму.

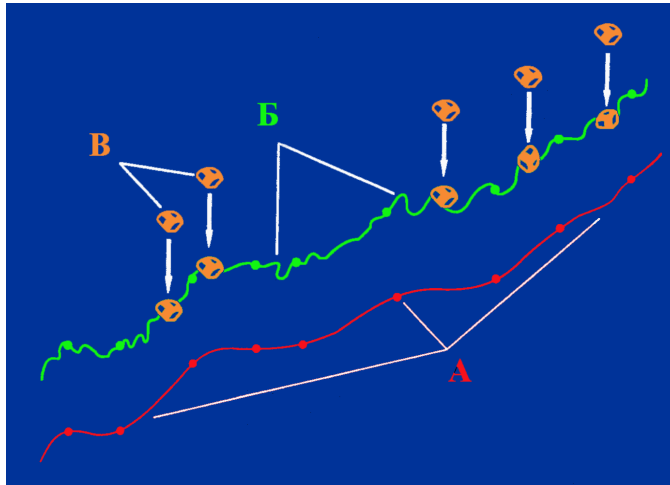


Рис.6.7 Складники третього виміру поверхні при застосуванні крігінга на прикладі схилу топографічної поверхні: А – дрейф (тренд зміни висоти); Б – геопросторово скорельовані між собою флуктуації висоти; В – випадковий шум висоти (валуни) (за DeMers, 2008)

Примітка. Для глибшого розуміння змісту викладених вище складників Z -параметра як випадкової величини або функції доцільно звернутися також до праці (Samoilenko & Dibrova, 2025).

Розрізняються два **варіанти крігінга** як методу інтерполяції:

1) **ординарний крігінг**. За своєю сутністю він є лише певним поліпшенням методу *ОВВ*. Так у цьому варіанті враховуються не лише відстані від точки, третій вимір якої інтерполюється, до обраних точок оточення, а й відстані між цими точками оточення таким чином, що ваги більш близьких одна до одної точок зменшуються. Ординарний крігінг є ефективнішим за метод *ОВВ* завдяки врахуванню *геопросторової кореляції* і саме у тих випадках, коли відліки поверхні розташовано з *нерівними інтервалами відстані* між ними;

2) **блочний крігінг**. Його розроблено як другий варіант загального методу крігінга, який зменшує обсяг обчислювань у *випадку інтерполяції значень Z -параметра для багатьох точок* при розміщенні вихідних відомих точок у вузлах *регулярної мережі*. Blochний крігінг дозволяє також *враховувати анізотропність поверхонь*, для чого варіограма апроксимується функцією двох незалежних аргументів.

У цілому при інтерполяції крігінгом зазвичай отримуються досить точні оцінки відсутніх значень Z -параметра, до того ж з визначенням *можливих помилок цих оцінок*. Це позитивно вирізняє крігінг серед інших методів інтерполяції. Утім, за умов великого рівня випадкового шуму, через помилки вимірювань або велику змінюваність Z -параметра між відліками поверхні, результати крігінга будуть мало чим відрізнятися за точністю від інших методів.

У векторних моделях даних, найчастіше *TIN*, **інтерполяція неперервних поверхонь** найпростіше виконується шляхом формування вибірки відліків поверхні з їхніми значеннями Z -параметра та з наступним *перетворенням цієї вибірки у дискретну (точкову) матрицю значень Z -параметра*, зокрема висот. Після цього до отриманого таким чином *точкового шару* можна застосувати *будь-який з викладених вище для растрових поверхонь видів чи методів інтерполяції*, як і інші методи, не згадані у цьому розділі. З іншого боку слід зважати на те, що в моделі *TIN* передбачено *власну оригінальну процедуру інтерполяції поверхонь*. На її основі у відповідних модулях сучасного ГС-інструментарію (див. *Samoilenko, 2024*), наприклад, існує можливість задання меж координатних областей інтерполяції, специфічних ліній та розривів у поверхні, яка інтерполюється, тощо.

Інтерполяція є вельми корисною та застосовною для багатьох задач геопросторового аналізу та моделювання у географії та науках про Землю, зокрема при створенні ізоліній, блок-діаграм тощо, які відтворюють різноманітні поверхні у геопросторі та часі. А проте, при застосуванні у геоінформаційних технологіях інтерполяції, яка по суті відноситься до засобів прогнозно-ретроспективного моделювання, слід зважати на низку **проблем такої інтерполяції**.

Зазначені проблеми загалом можна розподілити на *проблеми, зумовлені чотирма чинниками*, а саме:

- 1) *числом відліків поверхні;*
- 2) *місцезнаходженням цих відліків;*
- 3) *сідловинними точками;*
- 4) *межами областей, які містять відліки поверхні.*

Проблему кількості відліків поверхні досить наочно ілюструє гіпотетичний графік точності карти ізоліній (*Samoilenko, 2024, 2026*), наведений на рис.6.8. Згідно з цим графіком стає очевидним, що при більшому числі відліків поверхні більш точною будуть і результати інтерполяції. Утім, *по-перше*, існує *межа кількості відліків*, за якими задається будь-яка поверхня. *Подруге*, як свідчить зміст рис.6.8, при певній, вже "надлишковій", кількості відліків точність інтерполяції може навіть дещо знижуватися. Це окреслює загалом існування *окремої задачі з визначення оптимальної кількості відліків* (див. *Samoilenko & Dibrova, 2025*). При цьому, звичайно, не треба забувати, що кількість відліків зазвичай є функцією форми поверхні: їх потрібно більше для складних поверхонь.

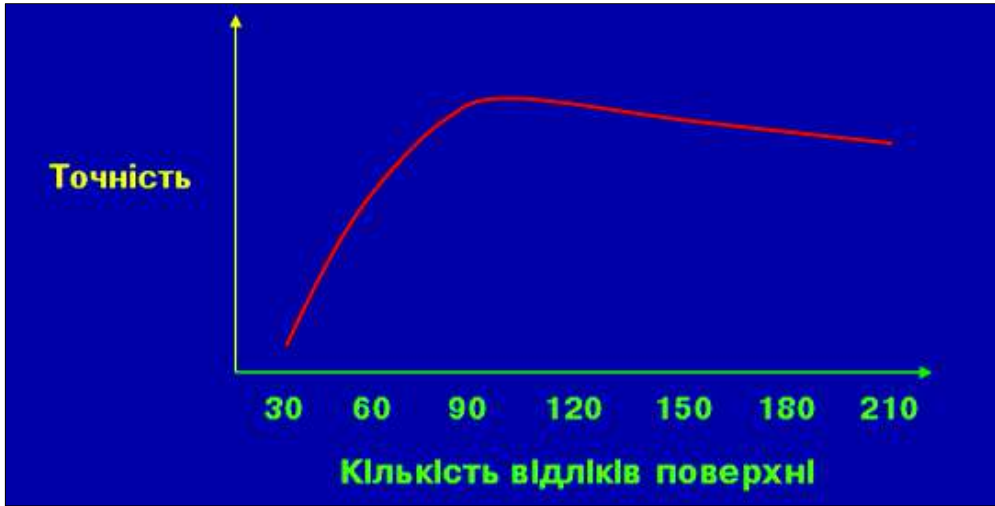


Рис.6.8 Гіпотетичний графік точності карти ізоліній в залежності від числа відліків поверхні

Проблема місцезнаходження відліків поверхні визначається, *по-перше*, впливом відстані між відліками: чим вона менша, тим зазвичай вища точність інтерполяції, хоч така залежність не є лінійною. *По-друге*, проблема місцезнаходження відліків поглиблюється при інтерполяції наприклад за даними, отриманими для областей, для створення карти ізоплет (псевдоізоліній, див. попередній текст). Це зумовлено тим, що при використанні центроїдів для полігонів незвичайної форми або центрів тяжіння точок такі геопросторові об'єкти високого рівня можуть опинитися за межами полігонів чи сукупності точок. Найлегшим способом розв'язання такої проблеми є "підтягування" центроїда або центра тяжіння до найбільш близької до них точки полігона чи точки з їхньої розрахункової сукупності.

Проблему сідловинних точок (англ. *saddle-point problem*) інколи називають ще **проблемою альтернативного вибору**. У найпростішому випадку проблема такого типу виникає тоді, коли за значеннями Z -параметра одна пара двох діагонально протилежних за місцезнаходженням відліків поверхні є меншою, а інша діагональна пара відліків є більшою за те значення, яке намагаються відшукати згідно з алгоритмом побудови ізоліній при лінійній інтерполяції (рис.6.9, а). Власне проблема при цьому полягає у невизначеності варіантів побудови ізоліній (рис.6.9, б, в). Простим її розв'язанням є розміщення середнього з двох значень третього виміру, підрахованих як середні за діагоналями, у точці перетину останніх (рис.6.10).

Проблема альтернативного вибору у більш широкому її тлумаченні (див. *Samoilenko, Bilous, 2024*) стосується вже загалом правомірності застосування того чи іншого методу інтерполяції при неоднозначності їхніх результатів тощо.

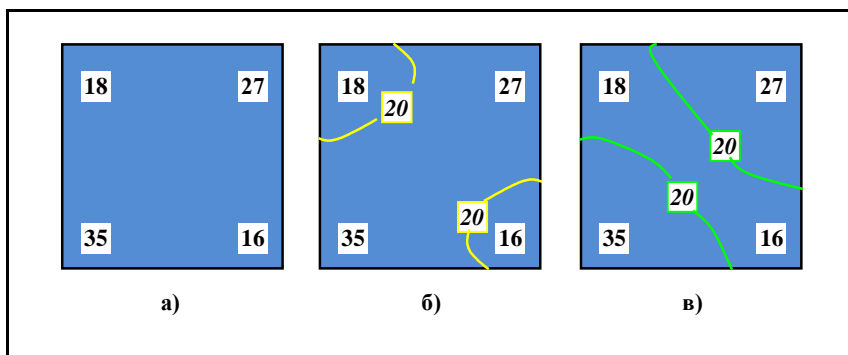


Рис.6.9 Приклад проблеми сідловинної точки при лінійній інтерполяції поверхні: вихідні дані (а) та варіанти проведення ізоліній (б і в)

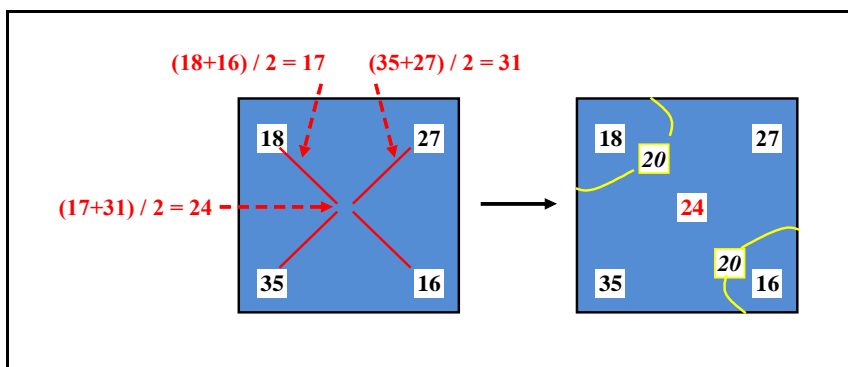


Рис.6.10 Просте розв'язання проблеми сідловинної точки (див. рис.6.9)

Проблема меж областей, які містять відліки поверхні, крім інтерполяції є спільною проблемою для всіх операцій ГІС-інструментарію, які стосуються розмірів і місцезнаходження координатної області, в якій проводиться початковий вибір відліків поверхні. Власне проблему зумовлено необхідністю використання для інтерполяції *відліків поблизу межі зазначеної області*. Тоді їхня недостатня кількість може призвести до значних помилок інтерполяції та, відповідно, до помилок обчислення характеристик поверхні – похилів, взаємної видимості тощо. Проблема найпростішим чином вирішується *розширенням для інтерполяції розмірів області з відліками за рахунок безпосереднього оточення області у цифровому шарі (шарах) і наступним кінцевим поверненням до початкових меж* цієї області.

Слід розглянути також таке поняття, як **нарізка неперервних статистичних поверхонь**. Як вже зазначалося, при застосуванні ізоліній обраний одинковий інтервал між ними за *Z*-параметром дозволяє характеризувати форму поверхні (див. рис.6.3). При цьому виходять з того, що цей інтервал має бути оптимальним для відображення форми поверхні. Сучасні геоінформаційні технології дозволяють *змінювати інтервал* між ізолініями та навіть *перетво-*

ривати координатну область кожного інтервалу Z -параметра у плоску поверхню (полігон). Сукупність таких операцій спрощено і називається **нарізкою** або **розшаруванням** (англ. *slicing*) **поверхонь**. Виконання операцій нарізки можна уявити як багаторазовий перетин поверхні горизонтальними площинами (рис.6.11).

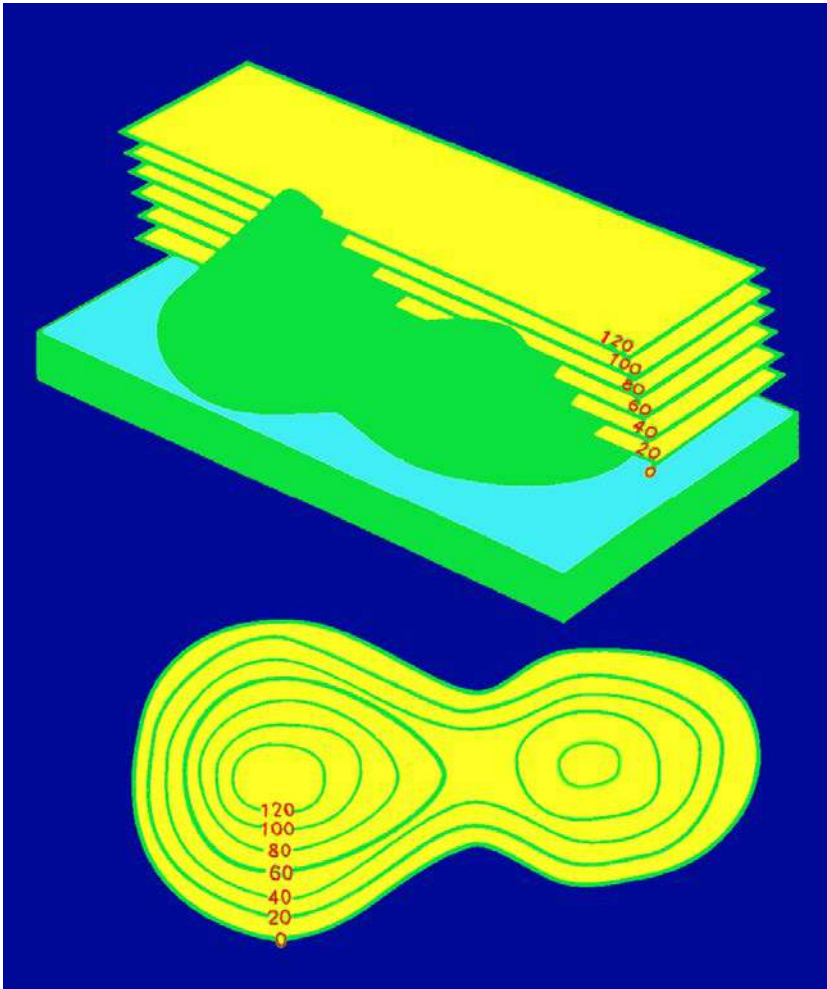


Рис.6.11 Приклад нарізки неперервних статистичних поверхонь

Нарізка у *спрощеному варіанті* може розглядатися як процедура вибору потрібного інтервалу між ізолініями шляхом його збільшення чи зменшення. Це дозволяє з різних заданих позицій формувати візуальне уявлення щодо особливостей неперервних статистичних поверхонь будь-якого Z -параметра через подавання їх як східчастих поверхонь. У більш загальному випадку операція нарізки більшою мірою відноситься до операцій, які підтримують *аналіз сусідства* (див. р.5).

Як вже зазначалось, інтерполяція може застосовуватися для цілої низки задач, враховуючи і ті, які поєднано з обчисленням **об'ємів, які обмежуються поверхнями**, наприклад, при видобутку корисних копалин, визначенні об'єму опадів для регіону або запасів певних елементів у ґрунті тощо. У всіх таких випадках *принципово необхідними є відомості про дві граничні поверхні – верхню та нижню*. Їх можна отримати шляхом тієї ж нарізки або застосуванням методів інтегрального числення тощо. У найпростішому випадку, помноживши площу між двома ізолініями, тобто площу шару нарізки, на модуль різниці значень Z-параметра між ними, можна отримати шуканий об'єм. У більш складних випадках і для підвищення точності розрахунків доцільно, наприклад, максимально зменшити "товщину" шарів нарізки поверхонь, що загалом є функцією, досить часто вбудованою у ГІС-інструментарій.

Крім наведених вище операцій, існує багато і **інших способів аналізу статистичних поверхонь** (Samoilenko, 2024). До них зокрема належать різноманітні способи відображення та використання додаткових шарів або характеристик, базуючись на даних про поверхню.

Наприклад, ГІС-інструментарій досить часто дозволяє відображати *додаткові шари, накладені на поверхні* у об'ємному вигляді подавання останніх (див. р.9). Користуючись такою можливістю можна показати відношення між, з одного боку, висотою рельєфу, з іншого – ґрунтами, рослинністю, видами землекористування тощо. Більшість різновидів ГІС-інструментарію дозволяють до того ж створювати *окремні шари із значень третього виміру об'ємних об'єктів*, тих же пагорбів тощо (див. Samoilenko, Bilous, 2024). Корисним може бути також *визначення реальної довжини лінійних об'єктів*, таких як доріг чи річок, з урахуванням характеристик топографічної поверхні, де їх розташовано, тощо.

На початку цього розділу зазначалося, що крім ізоліній, існують ще **три методи зображення статистичних** зазвичай **дискретних поверхонь – карти щільності точок, карти хороплет і дасиметричне картографування**, які стисло і розглядаються насамкінець цього розділу.

При побудові **карт щільності точок** найчастіше використовуються (див. початок розділу):

- 1) вибірка **окремих вимірних точок**, які об'єктивно розірвано геопросторово відтворюють своїм набором дискретну поверхню в її координатній області;
- 2) знову-таки набір але вже **розрахованих дискретних точок** з певним чином заданим місцезнаходженням. У кожній з цих точок за головний атрибут правлять інтегральні значення Z-параметра для конкретного полігона з геопросторового набору таких полігонів або для певного угруповання точок. Це може бути, наприклад, кількість населення в кожній адміністративній області, кількість видів у кожному ареалі тощо.

У **першому випадку** подальше зображення дискретної поверхні можна виконати через однойменну матрицю значень третього виміру та/або інші, вже

розглянуті операції. У **другому випадку** принципово важливими є адекватне визначення, по-перше, з *кількістю об'єктів, які відтворює кожна розрахована точка* для поданих нею полігона чи угруповання точок. Це стосується умов, коли не відтворюється єдине для останніх розрахункове значення атрибута без урахування місцезнаходження його складників. По-друге, слід визначитись з *розміром розрахованої точки*, враховуючи одиницю дискретності, та, зрозуміло, з *місцезнаходженням цієї точки* на основі кількості об'єктів, які вона відтворює, та її розміру. Після цього подальше геоінформаційне подання поверхонь може бути здійснено шляхом побудови ізоплет на основі набору відповідних центроїдів, центрів тяжіння тощо. Окремим випадком є також **побудова картограм** (англ. *value-by-area mapping*) на основі набору областей з єдиним значенням головного атрибута кожної, отриманим без урахування місцезнаходження об'єктів (даних) всередині такої області. Тобто мова йде про варіант "*значення атрибута, поєднане з областю в цілому*".

Синонімом картограм є т.зв. **карти хороплет** (англ. *choropleth*). Вони за своїм змістом створюються для зображення поверхонь як *геопросторових наборів агрегованих за значеннями внутрішніх атрибутів (за внутрішніми об'єктами) областей*. Такі карти у свою чергу можуть бути **некатегорованими** або **категорованими** в наборах за класами значень їхніх узагальнених атрибутів. Традиційні категоровані карти хороплет, які засновано на парадигмі повідомлення, після введення в геопросторову БД інколи є мало корисними для аналізу через методи їхнього створення (обробки). Останні загалом визначаються *розміром і формою* зазначених областей з певного їхнього набору, *кількістю класів (категорій)* значень атрибутів цього набору та *методом визначення меж* таких класів.

Поліпшення інформативності карт хороплет *за допомогою додаткових позиційно визначених даних* можна досягнути при застосуванні **методу** т.зв. **дасиметричного картографування**. Якщо карти хороплет, як категоровані, так і некатегоровані, відображають суцільну структуру узагальненого головного атрибута областей, то метод дасиметричного картографування спрямовано саме на "руйнування" зазначеної структури з метою виявлення *прихованих розподілів вихідних геопросторових даних*. Дасиметричні карти у кожній області відображають менші субобласті відносної однорідності даних про статистичні поверхні за рахунок співвіднесення інформації вихідних карт хороплет тощо з іншими супутніми даними або інформацією з додатково залучених джерел. У геоінформаційній сфері дасиметричне картографування найчастіше виконується в процесі накладання даних з різних шарів, тому докладніше цей метод загалом буде розглянуто у р.8.

7 ГЕОПРОСТОРОВІ РОЗПОДІЛИ ОБ'ЄКТІВ І ЇХНІЙ АНАЛІЗ

Цей розділ присвячено розгляду *загального поняття про геопросторові розподіли об'єктів*, а також певній специфіці геопросторового аналізу таких розподілів, причому, для початку та спрощення розуміння, – *стосовно різних об'єктів одного цифрового шару*.

У цілому під **геопросторовими розподілами** буде розумітися *розміщення, порядок, концентрація або розсіювання, поєднання або безладдя сукупності певних геопросторових об'єктів в межах географічного простору, який їх містить*.

У попередніх розділах розглядалися загалом окремі об'єкти чи їхні угруповання з визначенням їх як регіонів, оточення, статистичних поверхонь тощо. При цьому лише стисло віддзеркалювалася взаємодія цих об'єктів з аналогічними об'єктами інших цифрових шарів.

А проте, *навіть об'єкти одного шару* також мають *характеристики геопросторового розташування*. Ці характеристики є тими, які визначаються, та тими, які можуть відображати механізми виникнення певних угруповань і комбінацій. Для цього власне і потрібен відповідний геопросторовий аналіз таких характеристик визначеними методами. Ці методи бувають прості та складні і, зрозуміло, вони різняться для розподілів різних геопросторових об'єктів. У цьому аспекті доцільно також згадати р.1 стосовно типів геопросторового відбору даних.

Найбільш розповсюджені *міри (характеристики) та методи аналізу геопросторових розподілів застосовуються зазвичай до точкових конфігурацій. Розподіли точок* можуть стосуватися багатьох реальних точкових об'єктів – від окремих дерев чи будівель до населених пунктів тощо. Причём слід не забувати, що ці геопросторові об'єкти можуть подаватися як власне точками, так і лініями або областями в залежності від мірила відтворення, наприклад ті ж міста у точковому та площинному подаванні.

При геопросторовому аналізі точкових розподілів найчастіше користуються **двома їхніми мірами: щільністю та формою**.

Щільність (англ. *density*) **розподілу точок**, яка є найпростішою мірою точкового розподілу, визначається як *результат ділення кількості точок на загальну площу, на якій їх розташовано*. Значення щільності можуть застосовуватися і для аналізу геопросторового аспекту розподілів як міра компактності точок, і для аналізу часових змін такої компактності. При цьому слід зважати на те, що щільність розподілу точок досить легко визначається як для растрових, так і для векторних структур даних.

Для розуміння іншої міри – **форми розподілу точок** – слід нагадати з певною деталізацією положення р.1 (див. рис.1.5-1.6). Отже, серед *точкових розподілів, як загалом і серед площинних, за формою та щільністю* можна

вирізнити **чотири типи розподілів**. Якщо кількість точок на одиницю площі у кожній невеликій субобласті така ж, як і у будь-якій іншій, розподіл називається **рівномірним** (англ. *uniform*). Якщо, до того ж, при рівномірному розподілі точки розташовано у вузлах сітки (гратки), розділених однаковими інтервалами відстані за всією областю дослідження (див. рис.6.3, а), то такий розподіл зветься **регулярним** (англ. *regular*) **рівномірним**, аналогічно до вже розглянутої *регулярної мережі* відбору точок на поверхні (див. р.2 і р.6). У інших випадках рівномірно розподілені за щільністю точки може бути розташовано у випадковому порядку за всією областю їхнього дослідження і розподіл зветься **випадковим** (англ. *random*) **рівномірним**, а при нерівномірності за щільністю – **випадковим нерівномірним**. Обидва таких розподіли може бути проілюстровано певним розміщенням дерев у лісі тощо. Коли ж і умова рівномірності за щільністю не виконується і, до того ж, точки формують явно виражені тісні їхні групи, розподіл зветься **згрупованим (кластерним)** (англ. *clustered*). Це може стосуватися наприклад розташування населених пунктів біля водних об'єктів (див. рис.1.6).

Серед власне **методів геопросторового аналізу точкових розподілів** розрізняються методи:

- 1) *аналізу квадратів*;
- 2) *аналізу "найближчого сусіда"*;
- 3) *аналізу за допомогою полігонів Тиссена (діаграм Вороного)*.

Метод аналізу квадратів загалом є вельми розповсюдженим для дискретних за місцезнаходженням даних. Він визначає рівномірність точкових розподілів на основі заданих співвідношень між характеристиками *однакових за площею квадратних субобластей* загальної області дослідження, які власне і називаються **квадратами** (англ. *quadrates*). Якщо кожен такий квадрат містить приблизно однакове число точок, то розподіл і кваліфікується як рівномірний. Це у цілому є нехарактерним для географічних об'єктів (Samoilenko & Dibrova, 2025), позаяк вказує на можливість відсутності превалюючих чинників геопросторово-часової динаміки параметрів цих об'єктів.

Стандартний варіант методу аналізу квадратів (англ. *quadrante analysis*) виходить з того, що при рівномірному розподілі приблизно однакова кількість об'єктів знаходиться в кожному квадраті, і ця кількість дорівнює загальному числу об'єктів, поділеному на кількість квадратів. Для безпосередньої перевірки гіпотези про рівномірність розподілу застосовують т.зв. **критерій χ^2 ("хі-квадрат")** (англ. *chi-square test*), значення якого для кожного квадрата визначаються за формулою

$$\chi^2 = (Q_d - E_d) / E_d , \quad (7.1)$$

де Q_d – фактична кількість точок в квадраті; E_d – очікувана кількість точок в квадраті.

Значення χ^2 підсумовуються за всіма обраними квадратами і результат порівнюється із заданими табульованими критичними значеннями цього критерію (див. детальніше у *Samoilenko & Dibrova, 2025*). При цьому чим більшою є сума фактичних значень критерію за (7.1), тим нижчою є рівномірність розподілу, що зазвичай є свідченням його пов'язаності з іншим розподілом (розподілами) тощо. Щойно зазначені операції є досить часто вбудованими у ГІС-інструментарій, особливо щодо растрових структур. При їхній відсутності ці операції може бути виконано за допомогою існуючих спеціалізованих програм, у яких використовують і дещо відмінні від (7.1) критеріальні значення (див. *Samoilenko & Dibrova, 2025* і *Samoilenko & Bilous, 2024*).

Крім геопросторового аналізу розподілу точок шляхом порівняння характеристик субобластей, в яких їх розташовано, досить важливим є оцінювання локальних співвідношень між парами точок. Це найчастіше виконується за допомогою т.зв. **методу аналізу "найближчого сусіда"** (англ. *nearest neighbor analysis*). Цей метод є загальноприйнятою процедурою визначення **відстані від кожної точки до її "найближчого сусіда"** (відстані до "найближчого сусіда", **ВНС**) та визначення середньої відстані між "сусідами" (**середньої ВНС**), яка розраховується для всіх можливих пар точок, які розміщено поблизу одна одної. Середня ВНС може правити за міру розрідженості точок у їхньому розподілі. Це є досить важливим наприклад за наявності конфліктності між близько розташованими представниками рослинного або тваринного світу тощо. Практично при застосуванні методу середня ВНС досліджуваного розподілу порівнюється з певними індексами, які відповідають регулярному, випадковому або кластерному типу розподілу. За ступенем збігу отриманих і заданих числових значень і визначається тип розподілу, який розглядається (*Samoilenko, 2024*). Слід зазначити, що **ВНС є абсолютним статистичним показником** і тому не може застосовуватися для порівняння точкових розподілів різних точкових об'єктів. Для такого порівняння використовуються певним чином унормовані індекси **найближчого сусідства**. Крім того, існує ще низка **методів кластерного аналізу**, заснованих на інших статистичних параметрах (*Samoilenko et al., 2012, 2019, 2026*).

Існує також **метод аналізу точкових розподілів**, який засновано на використанні т.зв. **полігонів Тіссена** (англ. *Thiessen polygons*), які також зветься **діаграмами Вороного** (англ. *Voronoi diagrams*) або **діаграмами Діріхле** (англ. *Dirichlet diagrams*). Усі вони базуються на ідеї про можливість "нарощування" полігонів навколо точок з метою визначити можливі зони впливу цих точок на інші точки цифрового шару (наприклад при роботі з моделлю гравітації можна вважати, що між точками діють сили тяжіння тощо).

Щоб концептуально визначитись з тим, чим є полігони Тіссена (діаграми Вороного), слід уявити, що кожну точку шару оточено своїм власним неправильним багатокутником, що власне є **полігоном Тіссена**, який показує **область виключного впливу кожної обраної точки**. Таку ситуацію з утворення

зазначених полігонів можна спрощено інтерпретувати як результат росту мильних бульбашок з центром у кожній точці, межі яких кінцем кінцем перетворюються у набір прямих ліній, а самі бульбашки – у багатокутники (рис.7.1). Алгоритми створення полігонів Тіссена (діаграм Вороного) розроблялись десятиріччями, як для систем комп'ютеризованої картографії, так і для геоінформаційних технологій, зокрема навіть для моделей даних типу квадродерева (див. р.2).

Примітка. Зазначені полігони та діаграми названо на честь:

1) кліматолога *Тіссена* (*A.H.Thiessen*), який досліджував способи опису та аналізу вельми нерівномірно розподілених точкових кліматичних даних за допомогою площинних символів і аналітичних методів;

2) *Георгія Вороного* (1868-1908, нар. в містечку Журавка Полтавської губернії) – геніального українського математика, який започаткував кілька наукових напрямів: аналітичної теорії чисел, алгебраїчної теорії чисел, геометрії чисел.

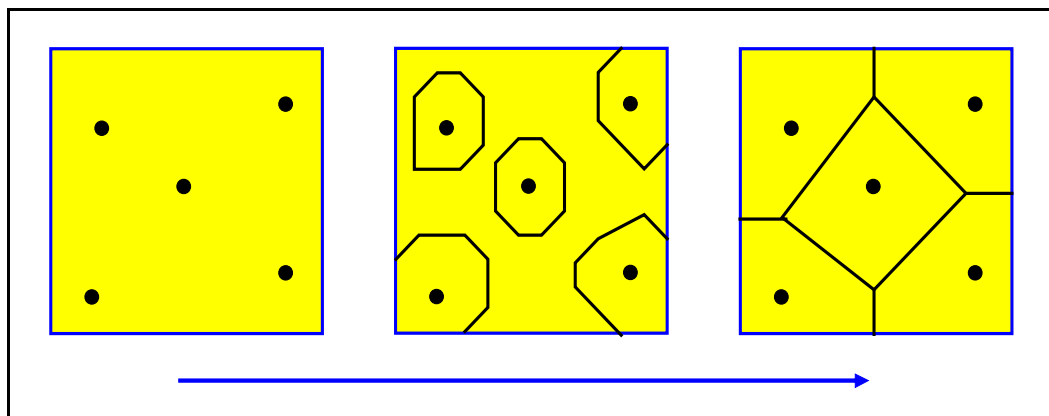


Рис.7.1 Уявна схема утворення полігонів Тіссена (діаграм Вороного)

Таким чином, коли вивчаються характеристики певної кількості геопросторово розподілених точок і є потреба зробити таке за допомогою регіонів (як наборів полігонів), заснованих на цих точках, то і виникає необхідність використання полігонів Тіссена. Позаяк при цьому *вважається, що у межах кожного полігона регіону вплив окресленої точки є абсолютно домінуючим і не дискретним*, то саме це і створює можливість розгляду зазначених даних у БД як полігонального шару. У міру розширення функціональних можливостей ГІС-інструментарію одночасно буде зростати і область застосування методу аналізу точкових розподілів за допомогою полігонів Тіссена (діаграм Вороного), насамперед у географії та науках про Землю.

При *геопросторовому аналізі* вже не точкових, а *розподілів полігонів*, застосовуються як *традиційні міри* (характеристики) такого розподілу, так і *специфічні міри та підходи* до зазначеного аналізу.

Зазвичай можна аналізувати розподіл полігонів аналогічно до точкового розподілу – через визначення **щільності розподілу полігонів**, тобто їхньої загальної кількості, поділеної на задану одиницю площі області дослідження. Можна також оцінювати зміну сумарної кількості або площі полігонів певного типу у зазначеній одиниці площі.

Знову-таки, крім певної щільності розподілу полігонів, методично-практичний інтерес може бути поєднано і з аналізом **форми розподілів**, які створюються набором **полігонів** і є результатом певної їхньої взаємодії. Утім, до розгляду взаємодії площинних об'єктів слід зважати на два моменти. *По-перше*, розташування полігонів загалом може відповідати *тим же типам розподілу, що і точок*, тобто регулярному рівномірному, згрупованому і ін. (див. попередній текст і рис.1.5 тощо). *По-друге*, площинні об'єкти може бути *або поєднано між собою, або розмежовано* певної відстанню, яка вимірюється (див. р.4).

Слід завважити, що при аналізі полігональних шарів досить часто мають справу з т.зв. **бінарними картами** (англ. *binary maps*). Вони є картами, на яких нанесено *лише дві категорії полігонів*. Це зазвичай такі категорії, які характеризують певний показник (атрибут) як задовільний або незадовільний для шуканого рішення, особливо коли це стосується розміщення досліджуваних розподілених об'єктів групою, а не поодинокі. Мова може йти, наприклад, про ґрунти, сприятливі чи несприятливі для певних культур, похили, задовільні чи незадовільні для обраного виду будівництва тощо.

У р.5 було викладено поняття про *аналіз безпосереднього оточення* на основі відповідної *функції сусідства*. Її у цьому випадку можна розглядати і як умову контакту площинних об'єктів один з одним на основі їхньої *суміжності* (див. р.4 стосовно однорідності областей і видів регіонів). Утім проста міра такої суміжності, наприклад у вигляді величини периметра прямого контакту з'єднаних між собою полігонів одного типу або їхньої площі тощо, практично дуже незначним чином буде характеризувати розподіл, який мають ці регіонотворчі полігони. Для завдань цієї спрямованості застосовується т.зв. **статистичний показник сполучень** (або **спільних меж**), зміст якого стисло і розглядається далі, причім для наочності – *на прикладі бінарних карт*.

Отже, за таких умов **сполучення** розглядається як *спільна межа двох суміжних полігонів*, а **статистичний показник сполучень полігонів** – як *кількість певних сполучень у полігональному цифровому шарі, яка характеризує структуру сполучень такого шару*. Наприклад для карти з 15 суміжних полігонів суцільного гетерогенного регіону загальна кількість можливих сполучень становить 23. Якщо це буде бінарна карта з двома категоріями полігонів, наприклад задовільного та незадовільного стану, то в залежності від кількості полігонів з цими категоріями та, відповідно, структури їхнього розташування та сполучень, однорідних або неоднорідних за категоріями, можна отримати

різні набори статистичних показників певних сполучень полігонів. Серед них будуть сполучення "задовільний – незадовільний", "задовільний – задовільний", "незадовільний – незадовільний" категорійний стан суміжних полігонів, за якими і можна судити про тип розподілу полігонів у цьому випадку бінарної карти.

Безпосередньо таке судження можна сформуванати, зіставивши отримані значення статистичних показників сполучення, як і у випадку середньої ВНС для точок, з критеріальними для цього параметрами, які відображають певний тип розподілу полігонів. Для визначення таких **критеріальних параметрів типу розподілу полігонів** у цілому застосовуються два підходи.

Перший з них називається **вільним відбором** (англ. *free sampling*) **критеріїв**. При ньому виходять з того, що критеріальна для типу розподілу кількість однорідних і неоднорідних сполучень між двокласовими полігональними категоріями встановлюється або на основі теоретичного знання ситуації, яка моделюється, або на основі відомих розподілів для великих областей дослідження. *Другий* підхід, який застосовується частіше, називається **невільним відбором** (англ. *non-free sampling*) **критеріїв**. При ньому за критеріальні правлять статистичні показники сполучень розподілу, який модельно визначається безпосередньо для досліджуваного цифрового шару (Samoilenko, 2024).

Серед *інших мір і підходів до аналізу розподілів полігонів* можна вирізнити *набір методів*, який зазвичай застосовується *при складному геопросторовому аналізі* шляхом залучення, за потреби, додаткового спеціалізованого програмного забезпечення (див. Samoilenko & Bilous, 2024). Досить часто такі методи використовуються у геоекології, коли полігони розглядаються як окремі "клаптики" (англ. *patches*) по відношенню до більшого та більш однорідного фонового оточення (англ. *background*), т.зв. матриці (англ. *matrix*). У загальному випадку як міри в зазначених методах у географії та науках про Землю найчастіше застосовують міри: **ізолюваності** (англ. *isolation*), **доступності** (англ. *accessibility*), **взаємодій** (англ. *interactions*) і **розосередження** (англ. *dispersion*) **полігонів**.

Геопросторовий аналіз розподілів ліній у порівнянні з точками та полігонами має свої особливості стосовно *мір і методів такого аналізу*, тим більше, що досить часто йому приділяється недостатньо уваги, забуваючи, що лінії формують межі тощо. До того ж лінії на відміну від тих же точок мають геопросторову протяжність, що також формує певну специфіку розгляду розподілів ліній.

Найпростішою мірою при геопросторовому аналізі розподілу ліній знову-таки є **щільність розподілу ліній**. Аналогічно до точок і областей для визначення щільності розподілу ліній можна застосовувати *відношення суми їхніх довжин до заданої площі шару* (у м/га або км/км²). Така величина звичайно дає змогу робити зіставлення між різними регіонами, наприклад за допомогою коефіцієнта густоти річкової мережі у них тощо, або одним регіоном у

різні проміжки часу. Утім така величина не завжди є достатньо інформативною.

Оцінювання розподілів пар ліній за методом "найближчого сусіда", який вже розглядався для точок, є дещо утрудненим у порівнянні з точковим розподілом. Це зумовлено тим, що очевидний, на перший погляд, зазначений метод аналізу з вибором, наприклад, середини кожної лінії та знаходженням "найближчих сусідів" для цих точок не є достатньо правомірним з точки зору теорії математичної статистики. *Більш обґрунтованим* з останніх позицій є застосування випадкового відбору даних. За таким підходом при аналізі "найближчого сусіда" спочатку обирається *випадкова точка на кожній лінії шару* або на кожному відрізку лінії, якщо вона не є прямою. Потім ставиться перпендикуляр з цієї точки до найближчої лінії тощо з утворенням набору таких перпендикулярів, величини яких вимірюються з наступним визначенням **середньої відстані до "найближчого сусіда" (ВНС але вже щодо ліній)** (рис.7.2).

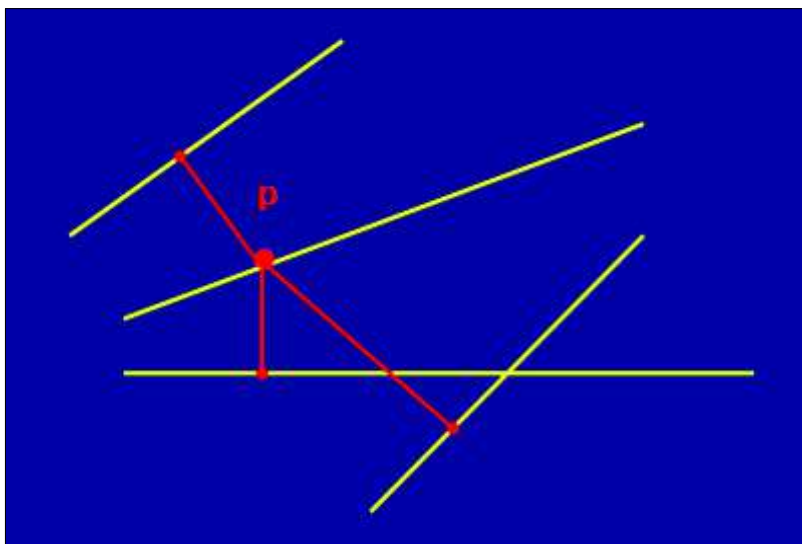


Рис.7.2 Пошук "найближчого сусіда" при аналізі розподілу ліній (p – вихідна точка)

Як і щодо будь-якої середньої ВНС, отримане її фактичне значення зіставляється із відповідними кожному типу розподілу ліній критеріальними індексами та супутніми до них статистичними показниками, запропонованими у спеціальних роботах з цього приводу (Samoilenko, 2024). Після цього і можна скласти уявлення щодо типу розподілу ліній, який досліджувався. *Критерій середньої ВНС є достатньо ефективним для більшості розподілів прямих або вигнутих ліній.* Утім, він має обмеження в застосуванні, по-перше, у випадку, коли лінії є вельми вигнутими, а, по-друге, коли лінії не є хоча б у півтора рази довшими за середню відстань між ними.

Альтернативним до щойно викладеного методу аналізу розподілу ліній є **метод перетину ліній**. Він базується на ідеї, принципова мета якої – перетворити розподіл двовимірних лінійних об'єктів у одновимірну числову послідовність певних відстаней між ними. Це здійснюється шляхом *проведення вибіркової прямої лінії через цифровий шар і врахування перетинів такої лінії з усіма лініями шару*. Використовуються два підходи до створення зазначеної лінії.

За *першим* з них випадково обирається пара точок, сполучення яких і дає шукану лінію. За *другим* – проводиться промінь з випадкової точки під випадково обраним кутом, відкладається випадкова відстань від початкової точки і проводиться перпендикуляр до променя з цієї точки, який і править за вибірковою прямою. Після проведення такої лінії за будь-яким з вище означених підходів розглядається *розподіл інтервалів між її перетинами з лініями шару* із застосуванням стандартних статистичних методів аналізу наборів даних.

Крім використання одиночної прямої у методі перетину ліній інколи застосовується вибіркова *зигзагоподібна лінія*, яка перетинає шар два-три чи більше разів. **Зигзагоподібний шлях перетину**, який інколи зветься *випадковим обходом* (англ. *random walk*), створює набір перетинів, вибірка інтервалів між якими також аналізується будь-яким статистичним методом для сукупностей даних (Samoilenko & Dibrova, 2025) (рис.7.3).

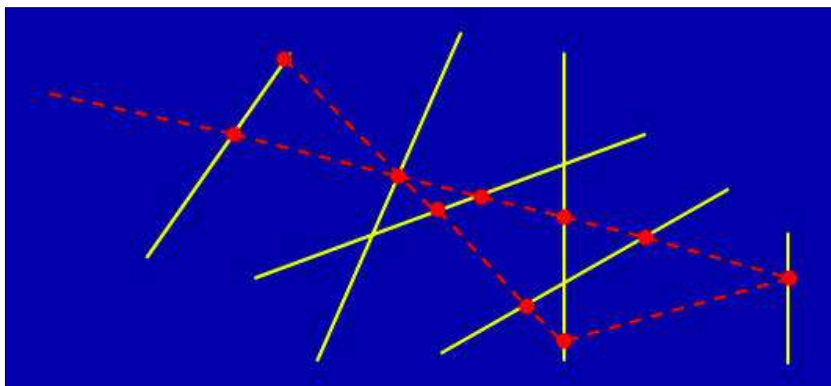


Рис.7.3 Зигзагоподібний шлях у методі перетину ліній для геопросторового аналізу їхнього розподілу

Зрозуміло, що лінійні об'єкти можуть характеризуватися не лише розподілом за поверхнею цифрового шару, а й *орієнтацією*. Утім, з аналізом останньої можуть виникнути певні проблеми в ситуації, наприклад, вибору між двома зустрічними напрямками, чому крім орієнтації оцінюється і **спрямованість лінійних об'єктів**.

При традиційному двовимірному статистичному аналізі орієнтації та спрямованості, лінії з шару переносяться на **діаграму напрямків**, на якій всі вони

прокреслюються з однієї початкової точки. На певних таких діаграмах довжиною ліній позначаються також обрані параметри, наприклад сила чи повторюваність вітру для "рози вітрів", тощо. Хоча діаграми напрямків і є *корисними для візуальних оцінювань*, вимірювання, які здійснюються безпосередньо за даними шару, який досліджується, та відповідні отримані характеристики є більш ефективними для чисельного аналізу.

До таких характеристик відноситься насамперед **рівнодійний вектор** (англ. *vector resultant*) *декількох лінійних об'єктів, які розглядаються як вектори-складники рівнодійного*. За приклад такого може правити задача відшукування загального напрямку вітру за розкидом напрямку повалених ним дерев тощо. Кожен з зазначених складників має початок, довжину та певний кут власного напрямку. Якщо помножити довжину кожного вектора-складника на косинус його кута, відраховуючи його від осі Y , то можна отримати його X -компонент, на синус – Y -компонент. Відповідні суми цих компонентів і дадуть значення рівнодійного вектора X_T і Y_T , які і відображають превалюючий напрямок. Приклад побудови рівнодійного вектора R для трьох його векторів-складників A , B і C наведено на рис.7.4. При цьому, нехтуючи іншими чинниками, зокрема кількістю спостережень тощо, чисельно можна визначити **середній напрямок D_R рівнодійного вектора** за формулою

$$D_R = \arctg (Y_T / X_T) . \quad (7.2)$$

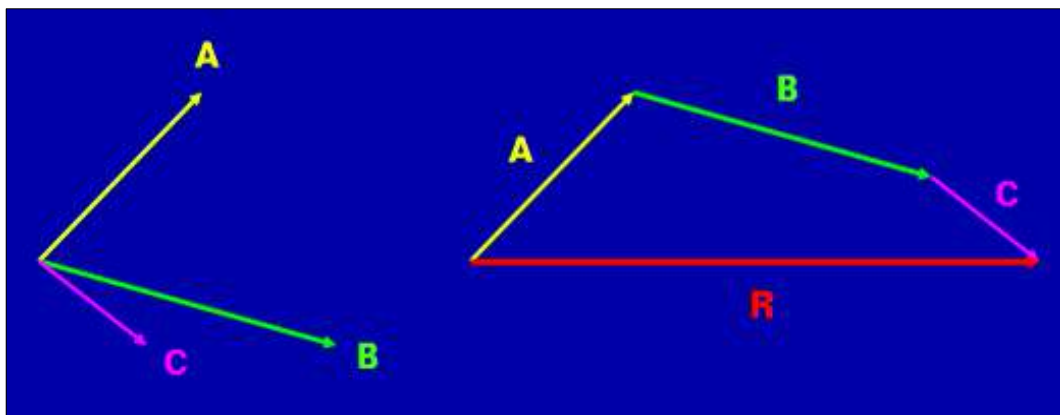


Рис.7.4 Приклад побудови рівнодійного вектора (R) для трьох його векторів-складників (A , B і C)

Крім середнього напрямку (7.2), а також користуючись ним, можна визначити ще низку характерних показників. Зокрема, обчислюється **довжина рівнодійного вектора R** , яка може правити за *міру компактності розподілу ліній у вигляді векторів-складників*: чим компактніший розподіл, тим більш довгою є ця лінія, яка розраховується за формулою

$$R = (Y_{\tau}^2 + X_{\tau}^2)^{0,5} . \quad (7.3)$$

Для порівняння довжин за (7.3) для різних шарів застосовується також така характеристика, як **унормована довжина рівнодійного вектора**. Вона отримується діленням довжини рівнодійного вектора R на суму довжин його векторів-складників. Ця безрозмірна величина, яка змінюється в діапазоні $[0, 1]$, за змістом нагадує дисперсію традиційної статистики, позаяк відображає "геопросторовий розкид" векторів-складників навколо середнього, у цьому випадку – навколо рівнодійного вектора. При цьому, на відміну від дисперсії, більші значення такої величини відповідають більш близькій орієнтації векторів-складників між собою, а менші – більшому розкиду напрямків останніх. Разом із зазначеною унормованою довжиною застосовується споріднена їй характеристика – т.зв. **кругова дисперсія** (англ. *circular variance*). Вона розраховується як *одиниця мінус унормована довжина рівнодійного вектора*.

У спеціалізованій літературі (Samoilenko & Dibrova, 2025 тощо) наведено формули і для інших *дирекційних аналогів статистичних параметрів* – стандарту, моди та медіани. До того ж всі зазначені прості міри спрямованості та розкиду лінійних об'єктів може бути перевірено на випадковість тощо і наявність тренду *стандартними процедурами перевірки статистичних гіпотез* (Samoilenko & Dibrova, 2025). У контексті геоінформаційних технологій *такі міри*, як і певні інші, не наведені у цьому розділі, є *допоміжними для геопросторового аналізу розподілів ліній* всередині досліджуваного шару та порівняння їх з даними інших шарів для пошуку можливого причинного механізму тощо. Растрові моделі не дуже добре пристосовано для зазначеного аналізу, а от більшість векторно-топологічних моделей дозволяють визначати хоча б певні вихідні значення розглянутих мір, зокрема кути тощо. Їх можна зберігати як атрибути в БД і "передавати" іншим програмам для обробки, якщо основний ГІС-інструментарій не в змозі підтримувати розрахунки середніх і інших показників спрямованості лінійних об'єктів.

Важливою властивістю геопросторового розташування ліній і полігонів є їхня здатність утворювати **комбіновані геометричні об'єкти високого рівня – мережі** (див. р.4). Вони можуть бути як природного, так і штучного чи інтегрованого походження, і у різноманітних формах: річки, телефонні лінії, лісозахисні смуги як коридори руху дрібних ссавців тощо, екомережі у цілому та багато такого іншого. Згідно з попередніми положеннями цього розділу можна оцінювати *щільність розподілу, орієнтацію тощо лінійних і площинних об'єктів, які утворюють мережі*. Утім важливим є і існування *можливості геопросторового аналізу реальних зв'язків між цими об'єктами та кількісного оцінювання ступеня сполучності різних вузлів мережі*. Ці завдання вирішуються насамперед через застосування такої характеристики, як **зв'язність вузлів мережі** (англ. *network node connectivity*).

Зв'язність вузлів є мірою складності мережі і вона зазвичай характеризується таким показником, як **гамма-індекс** (англ. *gamma index*) (γ). Він є відношенням кількості існуючих зв'язків між парами вузлів мережі (n_L) до максимально можливої кількості зв'язків, ураховуючи їхній перетин, при тому ж, зокрема за кількістю, наборі вузлів ($n_{L,max}$). При цьому **максимальна кількість зв'язків** за кількості вузлів n_n визначатиметься за формулою

$$n_{L,max} = 3 (n_n - 2) , \quad (7.4)$$

а власне **гамма-індекс** – за формулою

$$\gamma = n_L / n_{L,max} = n_L / \{3 (n_n - 2)\} . \quad (7.5)$$

Гамма-індекс змінюється від **0** (відсутність зв'язків у мережі) до **1** (усі можливі зв'язки є присутніми).

На рис.7.5 наведено два варіанти мережі з 16 вузлами: а) з мінімальною зв'язністю вузлів ($\gamma = 0,36$); б) з більшою зв'язністю ($\gamma = 0,48$). Тобто першу мережу поєднано приблизно на третину, а другу – наполовину. Зрозуміло, що чим більше зв'язків у мережі, тим легшим є пересування нею.

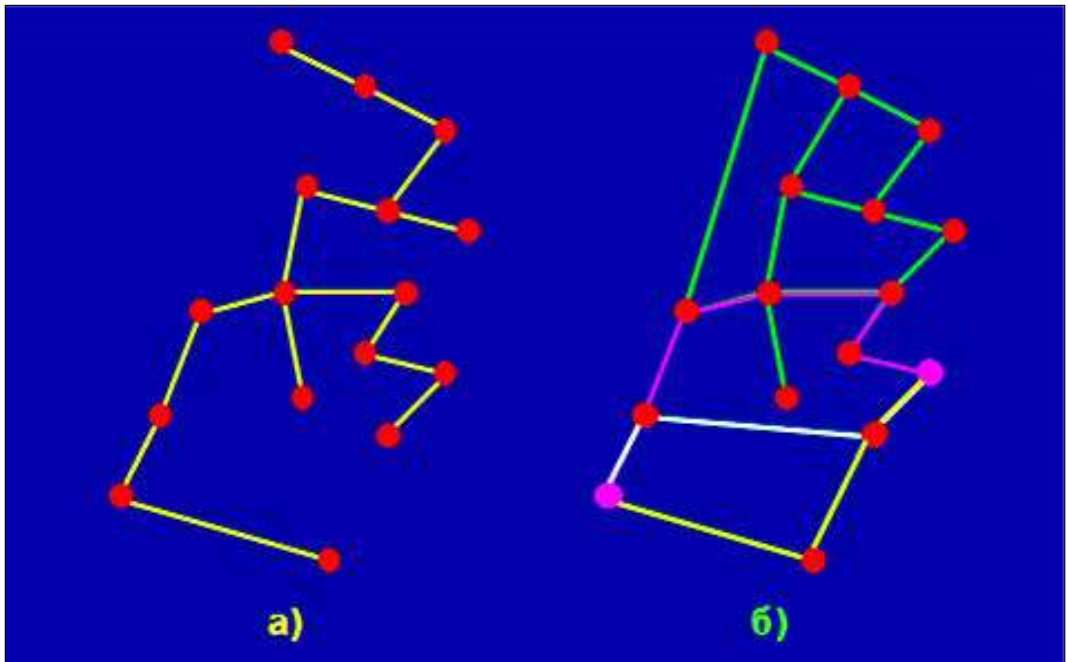


Рис.7.5 Ілюстрація до розрахунку гамма-індексу та альфа-індексу (мережа: а – без контурів, б – з контурами (альтернативними маршрутами), приклади яких подано різним кольором)

Крім зв'язності у вигляді гамма-індексу, характеристикою мереж є наявність у них контурів, які дозволяють переміщуватися від вузла до вузла різними маршрутами. Як міра зв'язності вузлів контурами альтернативних маршрутів мережі застосовується т.зв. **альфа-індекс** (англ. *alpha index*) (α). Він є відношенням наявного в мережі числа контурів до максимально можливого їхнього числа у досліджуваній мережі. Зважаючи на те, що перше число визначається як $n_L - (n_n - 1)$, а друге – як $3(n_n - 2) - (n_n - 1)$, тобто як $2n_n - 5$, **альфа-індекс** можна розрахувати за формулою

$$\alpha = \{n_L - (n_n - 1)\} / (2n_n - 5) . \quad (7.6)$$

Альфа-індекс змінюється від **0** (мережа без контурів) до **1** (мережа з максимальною кількістю контурів).

На рис.7.5 а) показано мережу без контурів ($\alpha = 0$), тобто мережу, де існує лише один варіант переміщення з однієї точки у іншу, а на рис.7.5 б) – мережу з контурами, які створюють альтернативні маршрути переміщення за мережею ($\alpha = 0,19$).

Обидва щойно зазначені індекси відповідають різним точкам відліку для характеристик мережі. Тому інколи використовується певним чином обумовлене (Samoilenko et al., 2006, 2017) їхнє об'єднання для створення **загальної міри складності мережі** (англ. *network complexity*) як аналог математичного терміна "комбінаторна складність".

Індекси такої складності мережі вираховуються за допомогою ГС-інструментарію для векторних структур даних (див. р.10). При цьому слід зважати і на те, що подібні розрахунки базуються на топологічній основі *теорії графів* (Samoilenko & Dibrova, 2019; Samoilenko et al., 2026), де зв'язність вузлів вважається більш важливим параметром, ніж їхнє розташування або довжини та форми ліній, які поєднують ці вузли.

При певних видах геоінформаційного моделювання, зокрема логістичного, військового тощо, застосовуються і **інші**, крім зв'язності, **характеристики мереж**. Це, наприклад, *довжини зв'язків між вузлами, можливі напрямки руху за лініями цих зв'язків, значення опору руху (імпедансу)* тощо.

До того ж існують і **інші прості індекси та параметри**, які **характеризують** знову-таки **зв'язність вузлів мереж**. Їх представлено *інтенсивністю зв'язності* (англ. *linkage intensity*) для кожного вузла, *числом альтернативних маршрутів між заданими вузлами, центральним вузлом* (англ. *central node*), тобто ключовим вузлом з найбільшою кількістю зв'язків, тощо. Розроблено також, наприклад, способи побудови регіонів на основі мережної зв'язності та доступності їхніх складників, а також інші відповідні підходи (Samoilenko & Vilous, 2024). Усі вони спільно за рахунок поєднання вищевикладених підходів і застосування інших характеристик і параметрів і забезпечують більш ефективний геопросторовий аналіз мереж (приклад – на рис.7.6).

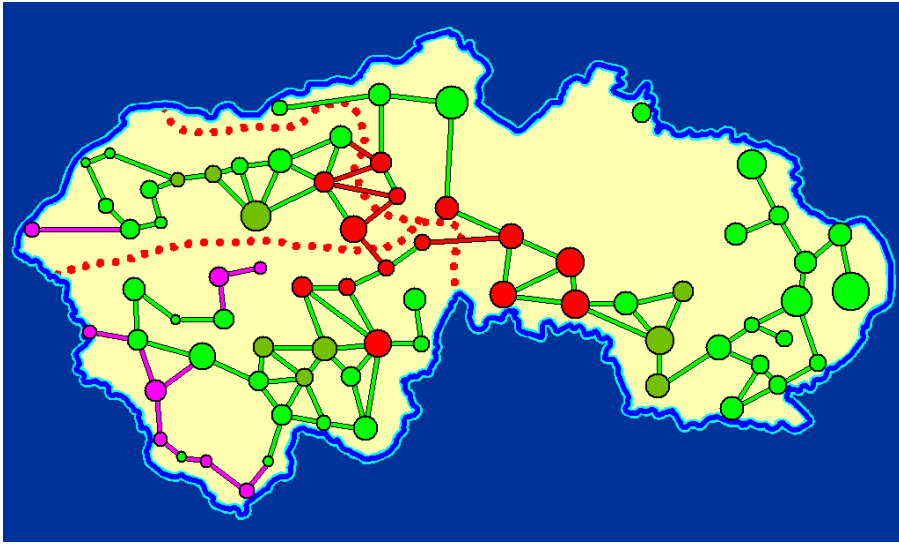


Рис.7.6 Приклад змодельованої екомережі басейнової геосистеми (за *Samoilenko et al., 2006, 2017*)

До цих пір майже не бралася до уваги **значущість окремих вузлів мереж**, хоч вона також є *досить важливою їхньою характеристикою*. Зрозуміло, наприклад, що велике озеро є більш привабливим для водоплавних, ніж невеликий ставок, або велике місто переважає селище за потенційною можливістю придбання товарів, відвідування культурних закладів і ін. для їхніх мешканців тощо. Тобто, більш крупні об'єкти як вузли мереж привертають до себе більше різноманітної активності, що відображається кінець кінцем у цифровому шарі. Розмір такої взаємодії за багатьма аспектами є аналогічним до гравітаційного тяжіння тіл, які мають масу, тобто, чим більшою є маса, тим більшою є сила тяжіння між тілом і його "сусідами". Внаслідок перенесення ідеї гравітаційного тяжіння *на взаємодію між вузлами мережі цифрового шару* застосовується т.зв. **модель тяжіння** (англ. *gravity model*) **між вузлами мережі**, яка подається у загальному вигляді як

$$G_{ij} = K_n P_i P_j / L_n^2 , \quad (7.7)$$

де G_{ij} – величина взаємодії (тяжіння) між вузлами i і j ; P_i і P_j – відповідно, величини вузлів i і j ; L_n – відстань між вузлами; K_n – коефіцієнт, який визначається генезисом і функціональними особливостями об'єктів, які взаємодіють.

Величини вузлів може бути подано такими параметрами, як, наприклад, площа поверхні водного об'єкта (для прикладу з водоплавними), обсяг продажів торгових центрів міста (для прикладу з містом і селищем) тощо.

Існує *багато варіантів простої моделі тяжіння між вузлами* (7.7) як для растрових, так і для векторних структур (*Samoilenko & Dibrova, 2019*). При

цьому у географії та науках про Землю вони можуть застосовуватися не тільки у економічній і соціальній географії, а й у інших дисциплінах, зокрема фізичній географії та геоекології тощо, де аналізуються потоки між мережними вузлами різної величини.

Одними з найбільших розповсюджених застосувань поняття про мережі у геопросторовому аналізі є дві споріднені задачі, а саме задачі про **маршрутизацію** та **алокацію** (або **розміщення**) (англ. *routing and allocation*).

Найпростіший варіант **маршрутизації** зведено до пошуку найкоротшого маршруту між двома вузлами мережі як аналога інкрементної відстані (див. р.4), але вже стосовно мереж. При цьому слід зважати на можливі додаткові умови такої задачі. До цих умов можна віднести, наприклад, те, що, *по-перше*, вузлам може бути надано вагові коефіцієнти і при цьому, крім іншого, можливим є варіант маршрутизації від заданої точки до найближчої точки з максимальною вагою. *По-друге*, кожному зв'язку та вузлу мережі може бути надано певне значення імпедансу (опору) або вартості та заборон на їхнє проходження з появою задачі відшукування вже найбільш ефективного маршруту як маршруту найменшої вартості. Останнє разом багато чим нагадує особливості фрикційної поверхні та відносних бар'єрів (див. р.4), але вже стосовно саме ліній і вузлів мережі.

Маршрутизація найбільш ефективно реалізується за допомогою *векторно-топологічної моделі даних*, позаяк остання краще за інші відтворює характеристики графів. Особливостями маршрутизації, через існування контурів у мережах, є також можлива наявність альтернативних маршрутів між заданими точками, наявність статичних і динамічних чинників руху мережами, різні види оптимізації маршрутів, серед них відвідання набору вузлів у заданому порядку, вирівнювання опору в мережі тощо.

Алокація – це характерна задача векторної мережної структури. Змістом її є *розповсюдження можливостей заданої служби за мережею*, зважаючи на те, що кожний зв'язок або кожний вузол мережі має визначене число елементів, які обслуговуються таким зв'язком, і на можливий регламент тощо такого обслуговування. Найпростішими реальними прикладами подібної задачі, варіантів якої, зокрема за складністю, загалом існує досить багато. Ними можуть бути визначення положення нового супермаркету, враховуючи максимальне навантаження, граничну відстань обслуговування та зону транспортної доступності, приписування вулиць з певною сумарною кількістю будинків до центру обслуговування, який може надійно працювати саме з такою кількістю будинків, тощо. Характерним варіантом алокації також є т.зв. *зіставлення адрес* (англ. *address matching*). Воно застосовується для лінійних об'єктів, які утворюють вуличну мережу, та має на меті узгодження різних позиційних частин геопросторових даних (див. вступ). За його допомогою можна визначати поштову (логічну) адресу за географічними або плановими координатами об'єкта чи виконувати зворотні перетворення.

8 НАКЛАДАННЯ ШАРІВ ПРИ ГЕОПРОСТОРОВОМУ АНАЛІЗІ

У попередніх розділах було розглянуто точкові, лінійні та площинні об'єкти з точки зору способів дослідження їхніх розподілів, зв'язності, орієнтації та спрямованості, утворення ними оточення тощо. Утім, аналітичні дослідницькі операції щойно зазначеного типу дуже часто мають сенс лише при співвіднесенні їх з *геопросторовим аналізом різних цифрових шарів*. Це є особливо актуальним для пошуку причинних механізмів досліджуваних за допомогою геоінформаційних технологій явищ та визначення взаємовпливу геопросторових об'єктів. Розгляду принципів та обмежень саме такого співвіднесення та порівняння шляхом *накладання цифрових шарів* і присвячено зміст цього розділу.

Примітка. У вітчизняній літературі з геоінформаційних технологій операції з накладання цифрових шарів у цілому дуже часто називають *оверлейним аналізом*.

ГІС-інструментарій володіє можливістю з максимальною ефективністю використовувати процес *картографічного накладання* (англ. *map(r)ing*) or *cartographic overlay*). Цей процес удосконалювався на протязі сторіч у географії та картографії та у цілому зводиться до *комбінування картографічного подавання тематичної інформації однієї обраної теми з іншою (іншими)*.

При такому накладанні *вже на візуальному рівні* виникає можливість вирізнити взаємопов'язаність інформації різних суміщених карт (шарів), що закономірно віддзеркалює **геопросторову кореляцію** картографічно поданих **показників різних географічних явищ і процесів**. Теоретична основа такої кореляції постійно розвивається та розроблена для певних категорій картографічних даних. Так, наприклад, ще у 1925 році *Сойєром* (*Samoilenko, 2012, 2024*) було створено модель взаємозв'язку між показниками антропогенного навантаження, формами ландшафту та різними геопараметрами. Наступні дослідники (*Tirvitt, 1950, Хілс і ін., 1967*, тощо, див. *Samoilenko, 2012, 2024*) формалізували цю модель. Це призвело до створення цілої низки підходів з різними назвами, наприклад *картографування "просіюванням"* (*картографування "решетом"*) (англ. *sieve mapping*). Найбільш впливовим розробником такого підходу був *Ян МакХарг*, який у 1971 році застосував некомп'ютерний метод накладання з використанням пластикової плівки. Її окремі шари відображали обрані параметри довкілля за принципом "чим темніша ділянка плівки, тим вище чутливість довкілля" та з аналізом адитивного ефекту накладених шарів при виборі природоохоронних рішень тощо. Розробка Яна МакХарга стала основою для виникнення *цілого принципового напрямку картографування серед ландшафтних архітекторів*, піднятого на якісно новий рівень при застосуванні сучасних геоінформаційних технологій, насамперед ГІС-інструментарію (див. р.10).

А проте, слід одразу відзначити *неправомірність суджень про причинно-наслідкові зв'язки лише на основі* отриманих, хай навіть і достовірних, *кореляційних зв'язків* (див. *Samoilenko & Dibrova, 2025*)), тим більше на основі візуальної кореляції без відповідного змістового геопросторового системного аналізу тощо. Таке застереження особливо стосується геоінформаційних технологій, можливості яких дозволяють накладати один на одного практично безліч шарів тематичної інформації, використовуючи при цьому десятки методів власне накладання. Отже, будь-яка отримана при такому накладанні пов'язаність різних геопараметрів, наприклад при статистичному підході *Дейнджермонда* (1976, див. *Samoilenko, 2012*), де використовуються так звані *інтегровані одиниці (блоки) місцевості* (англ. *integrated terrain units, ITUs*), та інших дослідників, може бути лише основою для подальшого системного геопросторового аналізу причинно-наслідкової зумовленості цієї пов'язаності, якщо цього не було зроблено до співвіднесення певних шарів.

Картографічне накладання за допомогою геоінформаційних технологій, передбачає **декілька можливих варіантів** його виконання за змістом геопросторових об'єктів, а саме:

1) *накладання типу "точка у полігоні"*, тобто точкових і площинних об'єктів;

2) *накладання типу "лінія у полігоні"*, тобто лінійних і площинних об'єктів;

3) *накладання полігонів*, тобто площинних об'єктів.

Найбільш розповсюдженим, зрозуміло, є третій підхід до накладання. Утім існують задачі, коли використовуються і перші два, доповнені інколи і *варіантом комбінування точкових і лінійних об'єктів* всередині площинних чи самостійно.

Варіант **"точка у полігоні"** або **"точка у лінії всередині полігона"** досить характерно може бути представлено тяжінням розміщення найчастіше сільських населених пунктів, поданих як точки, до водних об'єктів, поданих у вигляді полігонів або ліній всередині них, тобто, наприклад, до озера як області, або до річки як лінії всередині полігона власного водозбору тощо.

Відшукання геопросторової кореляції при накладанні може базуватись і на співвіднесенні лінійних і площинних об'єктів, тобто на варіанті **"лінія в полігоні"** (англ. *line-in-polygon*). Наприклад, при історико-географічному аналізі розвитку певного міста перспективним для відшукування та наступного пояснення зв'язків є суміщення у хронологічному розрізі різних видів транспортних комунікацій, серед них залізниць і міського транспорту, з полігональними об'єктами, які віддзеркалюють поетапне розширення міської забудови.

Найбільш розповсюджено за його прикладною значущістю, зокрема для геопросторового аналізу, варіант картографічного **накладання полігонів**. При цьому методично таке накладання, як загалом і інші варіанти накладання, можна здійснювати, базуючись на виконанні певних **математичних логічних операцій при комбінуванні шарів**, розглядаючи *полігони* кожного з них як

певні множини, які суміщаються. До таких операцій, кілька з яких стосовно множин випадкових подій детально розглянуто у (Samoilenko & Dibrova, 2025), належать операції суми (об'єднання), різниці, добутку (перетину), частки, піднесення до степеня, вибору найбільшого чи найменшого значення, усереднення тощо.

Доцільно проілюструвати одну із зазначених операцій. Відомо, що **операція суми множин (полігонів)**, які об'єднуються з різних шарів, подається через математичний (логічний) *оператор диз'юнкції* (" \cup " – "або"). Тоді, наприклад при відшуканні міських ділянок, придатних під забудову, можна комбінувати декілька полігональних шарів з встановленими на них обмеженнями на забудову за критеріями структури земельного фонду, наявності природних територій, які охороняються, археологічних розкопок тощо (рис.8.1 для варіанта неперетнутих множин).

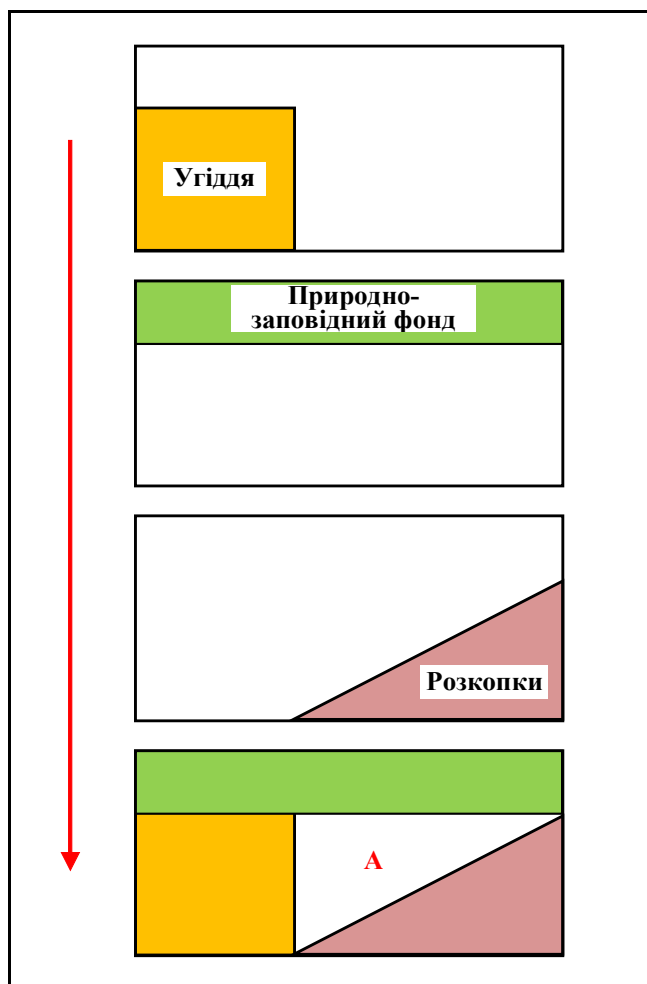


Рис.8.1 Приклад накладання полігонів (А – ділянка, придатна під забудову)

Таким чином, згідно зі змістом оператора диз'юнкції процедуру відшукування ділянок без обмежень може бути зведено при накладанні до послідовного виключення з розгляду територій, які є складниками суми різних обмежень. Мова йде про території, які є *або* непридатними за категорією земельного фонду, *або* непридатними як заповідники, *або* непридатними як місце археологічних розкопок тощо. На спільному за обмеженнями шарі (див. рис.8.1) і промаркується шукана під забудову ділянка, вільна від обмежень.

Зважаючи на зміст вже розглянутих підходів до картографічного накладання та наведені приклади, слід зазначити, що **накладання цифрових шарів у цілому** можна розподілити на такі **категорії**:

1) **суто математичного накладання** (англ. *mathematically based overlay*). Воно використовує обрану *одну з поданих вище математичних логічних операцій*. При цьому обмеження для шарів, які суміщаються, можуть мати *або рівні ваги*, тобто змінні такого обмеження розглядаються просто як *змінні, які виключають* (англ. *exclusionary variables*), *або бути виваженими*, коли зазначені змінні мають певну вагу як чинник обмеження;

2) **селективного накладання** (англ. *selective overlay*) *або накладання з правилами комбінування* (англ. *rules-of-combination overlay*). Воно використовує *комбінації математичних логічних операцій*, з поєднанням як виважених, так і простих змінних, які виключають, тощо. Характерним алгоритмом для такого накладання може бути *поліфункціональна операція "якщо – то – інакше (a ні, то)"*. Для вищенаведеного прикладу із забудовою (див. рис.8.1) зазначена операція могла б звучати як *"якщо немає обмежень на забудову за категорією сусідніх земель чи вони помірні і немає природоохоронних обмежень, а віддаленість від археологічних майданчиків перевищує 200 м, то встановити максимальні розміри ділянки під забудову, а ні, то встановити мінімальні розміри"*;

3) **накладання ідентифікації** (англ. *identify overlay*). Воно загалом виконується в межах завдань селективного накладання, але вирізняє в окрему таблицю всі можливі значення показників шарів і комбінації обмежень, застосовуючи саме такі розраховані значення.

Примітка. Щойно подане вирізнення категорій накладання в принципі є досить умовним і наслідує мету лише спрощення ознайомлення із загальними принципами картографічного накладання.

Зрозуміло, що всі вище наведені комбінаційні варіанти та операції при картографічному накладанні вельми оптимізуються при **застосуванні сучасних геоінформаційних технологій у процесі накладання**. Саме чому далі і розглядаються особливості **накладання різних шарів** для растрових та векторних структур даних, зокрема *стосовно можливості створення самостійного нового цифрового шару* (далі – **результувального шару**), а не простого спільного відображення скомбінованих шарів на екрані монітора для перегляду чи друкування суміщеного зображення.

Накладання для растрових структур даних не створює перешкод для ідентифікації вихідних об'єктів на результувальному при комбінуванні шарі. Воно також не є вельми утрудненим для будь-яких математичних логічних операцій тощо з шарами при їхньому накладанні.

Растрове накладання типу "точка в полігоні" не потребує явної інформації щодо координат як точок, так і полігонів, при цьому геопросторові БД будуть мати записи атрибутів, які показують *одночасну присутність двох або більше різних атрибутів в одній комірці растра* (див. рис.8.2).

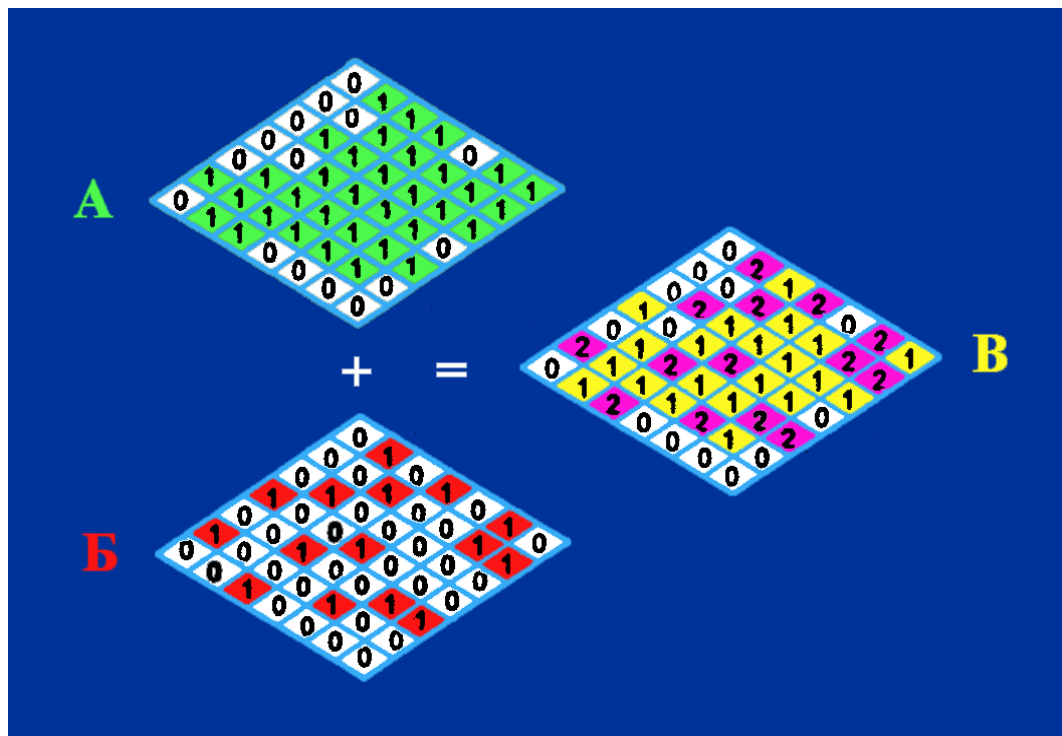


Рис.8.2 Приклад растрового накладання типу "точка в полігоні" (за DeMers, 2008) (А: 0 = відсутність трави, 1 = трава; Б: 0 = відсутність бур'яну, 1 = бур'ян; В: 0 = відсутність трави або бур'яну, 1 = трава або бур'ян, 2 = трава та бур'ян)

Варіант **растрового накладання "лінія у полігоні"** практично не відрізняється від варіанта "точка у полігоні", якщо згадати, що у растровій моделі даних лінії подаються ланцюжками суміжних комірок растра, які правлять за точки.

З такої позиції, **растрове накладання полігонів** також є відносно простим процесом, позаяк в растрові полігони є групами точок з однаковими значеннями атрибутів. У цілому, не дивлячись на те, що растровим накладанням властиві *вади геопросторової точності*, вони мають *відчутні переваги*. Їх зумовлено непотрібністю витрачання ресурсів на обчислення координатних

співвідношень об'єктів різних шарів у результувальному шарі, зрозуміло, за умови однакового геопросторового розрізнення та географічної прив'язки інформації цифрових шарів, які поєднуються. Замість цього ресурси витрачаються на операції порівняння атрибутивних даних. Такі операції зазвичай входять до складу т.зв. *картографічної алгебри* або *алгебри карт*, зважаючи і на можливості перекласифікації комірок растра (див. р.5).

Примітка. **Картографічна алгебра** або **алгебра карт** (*англ. map algebra*) – розроблена американським вченим *Томліном (C.D.Tomlin)* у 1980-1983 роках сукупність операцій з геопросторовими даними, які базуються на растровій моделі цих даних.

Накладання для векторних структур даних має насамперед ті переваги, що в результаті такого процесу створюються геоінформаційні продукти, які нагадують традиційні карти значно більшою мірою, ніж в результаті растрового накладання. Утім, *на відміну від процесу створення традиційних карт*, ГІС-інструментарій володіє *значно більшим і ефективнішим аналітичним набором швидкодіючих засобів комбінування тематичної інформації* великої кількості різних цифрових шарів із застосуванням більшої кількості кольорів чи їхніх відтінків. Суто візуальне розпізнавання останніх на вихідних шарах і результувальному замінюється на цифрове із заданим, оптимальним для людського ока, подаванням агрегованих даних.

Питання **про можливість створення саме результувального (нового) цифрового шару** при накладанні є особливо актуальним для векторних структур геопросторових даних. Так, **топологічне векторне накладання** засноване на векторно-топологічній моделі даних (див. р.2). Вона дозволяє відстежувати геопросторові зв'язки між об'єктами, а також визначає принцип накладання полігональних шарів, який забезпечує передавання атрибутів об'єктів полігонам результувального шару. Цей принцип оперує зокрема таким базовим поняттям, як **найменша спільна географічна одиниця (НСГО)** (*англ. least common geographic unit, LCGU*). Зазначена одиниця як "топологічний результат" є межею, за якою стає неможливим подальший поділ полігональних об'єктів при їхній зміні. З НСГО також поєднується набір атрибутів, який не підлягає подальшому поділу на категорії.

Аналогічно до растрових структур доцільно розглянути *варіанти топологічного векторного накладання*. Геоінформаційні **векторні накладання** типу **"точка у полігоні"** або **"лінія у полігоні"**, за вихідної умови спільної системи координат, зазвичай *мають на меті створення нового цифрового шару*. Він має складатися лише з тих полігонів, що містять точки або лінії, положення яких визначено щодо координат меж полігонів, з якими суміщаються зазначені точки або лінії.

На рис.8.3 проілюстровано відповідне щойно зазначеній меті визначення належності певної точки зображеному полігону при векторному накладанні типу "точка в полігоні".

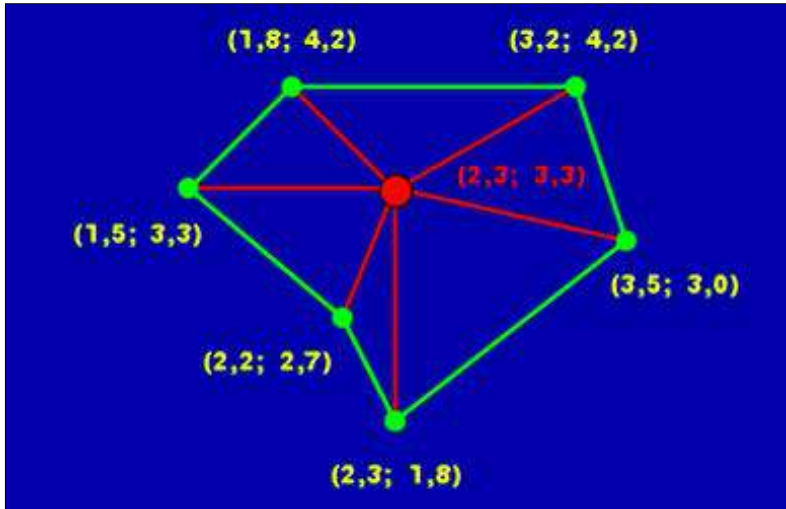


Рис.8.3 Приклад векторного топологічного накладання типу "точка в полігоні"

Векторне накладання типу "лінія у полігоні" за змістом зводиться до двох чи декількох точкових накладань (рис.8.4) і полягає у співвіднесенні координат кінцевих і проміжних точок лінії з координатами меж полігона для визначення належності цих точок полігону. У випадку, коли лінія перетинає межу полігона, на який вона накладається, що і зображено на рис.8.4, у точці перетину створюють вузол (див. р.4). Це дозволяє, крім іншого, розподілити атрибути зовнішніх і внутрішніх по відношенню до полігона частин лінії, наприклад при визначенні атрибутів лісозахисної смуги, яка перетинає річку та луки, окремо для кожної з відповідних частин смуги тощо.

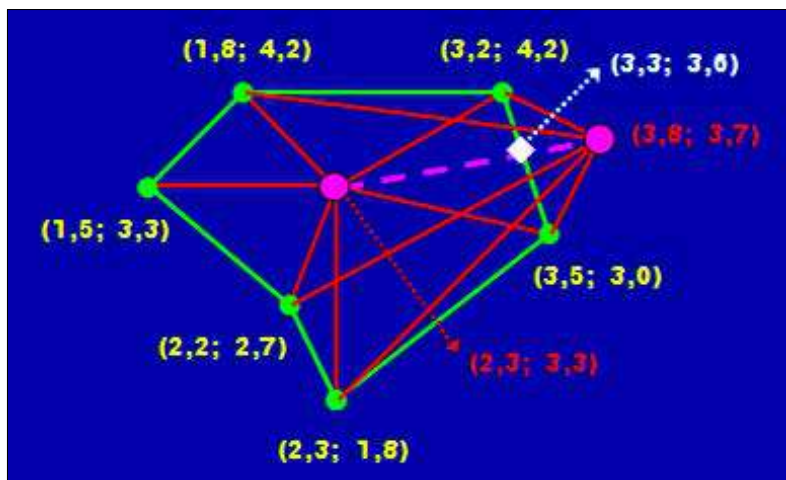


Рис.8.4 Приклад векторного топологічного накладання типу "лінія в полігоні" (- - - - лінія, що накладається; \blacklozenge - додатковий вузол)

При **векторному накладанні полігонів**, аналогічно до варіанта "лінія у полігоні", визначаються *точки перетину меж полігонів одного цифрового шару з такими ж межами іншого шару*, Ці точки кваліфікуються як вузли, а атрибути всіх щойно зазначених точок передаються у новий, результувальний шар.

Слід також зважати на те, що т.зв. *бульова логіка* (DeMers, 2008), яка застосовується при запитах до баз даних, використовується і для геопросторових запитів. Це формує зміст ще одного *широко розповсюдженого різновиду векторного накладання полігонів – векторного бульового накладання* (англ. *Boolean overlay*).

Цей зміст стає більш зрозумілим, якщо згадати принципи операцій з множинами, про які вже йшла мова на початку цього розділу та які детально розглянуто у (Samoilenko & Topuzov, 2011, Samoilenko & Dibrova, 2025). Ілюстрацію бульових операцій перетину (добутку) та об'єднання (суми) за допомогою т.зв. *діаграм Венна* наведено на рис.8.5.

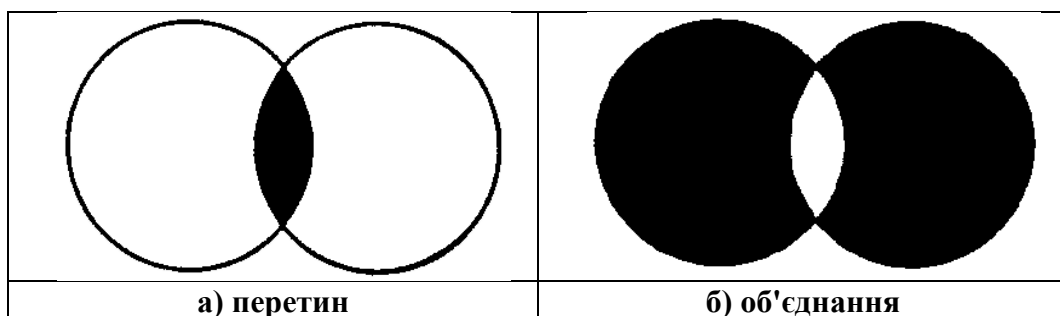


Рис.8.5 Приклад бульових операцій, зображених за допомогою діаграм Венна (перетнуті множини, див. *Samoilenko & Dibrova, 2025*)

При векторному бульовому накладанні *зіставляються не власне атрибути, а геопростір, який займає кожний з двох чи більше наборів атрибутів*. Нехай, наприклад, на одному цифровому шарі нанесено полігони з двома типами забудови – сільською та міською, а на іншому – полігони, які маркують землю, яка знаходиться у власності або орендується. Тоді на результувальному шарі лише при накладанні *за допомогою операції перетину* у випадку суцільно перетнутих множин можна отримати полігони, які задовольняють визначеним критеріям за атрибутами. За них правлять критерії "сільські ділянки, які знаходяться у власності", "міські ділянки, які знаходяться у власності", "сільські ділянки, які орендуються" та "міські ділянки, які орендуються" (рис.8.6). Операція ж об'єднання за таких умов стає недоцільною (див. *Samoilenko & Topuzov, 2011, Samoilenko & Dibrova, 2025*).

Векторне накладання великих цифрових шарів може бути досить тривалим процесом. Для його спрощення та прискорення досить часто застосовуються

такі прийоми, як перекласифікація об'єктів результувального шару, попередня перекласифікація об'єктів вихідних шарів, які накладаються, тощо. Корисним при цьому буде і застосування для векторних структур категорії *накладання ідентифікації* (див. попередній текст), з результувальним занесенням у таблицю полігонів, які містять комбінації всіх полігонів, що перетинаються, та співвідношень їхніх категорій.

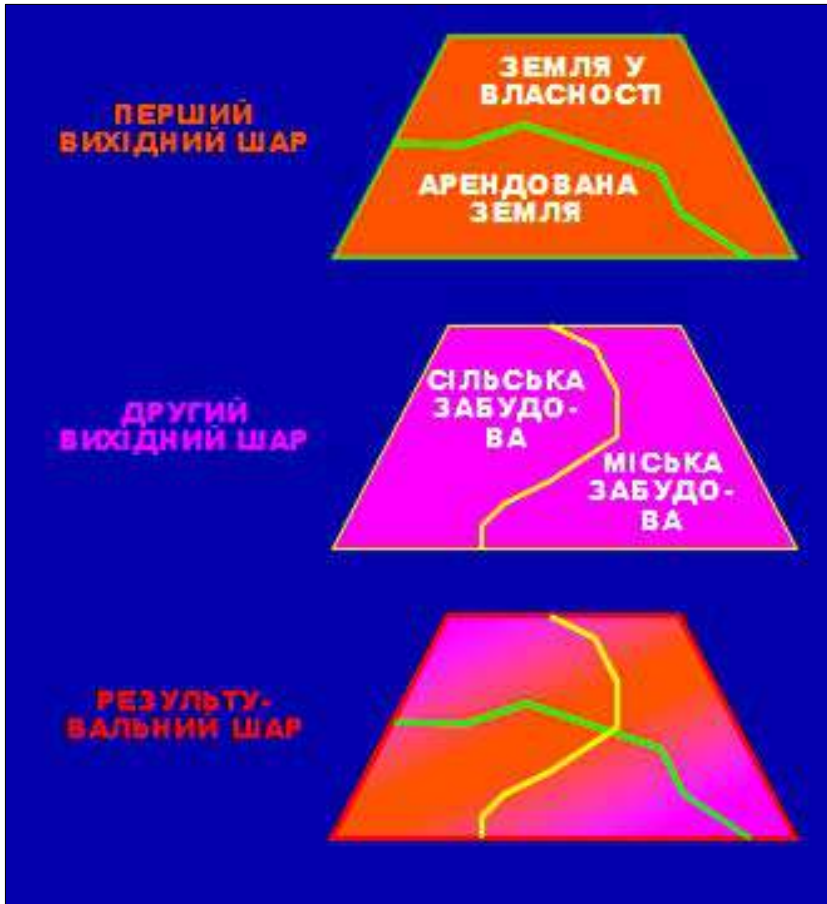


Рис.8.6 Приклад векторного бульового накладання з перетином

Операції порівняння атрибутивних даних за допомогою *алгебри карт* застосовні не тільки для растрового, а і для *векторного накладання*. Утім, при цьому результати такого алгебраїчного векторного накладання можуть суттєво відрізнятися від растрового за рахунок *похибок при векторному накладанні*. Їх спричинює, наприклад, створення цифрових шарів на основі космічних зйомок, проведених у різний час і/або на різній апаратурі, похибки цифрування тощо. Характерним наслідковим прикладом таких похибок є існування *осколкових полігонів при векторному накладанні*, які вже початково

розглядалися у р.3 (рис.8.7). Позаяк теорія врахування зазначених похибок при векторному накладанні цифрових шарів є ще недосконалою, не містить однозначних рішень і знаходиться у стадії розвитку, фахівці інколи віддають перевагу растровому накладанню з метою запобігання частим і досить тривалим коригуванням зображень.

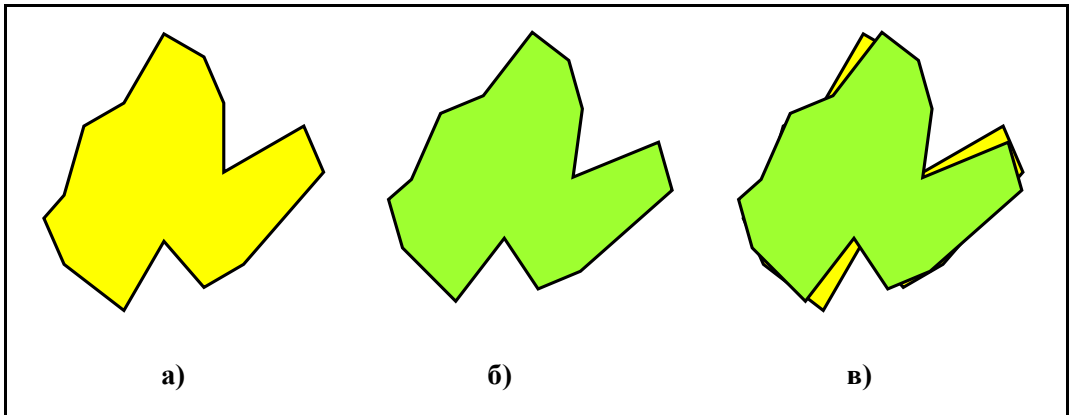


Рис.8.7 Осколкові полігони, які виникають при векторному накладанні полігонів (а – полігон при зйомці в момент t_1 ; б – полігон при зйомці в момент t_2 ; в – осколкові полігони при накладанні)

На завершення розділу про накладання шарів при геопросторовому аналізі доцільно розглянути один досить давній *картографічний метод деталізації полігональної інформації*. Він який зветься *дасиметричним картографуванням* або *картографуванням щільності* (англ. *dasymetric mapping*) і попередньо викладався у р.6. Цей метод, який може застосовуватися до геопросторових даних, поданих у вигляді статистичної поверхні, дозволяє більш чітко зрозуміти підходи, які використовуються при геопросторовому аналізі, як вже викладені, так і потенційні.

Історично дасиметричне картографування тісно поєднано з розвитком *Робінсоном* і іншими дослідниками (1995, див. *DeMers, 2008; Samoilenko, 2012*) оригінального методу *Райта* (1936, див. *DeMers, 2008; Samoilenko, 2012*). Згідно з ним можна покращити якість кількісних даних полігонального шару шляхом порівняння з більш докладними даними іншого шару. Перше задокументоване застосування методу дасиметрії зробив *МакКлірі* (1969, див. *DeMers, 2008; Samoilenko, 2012*) при удосконаленні класифікації щільності населення за допомогою т.зв. *окреслювання зон щільності* (англ. *density zone outlining*). Такий підхід, відомий також як *щільність частин*, використовувався для досягнення більш детальної інформації щодо щільності точок у областях, які не входили у вибірку, на основі більш точних відомостей щодо менших субобластей, які містились у вибірці.

Повномірільне застосування дасиметричного методу пов'язують з дослідженнями Гамонда (1964, див. *DeMers, 2008; Samoilenko, 2012*) щодо форм рельєфу, де виконано класифікаційне окреслювання областей геоморфологічних елементів на основі перекласифікації топографічних даних. У цьому аспекті вже розглядалася дещо змінена форма дасиметричного картографування у р.5-6 при *перекласифікації поверхонь* зі створенням оточення тощо шляхом *групування обраних інтервалів вихідних даних*.

Безпосередньо для завдань накладання цифрових шарів можуть стати в нагоді ще декілька форм дасиметричного картографування. Найбільш потужною серед цих форм є *використання інших регіонів з припущенням щодо їхньої пов'язаності з основними при комбінуванні регіонами* та застосуванням певної категорії картографічного накладання, яка базується на:

1) *обмежувальних змінних* (див. початок розділу) для ізолювання та відкидання областей, які вносять систематичні відхилення у кількісні полігональні дані;

2) *пов'язаних змінних* з реалізацією через апарат регресійного аналізу при суто математичному растровому та векторному накладанні.

Розвиток застосувань дасиметричного картографування як *набору потенційних способів накладання шарів* може забезпечити істотне удосконалення інструментарію такого накладання у геоінформаційних технологіях.

У цілому ж накладання цифрових шарів як спосіб геопросторового аналізу, а також власне підсистема такого аналізу, найбільш повно використовуються та деталізуються *при картографічно-геоінформаційному моделюванні*. Розкриття змісту останнього не входить до завдань цієї монографії, тим більше, що таке моделювання досить докладно висвітлено у низці праць, зокрема і праць одного з авторів цього видання (*Samoilenko et al., 2019, 2026*).

9 ВИВІД РЕЗУЛЬТАТІВ ГЕОПРОСТОРОВОГО АНАЛІЗУ

Подання результатів аналізу геопросторових даних, тобто **вивід результатів геопросторового аналізу в межах однойменної підсистеми** – є кінцевою та найважливішою у прикладному аспекті функцією геоінформаційних технологій. Вона відображає підсумки аналізу розміщення, структури, взаємозв'язків об'єктів, процесів і явищ з використанням методів як власне *геопросторового аналізу* (р.1-8), так *картографічно-геоінформаційного моделювання*. Саме тому цей розділ і присвячено загальним уявленням щодо змісту виводу за допомогою геоінформаційних технологій, а також щодо певних вимог дизайну до продуктів виводу та інших особливостей, поєднаних з цим процесом.

Важливою *передумовою* виводу результатів геопросторового аналізу є **запити до геопросторових баз даних і мова цих запитів**.

У цілому **запит** (англ. *query, request*) є завданням на пошук (англ. *retrieval*) даних, які задовольняють певним умовам, в базах даних. Запит формулюється за допомогою мови спілкування користувача з СУБД – **мови запитів** (англ. *query language*), а також **запитів за зразком** (англ. *query-by-example, QBE*) чи іншим способом. *Пошук геопросторових об'єктів за умовами, які містять координати*, здійснюється за **геопросторовим запитом** (англ. *geospatial query*), зокрема на пошук об'єктів у вікні прямокутної, круглої або довільної форми. У процесі виконання запиту можуть здійснюватися *додаткові дії (операції)*, такі як сортування, обчислювання тощо з огляду на можливості програмного забезпечення запитів. Крім того практикується створення *додаткових прикладних програм запитів* або *командних файлів*, які спрощують набір команд з клавіатури чи вибір з системи меню тощо (див. *Samoilenko, 2024*). Стандартною мовою запитів до реляційних БД є мова *SQL* (т.зв. *SQL-запити*), стандартне мультимедійне розширення якої (*SQL/MM*) вже розглядалося у р.3 в аспекті збереження та редагування геопросторових даних і обслуговування систем з технологією "клієнт – сервер" тощо.

Повертаючись безпосередньо до змісту виводу результатів геопросторового аналізу, слід зазначити, що такий **вивід в залежності від спрямованості процесу та типу вихідного устаткування** може поділятися на **дві категорії**:

1) **постійний (незмінний, довготерміновий)** (англ. *permanent*) **вивід**. Це вивід на паперові носії, плівку, магнітні носії тощо (зокрема *картографічний вивід* – вивід карти), які можуть зберігати однозначно заданий результат у вигляді відповідних копій на протязі довгого терміну;

2) **тимчасовий (нетривалий)** (англ. *ephemeral*) **вивід**. Це вивід, зазвичай на екран монітора, з метою демонстраційної візуалізації результатів геопросторового аналізу чи попереднього перегляду файлів для вирішення питання про їхнє використання при аналізі або про постійний вивід.

Зазначені категорії виводу органічно поєднано і з такими **вимогами до результатів виводу у геоінформаційних технологіях**, як:

1) **комп'ютерно-орієнтовані вимоги**, які стосуються подавання та збереження матеріалу на відповідних носіях інформації та початково задані підсистемою збереження, вибірки та редагування геопросторових даних (див. р.1 і р.3);

2) **людино-орієнтовані вимоги**, зумовлені сприйняттям людьми, як користувачами геоінформаційних технологій, продуктів виводу (візуалізації).

Комп'ютерно-орієнтовані вимоги до виводу даних геопросторового аналізу потребують відповідних рішень насамперед щодо структури даних, носіїв інформації, сполучності з іншими програмами, системами та програмними засобами візуалізації тощо. Визначитись з такими вимогами, зокрема орієнтуючись на спеціалізовану літературу, стандартні вимоги тощо, відносно простіше, ніж визначитись з особливостями *людино-орієнтованих вимог*, позаяк існує відчутна диференціація користувачів за досвідом і рівнем розуміння графічних засобів комунікації.

Через останню причину у цьому розділі *більше уваги приділяється* людино-орієнтованим особливостям **постійного виводу** результатів геопросторового аналізу. Також більше уваги приділяється саме **картографічному виводу**, оскільки картографічне подавання є наразі найбільш розповсюдженим для користувачів геоінформаційним продуктом і найбільш компактним способом подавання геопросторової інформації.

Згідно з такими засновками, доцільно дещо деталізувати **поняття про електронну (інколи комп'ютерну) карту** (англ. *electronic map*) як **результат постійного виводу результатів геопросторового аналізу**. Під нею слід розуміти **картографічний продукт в електронній формі, який містить, поперше, цифрові дані, зокрема цифрові, векторні чи растрові, карти та/або шари даних, зазвичай у записах на відповідному носії інформації, зосібна й інформаційно-мережному**. По-друге, цей продукт містить **програмні засоби візуалізації** зазначених даних, зазвичай **картографічний візуалізатор** (англ. *map viewer*) або **картографічний браузер** (англ. *map browser*), які призначено вже для генерації електронної карти.

Електронна карта формується з використанням програмних і технічних складників геоінформаційних технологій згідно з прийнятою проєкцією, системою координат, умовними знаками тощо. Загалом ця карта *має на меті інформаційне відображення, аналіз і моделювання геопросторових даних*. Аналогічним чином можна у цілому кваліфікувати і **електронний (комп'ютерний) атлас** (англ. *electronic or computer atlas*). За нього править *систематизована збірка на носії інформації електронних карт, виконаних за єдиною програмою та обраною тематичною спрямованістю* (рис.9.1).

Слід стисло зазначити, що загалом **візуалізація** (англ. *visualization, viewing, display, displaying*) (*син. графічне відтворення, відображення*) в термінології картографії, комп'ютерної графіки та геоінформаційних технологій

– це проектування та генерація зображень, зокрема геозображень, картографічних зображень і іншої графіки, найчастіше на екрані монітора на основі вихідних цифрових даних та правил і алгоритмів їхнього перетворення.

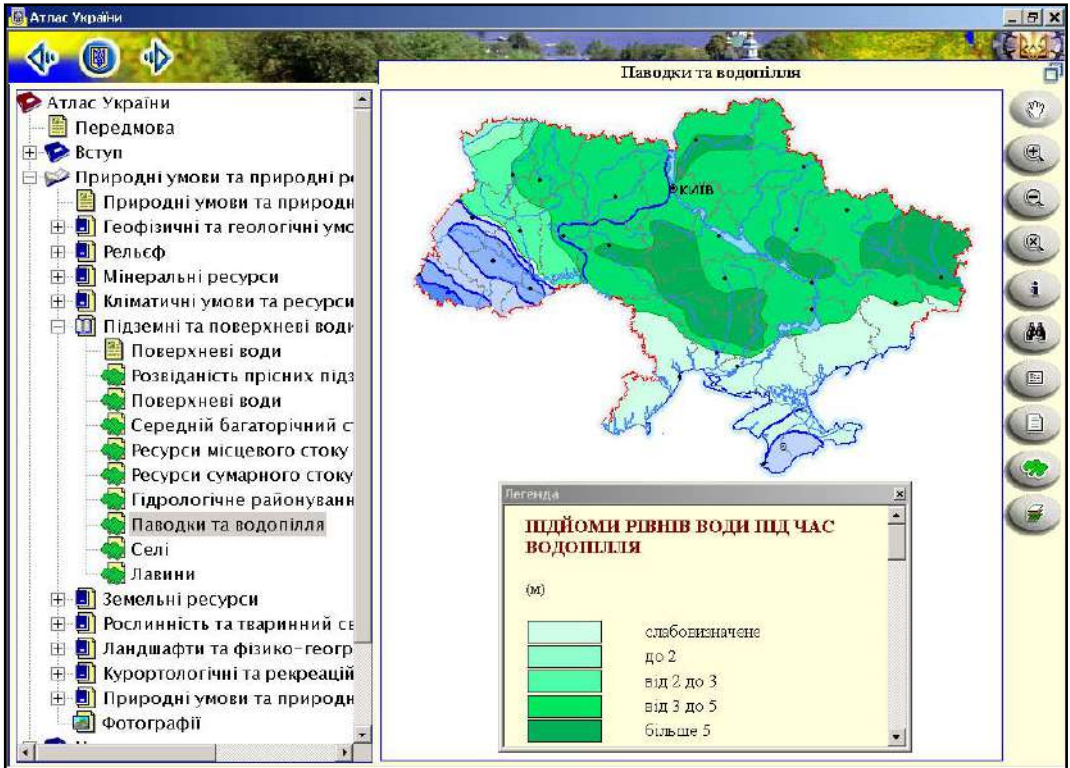


Рис.9.1 Зміст (меню) електронних карт атласу на прикладі електронного Атласу України (за Atlas, 2000)

Примітки (на основі Busyhin et al., 2007).

1. Можливості проектування та редагування зображень забезпечуються **набором інструментальних засобів і операцій візуалізації**, який містить:

1) зміну мірила зображення (англ. *zooming*), тобто кратне цілому або таке, що задається користувачем, його зменшення (англ. *reducing, zoom in*) та збільшення (англ. *enlarging, zoom out*), або укрупнення деталей обраного фрагмента в межах прямокутного вікна (англ. *windowing*) чи панорамування (англ. *pan*), тобто розгортання зображення до розмірів робочої частини відеоекрана або його активного вікна;

2) прокрутку (скролінг) (англ. *scrolling*) зображення, розмір якого перевищує габарити відображення;

3) перегортання або переглядання (браузинг) (англ. *browsing*) багатопланового набору чи послідовності зображень;

4) зміщення, переміщення, дублювання, відтинання (кліпування), обертання (ротацию) та інші графічні або геометричні перетворення.

Засоби оформлення зображень відтворюють операції кольорової заливки замкнених контурів (англ. *shading*) з палітри (англ. *palette*) допустимих кольорів або штрихування (англ. *cross-hatching*) цих контурів з набору текстурних зразків (англ. *pattern*). При візуалізації картографічних зображень, крім того, використовуються різноманітні графічні змінні та особливі способи картографічного зображення.

При візуалізації розрізняються також *плоскі* (двовимірні або *планіметричні*) зображення (англ. *planimetric images, 2-D view, 2-D images*) та *тривимірні зображення* (англ. *volumetric images, 3-D view, 3-dimensional view, perspective view*). Тривимірні зображення будуються в аксонометричній, ортогональній, перспективній (центральної) чи іншій проєкції з центра (центрів) проєктування, т.зв. *точки огляду* (англ. *vista point, view point, point of view*). Вона має певні характеристики: висоту над поверхнею, відстань до неї та напрямок огляду. Такі зображення можуть бути напівтоновими світлотіньовими або нитковими, сітчастими, каркасними чи дротяними та дотно-каркасними (приклад на рис.9.2).

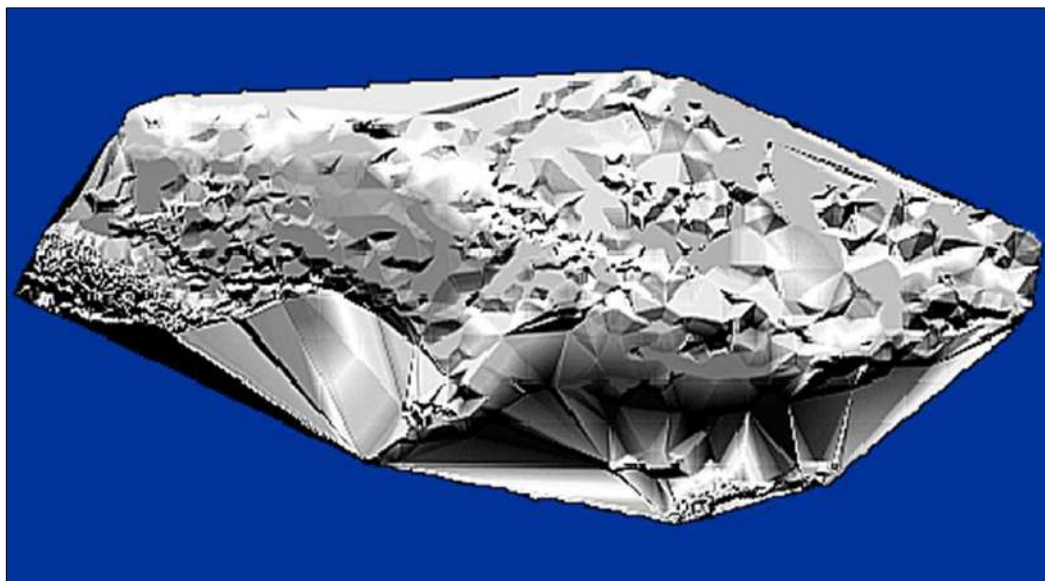


Рис.9.2 Приклад комбінованого (напівтонового світлотіньового та каркасного) тривимірного зображення ділянки топографічної поверхні

Загалом **побудова тривимірних зображень**, яку інколи називають *рендерингом* (екранізацією) (англ. *rendering*), також є однією з операцій обробки цифрової моделі висот (ЦМВ, див. р.6). Її досить часто доповнюють іншою операцією обробки ЦМВ – накладанням на тривимірне зображення *планіметричних шарів* (інша назва – *драпування*, англ. *draping*). При цьому такими шарами можуть бути космічні або аерозображення, що призводить до отримання вельми реалістичних об'ємних зображень території. Динамічне маніпулювання такими зображеннями, зокрема у системах тренажу тощо, дає ефекти, близькі до віртуальної реальності. Останні тези стосуються і ГІС-інструментарію, який використовує векторну модель поверхонь *TIN* і/або її комбінацію з растровою моделлю.

Реалістичність візуалізації досягається також *створенням текстури зображень на основі тривимірних моделей даних*, які встановлюють зв'язок текстурного елемента або *тексела* (англ. *texel* від *texture element*) поверхні з *атрибутивними даними*.

Інколи виділяються, *по-перше*, **дійсно** або **справді тривимірні зображення** (англ. *true 3-D view*). До них відносяться насамперед *стереомоделі*, які відтворюються відповідними стереоприладами, а також *об'ємні чи стереозображення*, отримані відповідними способами, зокрема на спеціалізованих об'ємних дисплеях безпосередньої тривимірної візуалізації типу *DVDD* (аббревіатура від англ. *Direct Volume Display Device*). *По-друге*, у вузькопрофесійній термінології фахівців з геоінформаційних технологій застосовується і поняття **2,5-вимірних зображень** (англ. *2.5 view*), під якими розуміються:

- 1) будь-які плоскі зображення рельєфу в ізолініях;
- 2) плоскі блок-діаграми, позбавлені тривимірного зображення;
- 3) будь-які інші тривимірні зображення на площині, які не задовольняють вимогам до справді тривимірних зображень тощо.

Слід зважати також на те, що у дистанційному зондуванні термін "візуалізація" має зміст, дещо відмінний від вищевикладеного.

2. Візуалізатор (англ. *visualizer, viewer*) (син. **в'юер**) – програмний засіб, *призначений для візуалізації даних*. Безпосередньо у геоінформаційних технологіях застосовують **картографічний візуалізатор** (англ. *map viewer*) або **ГІС-візуалізатор** – один з типів геоінформаційного інструментарію з набором функцій, зазвичай визначених можливостями відеоекранної візуалізації картографічних зображень. Віг має факультативну функціональну здатність до доповнення та перетворення атрибутивних даних, їхнього експорту, імпорту та статистичної обробки, виводу зображень на інші графічні периферійні пристрої тощо. Функціонально спрощений візуалізатор, зокрема графіки, називається **браузером** (засобом перегляду) (англ. *browser*), а під **картографічним браузером** (англ. *map browser*) або **ГІС-браузером** розуміється відповідний геоінформаційний інструментальний засіб. Крім того, вирізняються **ГІС-web-візуалізатори** та **ГІС-web-браузери**. Їх призначено для реалізації щойно зазначених функцій картографічного візуалізатора та браузера щодо геопросторових даних, розміщених насамперед у глобальній інформаційній мережі (див. р.10).

Зрозуміло, що у цілому слід зважати на *спосіб оформлення (виробництва) цифрових карт або шарів при постійному виводі результатів геопросторового аналізу*, тобто у друкованому варіанті чи у вигляді електронних карт. Утім, не дивлячись на обраний акцент на людино-орієнтовані критерії, існують і певні **загальні підходи до ефективного подавання результатів геопросторового аналізу у вигляді карт в процесі їхнього дизайну**, насамперед до *компоновки карт* тощо.

Примітка. Під **компоновкою карти** (англ. *map montage, map assembly*) у цілому розуміється *розміщення картографічного зображення, назви карти, легенди та інших даних всередині рамок карти, на її полях або в межах аркуша*.

Вимоги ефективного подавання геопросторової інформації на карті значною мірою можуть бути задоволено передусім шляхом **врахування змістового призначення карти**, досить часто зумовленого складом майбутніх

користувачів картою (див. далі). Зрозуміло, що при цьому компоновка тощо, наприклад *загальногеографічних карт* (англ. *general reference maps*), тим більше *оглядових* (англ. *overview*), буде істотно відрізнятися від *тематичних карт* (англ. *thematic maps*). Відображення рішень останніх, саме як результату вирішення такими картами певної задачі, носить більш індивідуальний, а отже і більш проблемний характер.

Вихідне правило при складанні тематичної карти полягає у тому, що (DeMers, 2008; Samoilenko, 2012) вона має бути тією, що **читається, аналізується та інтерпретується**. А отже задля **читабельності карти** насамперед слід видалити всі очевидно зайві в аспекті призначення карти об'єкти.

При врахуванні вимог легкої читабельності карти, досить важливим є *питання щодо комбінування растрових і векторних зображень під час створення карти*. Сучасний ГІС-інструментарій має виняткові можливості спільної обробки таких зображень при побудові карт на основі космічних і аерофотознімків. Зазначені зображення, на яких растровий образ межує з векторним, *сполучають своєрідність та неупередженість знімків з читабельністю та звичними рисами карти*. При поєднанні двох форматів зображень можна отримати досить ефективні за подаванням карти. При цьому слід врахувати, що на поєднаному зображенні розробник карти, як і зазвичай, має можливість у векторній частині вивести на перший план найбільш важливі деталі, орієнтуючись на конкретного користувача.

Утім, навіть після видалення очевидно зайвих геопросторових об'єктів і комбінування різних типів зображень тощо, треба буде визначитись із значною кількістю проблем вибору, обробки, *генералізації* вихідних даних, а також з використанням відповідних *символів*, доступних користувачу, для відображення цих даних тощо. При цьому стосовно **проблеми генералізації** у цілому слід зазначити, що наразі повністю та універсально автоматизувати такий процес ще не вдалося, не дивлячись на певний поступ у цьому питанні.

Так, при створенні електронних карт певні геоінформаційні технології здатні реалізувати можливість *підключення зображення більш крупної карти при збільшенні мірила*. Досягається це за рахунок того, що одна і та сама карта цифрується та готується у декількох різних мірилах із створенням також т.зв. **мірильного файлу**. У ньому зазначається, у якому діапазоні мірил слід відтворювати те чи інше цифрове зображення. Таким чином, *при укрупненні користувач може побачити появу на карті додаткових елементів, які раніше були відсутніми* (рис.9.3), *та навпаки*, що і імітує дійсний процес збільшення / зменшення. Такий підхід дозволяє певною мірою пом'якшити поки ще недостатньо розв'язану у геоінформаційних технологіях проблему генералізації. Це спричинено тим, що зазвичай у цих технологіях зображення при його зменшенні не генералізується у розумінні традиційної картографії. Тобто автоматизований аналітичний відбір і збереження більш важливих елементів наразі знаходиться в стадії розробки.

Останнє викликано тим, що, як вже зазначалось, наразі жоден ГІС-інструментарій не має універсальних засобів генералізації карт, за винятком певних програм для досить вузько спрямованих рішень у інтерактивному режимі. Ця ситуація закономірно пояснюється тим, що *генералізація є експертною задачею*. Її на сьогодні не може бути подано у вигляді стандартного алгоритму. Тому майбутнє у розв'язанні проблеми генералізації у геоінформаційних технологіях найімовірніше належить поєднанню ГІС-інструментарію з програмними модулями експертних систем, передусім штучного інтелекту (див. вступ), призначеними для генералізації.

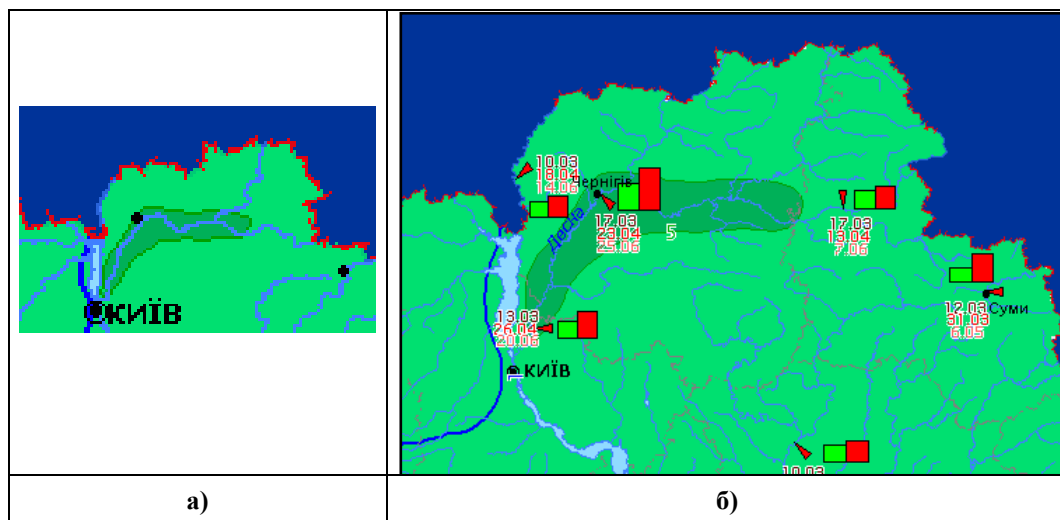


Рис.9.3 Приклад появи додаткових елементів на електронній карті при її укрупненні за допомогою мірального файлу (за Atlas, 2000)

Отже, на сучасному етапі процесу генералізації даних, символіки тощо у геоінформаційних технологіях мають бути своєрідним синергічним комплексуванням наукових підходів і мистецтва. Через це вельми доцільним і є виконання *потрібного числа попередніх дизайнерських ескізів тощо* перед початком реальної компіляції карти. При цьому **дизайн карти у геоінформаційних технологіях** може бути істотно багатограним за змістом, зважаючи на широкі можливості передусім ГІС-інструментарію.

До того ж досить часто можна одразу натрапити на нову проблему – **проблему конфлікту логічних (інтелектуальних) і графічних (візуальних) цілей картографічного дизайну**. Розв'язання цієї проблеми практично завжди відбувається шляхом *компромісу при розміщенні символів*.

Найпростіший приклад щойно зазначеного компромісного рішення наведено на рис.9.4. Тут задля збереження читабельності та естетичності карти певні об'єкти на березі річки, а саме будинки та лінія дороги біля них, дещо зміщено від їхніх точних координат.

Приклад рис.9.4 віддзеркалює **важливу особливість дизайну карт** у геоінформаційних технологіях. Згідно з нею *розташування картографічних об'єктів далеко не завжди абсолютно точно відповідає реальному місцезнаходженню фізичних об'єктів*, які вони представляють. А проте, таке "порушення правил" здійснюється не просто за бажанням конкретного укладача карти. Воно підпорядковується певному існуючому для цього стандартному набору *картографічних угод (домовленостей)* (DeMers, 2008; Samoilenko, 2012, 2024) і *традицій*, які зокрема є результатом перевірки їх серед користувачів карт.

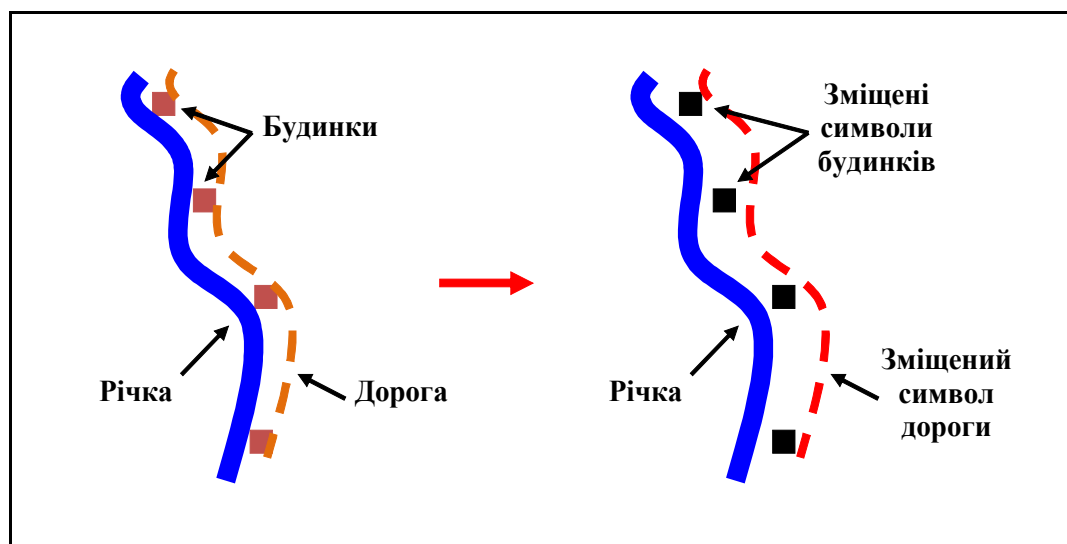


Рис.9.4 Приклад компромісного рішення при розміщенні символів

Процес картографічного дизайну у геоінформаційних технологіях зазвичай відзначається *стадіальністю* з вирішенням при створенні цифрових карт:

- 1) початкової стадії;
- 2) основної стадії
- 3) заключної стадії.

Початкова стадія є стадією більше інтуїтивних рішень, результат яких – *загальний ескізний план* створюваної карти з її *попередньою компоновкою* та просуванням від ескізу хоч на папері до ескізу на екрані монітора.

Основна стадія є стадією вибору символів для відображення об'єктів, інтервалів класів (категорій), кольору та типу ліній і інших графічних елементів і співвіднесення розмірів і розташування картографічних зображень основних об'єктів.

Зокрема, на цій стадії вибір типу (форми) картографічних символів у загальному випадку здійснюється з бібліотеки символів з наступним

встановленням для них *розміру* (для ліній – ширини), *орієнтації* та *кольору*. Крім того, для заповнення полігонів і поверхонь можуть використовуватися заливка кольором, зокрема напівтонова, і/або штрихування з набору його текстурних зразків. Вони відрізняються, крім кольору чи напівтонів, регулярною або випадковою організацією своїх елементів і їхньою частотою переходу. Це дозволяє робити зображення світлішим чи темнішим, а також орієнтацією цих елементів (рис.9.5).

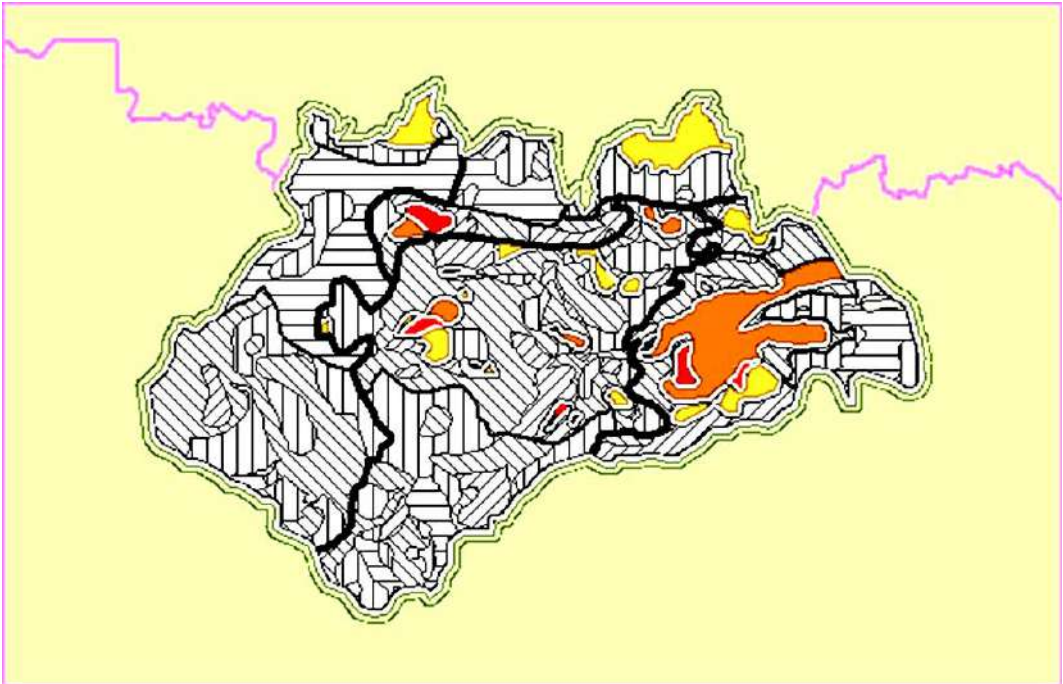


Рис.9.5 Приклад заповнення полігонів заливкою та штрихуванням (ГІС стану водних об'єктів України, за *Samoilenko, 1998-2000, 2024*)

За відсутності потрібних символів у їхній бібліотеці, *конструюються нові символи з геометричних (графічних) примітивів*, а саме точок, ліній, кіл, прямокутників, секторів тощо. Це здійснюється для відповідного відтворення та розрізнення всіх чотирьох типів об'єктів реального світу – точкових, лінійних, площинних і об'ємних.

На цій же стадії слід також приділяти увагу *вибору оптимальних взаємопов'язаних характеристик дизайну символів і власне картографічних зображень*, таких як:

- 1) *розбірливість* (англ. *legibility*);
- 2) *візуальний контраст* (англ. *visual contrast*);
- 3) *співвідношення основного зображення та фону* (англ. *figure-ground*);
- 4) *ієрархічна організація*.

Вимога **розбірливості символів** передбачає, що окремі лінії мають бути подільними, кольори – тими, які розрізняються, форми – тими, які впізнаються. Розміри символів повинні враховувати відстань, з якої буде розглядатися карта у будь-якому варіанті, зважаючи і на обмеження людського ока. Стосовно форми символів не слід забувати і про *суб'єктивізм візуального сприйняття* людиною певних розмірів (приклад – на рис.9.6).

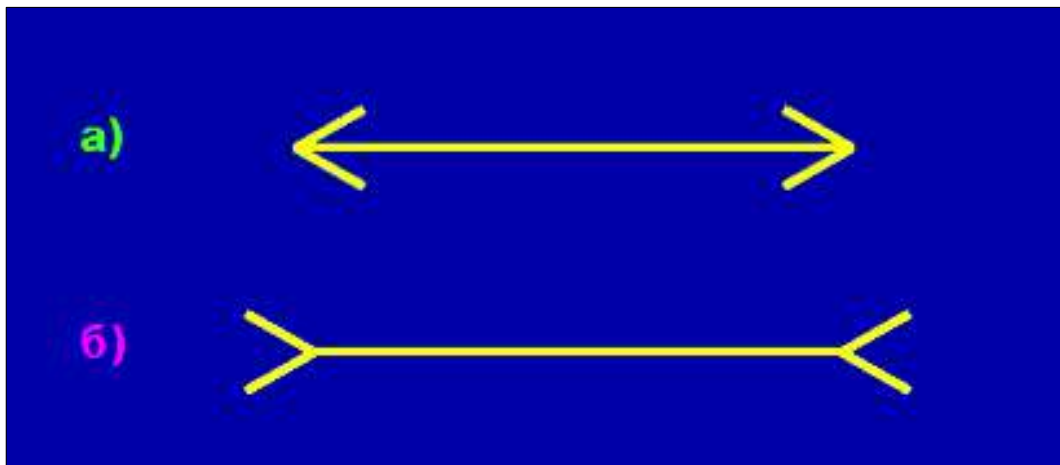


Рис.9.6 Приклад суб'єктивізму візуального сприйняття людиною лінійних розмірів (довжина відрізка на а) здається меншою, ніж на б), хоч ці довжини є однаковими)

На розбірливість символів значною мірою впливає і чинник **видимості власне символів**. Наприклад лінії розрізняються досить легко і тому немає необхідності робити їх занадто широкими.

При виборі ж **співвідношення кольорів** символів та їхнього фону, зрозуміло, слід зважати на певні сполучення кольорів, які сприяють розрізненню, наприклад чорні літери на білому фоні, або заважають йому, ті ж чорні літери на темно-синьому фоні. Упізнаванню форм символів сприятиме врахування особливостей асоціативного мислення людини. Класичним прикладом цього є застосування фігур на шляхових знаках, не забуваючи, звичайно, і про загальні принципи застосування знакових систем тематичної картографії, серед них вже стандартизовані підходи.

Візуальний контраст є необхідним для розрізнення як символів, так і картографічних зображень у цілому, насамперед коли певні елементи карти виглядають майже однаково за рахунок подібності їхньої форми, штрихування чи інших параметрів. У такому випадку застосовують різноманітні прийоми збільшення візуального контрасту (Samoilenko, 2024), найпростішим прикладом яких може бути вирізнення певних полігонів додатковими лініями (див. рис.9.5) тощо.

Необхідність дотримання принципу оптимального *співвідношення основного зображення та фону* карти, яка створюється за допомогою ГІС-інструментарію, передусім **через розміщення та розміри елементів карти**, повертає розробника до *уточнення на основній стадії дизайну попередньої компоновки карти*, виконаної на початковій стадії.

При цьому, наприклад, небажаним є як практична відсутність, так і надмірність наявності на карті світлого фону. Це однаково знижує сприйнятливості основної теми (рішення) карти, причім у другому випадку може виникнути *враження про неповноту інформації карти*.

Останнього можна легко позбутися оптимальним за розмірами, товщиною ліній тощо розміщенням на "вільних" ділянках карти її назви, легенди, мірила, певних підписів тощо (рис.9.7).



Рис.9.7 Приклад заповнення "вільних" ділянок карти, за рахунок чого можна позбутися враження про неповноту інформації (див. для порівняння рис.9.5)

Дотримання оптимального *співвідношення "зображення – фон"* вже не тільки за розмірами, а й за *кольором, штрихуванням тощо* (рис.9.8), може істотно посилити контраст і візуальну привабливість створюваної карти з розмежуванням області, яка вивчається, та непотрібних для аналізу ділянок карти.



Рис.9.8 Варіанти візуалізації цифрової карти міжнародного басейну Дунаю (згори – акцент на сприйняття території власне басейну, знизу – акцент на сприйняття розташування країн у басейні)

Загалом при комплексному підборі оптимальних співвідношень "зображення – фон" інколи оперують поняттям т.зв. **гарного контуру**.

Він досягається, наприклад, логічною диференціацією відображення суходолу та акваторій (рис.9.9), границь і доріг, рослинності та будівель тощо. Гарний контур також може досягатися розривом лінії контуру, який при цьому все рівно сприймається цілісним, для повного розміщення потрібного напису тощо.

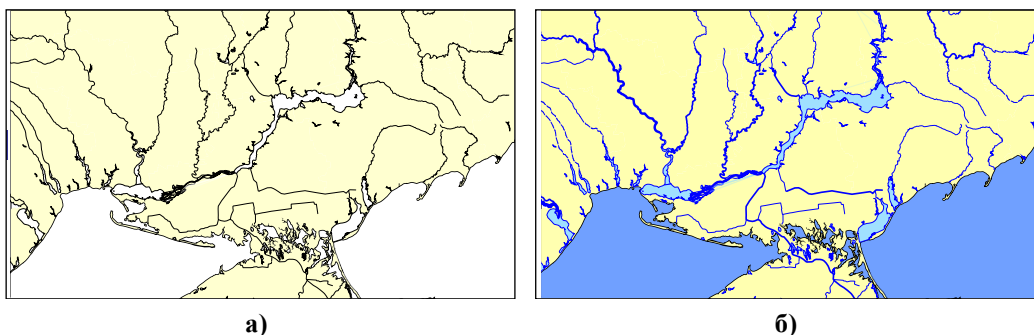


Рис.9.9 Приклад невдалого (а) і вдалого (б) підбору співвідношення "зображення – фон" для відображення суходолу, акваторій і гідромережі

Для досягнення в процесі дизайну *оптимальної ієрархічної організації картографічних елементів*, тобто розподілу цих елементів за рівнями візуальної значущості, застосовуються *три основних методи*, а саме:

1) **метод стереографічної ієрархії**. За його допомогою вибираються та модифікуються для застосування графічні прийоми, спрямовані на сприймання більш значущих елементів розташованими вище (ближче до ока), ніж менш важливі елементи. Така *глибина зображення* досягається як за допомогою створення власне тривимірних об'єктів, так і за рахунок відмінностей у товщині ліній, кольорі, яскравості або розмірі об'єктів плоскої карти (приклад на рис.9.10);

2) **метод розширювальної ієрархії**. Він найчастіше застосовується для *рангування лінійних або точкових об'єктів* за рахунок розміру та вигляду точок, товщини ліній, їхньої яскравості та/або кольору, внутрішньої структури (переривчастості, довжини штрихів тощо) або комбінації цих характеристик із загальною метою *демонстрації значущості ліній чи точок*. Такий підхід добре ілюструється, наприклад, різним позначенням головних і другорядних шляхів сполучення, меж таксонів різного рівня (рис.9.11) тощо;

3) **метод подільної ієрархії**. Він головним чином застосовується для *показу відмінностей внутрішньої структури полігонів згідно з її значущістю* за рахунок комбінації практично тих же характеристик відображення, що і у попередньому методі (рис.9.11).

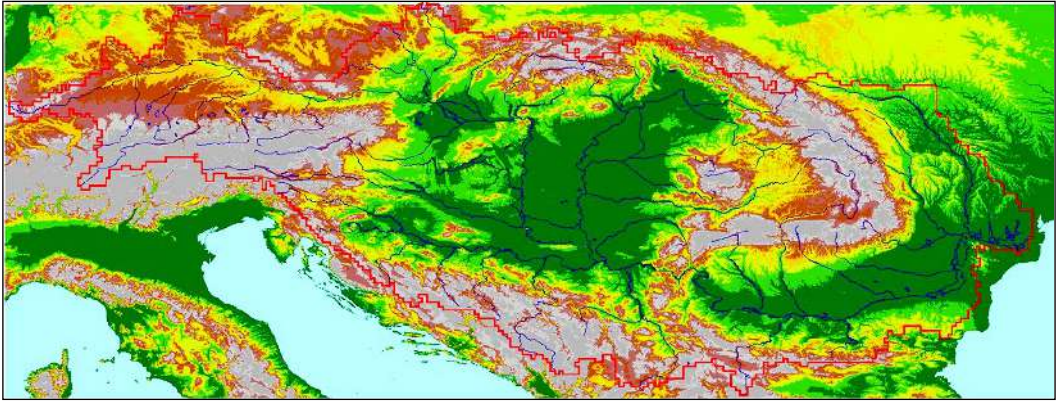


Рис.9.10 Приклад застосування методу стереограмної ієрархії для плоскої карти (басейн Дунаю, за матеріалами VITUKI, Угорщина)



Рис.9.11 Приклад застосування методів розширювальної (межі таксонів за їхньою значущістю) та подільної (рівні стану за інтенсивністю заливки) ієрархії (ГІС стану водних об'єктів України, за Samoilenko, 1998-2000, 2024)

Заключна стадія дизайну карт у геоінформаційних технологіях полягає у точному налагодженні всіх результатів попередньої стадії з метою створення на екрані монітора **остаточного прототипу (макета) карти** з виводом її за потреби на обраний пристрій друку. При цьому слід зважати на те, яким є цей пристрій, для запобігання відмінностей між екранним варіантом готової карти та її твердою копією. У сучасному ГІС-інструментарії, призначеному для професійного картографічного виробництва (див. р.10), якість карт, які отримуються, не поступається якості друкарні. Така якість відображає режим

WYSIWYG (абр. від англ. "What You See Is What You Get"), тобто режим "що бачите на екрані, те і отримуєте на носії", а отже режим повної відповідності друкованої копії зображенню на екрані. Загалом слід враховувати, що сучасний ГІС-інструментарій володіє *можливостями автоматизованої компоновки карт, поділу кольорів, створення шаблонів компоновки* та багатьма іншими функціями, використовувати які можна для створення цифрових карт у будь-якому варіанті, зокрема електронному.

Крім усього, викладеного вище, слід зазначити, що у (DeMers, 2008; Samoilenko, 2012) інтегруються та вирізняються **зовнішні чинники картографічного дизайну**, які впливають на вибір вже розглянутих оптимальних характеристик дизайну, а саме:

1) чинник **змістового призначення** карти, про що вже йшла мова, який враховується у *двох аспектах*. Перший з них, який стосується *дійсної цілі*, визначається природою інформації, яку містить карта. Тобто, позаяк тематичні карти, які створюються ГІС-інструментарієм, призначено для відтворення конкретних результатів геопросторового аналізу, то чим більше буде сфокусовано такий результат, тим більш зрозумілим він буде. До того ж, завдяки відносній простоті створення карт ГІС-інструментарієм, зникає необхідність розробки лише однієї складної карти. Замість цього, наприклад, можна створити декілька різноаспектних в межах загальної дійсної цілі карт, розміщених на одному аркуші тощо.

Другим аспектом врахування чинника призначення є *емоційна ціль*. Її зумовлено необхідністю вибору форми подавання, адекватної змісту карти. Тобто, наприклад, вельми естетичний дизайн карти небезпечних для здоров'я людини зон не повинен призвести до ефекту милування з приємних для сприйняття художніх принад таких карт тощо;

2) чинник **реалізму** карти. Він враховується зважанням на те, що кожна карта, яка відображає, наприклад, фізико-географічну, соціальну, економічну чи іншу структуру території, має власні своєрідні параметри, які накладають *обмеження на застосовність певних характеристик дизайну*. Такі обмеження можуть стосуватися можливостей розміщення назв, розмірів і стилів символів, типів штрихування тощо. Це має бути враховане ще на початкових стадіях дизайну;

3) чинник **наявності даних** для створення карти є чинником не тільки її підготовки, а й проведення геопросторового аналізу. При цьому, з *одного боку*, значний обсяг реальної інформації у геопросторовій БД може створити проблеми з її категорійним відображенням, сприйнятливим для користувача, наприклад за умов сотні категорій видів ґрунтів тощо. З *іншого боку*, обмеженість даних або їхня застарілість, зокрема через збір за іншими принципами, створить проблеми поєднання таких даних з актуальною інформацією, наприклад при порівнянні карт рослинності середини минулого сторіччя з відповідними сучасними ДДЗ;

4) чинник **мірила** карти також частково впливає на дизайн подавання її результатів. При зменшенні мірила карти може виникнути ситуація, коли подальше зменшення символів стає неможливим через втрату можливості їхнього розрізнення. Це загалом можна вважати і складником проблеми власне генералізації (див. вище);

5) чинник **цільової аудиторії** карти, тобто її безпосередніх груп користувачів, про поєднаність якого з чинником змістового призначення вже частково йшла мова. Зрозуміло, що для *масових, найбільш невідготовлених користувачів*, які недостатньо знайомі з основами географії та наук про Землю, доцільно мати варіант карти, незалежно від її змістового призначення, *із збереженням лише невеликої кількості найбільш важливих об'єктів*, також враховуючи і вік таких користувачів. Натомість *фахівців* задовольнить *більш навантажена карта* з більш абстрактними символами тощо;

6) чинник **можливостей устаткування для друку карти**, який вже розглядався в межах заключної стадії картографічного дизайну.

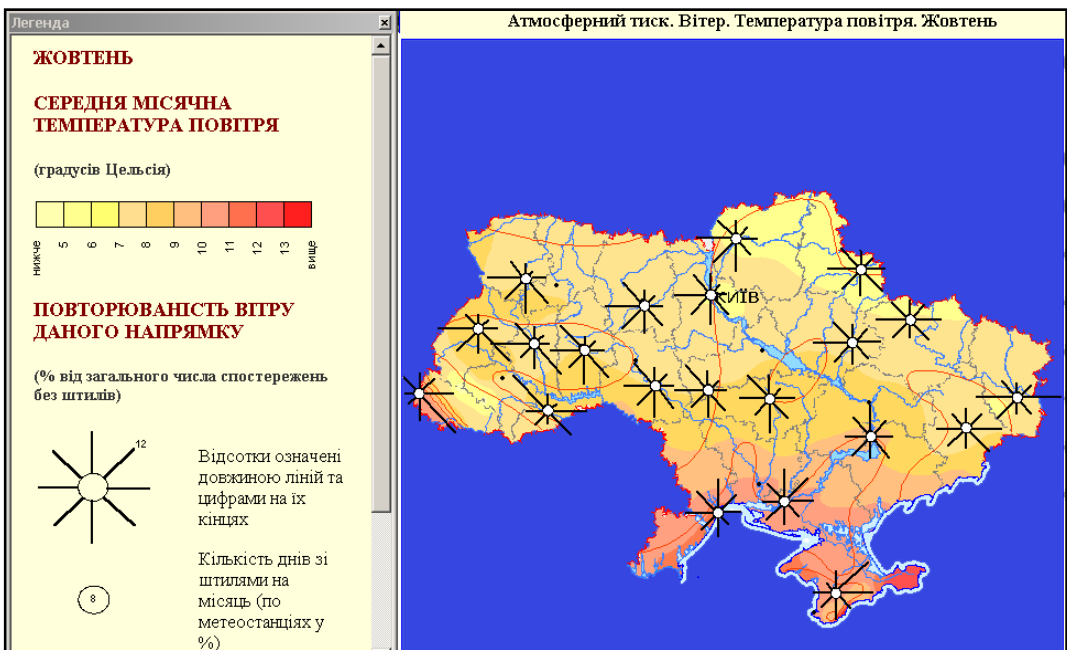


Рис.9.12 Приклад доповнення електронних карт діаграмами напрямків (за *Atlas, 2000*)

Насамкінець доцільно зазначити, що зараз існує та розвивається багато традиційних і поступальних *підходів*, зокрема додаткових або супутніх, до постійного картографічного виводу результатів геопросторового аналізу. Вони найбільш ефективно *поєднані з електронними картами та розширенням інтерактивного режиму їхнього використання*. Такі підходи містять:

– створення справді тривимірних карт або подавання плоских поверхонь через тривимірні світлотіньові, сітчасті, дротяно-каркасні та інші зображення;

– застосування ефектів двовимірної та тривимірної анімації та інших мультимедійних засобів;

– використання картографічного зображення у вигляді тематичних картограм, картодіаграм, картосхем, або доповнення ними карт разом з наочними таблицями, графіками, діаграмами (див. рис.9.12) тощо.

Усі щойно зазначені підходи детально викладено у спеціальній літературі та засновано, крім загальних, на *специфічних принципах геоінформаційного картографічного дизайну*. Такий дизайн який у цілому поступово перетворюється у самостійну дисципліну, враховуючи і потреби розвитку нових напрямів геоінформаційного картографування, зокрема інформаційно-мережних, для візуалізації результатів геопросторового аналізу.

10 СУЧАСНІ ПРОГРАМНІ ЗАСОБИ ГЕОПРОСТОРОВОГО АНАЛІЗУ

На сьогодні існує величезна кількість різного за номенклатурою, функціональними можливостями, доступністю та вартістю програмних засобів геопросторового аналізу, насамперед ГІС-інструментарію. Як вже зазначалося, геоінформаційні технології сьогодення стали потужним і динамічним сектором світової економіки, а ГІС-інструментарій – вагомим сегментом світового ринку програмного забезпечення.

Примітка. Цей розділ підготовлено, використовуючи узагальнення з праць авторів цієї монографії (*Samoilenko et al., 2010, 2012, 2019, 2024*) і сучасні матеріали відповідних веб-сайтів (див. використані в монографії першоджерела та наступний текст).

Наведені у вступі до монографії особливості зумовлюють доцільність вибіркового розгляду у цьому розділі не тільки ГІС-інструментарію у буквальному його тлумаченні. Слушно навести характеристику і певних інших програмних засобів, які разом з ГІС-інструментарієм підтримують геопросторовий аналіз як основу сучасної географії та наук про Землю. Таким чином надалі розглядаються особливості:

- ГІС-інструментарію *ArcGIS Pro* компанії *ESRI, Inc.* (США);
- ГІС-інструментарію *MapInfo Pro* корпорації *Precisely Inc.* (США);
- ГІС-інструментарію *QGIS Desktop*;
- програмного продукту *Surfer* корпорації *Golden Software Inc.* (США);
- ГІС-візуалізатора *TerrainView* компанії *ViewTec LLC* (США);

1. ГІС-інструментарій *ArcGIS Pro* компанії *ESRI, Inc.* згідно з (*ESRI/ArcGIS, 2025; ESRI/ArcGIS Pro 01, 2025*) є провідним комерційним інноваційним повнофункціональним настільним (англ. *desktop*) ГІС-інструментарієм зазначеної компанії (рис.10.1) в комплексі її програмних продуктів *ArcGIS* (рис.10.2).

Цей інструментарій забезпечує ефективне управління геопросторовими даними, створюючи дво-, три- і чотирирівні візуалізації таких аналітично оброблених даних. До того ж безперервний обмін останніми в усьому комплексі *ArcGIS* сприяє розвитку ефективних заданих модельно-прикладних геоінформаційних рішень.

ArcGIS Pro у версії на 2025 рік підтримує можливість поєднувати різні джерела отримання дво-, три- і чотирирівнірних геопросторових даних, щоб створювати сучасні геоінформаційні продукти, передусім карти. Аналітичні інструменти *ArcGIS Pro* дозволяють виявляти закономірності, властиві зазначеним даним, і залучати їх до оцінювально-прогнозного моделювання складників довкілля тощо (табл.10.1).



Рис.10.1 Презентація ГІС-інструментарію *ArcGIS Pro* компанії *ESRI, Inc.* (за *ESRI/ArcGIS Pro 01, 2025*)

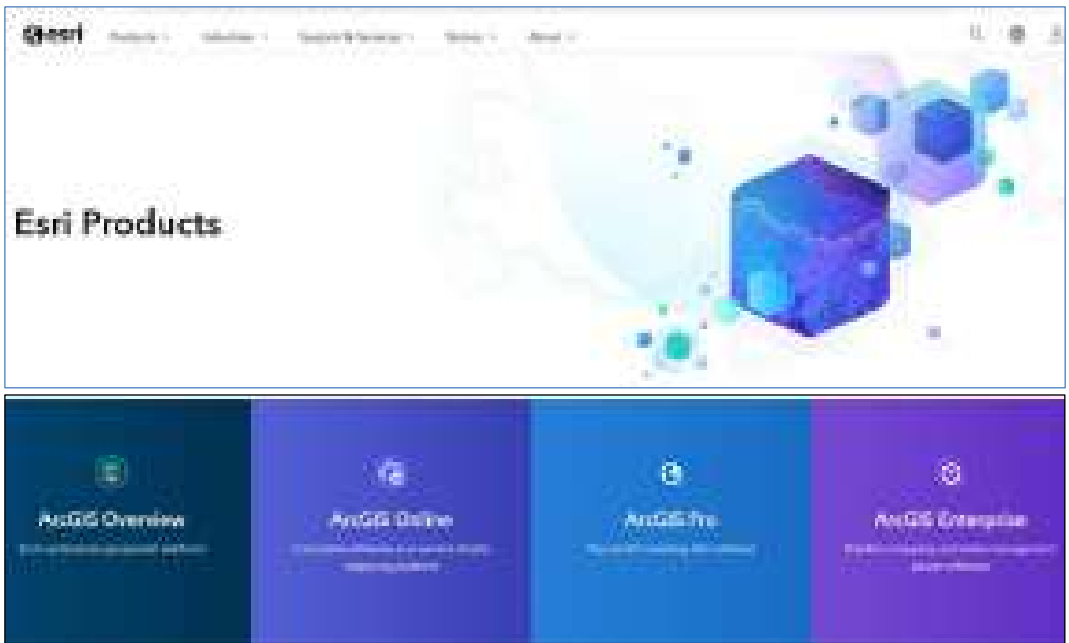




Рис.10.2 Конфігурація комплексу програмних продуктів *ArcGIS* компанії *ESRI, Inc.* (за *ESRI/ArcGIS, 2025*)

Таблиця 10.1 Предметні області застосування та функціональні можливості ГІС-інструментарію *ArcGIS Pro* компанії *ESRI, Inc.* (за *ESRI/ArcGIS Pro 01, 2025*)

Презентація	Області застосування та функціональні можливості
	<p>Дослідження та візуалізація</p> <p>Використання тривимірного дослідницького аналізу для заданих геопросторових даних з інтерактивним створенням геопросторових об'єктів і миттєвим редагуванням параметрів аналізу. Забезпечення візуального зворотного зв'язку у режимі реального часу під час геопросторового аналізу.</p>
	<p>Картографія та дизайн</p> <p>Додавання власних геопросторових даних з дотриманням відповідності сучасним картографічним і дизайнерським стандартам. Можливість експорту проєктів в <i>Adobe Illustrator</i>. Використання сучасних інструментів картографічної символіки, продуктивного перегляду та підтримки геопросторових форматів.</p>
	<p>Зображення та дистанційне зондування</p> <p>Застосування набору потужних інструментів для візуалізації, управління та аналізу великих наборів зображень і растрових даних, отриманих з дронів, супутників, лідарів тощо.</p>
	<p>Аналітика та науково обґрунтована обробка даних</p> <p>Використання аналітичних інструментів наукового обґрунтованого картографування для дво-, три- і чотиривимірних геопросторових даних з метою виявлення закономірностей, формування прогнозів та отримання відповідей на дослідницькі запитання.</p>
	<p>Управління даними</p> <p>Забезпечення цілісності даних завдяки наявності повного набору інструментів для зберігання, редагування та управління різними формами геопросторових даних, зокрема з великими їхніми обсягами та з відображенням даних у реальному часі.</p>
	<p>Поширення та обмін результатами</p> <p>Знаходження та поширення заданого геопросторового контенту та цифрових карт безпосередньо в <i>ArcGIS Pro</i>. Забезпечення доступу до хмарного контенту <i>ArcGIS Living Atlas of the World</i> (Samoilenko, Bilous, 2024).</p>
	<p>Налаштування та створення</p> <p>Створення нових надбудов і конфігурацій <i>ArcGIS Pro</i> за допомогою наборів інструментальних засобів розробки програмного забезпечення для роботи з оптимальним програмним середовищем.</p>
	<p>Нові можливості</p> <p>Оперування вокселними шарами – тривимірними об'ємними шарами для візуального аналізу та дослідження складних багатовимірних геопросторових даних з реалізацією результатів у дизайнерських проєктах.</p>

Найбільш повно функціональні можливості *ArcGIS Pro* реалізуються за рахунок його спільної роботи з **додатковими модулями (т. зв. розширеннями) *ArcGIS* компанії *ESRI, Inc.***

До груп таких модулів згідно з інформацією (*ESRI/ArcGIS Pro 02, 2025*) належать:

1) **група модулів розширеного аналізу геопросторових даних** (рис.10.3), а саме модулі:

– *ArcGIS 3D Analyst* для створення реалістичної перспективи під час геопросторового аналізу;

– *ArcGIS Geostatistical Analyst* для дослідження обраних геопросторових даних за допомогою інструментів статистичного та стохастичного математичного аналізу;

– *ArcGIS Image Analyst* для повноцінного аналізу різноманітних зображень;

– *ArcGIS Network Analyst* для виконання складних задач з маршрутизації та алокації;

– *ArcGIS Spatial Analyst* для розширеного геопросторового аналізу;

– *ArcGIS Business Analyst* для геопросторового аналізу чинників, які впливають на ринки, зокрема демографічної ситуації, особливостей життєдіяльності та споживання продуктів і товарів населенням тощо;

– *ArcGIS Knowledge* для оптимізації управління різноманітними підприємствами у сфері їхньої діяльності;

2) **група модулів управління геопросторовими даними та робочими процесами щодо них** (рис.10.4), а саме модулі:

– *ArcGIS Data Reviewer* для автоматизації та покращення процесу управління якістю геопросторових даних;

– *ArcGIS Publisher* для видавання та поширення високоякісних цифрових карт;

– *ArcGIS Workflow Manager* для застосування різнорівневої системи управління робочими процесами обраного підприємства;

– *ArcGIS Data Interoperability* для інтегрованої роботи з будь-якими програмами та форматами геопросторових даних;

– *ArcGIS Reality for ArcGIS Pro* для створення великомірильних і реалістичних тривимірних зображень за даними, отриманими з дронів, аерофото- та супутникових знімків;

– *ArcGIS StreetMap Premium* для використання точних геоданих про вулично-дорожню мережу для її картографування із застосуванням інструментів точного геокодування, оптимізованої маршрутизації, алокації та аналізу мереж;

3) **група модулів управління геопросторовими даними, специфічними для різних галузей економіки** (рис.10.5), а саме модулі:

– **ArcGIS Aviation Airports** для забезпечення найвищої якості операційних геопросторових даних, які відповідають нормативним вимогам роботи аеропортів;

– **ArcGIS Aviation Charting** для управління авіаційною інформацією зі створенням високоякісних карт за допомогою сучасних інструментів обробки даних, картографування та управління робочими процесами в авіаційній галузі;

– **ArcGIS Bathymetry** для управління батиметричними геопросторовими даними;

– **ArcGIS Defense Mapping** для створення цифрових карт у сфері оборони на основі сучасної СУБД;

– **ArcGIS Maritime** для управління гідрографічною та морською навігаційною інформацією, геоінформаційними продуктами та робочими процесами в цій галузі;

– **ArcGIS Pipeline Referencing** для створення, управління та оптимізації маршрутів та оперативного обслуговування інфраструктури трубопровідного транспорту;

– **ArcGIS Roads and Highways** для забезпечення інтегрованої основи для супроводу геопросторових даних про дорожню мережу за допомогою сучасних лінійних систем прив'язки.

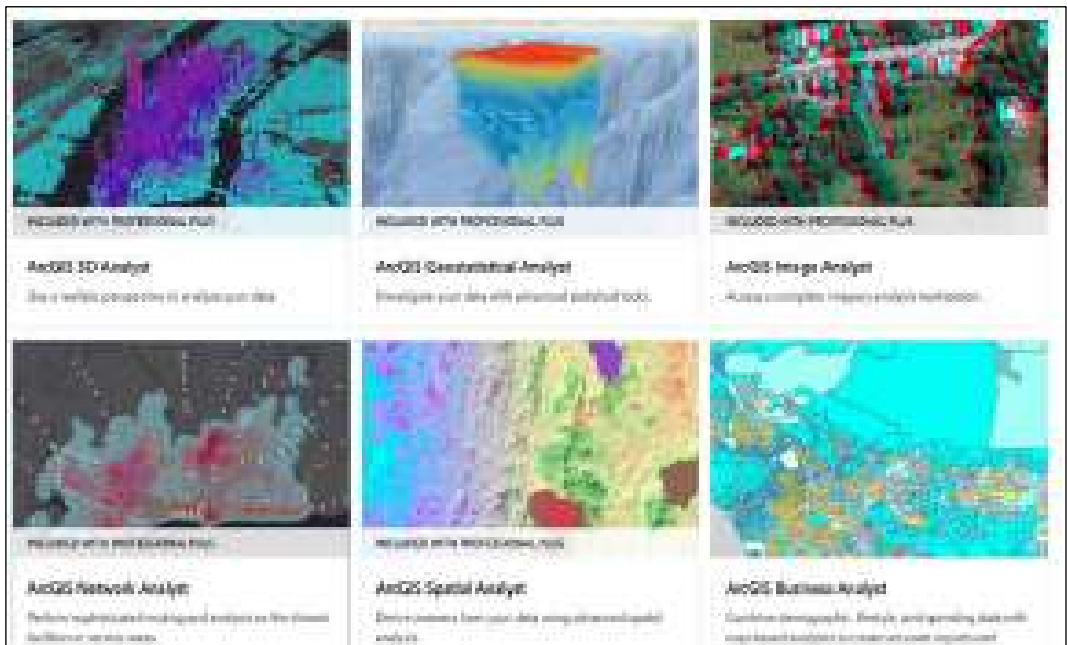


Рис.10.3 Група модулів розширеного аналізу геопросторових даних ArcGIS компанії ESRI, Inc. (за ESRI/ArcGIS Pro 02, 2025)



Рис.10.4 Група модулів управління геопросторовими даними та робочими процесами щодо них *ArcGIS* компанії *ESRI, Inc.* (за *ESRI/ArcGIS Pro 02, 2025*)



Рис.10.5 Група модулів управління геопросторовими даними, специфічними для різних галузей економіки, *ArcGIS* компанії *ESRI, Inc.* (за *ESRI/ArcGIS Pro 02, 2025*)

2. ГІС-інструментарій *MapInfo Pro* корпорації *Precisely Inc.* за (*Precisely/MapInfo Pro 01, 2025*) є комерційним повнофункціональним настільним ГІС-інструментарієм цієї корпорації. *MapInfo Pro* у версії *v2023.1* працює за потужний програмний засіб управління, аналізу та візуалізації геопросторових даних. Він використовується фахівцями та аналітиками в різних секторах економіки, зокрема в державному та приватному бізнесі. ГІС-інструментарій дозволяє користувачам створювати, редагувати та аналізувати цифрові карти, а також інтегрувати та візуалізувати різноманітні набори геопросторових даних. *MapInfo Pro v2023.1* функціонально призначено для:

1) картографування та візуалізації з можливістю створювати різні типи цифрових карт, серед них тематичні, та візуалізувати геопросторові дані за допомогою символів, тем та міток (рис.10.6);

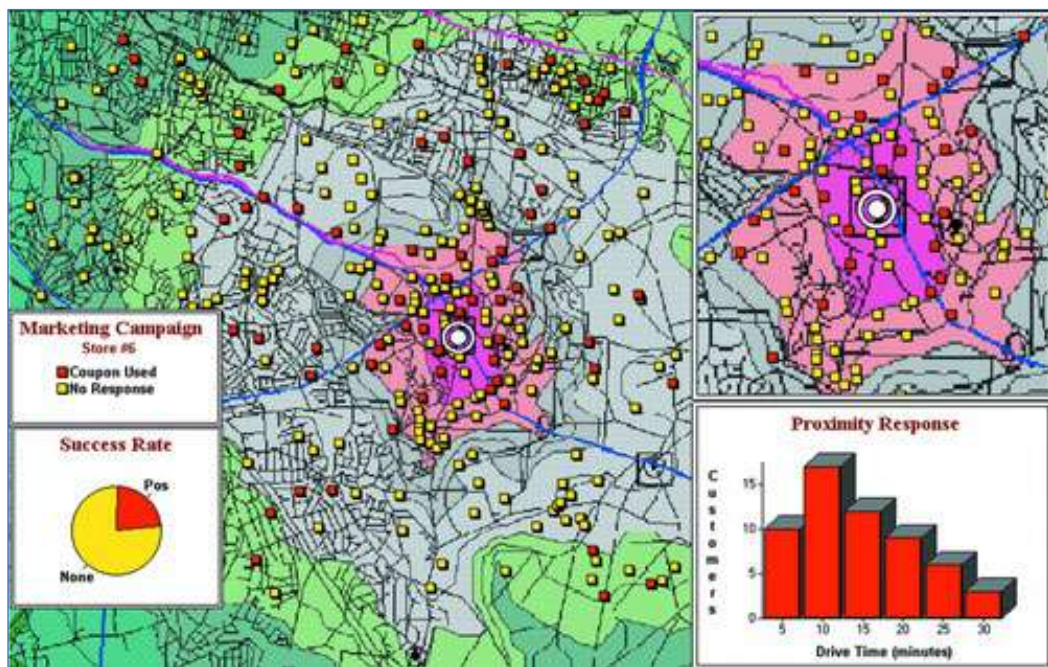


Рис.10.6 Приклад тематичної карти, побудованої засобами *MapInfo Pro v2023.1* (за *Precisely/MapInfo Pro 02, 2025*)

2) геопросторового аналізу на основі наявності низки інструментів зазначеного аналізу для таких завдань, як перерозподіл, буферизація та об'єднання/розділення геопросторових об'єктів карти (рис.10.7);

3) управління даними на основі здатності обробляти різні формати геопросторових даних, серед них шейп-файли, *DXF*-файли та дані з *Microsoft Excel* та *Microsoft Access*, а також підтримувати геопросторові бази даних та хмарні сховища даних, такі як *Snowflake* однойменної компанії;

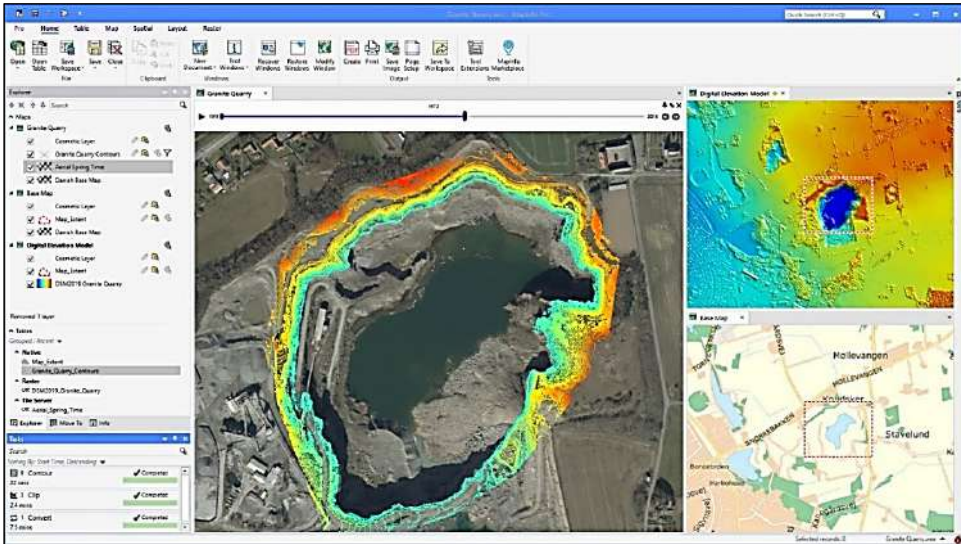


Рис.10.7 Аналіз геопросторово-часової динаміки видобутку граніту за допомогою *MapInfo Pro v2023.1* (за *Precisely/MapInfo Pro 01, 2025*)

4) **інтеграції** з можливістю спільної роботи з іншими програмними продуктами, зокрема з *web-* та мобільними застосунками, а також використання з платформою *Spectrum Spatial*. Останню додатково створено корпорацією *Precisely Inc.* для підтримки геопросторових рішень в організаціях і установах (рис.10.8);



Рис.10.8 Фрагмент інтерфейсу застосунка *Risk Analyzer* платформи *Spectrum Spatial* корпорації *Precisely Inc.*, призначеного для оцінювання ризиків під час роботи з нерухомістю (за *Precisely/Spectrum Spatial, 2025*)

5) **тривимірної візуалізації** геопросторових даних для наступного їхнього аналізу;

6) **застосування інтуїтивно сприйнятливою інтерфейсу**, коли забезпечується зручність використання інтерфейсу досить потужного програмного продукту *MapInfo Pro* навіть тими, хто не є фахівцем з геоінформаційних технологій (рис.10.9);

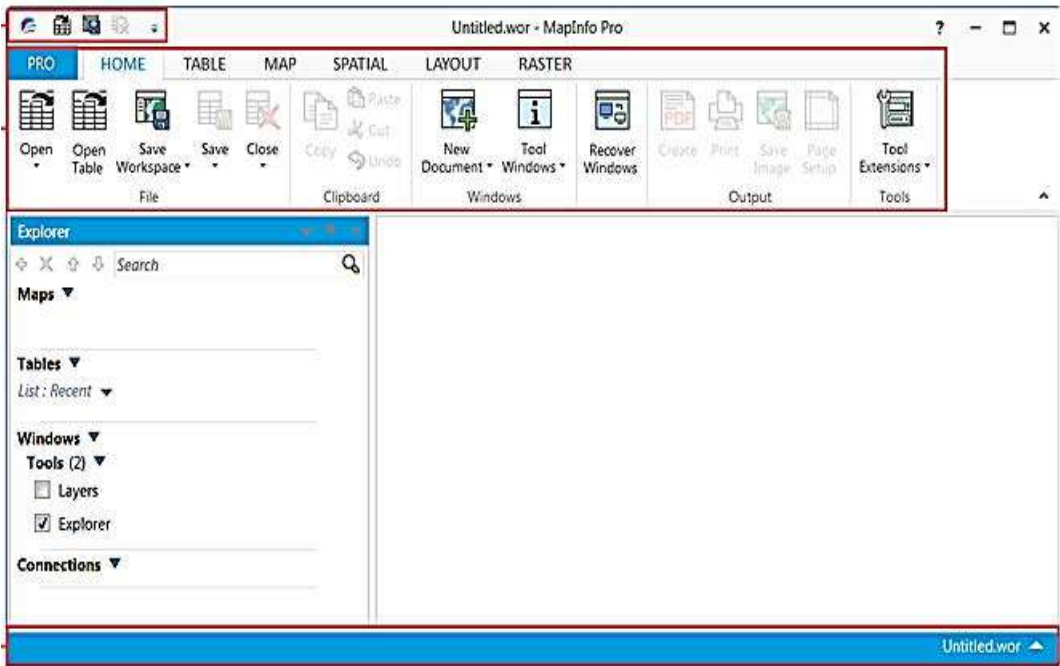


Рис.10.9 Фрагмент інтерфейсу *MapInfo Pro v2023.1* (за *Precisely/MapInfo Pro 02, 2025*)

7) **підтримки гнучкості та можливості модифікації**, що забезпечується інструментами для налаштування та модифікації продукту під конкретного користувача, зокрема модулем *MapBasic*;

8) **забезпечення презентабельності** за рахунок інструментів для створення оптимальних макетів карт і звітів для презентацій наукових розвідок і узагальнень;

9) **дослідження та розуміння місцезнаходжень**, що базується на можливості візуалізувати та аналізувати тематичні геопросторові дані з виявленням прихованих закономірностей їхніх геопросторових розподілів (див. наступний рис.10.10);

10) **моделювання та підтримки прийняття обґрунтованих рішень** під час геопросторового аналізу.

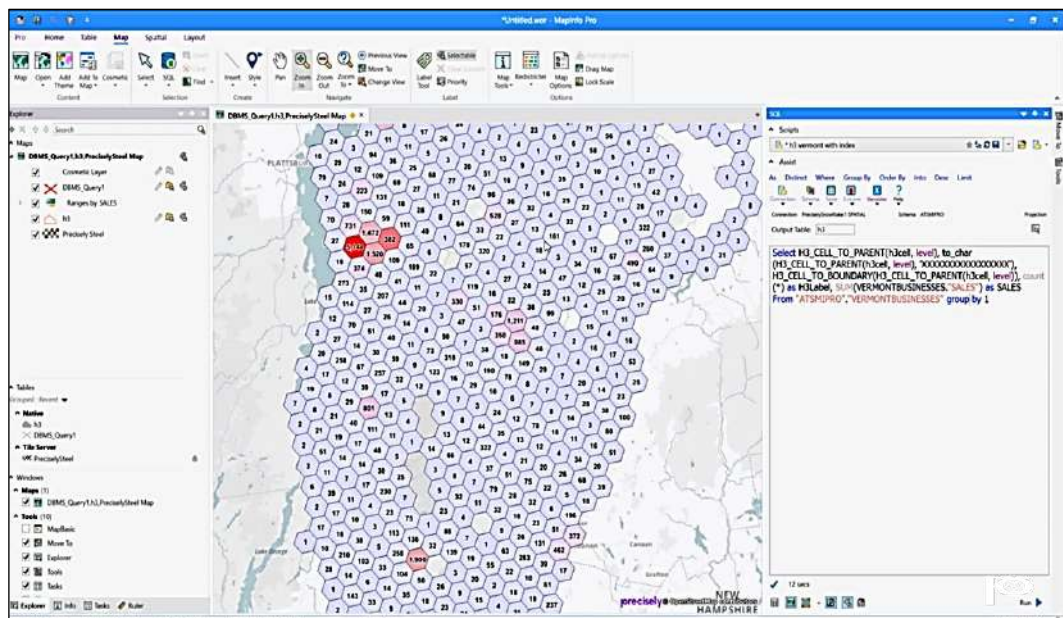


Рис.10.10 Виявлення тенденції та закономірностей на основі візуалізації геопросторових даних, агрегованих у шестикутних вікнах, за допомогою *MapInfo Pro v2023.1* (за *Precisely/MapInfo Pro 01, 2025*)

3. ГІС-інструментарій *QGIS Desktop* згідно з (*QGIS, 2025*) є безкоштовним відкритим ліцензованим настільним ГІС-інструментарієм (програмним забезпеченням з відкритим кодом). Він розроблений та вдосконалюється як проєкт *Фундації Відкритих Геопросторових Даних* (інші варіанти перекладу *Фундація Відкритого Геопросторового Програмного Забезпечення* або *Фундація Відкритих Геоінформаційних Технологій*) (*Open Source Geospatial Foundation, OSGeo*) (див. також *OSGeo, 2025, і Samoilenko, 2010, 2012, 2024*).

QGIS Desktop використовується для створення, редагування, аналізу, візуалізації та публікації геопросторових даних. Це досить розвинений інструментарій для роботи як з векторними, так і з растровими даними, який підтримує широкий спектр форматів та функцій геопросторового аналізу. Інструментарій має широкі можливості налаштування за допомогою спеціальних програмних модулів (плагінів).

Цей інструментарій інтегрується з іншим відкритим геоінформаційним програмним забезпеченням. Така інтеграція робить ГІС-інструментарій *QGIS Desktop* достатньо універсальним засобом для виконання різних завдань геопросторового аналізу.

За головні характеристики та можливості *QGIS Desktop* у версії *v.3.40* правлять:

1) **обробка геопросторових даних** на основі підтримки широкого спектра та номенклатури векторних і растрових даних (рис.10.11);

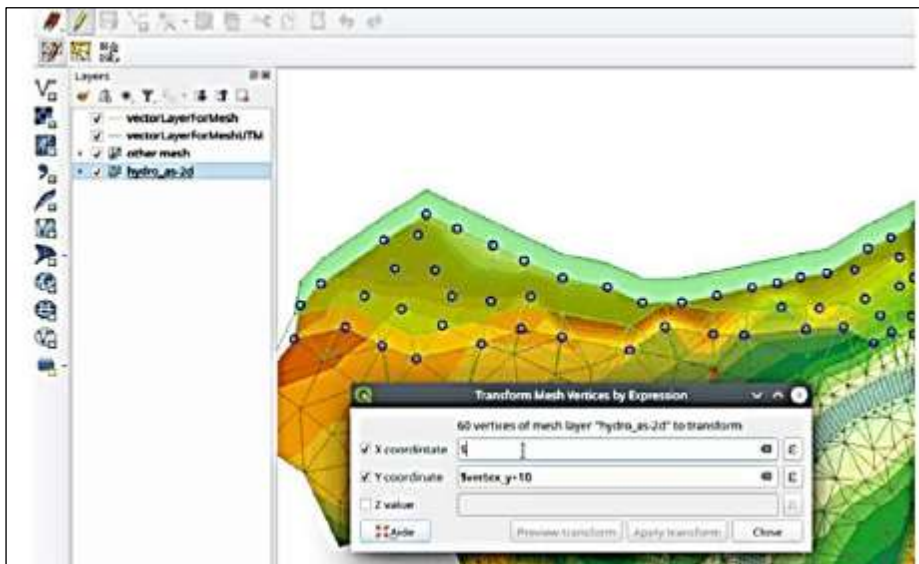


Рис.10.11 Приклад редагування цифрових шарів за допомогою *QGIS Desktop v.3.40* (за *QGIS, 2025*)

2) картографування та візуалізація. Користувачі можуть створювати та налаштовувати цифрові карти, зокрема через додавання написів, символів та інших картографічних елементів. Запропоновано також інструменти для розробки макетів друку для створення високоякісних карт (рис.10.12);

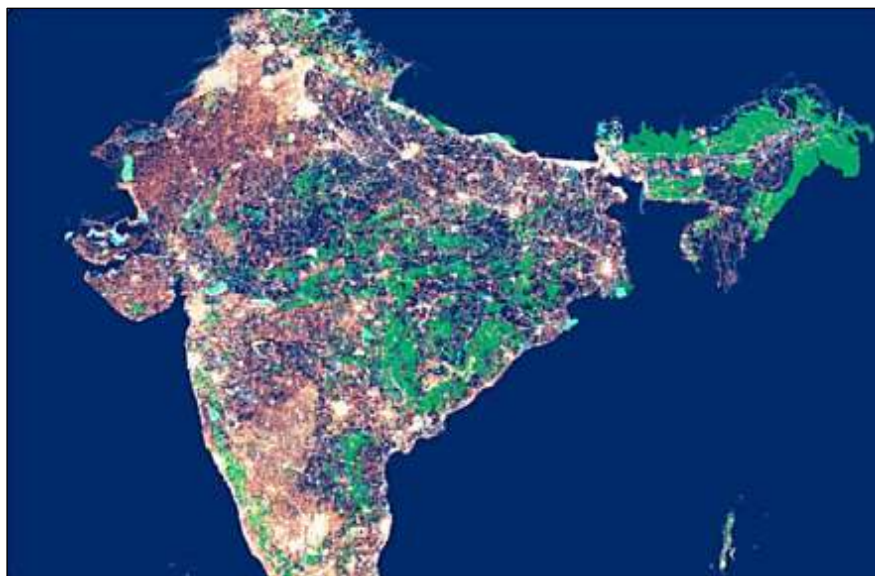


Рис.10.12 Приклад створення цифрових карт за допомогою *QGIS Desktop v.3.40* (за *QGIS, 2025*)

3) **геопросторовий аналіз** на основі комплексного набору інструментів такого аналізу, які базуються на обробці та дослідженні геопросторових даних (рис.10.13);

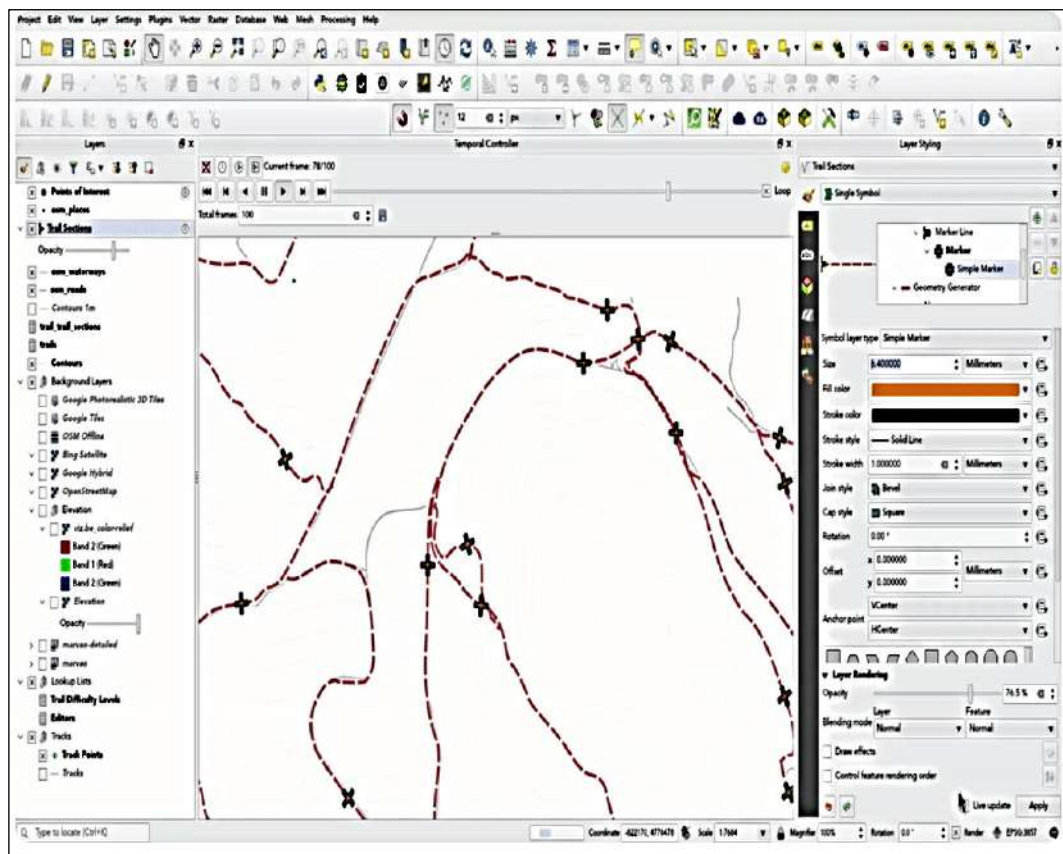


Рис.10.13 Прилад обробки та аналізу геопросторових даних за допомогою *QGIS Desktop v.3.40* (за *QGIS, 2025*)

4) **розширюваність** за допомогою плагінів, що дозволяє користувачам збільшувати функціональність інструментарію та інтегрувати його з іншим застосунками;

5) **підтримка web-сервісів** для доступу до та багатофункціонального використання геопросторових даних із зовнішніх джерел, насамперед інформаційно-мережних;

6) **інтеграція з іншим відкритим ГІС-інструментарієм**;

7) **зручний інтерфейс користувача** (рис.10.14);

8) **застосування у різних предметних областях**, зокрема у географії та науках про Землю, охороні та відновленні довкілля, міському плануванні, різнорівневій освіті тощо.

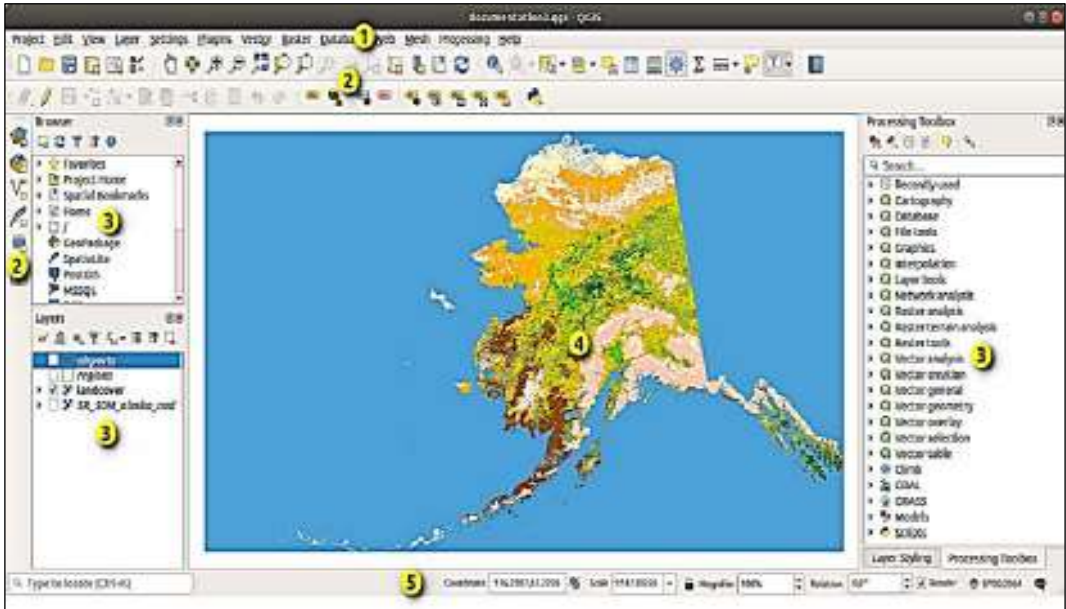


Рис.10.14 Структура інтерфейсу *QGIS Desktop v.3.40* (1 – рядок меню; 2 – панель інструментів; 3 – інші панелі; 4 – вікно карти; 5 – рядок стану) (за *QGIS, 2025*)

4. Програмний продукт *Surfer* корпорації *Golden Software Inc.* за інформацією (*Golden Software/Surfer, 2025*) є флагманським комерційним програмним продуктом цієї корпорації для геопросторового аналізу та тривимірної візуалізації.

Surfer у версії *v.29.3.307* призначено науковцям і прикладним фахівцям природничого профілю для комплексної аналітичної роботи з поверхнями. Цей програмний продукт забезпечує виконання таких функцій, як (рис.10.15-10.17):

- побудова та аналіз атрибутів дво- та тривимірних карт поверхонь, серед них на основі ЦМВ;
- застосування широкої палітри засобів оформлення дво- та тривимірних зображень і цифрових карт;
- накладання на тривимірні зображення планіметричних шарів і інші операції з накладання шарів цифрових карт;
- створення широкого комплексу тематичних, поміж них специфічних цифрових карт, готових для високоякісного друку;
- візуалізація зображень та карт практично у будь-якому, потрібному користувачеві, режимі;
- високоякісна координатна прив'язка геопросторових даних і інші функції геопросторового аналізу.

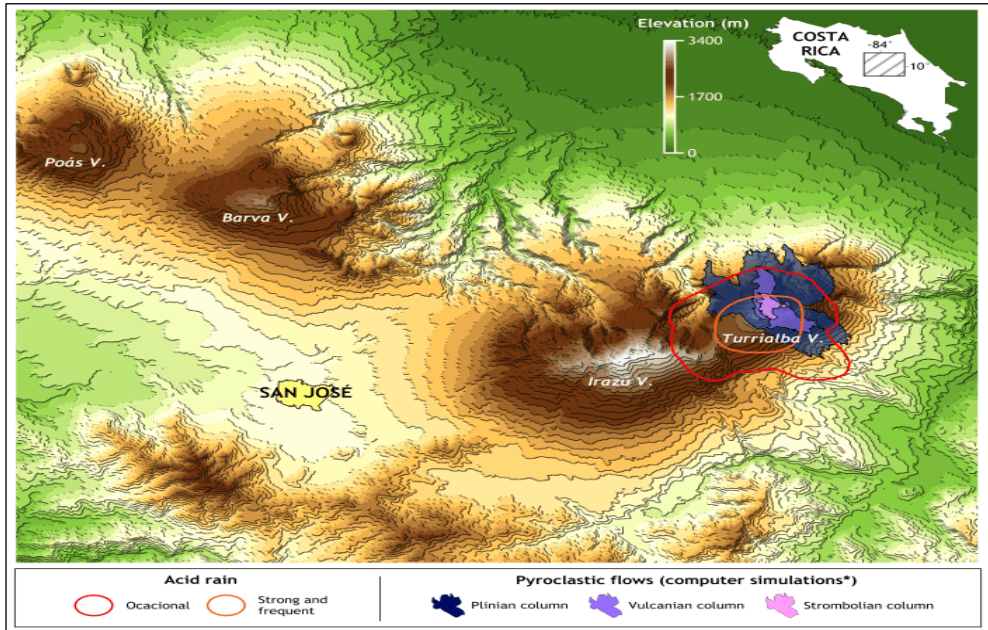


Рис.10.15 Приклад карти тривимірної модельної візуалізації локалізації можливих загроз від виверження вулкана, побудованої засобами *Surfer v.29.3.307* (за *Golden Software/Surfer, 2025*)

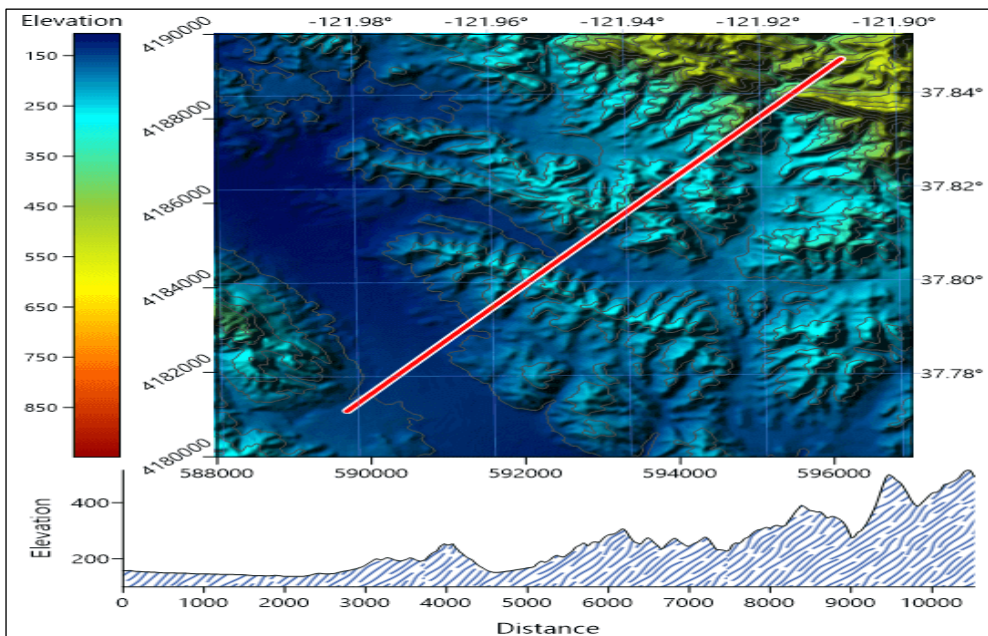


Рис.10.16 Приклад поперечного профілю топографічної поверхні, побудованого засобами *Surfer v.29.3.307* (за *Golden Software/Surfer, 2025*)

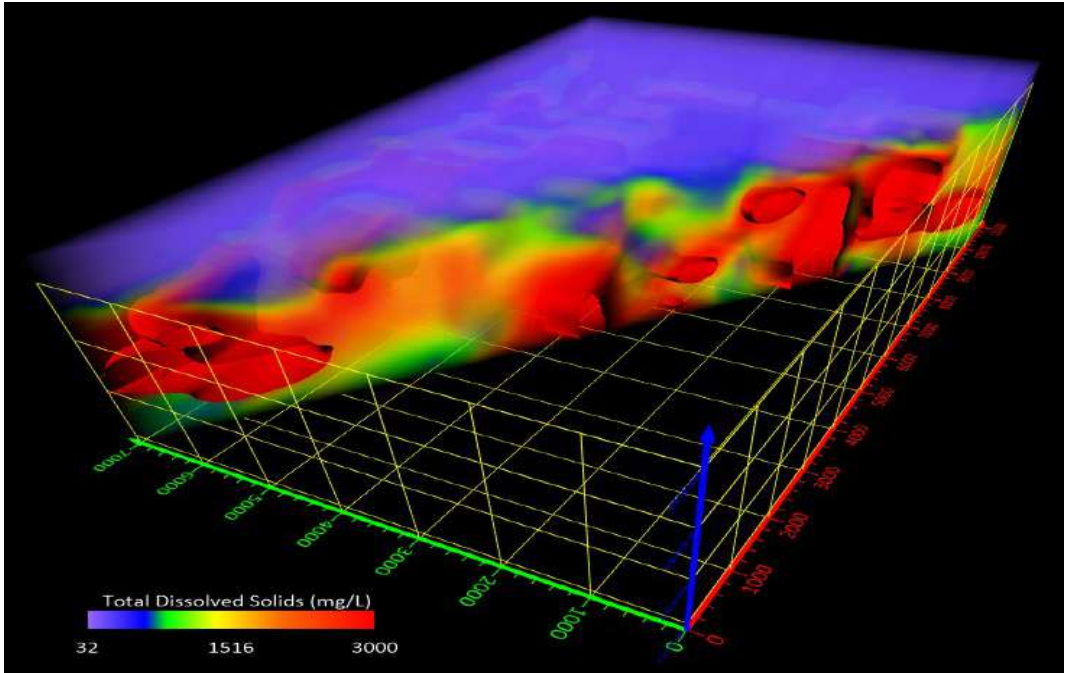


Рис.10.17 Приклад тривимірної візуалізації розподілу концентрації завислих речовин у водному об'єкті, створеної засобами *Surfer v.29.3.307* (за *Golden Software/Surfer, 2025*)

5. ГІС-візуалізатор *TerrainView* компанії *ViewTec LLC* згідно з (*ViewTec, 2025*) є сучасним програмним продуктом у сфері віртуальної реальності, який створено для оптимізації тривимірної візуалізації різноманітних геопросторових об'єктів і ландшафтів. **Основними рисами** ГІС-візуалізатора *TerrainView* у версії на 2025 рік є (рис.10.18):

- можливість роботи з високоякісними геопросторовими даними в інформаційних мережах різного рівня;
- здатність до обробки великих обсягів даних в реальному часі;
- оперування ЦМВ, ортофотознімками високого розрізнення, даними дистанційного зондування, тривимірними моделями споруд і іншими растровими та векторними даними;
- підтримка більшості розповсюджених тривимірних форматів;
- наявність великого числа опцій, зокрема опції переміщення за місцевістю ("обльоту");
- наявність набору інструментів для вимірювань і геометричних побудов;
- можливість створення додаткових цифрових відеосюжетів;
- здатність до підвищення реалістичності сюжетів огляду за рахунок додавання тривимірних моделей заданих об'єктів, відтворення погодних умов і режиму освітлення тощо.

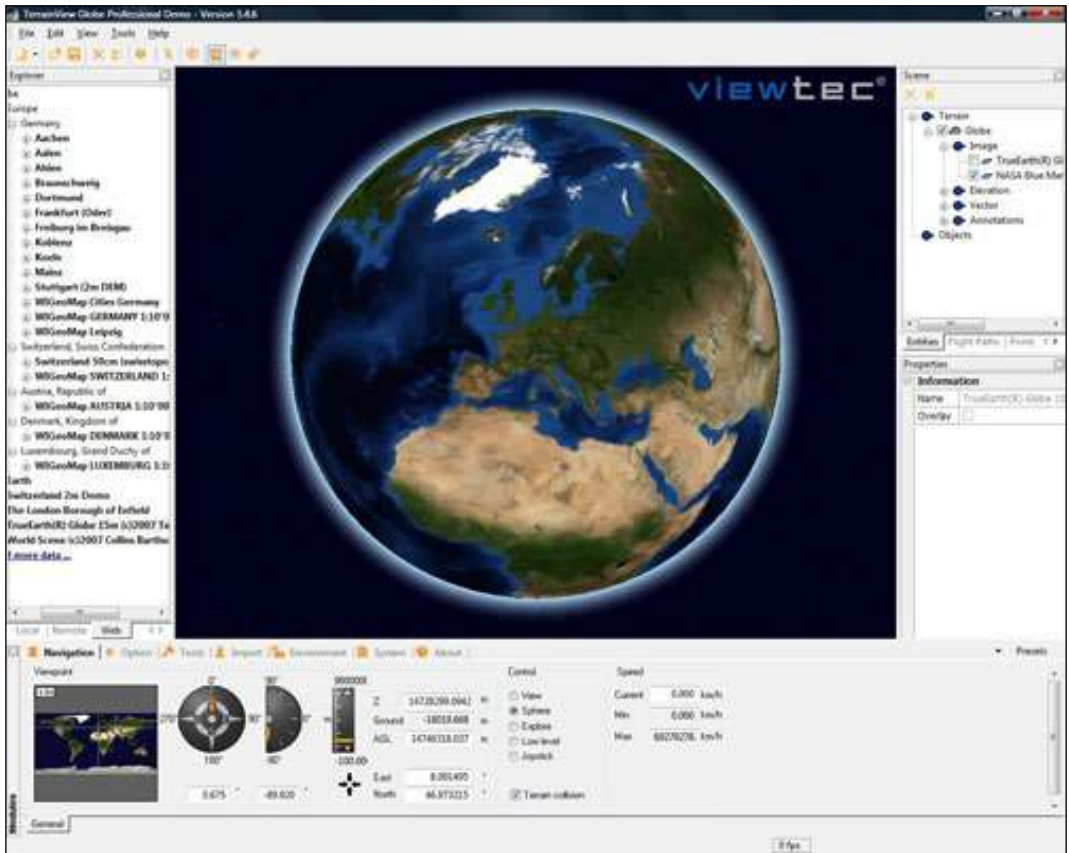


Рис.10.18 Фрагмент інтерфейсу ГІС-візуалізатора *TerrainView* (за *ViewTec*, 2025)

СЛОВНИК ОСНОВНИХ ТЕРМІНІВ

Абсолютний (непереборний) бар'єр – бар'єр, рух через який є неможливим в межах задачі, яка вирішується (наприклад, скелі, огорожа, водний об'єкт тощо). Абсолютні бар'єри як непереборні зупиняють або відхиляють рух.

Агрегація даних – операції з *перекласифікації геопросторових об'єктів*, які мають своїм наслідком зменшення кількості вихідних категорій об'єктів внаслідок їхнього обумовленого об'єднання.

Алокація – задача розповсюдження можливостей заданої служби за *мережею*, зважаючи на те, що кожний *зв'язок* (або кожний *вузол*) мережі має визначене число елементів, які обслуговуються таким зв'язком, і на можливий регламент тощо такого обслуговування.

Альфа-індекс – відношення наявного в *мережі* числа контурів альтернативних маршрутів до максимально можливого їхнього числа у досліджуваній мережі.

Апаратне забезпечення (апаратні засоби, апаратура, технічні засоби) – технічне обладнання *інформаційної системи*, яке містить власне комп'ютер і інші механічні, магнітні, електричні, електронні та оптичні периферійні пристрої або аналогічні прилади, які працюють під управлінням системи чи автономно, а також будь-які пристрої, необхідні для функціонування системи.

Архітектура – загальна організація взаємозв'язку *апаратного забезпечення* комп'ютеризованої системи. Інколи під архітектурою розуміють і організацію зв'язку всіх структурно-функціональних елементів певної *системи* (див. *архітектура ГІС*)

Архітектура ГІС – загальна організація зв'язку елементів апаратно-програмного комплексу *ГІС* з урахуванням її геопросторових *баз даних* і користувачів, а також роботи *ГІС* у обраних *інформаційних мережах*, типу зазначеної архітектури (розподілена, централізована та ін.) тощо.

Атрибут – будь-яка геопросторова та/або негеопросторова, кількісна та/або якісна властивість *геопросторових об'єктів*, яка не містить *інформації* щодо їхнього місцезнаходження.

Атрибутування – процес присвоєння *геопросторовим об'єктам атрибутів* або поєднання їх з атрибутами.

Афінна алгебра – підрозділ векторної алгебри, зокрема т.зв. афінні координати є узагальненням прямокутних декартових координат вектора.

Бази даних (БД) – сукупність даних, які організовано за визначеними правилами, що встановлюють загальні принципи опису, збереження та маніпуляції даними за допомогою комп'ютеризованих засобів.

Бази знань (БЗ) – сукупність знань про певну предметну область, на основі яких можна розмірковувати. Загалом є набором фактів і правил, які

формалізують досвід фахівців у конкретній предметній області та дозволяють на *запити* про неї давати відповіді, які в явному вигляді не містяться у цих базах.

Бінарні карти – *карти*, на яких нанесено лише дві категорії *полігонів*, зазвичай таких, які характеризують певний показник (*атрибут*) як задовільний або незадовільний для шуканого рішення.

Буферизація – складна операція з *перекласифікації геопросторових об'єктів* на основі їхнього місцезнаходження та геопросторових і негеопросторових *атрибутів*. Результатом такої операції є побудова різних видів **буферів** – *полігонів* з межею на обумовленій відстані від *точки, лінії* або контуру області.

Векторне бульове накладання – тип векторного *накладання полігонів*.

Векторний метод графічного подавання географічного простору – метод, з його векторною структурою (моделлю) даних, який базується на заданні точних координат геопросторових об'єктів явним чином, виходячи з того, що географічний простір є суцільним, а не квантованим на дискретні комірки (див. *растровий метод*).

Векторно-растрове перетворення (растеризація) – автоматизоване або напівавтоматизоване перетворення (конвертування) *векторного подавання* геопросторових об'єктів у *растрове* шляхом присвоєння елементам растра значень, які відповідають належності або неналежності до них елементів векторних записів об'єктів.

Взаємна видимість – характеристика, яка відображає ступінь видимості певних ділянок *поверхні цифрового шару* з обраних точок.

Виважений центр тяжіння (виважений центр мас) – *центр тяжіння*, який визначається з урахуванням не тільки координат точкового *розподілу*, а і вагових коефіцієнтів кожної *точки*. Є різновидом *центроїда*.

Витягнутість полігона – атрибут категорії форми *полігона*, який є відношенням довжини його більшої осі до меншої.

Візуалізація (графічне відтворення, відображення) – проєктування та генерація тексту, зображень, серед них геозображень, картографічних зображень і іншої графіки найчастіше на екрані монітора на основі певних вихідних цифрових даних і правил і алгоритмів їхнього перетворення.

Воксел – найменший тривимірний елемент об'ємного зображення, який несе в собі інформацію (тривимірний аналог *піксела*).

Вузол – тип *точкового об'єкта високого рівня*, який у векторних структурах є певною позначкою на *лінійних і площинних об'єктах* і запроваджується для вказівки на зміну геопросторових, а інколи і негеопросторових *атрибутів* цих об'єктів. Вузли також можуть бути елементами *мереж*.

Гамма-індекс – відношення кількості існуючих зв'язків між парами *вузлів мережі* до максимально можливої кількості зв'язків, ураховуючи їхній перетин, при тому ж, зокрема за кількістю, наборі вузлів.

Географічна інформаційна система (геоінформаційна система, ГІС) – система комп'ютерних апаратно-програмних засобів і алгоритмічних процедур, створена для цифрової підтримки, поповнювання, управління, маніпуляції, аналізу, математично-картографічного моделювання та образного відтворення *геопросторових даних*.

Географічні (сферичні, еліпсоїдальні, геодезичні, земні, геодезичні, референційні) системи координат – системи координат, які використовують широту та довготу для визначення положень об'єктів, розташованих на сферичній поверхні Землі чи проміжному глобусі.

Геоінформаційні технології – технологічна основа створення та використання *географічних інформаційних систем*, яка дозволяє реалізувати функціональні можливості ГІС.

Геопросторове розрізнення зображення – розмір порції земної поверхні, який охоплюється одним *пікселом*.

Геопросторовий аналіз (у географії та науках про Землю) – група функцій, які забезпечують аналіз розташування, зв'язків і інших геопросторових відношень *геопросторових об'єктів* як систем довкілля.

Геопросторовий аналіз (у ГІС-інструментарії) – операції з дослідження *геопросторових даних* для їхнього вилучення або створення нових даних.

Геопросторовий запит – завдання на пошук *геопросторових об'єктів* за умовами, які містять координати.

Геопросторові дані – дані про *геопросторові об'єкти*, які містять інформацію щодо їхнього *місцезнаходження* (позиційний складник) та *атрибутів* (непозиційний складник).

Геопросторові об'єкти – геопросторові об'єкти (елементи) реального світу, картографічне подавання яких відтворює більшість природних, антропогенних, природно-антропогенних і соціально-економічних чинників, явищ і процесів, які вивчає географія та науки про Землю. Ці об'єкти аналізуються засобами *геоінформаційних технологій* і поділяються на чотири їхні основні типи: *точкові об'єкти (точки)*, *лінійні об'єкти (лінії)*, *площинні об'єкти (області, полігони)* та *об'ємні об'єкти (поверхні)*.

Геопросторові об'єкти високого рівня – клас *геопросторових об'єктів*, до якого відносяться певні типи *точкових, лінійних, комбінованих і площинних об'єктів* високого рівня, які повинні бути не тільки розраховані, а і побудовані та/або оцінені за визначеними критеріями тощо на основі вже введеного у геопросторові *бази даних* місцезнаходження об'єктів і їхніх *атрибутів*.

Геопросторові розподіли – розміщення, порядок, концентрація або розсіювання, поєднання або безладдя сукупності певних *геопросторових об'єктів* (*точкових, лінійних, площинних*) у межах географічного простору, який їх містить.

Гіпертекст – спеціальний текст електронного документа, який сформовано та структуровано певною програмувальною мовою (мовами) та засобами

розмітки цього тексту та який має здатність містити у собі *гіпертекстові посилання*.

Гіпертекстове посилання (гіперпосилання) – графічно вирізнене посилання *гіпертекстового* електронного документа, звертання до якого (через курсор чи ін.) забезпечує нелінійний перехід до відповідного посиланню іншого текстового, графічного тощо елемента в цьому документі або до іншого документа чи його елемента, розміщених у персональному комп'ютері та/або *інформаційній мережі*. Звертання до гіперпосилань активує заздалегідь створену гіпертекстову систему з її гіперзв'язками між інформаційними одиницями, включеними до зазначеної системи.

Глобальні системи позиціювання (*англ. Global Positioning Systems, GPS*) – комплекс навігаційних супутників, наземних станцій і індивідуальних польових приймачів (апаратури), який дозволяє визначати координати та висотну відмітку заданої точки місцезнаходження на поверхні Землі.

Графічний інтерфейс користувача (ГІК, інтерфейс) – оформлена у графічному середовищі сукупність засобів і правил організації взаємодії користувача з комп'ютеризованою системою (вікна, меню, лінійки та панелі інструментів, кнопки команд, списки тощо).

Дані дистанційного зондування (ДЗ, дані аерокосмічного зондування) – дані щодо поверхні Землі та об'єктів, розташованих на ній або у її надрах, які отримано в процесі зйомок будь-якими неконтактними, тобто дистанційними методами (див. *дистанційне зондування*).

Дешифрування – процес вивчання за аеро- та космічними зображеннями територій, акваторій і атмосфери, який базується на залежності між властивостями об'єктів, які дешифруються, та характером їхнього відтворення на знімках (див. *дистанційне зондування*).

Дискретна поверхня – *поверхня*, утворена величинами, які зустрічаються лише індивідуально, але з певними відмінностями у кількості *точок* з такими величинами на одиницю площі її координатної області, аж до подекуди повної відсутності цих точок.

Дистанційне зондування (ДЗ, дистанційні зйомки, аерокосмічні зйомки) – процес отримання інформації щодо поверхні Землі (як і інших космічних тіл) та об'єктів, розташованих на ній або в її надрах, дистанційними методами.

Експертні системи (ЕС) – системи логічного виводу результатів аналізу, які базуються на організованих наборах фактів (знань), евристичних прийомів (емпіричних правилах) обробки даних і механізмах логічного вирішення поставленої задачі, застосовуючи *бази знань*.

Електронна (комп'ютерна) карта – результат *постійного виводу* результатів геопросторового аналізу, який є картографічним виробом в електронній формі та містить, по-перше, цифрові дані, зокрема цифрові, *векторні* чи *растрові*, *карти* та/або *шари* зазвичай у записах на певному носії інформації, та,

по-друге, програмні засоби *візуалізації* цих даних, які призначено для генерації такої карти.

Електронний (комп'ютерний) атлас – систематизована збірка на носії інформації *електронних карт*, виконаних за єдиною програмою та обраною тематичною спрямованістю.

Загальний аналіз сусідства (аналіз розширеного оточення) – складна операція з *перекласифікації геопросторових об'єктів*, розташованих як всередині чи у безпосередній близькості до меж цільової області (обраної для дослідження території), так і віддалених на певну відстань від неї.

Запит – завдання на пошук інформації, яка задовольняє певним умовам, в *базах даних*.

Звивистість лінійного об'єкта – міра форми, яка визначається як відношення суми довжин всіх відрізків *лінії* до відстані між її крайніми точками.

Зшивання – автоматизоване об'єднання векторних цифрових записів двох окремих суміжних цифрових карт чи їхніх аркушів або суміжних *цифрових шарів* чи їхніх частин (фрагментів), а також монтаж окремих цифрових знімків або інших цифрових зображень у растровому форматі.

Ідентифікатор – унікальний номер, який присвоюється *геопросторовому об'єкту* автоматично чи призначається в процесі введення цього об'єкта у *БД*, або його номер (код) за певним переліком тощо. Править для зв'язку позиційного (*локатора*) та непозиційного (*атрибутивів*) складника *геопросторових даних*.

Ієрархічна (деревоподібна) структура баз даних – структура, що відображає взаємозв'язок між елементами даних згідно з відношенням "один до багатьох" ("багато хто до одного") або "один до одного" (т.зв. взаємозв'язок "предок – нащадок").

Ієрархія – розташування елементів *системи* у певному порядку: від вищого до нижчого за умови, що кожний вищий елемент є домінантним (більш значущим) стосовно кожного нижчого елемента.

Ізолінії – загальна назва ліній, які поєднують точки однакових значень *третього виміру поверхні (Z-параметра)* як випадкової величини (див. також *поверхня*).

Ізотропна поверхня – *поверхня* з однаковими властивостями незалежно від напрямку руху за нею (на відміну від анізотропної поверхні).

Індекс випуклості полігона – числова міра випуклості *полігона* при порівнянні її з кругом, яка обчислюється за спеціальними формулами для растрових і векторних структур даних.

Інкрементна (та, що накопичується) відстань – відстань, яка формується з довжин етапів пройденого шляху, коли кожний наступний етап додається просто як міра довжини. Кваліфікується як найкоротший шлях між двома *точками* без урахування опору під час руху.

Інтерактивний – заснований на взаємодії, діалозі.

Інтерполяція поверхні – визначення всіх потрібних відсутніх значень *Z*-параметра поверхні та їхнього місцезнаходження на основі відомих (наявних) даних.

Інтранет – корпоративна регіональна чи локальна *інформаційна мережа* підвищеної надійності з обмеженим доступом і застосуванням мережних *стандартів* і апаратно-програмних засобів, аналогічних тим, що використовуються у глобальній мережі Інтернет.

Інформаційна мережа – різна за організацією, *архітектурою*, територіальним охопленням (локальна, глобальна тощо) і призначенням (робочої групи, корпоративна тощо) сукупність комп'ютерів і периферійних пристроїв обумовленого класу, з'єднаних для взаємодії за допомогою апаратно-програмних компонентів.

Інформаційна система (ІС) – комп'ютеризована система, яка виконує процедури з даними для отримання інформації, корисної для прийняття рішень.

Інформаційні системи екологічного менеджменту (ІСЕМ) – *інформаційні системи* природоохоронного спрямування, які містять в явному вигляді спеціально розроблений програмно-алгоритмічний блок (модуль або підсистему) – систему підтримки прийняття рішень (СППР).

Інформація щодо місцезнаходження (локатор, позиційна інформація) – відомості про місцезнаходження *геопросторових об'єктів* з урахуванням *топологічної інформації* щодо них, які відокремлені від матеріалів ідентифікації (*ідентифікатора*).

Ітерація – повторюване застосування певної операції, зокрема модельної тощо, зі зміною її параметрів і/або умов з метою поступового, максимально можливого наближення до бажаного результату.

Карта – математично визначене, зменшене, генералізоване зображення поверхні Землі, іншого небесного тіла або космічного простору, яке показує розташовані або спроектовані на них об'єкти в прийнятій системі умовних знаків.

Картографічна алгебра (алгебра карт) – розроблена американським вченим Томліном (*C.D. Tomlin*) у 1980-х сукупність операцій з *геопросторовими даними*, які базуються на растровій моделі цих даних.

Картографічна проєкція – математично визначений спосіб зображення поверхні Земної кулі або еліпсоїда (чи іншої планети) на площині.

Картографічне накладання – комбінування картографічного подавання тематичної інформації однієї обраної теми з іншою (іншими). У *геоінформаційних технологіях* реалізується як **операції з накладання цифрових шарів**, які ще називають оверлейним аналізом.

Картографічні (планові) системи прямокутних (плоских) координат – системи координат, які використовують для побудови *карт*, спроектованих із проміжного глобуса на площину.

Категорування геопросторових об'єктів – визначення категорій (класів) *геопросторових об'єктів* за спільними категоріями їхніх атрибутів, зокрема власне *атрибутами*, їхніми значеннями тощо. Синонімом може бути термін "типізація за класифікаційними ознаками".

Кластерний аналіз – набір методів моделювання, спрямованих на класифікацію та виявлення однорідних змінних у їхніх підмножинах (кластерах).

Ключові складники ГІС – *апаратні засоби, програмне забезпечення, геопросторові дані, розробники та користувачі, режими (плани) та регламенти (правила) роботи ГІС.*

Комбіновані об'єкти високого рівня – тип *геопросторових об'єктів високого рівня*, які можуть утворюватися або при групуванні *точок* чи *ліній* за якісною ознакою та перетворенні таких угруповань *точок* чи *ліній* вже у *площинні об'єкти*, або при вирізненні *областей*, які містять схожі за кількісними параметрами *точкові* чи *лінійні розподіли*. До них входять також *мережі*.

Комірка (чарунка) растра – *елемент растра* прямокутної або квадратної форми (див. також *піксел*).

Компанія ESRI, Inc. (абр. від англ. *Environmental System Research Institute* – компанія "Інститут досліджень систем довкілля") – один із світових лідерів розробки та постачання *геоінформаційних технологій*, який є "патріархом" ринку цих технологій, працюючи на ньому з 1969 р. Сучасним програмним забезпеченням цієї американської компанії є комплекс програмних продуктів *ArcGIS*.

Компанія ViewTec LLC (США) – розробник ГІС-візуалізаторів, насамперед програмного продукту *TerrainView*.

Компоновка карти – розміщення картографічного зображення, назви *карти*, *легенди* та інших даних всередині рамок *карти*, на її полях або в межах аркуша.

Комп'ютерний файл – сукупність інформації, якій присвоїли ім'я та яка зберігається у певному електронному середовищі. Такий файл може бути як документом, так і *програмою*.

Консорціум OGC (абр. від назви *Open Geospatial Consortium, Inc.* – Консорціум Відкритих Геоінформаційних Технологій) – міжнародна організація, функціонування якої підпорядковано стрижневій концепції "Відкрите прикладне середовище ГІС" або, скорочено, "Відкрита ГІС" (англ. "*Open GIS Application Environment*" або "*Open GIS*"). Специфікації, розроблені цим консорціумом щодо регламентації загальних принципів побудови ГІС та розробки ГІС-інструментарію, є неформальними стандартами міжнародного рівня.

Конфігурація – сукупність функціональних частин *апаратного забезпечення* комп'ютеризованої системи. Інколи під конфігурацією розуміють і сукупність структурно-функціональних елементів певної *системи* у цілому.

Корпорація Autodesk, Inc. (США) – один із світових лідерів розробки та постачання *програмного забезпечення САПР*.

Корпорація *Golden Software Inc.* (США) – розробник і постачальник (з 1983 р.) розповсюджених за використанням у світі програмних продуктів для *геопросторового аналізу та тривимірної візуалізації*, насамперед програмних продуктів *Surfer*.

Крігінг – метод нелінійної *інтерполяції поверхні*, який оптимізує процедуру інтерполяції на основі статистичної (ймовірнісної) природи поверхні, використовуючи ідею регіоналізованого змінного *Z-параметра поверхні* та його складників, а саме тренду, випадкових скорельованих флуктуацій і випадкового шуму.

Легенда карти – зведення умовних позначень, використаних на *карті*, з текстовими поясненнями до них.

Лінійна інтерполяція поверхні – *інтерполяція*, яка базується на апріорній тезі про зміну значень *третього виміру поверхні* за лінійною залежністю.

Лінійний об'єкт (лінія) – неперервний одновимірний *геопросторовий об'єкт* у прямокутному координатному просторі.

Маршрут найменшої вартості – найменша за вартістю (витратами) відстань між двома точками *цифрового шару*.

Маршрутизація – задача відшукання найбільш ефективного маршруту (*маршруту найменшої вартості*) між вузлами *мережі*.

Межа – тип *лінійного об'єкта високого рівня* у вигляді лінії, при перетині якої передбачається суттєва зміна одного чи багатьох *атрибутів* прилеглих до межі *областей*.

Мережа – підвид комбінованих *геопросторових об'єктів* високого рівня у вигляді набору поєднаних *вузлів мереж (точок чи полігонів)* і дуг мереж (*ліній* або видовжених *полігонів*), уздовж яких є можливим просування (рух) від одного *вузла* мереж до іншого.

Мережа точок (регулярна та нерегулярна) – спосіб точкової фіксації *третього виміру поверхонь (Z-параметра)* на основі регулярної чи нерегулярної сітки (ґратки), утвореної прямими паралельними вертикальними та горизонтальними лініями, перетини яких (вузли ґратки) власне і визначають місцезнаходження точок, які обирають для фіксації значень *третього виміру поверхонь*, формуючи таким чином мережу точок як їхню систему (точкову матрицю *третього виміру*, яка, як матриця наприклад висотних відміток, є основою *цифрових моделей висот, ЦМВ*).

Мережна структура баз даних – структура, яка використовує відношення "багато хто до багатьох", за якого один елемент даних може мати багато *атрибутів* і при цьому кожний атрибут явно взаємопоєднано з багатьма елементами.

Метадані ("дані про дані") – каталоги, довідники, словники і інші форми опису (супроводу) наборів різноманітної інформації. Такі форми містять відомості про склад цих наборів, їхній зміст, статус (актуальність і поновлення), місцезнаходження, якість, формати та форми подавання, умови доступу,

придбання та використання, авторські та суміжні з ними права на інформацію тощо.

Метод аналізу "найближчого сусіда" – метод аналізу *геопросторових розподілів точок*, який полягає у визначенні відстані від кожної точки до її "найближчого сусіда" (відстані до "найближчого сусіда", ВНС) та визначенні середньої відстані між "сусідами" (середньої ВНС), яка розраховується для всіх можливих пар точок, що розміщено поблизу одна одної, та може правити за міру розрідженості точок у їхньому розподілі. Середня ВНС застосовується і для аналізу *геопросторових розподілів ліній*.

Метод аналізу за допомогою полігонів Тіссена (діаграм Вороного) – метод аналізу *геопросторових розподілів точок*, який базується на ідеї про можливість "нарощування" *полігонів* навколо *точок* з метою визначити можливі зони впливу цих точок на інші точки *цифрового шару*.

Метод аналізу квадратів – метод аналізу *геопросторових розподілів точок*, який визначає рівномірність цих розподілів на основі заданих співвідношень між характеристиками однакових за площею квадратних субобластей загальної області дослідження, які власне і називаються квадратами.

Метод обернено виважених відстаней (ОВВ) – метод нелінійної *інтерполяції поверхні*, заснований на тезі про те, що чим ближче одна до одної знаходяться обрані точки *поверхні* (її відліки), тим ближчими за величиною є в них значення *Z-параметра поверхні*.

Метод перетину ліній – метод аналізу *геопросторових розподілів ліній*, який базується на ідеї, принципова мета якої – перетворити розподіл двовимірних *лінійних об'єктів* у одновимірну числову послідовність певних відстаней між ними. Це здійснюється шляхом проведення вибіркової прямої *лінії* через *цифровий шар* і врахування перетинів такої лінії з усіма лініями цього шару.

Метод поверхні тренду – метод нелінійної *інтерполяції поверхні*, у якому використовуються набори відліків *поверхні* в межах заданого певним чином її оточення, де будується поверхня найкращого наближення (тренду) різного порядку на основі нелінійних математичних рівнянь, таких як інтерполяційні поліноми або сплайни.

Міксел – *піксел*, утворений змішуванням декількох суміжних з ним *комірок растра* з відмінними значеннями класів, а також піксел, який при *дешифруванні* не піддається віднесенню до жодного з класів з визначеного їхнього набору.

Мірило – відношення довжини нескінченно малого відрізка на геообразженні до нескінченно малого відрізка на поверхні еліпсоїда або кулі.

Мірильний файл – *файл*, де зазначається, у якому діапазоні *мірил* слід відтворювати те чи інше цифрове зображення, щоб при укрупненні користувач міг побачити появу на карті додаткових елементів, які раніше були відсутніми.

Модель (технологія) "клієнт-сервер" – модель (технологія) розподіленої обробки інформації, коли частину роботи виконує сервер як головний потужний комп'ютер, а частину – комп'ютер користувача.

Мультимедійні технології – різновид інформаційних технологій, який є інтеграцією технологій, які дозволяють *інформаційним системам* спільно вводити, обробляти, зберігати, передавати та відтворювати такі типи даних, як текст, графіка, нерухомі зображення, анімація, відео, звук тощо, забезпечуючи *інтерактивний* доступ користувачів до цих даних, об'єднаних у різних комбінаціях.

Накладання планіметричних шарів на тривимірне зображення (драпування) – одна з операцій обробки *цифрової моделі висот*.

Накладання полігонів – варіант *картографічного накладання* та *накладання цифрових шарів*, а саме *площинних об'єктів*.

Накладання типу "лінія у полігоні" – варіант *картографічного накладання* та *накладання цифрових шарів*, а саме *лінійних і площинних об'єктів*.

Накладання типу "точка у полігоні" – варіант *картографічного накладання* та *накладання цифрових шарів*, а саме *точкових і площинних об'єктів*.

Нарізка (розшарування) поверхні – сукупність операцій зі зміни інтервалу між *ізолініями поверхні* та, інколи, перетворення координатної області кожного інтервалу *Z-параметра* у плоску поверхню, практично окремих *полігон*.

Неперервна поверхня – *поверхня*, утворена величинами, визначеними у всіх точках досліджуваної її координатної області.

Операційна система (ОС) – програмний комплекс комп'ютеризованої системи, який забезпечує підтримку всіх програм та їхню взаємодію з *апаратними засобами* та користувачем, керуючи пам'яттю, зокрема зовнішньою, доступом у системі та здійснюючи її захист, облік використання ресурсів, обробку командної мови тощо.

Операційна система UNIX (Unix) – *операційна система*, яка відзначається високою надійністю, призначена для вирішення багатьох задач широким колом користувачів і має розвинуті засоби для роботи в *інформаційних мережах*.

Параметр (головний атрибут) Z (або Z-параметр) поверхні та його значення – синоніми *третього виміру поверхні та його значень* або випадкового поля третього виміру як головного геопросторового *атрибута об'єкта* (див. *поверхня*).

Перекласифікація геопросторових об'єктів – комбінування наявних *атрибутів геопросторових об'єктів* для створення їхньої класифікації, яка краще відповідає поставленим задачам або наміченим рішенням, що має наслідком зміну і координат об'єктів.

Перфорований регіон – *регіон* у вигляді зв'язної геопросторової *області*, з якої виключено певні внутрішні *полігони*, які називають отворами або

островами регіону. На відміну від *фрагментованого*, такий регіон не складається з окремих полігонів, а виключає їх.

Піксел (пел) – двовимірний елемент зображення, найменший з його складників, який отримується в результаті дискретизації (квантування) зображення, тобто його поділу на далі неподільні елементи – прямокутні *комірки (чарунки) растра*.

Площинний об'єкт (область, полігон) – двовимірний *геопросторовий об'єкт*, який відтворюється серією пар плоских координат таким чином, що має і довжину, і ширину.

Побудова тривимірних зображень (рендеринг) – одна з операцій обробки *цифрової моделі висот*.

Поверхня (об'ємний об'єкт) – тривимірний *геопросторовий об'єкт*, який тим чи іншим способом подається значеннями його *параметра (головного атрибута) Z*, розподіленими за досліджуваною областю (випадковим полем) параметра, яку визначено координатами *X* і *Y*. Зазвичай у *геоінформаційних технологіях* використовується термін "**статистична поверхня**", тому що оперування значеннями її параметра *Z* передусім можна трактувати як статистичне подання кількісних значень явищ, процесів або об'єктів, які досліджуються.

Постійний (незмінний, довготерміновий) вивід результатів геопросторового аналізу – вивід таких результатів на визначені носії (зокрема картографічний вивід – вивід *карти*), які можуть зберігати однозначно задані результати у вигляді відповідних копій на протязі довгого терміну.

Пошарова (багат шарова) організація даних у геоінформаційних технологіях – виконання поділу інформації щодо *геопросторових об'єктів* на тематичні *цифрові шари* з вирізненням об'єктів, віднесених до одного шару.

Програма – послідовність команд і даних до них, які призначено для управління конкретними компонентами комп'ютеризованої системи з метою реалізації заданого алгоритму.

Програмне забезпечення (ПЗ) – сукупність *програм* певної комп'ютеризованої системи та програмних документів, необхідних для експлуатації цих програм. Розрізняють загальне, зокрема системне, та прикладне ПЗ.

Програмний інструментальний засіб або програмний інструментарій ГІС (програмний ГІС-інструментарій чи ГІС-інструментарій) – 1) *програмне забезпечення (ПЗ) ГІС*, яке підтримує створення та експлуатацію ГІС і/або той чи інший набір функціональних можливостей ГІС, яка вже створена та експлуатується як інформаційна система; 2) один з видів програмних засобів автономного *геопросторового аналізу та/або моделювання геопросторових даних*.

Радіометричне розрізнення зображення – число бінарних розрядів (бітів), якими при *дистанційному зондуванні* кодується кожен піксел.

Растровий метод графічного подання географічного простору – метод, з його растровою структурою (моделлю) даних, який базується на

квантуванні, тобто розподілі геопростору на множину дискретних *елементів растра* (зокрема його *комірок*), кожен з яких є невеликою, але цілком визначеною частиною земної поверхні.

Растрово-векторне перетворення (векторизація) – автоматизоване або напівавтоматизоване перетворення (конвертування) *растрового подавання* геопросторових об'єктів у *векторне* за допомогою набору операцій.

Регіон – тип *площинного об'єкта високого рівня*, який є великою групою об'єднаних суміжних або несуміжних *полігонів*, які мають певну єдність параметрів (*атрибутів*).

Режим WYSIWYG (*абр. від англ. "What You See Is What You Get"*) – режим "що бачите на екрані, те і отримаєте на носії", тобто режим повної відповідності друкованої копії зображенню на екрані.

Реляційна (таблична) структура баз даних – структура, за якої дані зберігаються як табличні рядки значень *атрибутів* об'єктів. Такі значення групуються в цих окремих рядках у вигляді т.зв. відношень, позаяк вони зберігають свої положення у кожному рядку та визначено (ситуаційно, неявно) поєднані з об'єктами та між собою.

Розчинення меж – субоперація з *перекласифікації*, яка полягає у видаленні всіх *ліній*, які розмежовують два чи більше класи (категорії) геопросторових об'єктів, які об'єднуються.

Система управління базами даних (СУБД) – комплекс *програм* і мовних засобів, які призначено для створення, ведення та використання *баз даних*.

Системи автоматизованого проєктування (САПР) – системи, головним призначенням яких є підтримка виготовлення креслень проєктів і планів споруд та інфраструктури.

Системи настільного картографування (Mapping-системи) – системи, призначені для професійного виробництва карт, які і є в них *базами даних*.

Стандарт SQL/MM (*абр. від англ. Structured Query Language / MultiMedia Extension, укр. Структурна Мова Запитів / Мультимедійне Розширення*) – розширення стандартизованої *мови запитів SQL*, яка використовується для аналізу інформації, яка зберігається у реляційних *базах даних*, і є розповсюдженим засобом обслуговування систем типу "*клієнт – сервер*".

Статистичний показник сполучень полігонів – кількість певних сполучень у полігональному *цифровому шарі*, яка характеризує структуру сполучень такого шару.

Суцільний регіон – *регіон*, який утворює одну суцільну *область*, при цьому негеопросторові *атрибути полігонів*, які він об'єднує, можуть бути однаковими (гомогенний регіон) або різними (гетерогенний регіон).

Технології ActiveX – назва групи технологій, створених компанією *Microsoft* для розробки *прикладних програм* на основі моделі *COM*.

Технології OLE (*абр. від англ. Object Linking and Embedding*) – технології сполучення та вкладання (впровадження, вбудовування) об'єктів (у цьому

випадку *програмного інструментарію*). До 1996 р. – загальна назва групи об'єктно-орієнтованих технологій компанії *Microsoft* на основі моделі *SOM*, таких як *OLE 1*, *OLE 2*, *OLE Automation*, *OLE Database* і ін. З 1996 р., після запровадження терміна "*ActiveX*", – назва технологій на основі моделі *SOM*, які використовуються для створення інтегрованих об'єктів шляхом сполучення та вкладання (впровадження, вбудовування).

Технологія (модель) *SOM* (абр. від англ. *Component Object Model – Модель Компонентних Об'єктів*) – стандартна програмувальна технологія (модель), зокрема з відповідними *інтерфейсами*, для надавання сервісних можливостей одним об'єктів для використання іншими об'єктами.

Технологія *OLE Automation* – автоматизована технологія на основі моделі *SOM*, яка дозволяє надавати сервісні можливості певної серверної *прикладної програми* для застосування в інших програмах клієнтів, використовуючи т.зв. диспетчерські *інтерфейси*.

Тимчасовий (нетривалий) вивід результатів геопросторового аналізу – вивід, зазвичай на екран монітора, з метою демонстраційної візуалізації результатів аналізу чи попереднього перегляду *файлів* для вирішення питання про їхнє використання при аналізі або про *постійний вивід*.

Топологічна інформація – явна інформація щодо зв'язності та геопросторових відношень об'єктів.

Точковий об'єкт (точка) – дискретний нульвимірний *геопросторовий об'єкт*, який визначається однією парою плоских координат X і Y .

Умовний (відносний, переборний) бар'єр – бар'єр, який адекватний за змістом *фрикційній поверхні*, але займає лише невелику ділянку *цифрового шару* з відмінним від сусідніх тертям (опором). Відносні бар'єри накладають певну, зокрема додаткову, вартість на рух, сповільнюючи його або вимагаючи більших витрат (енергії, часу тощо), утім вони є переборними.

Формат файлу (у *геоінформаційних технологіях*, комп'ютерній графіці та обробці зображень) – загальна назва способу комп'ютерної реалізації подавання (моделі) *геопросторових даних* (наприклад, векторний формат, растровий формат тощо) або формат даних конкретної системи, програмного засобу, засобу стандартизації, обміну даними.

Фрагментований регіон – гомогенний або гетерогенний за схожістю *атрибутів полігонів-складників регіон*, який сформовано з двох або більше полігональних фігур, розмежованих геопростором, який не відноситься до цього регіону. Для такого регіону немає обмежень на відстань між полігонами, які його утворюють, за умови збереження схожості атрибутів.

Фрагментування – операція у *геоінформаційних технологіях*, обернена до *зшивання*.

Фрикційна поверхня (поверхня тертя) – *поверхня*, що сповільнює рух нею, збільшуючи час досягнення потрібної *точки* у порівнянні з поверхнею без тертя (опору).

Фундація OSGeo (абр. від англ. *Open Source Geospatial Foundation* – *Фундація Відкритих Геопросторових Даних*, інші варіанти перекладу *Фундація Відкритого Геопросторового Програмного Забезпечення* або *Фундація Відкритих Геоінформаційних Технологій*) – міжнародна неприбуткова громадська організація, метою діяльності якої є сприяння спільній розробці відкритих геоінформаційних технологій і ГІС-інструментарію та створенню доступних для всіх геопросторових даних.

Функціональна відстань – відстань, при вимірюванні якої враховують вагтість просування (руху) *фрикційною поверхнею* чи через *переборні бар'єри*, або в обхід *непереборних бар'єрів*.

Функція Ейлера – розповсюджена міра геопросторової цілісності *регіону*, яка виражає ступінь його фрагментованості та перфорованості.

Центр тяжіння (центр мас) – *центроїд*, який визначається як *точка*, розташована в координатному центрі розподілу точкових показників певного явища чи процесу за тематичним *цифровим шаром* тощо і потребує роздільного усереднення координат *X* і *Y* за всіма точками у шарі.

Центроїд – тип *точкового об'єкта високого рівня*, який, в залежності від виду, маркує певну центральну *точку геопросторових об'єктів* або їхніх *розподілів*.

Центроїд простий – *центроїд*, який визначається як *точка*, що знаходиться у координатному (геометричному) центрі *полігона*.

Цифрова модель висот (рельєфу) (ЦМВ, англ. *Digital Elevation Model, DEM*, сін. *Digital Terrain Model, DTM*, ЦМР – цифрова модель рельєфу) – цифрове відображення топографічної *поверхні*, яке здійснюється насамперед за допомогою растрової моделі рельєфу у вигляді матриці висотних відміток у *точках регулярної мережі* (за *DEM* як стандартом Геологічної зйомки США) або за допомогою векторної моделі *TIN* – нерегулярної триангуляційної мережі (англ. *Triangulated Irregular Network*), яка початково використовує зазначену матрицю у *точках нерегулярної мережі*.

Цифровий шар – сукупність однотипних за властивостями чи вимірністю *геопросторових об'єктів*, які віднесено у *базах даних* до однієї теми (класу об'єктів) в межах певної території та в системі координат, спільної для набору шарів.

Цифрування (дигіталізація) – процес отримання *позиційної інформації* щодо *геопросторових об'єктів* з вихідного її джерела (*карти*, плану, знімка, графічного *файлу* тощо) за допомогою певних спеціальних пристроїв або *програм* з одночасним чи наступним введенням цієї інформації у цифровому вигляді в *бази даних* для *векторної* чи *растрової структури геопросторових даних*.

Цільовий аналіз сусідства (аналіз безпосереднього оточення) – складна операція з *перекласифікації геопросторових об'єктів*, яка стосується лише об'єктів, які безпосередньо прилягають до меж цільової області, тобто обраної для дослідження території.

Число Ейлера – двозначкове число, яке застосовується у функції Ейлера та обчислюється за спеціальною формулою.

Шар-шаблон – цифровий шар, інформація якого вважається найбільш достовірною при стикуванні чи спільному розгляді декількох таких шарів.

Шейп-файл (англ. *shapefile* – букв. "файли форми", повна назва *ESRI shapefile*) – базове методичне поняття подавання та збереження геопросторових даних у всіх головних геоінформаційних продуктах компанії *ESRI, Inc.* Шейп-файл є створеним цією компанією векторним форматом даних щодо точкових, лінійних та площинних об'єктів, який завдяки його всесвітньому поширенню та вельми широкому застосуванню перейшов у розряд неформальних стандартів для геоінформаційних технологій.

Примітка. Терміни, вирізані курсивом у визначеннях основних термінів, мають окрему власну дефініцію.

ПЕРШОДЖЕРЕЛА

Albrecht, J. (2018). GIS Project Management. Comprehensive Geographic Information Systems, First Edition, Elsevier, P.446–477.

ArcGIS Living Atlas (2026). ArcGIS Living Atlas of the World. <https://livingatlas.arcgis.com/en/home/>

Atlas / A.Hrachov. Atlas of objects of the Nature Reserve Fund of Ukraine. Portal 'Nature of Ukraine'. [In Ukrainian] [Атлас об'єктів природно-заповідного фонду України. Портал "Природа України" / А.Грачов]. Available at: <http://pzf.land.kiev.ua>

Atlas of Ukraine (2000). Electronic version. Institute of Geography of the National Academy of Sciences of Ukraine, "IS GEO". Kyiv. [In Ukrainian] [Атлас України. Електронна версія. Інститут географії НАНУ, "ІС ГЕО". К. 2000].

Bilous L.F. (2014). Analysis of remote sensing data for information inventory of geosystems. Geopolitics and eco-geodynamics of regions. Vol.10. Issue 1. P.92-97. [In Ukrainian] [Білоус Л.Ф. Аналіз даних дистанційного зондування для інформаційної інвентаризації геосистем. Геополітика і екогеодинаміка регіонів. 2014. Т.10. Вип.1. С.92-97].

Bilous L. F., Shyshchenko P., Samoilenko V., Havrylenko O. (2020). Spatial morphometric analysis of digital elevation model in landscape research. European Association of Geoscientists & Engineers. Conference Proceedings, Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects. V.2020: 1-5. Available at: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2020geo124>

Bilous L., Samoilenko V., Shyshchenko P., Havrylenko O. (2021). GIS in landscape architecture and design. European Association of Geoscientists & Engineers. Conference Proceedings, Geoinformatics, May 2021, V.2021: 1–7. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521034>

Bilous L., Samoilenko V., Shyshchenko P., Havrylenko O. (2022). Ecoregional Biodiversity Monitoring. European Association of Geoscientists & Engineers. Conference Proceedings, XVI International Scientific Conference 'Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment', Nov. 2022, Volume 2022: 1-5. Available at: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022580059>

Bossard M. et al. (2000). CORINE land cover technical guide Addendum 2000. Technical report No 40. Copenhagen: EEA. 105 p. Available at: <https://www.eea.europa.eu/publications/tech40add>

Busyhin B.S. et al. (2007). English-Ukrainian Dictionary of Geoinformatics. Kyiv: Carbon. 433 p. [In Ukrainian] [Бусигін Б.С. та ін. Англо-український словник з геоінформатики. К.: Карбон, 2007. 433 с.].

CCI-LC Map (2015). European Space Agency. <http://maps.elie.ucl.ac.be/CCI/viewer>

DeMers, Michael N. (2008). Geographic information systems. Fundamentals. Wiley; 4th edition. 464 p.

Earth Explorer / USGS (2026). <http://earthexplorer.usgs.gov>

EEA (2014). Terrestrial habitat mapping in Europe: an overview. *EEA*. 152 p. <https://www.eea.europa.eu/publications/terrestrial-habitat-mapping-in-europe>

Electronic atlas (2000). Electronic version of the Atlas of Ukraine / Institute of Geography of NASU, 'IS GEO'. Kyiv. [In Ukrainian] [Атлас України (електронна версія) / Інститут географії НАНУ, "ІС ГЕО". Київ].

ESRI/ArcGIS Pro 01 (2025). <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-pro/overview>

ESRI/ArcGIS Pro 02 (2025). <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-pro/extensions>

European landscape convention (2000). International document dated October 20, 2000 ETS No. 176. Ratified by Law of Ukraine No. 2831-IV (2831-15) dated September 7, 2005. BVR 2005. No.51, Art.547. [In Ukrainian] [Європейська ландшафтна конвенція. Міжнародний документ від 20.10.2000 ETS № 176. Ратифіковано Законом України № 2831-IV (2831-15) від 07.09.2005. *BBP*. 2005. №51, ст.547.]. http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/994_154

Fischer H.S., Winter S. et al. (2013). Improving Transboundary Maps of Potential Natural Vegetation Using Statistical Modeling Based on Environmental Predictors. *Folia Geobot.* 48. P.115-135. <https://doi.org/10.1007/s12224-012-9150-0>

Globeland30 (2011). Globeland30 Land Cover Map. NGC of China. http://www.globallandcover.com/defaults_en.html?type=data&src=/Scripts/map/defaults/En/browse_en.html&head=browse

Golden Software/Surfer (2025). <https://www.goldensoftware.com/products/surfer/>

Google Earth. <https://www.google.com/intl/uk/earth/index.html>

Google Maps. <https://www.google.com.ua/maps>

Gray C.F., Larson E.W. (2021). Project management: The Managerial Process. McGraw- Hill / Irwin Series Operations and Decision Sciences, 8th edition. 672 p. http://www.elearn.eng.cu.edu.eg/pluginfile.php/4261/mod_resource/content/1/Project%20Management%20Book.pdf

Guidelines (2011). Guidelines for land use mapping in Australia: principles, procedures and definitions. Australian Bureau of Agricultural and Resource Economics and Sciences. Fourth edition. Canberra: Commonwealth of Australia. 132 p. <https://catalogue.nla.gov.au/Record/5739000>

Guidance (2002). Guidance document on implementing the GIS elements of the WFD. Institute for Environment and Sustainability (Joint Research Centre). 174 p. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/e2ac9619-ae31-488c-aac0-ac1bebc0ace8/language-en>

Guidance (2003). Implementing the geographical information system elements (GIS) of the water framework directive. Guidance document No 9. Directorate-General for Environment (European Commission). 166 p. Available at: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/b27db99c-9b64-4319-b2d8-725821a31ccd/language-en/format-PDF/source-search>

Guidance (2009). Updated guidance on implementing the geographical information system (GIS) elements of the EU water policy. Guidance document No 22. Directorate-General for Environment (European Commission). 173 p. Available at: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/b6fa11ca-7487-4501-bd92-4cfcae868c47/language-en/format-PDF/source-search>

IOER-Monitor (2018). Monitor of Settlement and Open Space Development. Leibniz Institute of Ecological Urban and Regional Development. Available at: <http://www.ioer-monitor.de>

ISO 19115-1:2014 (2014). ISO 19115-1:2014 – Geographic information – Metadata. <https://www.iso.org/standard/53798.html>

NASA Landsat Science (2025). <http://landsat.gsfc.nasa.gov>

National Atlas (2007). National atlas of Ukraine (electronic version). *Institute of Geography of NASU, SRPE 'Cartography' et al.* [In Ukrainian] [Національний атлас України (електронна версія). *Інститут географії НАНУ, "ІС ГЕО", ДНВП "Картографія", ДСГКК.* 2007.].

OpenStreetMap Data / Geofabrik. Available at: <http://download.geofabrik.de/europe/ukraine.html>

OSGeo (2025). <http://www.osgeo.org>

PCRaster. <https://pcraster.geo.uu.nl>

Peters, D. (2009). System Design Strategies. 26th Edition. *An ESRI® Technical Reference Document*. 252 p. Available at: <https://www.esri.com/content/dam/esrisites/sitecore-archive/Files/Pdfs/library/whitepapers/pdfs/sysdesig.pdf>

Peters, D. (2012). Building a GIS: System Architecture Design Strategies for Managers, Second Edition. *Esri Press*. 374 p.

Precisely/MapInfo Pro 01 (2025).

<https://www.precisely.com/product/precisely-mapinfo/mapinfo-pro>

Precisely/Spectrum Spatial (2025).

<https://www.precisely.com/product/precisely-spectrum-spatial/spectrum-spatial>

Precisely/MapInfo Pro 02 (2025).

<https://help.precisely.com/r/t/1031444714/2023-12-31/MapInfo-Pro/pub/2023/en-US/MapInfo-Pro-User-Guide/Mapping-at-a-Glance>

Project management (2020). Project management manual. *GEF IW:LEARN*, 85 p. Available at: <https://iwlearn.net/manuals/project-management-manual/project-management-manual>

QGIS (2025). <https://qgis.org>

OGS (2025). <https://www.ogc.org>

Samoilenko V.M. (1998). Cadaster of radioactive contamination for water objects of local water use in Ukraine. Volume 1. Radio-hydroecological state and use of reservoirs and general methodological problems: monograph. *Kyiv: Nika-Tsentr*. 192 p. [In Ukrainian] [Самойленко В.М. Кадастр радіоактивного забруднення водних об'єктів України місцевого водокористування. Том 1. Ра-

діогідроекологічний стан і використання водойм та загальнометодологічні проблеми: монографія. К.: Ніка-Центр, 1998. 192 с.].

Samoilenko V.M. (1999). Integrated zoning of radioactively contaminated territories of Polissia and the north of the Forest Steppe according to hydrological-landscape conditions and possible radioecological effects of local water and resource use: monograph. Kyiv: Nika-Tsentr. 280 p. [In Ukrainian] [Самойленко В.М. Комплексне районування радіоактивно забруднених територій Полісся і півночі Лісостепу за гідрологічно-ландшафтними умовами та можливими радіоекологічними наслідками місцевого водо- і ресурсокористування: монографія. К.: Ніка-Центр, 1999. 280 с.].

Samoilenko V.M., Tavrov Yu.S., Buianov M.I. (2000). Integrated radioecological monitoring of local water use reservoirs and methodological-optimizing solutions of stochastic ecological hydrology: monograph. Kyiv: Nika-Tsentr. 136 p. [In Ukrainian] [Самойленко В.М., Тавров Ю.С., Буянов М.І. Комплексний радіоекологічний моніторинг водойм місцевого водокористування та методологічно-оптимізувальні рішення стохастичної екологічної гідрології: монографія. К.: Ніка-Центр, 2000. 136 с.].

Samoilenko V.M. (2003). Mathematical modeling in geocology: tutorial (electronic version). Kyiv: PPC 'Kyiv University'. 233 p. [In Ukrainian] [Самойленко В.М. Математичне моделювання в геоекології: навчальний посібник (електронна версія). К.: ВПЦ "Київський університет", 2003. 233 с.]. https://www.researchgate.net/publication/358736128_Samojlenko_VM_Matematichne_modeluvanna_v_geoekologii_Navcalnij_posibnik_elektronna_versia_-_K_VPC_Kiivskij_universitet_2003_-_233_s

Samoilenko V.M. (2003). Substantiation of subject units for electronic data base of Dnipro Basin state as GIS component // Cartography and High School. Vol.8. P.77-85. [In Ukrainian] [Самойленко В.М. Обґрунтування тематичних блоків електронної бази даних екологічного стану басейну Дніпра як компонента ГІС. Картографія та вища школа. 2003. вип.8. С.77-85.].

Samoilenko V.M. (2004a). Experience on development on data bases and information systems of hydro-environmental data. Hydrology, Hydrochemistry and Hydroecology. Vol.6. P.200-208. [In Ukrainian] [Самойленко В.М. Досвід створення баз та інформаційних систем гідроекологічних даних. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2004. Том 6. С.200-208.].

Samoilenko V.M. (2004b). Strategy for transboundary Danube Basin GIS development. Hydrology, Hydrochemistry and Hydroecology. Vol.6. P.20-31. [In Ukrainian] [Самойленко В.М. Стратегія створення ГІС транскордонного басейну Дунаю. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2004. Том 6. С.20-31.].

Samoilenko V.M. et al. (2004). Information management of international Dnipro basin environmental rehabilitation: monograph. Kyiv: Nika-Center, 2004. 152 p.

Samoilenko V.M. (2005). Hydroenvironmentology: development and prospects. Physical geography and geomorphology. No.47. P.69-78. [In Ukrainian] [Самой-

ленко В.М. Гідроінвайронментологія: становлення і перспективи. *Фізична географія та геоморфологія*. 2005. №47. С.69-78.].

Samoilenko V.M., Korohoda N.P. (2006). Geoinformation modeling of the ecological network: monograph. Kyiv: Nika-Tsentr. 224 p. [In Ukrainian] [Самойленко В.М., Корогода Н.П. Геоінформаційне моделювання екомережі: монографія. К.: Ніка-Центр, 2006. 224 с.]. Available at: https://www.researchgate.net/publication/358735870_Samojlenko_VM_Korogoda_NP_Geoinformacijne_modeluvanna_ekomerezi_-_K_Nika-Centr_2006_-_224_s

Samoilenko V.M., Veres K.O. (2007). Modeling of urban-landscape basin geosystems: monograph. Kyiv: Nika-Tsentr. 296 p. [In Ukrainian] [Самойленко В.М., Верес К.О. Моделювання урболандшафтних басейнових геосистем: монографія. К.: Ніка-Центр, 2007. 296 с.]. Available at: https://www.researchgate.net/publication/358735783_Samojlenko_V_M_Veres_K_O_Modeluvanna_urbolandsaftnih_basejnovih_geosistem_Monografia_2007

Samoilenko V.M. (2010). Geographic information systems and technologies: textbook. Kyiv: Nika-Tsentr. 448 p [In Ukrainian] [Самойленко В.М. Географічні інформаційні системи та технології: підручник. К.: Ніка-Центр, 2010. 448 с.]. <https://toloka.to/t58800?sid=7c8071561dc57226f596c44c2bfb2390>

Samoilenko V.M., Topuzov O.M. (2011). Statistical and stochastic mathematical methods in geography: electronic textbook. Kyiv: Nika-Tsentr. CD, ISBN 978-966-521-580-6. 25.4 p.s. [In Ukrainian] [Самойленко В.М., Топузов О.М. Статистичні та стохастичні математичні методи в географії: електронний підручник. К.: Ніка-Центр, 2011. CD, ISBN 978-966-521-580-6. 25,4 д.а.]. <https://ychebnyk.com.ua/p/18825817-statistichni-ta-stohastichni-matematichni-metodi-v-geografii-samojlenko-v-m-topuzov-o-m/>

*Samoilenko V.M. (2011). Geographic information systems: designing with examples from international hydroenvironmental cooperation // *Hydrology, Hydrochemistry and Hydroecology. Vol.1 (22)*. P.8-32. [In Ukrainian] [Самойленко В.М. Географічні інформаційні системи: проектування з прикладами з міжнародного гідроекологічного співробітництва // *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2011. Том 1 (22). С.8-32.].*

Samoilenko V.M. (2012). Geographic information systems and technologies: electronic textbook. Version 1.0. Kyiv: Nika-Tsentr. CD, ISBN 978-966-521-585-1. 39.0 p.s. [In Ukrainian] [Самойленко В.М. Географічні інформаційні системи та технології: електронний підручник. Версія 1.0. К.: Ніка-Центр, 2012. CD, ISBN 978-966-521-585-1. 39,0 д.а.].

Samoilenko V.M., Dibrova I.O. (2012). Model identification of coastal geosystems: monograph. Kyiv: Nika-Tsentr. 328 p. [In Ukrainian] [Самойленко В.М., Діброва І.О. Модельна ідентифікація берегових геосистем: монографія. К.: Ніка-Центр, 2012. 328 с.]. Available at: https://www.researchgate.net/publication/358734897_Modelna_identifikacia_beregovih_geosistem_Monografiya_VMSamojlenko_IODibrova_-_K_Nika-Centr_2012_-_328_s

Samoilenko V.M., Oliinyk Y.B., Vishnikina L.P., Dibrova I.O. (2014). Training of geography: conceptual-terminological dictionary. Kyiv: Nika-Tsentr. 352 p. [In Ukrainian] [Самойленко В.М., Олійник Я.Б., Вішнікіна Л.П., Діброва І.О. Навчання географії: понятійно-термінологічний словник. К.: Ніка-Центр, 2014. 352 с.]. Available at: https://www.researchgate.net/publication/358729524_Navcanna_geografii_Ponatijno-terminologicnij_slovník_VM_Samojlenko_ABOlijnik_LP_Visnikina_IO_Dibrova_-_K_Nika-Centr_2014-2015_-_352_s

Samoilenko V.M., Ivanok D.V. (2015). Modeling of basin geosystems: monograph. Kyiv: SE 'Print Service'. 208 p. [In Ukrainian] [Самойленко В.М., Іванок Д.В. Моделювання басейнових геосистем: монографія. К.: ДП "Прінт Сервіс", 2015. 208 с.]. https://www.researchgate.net/publication/358725597_Samojlenko_VM_Ivanok_D_V_Modeluvanna_basejnovih_geosistem_Monografija_K_DP_Print_Servis_2015_208_s

Samoilenko V.M., Datsenko L.M., Dibrova I.O. (2015). GIS designing: textbook (in English and Ukrainian). Kyiv: SE 'Print Service'. 256 p. [Самойленко В.М., Даценко Л.М., Діброва І.О. Проектування ГІС: підручник (англ. і укр.). К.: ДП "Прінт Сервіс", 2015. 256 с.]. Available at: https://www.researchgate.net/publication/358727130_GIS_designing_Textbook_in_English_and_Ukrainian_Samoilenko_V_Datsenko_L_Dibrova_I_Kyiv_Print_Service_2015_256_p

Samoilenko V., Plaskalni V. (2017). Modern procedure of landscape anthropization analysis. *Problems of Geography. Vol.1-2. Sofia: Bulgarian Academy of Science, National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography.* P.3-14. http://geoproblems.eu/wp-content/uploads/2017/10/2017_12/2_samoilenko.pdf

Samoilenko V.M., Maliarenko O.S. (2017). Modeling of a regionally-specific ecological network: monograph (electronic version). Kyiv: Nika Tsentr. CD, ISBN 978-966-521-691-9. 196 p. [In Ukrainian] [Самойленко В.М., Маляренко О.С. Моделювання регіонально-специфічної екомережі: монографія (електронна версія). К.: Ніка-Центр, 2017. CD, ISBN 978-966-521-691-9. 196 с.]. Available at: https://www.researchgate.net/publication/358729428_Modeluvanna_regionalno-specifichnoi_ekomerezi_Monografija_elektronna_versia_VM_Samojlenko_OS_Malarenko_-_K_Nika-Centr_2017_-_CD_ISBN_978-966-521-691-9_-_196_s_150_da

Samoilenko V.M., Dibrova I.O., Plaskalni V.V. (2018). Anthropization of landscapes: monograph. Kyiv: Nika-Tsentr. 232 p. [In Ukrainian] [Самойленко В.М., Діброва І.О., Пласкальний В.В. Антропізація ландшафтів: монографія. К.: Ніка-Центр, 2018. 232 с.]. Available at: https://www.researchgate.net/publication/358736234_Antropizacia_landsaftiv_Monografija_VM_Samojlenko_IO_Dibrova_VV_Plaskalnij_-_Kiiv_Nika-Centr_2018_-_232_s

Samoilenko V., Dibrova I. et al. (2018). Procedure of Landscape Anthropization Extent Modeling: Implementation for Ukrainian Physic-Geographic Taxons. *Environmental Research, Engineering and Management. Vol. 74. No 2.* P.67-81. Available at: <http://dx.doi.org/10.5755/j01.ere.m.74.2.20646>

Samoilenko V., Dibrova I. (2019a). Geocological Situation in Land Use. *Environmental Research, Engineering and Management*. Vol. 75. No 2. P.36-46. Available at: <http://dx.doi.org/10.5755/j01.erem.75.2.22253>

Samoilenko V.M., Dibrova I.O. (2019b). Natural-geographic modeling: textbook. Kyiv: Nika-Tsentr. 320 p. [In Ukrainian] [Самойленко В.М., Діброва І.О. Природничо-географічне моделювання: підручник. К.: Ніка-Центр, 2019. 320 с.] https://www.researchgate.net/publication/358725842_Samoilenko_VM_Dibrova_IO_Prirodnico-geograficne_modeluvanna_pidrucnik_Kiiv_Nika-Centr_2019_-_320_s

Samoilenko V., Dibrova I. et al. (2020a). Geoinformation modeling of anthropization extent in the Zakhidnoukrainskyi physic-geographic region. *European Association of Geoscientists & Engineers. Conference Proceedings, XIV International Scientific Conference 'Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*, Nov. 2020, V. 2020: 1-5. Available at: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202056010>

Samoilenko V., Dibrova I. et al. (2020b). Shape of cumulative land use systems' area distribution as a parameter of anthropogenic impact on landscapes. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series 'Geology. Geography. Ecology'*. Vol.53. P.267-285. Available at: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2020-53-20>

Samoilenko V.M., Dibrova I.O. (2021a). Landscape anthropization: textbook. Kyiv: Nika-Tsentr. 304 p. [In Ukrainian] [Самойленко В.М., Діброва І.О. Антропізація ландшафтів: підручник. К.: Ніка-Центр, 2021. 304 с.] https://www.researchgate.net/publication/358725443_Antropizacia_landsaftiv_pidrucnik_VM_Samoilenko_IO_Dibrova_I_Nika-centr_2021_304_s

Samoilenko V.M., Dibrova I.O. (2021b). Training-methodical complex on the academic discipline 'Spatial Data Infrastructures' (electronic version). Kyiv: LLC 'DIA'. ISBN 978-617-7785-26-1. 36 p.

Samoilenko V.M., Datsenko L.M., Dibrova I.O. (2021). Training-methodical complex on the academic discipline 'GIS Designing' (electronic version). Kyiv: LLC 'DIA'. ISBN 978-617-7785-28-5. 35 p. Available at: https://drive.google.com/file/d/1ebGBypWuvHdPqOLOuq_1-gLG52dOCRm2/view

Samoilenko V., Bilous L., Havrylenko O., Dibrova I. (2021a). Geoinformation model cause-effect analysis of anthropogenic impact in the Podilsko-Prydniprovskyi region. *European Association of Geoscientists & Engineers. Conference Proceedings, Geoinformatics, May 2021. V.2021*. P.1–6. Available at: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521006>

Samoilenko V., Bilous L., Havrylenko O., Dibrova I. (2021b). Monitoring of anthropogenic impact in the Left Bank Dnipro and the Eastern Ukrainian regions. *European Association of Geoscientists & Engineers. Conference Proceedings, XV International Scientific Conference 'Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment'*, Nov. 2021, V.2021: 1-5. <http://dx.doi.org/10.3997/2214-4609.20215K2013>

Samoilenko V., Bilous L., Havrylenko O., Dibrova I. (2022). Optimization of Geocological Monitoring in the Post-War Period. *European Association of Geoscientists & Engineers. Conference Proceedings, XVI International Scientific Conference 'Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment'*, Nov. 2022, Volume 2022: 1-5. Available at: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022580003>

Samoilenko V.M., Dibrova I.O. (2023). Assessment of landscape anthropization: textbook (electronic version). Kyiv: Nika-Tsentr, 2023. 320 p. https://www.researchgate.net/publication/370184278_Samoilenko_V_Dibrova_I_Assesment_of_landscape_anthropization_textbook_electronic_version_in_English_Kyiv_Nika-Tsentr_2023_320_p_ISBN_978-966-521-415-1

Samoilenko V., Bilous L. (2024). Designing geoinformation systems: textbook (electronic version, in English and Ukrainian). Kyiv: Nika-Tsentr. 254 p. [Самойленко В.М., Білоус Л.Ф. Проектування геоінформаційних систем: підручник (електронна версія, англ. і укр.). К.: Ніка-Центр, 2024. 254 с.]. https://www.researchgate.net/publication/379077120_Designing_geoinformation_systems_textbook_electronic_version_in_English_and_Ukrainian_Kyiv_Nika-Tsentr_2024_254_p

Samoilenko V.M., Dibrova I.O. (2025). Probabilistic methods in geocology and analysis of environment services: textbook-monograph (electronic version). K.: Nika-Center. 2025. 372 p. [In Ukrainian] [Самойленко В.М., Діброва І.О. Імовірнісні методи в геоекології та аналізі сервісів довкілля: підручник-монографія (електронна версія). К.: Ніка-Центр. 2025. 372 с.] https://www.researchgate.net/publication/391300672_Samoilenko_VM_Dibrova_IO_Imovirnisni_metodi_v_geoekologii_ta_analizi_servisiv_dovkilla_Pidrucnik-monografiya_Kiiv_Nika-Centr_2025

Samoilenko V., Bilous L., Dibrova I., Grynova M., Vishnikina L. (2025). Geospatial Model Assessment of Anthropization Extent for Aquatic-Terrestrial Landscapes. *European Association of Geoscientists & Engineers. Conference Proceedings, 18th International Scientific Conference 'Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment'*, Apr. 2025, Volume 2025: 1-5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2025510031>

Samoilenko V.M., Dibrova I.O., Ivanok D.V. (2026). Geocological modeling: monograph (electronic version). Kyiv: Nika-Center, 296 p. [In Ukrainian] [Самойленко В.М., Діброва І.О., Іванок Д.В. Геоекологічне моделювання: монографія (електронна версія). Київ: Ніка-Центр, 296 с.] https://www.researchgate.net/publication/399488538_Samoilenko_VM_Dibrova_IO_Ivanok_DV_Geoekologicne_modeluvanna_Monografiya2026

Somers, R. (2001). Quick Guide to GIS Implementation and Management. Chicago: URISA. 33 p.

Topuzov O., Vishnikina L., Samoilenko V. et al. (2019). Modernization of Geographic Education at High School: Geoinformation Training Models. *Information*

Білоус Л.Ф., Самойленко В.М. Геопросторовий аналіз

Technologies and Learning Tools. Vol.73. №5. P.174-184. Available at: <https://doi.org/10.33407/itlt.v73i5.3190>

Ukrainian ecological encyclopedia: second edition (2006). Kyiv: MEF. 808 p. [In Ukrainian] [Українська екологічна енциклопедія: друге видання. К.: МЕФ, 2006. 808 с.].

UNEP Evaluation Manual (2022). Evaluation Manual. UNEP. 37 p. Available at: <https://www.unep.org/resources/other-evaluation-reportsdocuments/unep-evaluation-manual>

USGS (2026). <https://www.usgs.gov/>

ViewTec (2025). <https://www.viewtec.net/products/terrainview/>

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

БІЛОУС Людмила Федорівна

САМОЙЛЕНКО Віктор Миколайович

ГЕОПРОСТОРОВИЙ АНАЛІЗ

Монографія

Текст наведено в авторській редакції

Формат 70x100/16. Обл.-вид. арк. 21,3.

ТОВ "ДІА". 03022, Київ, вул. Васильківська, 45.

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів
видавничої продукції ДК №1149 від 12.12.2002