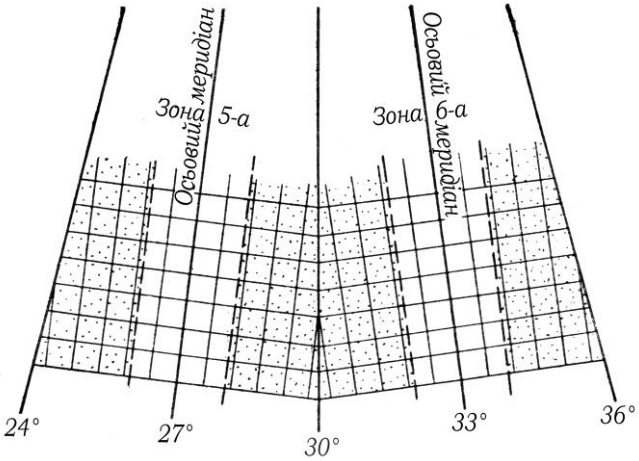
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
Географічний факультет
Кафедра геодезії та картографії

В. І. Остроух

ПРАКТИКУМ З ТОПОГРАФІЇ

Методичні вказівки
до виконання практичних робіт
для студентів напряму 6.0470103 – Геологія



Київ-2015

Практикум з топографії (методичні вказівки до виконання практичних робіт для студентів напряму 6.0470103 – Геологія) / В.І. Остроух. – К.: КиївЦНТЕІ, 2015. – 44 с.

Укладач: **Остроух В.І., канд. геогр. наук, доцент**

Рецензенти: **Молочко А.М., к.геогр.н., професор**
Кравченко Д.В., к.геол.н., доцент

Схвалено і рекомендовано до друку науково-методичною комісією ННІ «Інститут геології» Київського національного університету імені Тараса Шевченка, протокол №5 від 9 грудня 2014 року

Затверджено і рекомендовано до друку Вченою радою географічного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка, протокол №2 від 18 квітня 2015 року

© Остроух В.І., 2015

ВСТУП

Топографія **–** галузь науки, що вивчає топографічну карту як модель земної поверхні, а також методи її створення та використання. Вона нерозривно пов'язана з геодезією, наукою, що вивчає фігуру та розміри Землі.

Важливу роль при геологічному зніманні та картуванні, у пошуках та розвідці родовищ корисних копалин, а також при їх освоєнні та розробці відводиться геодезії та топографії. Геологи, перш ніж приступити до виконання своїх основних завдань, звертаються до топографічної карти, яку створили геодезисти і топографи. Геодезія та топографія передують і супроводжують увесь процес геологорозвідувальних робіт.

«Топографія» є нормативною навчальною дисципліною для підготовки фахівців геологічних спеціальностей.

Мета навчальної дисципліни – дати студентам базові знання з теорії розробки й удосконалення методів створення топографічних карт, способів зображення на них земної поверхні, вивчення властивостей, способів та правил їх використання у вирішенні наукових та практичних задач, а також сформувати належні практичні навички.

Основні завдання навчальної дисципліни:

- сформувати поняття про топографічну карту як про графічнумодель реальної місцевості;
- ознайомити студентів із сутністю та теоретичними основами створення топографічних карт та планів;
- навчити правильно застосовувати методичний інструментарій використання топографічних карт для вирішення наукових та практичних задач.

Земну поверхню, що є ***предметом*** вивчення в топографії, розуміють при цьому як *фізичну поверхню Землі* з усіма об'єктами природного та антропогенного походження, що формують зовнішній вигляд кожної ділянки цієї поверхні (*місцевості*). До природних об'єктів відносять рельєф, гідрографію, рослинний покрив і ґрунти, до об'єктів, які виникли внаслідок функціонування суспільства (їх ще називають соціально-економічними) – населені пункти, промислові, сільськогосподарські та соціально-культурні об'єкти, шляхи сполучення, гідротехнічні споруди тощо. Всі ці об'єкти є загальногеографічними складовими суходолу, яка традиційно вивчається топографією. В наш час (внаслідок інтенсивного освоєння) топографічному вивченню підлягає також дно мілководних ділянок морів (шельфу) і океанів та великих внутрішніх водойм.

Дисципліна вивчається на першому курсі в першому семестрі й складається з теоретичної та практичної частини. Практичні завдання виконуються на бланках, які надає викладач. Кожне завдання складається з окремих вправ, практичні поради до виконання яких подані після теоретичних відомостей та їх опису.

Усі практичні роботи вважаються виконаними після перевірки їх викладачем.

ТОПОГРАФІЧНА КАРТА

Результатом топографічного вивчення поверхні Землі є ***топографічна карта*** *– зменшене, узагальнене, математично визначене, плоске зображення ділянок суші або шельфу, що з мінімально можливими спотвореннями за допомогою певної системи умовних позначень показує розміщення, стан і взаємозв'язки загальногеографічних складових* (*елементів*) *земної поверхні.* Стандартне визначення засвідчує, що топографічна карта – це *детальне зображення місцевості, яке дозволяє визначити як планове, так і висотне положення точок земної поверхні.* Виходячи із сучасних уявлень топографічну карту слід розглядати як *просторову образно-знакову модель земної поверхні з притаманними їй властивостями.*

Топографічне зображення місцевості без врахування кривизни поверхні землі називають ***планами.***

Топографічні карти є багатоаркушевими. Кожний аркуш топографічної карти або плану має закінчене оформлення (рис. 1). *Основними елементами оформлення* є: рамка аркуша, елементи якої визначені математичною основою; координатна сітка; позарамкове оформлення, яке складається з елементів допоміжного оснащення і додаткових даних.

Рамка аркуша карти несе подвійну функцію: обмежує зображення ділянки місцевості та відіграє частково роль допоміжного оснащення, що дозволяє визначати планові координати точок на карті. Рамка складається з трьох елементів: внутрішньої, мінутної та зовнішньої рамок.

Координатною сіткою на картах масштабу 1:500 000 та 1:1 000 000 є *картографічна сітка* паралелей і меридіанів, а на картах масштабу 1:10 000 – 1:200 000 — *кілометрова сітка* як частина зональної системи плоских прямокутних координат (її лінії проводять через ціле число кілометрів: 1 км у масштабі 1:10 000 - 1:50 000, 2 км у масштабі 1:100 000, 10 км у масштабі 1:200 000). Значення ліній кілометрової сітки вказуються між внутрішньою і мінутною рамками.

Позарамкове оформлення містить елементи *допоміжного оснащення*: номенклатуру аркуша (над північною стороною рамки) і номенклатури *суміжних аркушів*. Поряд з номенклатурою, вказується назва найбільшого населеного пункту, зображеного на аркуші. Під південною рамкою розміщені відомості про магнітне схилення для території, що зображена на карті, середнє Гауссове зближення меридіанів, поправка до дирекційного кута при обчисленні магнітного азимута, схема взаємного розміщення географічного (істинного), магнітного меридіанів і вертикальної лінії сітки (лінії паралельної осьовому меридіану зони). Тут також подаються чисельний, іменований та лінійний масштаби карти, кількість метрів, через яку проведені суцільні горизонталі, графік закладань. *Додатковими даними* є відомості про час створення, оновлення карти та її видання.

Значення топографічних карт важко переоцінити – вони *дають можливість* вивчати місцевість без її безпосереднього спостереження і є тією

основою, на якій відображаються результати досліджень в геології, геофізиці та інших науках, які вивчають Землю. На основі топографічних карт *складають* географічні, геологічні та інші спеціальні карти. Топографічні карти *використовуються* в державному плануванні, для проектування інженерних споруд, в організації експлуатації родовищ корисних копалин.

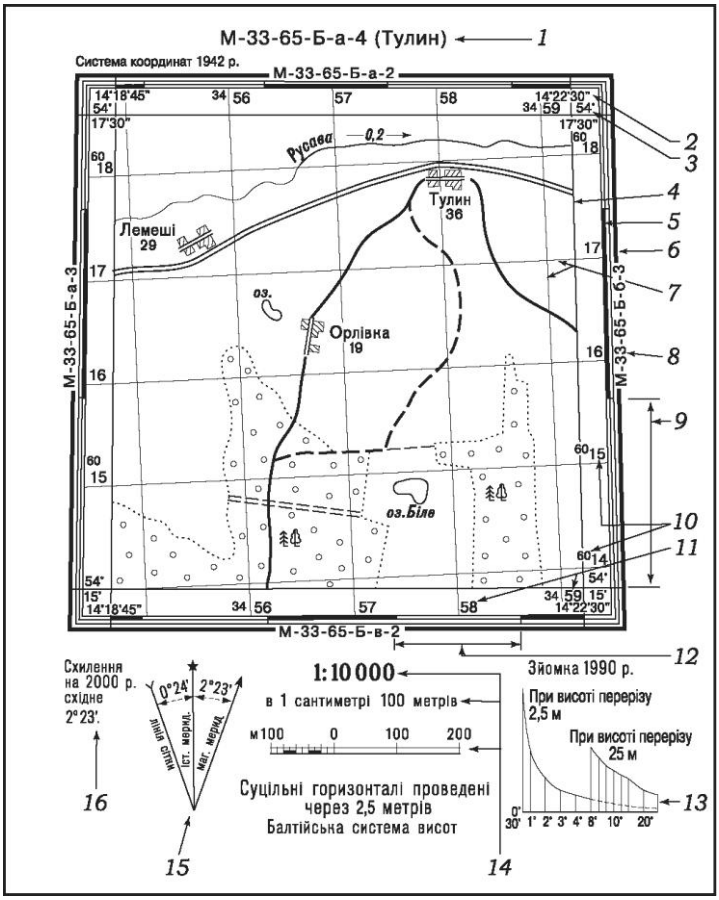


Рис.1. Схематичне зображення аркуша топографічної карти:
1 **- номенклатура аркуша,** ***2, 3*** **- географічні довгота і широта кута внутрішньої рамки;** ***4*** **- внутрішня рамка;** ***5*** **- мінутна рамка;** ***6*** **- зовнішня рамка;** ***7*** **- лінії координатної сітки;** ***8*** **- номенклатура суміжного аркуша;** ***9*** **- довжина однієї мінути за широтою;** ***10*** **- оцифрування горизонтальних ліній сітки;**
11 **- оцифрування вертикальних ліній сітки;** ***12*** **- довжина однієї мінути за довготою;** ***13*** **- графік закладання;** ***14*** **- масштаби;** ***15*** **- схема взаємного положення меридіанів;** ***16*** **- довідкові дані для визначення кутів орієнтування**

МАСШТАБИ

Теоретичні відомості

Масштаб – відношення, що показує у скільки разів зменшені лінійні розміри Земної кулі або еліпсоїда під час її (його) зображенні на карті. Це можна записати у вигляді формули:

$$M = l : s \text{ або } 1 : m = l : s, \text{ якщо } M = 1 : m \qquad (1)$$

де M – масштаб, l – довжина відрізка прямої на карті, s – довжина відповідної йому лінії на еліпсоїді, m – число, що показує ступінь зменшення об'єктів, зображенних на карті.

Масштаб можна виразити абстрактним числом *(чисельний масштаб),* вербально *(іменований масштаб)* та графічно *(лінійний і поперечний масштаби)*.

Чисельний масштаб виражає абстрактне співвідношення відрізка прямої на карті та відповідної йому лінії на еліпсоїді (рис. 2 а).

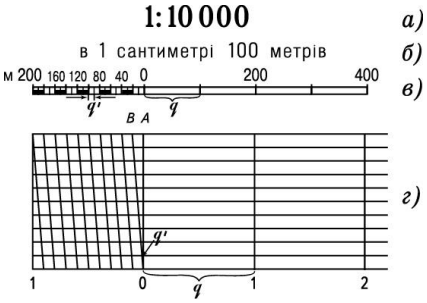


Рис. 2

Іменований масштаб виражений повним найменуванням чисел, що позначають довжини взаємно відповідних відрізків на карті та в дійсності (рис. 2 б).

Графічні масштаби подаються у вигляді графіків, призначених для безпосереднього переведення довжин відрізків, що вимірюються на карті, у відповідні довжини на еліпсоїді або на місцевості, полегшують і прискорюють вимірювання на карті. На рис. 2в показаний лінійний масштаб, на рис. 2 г подано поперечний масштаб.

Лінійний масштаб подається у вигляді прямої лінії, розділеної на рівні частини з підписаними значеннями відповідних їм відстаней на місцевості.

Поперечний масштаб – це графічний масштаб, який будується у вигляді паралельних рівновіддалених прямих, розділених на рівні відрізки. Крайня ліва частина як правило поділяється на 10 рівних частин, а точки поділу з'єднуються похилими лініями, які називаються *трансверсалями*.

Рівні відрізки, відкладені послідовно на прямих графічних масштабів, називаються *основою* масштабу, наприклад на рис. 2 в і 2 г ці відрізки позначені літерою q.

Частина крайньої лівої основи лінійного масштабу, отримана в результаті його поділу на рівні відрізки, є *найменшою поділкою лінійного масштабу*. Вона позначається літерою q' та може дорівнювати 1/10 основи, тоді $q' = 1/10\ q$.

Найменша поділка поперечного масштабу – відрізок на другій знизу горизонтальній лінії графіка між перпендикуляром ОА і похилою лінією (трансверсаллю) ОВ (див. рис. 2 г). Таким чином, у нормального поперечного масштабу ця найменша поділка дорівнює 1/100 основи, в той час як сама основа поділяється на 10 частин, тобто вказані частини основи можуть бути позначені як 1/10 q та 1/100 q.

Ціна основи, 1/10 або 1/100 її частини – довжина горизонтальної проекції лінії на місцевості, що відповідає кожній з названих поділок масштабу, виражена в метрах або кілометрах. Вона позначається як c_q, $c_{q'}$ і т.д.

Точність масштабу – довжина горизонтальної проекції лінії на місцевості, що відповідає 0,1 мм на карті.

Державні топографічні карти України створюються та видаються у масштабах від 1:1 000 000 до 1:10 000, а саме: 1:1 000 000, 1:500 000, 1:200 000, 1:100 000, 1:50 000, 1:25 000 та 1:10 000.

Знання масштабу карти дозволяє вирішувати задачу визначення довжин ліній на місцевості s за даними вимірів довжин відрізків на карті l.

З формули (1) випливає, що

$$s = l \cdot m, \text{ а } l = s : m \qquad (2, 3)$$

При q = 1 см, $c_q = m$, l також буде виражено у сантиметрах, тоді

$$s = l \cdot c_q, \; l = s : c_q \qquad (4, 5)$$

У випадку, коли q = 2 см або більше, то c_q буде відрізнятися від m. В даному випадку l визначається в поділках масштабу.

Довжина відрізка, що вимірюється, в поділках лінійного масштабу буде визначатися:

$$l = n_q + n_{1/10q}, \qquad (6)$$

де n_q та $n_{1/10q}$ – кількість основ q та кількість найменших поділок, що дорівнюють 1/10q. Тоді формулу (4) можна записати наступним чином:

$$s = (n_q + n_{1/10q}) \cdot c_q \qquad (7)$$

Значення відрізка, що вимірюється, можна записати так: $l = n_q + n_{q'}$, тоді разом із встановленням значення c_q, треба визначити $c_{q'}$ і довжина відрізка буде визначатися за формулою:

$$s = n_q c_q + n_{q'} c_{q'} \qquad (8)$$

При вимірюванні довжин ліній за допомогою поперечного масштабу формула буде записана так:

$$s = (n_q + n_{1/10q} + n_{1/100q'}) \cdot c_q \qquad (9)$$

Завдання 1. Масштаби топографічних карт.

Вправа 1. Визначити ціну основи і найменшої поділки лінійних масштабів (див. бланк завдання) з основою 1 та 2 см для масштабів карт 1:100 000, 1:50 000, 1:25 000, 1:10 000, 1:5 000.

Вправа 2. Визначити точність зазначених вище масштабів.

Вправа 3. Виміряти за допомогою названих лінійних масштабів довжини п'яти різних відрізків прямої в зазначених вище масштабах – перший відрізок у масштабі 1:100 000, другий – 1:50 000 і т.д. Для виконання вправи треба позначити відрізки, які необхідно виміряти, на лініях, проведених у правому верхньому куті бланка завдання. Кожний з відрізків необхідно виміряти двічі – за допомогою лінійного масштабу з основою 1 см (рис. 3), а потім з основою 2 см.

Вправа 4. Визначити ціну основи, 1/10 та 1/100 основи (найменшої поділки) нормального поперечного масштабу.

Вправа 5. Виміряти за допомогою названого масштабу довжини п'яти відрізків різної довжини в масштабах, зазначених на бланку завдання. Для виконання вправи дані відрізки треба позначити на графіку поперечного масштабу хрестиками (як показано на рис. 4) і пронумерувати.

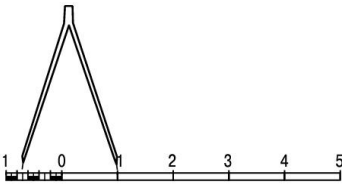


Рис. 3

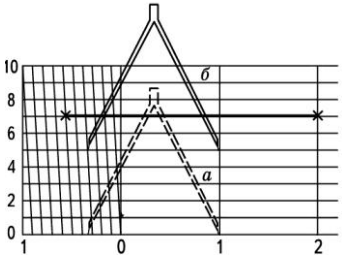


Рис. 4

Вправа 6. Відкласти за допомогою поперечного масштабу на прямих, прокреслених у нижній частині бланку, довжини горизонтальних проекцій ліній на місцевості в заданих масштабах (табл. 1).

Наколи голок вимірювача при нанесенні заданих відстаней необхідно обвести колами діаметром 2 мм і з'єднати потовщеною лінією.

Таблиця 1

Лінія	Масштаб

Вправа 7. Визначити масштаб карти за довжинами горизонтальних проекцій ліній на місцевості і відповідним їм відрізкам на карті (табл. 2).

Таблиця 2

Лінія	
на місцевості, м	на карті, см

Практичні поради

Для вимірювань по карті необхідно використовувати циркуль-вимірювач. У процесі вимірювань циркуль встановлюють перпендикулярно до площини карти та графіка масштабу. Наколи голок вимірювача не повинні бути грубими. Необхідні побудови на карті проводять гостро заточеним простим олівцем.

Вимірювання довжин ліній розпочинається з встановлення величини і ціни основи графічного масштабу та його частин.

Вимірюючи довжину відрізка одним створом вимірювача за допомогою *лінійного масштабу,* необхідно відстань між голками встановити такою, що дорівнює довжині прямої між заданими точками на карті. Не змінюючи створу, прикладають вимірювач до масштабу так, щоб одна голка сполучилася з границею якої-небудь поділки справа від нульового штриха, а друга потрапила на крайню ліву основу, розділену на більш дрібні поділки (див. рис. 3).

Розглянемо вимірювання довжини відрізка на прикладі. Якщо масштаб карти 1:10 000, q = 1 см, q' = 1/10q, то c_q = 100 м, $c_{q'}$ = 10 м. При n_q = 1, $n_{q'}$ = 6, $n_{1/10q}$ = 0,6. Тоді: s = (1 + 0,6) ·100 м = 160 м – за формулою (7), s = 1 · 100 м + 6 · 10м = 160 м – за формулою (8).

Якщо вимірювання проводяться за масштабом, на якому підписані значення відповідних їм відстаней на місцевості, то обумовлена відстань дорівнює сумі відліків по правій і лівій голках вимірювача (на рис. 5 вона складає 1200 м).

При вимірюванні довжин ліній за допомогою поперечного масштабу циркуль-вимірювач, ствір якого дорівнює відстані, що вимірюється, встановлюють на нижній лінії графіка так, як і на лінійному масштабі (див. рис. 4, положення а).

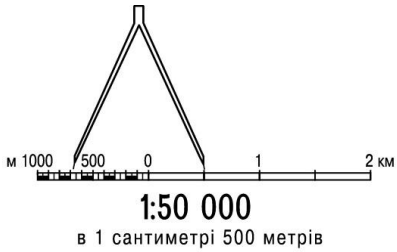


Рис. 5

Потім вимірювач переміщують нагору доти, поки ліва голка не співпаде з перетином якої-небудь горизонтальної лінії з однією з трансверсалей (див. рис. 4, положення б). При цьому обидві голки вимірювача повинні бути на одній горизонтальній прямій.

Наприклад, якщо масштаб карти 1:50 000, q = 2 см, то c_q = 500 м ·2 = 1000 м (тому, що в 1 см 500 м). Відповідно до формули (9) при n_q = 1, $n_{1/10q}$ = 0,3, $n_{1/100q}$ = 0,05

$$s = (1+ 0,3 + 0,05) \cdot 1000 \text{ м} = 1350 \text{ м}.$$

Дана задача може бути вирішена інакше. Якщо позначити 1/10 основи q', а 1/100 – q'', тоді $c_{q'}$ = 100 м, $c_{q''}$ = 10 м і при n_q = 1, $n_{q'}$ = 3, $n_{q''}$ = 5,

$$s = n_q c_q + n_{q'} c_{q'} + n_{q''} c_{q''} = 1 \cdot 1000 \text{ м} + 3 \cdot 100 \text{ м} + 5 \cdot 10 \text{ м} = 1350 \text{ м}$$

Для визначення точності масштабу досить у знаменнику чисельного масштабу відокремити комою чотири цифри праворуч. Отримане число відповідатиме 0,1 мм, вираженої в масштабі карти. Наприклад, для масштабу 1:5 000 точність дорівнює 0,5 м, для масштабу 1:10 000 – 1 м.

Щоб відкласти на карті задану відстань за допомогою поперечного масштабу, варто обчислити величину створу вимірювача. Для цього використовується формула (8). Наприклад, при s = 2670 м, c_q = 1000 м, l = 2,67 поділкам масштабу. Кількість сотих в отриманому значенні l визначає ту лінію поперечного масштабу, на якій потрібно установити голку вимірювача. На рис. 4, обчисленому створу відповідає потовщена лінія, кінці якої відзначені хрестиками.

При обчисленні масштабу карти за відомим значенням l та s за формулою (1), варто пам’ятати про необхідність вираження s у сантиметрах. Наприклад, s = 2500 м, l = 2,5 см, l : m = 2,5 см : 250 000 см = 1:10 000.

Якщо обчислений знаменник масштабу трохи відрізняється від стандартного значення (що може бути наслідком похибок вимірів), то його необхідно округлити до найближчого стандартного значення знаменника. Наприклад, якщо в результаті обчислення отриманий знаменник 4950 або 5010, то найближче значення буде 5000, з чого слідує, що масштаб карти – 1:5 000.

УМОВНІ ЗНАКИ

Теоретичні відомості

Картографічні умовні знаки – це графічні, образно-знакові побудови (позначення) визначеної величини, форми і кольору, за допомогою яких на картах зображуються різні природні та соціально-економічні явища та об’єкти місцевості, а також їхні кількісні і якісні характеристики. Всі об’єкти місцевості зображуються на картах в ортогональній проекції (вигляд зверху) за допомогою точок, ліній або контурів. Умовні знаки розроблені таким чином, щоб їх можна було легко побудувати і викреслити від руки, за допомогою креслярських інструментів або на комп’ютері.

Знання умовних знаків та їхніх властивостей – необхідна умова розуміння змісту карти, основа вміння «читати» карту, одержувати за її допомогою потрібні відомості про зображену територію, правильно проводити вимірювальні роботи.

Велика розмаїтість об'єктів місцевості за формою та площею обумовлює розподіл умовних знаків. Вони поділяються на площинні (масштабні), лінійні, позамасштабні та пояснювальні.

Площинні (масштабні) умовні знаки застосовуються тоді, коли розміри об'єктів місцевості виражаються в масштабі карти. Об'єкти, спроектовані на карту у вигляді обмеженої контуром площі і заповнені всередині умовними знаками або підписом, називаються площинними або контурними. Всередині площі умовні знаки розміщують рівномірно в довільному або в строго визначеному порядку. Умовні знаки, що заповнюють усю площу, не вказують ні місце розташування самих предметів у межах контуру, ні їхню кількість або розмір. Іноді замість умовних знаків, що заповнюють, застосовується фонове фарбування. Наприклад, площу, яку займає ліс, фарбують у зелений колір. Іноді застосовують заповнення площі штриховим умовним знаком по фоновому фарбуванню.

Часто на оригіналі карти замість заповнювального умовного знаку усередині контуру дають пояснювальний підпис.

До *лінійних* відносяться умовні знаки, що мають лінійну протяжність – шляхи сполучення, границі, огорожі і т.д.

На карті їхні проекції виглядають у вигляді ліній. Лінійні умовні знаки зберігають у масштабі карти довжину того чи іншого об'єкта, а ширина об'єкта збільшена, тобто лінійні умовні знаки по ширині є позамасштабними. Умовний знак будується по осі лінійного об'єкта.

Але, на планах масштабу 1:2 000, 1:5 000 і т.д. дороги виражаються в масштабі карти не тільки по довжині, але і по ширині. З двох сторін від лінії автостради пунктирною лінією зеленого кольору (або двома паралельними лініями) показується канава. У розриві дороги дається її характеристика, що позначає: 8 – ширина смуги в метрах; 2 – кількість смуг; 24,5 – ширина дороги від канави до канави в м; А – матеріал покриття.

До *позамасштабних* відносяться умовні знаки окремих об'єктів місцевості, площа яких не виражається в масштабі карти. Їхньою проекцією на карту є точка, щодо якої будується той або інший позамасштабний знак. До таких предметів місцевості можна віднести пункти державної геодезичної мережі, окремі дерева, покажчики доріг і т.д. Умовний знак центрується на точку по-різному, в залежності від його форми і малюнка: якщо умовний знак має вид геометричної фігури, то дійсному положенню на місцевості такого предмета відповідає його геометричний центр; якщо в малюнку умовного знака є прямий кут, то за центр знака приймають вершину кута або основу підошви знака; якщо умовний знак зображується фігурою із широкою основою, то такий знак центрується на точку серединою основи; якщо умовний знак являє собою

сполучення декількох фігур, то такий знак центрується на точку центром нижньої фігури.

Позамасштабні умовні знаки орієнтують щодо північної і південної рамок карти чи середнього меридіана, а не щодо контуру, у якому він розміщений. Кілометрові стовпи орієнтуються відносно дороги, тобто вміщуються перпендикулярно до її лінії.

До особливої групи відносять пояснювальні буквені і цифрові позначення, які дають на карті додаткову якісну або кількісну характеристику. Вони, як правило, застосовуються в сполученні з площинними, лінійними і позамасштабними умовними знаками.

До пояснювальних умовних знаків відносяться, наприклад, знаки, що позначають переважну породу лісу або чагарнику. Тут же дається кількісна характеристика, що позначає середню висоту, середню товщину дерев, а також густоту лісу. На болотах підписується їхня середня глибина тощо.

Часто пояснювальний підпис на карті подається в скороченому вигляді. Як правило, він розташовується праворуч від умовного знака або на вільному місці там, де його добре видно. Підпис розміщують на такій відстані від умовного знаку, щоб не виникло сумніву, до якого умовного знаку він відноситься. Буквені і цифрові позначення розташовують паралельно до північної і південної рамок карти. Виключення складають підписи будівель на топографічних планах масштабу 1:2 000 і крупніше. Вони містяться усередині контуру будівель, посередині, паралельно довгій стороні будівлі. Те ж відноситься до підписів площинних умовних знаків, наприклад “город”.

Малюнок, колір і розміри умовних знаків для топографічних карт і планів встановлені в спеціальних *таблицях умовних знаків*. Вони є обов’язковими для усіх відомств і установ, що проводять зйомку чи укладання топографічної карти (плану) у тому або іншому масштабі. Умовні знаки всіх масштабів є стандартними і, як правило, погодженими між собою за формою (зображенням) і кольором. В залежності від масштабу змінюється тільки розмір умовного знака. Така погодженість полегшує спільне використання карт різних масштабів. Для кожного або декількох масштабів видаються таблиці умовних знаків.

Наприклад, умовні знаки в таблицях “Умовні знаки для топографічної карти масштабу 1:10 000”, затверджених наказом Міністерства екології та природних ресурсів України від 9 липня 2001 р., № 254 та виданих у 2002 р., згруповані по розділах відповідно до основних об’єктів місцевості: кордони, межі та огорожі; геодезичні пункти; населені пункти та окремі будівлі; промислові, сільськогосподарські та соціально–культурні об’єкти; залізниці та залізничні споруди; автомобільні та ґрунтові дороги; гідрографія; об’єкти гідротехнічні та водного транспорту; об’єкти водопостачання; мости та переправи; рельєф; рослинність; ґрунти та мікроформи земної поверхні; болота та солончаки.

Крім умовних знаків у таблицях поміщені зразки шрифтів підписів; зразки шрифтів; шкала кольорів, що застосовуються для друкування карт з параметрами кольору в палітрі CMYK; графіки закладань рельєфу; оформлення рамок і позарамкового оформлення.

Таке групування умовних знаків по розділах полегшує користування ними. Крім самих умовних знаків у таблицях даються приклади їхніх сполучень, а наприкінці розміщені пояснення до умовних знаків по розділах.

У необхідних випадках умовні знаки подано у двох варіантах: для позамасштабного зображення топографічних об'єктів (біля знака стоїть літера *а*) і для їх зображення в масштабі карти, коли розміри об'єктів у цьому масштабі більші за розміри відповідних знаків, зображених у таблицях (біля знака – літера *б*) (див. таблиці умовних знаків).

Завдання 2. Умовні знаки топографічних карт.

Вправа 1. Визначити об'єкти, зображені на ділянці карти. Для виконання вправи на навчальній карті, прикладеної до завдання, необхідно оконтурити ділянку площею 20х20 см.

Вправа 2. У відповідних графах бланка завдання дати олівцем схематичне зображення умовних знаків, що на ділянці карти позначають різні географічні об'єкти і предмети місцевості (населені пункти, річки, озера, рельєф, рослинність, залізниці та автошляхи і т.д.), а також їхні кількісні та якісні характеристики та вказати їхнє значення.

Практичні поради

Перед виконанням завдання необхідно ознайомитися з таблицями умовних знаків для відповідного масштабу і визначити за ними значення умовних знаків, що зустрічаються на ділянці топографічної карти.

СИСТЕМИ КООРДИНАТ

Теоретичні відомості

Кутові або лінійні величини, що визначають положення точки на будь-якій поверхні або в просторі, називаються ***координатами***.

Географічні координати – кутові величини (довгота та широта), за допомогою яких визначають положення об'єкта або точки на поверхні Землі чи земного еліпсоїда відносно початкового (Ґринвіцького) меридіана та екватора (нульової паралелі).

Географічна широта (φ) – кут, утворений площиною екватора та площиною прямовисної лінії, що проходить через задану точку. Відраховується широта на північ і південь від екватора уздовж меридіанів і називається відповідно північною (пн. ш.) чи південною (пд. ш.). Змінюється від 0 до 90° (рис. 6).

Географічна довгота (λ) – кут між площинами початкового (нульового) меридіана і меридіана заданої точки. Вона відраховується на схід та захід від Ґринвіцького меридіана уздовж паралелей і називається, відповідно, східною (сх. д.) або західною (зх. д.). Змінюється довгота від 0 до 180° (див. рис. 6).

Топографічні карти будуються з урахуванням наближеної до форми Землі фігури – еліпсоїда, відносно якого географічні координати прийнято називати геодезичними і позначати відповідно B – широта та L – довгота.

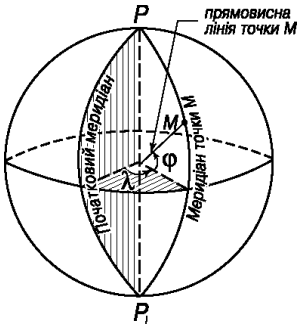


Рис. 6

Для визначення географічних координат за топографічною картою слід користуватися внутрішньою рамкою карти, яка позначає паралелі та меридіани, а також мінутною рамкою (див. рис. 1). Сторони цієї рамки розділені на відрізки, які дорівнюють лінійній довжині однієї мінути відповідних паралелей і меридіанів. Кількість мінутних відрізків на сторонах рамки дорівнює різниці координат її кутів по довготі (на горизонтальних сторонах) і широті (на вертикальних). У свою чергу, кожна мінутна поділка розбита точками на 10–секундні відрізки.

Плоскі прямокутні координати визначають положення точок, на площині лінійними величинами **x** та **y** відносно двох взаємно перпендикулярних прямих, прийнятих за вісь абсцис X і вісь ординат Y (рис. 7). У топографії така система створюється для кожної координатної зони, яка виділяється на поверхні земного еліпсоїда при його зображенні в проекції Гаусса-Крюгера. Віссю абсцис є середній (осьовий) меридіан зони, а віссю ординат – лінія екватора. Початок відліку координат – точка O, це перетин осей X і Y, які утворюють 4 чверті; їх рахунок ведеться від осьового меридіана за годинниковою стрілкою. Північний напрямок осі X і східний – осі Y прийнято вважати додатні (зі знаком +), протилежні зазначеним напрямкам – від’ємні (зі знаком –). Положення точки в цій системі визначається абсцисою X, що дорівнює відстані від екватора до точки, і ординатою Y, що вказує віддаленість точки від осьового меридіана (рис. 8). Для того, щоб ординати не мали в межах зони від’ємних знаків, початкова точка їхнього відліку умовно вважається такою, що дорівнює 500 000 м. В результаті цього нульова точка виноситься за межі зони і ординати приймають тільки додатні значення (див. рис. 8).

Для показу положення зони на земній поверхні, на початку ординати ставиться її номер.

Наприклад, ордината точки A на рис. 8 має значення 6722738, отже, точка знаходиться в шостій зоні на відстані 722738 м. від початку відліку координат. Якщо обчислити різницю 722738 – 500000, одержимо віддаленість точки від осьового меридіана, що у нашому прикладі дорівнює 222738.

Для спрощення роботи з визначення прямокутних координат на кожному аркуші карти проведені рівновіддалені вертикальні та горизонтальні лінії, що паралельні до осьового меридіана зони та екватора. Відстань між ними в масштабі карти дорівнює 1 км на картах масштабу 1:10 000 – 1:50 000, 2 км – на карті масштабу 1:100 000. Система цих ліній називається в топографії *координатною* або кілометровою сіткою. Значення ліній подані між внутрішньою та мінутною рамками аркуша карти (див. рис. 1). Абсциси зазначені на горизонтальних лініях (уздовж західної і східної рамок), ординати – біля вертикальних ліній (уздовж північної і південної рамок). При цьому поблизу кутів рамки координати зазначені повністю, а для проміжних ліній – скорочено. Варто звернути увагу на те, що координатні лінії в загальному випадку не паралельні до сторін рамки аркуша карти (рис. 9).

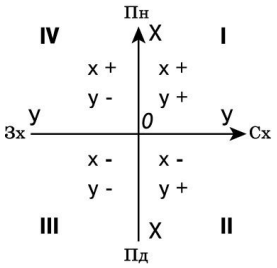


Рис. 7

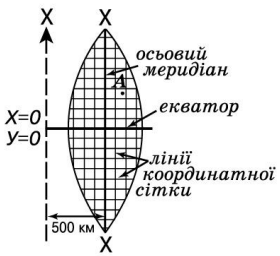


Рис. 8

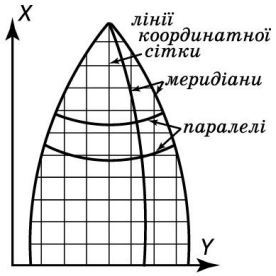


Рис. 9

Місцеположення точки на карті може бути подано скороченими координатами, що містять тільки десятки й одиниці кілометрів, підписаних біля ліній кілометрової сітки. Наприклад, повні координати x = 6016350 та y = 3456810, скорочені – x = 16350 та y = 56810 (координати населеного пункту Орлівка на рис. 1). Квадрат, у якому розташовується заданий об’єкт, вказується значеннями його нижньої і лівої сторін у десятках кілометрів (перші дві цифри в скорочених координатах). Наприклад, об’єкт із приведеними вище координатами знаходиться в квадраті 1656.

Завдання 3. Системи координат.

Вправа 1. Визначити прямокутні координати чотирьох точок.

Вправа 2. Визначити географічні координати тих же точок. Для виконання вправ нанести на навчальну карту точки, дотримуючись наступних умов:

- точки не повинні розташовуватися на лініях кілометрової сітки і збігатися з точками, що мають підписані на карті відмітки висот;
- відстані між точками не повинні перевищувати 8 – 10 см.;
- точки акуратно позначаються олівцем та окреслюються колами діаметром 2 мм.;

- точки необхідно з'єднати прямими лініями, слідкуючи за тим, щоб вони не закривали точки;
- нумерацію точок провести за годинниковою стрілкою.

Вправа 3. На фрагменті карти, поданому на бланку завдання, нанести точки по заданих прямокутних координатах (табл. 3).

Вправа. 4. На тому ж фрагменті нанести точки по заданих географічних координатах (табл. 4). Допоміжні лінії, проведені у процесі виконання вправ, не стирати.

Таблиця 3

Точка	Координати	
	X	Y
I		
II		
III		

Таблиця 4

Точка	Координати	
	B	L
A		
B		
C		

Практичні поради

Робота з визначення географічних координат починається з проведення на карті простим олівцем найближчих до об'єкта південної паралелі та західного меридіана. Для цього з'єднують прямими лініями однакові мітки на протилежних сторонах рамки (під мітками розуміються границі мінутних і 10-секундних відрізків). Однозначними будуть мітки, розташовані на рівних відстанях від кутів рамки аркуша з однаковими значеннями широти або довготи. Потім від об'єкта (точка А на рис. 10) на проведені паралель і меридіан опускають перпендикуляри ΔB та ΔL і визначають їхню довжину в градусній мірі. Для цього за допомогою вимірювача порівнюють довжину перпендикулярів і відповідних 10-секундних відрізків (ΔB з відрізками на вертикальних сторонах, ΔL – на горизонтальних) і оцінюють на око їхнє значення. Координати точки А – B_A та L_A утворюються з координат прокреслених паралелі $B_{пд}$ і меридіана $L_{зх}$ і значень перпендикулярів, тобто

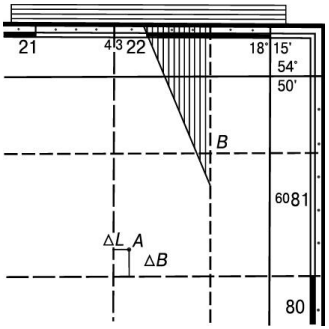


Рис. 10

$$B_A = B_{пд} + \Delta B, \quad L_A = L_{зх} + \Delta L. \qquad (10)$$

На рис. 10 $B_{пд} = 54°49'$; $\Delta B = 8''$; $B_A = 54°49'08''$; $L_{зх} = 18°13'40''$; $\Delta L = 9''$; $L_A = 18°13'49''$;

При певних навичках можна досить точно проводити паралель і меридіан, що визначають положення об'єкта в системі географічних координат. У цьому випадку досить визначити B паралелі і L меридіана, які проходять через об'єкт (на рис. 10 $B_B = 54°49'37''$, $L_B = 18°14'30''$).

Основою для визначення плоских прямокутних координат служить кілометрова сітка аркуша карти. Робота починається із встановлення значень найближчих до заданого об’єкта нижньої та лівої ліній сітки $X_н$ і $Y_л$. Потім на ці лінії опускають перпендикуляри та вимірюють їхню довжину в масштабі карти, одержуючи таким чином величини Δx і Δy, тоді $X_A = X_н + \Delta x$, $Y_A = Y_л + \Delta y$.

На рис. 11 $X_A = 6080000 + 800 = 6080800$, $Y_A = 4322000 + 600 = 4322600$, тобто значення ліній сітки виражені в метрах, як і виміряні величини Δx і Δy. Позначення метрів у кінці координат опускаються.

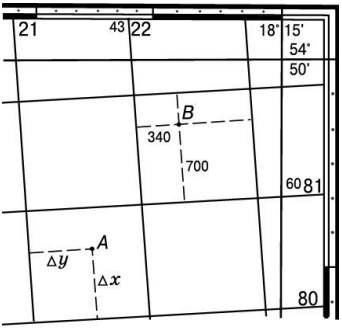


Рис. 11

В окремих випадках прямокутні координати якого-небудь об’єкта N визначаються відносно найближчих до нього верхньої і правої ліній сітки. Тоді $X_N = X_в - \Delta x$, $Y_N = Y_п - \Delta y$.

Нанесення об’єкта на карту по заданих географічних координатах здійснюється зворотним до вище викладеного способом. Наприклад, потрібно нанести на карту об’єкт із координатами B = 54°49′37″ та L = 18°14′30″. Для цього на північній та південній сторонах мінутної рамки намічаємо точки з зазначеним значенням довготи і з’єднуємо їх за допомогою лінійки прямою лінією. Вона є відрізком меридіана, на якому знаходиться заданий об’єкт. З’єднавши намічені на західній і східній сторонах рамки точки з заданою широтою, одержимо напрямок паралелі, на якій знаходиться об’єкт. Перетин проведених меридіана і паралелі вказує положення заданого об’єкта на карті (точка B на рис. 10).

З меншою точністю нанести об’єкт на карту по заданих географічних координатах можна, відновлюючи перпендикуляри від намічених на мінутній рамці точок з відповідними довготою і широтою. Перетин перпендикулярів визначить положення об’єкта. Роботу зручно виконувати за допомогою лінійки, що прикладається до рамки карти, і трикутника, положення якого щодо лінійки показане на рис. 10.

Нанесення на карту об’єкта по заданих прямокутних координатах починається з пошуку квадрата, у якому буде розташовуватися об’єкт. Потрібний квадрат визначається по перших чотирьох (у повних значеннях координат) або двох (якщо координати подані у скороченому записі) цифрах заданих значень x та y. Далі, користуючись вимірювачем і лінійним масштабом, відкладають по обох вертикальних сторонах знайденого квадрата догори від його нижніх кутів величину приросту Δx, виражену трьома останніми цифрами абсциси. Аналогічну роботу проводять на горизонтальних сторонах квадрата, відкладаючи значення Δy від його лівих кутів. Одержані в результаті точки на протилежних сторонах квадрата з’єднують прямими, перетин яких визначає положення заданого об’єкта. Наприклад, якщо потрібно нанести на карту точку

з координатами x = 6081700, y = 4322340, то вона буде розташовуватися в квадраті 8122 на відстані 700 до від нижньої сторони квадрата та – 340 м від лівої (див. рис. 11).

КУТИ ОРІЄНТУВАННЯ

Теоретичні відомості

Орієнтування лінії на місцевості або карті *є визначенням її напрямку щодо іншого напрямку, який беруть за вихідний, або початковий.*

Положення орієнтованої лінії вказується величиною кута, який називається ***кутом орієнтування*** між вихідним і обумовленим напрямками. За ***вихідні напрямки*** прийнято: *географічний меридіан* (на топографічних картах він має назву *істинного*), *магнітний меридіан* (збігається з напрямком вільно підвішеної магнітної стрілки) і *осьовий меридіан* (прийнятий за вісь *XX* у системі плоских прямокутних координат, див. рис. 8). На схемах взаємного положення меридіанів, розміщених на картах (див. рис. 1), перший напрямок позначають зірочкою, другий – прямою стрілочкою, третій – зворотною стрілочкою (рис. 13 а.).

Основний вихідний напрямок – *напрямок географічного меридіана.*

Орієнтувальними кутами напрямку є *азимути, дирекційний кут, румб.*

Кути орієнтування:

- *азимут географічний* або істинний (А) – кут, що відраховується від північного напрямку географічного меридіана до заданого напрямку;
- *азимут магнітний* (A_M) – кут, що відраховується від північного напрямку магнітного меридіана до заданого напрямку;
- *дирекційний кут* (α) – кут, що відраховується від північного напрямку осьового меридіану або лінії, паралельної йому до заданого напрямку.

Усі названі кути відраховуються за годинниковою стрілкою і змінюються від 0 до 360°.

- *румб* (r) – кут, що відраховується від найближчого, північного або південного напрямку якого–небудь меридіана (рис. 13 б). Румб змінюється від 0 до 90° і знаходиться в певній чверті, яка позначається відповідним напрямком, тому до кутової величини румба додається позначення чверті, у якому знаходиться орієнтована лінія. Наприклад, А = 29°, r = ПнСх:29°.

Географічний і магнітний меридіани, а також лінія, паралельна осьовому меридіану, вертикальна лінія сітки або просто лінія сітки, проведені через одну точку на карті, не збігаються. Магнітний меридіан відхиляється від географічного на кут, що називається *схиленням магнітної стрілки* або *магнітним схиленням* (δ). Лінії сітки відхиляються від географічного меридіана на кут, що називається *гауссовим зближенням меридіанів* (γ). Магнітний меридіан і лінія сітки відхиляються від географічного меридіана або на схід або

на захід. Східне схилення вважається додатнім, тому δ і γ приймають знак плюс (+), західне схилення прийнято вважати від'ємним, δ і γ в у цьому випадку приймають знак мінус (–) (рис. 12).

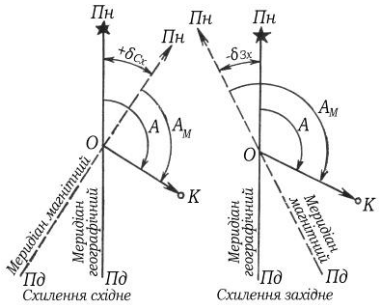


Рис. 12

Схилення δ змінюється із зміною місця і часу. На території України воно коливається від + 2° до + 6°. Розрізняють добові, річні і вікові зміни схилення. Якщо перші з них відносно малі, то річні та вікові можуть досягати величин у десятки градусів за кілька століть. Схилення змінюється також під впливом магнітних бур, пов'язаних з полярним сяйвом, сонячною активністю. Правильність показань магнітної стрілки порушуються в районах залягання залізних руд і магнітних аномалій.

Напрямок лінії може бути *прямим* (якщо розглядати його від будь-якої початкової точки до кінцевої) і *зворотним* (від кінцевої точки до початкової). У зв'язку з цим розрізняють *прямі* і *зворотні кути орієнтування*. Прямі і зворотні кути можуть характеризувати напрямок лінії в будь-якій одній її точці (на рис. 13 а A_1 – прямий і A'_1 – зворотний азимути лінії 1–2 у точці 1) або в різних точках (на тому ж рис. 14 A_1 – прямий азимут лінії 1–2 та A'_2 – зворотний азимут лінії 1–2; ці кути можна позначити як $A_{1–2}$ та $A_{2–1}$, вказуючи таким чином зміну напрямку лінії).

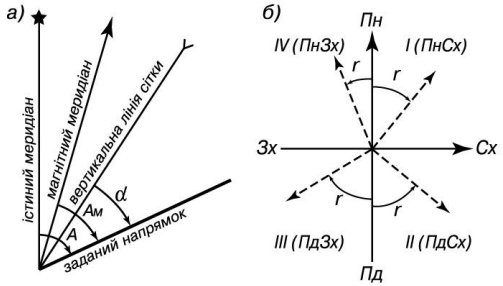


Рис. 13

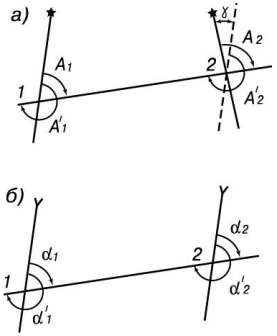


Рис. 14

Азимути географічні, які виміряні в різних точках лінії (див. рис. 14 а), відрізняються між собою на величину γ′, що дорівнює різниці гауссового зближення початкової та кінцевої точок, тобто $A_2 \neq A_1$, тому

$$A'_1 = A_1 \pm 180°, \text{ але } A'_2 = A_1 \pm 180° + \gamma \text{ тому, що } A_2 = A_1 + \gamma. \qquad (11)$$

Варто пам'ятати, що 180° віднімається при A>180°, а γ може мати знак + або –.

Азимути магнітні, які виміряні в різних точках, відрізняються на величину δ.

Дирекційні кути різних точок лінії рівні (рис. 14 б), тобто $\alpha_1 = \alpha_2$, тому

$$\alpha'_1 = \alpha_1 \pm 180°, \alpha'_2 = \alpha_1 \pm 180°. \qquad (12)$$

Залежність між азимутами та дирекційними кутами наступна:

$$A = \alpha + \gamma, \quad A = A_M + \delta, \quad A_M = \alpha - (\delta - \gamma), \ \alpha = A_M + (\delta - \gamma). \ (13, 14, 15, 16)$$

Румб називається географічним, магнітним або дирекційним в залежності від вихідного напрямку його визначення. Краще застосовувати дирекційні румби (як і дирекційні кути). Між румбами та азимутами є певна залежність, яка проілюстрована табл. 5. Така ж залежність між румбами і магнітними азимутами та дирекційними кутами.

Таблиця 5

Зв'язок між азимутами і румбами

Чверть	Зв'язок між азимутами і румбами	
I — ПнСх	$A_1 = r_1$	$r_1 = A_1$
II — ПдСх	$A_2 = 180° - r_2$	$r_2 = 180° - A_2$
III — ПдЗх	Аз $= 180° + r_3$	$r_3 = A_3 - 180°$
IV —ПнЗх	$A_4 = 360^o - r_4$	$r_4 = 360° - A_4$

Завдання 4. Кути орієнтування.

Вправа 1. Виміряти прямі та зворотні дирекційні кути (α) ліній, що з'єднують точки, нанесені раніше на навчальну карту.

Вправа 2. Обчислити азимути географічні (А) тих же ліній.

Вправа 3. Обчислити азимути магнітні A_M тих же ліній, використавши значення δ та γ, що вказані на навчальній карті.

Вправа 4. Обчислити дирекційні румби r тих же ліній.

Вправа 5. Побудувати графіки взаємного розташування географічного і магнітного меридіанів та лінії, паралельної осьовому меридіану зони, за заданим значенням величин δ та γ (табл. 6). Провести на кожному графіку довільно обраний напрямок і показати для нього графічно та алгебраїчно за допомогою формул величини α , А та A_M.

Таблиця 6

Величини	1	2
δ		
γ		

Вправа 6. На фрагменті карти, поданому на бланку завдання, провести напрямки за даними дирекційними кутами: α_{1-2} ____° та α_{2-3} ____°.

Вправа 7. На тому ж фрагменті провести напрямок α_{4-5}, якщо A_M = ____°, δ = ____°, γ = ____°. При виконанні вправ 6 та 7 положення початкової точки і довжину проведених напрямків необхідно обрати довільно. Точка 2 є загальною для двох ліній.

Кожен студент отримає від викладача індивідуальні вихідні дані для виконання вправ 6,7.

Практичні поради

За картою найбільш зручно вимірювати дирекційні кути відносно наявних на кожному аркуші ліній кілометрової сітки. Вони вимірюються транспортиром (способом *безпосереднього* виміру). Перш ніж вимірювати кут, корисно представити, як виразиться його величина графічно (рис. 15). Для цього в початковій точці заданого напрямку проводять пряму, паралельну до вертикальної лінії сітки, і відзначають олівцем кут, який необхідно виміряти. Якщо заданий напрямок перетинає хоча б одну лінію сітки, кут вимірюють у точці їхнього перетину (на рис. 15 $\alpha_1 = \alpha'_1 = \alpha''_2$). При вимірюванні транспортир накладають на карту так, щоб його центр збігся з перетином заданого напрямку та лінії сітки, а штрихи 0 та 180° сумістились з цією лінією. Потім за шкалою транспортира відраховують кут (лінія 1-2 на рис. 16). Якщо кути, більші за 180°, то необхідно виміряти їхнє доповнення до 180°, тоді остаточне значення кута дорівнює відліку за транспортиром плюс 180° (дирекційний кут лінії 3-4 на рис. 16). Робота значно спрощується, якщо для вимірювання дирекційних кутів застосовується круговий транспортир.

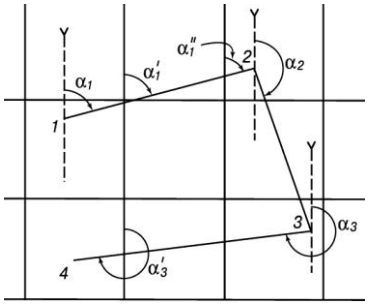


Рис.15

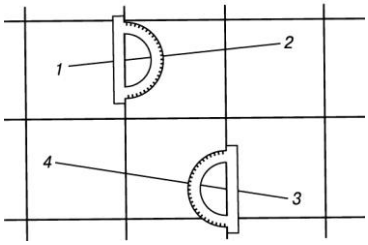


Рис. 16

Азимути географічний і магнітний, як правило, обчислюють при виміряному значенні дирекційного кута за формулами (13 – 15), наведеними вище. Необхідні для цього значення δ та γ зазначені в нижній частині аркуша карти. Цей спосіб обчислення азимутів називається *алгебраїчним*. Наприклад, на карті зазначені $\delta = 6°15'$, $\gamma = -2°21'$, виміряний дирекційний кут напрямку Іванівка – Смолянка становить $\alpha = 178°30'$, тоді $A = 178°30' - 2°21' = 176°09'$, $A_M = 176°09' - 6°15' = 169°54'$ або $A_M = 178°30' - 6°15' - (-2°21') = 169°54'$.

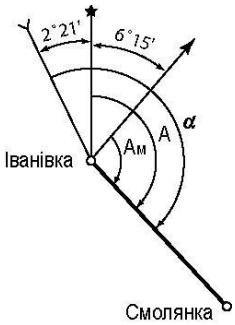


Рис. 17

Визначення азимутів, якщо виміряно α, можна провести *геометричним (графічним)* способом, використовуючи схему взаємного розташування вихідних напрямків орієнтування (рис. 17). На зазначеному рисунку видно, що графічна величина азимута географічного А менша дирекційного кута α на 2°21′, а азимут магнітний A_M, менший А на 6°15′ і менший α на (2°21′ + 6°15′).

При необхідності схему взаємного розташування вихідних ліній орієнтування легко побудувати самим. Для цього проводять на папері вертикальну пряму і приймають її за напрямок географічного меридіана. З огляду на величину і знаки δ та γ, визначають положення магнітного меридіана і лінії сітки відносно географічного меридіана і також їх проводять. Кожен напрямок позначають прийнятим способом (див. рис. 13 а).

Обчислення зворотних кутів проводиться за формулами (11). При цьому значення δ та γ можна не враховувати, оскільки їхня величина в межах аркуша карти змінюється мало і лінії, для яких визначаються кути, досить короткі.

Зворотний румб (дирекційний) дорівнює за кутовою величиною прямому, але змінює назву чверті на протилежну. Наприклад, якщо r = ПнСх:22°, то r′ = ПдЗх:22°, а при r = ПдСх:35°, r′ = ПнЗх:35°.

РОЗГРАФЛЕННЯ І НОМЕНКЛАТУРА

Теоретичні відомості

Топографічна карта – це карта *багатоаркушева* тобто така, що дає картографічне зображення геодезичної зони частинами на окремих аркушах, розміри яких зручні для роботи (формат надрукованих номенклатурних карт майже однаковий).

Процес поділу карти на окремі аркуші називають **розграфленням**, а позначення аркушів за прийнятою системою – ***номенклатурою топографічних карт***. Під час розграфлення межі окремих аркушів проводять за напрямками меридіанів і паралелей.

Розграфлення і номенклатура вітчизняних топографічних карт всього масштабного ряду ґрунтуються на розграфленні й номенклатурі Міжнародної карти масштабу 1:1 000 000 (рис. 19, для північної півкулі).

Ідея створення такої карти була висунута ще наприкінці XIX століття, а Міжнародний географічний конгрес (Лондон, 1909) затвердив принципи розграфлення і номенклатури, зміст та інші складові цієї карти. Вітчизняну карту масштабу 1:1 000 000 розроблено із врахуванням рекомендацій Лондонського конгресу та інших міжнародних угод.

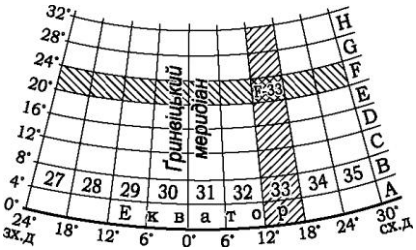


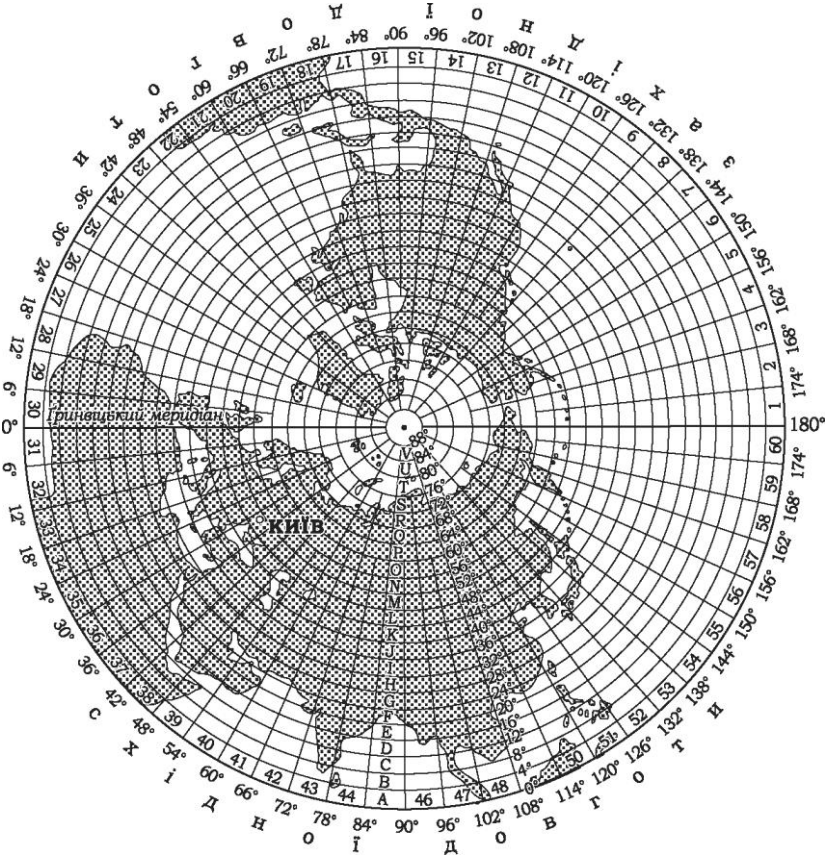
Рис. 18

Розміри аркуша карти масштабу 1:1 000 000 складають 6° по довготі та 4° по широті.

Границі аркушів мільйонної карти по довготі збігаються з границями координатних зон у проекції Гаусса. Для зображення всієї зони потрібно кілька десятків аркушів карти названого масштабу. Сукупність цих аркушів називається *колоною* (колоною

аркушів карти). Колони, як і зони, нумеруються арабськими цифрами, але їхній рахунок ведеться від 180-го меридіану, а зони відраховуються від Гринвіцького меридіана. Номер колони на 30 одиниць більше або менше номера зони. Наприклад, 1-ша зона, але 31-ша колона.

Аркуші мільйонної карти, обмежені паралелями, проведеними через 4°, утворюють широтні ряди поясу, що позначаються буквами латинського алфавіту починаючи від екватора.


Північна Америка
Північна Африка
Північна Південна Америка
Північна Південна Африка
Північна Південна Австралія
Північна Південна Азія
Північна Південна Європа
Північна Південна Океанія
Північна Південна Полярна
Північна Південна Північна
Північна Південна Західна
Північна Південна Східна
Північна Південна Півден

Таблиця 7

Вихідний аркуш		Аркуші, утворені в результаті розграфлення		
Масштаб	Кількість аркушів в результаті розграфлення	Масштаб	Позначення	Приклад номенклатури
1:1 000 000	–	1:1 000 000	A,B,C... – широтний ряд; 1 – 60 – колона	F – 33
	4	1:500 000	А, Б, В, Г	F – 33 – А
	36	1:200 000	I, II, III, …XXXVI	F – 33 – III
	144	1:100 000	1, 2, 3, … 144	F – 33 – 16
1:100 000	4	1:50 000	А, Б, В, Г	F – 33 – 16 – Б
1:50 000	4	1:25 000	а, б, в, г	F – 33 – 16 – Б – а
1:25 000	4	1:10 000	1, 2, 3, 4	F – 33 – 16 – Б – а – 1
1:100 000	256	1:5 000	1, 2, 3, …. 256	F – 33 – 16 – (223)
1:5 000	9	1:2 000	а, б, в, г, д, е, ж, з, і	F – 33 – 16 – (22 – д)

Таблиця 8

Масштаб	Розмір аркуша		Кількість аркушів в аркуші карти масштабу 1:1 000 000	Приблизна площа аркуша на широті 54°, км^2
	по довготі	по широті		
1:1 000 000	6°	4°	1	175000
1:500 000	3°	2°	4	44000
1:200 000	1°	0°40′	36	5000
1:100 000	0°30′	0°20′	144	1200
1:50 000	0°15′	0°10′	576	300
1:25 000	0°07′30″	0°05′	2304	75
1:10 000	0°03′45″	0°02′30″	9216	19
1:5 000	0°01′52.5″	0°01′15″	36864	4*
1:2 000	0°00′37.5″	0°00′25″	331776	1*

∗ У прямокутному розграфленні.

Для південної півкулі принцип нумерації колон такий як і для північної, а позначення поясів подаються у дзеркальному відображені (від екватора «А» до південного полюса «V»). При позначені номенклатури до позначення поясу додається «пд», наприклад, $К_{пд}$– 35.

Завдання 5. Розграфлення і номенклатура.

Вправа 1. Визначити номенклатуру аркушів карти масштабів 1:1 000 000, 1:500 000, 1:200 000, 1:100 000, 1:50 000, 1:25 000 та 1:10 000, на яких зображений об’єкт із координатами B = ___°___′ пн.ш., L = ___°___′ сх.д.

Вправа 2. Обчислити розміри аркушів карт зазначених вище масштабів у градусній мірі.

Вправа 3. Визначити номенклатуру суміжних аркушів для аркуша карти масштабу 1:10 000, на якому зображений об’єкт із заданими вище координатами.

Вправа 4. Визначити масштаб карти за її номенклатурою (табл. 9).

Вправа 5. Обчислити географічні координати кутів рамки аркуша карти за номенклатурою _____.

Практичні поради

Задача визначення номенклатури аркуша карти заданого масштабу може бути вирішена двома шляхами: за допомогою збірних таблиць або шляхом обчислень.

Збірні таблиці представляють собою дрібномасштабну схематичну карту, на якій подані границі аркушів топографічних карт різних масштабів і їхня номенклатура. Для вирішення задачі досить знайти на такій карті заданий об'єкт і записати номенклатуру аркуша, на якому він знаходиться.

При відсутності збірних таблиць номенклатуру аркуша карти можна обчислити, знаючи географічні координати заданого об'єкта.

Таблиця 9

Номенклатура	Масштаб

Визначення номенклатури аркуша будь-якого масштабу починається із встановлення номенклатури аркуша мільйонної карти. Для цього необхідно визначити номер широтного ряду n_p і номер колони N, у яких розташовується аркуш. Оскільки розміри аркуша 4°х 6°, то

$$n_p = B_0 : 4° + 1 \quad N = (L_0 : 6° + 1) \pm 30 \qquad (17)$$

де B_0 та L_0 – координати даного об'єкта.

Ділення B_0 та L_0 на відповідні розміри мільйонного аркуша проводиться до одержання цілого числа в частці. Це число вказує кількість широтних рядів або колон, розташованих перед тими, у яких знаходиться аркуш обумовленої номенклатури, отже, n_p та N цього аркуша на 1 більше отриманих при діленні чисел.

Знаючи n_p, легко знайти його буквене позначення (табл. 10).

Наприклад, при B_0 = 21°15′ пн.ш. і L_0 = 13°20′ сх.д. n_p = 21°15′ : 4° + 1 = 5 + 1 = 6, N = (13°20′ : 6°+ 1) + 30 = 2 + 1 + 30 = 33; 6–й широтний ряд позначається літерою F, отже, номенклатура обумовленого аркуша карти масштабу 1:1 000 000 буде F–33.

Таблиця 10

Номер широтного ряду	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Буквене позначення широтного ряду	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**	**G**	**H**	**I**	**J**	**K**	**L**	**M**	**N**	**O**	**P**	**Q**	**R**	**S**	**T**	**U**	**V**

Перед визначенням номенклатури аркуша карти наступних масштабів необхідно обчислити широту $B_{пн}$ та $B_{пд}$ паралелей, що утворять північну і південну рамки аркуша масштабу 1:1 000 000, а також довготу $L_{сх}$ та $L_{зх}$ меридіанів, що є східною і західною границями:

$$B_{пн} = n_p \cdot 4°; \qquad B_{пд} = B_{пн} - 4°; \qquad L_{сх} = n \cdot 6°; \qquad L_{зх} = L_{сх} - 6°,$$

де n – номер зони і $n = N - 30$ (для східної півкулі).

Наприклад, для аркуша F–33 n_p = 6, n = 33 – 30 = 3, тому $B_{пн}$ = 4° · 6 = 24°, $B_{пд}$ = 24° – 4° = 20°; $L_{сх}$ = 6° · 3 = 18°, $L_{зх}$ = 18° – 6° = 12°. Правильність обчислень можна перевірити за рис. 19.

Наступним етапом є побудова схеми розграфлення мільйонного аркуша на аркуші карти масштабу 1:500 000, 1:200 000 або 1:100 000, в залежності від поставленої задачі, і обчислення координат сторін рамки (координати кутів рамки), що дає можливість знайти аркуш, на якому зображений даний об'єкт та його номенклатуру.

Наприклад, для визначення номенклатури аркуша масштабу 1:500 000 із зображенням об'єкта, координати якого зазначені вище, вихідний мільйонний лист поділяють на 4 рівні частини (рис. 20); широта проведеної посередині паралелі дорівнює середньому значенню між $B_{пн}$ і $B_{пд}$, тобто $B_{ср}$ = ($B_{пн}$ + $B_{пд}$) : 2 = (24° + 20°) **:** 2 = 22°; аналогічно, довгота меридіана, проведеного посередині аркуша, $L_{ср}$ = ($L_{сх}$ + $L_{зх}$) **:** 2 = (18° + 12°): 2 = 15°. Даний об'єкт розміщується між паралелями із широтою 20 та 22° і меридіанами з довготою 12 та 15°, отже, номенклатура обумовленого аркуша масштабу 1:500 000 буде F–33–В.

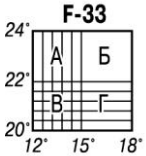


Рис. 20

При визначенні координат аркушів інших масштабів необхідно розмір вихідного аркуша по довготі і широті розділити на відповідну кількість частин, одержуючи в результаті розмір аркуша потрібного масштабу (див. табл. 8). Наприклад, щоб визначити розмір аркуша масштабу 1:200 000, рамки мільйонного аркуша (6° по довготі і 4° по широті) поділяють на 6 частин відрізками і з'єднавши кінці цих відрізків на протилежних сторонах прямими, одержимо 36 аркушів двохсоттисячного масштабу, що складають 1 аркуш масштабу 1:1 000 000 (див. табл. 7).

Послідовно додаючи обчислені розміри аркуша по широті до $B_{пд}$ та довготі до $L_{зх}$, одержимо координати рамок кожного з аркушів заданого масштабу в межах вихідного аркуша.

Наприклад, для аркушів масштабу 1:200 000 розміри такі: по широті 4 : 6° = 0°40′, по довготі 6 : 6° = 1°, отже, широта паралелей, що обмежують двохсоттисячні аркуші в межах аркуша F–33, дорівнює з півдня на північ 20°40′, 21°20′, 22°, 22°40′, 23°20′, а довгота меридіанів – 13°, 14°, 15°, 16°, 17° (із заходу на схід).

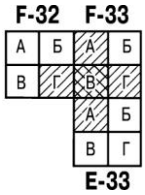


Рис. 21

Номенклатура суміжних аркушів карти, тобто аркушів, що мають загальну границю, встановлюється за схемою розграфлення, за допомогою якої визначалася номенклатура аркуша заданого масштабу, або за збірною таблицею. Наприклад, для аркуша F–33–В північний суміжний аркуш має номенклатуру F–33–А, східний – F–33–Г (див. рис. 21); щоб, довідатися номенклатуру південного і західного суміжних аркушів, варто викреслити схеми суміжних мільйонних аркушів, за якими обумовлені аркуші

одержать позначення Е–33–А і F–32–Г (усі суміжні аркуші на рис. 21 виділені косим штрихуванням).

Вирішення задачі обчислення координат рамки аркуша за його номенклатурою починається із встановлення масштабу карти (див. табл. 7). Потім визначають координати вихідного мільйонного аркуша, позначеного двома першими елементами номенклатури (див. вище); будують схему розграфлення вихідного аркуша на аркуші необхідного масштабу та обчислюють координати їхніх сторін; знаходять аркуш із заданим об'єктом і визначають його координати.

ЗАДАЧІ, ЯКІ РОЗВ'ЯЗУЮТЬСЯ ПО КАРТІ ЗА ДОПОМОГОЮ ГОРИЗОНТАЛЕЙ

Теоретичні відомості

Сукупність нерівностей земної поверхні називається *рельєфом.*

Основний спосіб зображення рельєфу – спосіб *горизонталей*. ***Горизонталь*** можна представити як лінію перетину окремих форм рельєфу рівневими поверхнями, паралельними між собою.

Основною властивістю горизонталі є те, що усі точки, які знаходяться на ній, мають однакову абсолютну висоту.

Спосіб горизонталей дає можливість передати на карті позитивні та негативні форми рельєфу і визначати по ній елементи окремих форм. Позитивні форми: пагорб, гора, хребет; негативні – улоговина, долина, балка, яр, сідловина. Елементи форм рельєфу – підошва, схил, вершина пагорба або гори; русло, заплава і тераса річкової долини; дно улоговини (котловини), брівка (уступ) та схил улоговини (котловини) або долини тощо.

Завдяки наочності способу горизонталей, на карті можна визначити характерні лінії рельєфу: *вододіл*, або лінію, що розділяє стік атмосферних опадів по схилах, спрямованих у різні

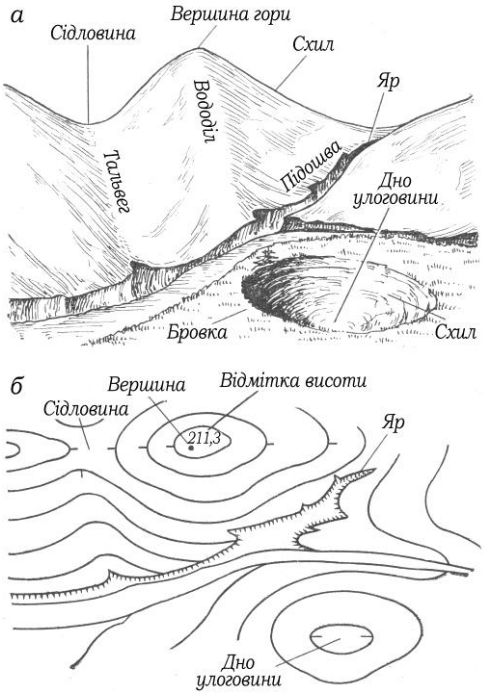


Рис. 22

сторони, *тальвег*, або лінію водостоку, тобто лінію, що з'єднує найбільш низькі точки дна річкової долини, балки, яру.

Окремі форми рельєфу, наприклад, яр, рівчак (вимоїна), показуються на карті особливими умовними знаками. Горизонталі та умовні знаки деяких форм рельєфу доповнюються цифровими позначеннями абсолютних і відносних висот характерних точок та елементів рельєфу (рис. 22).

Абсолютна висота – висота точок місцевості, що відраховується від рівня моря (Світового океану), за який прийнято нульову позначку Кронштадтського футштоку. *Відносна висота* – висота будь-якої точки по відношенню до висоти іншої точки, що дорівнює різниці абсолютних висот цих точок.

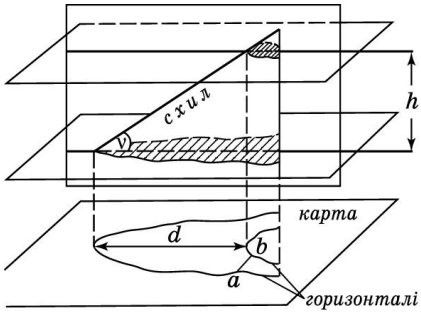


Рис. 23

Задана відстань між сусідніми площинами перерізу (площиною можна вважати обмежену ділянку рівневої поверхні) називається *висотою перерізу* h. На карті h дорівнює різниці висот двох сусідніх горизонталей. На вітчизняних картах рівнинні території з кутами нахилу до 6° передаються горизонталями з такими висотами перерізу: 2,5 м (на картах масштабу 1:10 000), 5 м (1:25 000), 10 м (1:50 000), 20 м (1:100 000).

Відстань на карті між сусідніми горизонталями по заданому напрямку називається *закладенням* (відрізок *ab* на рис. 23). Закладення, напрямок якого перпендикулярний до горизонталей називається *закладенням схилу (скату) d*.

Крутість схилу характеризується кутом нахилу ν, що утворений площиною схилу і горизонтальною площиною в даній точці (рис. 23).

Ухил місцевості *i* є відношенням висоти перерізу до закладення (закладення схилу), тобто $i = h / d = \text{tg}\,\nu$.

На карті горизонталі та інші умовні знаки природних форм рельєфу подаються коричневим кольором, а штучні форми та окремі об'єкти, які різко виділяються на загальному тлі місцевості, наприклад, камені-орієнтири, гряди і скупчення каменів – чорним.

Завдання 6. Побудова профілю місцевості та інші задачі, що розв'язуються по карті за допомогою горизонталей.

Вправа 1. Визначити висоту перерізу рельєфу по зазначених відмітках двох точок, що знаходяться на одному схилі, H_A = ____м, H_B = ____м, якщо кількість проміжків між горизонталями, розташованими по лінії АВ *n* =____. Визначити висоту кожної горизонталі на даній ділянці. Вирішення показати графічно, використовуючи для цього малюнок у лівому верхньому куті бланка завдання.

Вправа 2. Обчислити абсолютні відмітки чотирьох точок, нанесених раніше на навчальну карту.

Вправа 3. Обчислити відносні висоти між зазначеними вище точками.

Вправа 4. Побудувати поздовжній профіль по заданій на навчальній карті лінії СД. Горизонтальний та вертикальний масштаби побудови вибрати самостійно.

Вправа 5. По лінії профілю визначити максимальні та мінімальні значення кута нахилу та ухилу місцевості. Поздовжній профіль можна будувати безпосередньо на бланку завдання або на аркуші міліметрового паперу, який потім необхідно приклеїти на бланк.

Практичні поради

Обчислення абсолютних висот точок пов'язане з умінням визначати значення висот горизонталей без підписів. При цьому варто пам'ятати, що значення висот горизонталей завжди кратні висоті перерізу рельєфу на карті даного масштабу. Вирішення задачі розглянемо на прикладі. Якщо поблизу обумовленої горизонталі *а* є горизонталь *б* з відомою висотою $H_б$ = 150 м (рис. 24), то для знаходження висоти $H_а$ варто підрахувати кількість проміжків *n* між горизонталями *а* і *б*, з'ясувати напрямок схилу, помножити на *n* висоту перерізу h (вона подається на аркуші карти), і отриманий результат додати до вихідної висоти тому, що у бік обумовленої горизонталі рельєф підвищується, тобто $H_а = H_б + (h \cdot n) = 150$ м + (5 м · 3) = 165 м.

Висоту горизонталі можна визначити також і за відміткою найближчої до неї точки. Попередньо з'ясувавши напрямок схилу, підбирають таке число, яке є близьким за значенням до відмітки точки (більше або менше в залежності від напрямку схилу) і, одночасно, кратне висоті перерізу. На рис. 23 $H_А$ = 167,2 м, h = 5 м, горизонталь *а* розташовується нижче точки А, тому $H_а$ = 165 м, оскільки дане число задовольняє зазначеним вимогам.

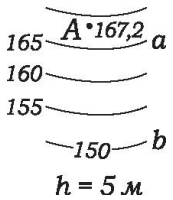


Рис. 24

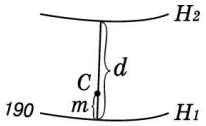


Рис. 25

При визначенні відміток абсолютної висоти точок на карті можуть зустрітися різні варіанти вирішення задачі, наприклад, відмітка точки зазначена на карті і тому не потрібно ніяких обчислень; точка лежить на горизонталі, отже, її висота дорівнює відмітці цієї горизонталі; точка лежить у проміжку між горизонталями і відмітка її висоти може бути визначена методом *інтерполяції*, тобто знаходженням проміжного значення величини за її граничними значеннями.

Метод інтерполяції необхідно розглянути докладніше. Через задану точку на карті проводять напрямок схилу, визначають відмітку найближчої до неї горизонталі, розташованої нижче по схилу. Висота точки С (H_C) (рис. 25) складається з висоти горизонталі H_1 та перевищення точки над цією

горизонталлю Δh. Перевищення Δh – це різниця висоти точки С (H_C) і горизонталі H_1.

Для його обчислення за картою вимірюють у мм відстань: між двома горизонталями по лінії схилу (закладення d), через задану точку; а також відстань *m* між горизонталлю з відміткою H_1 і обумовленою точкою. Складають пропорцію Δh : m = h : d, звідки Δh = h : d ˙ m, де h – висота перерізу рельєфу, $H_C = H_1 + \Delta h$. При достатніх навичках інтерполяцію значень висоти між горизонталями можна проводити на око.

Оскільки *відносна висота* – це різниця абсолютних висот точок, то її обчислення проводиться шляхом віднімання від кінцевого початкове значення відмітки абсолютної висоти зі збереженням знаку.

Кут нахилу схилу по карті визначається таким чином. Спочатку обчислюється тангенс кута нахилу (tg ν), що характеризує ухил місцевості *i*. Це можливо тому, що напрямок, по якому визначається висота перерізу, перпендикулярний до напрямку закладення схилу, а обидва ці напрямки разом з лінією схилу утворять прямокутний трикутник (див. рис. 23). Таким чином, *i* = tg ν = h : d. За тангенсом можна визначити значення кута нахилу за допомогою калькулятора або за таблицями тригонометричних функцій. При невеликій крутості схилу можна прийняти tg ν = ν, тоді ν° = h : d ˙ ρ°. Приймаючи ρ° = 60 (як результат округлення 57), одержуємо просту формулу для обчислення малих кутів нахилу:

$$\nu^\circ = h : d \cdot 60. \qquad (18)$$

Спрощує визначення кутів нахилу графік закладень, який розміщується на аркуші карти та показує залежність між величиною закладення схилу і кутами нахилу (рис. 26): довжини вертикальних відрізків між горизонтальною основою графіка і розташованою над нею кривою дорівнюють закладенню при конкретному значенні кута нахилу, що вказується під основою.

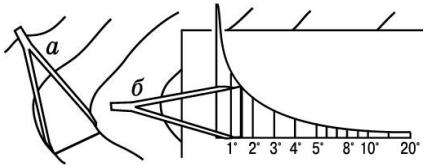


Рис. 26

Методику застосування графіка демонструє рис. 26. На карті графік закладень складається з двох частин (див. рис. 1). Одна з них побудована для основної висоти перерізу, що прийнята для зображення рельєфу на карті, використовується при визначенні кутів нахилу між сусідніми горизонталями; інша, з укрупненою висотою перерізу – між найближчими потовщеними горизонталями.

На основі залежності між крутістю схилів і густотою горизонталей легко визначити мінімальні і максимальні значення кутів нахилу на заданому напрямку (а також ухилів): максимальні значення їх будуть на ділянці з найбільш густим розташуванням горизонталей, мінімальні – там, де відстань між горизонталями найбільша.

Орографічна схема рельєфу місцевості – це результат нанесення на карту ліній вододілів і тальвегів. Для опанування навичками цієї роботи корисно навчитися визначати точки, через які можуть бути прокреслені вказані лінії. *Вододіли* проходять через точки, від яких лінії схилу розходяться у різні боки, *тальвеги* – через точки, в яких лінії схилів сходяться. Розміщуються такі точки в місцях найбільшої кривизни горизонталей. Після набуття певного досвіду потреба проведення великої кількості ліній схилів відпадає. Приклад орографічної схеми подано на рис. 27.

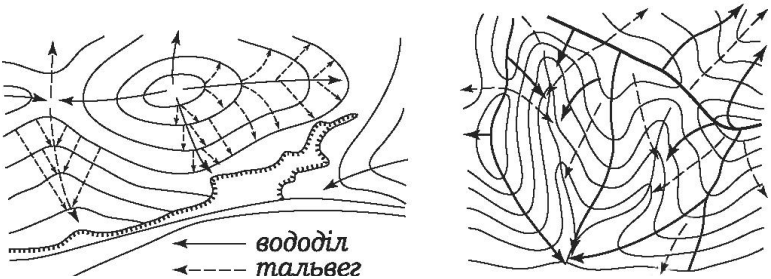


Рис. 27

Профіль місцевості є зображенням її вертикального розрізу. Тому побудова такого профілю ведеться в двох напрямках: горизонтальному і вертикальному. Робота починається з проведення на карті лінії профілю, уздовж якої вивчають особливості рельєфу. При необхідності проводять вододіли і тальвеги, які перетинають лінію профілю. Визначають відмітки всіх горизонталей по цій лінії і намічених додатково точок (у випадку якщо горизонталі розташовуються по лінії профілю густо, можна обмежитися відмітками точок перегинів схилу). На аркуші паперу проводять горизонтальну лінію (основу профілю), уздовж якої намічають положення точок, необхідних для побудови профілю (на бланку завдання основою профілю є нижня горизонтальна лінія). Масштаб нанесення цих точок, тобто відстаней між ними (горизонтальний масштаб профілю) може дорівнювати масштабу карти або відрізнятися від нього. При рівності масштабів для показу положення точок профілю на основі можна скористатися смужкою паперу: її прикладають до лінії профілю на карті, намічають по краях потрібні точки, а потім сполучають цей край з основою профілю та переносять на нього

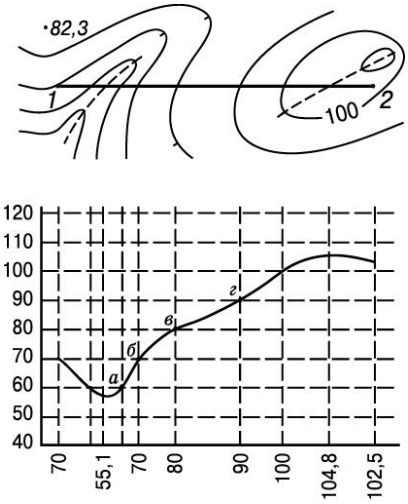


Рис. 28

намічені точки. При різних масштабах відстані між точками профілю на карті збільшують або зменшують відповідно до співвідношення масштабів профілю і карти. Відмітки висоти намічених точок підписують під основою. Щоб показати на профілі розходження в положенні точок по висоті, будують шкалу висот, для чого проводять з лівого боку основи перпендикуляр, розмічають його на рівні відрізки і вказують їх значення у встановленому масштабі (вертикальний масштаб профілю, на бланку завдання поле для побудови профілю, включаючи основу та перпендикуляр до неї вже проведені). Вертикальний масштаб як правило повинен бути в 5 – 10 разів крупніше горизонтального. Це обумовлене тим, що відносні висоти точок профілю значно менші планової відстані між ними (за винятком гірських районів), і при збереженні рівних масштабів побудови розходження по висоті будуть мало помітними. При збільшені вертикального масштабу спотворюється реальний вигляд профілю місцевості через збільшення на ньому кутів нахилу схилів.

Шкала висот починається з абсолютної відмітки, обраної для основи профілю, так званої точки (лінії) умовного горизонту (рис. 28). Її значення повинне бути менше мінімальної абсолютної відмітки по лінії профілю і виражене круглим числом. В залежності від обраної точки умовного горизонту позначають інші поділки шкали висот. Робота з побудови профілю спрощується, коли позначення шкали висот збігається зі значеннями відміток горизонталей на карті. За допомогою шкали висот на перпендикулярах, проведених з кожної точки на основу профілю, відзначають їхнє висотне положення (як результат перетину перпендикулярних і горизонтальних ліній, проведених паралельно основі у відповідності зі шкалою висот). Точки профілю з’єднують плавною кривою (див. рис. 28).

ПРОВЕДЕННЯ ГОРИЗОНТАЛЕЙ ЗА ВІДМІТКАМИ ВИСОТ ТОЧОК

Теоретичні відомості

Горизонталі на карті або плані проводяться за даними топографічних зйомок, в результаті яких визначаються планові і висотні положення характерних точок рельєфу місцевості. Такі точки (пікети) вибираються на лініях вододілів і водостоків, на вершинах, сідловинах, перегинах схилів тощо. Однією з основних умов вибору положень точок є однорідність крутості схилу на ділянці між двома сусідніми пікетами. Дотримання цієї умови дозволяє достовірно передати на карті характер та особливості рельєфу місцевості тому, що однакова відстань між горизонталями на плані постійна лише на ділянці однорідної крутості. Зміна крутості схилів місцевості відбивається в зміні густоти горизонталей на плані. На рис. 29 приведені приклади правильного (а) і неправильного (б) вибору пікетів при зйомці, результатом якого стало вирівнювання, згладжування особливостей рельєфу на плані (положення пікетів на місцевості зазначене стрілками, на плані – хрестиками) .

Задача проведення горизонталей на плані і карті зводиться до визначення положення точок з відмітками висоти, кратними прийнятій висоті перерізу рельєфу на ділянці між точками з відмітками висоти, визначеними в процесі зйомки. Цей процес називається *інтерполяцією*.

Вона проводиться на кожній ділянці між точками на плані або карті. Для спрощення визначення ділянок інтерполяції попередньо проводяться напрямки схилів. Після знаходження положення всіх необхідних точок ті з них, що мають однакові відмітки, з'єднуються горизонталями.

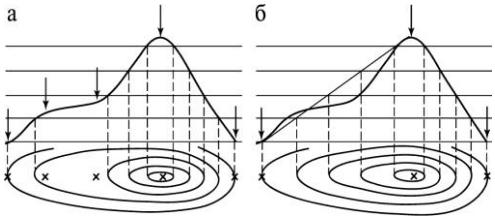


Рис. 29

Завдання 7. Проведення горизонталей за відмітками висот точок.

Вправа 1. Провести інтерполяцію, визначивши на кожній лінії схилу значення горизонталей відповідно до перерізу рельєфу. На бланку подане планове положення точок, відмітки яких приведені в табл. 11. Прямі, які їх з'єднують є лініями схилів і перед інтерполяцією на них доцільно стрілкою вказати напрямки схилів.

Вправа 2. Провести горизонталі за даними табл. 11. Викреслити їх необхідно простим олівцем, виділяючи потовщені горизонталі. Дати підписи окремих відміток точок та горизонталей.

Практичні поради

Інтерполяція може бути проведена аналітичним або графічним способом. Останній застосовується частіше і заснований на використанні різного виду палеток. Один з варіантів представляє собою ряд паралельних рівновіддалених ліній, проведених на папері або на міліметровому папері (рис. 30). Біля ліній палетки підписуються значення горизонталей, що будуть проведені на ділянці (їх можна назвати шкалою висот). Наприклад, визначення шкали висот на палетці відбувається так. Інтерполяція з висотою перерізу 5 м проводиться між точками з відмітками 122,1 м і 136,5 м. Підбирають числа, кратні 5–ти, які лежать в інтервалі між зазначеними значеннями висот, а також до і після них. Отже, шкала висот для

Таблиця 11

Точка	Відмітка точки	Точка	Відмітка точки
1		8	
2		9	
3		10	
4		11	
5		12	
6		13	
7		14	

інтерполяції на розглянутій ділянці повинна складатися з відміток 120, 125, 130, 135 і 140 м.

Щоб визначити на карті або плані положення точок, через які будуть проведені горизонталі, роблять таким чином. Беруть смужку паперу, прикладають її до лінії інтерполяції, відзначають на ній положення точок і

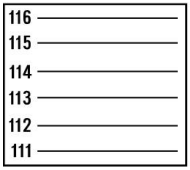


Рис. 30

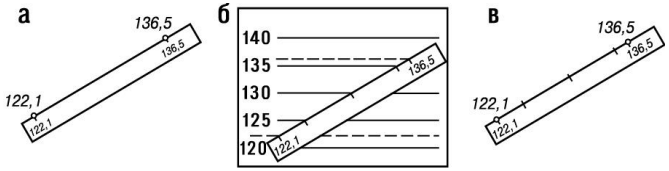


Рис. 31

підписують їхні висоти (рис. 31 а). Потім прикладають смужку до заздалегідь підготовленої палетки, на якій додатково прокреслені лінії з відмітками, що відповідають висоті точок (на рис. 31 б показані пунктирною лінією), при цьому стежать за тим, щоб положення точок, позначені на смужці, збігалися з однойменними лініями палетки (див. рис. 31 б). Намічають на смужці перетини її краю з лініями палетки. Ці перетини вказують положення горизонталей на ділянці інтерполяції. Знову приклавши смужку до лінії інтерполяції на карті або плані, переносять на нього намічені точки (рис. 31 в).

Таким способом проводять інтерполяцію між усіма точками (рис. 32 а). При цьому може виникнути необхідність використання палетки зі зменшеним, у порівнянні з першою, відстанню між лініями, що ілюструють рис. 33 а та 33 б. На першому з них використовується палетка, на якій відрізок між потрібними для інтерполяції лініями більший за відстань між пікетами на плані, на іншому – палетка, яку варто застосувати в даному випадку.

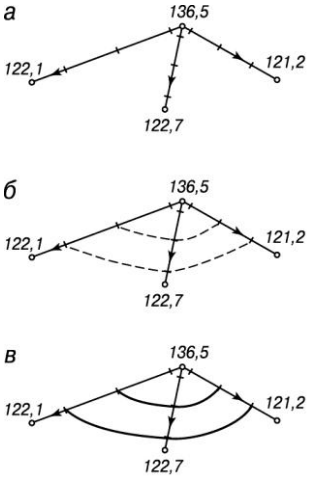


Рис. 32

Перед інтерполяцією необхідно вивчити розміщення пікетів на плані і відзначити характерні елементи рельєфу (вершини, сідловини тощо).

Роботу з проведення горизонталей зручно починати від вершин рельєфу тому, що найближчі до них намічені точки в усіх напрямках схилів мають однакові відмітки і можуть бути легко з'єднані однією горизонталлю.

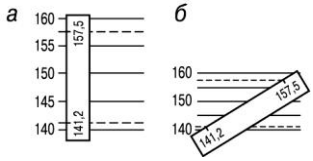


Рис. 33

Після завершення інтерполяції точки з однозначними відмітками з'єднують спочатку

схематично (рис. 32 б), а потім виконують укладання горизонталей, при якому згладжують лінії, уточнюють положення горизонталей в усіх напрямках для того, щоб на схилах однакової крутості відстані між ними були рівними (рис. 32 в).

ОБЧИСЛЕННЯ КООРДИНАТ ТОЧОК ЗАМКНУТОГО ТЕОДОЛІТНОГО ХОДУ

Теоретичні відомості

Для точок теодолітного ходу, який служить плановим обґрунтуванням зйомок місцевості, обчислюються плоскі прямокутні координати, за якими вказані точки можуть бути нанесені на знімальний планшет.

У ***замкнутому теодолітному ході*** (рис. 36) вихідними даними для обчислення координат точок є:

- *довжини всіх сторін* ходу D_{1-2}, D_{2-3}, ... $D_{(n-1)-n}$ (n – кількість сторін);
- *горизонтальні кути*, створені сторонами ходу в усіх його точках β_1, β_2,…, β_n (n – кількість кутів);
- *дирекційний кут* початкової сторони α_{1-2};
- *плоскі прямокутні координати* X_1, Y_1 початкової точки ходу.

Зазначені координати можуть бути визначені в єдиній державній системі або обрані умовно.

Знаходження координат точок теодолітного ходу засноване на залежності між горизонтальними кутами і кутами орієнтування сторін ходу; між координатами двох сусідніх точок ходу; на вирішенні прямої геодезичної задачі.

Залежність між названими вище кутами така: дирекційний кут наступної сторони дорівнює дирекційному куту попередньої сторони плюс 180° і мінус правий по ходу горизонтальний кут. Стосовно до ділянки ходу, що зображена на рис. 34 а, формула обчислень наступна:

$$\alpha_{2-3} = \alpha_{1-2} + 180° - \beta_2 \qquad (19)$$

Якщо виміряні ліві по ходу горизонтальні кути (рис. 32 б), то:

$$\alpha_{2-3} = \alpha_{1-2} - 180° + \beta_2 \qquad (20)$$

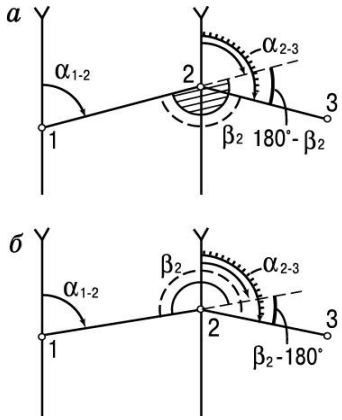


Рис. 34

Пряма геодезична задача полягає в тому, що за відомими значеннями координат початкової точки (X_1, Y_1), кута

напрямку (α_{1-2}) і горизонтальної проекції лінії (D_{1-2}) знаходять координати кінцевої точки (X_2, Y_2). Основа задачі – обчислення різниці значень координат, тобто величин, що показують, на скільки координати кінцевої точки відрізняються від координат початкової точки. Ці величини називаються *приростами координат* і позначаються Δx і Δy (рис. 35).

Розв'язок задачі проводиться за формулами:

$$\Delta x_{1-2} = D_{1-2} \cdot \cos \alpha_{1-2};$$

$$\Delta y_{1-2} = D_{1-2} \cdot \sin \alpha_{1-2}; \qquad (21)$$

$$X_2 = X_1 + \Delta x_{1-2}; \;\; Y_2 = Y_1 + \Delta y_{1-2}$$

Прирости координат мають знаки "+" або "–" в залежності від кута орієнтування сторони ходу (табл. 12). Обчислення координат точок теодолітного ходу проводиться послідовно: знайти значення X_3, Y_3 можливо тільки після знаходження X_2, Y_2 і т. д.

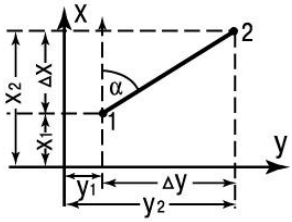


Рис. 35

Оскільки практичні результати роботи внаслідок похибок при її виконанні відрізняються від теоретично можливих, процес знаходження координат включає поетапний контроль результатів вимірів та обчислень. Його мета – приведення вихідних даних до теоретично можливого вигляду.

Допустима кутова нев'язка в результатах виміру горизонтальних кутів знаходиться за формулою:

$$f_{\beta доп} = \pm 1.5' \sqrt{n}\,, \quad (22)$$

де n – кількість кутів.

При обчисленні приростів координат за формулами визначаються абсолютна і відносна похибки (формули подані нижче). Допустимість відносної похибки задається.

Таблиця 12

Дирекційний кут	Назва чверті	Знак приросту	
		X	Y
$0^o – 90^o$	ПнСх	+	+
$90^o – 180^o$	ПдСх	–	+
$180^o – 270^o$	ПдЗх	–	–
$270^o – 360^o$	ПнЗх	+	–

Завдання 8. Обчислення координат точок замкнутого теодолітного ходу.

Роботу необхідно виконати за даними табл. 13. Теодолітний хід замкнутий, виміряні горизонтальні кути є правими по ходу, точність вимірювання кутів теодолітом – 30″.

Таблиця 13

Точка	Кути виміряні	Дирекційний кут	Довжини сторін	Координати точок	
				X	Y
1					
2					
3					
4					
5					
1					

Практичні поради

Порядок обчислення координат точок теодолітного ходу пояснимо на прикладі. Припустимо, що на місцевості прокладений хід, схематичне зображення якого зображене на рис. 36.

Хід, подібний до зображеного на малюнку, називається *замкнутим* теодолітним ходом або *полігоном*.

Вихідні дані для обчислень виписуються у відомість (табл. 14, там вони виділені напівжирним шрифтом).

Робота складається з наступних етапів:

1. Урівноважування кутових вимірів.

Даний етап включає обчислення практичної суми кутів ($\sum\beta_{пр}$) шляхом сумування значень кутів, виписаних у колонці 2; обчислення теоретичної суми кутів ($\sum\beta_{теор}$) у багатокутнику за формулою:

$$\sum\beta_{теор} = 180°(n-2), \qquad (23)$$

де n – кількість кутів.

Після цього необхідно визначити практичну кутову нев'язку ($f_{\beta пр}$) за формулою:

$$f_{\beta\,пр} = \sum\beta_{пр} - \sum\beta_{теор}, \qquad (24)$$

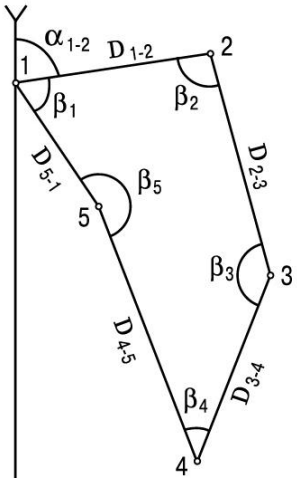


Рис. 36

а потім допустиму кутову нев'язку за формулою, що приведена вище.

У нашому прикладі $\sum\beta_{пр}$ = 540°02′, $\sum\beta_{теор}$ = 540°, отже, $f_{\beta пр}$ = +2′, $f_{\beta доп}$ = $\pm 1.5'\sqrt{5}$ = ±3,6′, тобто практична похибка не перевищує допустиму і тому можна приступити до урівноважування кутів. Воно полягає у внесенні поправок у вихідні дані та одержанні їхніх виправлених значень, сума яких повинна дорівнювати теоретичній сумі кутів.

Таблиця 14

Точка	Кути виміряні, $\beta_{пр}$	Поправка, v_β	Кути виправлені, $\beta_{випр}$	Дирекційні кути, α	Румби, r	Довжини сторін D (м)	Прирости обчислені				Прирости виправлені		Координати	
							Δx′	Поправка, v_x	Δy′	Поправка, v_y	Δx	Δy	X	Y
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	**66°28′**	-1′	66°27′										**+100.00**	**+100.00**
				80°20′	ПнС:80°20′	**58.43**	+9.88	-0.03	+57.60		+9.85	+57.60		
2	**95°24′**		95°24′										+109.85	+157.60
				164°56′	ПдС:15°04′	**70.25**	-67.81	-0.04	+18.28	-0.01	-67.84	+18.27		
3	**144°31′**		144°31′										+42.00	+175.87
				200°25′	ПдЗ:20°25′	**61.17**	-57.33	-0.03	-21.34	-0.01	-57.36	-21.35		
4	**41°29′**	-1′	41°28′										-15.36	+154.52
				338°57′	ПнЗ:21°03′	**83.41**	+77.86	-0.04	-29.96	-0.01	+77.82	-29.97		
5	**192°10′**		192°10′										+62.46	+124.55
				326°47′	ПнЗ:33°13′	**44.82**	+37.56	-0.02	-24.55		+37.54	-24.55		
1													+100.00	+100.00
				80°20′			+125.30	-0.16	+75.88	-0.03	+125.21	+75.87		
						P = 318.08	-125.14		-75.85		-125.21	-75.87		
$\sum\beta_{пр}$ = 540°02′		-2′	540°00′				+0.16		+0.03		0.00	0.00		
$\sum\beta_т$ = 540°														
$f\beta_{пр}$ = +2′														
$f\beta_{доп}$ = ±1.5′ $\sqrt{5}$ = ±3,6′														

$$f_{абс} = \sqrt{0.16^2 + 0.03^2} = 0.16$$

$$f_{відн} = \frac{1}{318.08 : 0.16} = \frac{1}{1988} \le \frac{1}{1500}$$

При визначенні величини поправок v_1, v_2 і т.д. враховують наступне: а) при відносній рівності сторін полігона кутова нев'язка розподіляється порівну на всі кути зі знаком, зворотним до знаку нев'язки; б) якщо сторони різко відрізняються одна від одної по довжині, то трохи більші поправки вводять у кути, утворені короткими сторонами тому, що точність виміру таких кутів є нижчою в порівнянні з кутами, утвореними довгими сторонами; за цією ж причиною відносно малу нев'язку розподіляють тільки між кутами з короткими сторонами; в) якщо теодолітний хід короткий, поправки можна вводити з таким розрахунком, щоб виправлені значення кутів були округлені до цілих мінут.

Знаходження поправок контролюється умовою: *сума поправок повинна дорівнювати нев'язці з протилежним знаком,* тобто:

$$\sum v_i = -f_{\beta пр} \ . \qquad (25)$$

У нашому прикладі поправки введені в кути 1, 2 та 4. Сума виправлених кутів дорівнює теоретичній, тобто 540° (колонки 3 і 4 табл. 14).

2. Обчислення дирекційних кутів сторін полігона і перехід від них до румбів.

Дирекційні кути всіх сторін полігону обчислюють за вихідним значенням α_{1-2} і виправленими значенням внутрішніх кутів.

Обчислення ведеться послідовно, тобто: $\alpha_{2-3} = \alpha_{1-2} + 180° - \beta_2$; $\alpha_{3-4} = \alpha_{2-3} + 180° - \beta_3$ і т.д.; завершується обчислення знаходженням α_{1-2} через обчислений α_{5-1}, тобто $\alpha_{1-2} = \alpha_{5-1} + 180° - \beta_1$. У процесі обчислення при необхідності потрібно додавати або віднімати 360° для того, щоб остаточне значення дирекційного кута не було від'ємним або більшим 360°.

Контролюються обчислення умовою: *обчислений α_{1-2} повинен дорівнювати вихідному значенню.* У нашому прикладі вихідний і обчислений дирекційні кути дорівнюють 80°20′ (див. колонку 5 табл. 14).

З метою спрощення подальших обчислень від дирекційних кутів переходять до румбів сторін на підставі залежності між ними, розглянутої раніше. Запис румбів ведуть у колонці 6 (див. табл. 14).

3. Обчислення приростів координат.

Прирости координат обчислюються за формулами прямої геодезичної задачі (22). Отримані значення приростів записують у відповідні колонки відомості (див. табл. 13). Потім контролюють правильність обчислень на цьому етапі.

Відомо, що алгебраїчні суми приростів у замкнутому полігоні повинні дорівнювати нулю. Практично ці суми відрізняються від нуля, у результаті чого виникають лінійні нев'язки f_x та f_y. Їхні значення одержують сумуванням обчислених приростів.

Загальна абсолютна лінійна нев'язку полігона $f_{абс}$ обчислюється за формулою:

$$f_{абс} = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}\ , \qquad (26)$$

а відносна $f_{відн}$ за формулою:

$$f_{відн} = \frac{1}{L : f_{абс}}\ , \qquad (27)$$

де L – периметр полігона (в м).

Допустима $f_{відн}$ не повинна перевищувати в даному прикладі 1/1500.

Як видно з приведених у таблиці результатів обчислень, отримана відносна лінійна нев'язка не перевищує заданого значення, тому можна приступити до урівноважування обчислених приростів координат.

4. Урівноважування приростів координат.

Спочатку отримують значення поправок в обчислені прирости за формулами:

$$v_x = \frac{f_x}{L} s \qquad v_y = \frac{f_y}{L} s\,, \qquad (28)$$

де L та s виражаються в десятках або сотнях метрів. З формул видно, що величина поправки пропорційна довжині сторони полігону (його горизонтальній проекції). Знак поправки повинен бути протилежним до знаку нев'язки. Точність визначення поправки не повинна перевищувати точності вихідних даних, тобто точності виміру довжин сторін теодолітного ходу. Практично поправка обчислюється до 0,001, а потім округлюється до 0,01.

Контролюється даний етап роботи так: *сума поправок повинна дорівнювати нев'язці з протилежним знаком.*

У нашому прикладі f_x = +0,16, в периметрі 32 десятки (318,08 м). Ділимо 0,16 : 32 = 0,005, тобто на один десяток метрів периметра приходиться 0,001 нев'язки. Довжина сторони D_{1-2} містить 6 десятків, тому 0,005 · 6 = 0,03. Аналогічно знаходимо поправки у всі інші прирости Δx та Δy. Якщо f_y, як у нашому випадку дорівнює +0,03, то, дотримуючись викладеної вище умови, її не варто ділити більше, ніж на 3 частини, тобто по 0,01.

Правильність обчислення поправок контролюється їхнім сумуванням (окремо по Δx і Δy). Якщо первісна сума відрізняється на деяку величину від нев'язки, то варто виправити поправки так, щоб їхня сума не відрізнялася від цього значення.

Тепер можна ввести поправки у відповідні обчислені прирости. При цьому варто враховувати знаки приростів і поправок, що до них додаються. Якщо поправок менше, ніж приростів, то вони вводяться в ті ж прирости, що обчислені для найбільш довгих сторін полігону (див. поправки в Δy в табл. 14).

Правильність виправлених значень приростів координат контролюємо їхнім сумуванням. Результат повинний дорівнювати 0. У нашому прикладі (див. колонки 12 та 13 в табл. 14) ця умова виконана.

5. Обчислення координат точок полігону.

Координати точок полігону обчислюються за формулами прямої геодезичної задачі.

Для нашого прикладу формули мають вигляд:

$$\begin{aligned} X_2 &= X_1 + \Delta x_{1-2} & Y_2 &= Y_1 + \Delta y_{1-2} \\ X_3 &= X_2 + \Delta x_{2-3} & Y_3 &= Y_2 + \Delta y_{2-3} \\ X_4 &= X_3 + \Delta x_{3-4} & Y_4 &= Y_3 + \Delta y_{3-4} \\ X_5 &= X_4 + \Delta x_{4-5} & Y_5 &= Y_4 + \Delta y_{4-5} \end{aligned} \qquad (29)$$

Контролем є обчислення координат першої точки з формул : $X_1 = X_5 + \Delta x_{5-1}$; $Y_1 = Y_5 + \Delta y_{5-1}$. У нашому прикладі ця умова виконана (див. колонки 14 та 15 у табл. 14).

ПОБУДОВА ПОЛІГОНУ ЗА РУМБАМИ І ДОВЖИНАМИ СТОРІН

Теоретичні відомості

Побудова теодолітного полігону за відомим значенням довжин його сторін і румбів виконується при укладанні планів для невеликих ділянок місцевості.

Завдання 9. Побудова полігону за румбами і довжинами сторін.

Вправа 1. Полігон необхідно побудувати за даними завдання 8 у масштабі 1:5 000.

Вправа 2. Показати розподіл графічної нев’язки.

Практичні поради

Для виконання роботи дані варто взяти в колонках 6 та 7 табл. 14. Побудова проводиться за допомогою транспортира, масштабної лінійки і циркуля-вимірювача у наступній послідовності.

Посередині аркуша проводять вертикальну лінію, що приймається за напрямок, паралельний осьовому меридіану зони. Намічають положення точки 1 таким чином, щоб весь полігон розмістився посередині аркуша (для цього доцільно побудувати попередньо схему полігона в заданому масштабі). Для проведення напрямку сторони 1–2 у середній частині вертикальної лінії намічають точку О, прикладають до лінії транспортир так, щоб його центр сполучився з цією точкою, повертають транспортир навколо неї доти, поки відлік по його дузі, який відповідає величині румба, що відкладається, не сполучиться з вертикальною лінією. За допомогою лінійки і трикутника, що пересувається по ній, олівцем проводять *напрямок до* точки 1 (рис. 37 а, б).

У результаті похибок проведення напрямків і відкладання довжин сторін можлива розбіжність початкової (1) і кінцевої (1′) точок полігона (рис. 38).

Величина цієї розбіжності називається *графічною нев'язкою*. Вона вважається допустимою, якщо її довжина в масштабі побудови не перевищує 1/200 – 1/300 периметра полігона.

На проведеній лінії відкладають у масштабі побудови довжину сторони 1–2, одержуючи таким способом положення точки 2 (рис. 35 в). Потім зазначеним способом наносять лінію 2–3 (рис. 35 г, д) і всі наступні сторони полігона.

Приклад визначення допустимості нев'язки. При побудові полігона периметром 940 м в масштабі 1:1 000 отримана графічна нев'язка склала 2 мм, що в зазначеному масштабі дорівнює 2 м. 1/200 периметра полігона дорівнює 4,7 м (940 м : 200 = 4,7 м). Висновок: отримана нев'язка не перевищує допустиму.

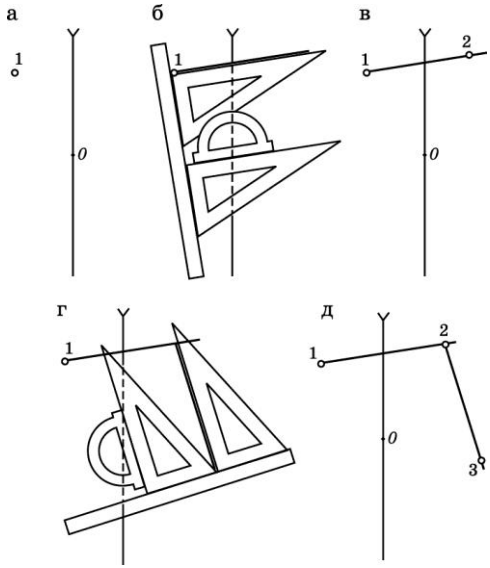


Рис. 37

Виправлення положення точок полігону (розподіл графічної нев'язки) проводять способом паралельних ліній. Для цього на проведеній горизонтальній лінії в довільному масштабі послідовно відкладають сторони полігона (рис. 38). З точки 1 проводять перпендикуляр, що дорівнює по довжині нев'язці, і проводять пряму 1–1′. З кожної точки, наміченої на прямій 1–1, проводять перпендикуляри до перетину з лінією 1–1′. Їхні величини між прямими 1–1 та 1–1′ є графічними поправками в положеннях відповідних точок полігону на плані.

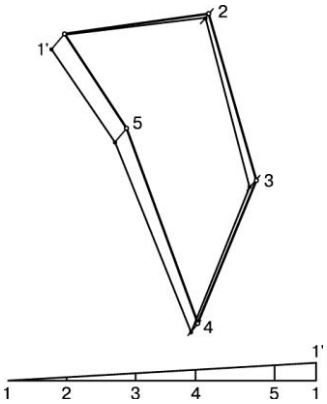


Рис. 38

Для виправлення побудованого полігону, через кожну його точку проводять лінії, паралельні нев'язці 1–1′, і уздовж них відкладають графічні поправки в напрямку, по якому варто змістити точку 1′ до її збігу з точкою 1. Після цього виконують чистове оформлення побудови (на рис. 38, виправлений полігон поданий потовщеною лінією).

НАНЕСЕННЯ ПОЛІГОНУ ЗА КООРДИНАТАМИ ЙОГО ВЕРШИН

Теоретичні відомості

Точки теодолітного полігону називають *вершинами.*

Робота з нанесення точок полігона на план за їхніми координатами проводиться за допомогою прийомів, описаних в розділі «Системи координат». Складається вона з побудови координатної сітки, розрахунків розміру зображення полігона в масштабі побудови, числового позначення ліній сітки, визначення положення кожної з точок полігону.

Завдання 10. Нанесення полігона за координатами його вершин.

Вправа 1. Розрахувати розміри полігона в масштабі побудови (1:5 000). Цифрами позначити лінії координатної сітки по осях X та Y.

Вправа 2. Полігон необхідно нанести за даними завдання 8 у масштабі 1:5 000 (приклад оформлення див. на рис. 39).

Практичні вказівки

Вихідними даними для виконання роботи є обчислені раніше координати точок теодолітного полігона (див. табл. 14). Виконання даного завдання допускає використання готової координатної сітки, нанесеної на бланку, тому опис способів її побудови не дається.

Розрахунок розмірів полігона в масштабі побудови необхідний для правильного його розміщення на плані. Складається він з обчислення довжини полігона уздовж осей X і Y. Для цього необхідно визначити різницю найбільшого і найменшого значень координат (окремо для x та y), якщо всі координати мають однаковий знак, або суму найбільшого додатного і найбільшого від'ємного значень координат при різних знаках. Потім отримані величини виражаються в масштабі побудови.

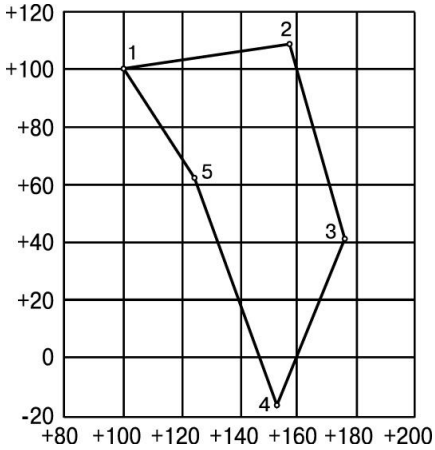


Рис. 39

Наприклад, для визначення довжини полігона по осях X і Y на основі даних табл. 13 необхідно сумувати значення x – 15,36 (зі знаком «–») та 109,85 (як найбільше значення x зі знаком «+») і взяти різницю між значеннями y – 175,87 і 100,00 (тому, що всі значення y додатні). Результат: по осі X полігон має довжину 125,21 м, по осі Y

– 75,87 м. Якщо нанесення полігона буде виконуватися в масштабі 1:1000 (у 1 см – 10 м), то полігон на плані займе ділянку 12,5 см х 7,6 см (125,21 м : 10 м = 12,5 см; 75,87 м : 10 м = 7,6 см (з округленням до 0,1 см).

Позначення цифрами ліній сітки визначає їхнє значення в прийнятій системі координат в залежності від обраного початку відліку, відстаней між лініями сітки і масштабу нанесення полігона. Задача вирішується так: обчислюється відстань між лініями сітки у відомому масштабі і кількість клітинок координатної сітки по осях X і Y, необхідних для розміщення полігона (для цього довжина полігона по кожному з напрямків ділиться на відстань між лініями сітки, виражену в масштабі); на координатній сітці позначаються лінії, між якими розміститься полігон; нижній горизонтальній лінії надається значення, близьке до найменшого значення *x* і по можливості кратне відстані між лініями сітки; послідовно додаючи (або віднімаючи) до вихідного значення лінії масштабне вираження відстані між лініями, позначають цифрами інші; аналогічно роблять при позначенні цифрами вертикальних ліній сітки.

Наприклад, припустимо, що координатна сітка (її схематичне зображення подане на рис. 37) має квадрати зі стороною 2 см. Всього квадратів у сітці 6 х 7. У масштабі 1:1000 2 см відповідає 20 м. Отже, по осі X розглянутий нами полігон займе трохи більше 6 квадратів (125,21 м : 20 м = 6,20), по осі Y – 4 квадрати (75,87 м : 20 м = 3,78). Стосовно загальної площі координатної сітки полігон займе по вертикалі всі квадрати, по горизонталі два з них залишаться порожніми. Нижній горизонтальній лінії можна надати значення –20 (близьке до –15,36 і кратне 20), тоді інші лінії по осі X позначаться так, як зазначено на рис. 39. Щоб по горизонтальному напрямку полігон розмістився в центральній частині сітки квадратів, доцільно залишити незайнятими обидва крайні стовпці квадратів (лінії, між якими розміститься полігон, позначені на рис. 39 хрестиками). Лінії, яка обмежує ділянку, що займе полігон ліворуч, зручно надати значення 100 (найменше значення *y*), позначивши цифрами відповідним чином інші вертикалі. Якщо порівняти тепер значення ліній сітки і координат точок полігона, легко переконатися, що полігон розміститься на розрахованій ділянці. Тому можна приступити до його нанесення на план.

Для контролю правильності виконання роботи вимірюють у масштабі зображення відстані між нанесеними точками і порівнюють їх з вихідними значеннями довжин сторін полігона (див. колонку 7 табл. 14). Розбіжність між двома відповідними значеннями не повинна перевищувати 0,2 мм у масштабі плану.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Основи топографії (методичні вказівки до виконання практичних робіт для студентів геологічного факультету) / В.І. Остроух. – К.: Фітосоціоцентр, 2006. – 46 с.

2. Топографічні методи в навчальній геологічній практиці (навчально-методичний посібник для студентів геологічних спеціальностей) / Е.Л. Бондаренко, В.І. Остроух, Н.О. Полякова, В.О. Шевченко.– К.: Київ ЦНТЕІ, 2009. – 40 с.

3. Топографія з основами геодезії: підручник / за ред. А.П. Божок, А.М. Молочка – К.: Вид.-полігр. центр "Київський університет", 2008. – 304 с.

4. Топографо-геодезична та картографічна діяльність. Законодавчі та нормативні акти. В 2-х частинах. – Вінниця: Антекс, 2000, – 408 с. (1-а частина), 2002. – 656 с. (2-а частина).

ЗМІСТ

	Стор.
Вступ	**2**
Топографічна карта	**3**
Масштаби	**5**
Умовні знаки	**9**
Системи координат	**12**
Кути орієнтування	**17**
Розграфлення і номенклатура	**21**
Задачі, які розв’язуються по карті за допомогою горизонталей	**26**
Проведення горизонталей за відмітками висот точок	**31**
Обчислення координат точок замкнутого теодолітного ходу	**34**
Побудова полігону за румбами і довжинами сторін	**40**
Нанесення полігону за координатами його вершин	**42**
Список літератури	**44**

Навчальне видання

Остроух Віталій Іванович

ПРАКТИКУМ З ТОПОГРАФІЇ

Методичні вказівки до виконання практичних робіт
для студентів напряму 6.0470103 – Геологія