

3.1 Системи координат

Головною метою введення деякої системи координат у геоінформації є опис стану об'єктів на поверхні Землі в деякому «природному» вигляді.

Якщо потрібно визначити розташування судна в океані і прокласти маршрут руху по карті, то спочатку необхідно визначити *широту й довготу* розташування судна в градусах за допомогою спеціальних приладів, використовуючи *географічні координати*. Застосовувати такі координати зручно з погляду їхнього розуміння і обчислення за допомогою різних астрономічних методів, проте це вкрай незручно під час виконання будь-яких геометричних вимірювань і побудов. Наприклад, дуже складно визначити найкоротшу відстань між двома пунктами на поверхні Землі, розміщення яких задано в градусах.

Це пов'язано з тим, що поверхня Землі не є площиною, а тому формули для обчислення відстаней та інших геометричних вимірів на її реальній поверхні є дуже складними.

Оскільки фізична поверхню Землі має дуже складну форму, вона залежно від розв'язуваних задач апроксимується деякою фігурою, досить просто описуваною математично, наприклад, сферою або еліпсоїдом. Це дає змогу скласти формули для визначення такої самої відстані на поверхні сфери.

Однак якщо ми будуємо новий квартал в місті, то можна припустити, що поверхня Землі в межах території, яка забудовується, є плоскою, а тому всі складності сферичної геометрії можна відкинути й використовувати загальновідомі формули геометрії щодо площини. Саме тому проект внутрішньоквартальної забудови потрібно виконати на топографічному плані, використовуючи прямокутні *декартові координати* в просторі.

До того ж найважливішим питанням є вибір цієї декартової системи координат. Можна припустити, що вісь Z цієї системи координат має бути спрямована вгору, а інші осі – паралельно до поверхні Землі на початку координат. Це потрібно для того, щоб можна було в польових умовах виміряти висоти на місцевості за допомогою нівеліра, а також визначити вертикалі за допомогою звичайного виска.

Окрім того, якщо ми будуємо великий протяжний об'єкт, наприклад дорогу, що простягнулася на сотні або тисячі кілометрів, то поверхня Землі на таких відстанях буде істотно відрізнятися від площини. Відхилення поверхні Землі від дотичної площини, у якій визначена декартова система координат, на відстані 1 км від точки дотику становить 7,8 см, а на 10 км – уже 7,84 м, тому проект будівництва дороги потрібно розбити на ділянки, що виконуються в різних декартових системах координат. Найбільшою проблемою при такому способі є стикування ділянок проекту, виконаних у різних локальних системах

координат. Таким чином, необхідно сформувати загальний підхід, що дає змогу легко будувати локальні системи координат, поєднувати їх, а за необхідності застосовувати географічні координати.

Для цього необхідно побудувати деяку модель поверхні Землі, а також визначити формули переходу від цієї моделі до локальних координатах і навпаки. Можна припустити, що у всіх локальних (місцевих) декартових системах:

- 1) початки координат будуть розміщуватися на моделі поверхні Землі; 2) вісь видання буде спрямовуватися по нормалі до моделі поверхні.

У разі дотримання таких припущень, наприклад, вертикалі в локальній системі координат можна буде вимірювати на місцевості за допомогою звичайного виска.

Визначимо поняття.

Визначення. *Рівневою* називається поверхня, ортогональна в кожній своїй точці до векторів сили тяжіння.

Визначення. *Геоїдом* називається рівень поверхні, що проходить через деяку точку початку відліку висот.

Однак геоїд має вкрай складну форму, й майже неможливо описати математично, тому залежно від вирішуваних завдань форма геоїда може апроксимуватися сферою, еліпсоїдом обертання, тривісним еліпсоїдом або, найточніше, *квазігеоїдом*.

Визначення. *Загальноземним* називається еліпсоїд обертання, площина екватора й центр якого співпадають із площиною екватора й центром мас Землі та який найкраще апроксимує поверхню геоїда.

Визначення. *Референц-еліпсоїдом (референц-сферою)* називається такий еліпсоїд (сфера), який найкраще апроксимує поверхню геоїда на відповідній території Землі.

Визначення. *Квазігеоїдом* називається така фігура, яка на різних ділянках поверхні Землі апроксимується різними місцевими референц-еліпсоїдами. На території морів і океанів поверхня квазігеоїда співпадає з поверхнею геоїда, а на суші вона відхиляється від нього в межах 2 м.

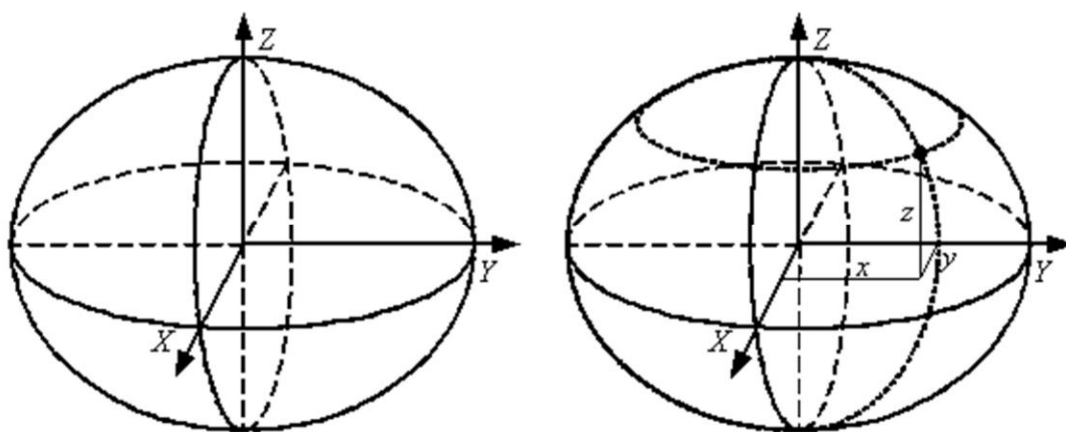


Рисунок 3.1 – Еліпсоїд обертання

В математичній картографії використовуються просторові прямокутні, криволінійні, плоскі прямокутні й полярні системи координат.

Найпростішою є просторова прямокутна *геоцентрична система координат*, початок якої поєднується з центром Землі: вісь Z спрямована на Північний полюс, вісь X – на точку перетину Гринвіцького меридіана з екватором, а вісь Y – на схід від Гринвіча (рис. 3.2). Як точку для назначення Північного полюса зазвичай використовують *умовний земний полюс* (міжнародний умовний початок), який разом з центром мас Землі визначає деяке фіксоване середнє положення осі обертання Землі. Це пов'язано з тим, що вісь обертання Землі в тілі Землі та щодо зірок із часом переміщується.

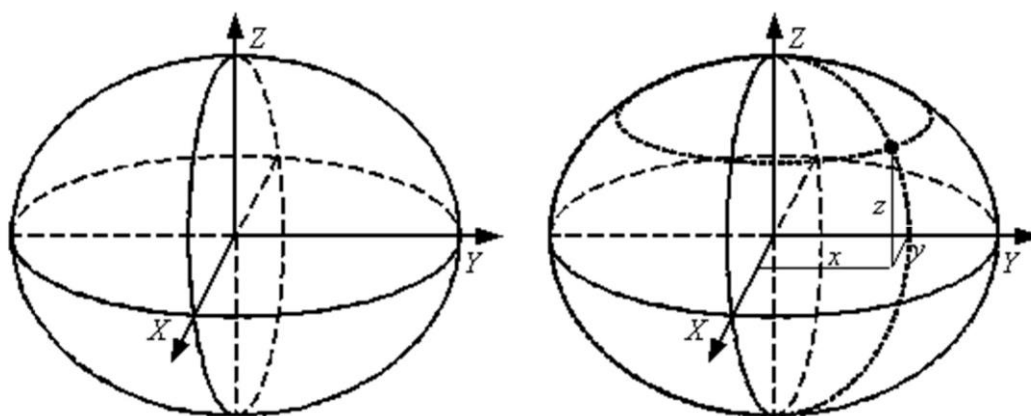


Рисунок 3.2 – Геоцентрична система координат

Потрібно зауважити, що на практиці зазвичай використовуються різні *квазігеоцентричні системи координат*, де центр координат та кут нахилу осей дещо інші.

Більш звичною є *географічна (геодезійна)* система координат, коли координати точки на поверхні еліпсоїда визначаються *широтою* φ і *довготою* λ , вимірюваними в градусах від екватора і від Гринвіцького меридіана відповідно. Координати будь-якої точки в просторі складаються з широти й довготи її проекції по нормалі на еліпсоїд і висоти H точки щодо еліпсоїда.

У зв'язку з тим, що ширина й довжина точки на місцевості зазвичай визначається за допомогою астрономічних спостережень, географічні координати іноді також називаються *астрономічними*.

Використовувати, наведену вище, геоцентричну й географічну системи координат не завжди зручно. Приміром під час проведення роботи на невеликих ділянках земної поверхні здебільшого використовують *топоцентричну (горизонтну)* систему координат, яка є звичайною прямокутною просторовою системою координат і характеризується деякою початковою точкою Q_0 ($\varphi_0, \lambda_0, H_0$), що задається в географічній системі координат (H_0 – висота точки Q_0 над рівнем референс-еліпсоїда).

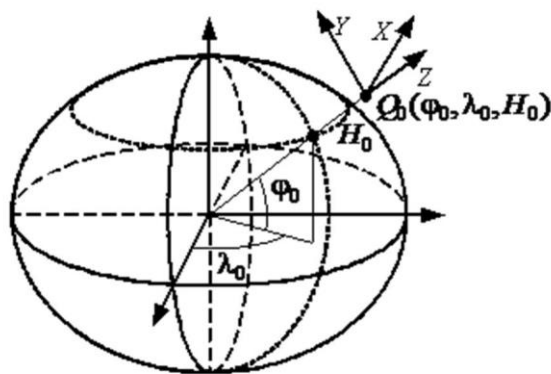


Рисунок 3.3 – Топоцентрична (горизонтна) система координат

Крім зазначених, широко використовують також *полярну сфероїдну (сферичну)* систему координат (рис. 3.4).

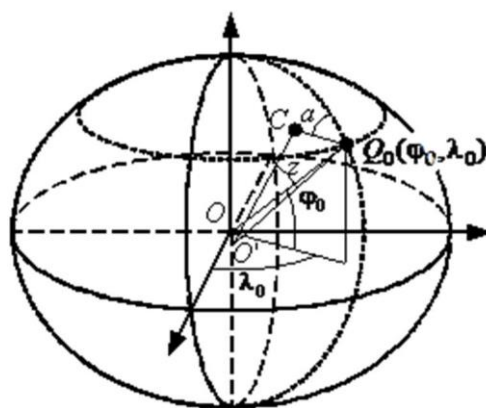


Рисунок 3.4 – Полярна сфероїдна (сферична) система координат

Зазначимо, що в математичній картографії іноді використовується «майже звичайна» полярна система координат – так звана *полярна геодезійна система координат*.

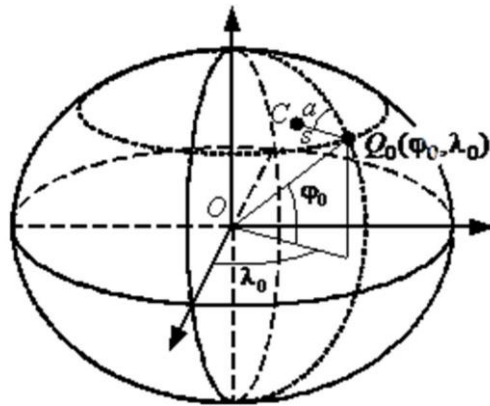


Рисунок 3.5 – Полярна геодезійна система координат

Усі наведені вище системи координат призначені для задання «абсолютних координат», тобто координат, що не залежать від розташування об'єктів у просторі.

На противагу *абсолютним* часто використовують різні *відносні* координати, у яких відлік ведеться від деяких помітних на місцевості об'єктів.

Виокремлюють два головні різновиди відносних систем координат:

1. *Відносна полюсна система координат*. У цих координатах відлік ведеться від полюсів – деяких відомих точок на місцевості, заданих або в абсолютній системі координат, або в описовому вигляді. Розташування будьякої іншої точки на місцевості може здаватися як азимут і відстань від деякого полюса, або як відстані від двох полюсів.

Ця система координат дає змогу задати розташування об'єктів на плані, а також у просторі, додаючи в опис координат зміщення по висоті шуканої точки від планової (2 м під землею) або від базової точки (3 м нижче позначки на стіні будинку).

Базовою кривою може бути траса автомобільної дороги чи повітряної лінії електропередачі.

3.2 Картографічні проекції

Форма Землі не є плоскою під час побудови паперових або електронних карт використовуються так звані картографічні проекції – математичні методи відображення поверхні Землі на площину.

Одними з найважливіших характеристик проекцій є особливості й величина спотворень. До того ж виокремлюють такі різновиди проекцій:

1. *Рівнокутні*. Такі проекції використовуються, наприклад, для навігації, прокладання транспортних маршрутів.

2. *Рівновеликі*. Ці проекції зберігають площі всіх об'єктів, але спотворюють кути й форми об'єктів. У таких проекціях дуже зручно, наприклад, визначати площі земельних ділянок.

3. *Рівнопроміжні*. У цих проекціях зберігаються довжини уздовж одного з головних напрямків (зазвичай уздовж паралелей або одного чи всіх меридіанів).

4. *Довільні*. У таких проекціях не зберігаються довжини, площі та кути, проте перетворення проекції обирається так, щоб спотворення кутів, площ і довжин на карті були загалом мінімальними. Зазвичай в центрі карти позначають мінімальні спотворення, які плавно збільшуються до країв.

Утворюються різні сімейства проекцій:

1. *Циліндричні* проекції (рис. 3.8-3.10).
2. *Псевдоциліндричні* проекції (рис. 3.11-3.18).
3. *Попережно-циліндричні* проекції (рис. 3.19, 3.20).
4. *Конічні* проекції (рис. 3.21, 3.22).
5. *Псевдоконічні* проекції (рис. 3.23, 3.24).
6. *Поліконічні* проекції (рис. 3.27-3.29).
7. *Азимутальні* проекції (рис. 3.30-3.33).
8. *Псевдоазимутальні* проекції¹ (рис. 3.34, 3.35).
9. *Перспективні* проекції² (рис. 3.36-3.40).

¹ Такі проекції застосовуються у випадках, коли потрібно передати на карті ефект сферичності Землі. ² На рисунках 3.36, 3.37 наведено приклади перспективно-циліндричних проекцій, а на рисунках 3.38–3.40 – перспективно-азимутальних

10. *Проекції для карт глобусів.* Глобуси зазвичай виготовляються шляхом обклеювання кульових заготовок або шляхом видавлювання плівки в на півсфери (рис. 3.42).

11. *Змінно-масштабні проекції.* Такі проекції можуть бути використані для картографування нерівномірно розподілених у просторі об'єктів і явищ, коли існує необхідність стиснути або розтягнути окремі ділянки земної поверхні (рис. 3.42).

12. *Проекції анаморфованих зображень.*

На рисунку 3.43 наведено приклад анаморфованого зображення країн світу за кількістю населення.

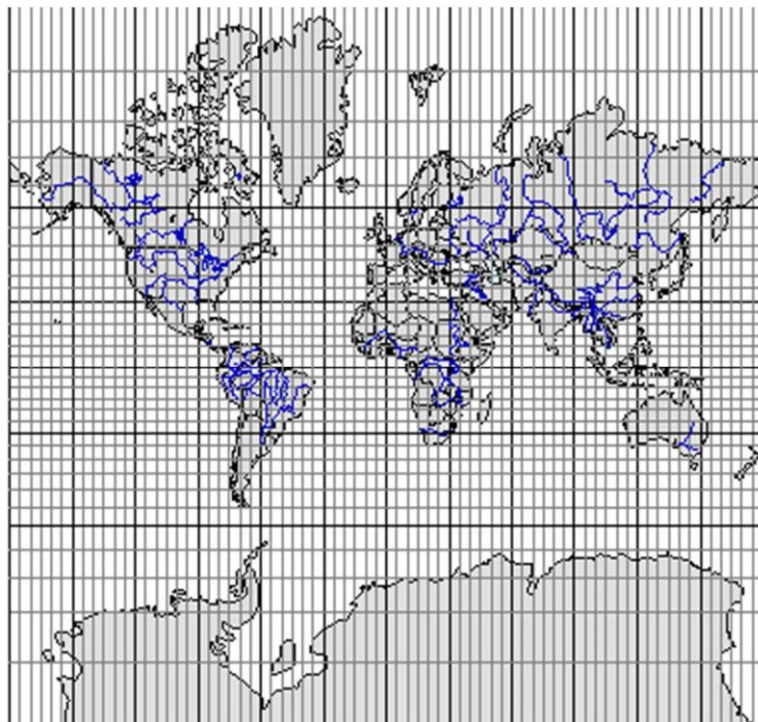


Рисунок 3.8 – Рівнокутна циліндрична проекція

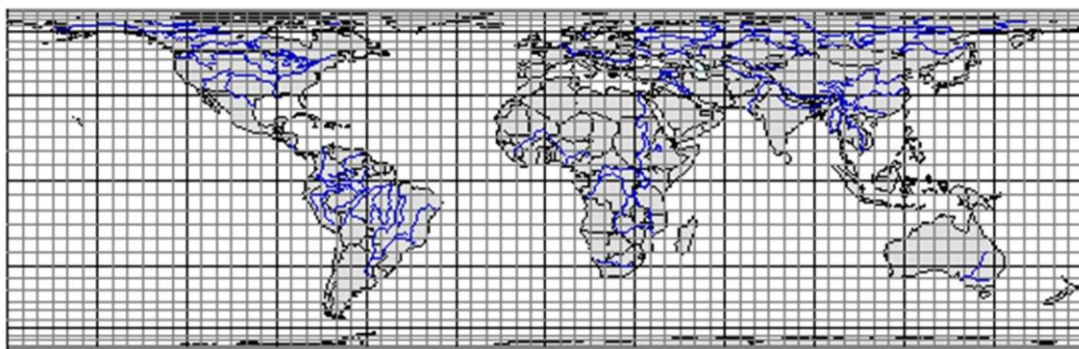


Рисунок 3.9 – Рівновелика циліндрична проекція

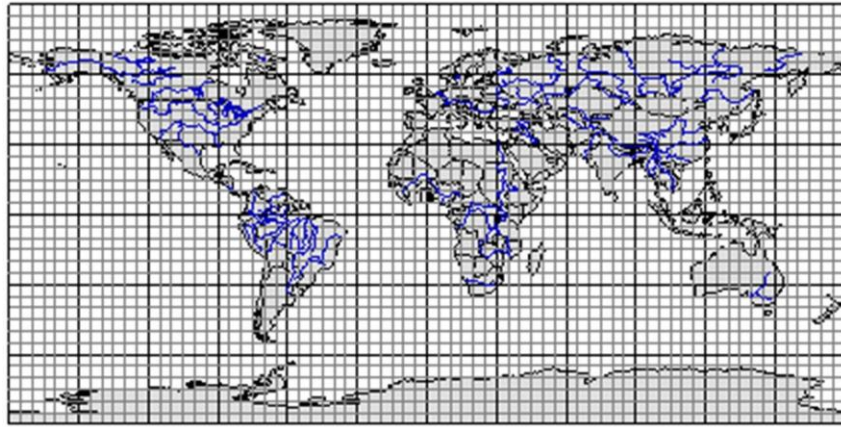


Рисунок 3.10 – Рівнопроміжна за меридіанами циліндрична проекція

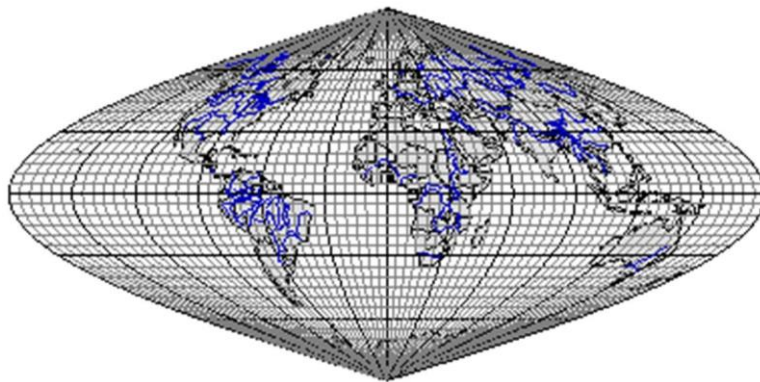


Рисунок 3.11 – Рівновелика синусоїдальна псевдоциліндрична проекція з полюсами у вигляді точок

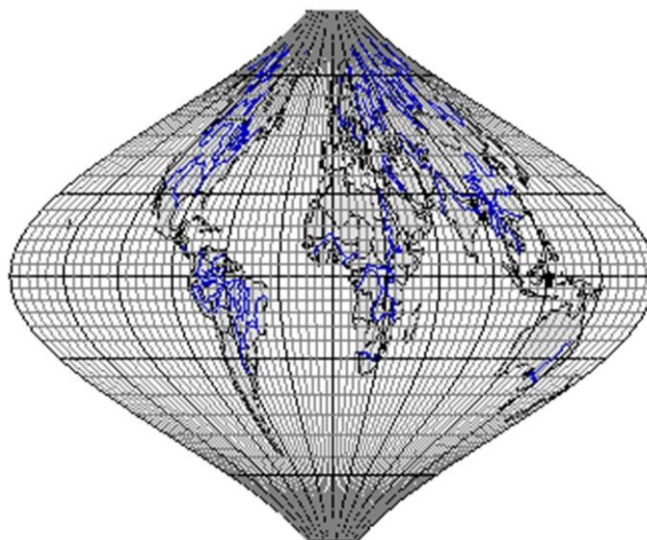


Рисунок 3.12 – Рівновелика синусоїдальна псевдоциліндрична проекція з полярної лінією

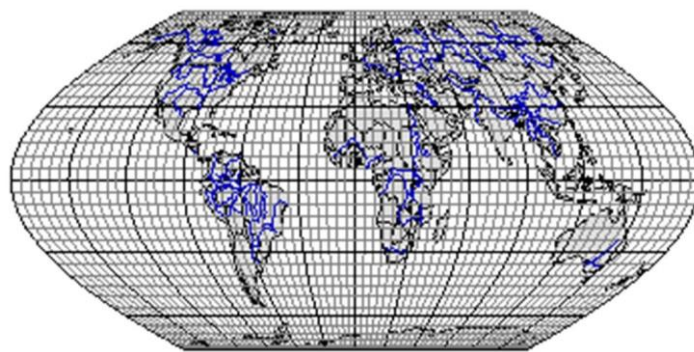


Рисунок 3.13 – Рівновелика синусоїдальна псевдоциліндрична проекція Каврайського



Рисунок 3.14 – Рівновелика еліптична псевдоциліндрична проекція

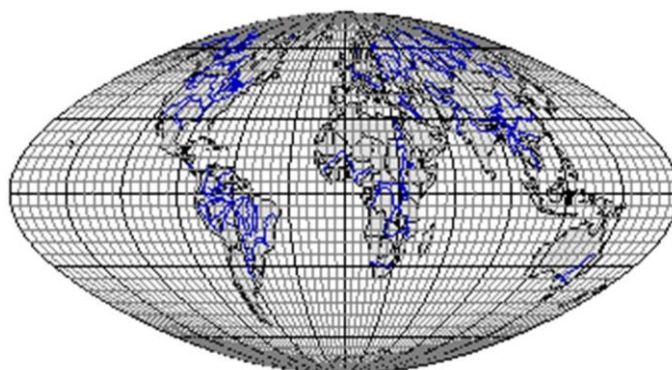


Рисунок 3.15 – Довільна синусоїдальна псевдоциліндрична проекція

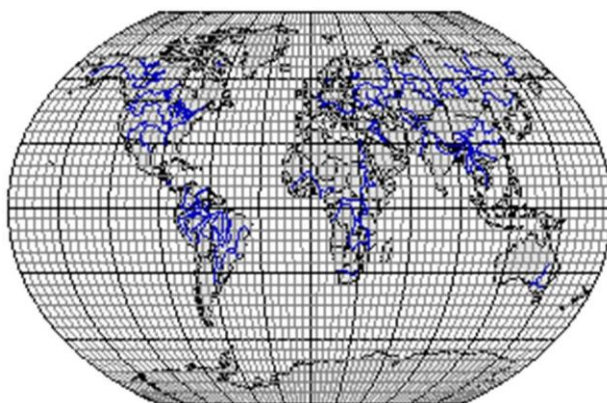


Рисунок 3.16 – Довільна еліптична псевдоциліндрична проекція Каврайського

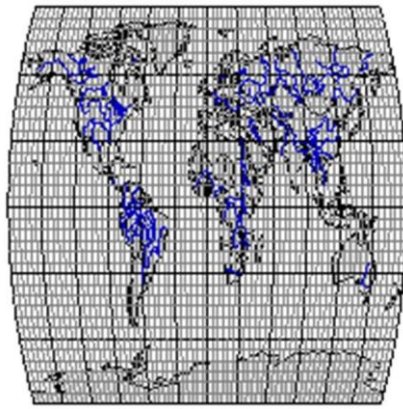


Рисунок 3.17 – Довільна еліптична псевдоциліндрична проекція Михайлова

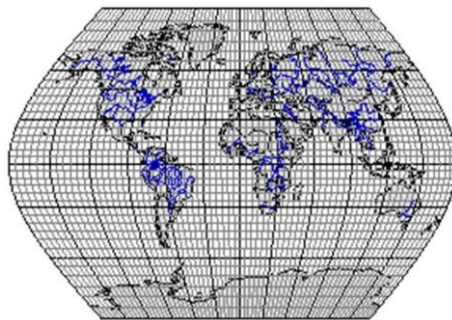


Рисунок 3.18 – Довільна псевдоциліндрична проекція ЦНИИГАиК (Гінзбурга)

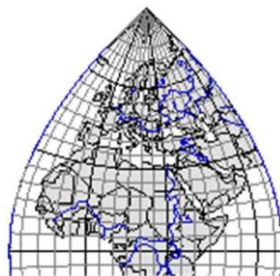


Рисунок 3.19 – Поперечно-циліндрична проекція Гаусса-Крюгера.²

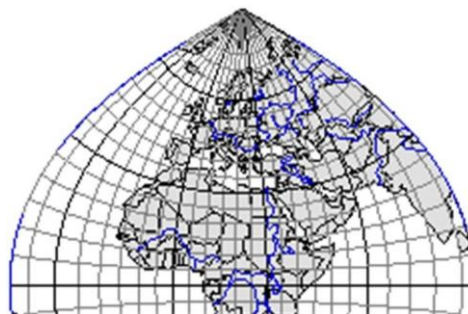


Рисунок 3.20 – Поперечно-циліндрична проекція Гаусса-Крюгера для широкої смуги

² Схожий вигляд мають проекції Кассіні-Зольднера, Гаусса-Ламберта, а також Меркатора, яка відома так само, як 11ТМ або проекція Гаусса-Бога.

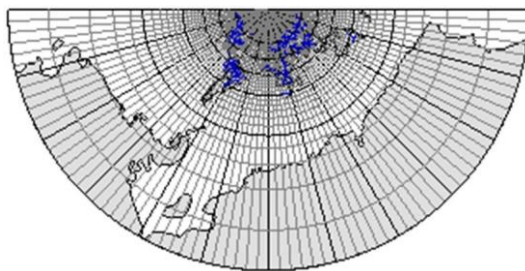


Рисунок 3.21 – Рівнокутна конічна проекція
з однаковими спотвореннями на крайніх паралелях 10° і 80°

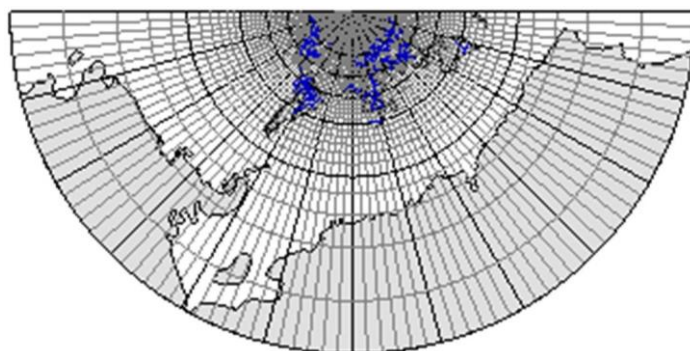


Рисунок 3.22 – Рівнокутна конічна проекція

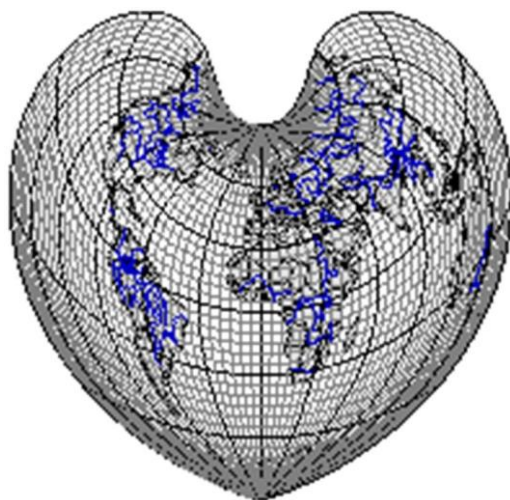


Рисунок 3.23 – Рівновелика псевдоконічна проекція Бонна
(стандартна паралель – 50°)

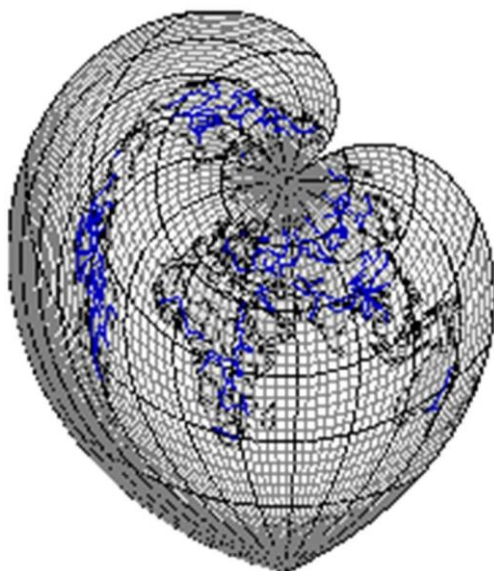


Рисунок 3.24 – Псевдоконічна проекція Штабу-Вернера (серцеподібна).³

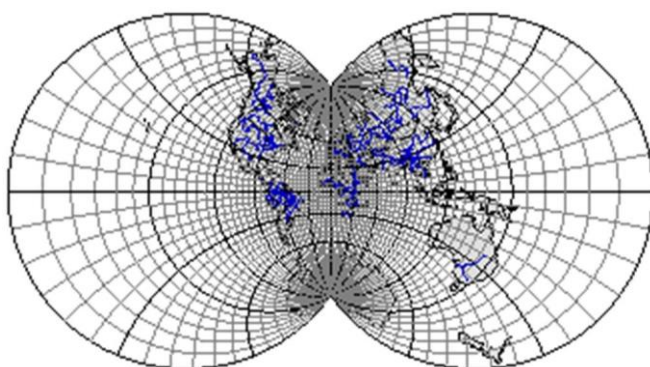


Рисунок 3.25 – Поліконічна проекція Лагранжа

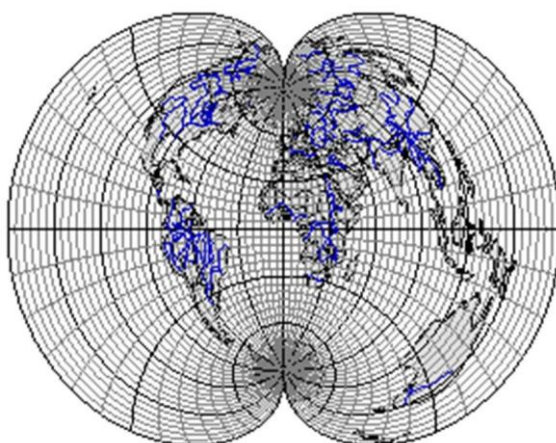


Рисунок 3.26 – Проста поліконічна проекція

³ Спотворення відсутні на середньому меридіані (55°) і Північному полюсі.

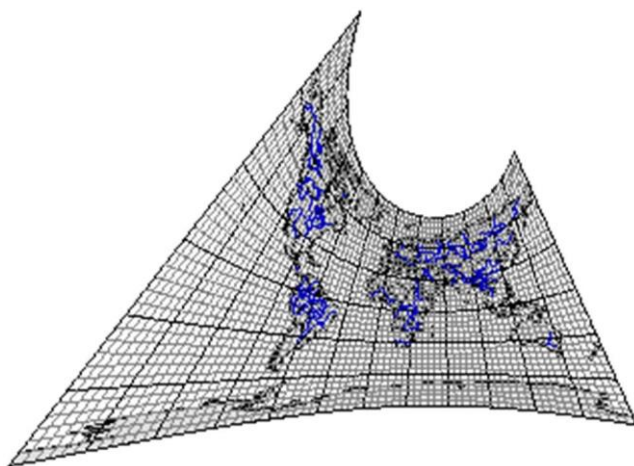


Рисунок 3.27 – Видозмінена проста поліконічна проекція

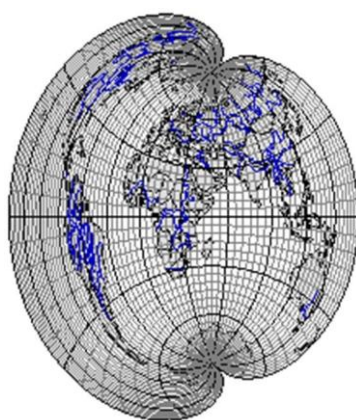


Рисунок 3.28 – Рівновелика поліконічна проекція

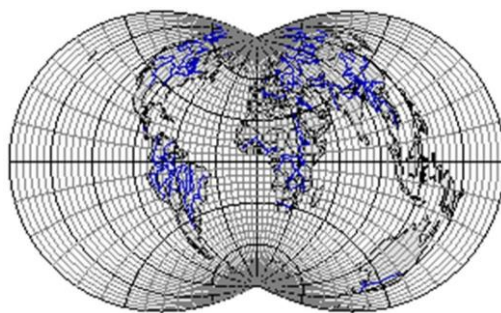


Рисунок 3.29 – Ортогональна поліконічна проекція

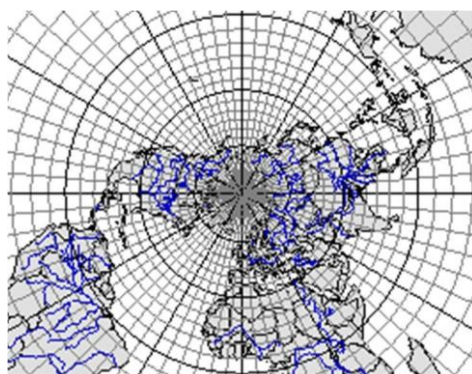


Рисунок 3.30 – Рівнокутна азимутальна проекція

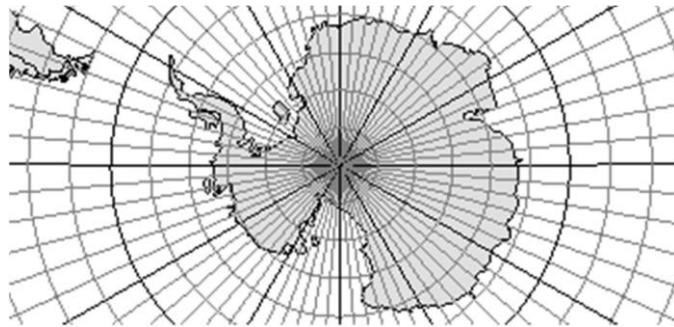


Рисунок 3.31 – Рівнокутна азимутальна проекція для зображення полярних областей

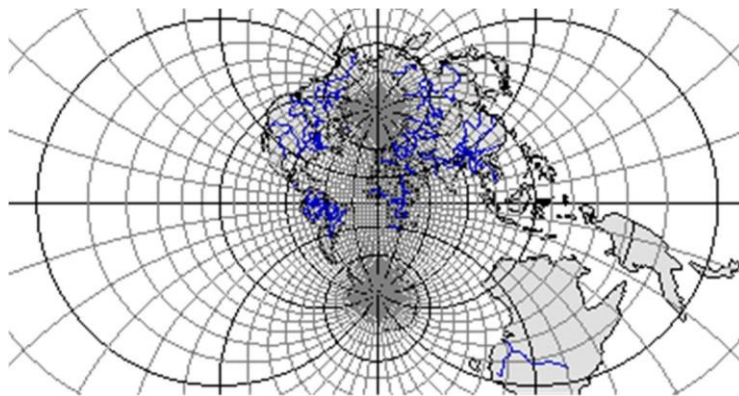


Рисунок 3.32 – Рівнокутна азимутальна проекція для зображення територій з округлими обрисами (крім полярних областей)

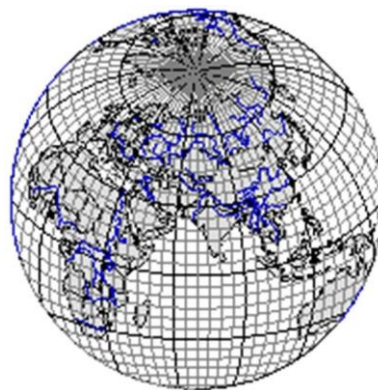


Рисунок 3.33 – Рівновелика азимутальна проекція кулі Ламберта.⁴

⁴ Аналогічно виглядає проекція Постеля (у ній також відсутні спотворення уздовж стандартної паралелі).

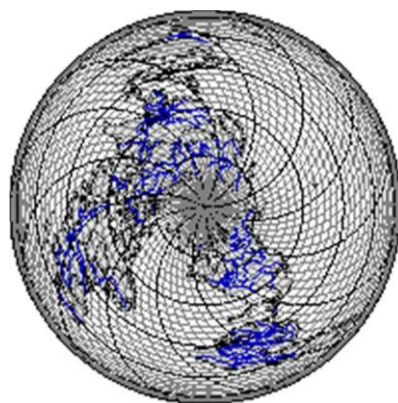


Рисунок 3.34 – Псевдоазимутальна проекція Віхеля

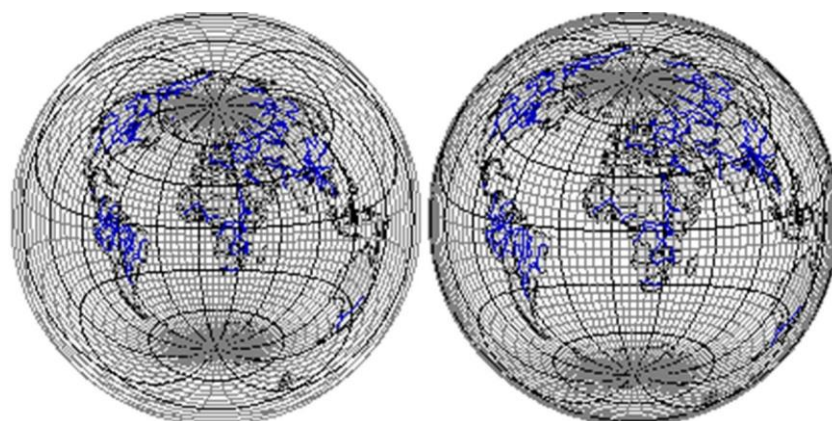


Рисунок 3.35 – Псевдоазимутальна проекція Гінзбурга:
зліва – проста; справа – з ефектом опуклості

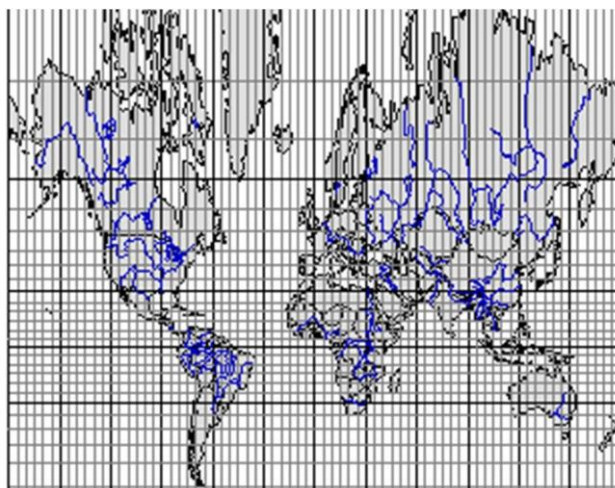


Рисунок 3.36 – Перспективно-циліндрична проекція Уетча

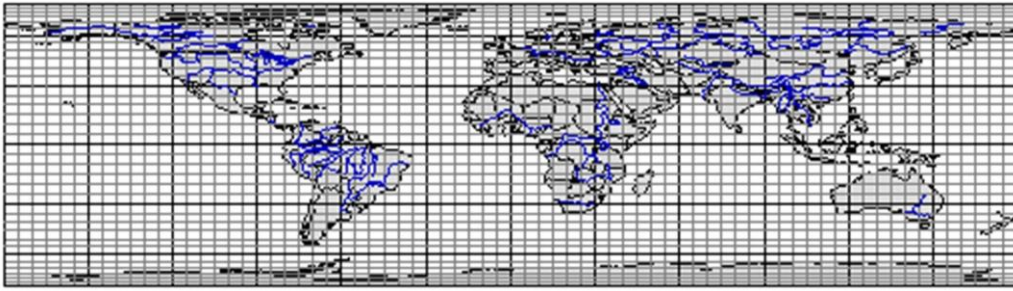


Рисунок 3.37 – Комбінована перспективно-циліндрична проекція з негативним і позитивним зображеннями

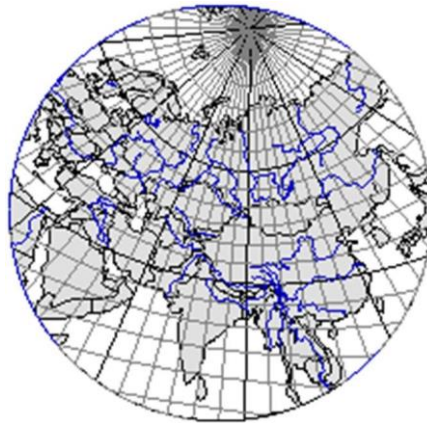


Рисунок 3.38 – Гномічна проекція (перспективно-азимутальна з негативним зображенням)

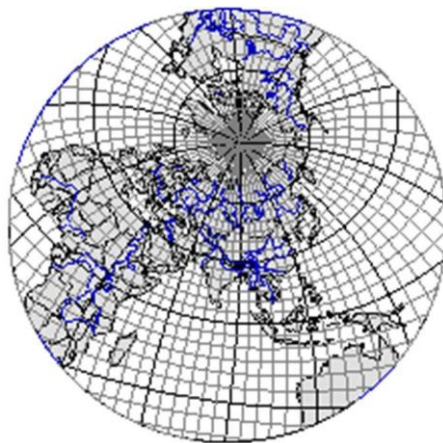


Рисунок 3.39 – Стереографічна проекція (перспективно-азимутальна з негативним зображенням)

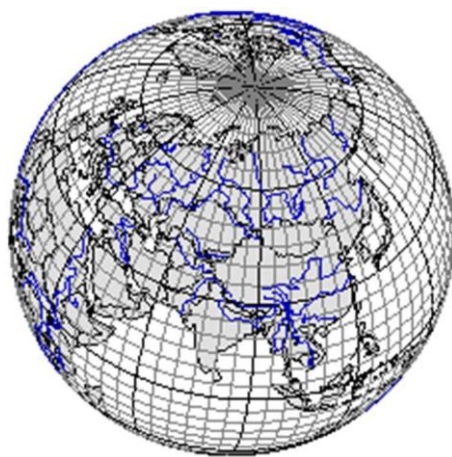


Рисунок 3.40 – Ортографічна проекція (перспективно-азимутальна з негативним зображенням)

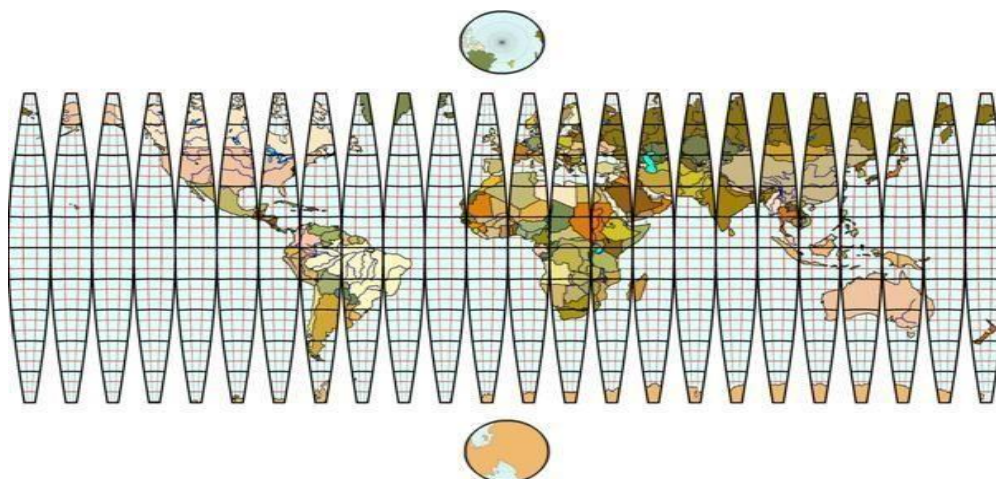


Рисунок 3.41 – Розгортка глобуса

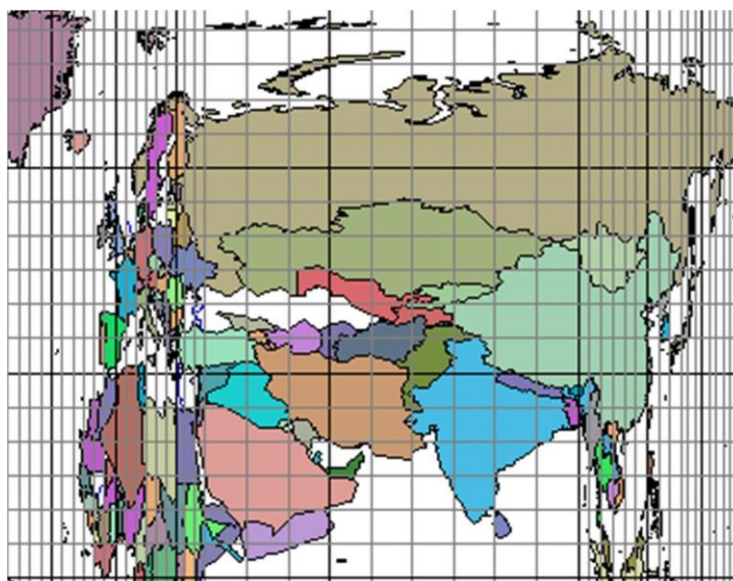


Рисунок 3.42 – Змінно-масштабна проекція

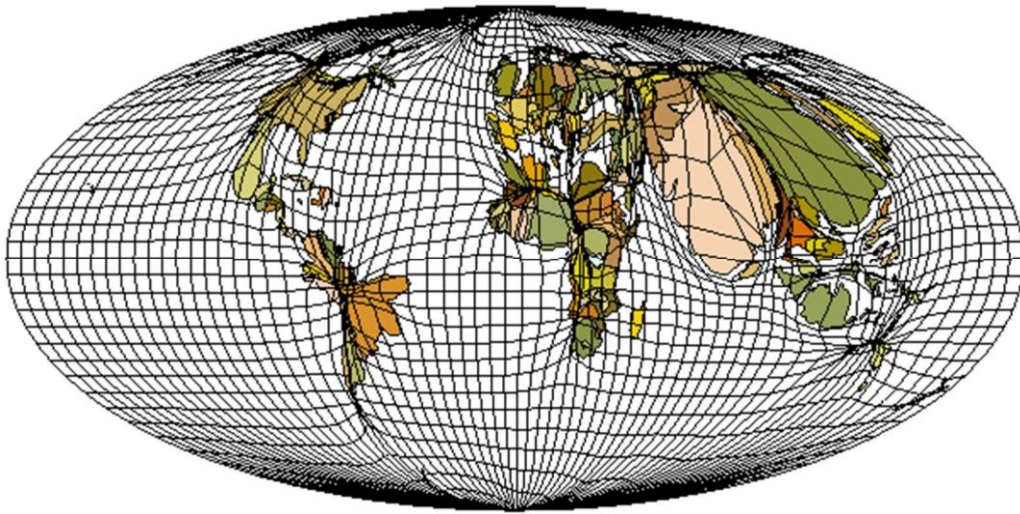


Рисунок 3.43 – Еквідемічна карта світу
(анаморфізм по населенню окремих регіонів країн)

Із усієї сукупності проекцій в Україні здебільшого використовується «подвійна» рівнокутна поперечно-циліндрична проекція Гаусса-Крюгера, що зберігає довжини на середньому меридіані. Ця проекція найбільше підходить для картографування території України, що різниться великим територіальним охопленням.

3.3 Картографічні та координатні сітки

Для зручності роботи на географічних картах із певною частотою надається зображення сітки паралелей і меридіанів, яке називається *картографічною сіткою*. За допомогою такої сітки легко оперувати географічними координатами на місцевості, але більшість практичних завдань за такими картками виконувати складно (за винятком карт, поданих в простих циліндричних проекціях). Саме тому на сучасних топографічних картах до картографічної сітки додається *координатна сітка*, що є системою взаємно перпендикулярних прямих, паралельних або перпендикулярних до ліній початкового меридіана карти.

У таблиці 3.1 зазначено, як часто координатна сітка надається на картах, що застосовуються в Україні.

Таблиця 3.1 – Координатна сітка на картах України

Масштаб	Частота координатної сітки	
	На карті, см	На місцевості, м
1:500	10	50
1:1000	10	100
1:2000	10	200
1:5000	10	500
1:10 000	10	1000
1:25 000	4	1000
1:50 000	2	1000
1:100 000	2	2000
1:200 000	2	4000

Застосування координатної сітки істотно спрощує вимірювання відстаней, кутів, напрямів, площ, а також забезпечую швидкість візуальної оцінки.

3.4 Лініювання й номенклатура карт

Система розподілу карт на окремі аркуші називається *лініюванням*.

На практиці використовуються дві основні системи лініювання – *по лініях картографічної сітки* і *по лініях координатної сітки*. Крім того, у низці випадків застосовується прямокутне лініювання – по лініях, паралельних і перпендикулярних до середнього меридіана.

Лініювання по лініях картографічної сітки зазвичай використовується в дрібномасштабних картах. Приміром, в Україні топографічні карти, що складаються в проекції Гаусса-Крюгера і в масштабах від 1:10 000 до 1: 1 000 000, будуються в шестиградусних зонах. Координатними осями є прямолінійний середній меридіан зони (вісь абсцис) і прямолінійний екватор (вісь ординат). Нумерація координатних зон проводиться із заходу на схід від Грінвіча. Довгота осьових меридіанів зон визначається за формулою $L_o = 6N - 3$, де N – номер зони.

Система координат в кожній зоні однакова. Щоб виключити негативні ординати, до всіх ординат додається константа 500 000 ма вже отримане значення відображається на картах. У випадках, коли необхідно показати координати, визначені в різних зонах, додатково до ординат додається величина $N \times 1\,000\,000$.

Для топографічних планів із масштабом 1:5000 і

більше використовуються триградусні зони, а осьові меридіани визначаються як $L_0 = 3N$, де N – номер зони.

Система позначень окремих аркушів карти після розлінування називається *номенклатурою карт*.

Лініювання й номенклатура українських карт базується на карті, масштаб якої становить 1: 1 000 000, що є кривобічною трапецією і має 6° по довготі і 4° по широті. Усі мільйонні карти позначаються так: «Латинська літера + арабська цифра». Латинськими літерами позначають трапеції по широті: послідовно від А (широти $0-4^\circ$) до V (широти $84-88^\circ$). Буквою Z позначається карта в районах полюса (широта $88-90^\circ$). Арабська цифра позначає номер однієї з 60 колон завширшки 6° , нумерація яких ведеться від 180° (рис. 3.44).

Приміром, трапеція N-37 відповідає $52-56^\circ$ широти і $36-42^\circ$ довготи. На цьому аркуші карти розташовується столиця України – Київ.

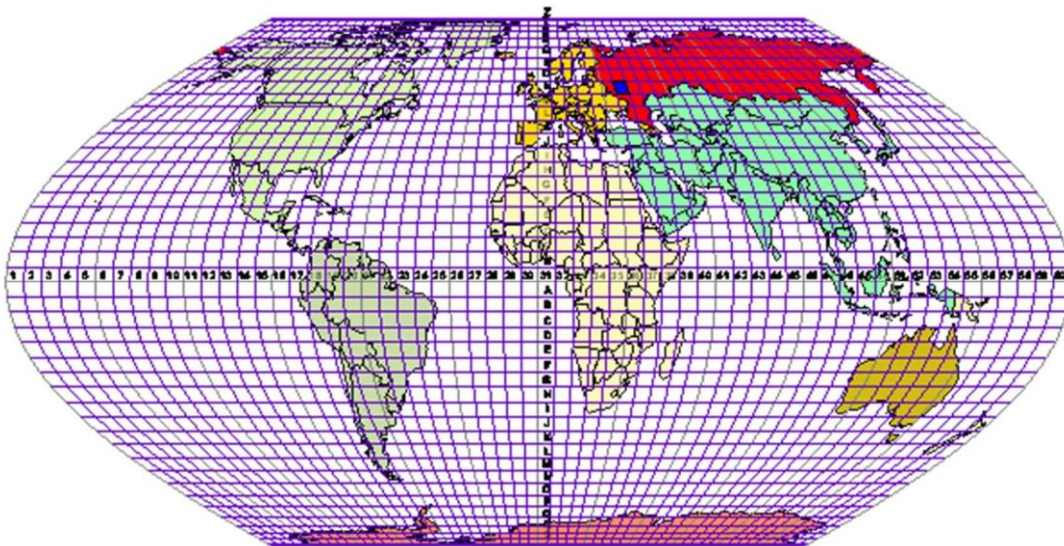


Рисунок 3.44 – Номенклатура й лініювання аркушів карт із масштабом 1:100 000

Кожна карта масштабу 1: 1 000 000 містить 2×2 – чотири трапеції масштабу 1:500 000 (зазначено у вигляді N-37-Г – у кінці додається українська прописна буква А, Б, В або Г), 3×3 – дев'ять трапецій масштабу 1:300 000 (позначаються у вигляді IX-N-37 – на початку додається римська цифра від I до IX), 6×6 – 36 трапецій масштабу 1:200 000 (позначаються у вигляді N-37-XXXVI – у кінці додається римська цифра від 1 до 36) і 12×12 – 144 трапецій масштабу 1:100 000 (зазначено у вигляді N-37-144 – у кінці додається арабськими цифрами номер трапеції).

Номенклатура аркушів карт із більшими масштабами будується аналогічно, але на підставі аркуша карти масштабу 1:100 000.

Кожна карта масштабу 1: 100 000 містить 2×2 – чотири трапеції масштабу 1:50 000 (зазначено у вигляді N-37-144-Г – у кінці додається українська прописна буква А, Б, В або Г).

Зі свого боку кожна карта масштабу 1:50 000 може бути розбита на 2×2 – чотири трапеції масштабу 1:25 000 (зазначено у вигляді N-37-144-Г-г – у кінці додається українська мала літера а, б, в або г) або 4×4 –16 трапецій масштабу 1:10 000 (позначаються у вигляді N- 37-144-Г-г-4 – у кінці додається арабськими цифрами номер трапеції).

Під час лініювання карт із масштабом 1:5000 і 1:2000, створюваних для території понад 20 км², також обирається деякий базовий аркуш карти масштабу 1: 100 000, який ділиться на 16×16 – 256 частин – карт масштабу 1: 5 000 (позначаються у вигляді N-37-144-Г – (256) – в кінці додається арабськими цифрами номер аркуша в дужках), а кожен аркуш масштабу 1: 5000 ділиться на 3×3 – 9 аркушів карти масштабу 1: 2000 (позначаються у вигляді N-37-144-г (256) – у кінці додається мала літера а, б, в, г, д, е, ж, к або л, що позначає аркуш).

Для топографічних планів, що створюються на ділянці площею менше ніж 20 км², застосовується лініювання по прямокутній координатній сітці з розмірами рамок 40×40 см² для планів масштабу 1: 5000, а для масштабів 1: 2000, 1: 1000 і 1:500 – 50×50 см². До того ж в основа лініювання обирається аркуш карти масштабу 1: 5000, що позначається арабськими цифрами. Порядок нумерації цих аркушів встановлюється довільно, за рішенням головного архітектора населеного пункту (рис. 3.45). Таку номенклатуру аркушу карт зазвичай називають внутрішньою номенклатурою.

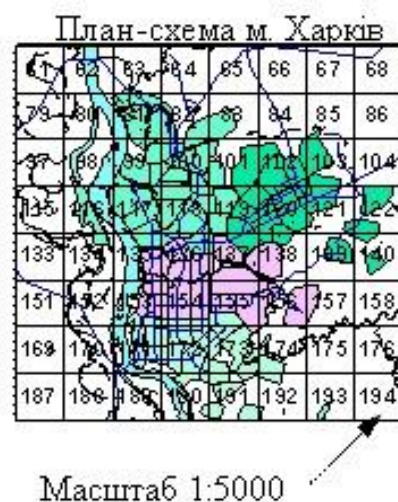


Рисунок 3.45 – Внутрішньоміська номенклатура й лініювання аркушів топографічних планів масштабу 1:5000 на прикладі м. Харків

У цьому лініюванні аркуш масштабу 1:5000 ділиться на 2×2 – чотири аркуші масштабу 1:2000 (позначаються великими українськими буквами А, Б, В і Г), які, зі свого боку, діляться ще на 2×2 – чотири аркуші масштабу 1:1000 (позначаються римськими цифрами) або на 4×4 – 16 аркушів масштабу 1:500 (позначаються арабськими цифрами).

3.5 Джерела просторових даних

Джерелами просторових даних є аналогові або цифрові дані, які слугують базою для створення моделей просторових даних. Існує декілька головних типів джерел просторових даних:

1. *Картографічні джерела*, зокрема карти, плани, атласи, схеми та інші картографічні зображення, нанесені на папір, картон, плівку, пластик або інші носії. Такі дані необхідно спочатку подати в електронному вигляді, застосувавши сканування або цифрове фотографування. Отримані растрові зображення можна безпосередньо використати як шар карти в ГІС або їх можна *векторизувати* – подати у векторному вигляді. Крім сучасного методу «сканування-векторизація», раніше широко (зараз уже зрідка) використовувався метод *цифрування (дигіталізації)*, коли векторні дані безпосередньо копіювалися спеціальним пером із твердої копії карти, покладеної поверх *дигітайзера (цифрового планшета)*.

2. *Дані дистанційного зондування* (далі – ДДЗ), включаючи аеро- й космознімки у видимому, інфрачервоному, ультрафіолетовому, радіодіапазоні або в декількох діапазонах хвиль одразу; результати лазерного сканування поверхні землі, а також інші дані, отримані неконтактним способом.

3. *Дані польових досліджень*, отримані шляхом використання різних геодезійних приладів (теодолітів, нівелірів, електронних тахеометрів, лазерних сканерів) і приладів глобальної супутникової навігації (GPS, ГЛОНАСС, Galileo).

4. *Дані натурних спостережень* на гідрометеорологічних та інших постах чи станціях. Зазвичай ці дані відображають розподіл полів деяких явищ на Землі, таких як температура, опади, швидкість, напрям вітру тощо. Ці дані здебільшого передаються в ГІС у вигляді точкових об'єктів (із координатами місця спостереження), заданих у вигляді атрибутів виміряного значення.

5. *Статистичні дані* відомчої та державної статистики. Такі дані зазвичай містяться в ГІС у вигляді атрибутів просторових об'єктів.

Джерела просторових даних безпосередньо не передаються в геоінформаційну систему для використання.

3.6 Векторизація

Процедура *векторизації* призначена для змінювання наявних картографічних зображень із растрового у векторний вигляд. Передбачається, що за допомогою сканера або цифрового фотоапарата буде отримано растрове зображення, яке потрібно векторизувати за допомогою комп'ютера.

У наш час масове застосування векторизації в ГІС здебільшого вимушене й тимчасове явище. Із часом значення векторизації під час підготування даних для ГІС буде зменшуватися, оскільки вже зараз майже всі створювані карти за допомогою комп'ютерів виготовляються одразу у векторній формі, а тому в майбутньому для всіх паперових карт будуть розроблятися вихідні векторні дані, на підставі їх і будуть створювати.

Процедура векторизації розподіляється на декілька головних етапів:

1. *Геометрична корекція знімка.* Необхідність щодо такого етапу може виникати, наприклад, через наявність невеликих похибок в роботі механіки сканера, що призводить до нерівномірного руху сканувальної головки по протилежних краях сканованого аркуша. Як наслідок, прямокутник на паперовій карті може перетворитися на трапецію на растрі в пам'яті комп'ютера. Якщо дані в комп'ютер вводились за допомогою цифрового фотоапарата, то на цьому етапі також виправляються оптичні спотворення, спричинені оптикою об'єктива фотоапарата.

2. *Прив'язка до необхідної картографічної проекції.* На цьому етапі визначається використана в оригінальному документі картографічна проекція і на растрі відзначається деяка кількість характерних точок, координати яких за необхідністю можна чітко встановити. Такими характерними точками зазвичай є хрести координатної або картографічної сітки, і тільки в разі їхньої недостатньої кількості – інші точкові об'єкти.

3. *Склеювання різних растрів в одне полотно* для суцільного покриття території. Для виконання склеювання на суміжних растрових зображеннях визначають загальні об'єкти (наприклад дорога, що проходить через декілька аркушів карти), координати яких необхідно сумістити на карті. Після цього програма векторизації підбирає оптимальне перетворення (зазвичай кусковолінійне або кусково-квадратичне), що дає змогу досягнути заданих вимог із мінімальним спотворенням растру;

Після закінчення перших трьох етапів растр зазвичай стає новим, у ньому виправлено всі геометричні й проекційні спотворення. Цей растр також поєднується з іншими, суміжними.

4. *Підготовка до векторизації.* На цьому етапі зазвичай послідовно проводиться коригування яскравості і контрасту (ручним або гістограмним

способом), видалення різних шумів (видалення дуже дрібних плям, усунення маленьких розривів ліній тощо.).

5. *Власне векторизація.* Існують три способи векторизації – *ручний, напівавтоматичний і автоматичний.* При ручному способі користувач самостійно зазначає координати фігур просторових об'єктів по растру за допомогою комп'ютерної миші. При напівавтоматичному способі користувач визначає об'єкти, які потрібно векторизувати, а система пропонує векторний варіант (лінію або полігон), який може бути прийнятий користувачем, відкинутий або модифікований. В автоматичному режимі програма аналізує відразу весь растр і виокремлює всі наявні об'єкти. Головним недоліком автоматичного режиму є невисока точність розпізнавання. Це пов'язано як безпосередньо з математичними і алгоритмічними проблемами під час вирішення завдання розпізнавання, так і з проблемою каскадних помилок, коли один неправильно розпізнаний об'єкт може вплинути на розпізнавання наступного об'єкта. Тому після автоматичного розпізнавання оператор змушений візуально перевіряти отримані результати і вносити корективи. У підсумку загальний час такої роботи може перевищити час напівавтоматичної векторизації. Саме тому на практиці поширення набули програми напівавтоматичної векторизації, які забезпечують гнучке керування процесом змінювання растру у векторний вигляд.

3.7 Дистанційне зондування

Дані дистанційного зондування (далі – ДДЗ), включаючи аеро- й космознімки у видимому, інфрачервоному, ультрафіолетовому, радіодіапазоні або в багатьох діапазонах хвиль одразу; результати лазерного сканування поверхні Землі, а також інші дані, отримані неконтактним способом є одними із головних типів джерел просторових даних..

На сьогодні найбільший обсяг ДДЗ надходить від оптичних або радіосенсорів, встановлених на штучних супутниках Землі, або на літаках. Крім того, інколи використовуються гвинтокрили, дирижаблі та різноманітні безпілотні літальні апарати (радіокеровані гвинтокрили й літаки).

Сенсори, встановлені на супутниках і придатні для картографічних робіт, мають відносно низьку відокремлювальну здатність. Найкращі з них мають точність 2, 1 і 0,6 м в оптичному діапазоні. Апарати, що працюють у багатьох діапазонах одночасно, зазвичай дають менший дозвіл (5, 10, 50, 100 м), особливо в радіодіапазоні. Крім того, дозвіл по вертикалі й горизонталі іноді буває різним.

На рисунку 3.46 подано космічний знімок великої території з низьким дозволом.



Рисунок 3.46 – Космічний знімок м. Харків

На рисунку 3.47 подано космічний знімок з високою відокремлювальною здатністю, виконаний із метою створення карти м. Харків у масштабі 1:5000.

Варто також зазначити, що на супутниках працюють сенсори із набагато вищою відокремлювальною здатністю, ніж 0,4, однак вони мають вузьку смугу фотографування, яка не забезпечує взаємного перекриття знімків, і низку інших недоліків. На сьогодні такі сенсори використовуються здебільшого тільки в розвідувальній меті.

Висока відокремлювальна здатність космічних фотознімків у деяких випадках все-таки має недоліки. Загальне обмеження кількості пікселів у знімках у разі застосування високого дозволу приводить до утворення невеликої площі картографування області, що не завжди добре. Приміром, при різних завданнях моніторингу (наприклад своєчасне виявлення лісових пожеж) потрібно регулярно отримувати нові знімки однієї і тієї самої ділянки місцевості (для виявлення пожеж – не менше одного разу на добу).

ДДЗ можуть надходити безпосередньо із супутника або з архівів компанії, що експлуатує супутник.



Рисунок 3.47 – Космічний знімок м. Харків

У першому випадку користувач встановлює станцію супутникового прийому, яка приймає всі зображення, зроблені із супутника. Такий підхід зазвичай використовується в супутниках із середнім і низьким дозволом (10– 100 м), регулярність про літання яких над однією і тією самою ділянкою Землі не менше одного разу на тиждень. Такі станції можуть використовуватися для створення регулярно діючих пунктів моніторингу різних природних явищ.

Отримані із супутника дані користувачі обробляють за допомогою спеціальних програм і переводять у вигляд, зрозумілий геоінформаційним системам і спеціальним системам обробки ДДЗ.

У другому випадку користувач замовляє у експлуатуючої організації знімки обраної ділянки місцевості в заданому дозволі. Якщо такі знімки вже є, то їх витягують із архівів і передають покупцям. Інакше доводиться проводити зйомку із супутника, що зазвичай коштує дорожче, тому що для цього супутник необхідно переорієнтовувати.

Під час передачі даних безпосередньо від експлуатуючої супутник компанії знімки надходять уже обробленими і зміненими до необхідної системи координат. Такі знімки можна одразу використовувати в ТІС і системах обробки ДДЗ.

Обробка ДДЗ на деяких етапах нагадує векторизацію, проте істотно відрізняється від неї по суті. Ці етапи є такими:

1. *Геометрична й оптична корекція знімка.* На цьому етапі виправляються геометричні й оптичні спотворення, спричинені об'єктивом сенсора, встановленого на борту літального апарату. Математичні параметри об'єктива зазвичай точно відомі, і цей етап не спричинює ускладнень.

2. *Прив'язка до необхідної картографічної проекції.* На цьому етапі на підставі чіткого розташування в просторі літального апарату, орієнтації об'єктива сенсора й використовуваної системи координат зображення змінюється в деяку проекцію для подальшого оброблення.

3. *Стереофотограмметрія* призначена для отримання цифрової моделі рельєфу (далі – ЦМР) на підставі стереопар – пар перекриваючих знімків. Для цього вихідні знімки необхідно взаємно скоординувати й прив'язати не тільки до деякої проекції, але й до висотної системи координат. Після цього в автоматичному або ручному режимі будують ЦМР. У ручному режимі користувач має змогу в стереорежимі (за допомогою спеціальних окулярів із рідкокристалічними шторками і звичайного монітора або за допомогою окулярів з двома маленькими вбудованими моніторами) переглянути зображення, навести різкість на необхідний видимий об'єкт, а програма визначає його розташування в просторі.

4. *Ортокорекція.* Ця операція передбачає «поправку за рельєфом», виправляючи геометричні спричинені, викликані фотографуванням у перспективі місцевості з нерівномірністю реальних висот (промені світла ніби виходять із певних точок місцевості і сходяться в об'єктиві). Для виконання такого перетворення необхідно знати карти висот на місцевості. Після виконання ортокорекції отримують неспотворений знімок, ніби створений безліччю паралельних променів в ортографічній проекції.

5. *Склеювання різних растрів в одне полотно* для суцільного покриття території. Для виконання склеювання на суміжних растрових зображеннях визначають загальні об'єкти, координати яких необхідно сумістити на карті. Після цього програма підбирає оптимальне перетворення, що уможливило досягнення заданих вимог із мінімальним спотворенням растру.

Після проведення перших п'яти етапів растр зазвичай перетворюється на новий, у якому виправлено всі геометричні й проекційні спотворення, зроблено ортокорекцію («поправка за рельєфом»), а також ув'язано цей растр із суміжними.

6. *Дешифрування.* Перелік операцій, що виконуються на цьому етапі, обумовлюється типом вихідних даних і дешифруючих об'єктів, тому типові растрові ГІС містять багатий набір найрізноманітніших інструментів.

Спочатку з растрів виокремлюють канали, необхідні для виконання дешифрування. Потім растр коректується яскравістю – змінюється яскравість і контраст зображення гістограмним або ручним способом.

Для поліпшення якості зображення, видалення шумів і виділення об'єктів, що цікавлять, застосовують *фільтрацію* растрів.

Згладжувальні фільтри забезпечують отримання яскравості пікселя за допомогою усереднення з деякими позитивними коефіцієнтами яскравості суміжних пікселів. При цьому зазвичай знижується візуально спостережуваний шум. Здебільшого застосовуються *Average, Gauss, Median, Brown, Lev, Graham, Nagao* та інші фільтри.

Протилежним щодо згладжувальних є *фільтри, що виокремлюють кордон*. Усереднення яскравості суміжних пікселів у них проводиться з різними за знаком (позитивними і негативними) коефіцієнтами. Здебільшого використовують фільтри *Sharp, Sobel, Prewitt* тощо.

Порогова фільтрація використовується для перетворення вихідного растру в бінарний вигляд за умовою перевищення (або потрапляння в заданий діапазон) яскравості заданого значення. Таким чином можна досить легко виокремити рівномірно зафарбовані (однорідні) області, наприклад рілля, луки, річки, дороги тощо.

Незважаючи на наявність численних автоматизованих методик, як і раніше широко застосовують «ручні» методи дешифрування. Для цього забезпечують *тематичну обробку растру* ГІС, що включає логічні й арифметичні операції, класифікацію й різноманітні способи відображення, які дають змогу візуально оцінити растр і виокремити необхідні об'єкти.

3.8 Геодезійні дослідження

Найточніші відомості про просторові об'єкти на Землі можна отримати тільки внаслідок польових геодезійних пошуків. Розділ науки щодо збору й обробки таких досліджень називається *інженерною геодезією*.

3.8.1 Геодезійні прилади

У наш час у геодезії здебільшого використовують такі технічні засоби збору інформації:

1. *Далекоміри (вимірювачі відстаней)*. Це *рулетки* (сталеві, фібергласові й тканинні) і *лазерні далекоміри* (рис. 3.48). Лазерний далекомір випромінює *лазерний промінь*, який відбивається від вимірюваного об'єкта, а фото давач, убудований в далекомір, із високою точністю вимірює час

проходження променя. Після цього на підставі виміряного часу далекомір обчислює відстань до об'єкта.

2. *Оптичні нівеліри (вимірювачі перевищень)*. Нівеліри призначені для вимірювання перевищення однієї ділянки місцевості над іншими. Прилад складається з горизонтального кола що обертається навколо вертикальної осі на якому встановлена горизонтальна зорова труба (рис. 3.49).

Перед початком роботи з нівеліром один із дослідників повинен встановити прилад горизонтально за допомогою вбудованого в прилад рівня, обертаючи регулювальні гвинти. Після цього можна розпочинати знімання.

До нівеліра додається спеціальна вимірювальна рейка, яка встановлюється іншим дослідником в вимірюваному місці. Далі перший дослідник повинен навести візир оптичної труби приладу на вимірювальну рейку, а потім записати видиме в трубі значення на рейці.

3. *Лазерні рівні (лазери)*. Лазерні рівні, як і нівеліри, призначені для вимірювання перевищень. Лазерний рівень складається з горизонтального швидкообертового кола, на якому встановлено лазерний випромінювач, зазвичай червоного кольору (рис. 3.50).

Перед початком роботи лазерний рівень встановлюється оператором горизонтально за допомогою регулювальних гвинтів і вбудованого рівня. Деякі моделі лазерних рівнів встановлюють горизонталь автоматично. Після ввімкнення приладу в просторі навколо нього утворюється червона площина, видима людським оком.

Для вимірювання рівня Землі в будь-якій необхідній точці, навколо приладу потрібно встановити спеціальну вимірювальну лінійку. Після цього потрібно записати значення, встановлене лазерним променем у місці його перетину з лінійкою.

4. *Теодоліти (вимірювачі кутів)*. Теодоліти дають змогу вимірювати вертикальні й горизонтальні кути. Прилад складається з горизонтального кола (*лімба*) з *алідадою*, що обертається навколо вертикальної осі, на її підставку спирається горизонтальна вісь обертання зорової труби й вертикального кола (рис. 3.51).

Перед початком роботи з теодолітом оператор повинен встановити його горизонтально за допомогою вбудованого в прилад рівня, обертаючи регулювальні гвинти. Після цього можна проводити знімання. оператор повинен навести візир оптичної труби приладу на відбивач або вимірюваний об'єкт, а потім записати вертикальний і горизонтальний кути, які відображаються приладом.

5. *Тахеометри*. Тахеометром називають теодоліт, поєднаний з далекоміром. Сучасні *електронні тахеометри* оснащуються

мікрокомп'ютерами, які показують на моніторі обчислені кути і відстані, а також можуть відразу ж перетворювати їх в координати на місцевості.

Тахеометри бувають *відбивні і безвідбивачеві*. Для роботи відбивних тахеометрів потрібні *відбивачі*, що встановлюються на вешках (рис. 3.52). У роботі безвідбивачевих тахеометрів використовується потужний лазерний промінь, який може відбиватися від будь-яких об'єктів на місцевості.

Під час роботи зі звичайним тахеометром оператор повинен навести візир оптичної труби приладу на відбивач, а потім натиснути кнопку виконання знімання. Для роботи з *автоматизованими тахеометрами* оператору не потрібно стояти біля тахеометра і наводити прилад на відбивач. Кнопка виконання знімання розташовується на віхі з відбивачем. При натисканні на цю кнопку радіосигнал із віхи передається на тахеометр, той самостійно виконує наведення по радіосигналу й здійснює знімання точки (див. рис. 3.52, в).

6. *Лазерний сканер*. Лазерні сканери за своїми функціями подібні до електронних безвідбивачевих тахеометрів (вони вимірюють кути й відстані до будь-яких об'єктів), але вони виконують вимірювання не за одною точкою, яку розглядає оператор, а одразу пакетам. Сканери переміщують лазерний промінь по горизонталі й вертикалі, знімаючи всі об'єкти, які трапляються на їхньому шляху (рис. 3.53). Як наслідок, утворюється щільна мережа точок знімання.

7. *Прилади супутникової навігації*. Системи супутникової навігації розглянуто в п. 3.9. На сьогодні в геодезії застосовуються геодезійні приймачі систем GPS і ГЛОНАСС. Під час проведення геодезійних пошуків вони використовуються зазвичай тільки під час знімання окремих ключових точок на місцевості, наприклад тих, де встановлено тахеометри.

Це обумовлюється низькою швидкістю роботи супутникових приймачів і їхнього невисокою точністю.

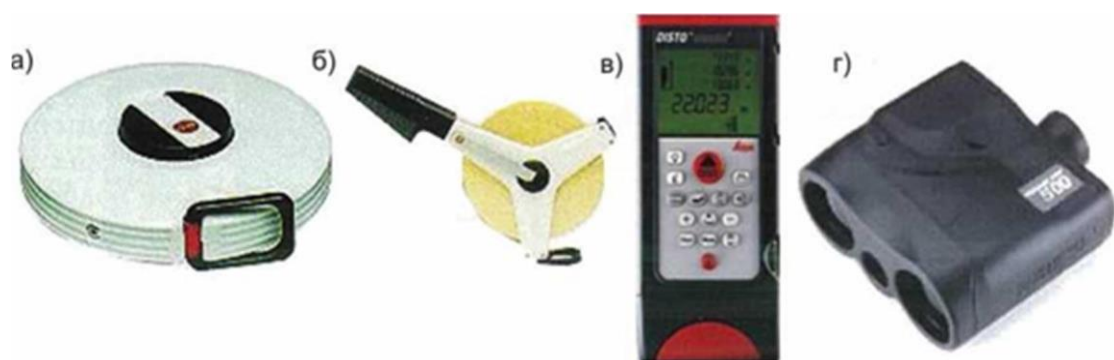


Рисунок 3.48 – Вимірювачі відстаней: а –
сталева 15-метрова рулетка Stabilia 49;
б – фібергласова 50-метрова рулетка Stabilia 42;
в – лазерна рулетка Leica DISTO Classic 5 (лазер видимий);

г – лазерний далекомір Yardage Pro 500 (лазер невидимий)



Рисунок 3.49— нівеліри:
а – оптичний нівелір Nikon AX-2S; б –
цифровий оптичний нівелір Trimble DiNi 12



Рисунок 3.50 — Лазерні рівні: а – лазерний
будівник площини Торсоп ЛЬ-УІЗВ;
б – лазерний уклонофіксатор («трубний» лазер) Торсоп ТР-Б4А



Рисунок 3.51 — Теодоліти: а –
оптичний теодоліт ОМЗ ЗТ2КП;
б – електронний цифровий теодоліт Geo-Fennel FET 120



Рисунок 3.52 — Тахеометри:

- а – електронний тахеометр South NTS-352;
- б – електронний тахеометр Sokkia SET 510 R; в
- автоматизований тахеометр Trimble 5600 DR



Рисунок 3.53 — Лазерні сканери: а – MENSIS GS200; б – Leica CYRAX 2500 У наступних розділах буде розглянуто, використання цих приладів під час знімання розташування просторових об'єктів на місцевості.

3.8.2 Тахеометричне знімання

Процес геодезійного знімання зазвичай складається з двох головних етапів — *планово-висотної знімальної основи* і власне *знімання точок на місцевості*. Унаслідок знімання основи з великою точністю визначається розташування *станцій* (зазвичай це місця встановлення таких геодезійних приладів, як нівеліри, теодоліти, тахеометри, лазерні сканери) у просторі. Після цього проводиться вже саме знімання з цих станцій.

У наш час для планово-висотної знімальної основи більшості інженерно-геодезійних робіт використовується метод *теодолітного (тахеометричного) ходу*.

Теодолітний хід – це послідовність пунктів (станцій) на місцевості, поєднаних геодезійними вимірюваннями. У кожному пункті теодолітного ходу встановлюється теодоліт або тахеометр, а потім вимірюються кути та відстані до попереднього й наступного пункту ходу. На рисунку 3.54 наведено два приклади теодолітних ходів (розімкнутий і замкнутий). Цифрами 1—9 на рисунку показані місця установа теодоліта, буквами А і В – пункти з відомими координатами, α_i – виміряні теодолітом (тахеометром) кути між напрямками на попередній і наступний пункт, d_{i-j} – виміряні будь-яким далекоміром (наприклад убудованим у тахеометр) відстані між пунктами i та j . Ділянки між послідовними пунктами ходу називаються *сторонами* ходу.

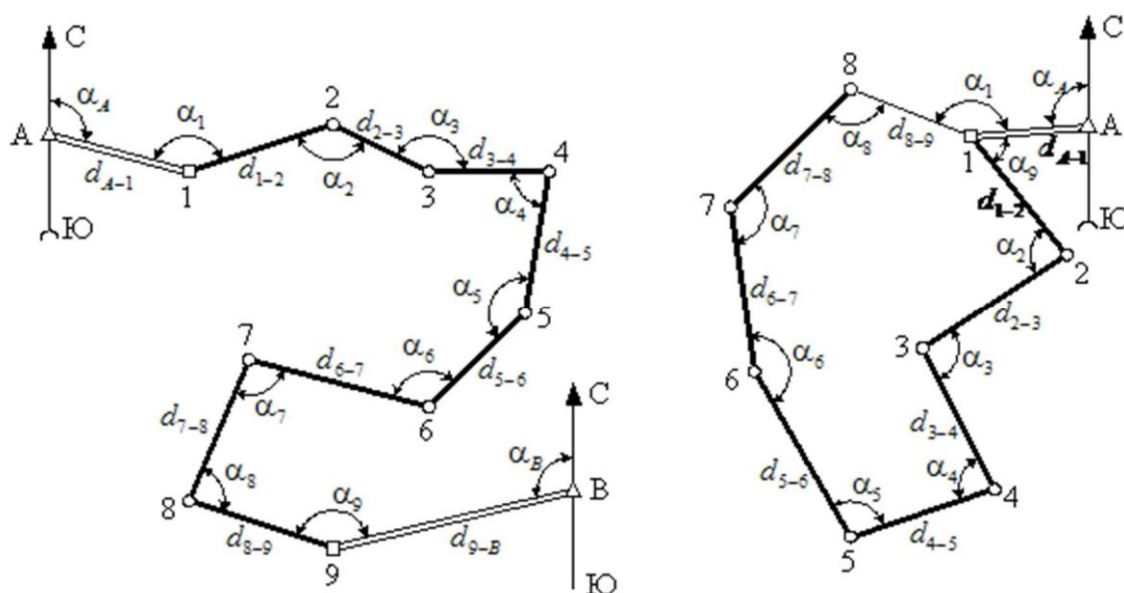


Рисунок 3.54 — Теодолітні ходи: а – розімкнутий; б – замкнутий

Щоб встановити реальні координати пунктів теодолітного ходу, необхідно виконати прив'язку цього ходу до деякої системи координат. Прив'язка виконується до деяких пунктів на місцевості, які мають відомі координати. Це можуть бути пункти державної геодезійної мережі (див. рис. 3.54) або будь-які інші пункти, координати яких виміряні за допомогою приладів супутникового позиціонування. Якщо в пункті геодезійної мережі є можливість чітко визначити напрям на північ і відповідно кут (див. рис. 3.54), то достатньо виконати прив'язку теодолітного ходу тільки до одного відомого пункту. В іншому разі, прив'язку необхідно виконувати принаймні до двох відомих пунктів, зазвичай на

початку і в кінці теодолітного ходу. Якщо хід замкнутий, то прив'язку потрібно робити на початку і в середині ходу.

У наведених на рисунку 3.54 прикладах теодолітних ходів не передбачено висоту пунктів ходу.

У *теодолітно-нівелірному* ході за допомогою нівеліра додатково визначається перевищення кожного чергового пункту щодо попереднього і до наступного.

У *теодолітно-тахеометричному* (*тахеометричному*) ході (щодо теодолітного ходу) за допомогою тахеометра (або теодоліта з далекоміром) додатково визначаються вертикальний (а не тільки горизонтальний) кут і відстань від кожного чергового пункту до попереднього і наступного.

Таким чином, у теодолітному ході вимірюються тільки планові координати точок, а в тахеометричному — ще й висотні позначки.

Всім вимірам виконуваним, за допомогою геодезійних приладів, властива деяка похибка, обумовлена точністю приладів, точністю їхнього становлення на місцевості, погодними умовами й індивідуальними рисами людини, що виконує вимірювання. Саме тому під час виконання знімання необхідно передбачати деяку надмірність вимірювань, наприклад виконуючи прив'язку теодолітного ходу до трьох і більше геодезійних пунктів, додаткові вимірювання кутів. Ще один поширений прийом збільшення точності обчислень полягає у збільшенні кількості вимірювань шляхом виконання *зворотного теодолітного ходу*, коли повторно вимірюються всі кути й відстані, але у зворотному порядку — від останнього пункту до першого.

Унаслідок проведення надлишкових вимірювань теоретична сума всіх виміряних кутів повинна бути кратна 180° , якщо прийняти, що кути поворотів наліво – зі знаком «плюс», а направо – зі знаком «мінус». Однак на практиці сума виміряних кутів буде дещо іншого. Величина відмінності теоретичної суми від суми виміряних кутів називається *кутовою не зв'язкістю* ходу.

Сутність *кутового зрівнювання* теодолітного ходу полягає в розподілі загальної величини кутової незв'язки ходу на всі виконані вимірювання. За найпростішого способу зрівнювання величина кутової незв'язки ділиться на загальну кількість виміряних кутів, отримуємо поправку, на яку змінюється кожен виміряний кут.

Після виконання кутового зрівнювання необхідно зрівняти планові координати точок. Для цього спочатку потрібно обчислити координати всіх відомих геодезійних пунктів на підставі розташування інших пунктів. Ці координати будуть відрізнятися від відомих значень геодезійних пунктів на величину *планової незв'язки*.

Отримана планова незв'язка за допомогою *планового зрівнювання* розподіляється на кожну сторону ходу пропорційно до довжини сторін ходу, унаслідок чого коригуються кути α_i довжини сторін d_{i-j} .

Після виконання теодолітного ходу та його зрівнювання з високою точністю отримаємо координати всіх станцій ходу й кути між його сторонами.

Розглянемо, як використовується теодолітний хід під час проведення геодезійних робіт. Теодолітний хід прокладається на місцевості для того, щоб закріпити розташування станцій і виконати знімання пікетів – у різних характерних точках на поверхні Землі. Знімання *пикетів* виконується теодолітами (тахеометрами) так само, як і знімання інших станцій ходу, тобто шляхом вимірювання відстаней і кутів на пікети зі станцій (рис. 3.57). Пізніше, виконуючи камеральне оброблення результатів геодезійних пошуків, ці відстані й кути перераховують у реальні координати пікетів на місцевості. До того ж це перерахування потрібно виконувати після зрівнювання теодолітного ходу, коли розташування станцій вже встановлено з високою точністю.

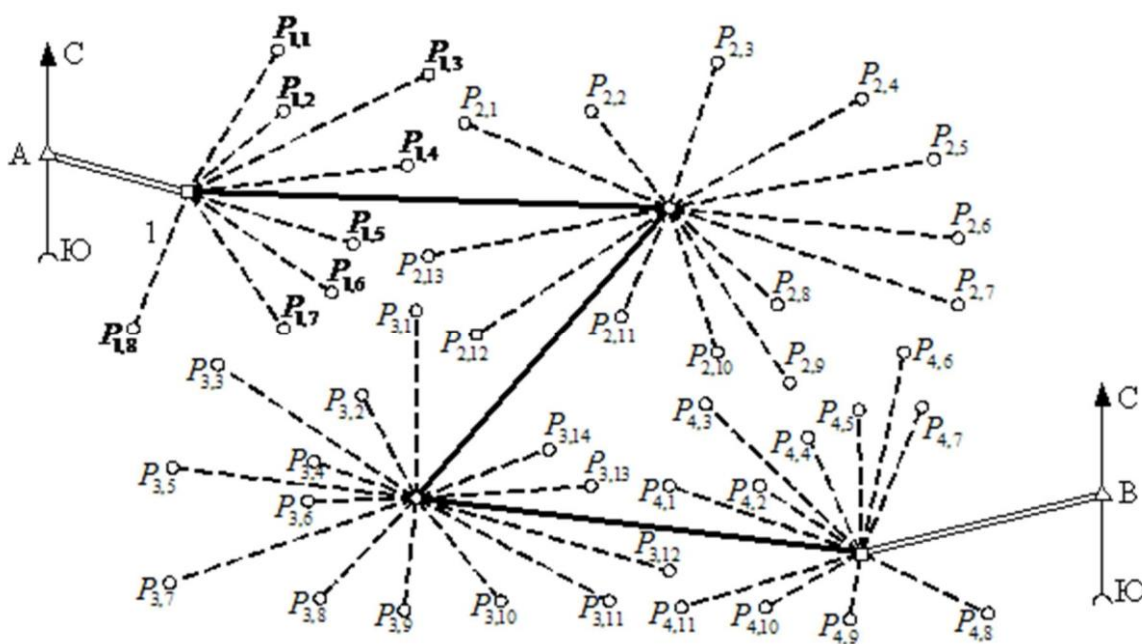


Рисунок 3.55 — Тахеометричне знімання пікетів $P_{i,j}$

3.8.3 Лінійні пошуки

Ще одним поширеним різновидом інженерно-геодезійних пошуків, окрім тахеометричного знімання, є пошук уздовж деякого лінійно-протяжного об'єкта. Такі пошук називають *лінійними*.

Лінійні пошуки розподіляються на три етапи:

1. Прокладання траси та закріплення її на місцевості.
2. Виконання пікетажних пошуків.

3. Нівелювання за поперечниками. Цей етап зазвичай виконується одночасно з попереднім.

Отже, для проведення лінійних пошуків на місцевості спочатку прокладається траса – деяка лінія, яка проходить уздовж лінійного об'єкта (рис. 3.56). Потім на місцевості від початку траси через кожні 100 м прокладають пікети (зазначимо, що термін «пікет» використовуються в іншому значенні, порівняно з попереднім пунктом; тут «пікет» — не знімна точка, а деяка умовна відмітка на осі траси). Пікети іноді відкладаються через 10, 25, 50, 500, 1000 м або іншу відстань, а іноді через неоднакові інтервали.

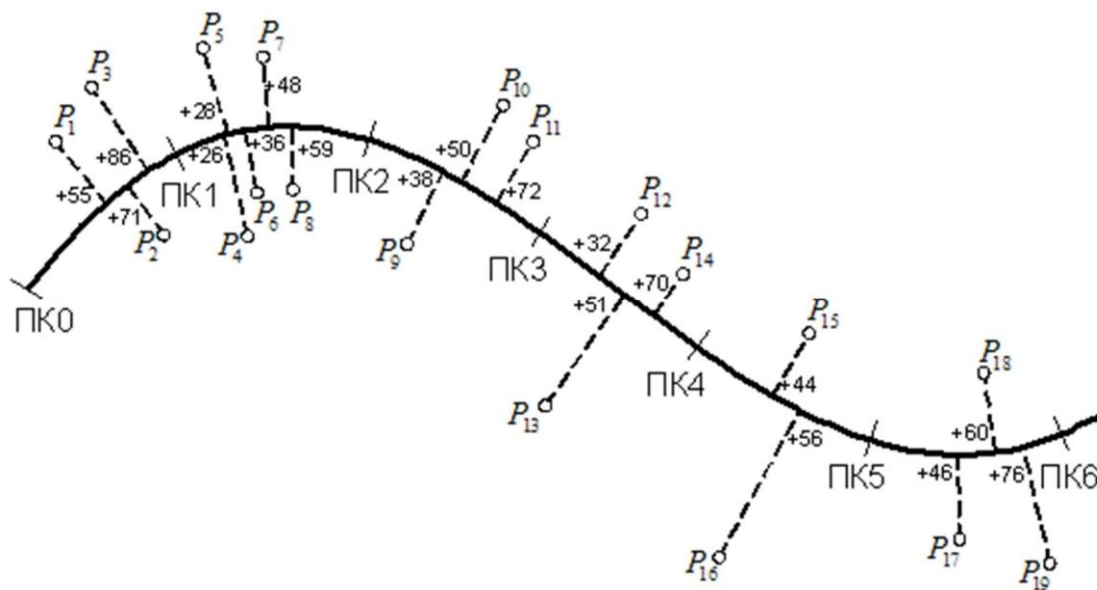


Рисунок 3.56 — Лінійні пошуки (пікетажні й нівелювальні вимірювання)

Кожна точка на трасі відкладається від початку якогось чергового пікету й позначається в форматі ПК<Номер пікету> + <Відстань від початку пікету> (наприклад, ПК0 + 55).

Далі виконується знімання кожної потрібної точки на місцевості. Для цього через кожну точку проводиться *діаметр* до траси, тобто будується перпендикуляр до лінії траси, що проходить через цю точку і вимірюється відстань від цієї точки по перпендикуляру до траси. Для точок, що розміщуються праворуч від траси, результат записується у такому вигляді П + <Відстань до траси> (наприклад П + 20 або просто +20), для точок зліва від траси – у такому вигляді Л + <Відстань до траси> (наприклад Л + 20 або просто – 20).

3.8.4 Геодезійні побудови

Останнім часом під час проведення геодезійних пошуків, все частіше використовують тахеометри, що дають змогу виконувати будь-які різновиди знімань на місцевості. Проте для низки завдань, як і раніше, використовуються простіші прилади, наприклад нівеліри, теодоліти, рулетки. Це обумовлено як технічно і технологічно, так і економічно.

По-перше, використовувати нівеліри й теодоліти зазвичай простіше й швидше порівняно з повноцінним застосуванням тахеометрів, оскільки точної і досить тривалої установки й геодезійної прив'язки тахеометричної станції не вимагається. Це трапляється тоді, коли точного тривимірного виміру координат знімальних точок не передбачено. Наприклад, під час знімання рівної поверхні автомобільної дороги без колійності немає сенсу проводити точне планове знімання точок, набагато важливішими є визначення висотних позначок. З іншого боку, під час знімання об'єктів інженерного облаштування в кадастрових задачах висотні позначки дорожніх знаків, обгороджень, стовпів ліній електропередач не важливі; важливо планове розташування цих об'єктів.

По-друге, сучасні електронні тахеометри коштують набагато дорожче, ніж звичайні нівеліри, теодоліти й далекоміри, разом узяті. Приміром, ціна електронного тахеометра коливається в діапазоні від 4500 дол. до 10000 дол. (наприклад китайський South NTS-327 коштує 4500 дол., японський Sokkia SET 530 R – 9500 дол.), тоді як оптичні нівеліри коштують приблизно 160–1500 дол., оптичні теодоліти українського виробництва – 550–1050 дол., а ручні лазерні далекоміри – 330–800 дол.

У цьому розділі розглянуто спеціальні математичні прийоми, що в деяких випадках дають змогу спростити застосування таких розповсюджених геодезійних приладів, як нівеліри, теодоліти й далекоміри в разі, якщо немає можливості використати для вимірювань наявні прилади. Наприклад, необхідно виміряти відстань до об'єкта, що розташовується на іншому краю яру, а в наявності є тільки рулетка й теодоліт, тобто безпосередньо виміряти відстань між двома точками на місцевості вимірити неможливо.

Розглянемо головні різновиди геодезійних побудов:

1. *Перетин двох відрізків.* Цей спосіб призначений для отримання координат точки, що розташовується на перетині двох пар точок, тобто в місці перетину двох відрізків. У такому разі мають бути відомі координати чотирьох точок – координат кінців цих відрізків.

2. *Побудова за трьома точкам.* Цей метод передбачає, що невідома точка розміщується в кутку паралелограма, три інші точки якого відомі.

3. *Лінійна зарубка.* При способі лінійної зарубки далекоміром визначаються тільки відстані від вимірюваної точки до двох відомих точок.

4. *Полярна зарубка.* При цьому методі за допомогою теодоліта потрібно виміряти кут між напрямом на вимірювану точку й перетином двох відомих точок. Крім того, за допомогою далекоміра потрібно визначити відстань від теодоліта до вимірюваної точки.

5. *Пряма кутова зарубка.* Цей метод найчастіше застосовується при теодолітному зніманні важкодоступних точок місцевості. При цьому методі за допомогою теодоліта з двох відомих точок потрібно виміряти кути між вимірюваною та іншою відомою точкою.

6. *Зворотна кутова зарубка.* Цей спосіб дає змогу визначити розташування на місцевості станції з теодолітом, за допомогою вимірювання двох кутів між напрямками на три відомі пункти.

7. *Простецева зарубка.* Цей метод дає змогу визначити розташування точки, що розміщується на простеці двох відомих точок, якщо дано відстань від вимірюваної точки до однієї з точок на простеці.

8. *Побудова за паралельного лінійного.* Цей метод призначений для визначення розташування точки, що розміщується на лінії, яка проходить через задану точку й паралельна до іншої лінії, побудованої за двома іншими відомим точкам.

9. *Побудова перпендикуляром у ворота.* У цьому методі шукана точка розміщується в місці перетину перетину між двома відомими точками зі своїм перпендикуляром, проведеним через іншу відому точку.

10. *Побудова перпендикуляром із простеця.* Цей метод дає змогу визначити розташування точки, якщо відома довжина перпендикуляра з цієї точки до простеця двох заданих точок і відстань від місця перетину цього перпендикуляра із простецем до однієї з точок простеця.

3.9 Глобальні системи позиціонування

Для виконання топографо-геодезійних робіт в заданій системі координат однією з найважливіших вимог є наявність пунктів *державної геодезійної мережі (ДГС)* в безпосередній близькості від точки знімання. Потрібно зауважити, що на території нашої країни такі пункти відсутні (вони там не створювалися або зруйнувалися).

Крім того, можливі випадки, коли застосувати геодезійні методи, зняти координати неможливо, наприклад у русі, на борту повітряного або водного судна.

Для вирішення наведених вище завдань призначені *глобальні системи позиціювання*. У наш час функціонують американська система GPS (Global Positioning System) і російська глобальна навігаційна супутникова система ГЛОНАСС. Крім того, готується до введення в експлуатацію європейська система Galileo.

Усі ці системи складаються з трьох підсистем: наземного контролю й управління; сузір'я (угруповання) космічних апаратів; апаратури користувачів.

Підсистема наземного контролю й управління складається із станцій спостереження за супутниками, служби точного часу, головної станції з обчислювальним центром і станції завантаження даних на борт супутників.

Супутники проходять над контрольними пунктами двічі на добу. Зібрана на станціях стеження інформація про орбіти супутників використовується для прогнозування точного розташування супутників на орбіті. Уся сукупність відомостей про траєкторії всіх супутників називається *альманахом* і завантажуються на всі супутники одразу.

У супутникових системах GPS і ГЛОНАСС є по 24 головні діюві й декілька резервних супутників (рис. 3.57), які рівномірно розподілені в навколоземному просторі на висотах приблизно 20 тис. км в шести і трьох орбітальних площинах відповідно (рис. 3.58).

У системі Galileo буде 27 базових і три резервні супутники, розташовані на висоті 23 200 км.

На кожному супутнику встановлено сонячні батареї, маневрові двигуни, атомні еталони частоти часу, а також приймачі радіосигналів.



Рисунок 3.57 – Український навігаційний супутник

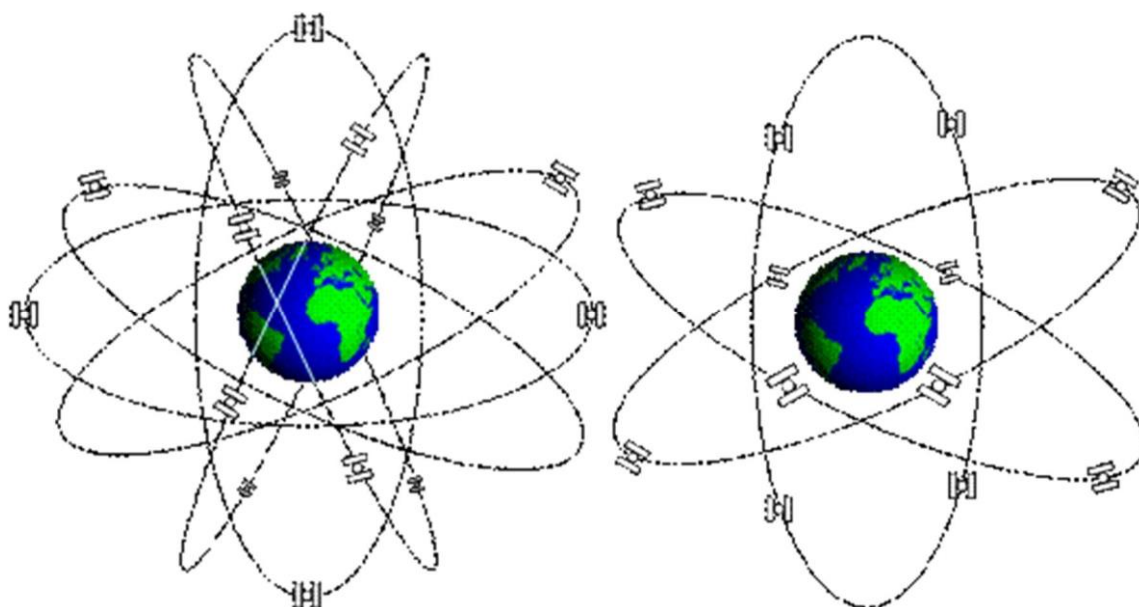


Рисунок 3.58 – Орбітальні сузір'я GPS (а) і ГЛОНАСС (б)

Для вимірювання відстаней передавачі на всіх супутниках випромінюють радіохвилі на двох частотах – L_1 і L_2 .

Різні частоти потрібні, щоб виключити з вимірювань істотні тимчасові затримки, що виникають при проходженні радіохвиль через іоносферу.

Апаратури користувача базується на супутниковому приймачі, який разом з передавачем на супутнику утворює радіодальномір. Приймач приймає радіохвилі, передані супутником і порівнює їх з електричними коливаннями, утвореними в самому приймачі. Унаслідок цього визначається умовний час поширення радіохвиль, а отже, й дальність від приймача до супутника. Дальність визначається двома способами: кодовим методом (стандартна точність) і фазовим методом (більш висока, «геодезійна» точність).

Крім того, від супутника в приймач користувача періодично (кожні дві години) передається так зване навігаційне повідомлення, що містить необхідну для визначення координат інформацію.

Сучасні приймачі орієнтовані на використання тільки однієї супутникової системи – GPS або ГЛОНАСС, але можуть бути й комбіновані, до того ж приблизно в два рази збільшується кількість доступних супутників, а отже, підвищується й точність визначення координат – приблизно в 1,5 рази (рис. 3.59).



Рисунок 3.59 – Сучасні приймачі : а – навігаційний GPS-приймач Garmin Etrex Legend; б – геодезичний GPS-приймач Trimble R8; в – комбінований приймач GPS / ГЛОНАСС

Приймачі мають бути *кодовими* й *кодово-фазовими*. Перші з них є дуже компактними (уміщаються на долоні) й поєднують в одному корпусі приймач, антену й джерело живлення. Такі приймачі зазвичай називають *навігаційними*, оскільки вони видають відносно неточні координати. Загалом ці приймачі досить дешеві, а тому доступні для масового застосування.

Фазово-кодові приймачі дають змогу досягати набагато більшої точності координат. Вони також є дуже компактними, але з окремою виносною антеною; здебільшого мають зовнішні акумулятори, окремі клавіатуру і дисплей. У разі, якщо фазово-кодові приймачі працюють в парі з другим приймачем у так званому диференційному режимі, можна досягти точності до 1–2 см.

Унаслідок деяких особливостей визначення координат приймачі глобальних систем позиціонування можуть вимірювати координати однієї точки досить довго. Що більше часу відводиться на знімання, то точніший результат. У навігаційних приймачах координати визначаються досить швидко (секунди), проте точність становить метри й навіть десятки метрів. У геодезійних приймачах час визначення координат може становити від 5 хв до 1 год. До того ж час і точність знімання обумовлюється кількістю доступних супутників.

Унаслідок значної величини часу точного знімання координат, глобальні системи позиціонування використовуються в топографо-геодезійних роботах не для суцільного знімання всіх об'єктів на місцевості, а тільки для встановлення координат невеликої кількості спеціальних точок, які обирають як альтернативу необхідним, але відсутнім пунктам державної геодезійної мережі.

Навігаційні ж приймачі можуть бути використані для масового знімання точок, оскільки час знімання у них незначений. Одним із різновидів застосування навігаційних приймачів є знімання осей автомобільних доріг для нанесення на дрібномасштабні карти. Одним з недоліків роботи GPS-приймачів у русі є зниження точності вимірювання й можлива тимчасова втрата видимості деяких супутників, наприклад під час проїзду автомобіля з GPS-приймачем через густий ліс, в низині або в тунелі. Для унеможливлення переривання знімання координат останнім часом GPS-приймачі починають комбінувати з так званими *інерційними навігаційними системами (ІНС)*, у які вбудовано гіроскопи й акселерометри, що дають змогу досить точно виміряти напрям і швидкість руху. Отже, в разі тимчасової втрати зв'язку із супутниками дані про переміщення отримують від ІНС.

3.10 Фото- й відеознімання

Останнім часом, у зв'язку з появою дешевих цифрових фото- й відеокамер та стрімким зростанням обсягів виготовлення жорстких дисків комп'ютерів, набула поширення технологія *візуального супроводу просторових об'єктів*.

Виокремимо кілька головних варіантів цієї технології:

1. *Окремі знімки місцевості*, зроблені звичайними фотоапаратами з якоїсь точки простору в одному напрямі. Такі знімки слугують звичайним інформаційним доповненням до атрибутів просторових об'єктів у базі даних.

2. *Панорамні знімки*, що дають змогу оглянути місцевість під час перебування у фіксованій точці простору, повертаючи кут зору по азимуту в будь-якому напрямі. Панорамні знімки роблять за допомогою спеціальних панорамних об'єктивів або за допомогою спеціальної обробки декількох знімків, зроблених у чотирьох (іноді більше) протилежних напрямках. У пам'яті комп'ютера такі знімки зберігаються у вигляді звичайних растрових зображень, значно витягнутих по горизонталі (рис. 3.60, а). При зміні користувачем азимута перегляду на екран виводиться тільки певна частина знімка (рис. 3.60, б).



а



б

Рисунок 3.60 – Панорамний знімок:
а – вихідний знімок; б – вікно перегляду знімка

3. *Знімки навколишнього середовища* дають змогу оглянути місцевість, перебуваючи у фіксованій точці простору й повертаючи кут зору в будь-якому напрямі – вліво-вправо і вгору-вниз. Такі знімки частіше використовуються здебільшого всередині приміщень, а також на місцевості, якщо поблизу є складні або високі об'єкти. Такі знімки зазвичай роблять за шістьма звичайними квадратними фотознімками, зробленими в трьох взаємно перпендикулярних напрямках (рис. 3.61). При виведенні зображення на екран програма одразу формує з цих шести знімків потрібну картинку, начебто користувач дивиться в напрямку заданого азимута й вертикального кута. На сьогодні підтримка таких

знімків (*кубічних карт середовища*) реалізована апаратно на рівні відеокарт і доступна через інтерфейси DirectX 8.x/9.x і OpenGL 1.x.



Рисунок 3.61 — Набір знімків навколишнього середовища (кубічна карта)

4. *Послідовності фотознімків*, зроблених уздовж деякої траєкторії, наприклад уздовж автомобільної дороги з рухомого автомобіля. Такі послідовності знімків зазвичай роблять через деяку фіксовану відстань на місцевості (наприклад через 10 або 30 м), а кожен знімок має чітку просторову прив'язку у вигляді абсолютних (x, y) або лінійних (*пикет, зміщення*) координат, одержуваних за допомогою СРБ-приймачів або іншим способом (рис. 3.62). Геоінформаційні системи, у які включено функції роботи з послідовностями фотознімків, зазвичай дають змогу виконувати навігацію за фотознімками, як за відеофільмом і одночасно показувати розташування точки знімання на місцевості; вказувати точку на карті, переводити її координати в лінійні й відображати відповідний фотознімок.

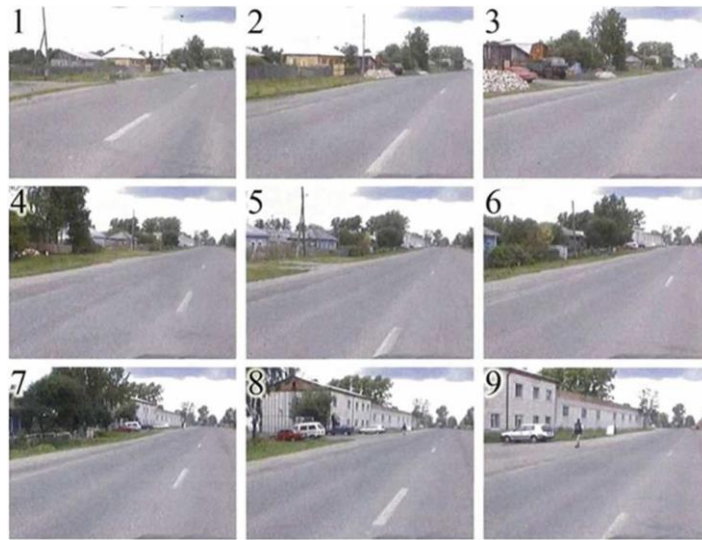


Рисунок 3.62 — Послідовність знімання автомобільної дороги

5. *Відеознімання за траєкторією.* Ця технологія загалом аналогічна до попередньої (послідовність фотознімків), тільки знімання виконується на цифрову відеокамеру формату МтШУ. Відеознімання забезпечує отримання більшої кількості окремих кадрів, ніж при фотозніманні, проте вони набагато гіршої якості. Низька якість спричиняється, по-перше, меншою роздільною здатністю зображення (тільки $720 \times 576 = 0,4$ МП в стандарті Мину, тоді як зараз широко доступні фотокамери з матрицями 2, 3, 4, 6, 8 мегапікселів і більше); по-друге – чергування розгортки, що перебуває в русі, по суті, зменшує вертикальну роздільну здатність зображення в два рази. З іншого боку, відеознімання, незважаючи на більшу загальну кількість кадрів, потребує меншого обсягу пам'яті для зберігання (унаслідок меншої роздільної здатності кадрів і особливості алгоритмів стиснення відеозображень).

6. *Ситуаційне відеознімання* використовується зазвичай для огляду невеликих ділянок місцевості. Такі відеоролики слугують інформаційним доповненням атрибутів просторових об'єктів у базі даних.

Технологія візуального супроводу просторових об'єктів слугує інформаційним доповненням до атрибутів просторових об'єктів у базі даних, а також за допомогою відеознімання дає можливість створювати дуже великі архіви відеоданих.

3.11 Формати даних

Більшість ГІС-додатків отримують просторові дані у вигляді вже готових наборів. У п. 3.5 були коротко охарактеризовано основні джерела просторових даних. Потрібно зазначити, що такі дані здебільшого створюються не в ГІС, а в деяких інших класах програм.

Приміром, растрові дані часто надходять в ГІС у вигляді готових файлів, одержаних з цифрових фотоапаратів, зі сканерів або з інших джерел. Більшість ДВС не володіє достатніми коштами для глибокого оброблення растрових зображень, а тому растри зазвичай обробляють в особливому класі програм для обробки ДДЗ (такі програми можуть бути растровими ГІС, хоча не обов'язково). Після відповідного оброблення растри надходять у ГІС.

Векторні дані створюють також в інших програмах. Наприклад, дані геодезійних пошуків зазвичай обробляються поза ГІС, у спеціалізованих програмах. Векторизація растрових даних в на сьогодні найякісніше виконується в спеціалізованих програмах – *векторізатор*.

Крім того, багато великомасштабних карт створюються в програмах класу САПР. Справа в тому, що моделі даних в САПР набагато новіші, порівняно з ГІС (ця різниця помітна саме в великому масштабі); крім того, САПР надають дієвіші інструменти для введення і редагування геометричних даних, а також вони більшу розповсюджені, ніж ГІС.

Із огляду на зазначене для будь-якої ГІС є дуже важливим імпорт просторових даних, створених в інших програмах, а також експорт даних в інші програми.

Усі формати, які використовуються в ГІС, можна розподілити на *внутрішні й обмінні*. Внутрішні формати даних зазвичай мають закриту структуру, тому інші додатки, не можуть їх читати й створювати.

Імпорт даних в ГІС виконується за допомогою файлів в обмінних форматах. Ці файли створюються в інших програмах, а в ГІС імпортуються й за необхідності перетворюються на внутрішній формат ГІС.

Розглянемо базові векторні формати файлів, які використовуються в ГІС для роботи і обміну даними з іншими додатками:

1. *Шейп-файли*. Ці файли є стандартним обмінним форматом для подання векторних нетопологічних даних від фірми ESRI, Inc (виробник ArcGIS, ArcView, ARC/INFO). У цьому файлі можна надавати точки, мультиточки, лінії або полігони, при цьому в одному файлі змішувати фігури різного типу заборонено. Усі фігури можуть співвідноситися з координатами у двівимірному (X, Y), тривимірному (X, Y, міра M) і чотиривимірному (X, Y, Z, міра M) просторі.

У шейп-файлах для фігур можна задати атрибути, до того ж усі фігури будуть мати однаковий набір атрибутів. Допустимими атрибутами в числові, логічні, дати та рядки.

Кожен шейп-файл зберігається у вигляді трьох обов'язкових файлів: з розширенням .SHP — для подання геометрії, з розширенням .DBF для подання атрибутики (цей файл зберігається у форматі dBase III), з розширенням .

SHX – для подання допоміжних індексів.

У наш час формат шейп-файлів підтримується більшістю виробників ГІС як обмінний, а іноді навіть як базовий (внутрішній) формат.

2. *Покриття ARC/INFO*. Цей формат є стандартним для подання векторних топологічних даних (покриттів) від фірми ESRI. Формат підтримується деякими іншими компаніями, але він не дуже розповсюджений, тому що закритий.

Недоліком цього формату є те, що він складається з безлічі файлів, які містяться в окремому каталозі. Це не дуже зручно при копіюванні, архівуванні тощо.

3. *Обмінний формат покриття ARC/INFO* (файли з розширенням .E00). Формат є відкритим обмінним еквівалентом файла покриття. Він складається тільки з одного файлу, що досить зручно. Формат є текстовим, унаслідок чого розмір файла .E00 набагато більший порівняно зі звичайним покриттям ARC/INFO.

4. *Обмінний формат MapInfo* (файли з розширенням .MIF). Цей формат є стандартним форматом обміну векторними нетопологічними даними від фірми MapInfo, Inc (США). Формат підтримується більшістю сучасних ГІС.

5. *Формати FIM і SXF*. Ці формати є російським винаходом для подання електронних карт, а тому підтримуються тільки деякими російськими ГІС. Формат FIM є стандартом Роскартографії, а SXF – стандартом Військово топографічної служби.

6. *Формат DWG*. Цей формат є стандартним форматом для подання креслень у системі автоматизованого проектування AutoCAD від фірми Autodesk, Inc (США). У ГІС цей формат зазвичай використовується тільки в режимі читання, щоб завантажити креслення й покласти його на карту як шар. Якщо ГІС передбачає виконання просторового аналізу об'єктів креслення DGN, то з креслення можна прочитати тільки точки, лінії й полігони. Цей формат менш поширений, порівняно з DWG, проте підтримується багатьма закордонними ГІС.

9. *Формат EMF* (Enhanced Windows Metafile). Він використовується в ГІС тільки для того щоб передати графічне зображення шару або всієї карти в інші програми.

10. *Стандартні растрові файли* (із розширеннями .BMP, JPG, .PCX, .TIF, .GIF, .PNG тощо). Ці формати є звичайними для зберігання растрових зображень у середовищі Windows. Особливістю застосування растрів у геоінформаційних системах є те, що на карті растри мають *геоприв'язку*, що вказує на те, якому місцю географічного простору відповідає растр. Оскільки така інформація відсутня в звичайних растрових форматах, її доводиться вводити

вручну при завантаженні растру в ГІС. Ще одним недоліком типових растрових форматів є те, що вони мало придатні (дуже повільні) для роботи з великими растрами, типовими для ГІС, а також те, що вони не дають змоги працювати з багатозональними даними дистанційного зондування.

11. *Формат ERDAS Imagine* (файли з розширенням .IMG). У цьому форматі можна зберігати растрові дані з будь-якою кількістю шарів одночасно та параметрами геоприв'язки. За необхідності в цьому файлі зберігається додаткова пірамідальна структура, що дає змогу дуже швидко переглянути дані в будь-якому масштабі незалежно від реального (навіть дуже великого) розміру файлу.

12. *Формат GeoTIFF*. Цей формат є продовженням широко розповсюдженого реєстрового формату TIFF. Формат GeoTIFF доповнює растр параметрами геоприв'язки. Недоліком цього формату (як і його попередника TIFF) є невеликий ступінь стиснення даних, що унеможлиблює ефективну роботу з растрами великих розмірів.

13. *Формати Mr.SID і ECW*. Ці формати були створені для роботи з великими за розмірами растрами в середовищі ГІС. Формати відрізняються вищим рівнем стиснення (використовується метод вейвлет-стиснення) порівняно з іншими поширеними форматами даних. Крім того, дані у файлах Mr.SID і ECW організовані так, що з файлу можна дуже швидко витягнути будь-який фрагмент растру, із будь-якою необхідною роздільною здатністю.

4 РОБОТА З КАРТАМИ В ГІС

4.1 ГІС-проекти

Базовим поняттям у картографії є *карта* – графічне зображення просторових об'єктів. Аналогічно в геоінформаційних системах під терміном «карта» (*електронна карта*) розуміють сукупність даних, що унеможливають відображення просторових об'єктів на екрані комп'ютера, а також дають змогу редагувати й аналізувати ці дані.

Електронна карта складається із упорядкованої сукупності *графічних шарів* карти, які послідовно відображаються на екрані комп'ютера (рис. 4.1). За необхідності деякі шари карти можуть бути тимчасово вимкнені, щоб не заважати перегляду інших.