

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ І ЗАВДАННЯ**

до практичних і самостійних робіт

з дисципліни

**«КАРТОГРАФІЯ»**

*(для студентів денної і заочної форм навчання напряму підготовки  
6.080101 – Геодезія, картографія та землеустрій)*

**Харків**  
**ХНУМГ ім. О. М. Бекетова**  
**2016**

Методичні вказівки і завдання до практичних і самостійних робіт з дисципліни «Картографія» (для студентів денної і заочної форм навчання напряму підготовки 6.080101 – Геодезія, картографія та землеустрій) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад. : С. А. Отечко. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова; 2016. – 26 с.

Укладач: канд. географ. наук С. А. Отечко

*Рекомендовано кафедрою геоінформаційних систем, оцінки землі та нерухомого майна, протокол № 1 від 29 серпня 2015 року*

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ ТА МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ЇХ ВИКОНАННЯ.....	6
1.1 Практична робота 1. Зміна масштабів довжин по паралелям на карті в рівнокутній конічній проекції .....	6
1.2 Практична робота 2. Задачі на загальну теорію зображення .....	7
1.3 Практична робота 3. Дослідження характеру і величини деформації проекції карти .....	11
1.4 Практична робота 4. Рівнокутна нормальна конічна проекція .....	15
1.5 Практична робота 5. Ортодромія і локсодромія, їхнє зображення і параметри в прямій нормальній рівнокутній конічній проекції .....	20
2 САМОСТІЙНА РОБОТА.....	23
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	25

## ВСТУП

Спочатку наведемо узагальнююче поняття про картографію і деякі особливості цієї дисципліни. Картографія – наука про карту як особливий спосіб зображення дійсності, її створення і використання або галузь науки техніки та виробництва, що охоплює вивчення, створення і використання картографічних творів. Під картографічними творами розуміють твір у галузі відображення об'єктів природи і суспільства у певній картографічній проекції із застосуванням картографічних умовних знаків (креслення, карта, атлас, ескіз, макет тощо). Предметом картографії є відображення і дослідження об'єктів природи і суспільства, їх розміщення, властивостей, взаємозв'язків і змін у часі і просторі за допомогою карт та інших картографічних творів.

Структура картографії (система наукових і технічних дисциплін) може бути представлена таким чином:

- загальна теорія картографії – вивчає загальні проблеми, предмет і метод картографії як науки, питання методології створення і використання карт. Основні розробки з теорії картографії виконуються в межах картознавства – загального вчення про картографічні твори;

- математична картографія (картознавство) – дисципліна, що вивчає математичну основу карт і розробляє теорію картографічних проекцій, методи побудови картографічних сіток, аналіз і розподіл спотворень у них;

- цифрова картографія – науково-технічна дисципліна, що охоплює теорію та практику створення різноманітних видів цифрових карт і моделей місцевості, автоматизацію картографічних і фотограмметричних робіт;

- картометрія – дисципліна про вимірювання й обчислення по картах координат, відстаней, довжин, висот, площ та інших топографічних характеристик, тобто усіх кількісних показників;

- морфометрія – дисципліна, що досліджує кількісні показники форми і структури зображених на картах об'єктів – загальний характер їх обрисів, витягнутість, звивистість, кривизну, розчленування тощо;

- історія картографії – вивчає історію ідей, подань, методів картографії, розвиток картографічного виробництва, а також старого картографічного добутку;

- проектування і складання карт – вивчає та розробляє методи і технології лабораторного (камерального) виготовлення й редагування карт. У свою чергу, підрозділяється на кілька великих розділів, присвячених загальним питанням, проектуванню й складанню карт загальногеографічних, природи, соціально-економічних, екологічних тощо;

- оформлення карт (картографічний дизайн) – вивчає теорію й методи художнього проектування картографічних творів, їх штрихового й кольорового оформлення, у тому числі засобами комп'ютерної графіки;

- видання карт – технічна дисципліна, що розробляє технологію карт, атласів та іншої картографічної продукції;

- використання карт – розробляє теорію й методи застосування картографічних творів (карт, атласів, глобусів та ін.) у різних сферах практичної, наукової, культурної, освітньої діяльності. Основу цієї дисципліни становить картографічний метод дослідження – метод використання карт для пізнання зображених на них явищ;

- картографічне джерелознавство – вивчає та розробляє методи оцінки і систематизації картографічних джерел (карт, знімків, статистичних даних та інших документів), використаних для складання карт;

- картографічна інформатика – вивчає та розробляє методи збору, зберігання й надання споживачам інформації про картографічні твори й їх джерела. Розділ, що займається систематизацією виданих карт і атласів, складанням покажчиків, списків, оглядів, називається картобібліографією;

- картографічна топоніміка – вивчає географічні назви, їх смислове значення з погляду правильної передачі на картах. До завдань цієї дисципліни входить нормалізація й стандартизація назв і термінів, які наносяться на карти;

- картографічна семіотика – розробляє мову карти, теорію й методи побудови систем картографічних знаків, правила їх використання. У рамках картографічної семіотики виділяють три розділи: картографічну синтактику, семантику й прагматику, що вивчають співвідношення знаків між собою, їх зв'язок із відображуваними об'єктами, особливості сприйняття читачами, інформаційну цінність знаків тощо;

- економіка й організація картографічного виробництва – розділ на стику картографії й економіки, у межах якого вивчаються проблеми оптимальної організації й планування виробництва, використання картографічного устаткування, матеріалів, трудових ресурсів, підвищення продуктивності праці й економічної ефективності тощо.

Оскільки питання, які вивчаються в цьому навчальному посібнику, відносяться до математичної картографії, то розглянемо основні завдання математичної картографії:

- вивчення картографічних проєкцій, їх властивостей і взаємозв'язків, а також їх оптимальне застосування;

- удосконалення наявних картографічних проєкцій і розробка нових;

- удосконалення методів дослідження нових картографічних проєкцій;

- розроблення нових математичних елементів карт;

- вивчення способів і засобів різних вимірювань по картах з урахуванням властивостей картографічних проєкцій;

- вивчення і розв'язання задач математичного характеру, що виникають при складанні карт;

- вивчення способів застосування картографічних проєкцій у геодезії;

- розроблення теорії і методів автоматизації в математичній картографії.

# 1 ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ ТА МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ЇХ ВИКОНАННЯ

**1.1 Практична робота 1.** Зміна масштабів довжин по паралелям на карті в рівнокутній конічній проекції

Мета: засвоїти поняття часткового, головного масштабу карти, здобути практичні навички лінійних вимірів по карті.

Матеріали і обладнання: контурні карти по географії для дев'ятого класу, вимірник, поперечний масштаб, підручники [1, 6], мікрокалькулятор.

Завдання: визначити масштаби за відрізками паралелей на різних широтах, побудувати графік зміни масштабів по паралелям на різних широтах.

Порядок виконання роботи

1. Визначають коефіцієнт деформації паперу (основи карти) за формулою (1).

$$K = \frac{l_k}{l_{вим}}, \quad (1)$$

де  $l_k$  – довжина лінійного масштабу карти (40 чи 50 мм);

$l_{вим}$  – його довжина, виміряна за допомогою вимірника і поперечного масштабу, мм.

2. Вимірюють довжини паралелей між двома суміжними координатами за допомогою вимірника з кроком 5 мм у прямому і зворотному напрямках з точністю 0.1 мм (табл. 1).

3. Обчислюють масштаб  $n$  по кожному відрізьку паралелей за формулою (2).

$$n = \frac{l_{вим} \cdot K \cdot \mu_0}{L \cdot 1000}, \quad (2)$$

де  $L$  – довжина паралелі з таблиць, м;

$l_{вим}$  – вимірювана довжина відрізька по паралелі, мм;

$\mu_0$  – знаменник масштабу карти.

4. Будують графік масштабів довжин по паралелям (рис. 1)

Таблиця 1 – Обчислення масштабів довжин по паралелям на основі даних лінійних вимірів за картою

Широта, град	$l_{вим}$			З таблиць ( $L \cdot \Delta\lambda$ )	$n = \frac{l_{вим} \cdot K \cdot \mu_0}{1000L}$
	Прямо	Назад	Середнє		
60	22	25	28.1	5580x2	0.986
58	22	25	28	59134x2	0.976
56	22	25	28	62394x2	1.002
54	23	26,1	28,9	65577x2	0.999
52	23,2	26,2	28,8	68679x2	1.019
50	23,1	26,2	28,8	71679x2	1.004

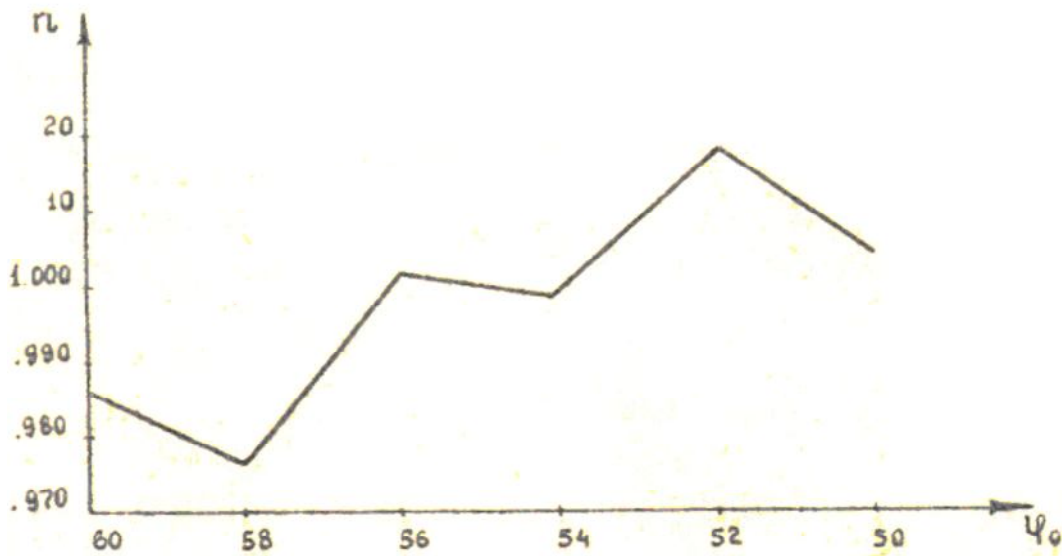


Рисунок 1 – Графік зміни масштабів довжин по паралелям

## 1.2 Практична робота 2. Задачі на загальну теорію зображення

Мета: у процесі рішення задач засвоїти основні положення теорії відображення поверхні земного еліпсоїда на поверхні кулі.

Матеріали і обладнання: підручник [1] чи [4], довідник по математиці.

Завдання: на основі заданих рівнянь проєкцій визначити вид сітки меридіанів і паралелей, ортогональність сітки, часткові масштаби і деформації кутів, групу проєкцій за характером деформацій. По заданих рівняннях знайти опис проєкції в підручниках, указати сторінки.

Порядок виконання роботи

Картографічна проєкція задана рівняннями:

$$n = R \sin \varphi \quad (3)$$

$$y = R \cos \varphi \sin \lambda \quad (4)$$

1. Визначають вид сітки меридіанів і паралелей на основі аналізу рівнянь меридіанів і паралелей. З загальної теорії картографічних проекцій відомо, що:

$$F_1(x, y, \varphi) = 0 \text{ – рівняння паралелей;} \quad (5)$$

$$F_2(x, y, \lambda) = 0 \text{ – рівняння меридіанів.} \quad (6)$$

Отже, рівняння (3) і (4) необхідно привести до виду (5) і (6), тобто для одержання рівняння меридіанів на заданих рівняннях треба виключити широту, а для одержання рівняння паралелей – довготу.

У нашому прикладі рівняння (3) є функцією тільки широти, а отже, це рівняння паралелі. Паралелі - прямі, рівнобіжні осі Y, відстані між ними змінюються пропорційно синусам широт, тобто зменшуються від екватора до полюсів (рис. 2).

Для одержання рівняння меридіанів виконують алгебраїчні перетворення (7):

$$x^2 = R \sin^2 \varphi;$$

$$x^2 / R^2 = \sin^2 \varphi;$$

$$x^2 / R^2 + Y^2 / R^2 \sin^2 \lambda = \sin^2 \varphi + \cos^2 \varphi;$$

$$Y^2 = R^2 \sin^2 \lambda \cos^2 \lambda;$$

$$Y^2 / R^2 \sin^2 \lambda = \cos^2 \lambda;$$

$$x^2 / R^2 + Y^2 / R^2 \sin^2 \lambda = 1 \text{ - рівняння меридіанів (еліпсу).} \quad (7)$$

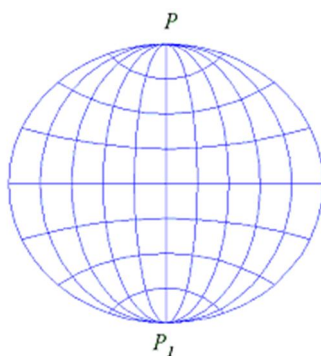


Рисунок 2 – Схематичне креслення виду сітки паралелей і меридіанів

2 Визначають ортогональність картографічної сітки. Умовою ортогональності сітки є вираз (8):



$$f = \frac{\partial x}{\partial \varphi} \frac{\partial x}{\partial \lambda} + \frac{\partial y}{\partial \varphi} \frac{\partial y}{\partial \lambda} = 0 \quad (8)$$

Для нашого прикладу:

$$\frac{\partial x}{\partial \varphi} = R \cos \varphi; \quad \frac{\partial x}{\partial \lambda} = 0;$$

$$\frac{\partial y}{\partial \varphi} = -R \sin \varphi \sin \lambda;$$

$$\frac{\partial y}{\partial \lambda} = R \cos \varphi \cos \lambda;$$

$$f = R \cos \varphi \cdot 0 - R^2 \sin \varphi \cos \varphi \sin \lambda \cos \lambda = -\frac{1}{4} R^2 \sin 2\varphi \cos^2 \lambda$$

$f \neq 0$  – сітка не ортогональна.

3 Обчислюють часткові масштаби уздовж паралелей і меридіанів, масштаб площ, деформації кутів (за формулами (9-12)). Із загальної теорії відображення поверхні еліпсоїду на кулі відомо:

$$m = \frac{\sqrt{e}}{R} \text{ – масштаб по меридіанах;} \quad (9)$$

$$n = \frac{\sqrt{g}}{R \cos \varphi} \text{ – масштаб по паралелях;} \quad (10)$$

$$e = \left( \frac{\partial x}{\partial \lambda} \right)^2 + \left( \frac{\partial y}{\partial \lambda} \right)^2; \quad (11)$$

$$g = \left( \frac{\partial x}{\partial \varphi} \right)^2 + \left( \frac{\partial y}{\partial \varphi} \right)^2; \quad (12)$$

На підставі (11) і (12) одержуємо вираз (13):

$$\begin{aligned} e &= R^2 (\cos^2 \varphi + \sin^2 \varphi \sin^2 \lambda); \\ g &= R^2 \cos^2 \varphi \cos^2 \lambda; \\ m &= \sqrt{\cos^2 \varphi + \sin^2 \varphi \sin^2 \lambda} \text{ – масштаб по меридіанах;} \end{aligned} \quad (13)$$

$n = \cos \lambda$ - масштаб по паралелях, змінюється від одиниці до нуля. На екваторі  $\varphi = 0$   $m = 1$ , на полюсі при  $\varphi = 90^\circ$  і  $\lambda = 0$ ,  $m = 0$ .

Масштаб площ обчислюють за формулою (14):

$$P = ab = mn \sin i \quad (14)$$

де  $a$ ,  $b$ - екстремальні масштаби;

$$\begin{aligned} a &= (A+Y)/2 \\ b &= (Y)/2 \\ A &= \sqrt{m^2 + n^2 + 2mn \sin i} \end{aligned} \quad (15)$$

$$B = \sqrt{m^2 + n^2 + 2mnsin i}, \quad (16)$$

де  $i$  – кут між меридіанами і паралелями в проекції, обчислюють за формулою (17):

$$\sin i = \frac{h}{\sqrt{eg}} \quad (17)$$

Для нашого прикладу справедливі вирази (18):

$$\begin{aligned} h &= R^2 \cos^2 \varphi \cos \lambda; \\ \sin i &= \frac{1}{\sqrt{1 + \sin^2 \lambda \operatorname{tg}^2 \varphi}}; \\ P &= \cos \lambda \cos \varphi \end{aligned} \quad (18)$$

Деформації кутів знаходять за формулами (19):

$$\begin{aligned} \sin \frac{\omega}{2} &= \frac{(a-b)}{(a+b)} = \frac{B}{A}; \\ \sin \frac{\omega}{2} &= \frac{(m-n)}{(m+n)}. \end{aligned} \quad (19)$$

4. Визначають групи проекцій за характером деформацій. Умова рівнокутності виражена у рівності (20):

$$f=0; m=n; \omega=0. \quad (20)$$

У нашому випадку  $f \neq 0$  і  $m \neq n$ ,  $\omega \neq 0$ , тобто проекція не рівнокутна. Умова рівновеликості для кулі визначається за формулою (21):

$$h = R^2 \cos \varphi \quad (21)$$

тобто проекція не рівновелика, отже, довільна.

Розглянута проекція є ортографічною поперечною [2].

### 1.3 Практична робота 3. Дослідження характеру і величини деформації проекції карти

Мета: отримати практичні навички виконання вимірів по карті з урахуванням характеру лінійних, кутових і площадних деформацій картографічних проекцій; визначити проекцію за характером деформацій.

Матеріали і обладнання: мікрокалькулятор, підручники [1, 2].

З теорії картографічних проекцій відомо, що на карті вказується головний масштаб (1:5000000, 1:9000000 і ін.), що зберігається тільки в окремих місцях, на деяких лініях карти. Звичайно при дослідженні головний масштаб приймається рівним одиниці. Крім поняття головного масштабу, розрізняють частковий масштаб 1, що змінюється від точки до точки і є функцією широти і довготи.

У кожній точці поверхні картографування розрізняють масштаби по меридіані -  $m$ , по паралелі -  $n$ , екстремальні масштаби:  $a$ - найбільший,  $b$ - найменший.

Деформації на карті включають деформації довжин, площ і кутів. Деформації довжин  $V_\mu$ - різниця між частковим масштабом і одиницею, виражена у відсотках:  $V_\mu = (\mu - 1)100\%$ . Деформації площ - різниця між масштабом площі й одиницею, вираженої у відсотках (22):

$$V_p = (p - 1)100\%, \quad (22)$$

де  $p$  – частковий масштаб площі.

Деформації кутів  $\omega$  характеризується різницею між величинами кута в проекції і на картографічній поверхні.

Якщо на поверхні картографування взяти окружність нескінченно малого радіуса, то в проекції одержимо зображення еліпса. Якщо радіус окружності прийняти умовно рівним одиниці, у проекції одержимо еліпс деформацій (рис. 3).

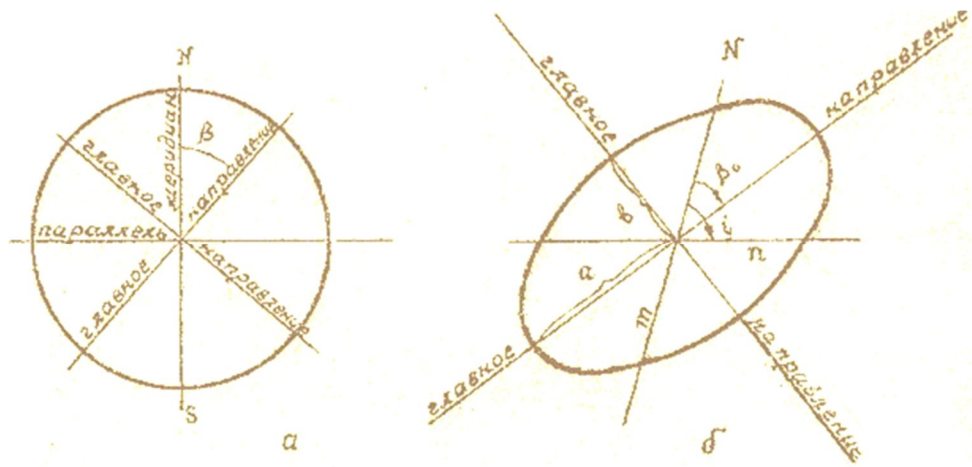


Рисунок 3 – Схема перетворення окружності в еліпс деформацій

а - окружність на поверхні картографування;

б – еліпс деформацій у проекції.

Основні формули для обчислення елементів еліпса деформацій (23-29):

$$m = \frac{S_1^1}{(S_1 \cdot 1000 : \mu_0)} \quad (23)$$

$$n = \frac{S_2^1}{(S_2 \cdot 1000 : \mu_0)} \quad (24)$$

$$a = \frac{1}{2}(A + B) \quad (25)$$

$$b = \frac{1}{2}(A - B) \quad (26)$$

$$A = \sqrt{m^2 + n^2 + 2P} \quad (27)$$

$$B = \sqrt{m^2 + n^2 - 2P} \quad (28)$$

$$\operatorname{tg} \beta_0 = \frac{b}{a} \sqrt{\frac{a - m^2}{m^2 - b^2}} \quad (29)$$

де  $S_1^1, S_2^1$  – довжини дуг меридіана і паралелі, вимірювані за картою;

$S_1, S_2$  – відповідні дуги по еліпсоїду;

$\beta_0$  – кут між меридіаном і великою віссю еліпса, відкладається усередину гострого кута  $i$  (рис. 3).

Формули переключування кутів і площ запишуться так:

$$\sin \frac{\omega}{2} = \frac{B}{A} \quad (30)$$

$$P = mn \sin i$$

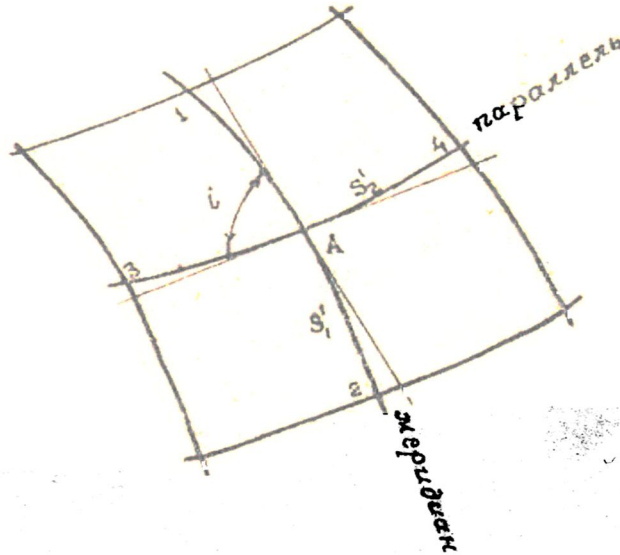


Рисунок 4 – Відрізки для виміру довжин паралелей, меридіанів і кута  $i$

Завдання: у крапках, зазначених викладачем на карті, побудувати еліпси перекручувань, оцінити величини останніх, побудувати ізоколи, зробити висновок про характер перекручувань проекції.

Порядок виконання роботи

1 У заданій точці А проводять дотичну до меридіана і паралелі (рис. 4). Контроль правильної побудови дотичних – рівність відрізків, рівновіддалених від точки А.

2 Геодезичним транспортиром вимірюють кут  $i$  та доповнення до  $180^{\circ}$  (для контролю) з точністю до 0.1 градусного ділення.

3 Вимірюють відрізки  $S_1^1$  і  $S_2^1$ , рівні відповідно дузі меридіана між найближчими до точки А паралелями  $S_1^1 = l_{12}$  і дузі паралелі між найближчими до точки А меридіанами  $S_2^1 = l_{34}$ . Методика вимірів довжин дуг меридіанів і паралелей описана в практичній роботі 1.

Обчислення ведуться за формулами (23-30). Отримані дані записують до таблиці 2. Для побудови еліпсу деформацій обчислюють значення  $m$ ,  $n$ ,  $a$ ,  $y$ ,  $i$ ,  $\beta_0$ , а для побудови на карті ізокол – величини  $p$  і  $\omega$ .

Побудова еліпса спотворень

У заданій точці А проводять окружність одиничного радіуса. Від дотичної до меридіана у бік гострого кута будують кут  $\beta_0$  і на отриманому напрямку в обидва боки від центра відкладають величину  $a$ , на напрямку, перпендикулярному початкову – величину  $b$ . Одержують головні діаметри еліпсу (рис. 3).

На дотичних до меридіана і паралелі відкладають масштаби  $m$  і  $n$  відповідно. По сполучених діаметрах будують еліпс.

Таблиця 2 - Обчислення елементів еліпсу деформацій по карті масштабу 1:100000000

Елементи формул	Точка А	Елементи формул	Точка А
1	2	3	4
1 $\phi$ , град	40	2 $\lambda$ , град	140
3 $Q$ , град	116 <sup>0</sup> 30'	4 $I$ , град	63 <sup>0</sup> 30'
5 $S_1^1$ , мм	63.1	6 $S_2^1$ , мм	38.2
7 $S_1$ , мм	4441783x10 <sup>3</sup>	8 $S_2^1$ , мм	3415800x10 <sup>3</sup>
9 $S_1$ , мм	44.417	10 $S_2$ , мм	34.158
11 $m$	1.421	12 $n$	1.118
13 $\xi$ , град	26 <sup>0</sup> 30'	14 $\cos\xi$	0.83494
15 $mn$	1.588678	16 $n^2$	1.249924
17 $m^2$	2.019241	18 $gp$	2.843524
19 $A^2$	6.112684	21 $B^2$	0.425641
20 $A$	2.4723	22 $B$	0.6524
23 $a$	1.562	24 $B$	0.910
25 $p$	1.421	26 $(a^2-m^2)$	0.420603
27 $m^2-B^2$	1.191141	29 $\operatorname{tg}\beta_0$	0.346190
28 $\operatorname{tg}\beta$	0.59423	31 $\sin \omega/2$	0.263754
30 $\beta_0$ , град	19 <sup>0</sup> 05'	32 $\omega$	30 <sup>0</sup> 35'
32 $\omega/2$	15 <sup>0</sup> 17'.5	35 $V_n\%$	11.8%
34 $V_p\%$	42.1%	37 $V_B\%$	-9%
36 $V_m\%$	42.1%		
38 $V_a\%$	56.2%		

Побудова ізокол.

Ізоколи деформацій кутів будуються подібно горизонталям методом інтерполяції. За основу приймають значення величин, розрахованих у заданих точки на карті. Варто мати на увазі, що в симетричних частинах картографічної сітки форма ізокол буде симетричною.

Аналіз результатів дослідження.

По величинах деформацій  $p$  і  $i$  (визначають до якої групи проєкцій відноситься аналізована карта. Деформації довжин присутні у всіх групах картографічних проєкцій (рівнокутних, рівновеликих, і довільних). Якщо  $p$  близько до нуля проєкція рівнокутна, якщо  $p=1$  – проєкція рівновелика. В інших випадках проєкція довільна. Якщо один з екстремальних масштабів ( $m$  чи  $n$ ) приблизно однаковий по величині у всіх точках то проєкція рівнопроміжна.

#### 1.4 Практична робота 4. Рівнокутна нормальна конічна проекція

Мета: отримати практичні навички обчислення і побудови картографічної основи дрібномасштабних карт.

Матеріали і обладнання: підручники [2, 6], мікрокалькулятор, креслярське обладнання, міліметровий папір, контурні карти по географії для дев'ятого класу.

Завдання: обчислити і побудувати картографічну сітку рівнокутної нормальної конічної проекції для території, обмеженої меридіанами з довготами  $\lambda_{зх}$  і  $\lambda_{сх}$  і паралелями із широтами  $\varphi_{пд}$  і  $\varphi_{пн}$ . Частота картографічної сітки  $\Delta\varphi=\Delta\lambda$ . Параметри проекції  $\alpha$  потрібно знайти за умови, що на двох заданих паралелях з широтами  $\varphi_1$  і  $\varphi_2$  масштаби дорівнюють одиниці. Головний масштаб для побудови картографічної сітки  $\mu_0$ . Побудувати графік зміни масштабів  $n$  і  $p$  від широти  $\varphi$ .

Сітка будується за обчисленими прямокутними координатами.

Формули для обчислень прямокутних координат точок сітки мають вигляд (31):

$$\begin{aligned}x &= q - p \cos \delta; \\y &= p \sin \delta \\q &= P_{юж}\end{aligned}\tag{31}$$

де  $p$  – радіус паралелі в проекції,  $p=k/u^2$ ;

$\delta$ - полярний кут;

$\delta=\alpha\lambda$  (рис. 5);

$\alpha$  і  $k$ - постійні (параметри) проекції записують у вигляді виразів (32),

$$\begin{aligned}\alpha &= \frac{\lg r_1 - \lg r_2}{\lg U_2 - \lg U_1} \\k &= \frac{r_1 U_1^\alpha}{\alpha} = \frac{r_2 U_2^\alpha}{\alpha}\end{aligned}\tag{32}$$

де  $r_1$  і  $r_2$ - радіуси паралелей із широтами  $\varphi_1$  і  $\varphi_2$  на еліпсоїді, для яких  $n_1=n_2=1$ .

Широту паралелі, на якій масштаб довжин найменший,  $\varphi_0$  обчислюють за формулою (33):

$$\alpha = \sin\varphi_0\tag{33}$$

Масштаби  $m$ ,  $n$ ,  $p$  визначають за формулами (34):

$$m = n = \alpha \cdot p / 2$$

$$p = m^2 \quad (34)$$

Приклад для рішення

Обчислити і побудувати картографічну сітку прямої рівнокутної кінчної проекції для території, обмеженої меридіанами з довготами  $\lambda_{зх}=10^\circ$ ,  $\lambda_{сх}=30^\circ$  і паралелями із широтами  $\varphi_{пд}=35^\circ$ ,  $\varphi_{пн}=55^\circ$  і частотою  $\Delta\lambda=5^\circ$ . Параметри проекції знайти за умови, що на двох заданих паралелях з  $\psi_1=40^\circ$  і  $\psi_2=50^\circ$  масштаби дорівнюють одиниці,  $\mu_0=1:12000000$ .

Завдання можна виконати двома способами: розрахунки здійснювати відповідно до таблиць 3-10;

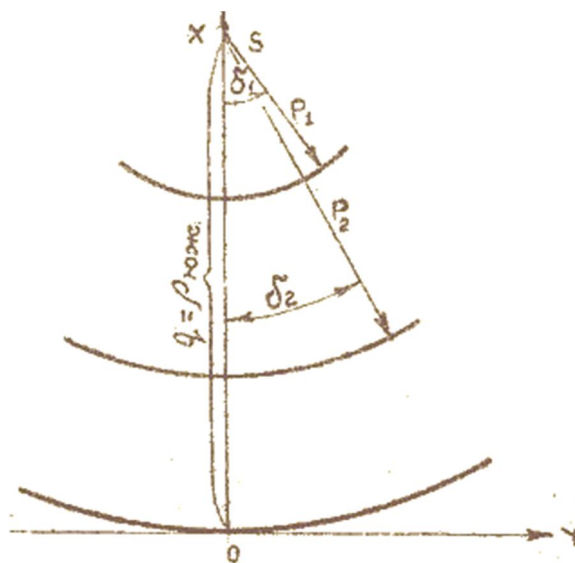


Рисунок 5 – Картографічна сітка рівнокутної кінчної проекції

1 спосіб:

Таблиця 3 – Обчислення  $\alpha$  і  $\varphi_0$

Lg $r_1$	6.6895565
Lg $r_2$	6.6136233
A	0.0759332
Lg $U_2$	0.4367044
Lg $U_1$	0.3294572
B	0.1072472
$\alpha$	0.70802034
$\varphi_0$	45°04'26,"63

Величини  $r$ ,  $\lg r$ ,  $\lg U$  даються в попередніх завданнях.



Таблиця 4 – Обчислення параметра ДО

Аргумент	$\varphi_1=40^\circ$	$\varphi_2=50^\circ$
$\alpha$	0.70802034	0.70802034
Lg U	0.3294572	0.4367044
$\alpha \lg U$	0.23326239	0.30919558
$U^\alpha$	1.7110488	2.0379596
$U^\alpha/\alpha$	2.4166663	2.8783914
r, м	482790	4107933
$K_{cm}$	98.5363	98.5353

Примітка.

Наприклад (35)

$$K_{cm} = \frac{r_1 U_1^\alpha \mu_0}{\alpha} 100 = \frac{r_2 U_2^\alpha \mu_0}{\alpha} 100 \quad (35)$$

Таблиця 5 – Визначення полярних координат  $\delta$ 

Аргумент	$\lambda_1, (15^\circ, 25^\circ)$	$\lambda_2, (10^\circ, 30^\circ)$
$(\lambda_1 - \lambda_{cp})''$	18000''	36000''
$\alpha$	0.70802034	0.70802034
$\delta''$	12744.3''	25488,7''
$\delta^\circ$	3°32'24'',4	7°04'48,7''
cos $\delta$	0.988092	0.992375
sin $\delta$	0.061747288	0.123258

Примітка. Довгота  $\lambda_{cp}=20^\circ$ 

Таблиця 6 – Визначення полярних координат p, мм

Аргумент	$\varphi_{10}=35^\circ$	$\varphi_7=40^\circ$	$\varphi_3=45^\circ$	$\varphi_2=50^\circ$	$\varphi=55^\circ$
$\alpha$	0.7080203	0.7080203	0.7080203	0.7080203	0.7080203
$K_{cm}$	98.5353	98.5353	98.5353	98.5353	98.5353
$U^\alpha$	1.5832844	1.7110488	1.8601845	2.037959	2.2554142
Lg U	0.2818548	0.3294572	0.3807179	0.4367044	0.4988929
$P_{cm}$	62.2347	57.5877	52.9707	48.34999	43.6883

Таблиця 7 – Визначення прямокутних координат

$\varphi$ , град	Аргумент	$\chi_{cp}=20^\circ$	$\lambda_1 (15^\circ, 25^\circ)$	$\lambda_2 (10^\circ, 30^\circ)$
35	X см	0	0.119	0.474
	$\rho_{юж}$	62.235		
	$\rho \cos \delta$	62.235	62.116	61.760
	cos $\delta$	1.000	0.998092	0.992375
	$\rho$	62.235	62.235	62.235
	sin $\delta$	0	0.06174728	0.123258
	y см	0	3.843	7.671

40	X см	4.647	4.757	5.086
	$\rho$ 40°	57.588		
	$\rho \cos\delta$	57.588	57.478	57.149
	y см	0	3.556	7.098
45	X см	9.264	9.365	9.668
	$\rho$ 45°	52.971		
	$\rho \cos\delta$	52.971	52.870	52.567
	y см	0.000	3.271	6.529
50	X см	13.885	13.977	14.254
	$\rho$ 50	48.350		
	$\rho \cos\delta$	48.350	48.258	47.981
	y см	0	2.985	5.959

За поданими значеннями  $m$  і  $p$  (табл. 8) будують графік зміни масштабів (рис. 6).

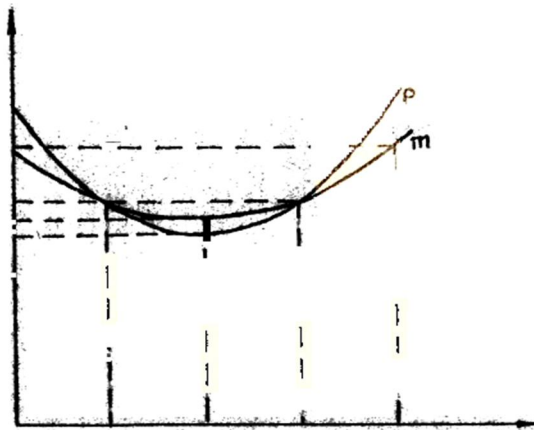


Рисунок 6 – Криві зміни масштабів довжин і площ

Таблиця 8 – Визначення масштабів довжин і площ  $m$  і  $p$

$\varphi$ , град	$\beta$ , см	$\alpha$ $\rho$ , см	$r_{\mu \cdot 100}$ , см	$m$	$p$
35	62.235	44.064	43.588	1.011	1.022
40	57.588	40.773	40.773	1.000	1.000
45	52.971	37.504	37.647	0.996	0.922
50	48.350	34.233	34.233	1.000	1.000
55	43.688	30.932	30.555	1.012	1.025

Примітка. Масштаб  $m$  і  $n$  визначають за формулами (36):

$$m = \frac{\alpha P}{r\mu_0 100};$$

$$P = m^2$$

$$\alpha = 0.7080209 \quad (36)$$

Таблиця 9 – Таблиця прямокутних координат

$\varphi$	х,у см	$\lambda_{cp}=20^\circ$	$\lambda$ 15 20	$\lambda$ 10 30
$\varphi_{юж}=35^\circ$	х	0.000	0,119	0.475
	у	0.000	3.843	7.671
	х	4.647	4.757	5.086
$\varphi_1=40^\circ$	у	0.000	3.556	7.098
	х	9.264	9.365	9.668
$\varphi_2=45^\circ$	у	0.000	3.271	6.529
	х	13.885	13.977	14.254
$\varphi_3=50^\circ$	у	0.000	2.985	5.959
	х	18.547	18.630	18.880
$\varphi_e=55^\circ$	у	0.000	2.698	5.385

Обчислення значень  $n$ ,  $p$ ,  $y$ ,  $x$  для інших точок картографічної сітки починають із кроку 5 чи 7, у залежності від зміни величин  $\lg U_i$ ,  $g_i$ , чи  $\Delta\lambda_j$ ,  $j$ -порядковий номер паралелі.

Обчислюють координати точок щодо середнього меридіану тільки з однієї сторони (чи ліворуч, праворуч) від меридіана, тому що обидві сторони є дзеркальним відображенням один одного (рис. 7).

Результати обчислень заносять у таблицю 10.

Таблиця 10– Значення точок картографічної сітки  $x_i$ ,  $y_i$ ,  $n$ ,  $p$

Вихідні значення величин	$\Delta\lambda$ , град	Параметри			
		$n$	$p$	$y$ ,см	$x_i$ ,см
$\varphi=40^\circ$ $r=4892790$ м $\lg U=0.3294572$	0	1	1	0	4.65
	5	1	1	3.56	4.76
	10	1	1	7.098	5.086
$\varphi=45^\circ$ $r=0.4517665$ $\lg U=0.3807179$	0	0.9962	0.9924	0	9.26
	5	0.9962	0.9924	3.27	9.36
	10	0.9962	0.9924	6.53	9.66

Примітки. Параметри  $\alpha=0.7080175$ ,  $k=98.5355$ ,  $g=62.234984$  см,  $\mu_0=12000000$ .

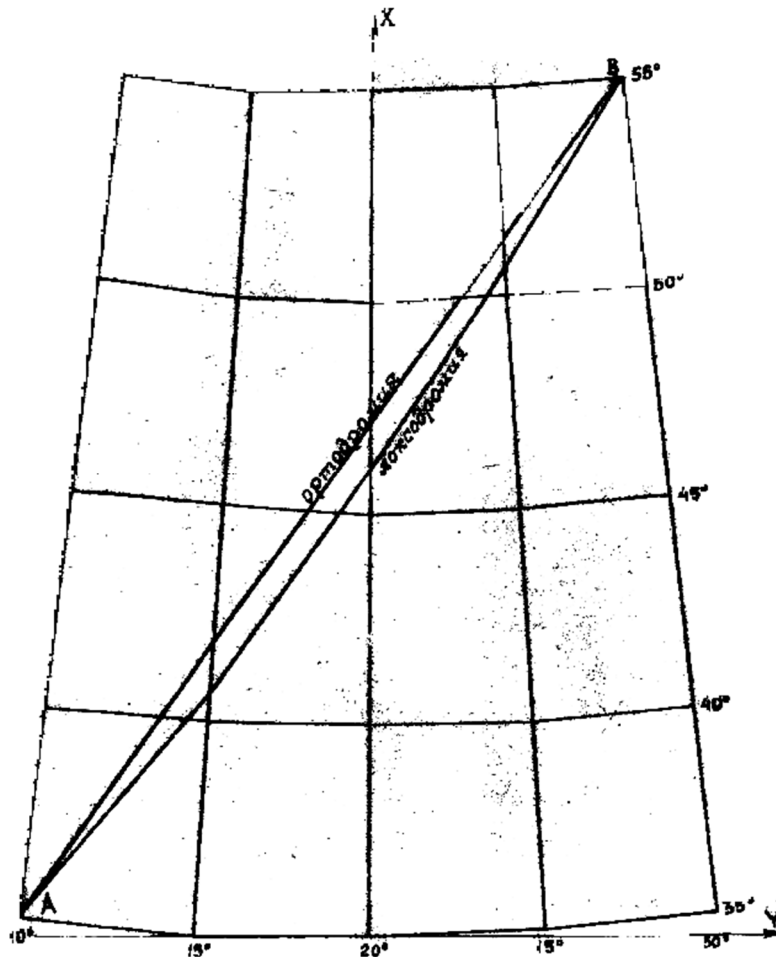


Рисунок 7 – Пряма рівнокутна конічна проекція (конус січної по паралелі з широтами  $\varphi_1=40^\circ$ ,  $\varphi_2=50^\circ$ , М 1:12000000).

### 1.5 Практична робота 5. Ортодромія і локсодромія, їхнє зображення і параметри в прямій нормальній рівнокутній конічній проекції

Мета: навчитися визначати азимути напрямків по карті і відстані між пунктами по заданих напрямках.

Матеріали і обладнання: підручник [1], мікрокалькулятор, результати практичної роботи 4.

Завдання: по заданих географічних координатах  $\lambda_A$ ,  $\varphi_A$ ,  $\lambda_B$ ,  $\varphi_B$  двох точок А и В рівнокутної конічної проекції обчислити азимути ортодромії і локсодромії в їхніх початкових точках, довжини цих ліній і широти точок перетину ортодромії і локсодромії, що проходять через початковий і кінцевий пункти (А і В), із проміжними меридіанами (рис. 7).

Ортодромія- геодезична лінія на поверхні сфероїда (найкоротша). На сфері ортодромія- дуга великого кола.

Основні формули:

А) для обчислення відстані використовують вираз (37)

$$\cos G = \sin \varphi_A \sin \varphi_B + \cos \varphi_A \cos \varphi_B \cos(\lambda_B - \lambda_A), \quad (37)$$

де  $G$  – відстань по ортодромії в градусах для сфери (38);

$$S_{omm} = RG / \rho, \quad (38)$$

де  $S_{omm}$  – відстань від ортодромии в кілометрах;

$$\rho = 57.2957795^\circ;$$

$R$  – середній радіус кривизни, вибирають з таблиць для середньої широти  $\varphi_{порівн}$ , км,  $\varphi_{порівн} = (\varphi_A + \varphi_B) / 2$

Б) для визначення азимута  $\alpha_{opt}$  використовують формули (39):

$$\begin{aligned} ctg \alpha_{omm} &= ctg U \sin \varphi_A \\ ctg U &= ctg \varphi_A tg \varphi_B \operatorname{cosec}(\lambda_B - \lambda_A) - ctg(\lambda_B - \lambda_A) \end{aligned} \quad (39)$$

В) для обчислення широт  $\varphi$  проміжних точок перетинання ортодромії з проміжними меридіанами  $\lambda$  служать формула (40)

$$tg \varphi_i = tg \varphi_A \operatorname{cosec} U \sin(U - \lambda_R + \lambda_i) \quad (40)$$

Локсодромія – лінія, що перетинає всі меридіани під тим самим кутом.

Основні формули:

А) для обчислення відстані по локсодромії для сфери використовують формулу (41):

$$S_{лок} = R \sec \alpha_{лок} (\varphi_b - \varphi_a) / \rho^0 \quad (41)$$

де  $\alpha_{лок}$  – азимут локсодромії;

$\rho=57,295779^\circ$ ;

R- середній радіус кривизни (див. розрахунок ортодромії).

Б) для обчислення радіуса локсодромії використовують формулу (42)

$$\operatorname{tg}\alpha_{\text{лок}} = (\lambda_{\text{в}} - \lambda_{\text{а}}) / (D_{\text{в}} - D_{\text{а}}) \quad (42)$$

де  $D$  – меридіональні частини (хв.).

В) Обчислення широт проміжних точок локсодромії. Фактично обчислюють не значення широт, а меридіональні частини  $D_i$  (43). За отриманим значенням  $D_i$  шляхом інтерполяції знаходять  $\varphi_i$ :

$$D_i = D_A + (\lambda_i - \lambda_A) \operatorname{ctg}\alpha_{\text{лок}} \quad (43)$$

де  $\lambda_i$ - довгота меридіана, широта точки перетинання з який обчислюється. Результати обчислень представити в таблиці 11.

Таблиця 11 – Параметри ортодромії і локсодромії

Лінії	S, км	$\alpha$ , град	$\lambda$ , град		
			90	100	і т.д.
Ортодромія	4610.9	31.72	$\varphi_{\Gamma}=49.9 \quad 55.8$		
Локсодромія	4707.08	48.51	$D_i=3027' \quad D=3557'$ $\varphi_{\Gamma}=45.2^\circ \quad \varphi_{\Gamma}=51.1^\circ$		

## 2 САМОСТІЙНА РОБОТА

Питання для самостійного вивчення

Доповненням змісту теоретичного лекційного матеріалу та практичних робіт є самостійна робота студентів. Оцінка самостійної роботи здійснюється за підготовленими студентами доповідями на основі рекомендованих літературних і картографічних джерел.

Таблиця 12 – Перелік питань та літератури для самостійного вивчення дисципліни

<b>Питання для самостійного вивчення</b>	<b>Література</b>
1. Закономірності та загальні положення відображення поверхонь небесних тіл на площині.	Основна: 1, 4 Додаткова: 2, 4
2. Теорія деформацій картографічних зображень.	Основна: 2, 4, 6 Додаткова: 4
3. Теорія відображення одних поверхонь на інші, проекції «подвійного», «потрійного» відображення.	Основна: 3, 4 Додаткова: 2, 4
4. Класифікація картографічних проекцій.	Основна: 1, 2, 6 Додаткова: 4
5. Основні положення теорії визначення головних масштабів, компонок та інших елементів математичної основи карт.	Основна: 5, 6, 7 Додаткова: 2, 5
6. Картографічні проекції з прямолінійними паралельними паралелями.	Основна: 2, 3, 6 Додаткова: 4
7. Картографічні проекції з паралелями у вигляді концентричних окружностей.	Основна: 2, 3, 6 Додаткова: 4
8. Картографічні проекції з паралелями у вигляді ексцентричних окружностей.	Основна: 2, 3, 6 Додаткова: 4
9. Проекції топографічних карт.	Основна: 4, 7 Додаткова: 5
10. Рівнокутні проекції еліпсоїда, що використовуються в геодезії.	Основна: 1, 3, 4 Додаткова: 4
11. Проекції, що використовуються для створення масштабів 1:1 000 000 та 1:2 500 000.	Основна: 1, 3, 4 Додаткова: 1, 5
12. Проекції морських карт.	Основна: 1, 4, 6 Додаткова: 3, 5
13. Проекції аеронавігаційних карт.	Основна: 1, 4, 6 Додаткова: 3, 5

## Продовження таблиці 12

14. Відображення на картах ліній положення.	Основна: 3, 4, 6 Додаткова: 1, 2, 3
15. Картографічні проекції реальних поверхонь.	Основна: 1, 2, 7 Додаткова: 1, 2, 5
16. Проекції анаморфованих карт.	Основна: 4, 6 Додаткова: 4
17. Картографічні проекції для карт глобусів.	Основна: 1, 4, 6 Додаткова: 1, 2
18. Найкращі та ідеальні картографічні проекції.	Основна: 3, 4, 5 Додаткова: 1, 5
19. Способи вишукувань картографічних проекцій.	Основна: 3, 4, 6 Додаткова: 4
20. Вибір картографічних проекцій.	Основна: 2, 3, 4 Додаткова: 1, 4, 5
21. Визначення проекцій за виглядом зображень їх меридіанів і паралелей.	Основна: 5, 6, 7 Додаткова: 1, 3, 5
22. Використання числових методів в математичній картографії	Основна: 3, 4 Додаткова: 4
23. Основні проблеми і напрямки автоматизації отримання і застосування картографічних проекцій.	Основна: 4, 7 Додаткова: 1, 3, 5



## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Берлянт А. М. Картография: учебник для вузов / А. М. Берлянт. – Москва: Аспект Прес, 2002. – 336 с.
2. Войславский Л. К. Картография. Часть I Вводная часть. Часть II Математическая картография. Конспект лекций / Л. К. Войславский. – Харьков: Курсор, 2007. – 88 с.
3. Картоведение / [А. М. Берлянт, А. В. Востокова, В. И Кравцова и др.]; под ред. А. М. Берлянта. – Москва: Аспект Пресс, 2003. – 477 с.
4. Бугаевский Л. М. Математическая картография / Л. М. Бугаевский. – Москва, 1998. – 400 с.
5. Билич Ю. С. Проектирование и составление карт / Ю. С. Билич, А. С. Васмут. – Москва: Недра, 1984. – 364 с.
6. Картавцева Е. Н. Картография / Е. Н. Картавцева. – Томск: Изд-во Том. гос. архит-строит. ун-та, 2010. – 158 с.
7. Тикунов В. С. Моделирование в картографии / В. С. Тикунов. – Москва: Изд-во МГУ, 1997. – 405 с.

## СПИСОК ДОДАТКОВОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Лурье И. К. Геоинформационное картографирование. Методы геоинформатики и цифровой обработки космических снимков / И. К. Лурье. – Москва: КДУ, 2008. – 424 с.
2. Берлянт А. М. Карта – второй язык географии: (Очерки о картографии) / А. М. Берлянт. – М.: Просвещение, 1985. – 192 с.
3. Востокова А. В. Оформление карт. Компьютерный дизайн: учебник / А. А. Востокова, С. М. Кошель, Л. А. Ушакова / Под ред. А. В. Востоковой. – Москва: Аспект Пресс, 2002. – 288 с.
4. Серапинас Б. Б. Математическая картография: учебник для вузов / Б. Б. Серапинас. – Москва: Издательский центр Академия, 2005. – 336 с.
5. Чекалин С. И. Топографические и специальные карты / С. И. Чекалин. – Москва: Российский госуд. геологоразв. ун-т, 2007. – 126 с.

*Навчальне видання*

Методичні вказівки і завдання  
до практичних і самостійних робіт  
з дисципліни  
**«КАРТОГРАФІЯ»**

*(для студентів денної і заочної форм навчання напряму підготовки  
6.080101 – Геодезія, картографія та землеустрій)*

Укладач **ОТЕЧКО** Сергій Анатолійович

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання *С. А. Отечко*

План 2015, поз. 47 М

---

Підп. до друку 24.06.2016  
Друк на ризографі  
Зам. №

Формат 60×84/16  
Ум. друк. арк. 1,2  
Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:  
Харківський національний університет  
міського господарства імені О. М. Бекетова,  
вул. Революції, 12, Харків, 61002  
Електронна адреса: [rectorat@kname.edu.ua](mailto:rectorat@kname.edu.ua)  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:  
ДК 4705 від 28.03.2014 р.