



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Высшая геодезия и фотограмметрия»

Методические указания
для проведения практических занятий
по дисциплине

«Общая картография»

для обучающихся направления подготовки
21.03.03 «Геодезия и дистанционное
зондирование», профиль «Геодезия» и
специальности 21.05.01 «Прикладная
геодезия», специализация «Инженерная
геодезия»

Автор
Калачева Н.А.

Ростов-на-Дону, 2017

Аннотация

Методические указания предназначены для обучающихся по направлению подготовки 21.03.03 «Геодезия и дистанционное зондирование», профиль «Геодезия» и по специальности 21.05.01 «Прикладная геодезия», специализация «Инженерная геодезия».

Предназначено для обучающихся, изучающих дисциплину «Общая картография» для разработки домашних заданий по материалам теоретического курса.

Автор



ассистент кафедры «ВГиФ»
Калачева Н. А.



Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ КАРТОГРАФИЧЕСКИХ ПРОЕКЦИЙ.....	5
1.1 Общие сведения о картографических проекциях	5
1.2 Порядок работы при аналитическом исследовании свойств картографических проекций	17
1.3 Примеры аналитического исследования свойств картографических проекций	19
2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОМЕНКЛАТУРЫ ЛИСТОВ КАРТ РАЗЛИЧНЫХ МАСШТАБОВ	31
2.1 Номенклатура и разграфка топографических карт....	31
3. ИЗМЕРЕНИЕ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПО ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ КАРТЕ МАСШТАБА 1:25 000	35
3.1 Определение географических координат по карте ...	35
3.2 Определение прямоугольных координат по карте	36
3.3 Определение высот (отметок) точек по карте.....	37
3.4 Определение площади (S)	39
3.5 Вычисление горизонтального проложения (d)	39
3.6 Вычисление уклона (i) и угла наклона (v)	40
3.7 Вычисление наклонной длины (L)	40
3.8 Вычисление периметра (P).....	41
3.9 Вычисление поправок ΔS и ΔP в площадь и периметр четырехугольника за счет искажений проекции.....	41
4. АНАЛИЗ И ОПИСАНИЕ ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ КАРТЫ МАСШТАБА 1:25 000.....	44
Литература.....	47
Приложение 1 Варианты индивидуальных заданий.....	48

ВВЕДЕНИЕ

Методические указания составлены в соответствии с программой курса «Общей картографии» для студентов, обучающихся по направлениям подготовки 21.03.03 – «Геодезия и дистанционное зондирование», профиль – «Геодезия», утверждены кафедрой Высшей геодезии и фотограмметрии.

Содержат задания и указания о порядке выполнения работ:

- аналитическое исследование свойств картографических проекций;
- определение номенклатуры листов карт различных масштабов;
- измерение и определение характеристик по топографической карте масштаба 1:25 000;
- анализ и описание топографической карты масштаба 1:25 000.

Выполнение заданий основано на использовании знаний, полученных по высшей математике, сферической тригонометрии, высшей геодезии др.

1. АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ КАРТОГРАФИЧЕСКИХ ПРОЕКЦИЙ

Цель задания

Научиться аналитическому исследованию картографических проекций; классифицировать проекции по характеру искажений и по виду меридианов и параллелей картографической сетки

Содержание задания

По заданным уравнениям картографической проекции определить:

- а) вид сетки меридианов и параллелей;
- б) построить сетку меридианов и параллелей;
- в) ортогональность картографической сетки;
- г) частные масштабы длин и площадей, масштабы по главным направлениям и наибольшее искажение углов,
- д) величины искажений в узловых точках сетки с частотой $\Delta\varphi = \Delta\lambda = 30^\circ$,
- е) группу проекций по характеру искажений.

Индивидуальные исходные данные

Студенты получают индивидуальный вариант от преподавателя, по которому выбирают систему двух уравнений картографической проекции. Варианты контрольных заданий приведены в прил. 1.

1.1 Общие сведения о картографических проекциях

В математической картографии картографируемые поверхности обычно принимают за сферу радиуса R или за эллипсоид вращения, малая ось которого совпадает с осью вращения Земли.

Физическая поверхность Земли имеет сложную форму, которая не может быть описана замкнутыми формулами. В силу этого для решения практических задач земную поверхность заменяют некоторой правильной поверхностью, которая носит название **поверхности относимости**.

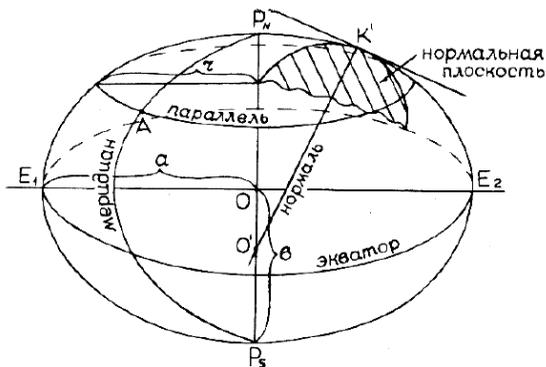
В самом точном приближении такой поверхностью является поверхность геоида. В настоящее время **под поверхностью геоида** понимают уровенную поверхность, ортогональную к отвесным линиям, по которым в каждой точке поверхности направлен вектор силы тяжести. Эта уровенная поверхность проходит через точку начала отчета высот. Однако геоид имеет сложную форму и не может быть описан однозначными формулами. Поэто-

му в теории и практике картографии за поверхность относимости принимают либо земной эллипсоид, либо сферу определенного радиуса.

Земной эллипсоид – это эллипсоид вращения с малым сжатием, размеры которого и ориентировка в теле Земли выбраны таким образом, чтобы для заданной территории он наименее уклонялся от геоида. При этом полагают, что плоскость экватора и центр эллипсоида вращения совпадают с плоскостью экватора и центром масс Земли. Такой земной эллипсоид иначе называют **референц-эллипсоидом**, за такой референц-эллипсоид у нас в стране принят референц-эллипсоид Красовского.

Эллипсоид вращения образуется вращением эллипса $P_N E_1 P_S E_2$ вокруг полярной оси $P_N P_S$ (рис. 1). Точки P_N, P_S являются соответственно северным и южным полюсами эллипсоида. Они получаются сечением оси $P_N P_S$ поверхности эллипсоида.

Рис. 1. Эллипсоид вращения



НИЯ

Сечения поверхности эллипсоида вращения плоскостями, параллельными плоскости экватора, образуют окружности – параллели. Сечения поверхности эллипсоида вращения плоскостями, проходящими через ось вращения, образуют эллипсы – меридианы.

Пусть $O'K'$ – нормаль к поверхности эллипсоида в точке K' (рис. 1). Плоскости, проходящие через нормаль, называются нормальными плоскостями. Сечения этих плоскостей с поверхностью эллипсоида дают нормальные сечения, или вертикалы. Тогда меридиан – это нормальное сечение, плоскость которого проходит через полярную ось. Нормальное сечение, перпендикулярное плоскости меридиана $P_N E_1 P_S E_2$, дает сечение 1-го вертикала.

В некоторых случаях для решения практических задач земную поверхность принимают за поверхность сферы:

1) при создании мелкомасштабных карт (когда можно пренебречь полярным сжатием);

2) когда нет возможности получить непосредственно проекцию эллипсоида на плоскости (в этих случаях прибегают к двойным проекциям: проектируют эллипсоид на сферу, а затем сферу, по тому же закону, – на плоскость).

1.1.1 Понятия о картографической проекции и сетке

При создании карт, т.е. при изображении сферической поверхности на плоскости, происходят искажения длин, углов и площадей. Поэтому перенос изображения со сферы на плоскость производят по определенным математическим законам, выражающим функциональную связь координат точек картографируемой поверхности и плоскости. Такие способы переноса изображения носят название картографических проекций.

Под картографической проекцией понимается некоторый определенный математический закон изображения поверхности относимости на плоскость, при котором всегда выполняются следующие требования:

- точке, взятой на поверхности, соответствует одна и только одна точка на плоскости, и наоборот;
- бесконечно малому перемещению точки на поверхности соответствует также бесконечно малое перемещение точки на плоскости, и наоборот;
- сохраняется направление обхода контуров на поверхности и на плоскости.

В основу отображения картографируемой поверхности положена система координат, координатными линиями которых являются меридианы и параллели.

Меридианы и параллели на земной поверхности или глобусе образуют систему линий, называемую географической сеткой, а ее изображение на карте (в проекции) называют картографической сеткой.

Положение меридианов и параллелей на картографируемой поверхности определяется криволинейными географическими координатами: долготой λ и широтой φ . В проекции им соответствуют прямоугольные координаты Y и X .

Проекция устанавливает однозначное и непрерывное соответствие между точками поверхности эллипсоида (сферы) и плоскости. Общие уравнения картографических проекций:

$$\begin{cases} X=f_1(\varphi, \lambda) \\ Y=f_2(\varphi, \lambda) \end{cases} \quad (1)$$

Общая картография

где φ и λ – географические координаты некоторой точки на картографируемой поверхности;
 X и Y – прямоугольные координаты изображения этой точки на плоскости в проекции, определяемой функциями f_1 и f_2 , которые всегда однозначные, дважды непрерывно дифференцируемые.

Уравнения меридианов и параллелей имеют вид: $\lambda = \text{const}$; $\varphi = \text{const}$, т.к. *параллель* есть геометрическое место точек равных широт ($\varphi = \text{const}$), а *меридиан* – есть геометрическое место точек равных долгот ($\lambda = \text{const}$),

Следовательно, для получения уравнений меридианов и параллелей в проекции надо из формул (1) поочередно исключить широту и долготу.

Если проекция описывается уравнениями $X = f_1(\varphi)$ и $Y = f_2(\lambda)$, то картографическая сетка будет иметь наиболее простой вид – две системы взаимно перпендикулярных прямых линий.

Если $X = f_1(\varphi)$ и $Y = f_2(\varphi\lambda)$, то параллели изобразятся прямыми линиями, параллельными оси Y , а меридианы – кривыми.

Если $X = f_1(\varphi\lambda)$ и $Y = f_2(\lambda)$, то меридианы будут прямыми, параллельными оси X , а параллели – кривыми.

Если $X = f_1(\varphi\lambda)$ и $Y = f_2(\varphi\lambda)$, то параллели и меридианы будут кривыми линиями. Это могут быть окружности, эллипсы, параболы, синусоиды или линии любой кривизны.

Исключение широты и долготы из уравнений вида (1) производится совместным решением заданных уравнений, используя различные математические действия, например, деление одного уравнения на другое, возведение в степень и суммирование соответствующих частей уравнений и т.п.

Совокупность двух семейств координатных линий на поверхности эллипсоида вращения (сферы) принято называть **координатной сетью**. Изображение же этой сети на плоскости в заданной проекции называется **картографической сеткой**.

Любая картографическая проекция обладает рядом присущих ей характеристик, которые будут определяться принятым законом изображения. Основными критериями, определяющими достоинство картографических проекций, являются величины масштабов по меридианам (m) и параллелям (n) и площади (p),

ортогональности картографической сетки (угол i между меридианами и параллелями), масштабы по главным направлениям (экстремальные масштабы) – наибольший (a) и наименьший (b) и наибольшее искажение углов (ω), а также характер искажений (свойства изображения).

Эти величины получают с помощью коэффициентов Гаусса (e, f, g, h) через частные производные, взятые по аргументам φ и λ :

$$\begin{array}{l}
 e = \frac{\partial^2 \alpha}{\partial \varphi^2} \quad f = \frac{\partial^2 \alpha}{\partial \varphi \partial \lambda} \quad g = \frac{\partial^2 \alpha}{\partial \lambda^2} \\
 h = \frac{\partial^2 \beta}{\partial \varphi \partial \lambda} \quad i = \frac{\partial^2 \beta}{\partial \lambda^2}
 \end{array} \quad (2)$$

1.1.2 Понятия о масштабах и наибольшем угловом искажении

На любой карте, составленной в определенной проекции, следует различать три масштаба: частный линейный, масштаб площади, главный (общий).

В общем случае **частным линейным масштабом (масштабом длин)** называют предел отношения бесконечно малого отрезка $d\sigma$, взятого на плоскости в заданной проекции в данной точке по данному направлению, к соответствующему бесконечно малому отрезку dS на поверхности при стремлении последнего к нулю. Обозначим частный линейный масштаб через μ . Тогда

$$\mu = \lim_{dS \rightarrow 0} \frac{d\sigma}{dS} \quad (3)$$

Учитывая, что $d\sigma$ всегда есть функция dS , частный масштаб можно преобразовать:

$$\mu = \frac{d\sigma}{dS} \quad (4)$$

Этот масштаб в общем случае меняется при переходе от одной точки к другой и меняется в самой точке в зависимости от направления. Поэтому m и n – это есть масштабы по направлениям меридианов и параллелей соответственно, a и b – масштабы по главным направлениям (взаимно-ортогональным), вдоль кото-

Общая картография

рых масштабы всегда экстремальны.

Масштабы по меридианам (m), параллелям (n) определяют с помощью коэффициентов Гаусса по формулам:

$$m = \frac{\sqrt{e}}{R}; \quad (5)$$

$$n = \frac{\sqrt{g}}{R \cos \varphi}; \quad (6)$$

Масштабы по главным направлениям (экстремальные) находят по формулам:

$$a = \frac{A+B}{2}; \quad b = \frac{A-B}{2}, \quad (7)$$

где $\sqrt{A^2 + B^2}$;
 $\sqrt{A^2 + B^2}$.

Масштабом площади называется отношение бесконечно малой области, ограниченной замкнутым контуром, взятой на плоскости, т.е. в проекции $dF_{пл}$, к соответствующей бесконечно малой области на поверхности эллипсоида $dF_{элл}$. Масштаб площади обозначим через p , тогда:

$$p = \frac{\partial F_{пл}}{\partial F_{элл}}. \quad (8)$$

Масштаб площади зависит от положения точки, но не меняется в самой точке по направлениям.

Масштаб площадей определяют с помощью коэффициентов Гаусса по формуле

$$p = \frac{h}{R \cos \varphi} \quad (9)$$

Для контроля используют формулу: $p = m n \sin \alpha$.

Общая картография

Условием ортогональности картографической сетки является равенство нулю коэффициента f , которое подтверждается вычислением угла i между меридианами и параллелями по одной из формул:

$$\sin i = \frac{h}{\sqrt{eg}} \quad \text{или} \quad \operatorname{tg} i = \frac{h}{f}. \quad (10)$$

При $\sin i = 1$ или $\operatorname{tg} i = \infty$ угол i равен 90° , сетка ортогональна.

Главный (общий) масштаб характеризует степень уменьшения земной поверхности при изображении ее на плоскости. Этот масштаб представляет некоторое значение из частных масштабов длин или характеризует степень уменьшения характерных линий (средний меридиан, экватор). Масштаб подписывается на карте и никакого влияния на величины искажений не имеет.

Под **наибольшим искажением углов** ω понимается разность углов между азимутом линейного отрезка на эллипсоиде a и

изображением этого азимута на плоскости A : $\frac{\omega}{2} = (\alpha - A)_{\max}$.

Наибольшее искажение углов определяется по формулам:

$$\sin \frac{\omega}{2} = \frac{a-b}{a+b} \quad \operatorname{tg} \frac{\omega}{2} = \frac{a-b}{2\sqrt{ab}} \quad \operatorname{tg} \left(45^\circ - \frac{\omega}{4} \right) = \sqrt{\frac{a}{b}} \quad (11)$$

Используют ту из формул, которая упрощает вычисления.

1.1.3 Классификация картографических проекций по характеру искажений

Картографическим искажением называют нарушение геометрических свойств участков земной поверхности и расположенных на них объектов при изображении их на плоскости.

По характеру искажений различают следующие картографические проекции:

а) **равноугольные, или конформные.** В этих проекциях масштабы длин в точках не зависят от направления, как следствие, сохраняется подобие в бесконечно малых частях, углы и азимуты передаются без искажений. Эти проекции могут быть описаны уравнениями в характеристиках вида:

$$\left. \begin{array}{l} m = a = b = f \\ \omega = 0 \end{array} \right\} \quad (12)$$

б) **равновеликие, или эквивалентные.** В этих проекциях без искажения передаются площади изображаемых территорий. Они описываются уравнениями вида

$$P = 1; \quad (13)$$

в) **равнопромежуточные.** В этих проекциях линейный масштаб по одному из главных направлений равен 1, т. е. имеет место

$$\text{либо } a = 1, \text{ либо } b = 1; \quad (14)$$

г) **произвольные.** К этим проекциям относятся такие, которые не отвечают ни одному из выше перечисленных условий. Они имеют угловые, площадные и линейные искажения.

Таким образом, условия, определяющие свойства изображения (характер искажений):

– условия равноугольности: $f = 0$, $m = n = a = b$, $\omega = 0$;

– условия равновеликости: $P = 1$ или $h = R^2 \cos \varphi$;

– условия равнопромежуточности: $m = 1$ или $n = 1$.

Если эти условия не выполняются, то проекция относится к группе произвольных.

1.1.4 Классификация картографических проекций по виду меридианов и параллелей нормальной сетки

На картах картографическую проекцию отождествляет картографическая сетка, которая составляет математическую основу создаваемых карт. Картографическая сетка строится через заданный интервал между меридианами и параллелями, называемый частотой сетки. Для ее построения вычисляют прямоугольные координаты узловых точек проекции – точек пересечения меридианов и параллелей через заданный интервал – в заданном главном масштабе

Основной картографической сеткой называют изображение сети меридианов и параллелей на карте в заданной проекции.

Нормальной сеткой называется наиболее простое изображение на плоскости в заданной проекции той или иной координатной сети, взятой на поверхности.

По виду нормальной сетки различают следующие проекции: азимутальные, цилиндрические, псевдоцилиндрические, конические, псевдоконические, поликонические, произвольные.

Азимутальные проекции – проекции, в которых параллели нормальных сеток изображаются одноцентренными окружностями, меридианы – пучком прямых линий с точкой схода, совпадающей с центром параллелей. Углы между меридианами равны углам в натуре (рис. 2).

Цилиндрические проекции – такие, в которых параллели нормальных сеток есть прямые параллельные линии, меридианы – также прямые линии, ортогональные к параллелям. Расстояния между меридианами равны и всегда пропорциональны разности долгот (рис. 3).

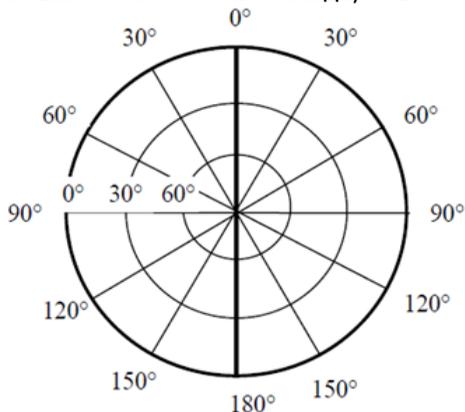


Рис 2. Вид картографической сетки азимутальной проекции

Псевдоцилиндрические проекции – проекции, в которых параллели изображаются прямыми параллельными линиями,

меридианы – кривыми линиями, симметричными относительно среднего прямолинейного меридиана, который всегда ортогонален параллелям (рис. 4).

Конические проекции – в этих проекциях параллели представляют собой дуги концентрических окружностей, меридианы – пучок прямых линий, расходящихся из точки полюса (рис. 5). При этом углы между меридианами на проекции пропорциональны углам между ними на поверхности.

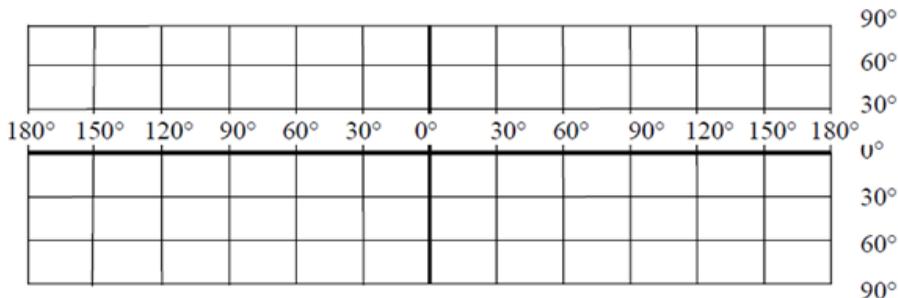


Рис. 3. Вид картографической сетки цилиндрической проекции

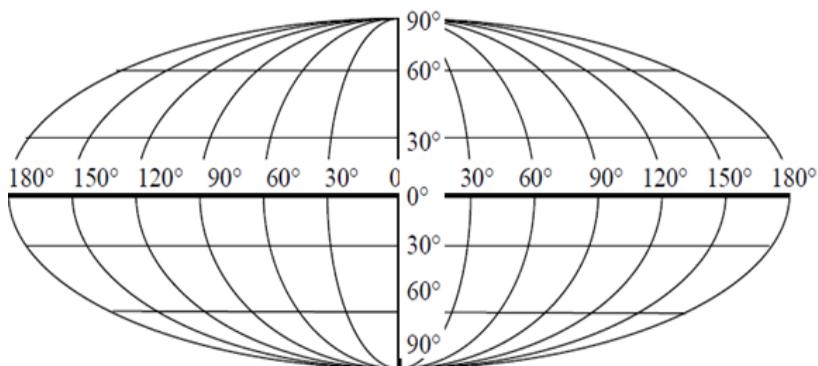


Рис. 4. Вид картографической сетки псевдоцилиндрической проекции

Общая картография

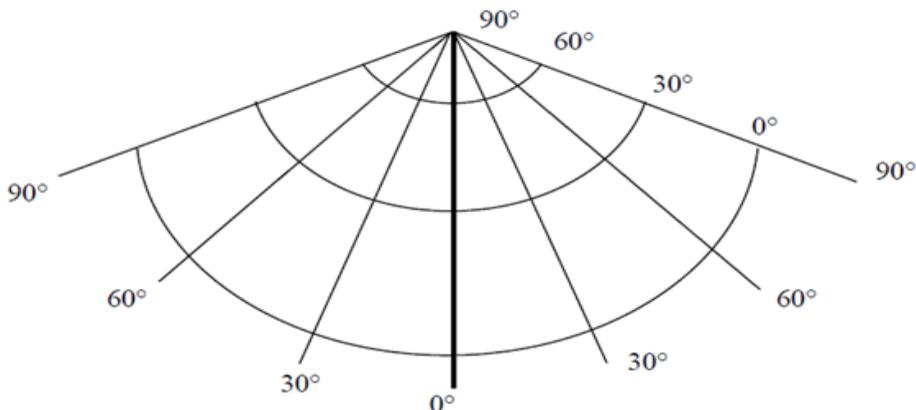


Рис. 5. Вид картографической сетки конической проекции

Псевдоконические проекции – это проекции, в которых параллели изображаются дугами концентрических окружностей, средний меридиан – прямая линия, а остальные меридианы – кривые линии (рис. 6).

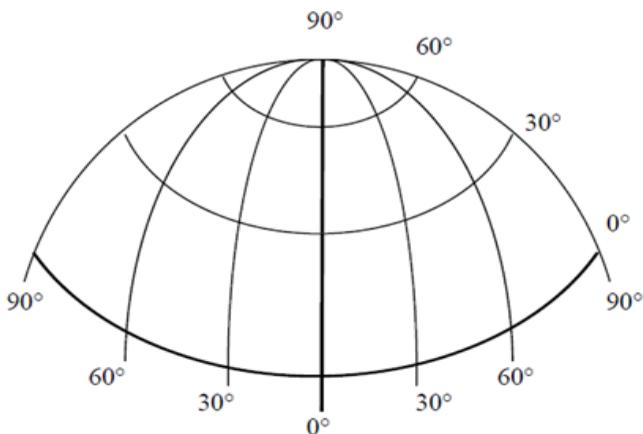


Рис. 6. Вид картографической сетки псевдоконической проекции

Псевдоазимутальные проекции – проекции, в которых параллели имеют вид одноцентренных окружностей, меридианы представляют собой пучок некоторых кривых; средний меридиан и экватор – две взаимно перпендикулярные прямые линии (рис.

7).

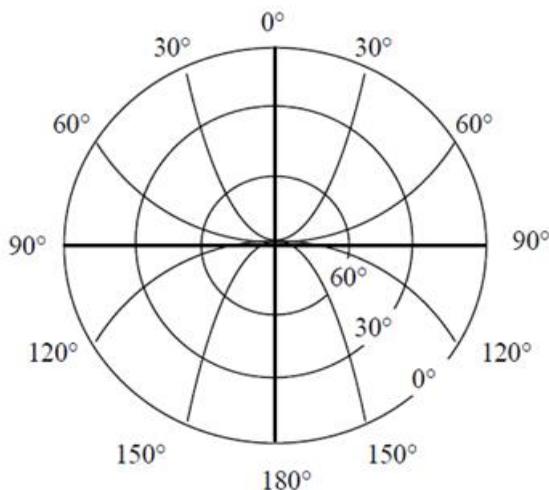


Рис. 7. Вид картографической сетки псевдоазимутальной проекции

Поликонические проекции – такие, в которых параллели представляют собой эксцентрические окружности, центры которых находятся на среднем меридиане; меридианы являются дугами некоторых кривых, средний меридиан и экватор – две взаимно перпендикулярные прямые линии (рис. 8).

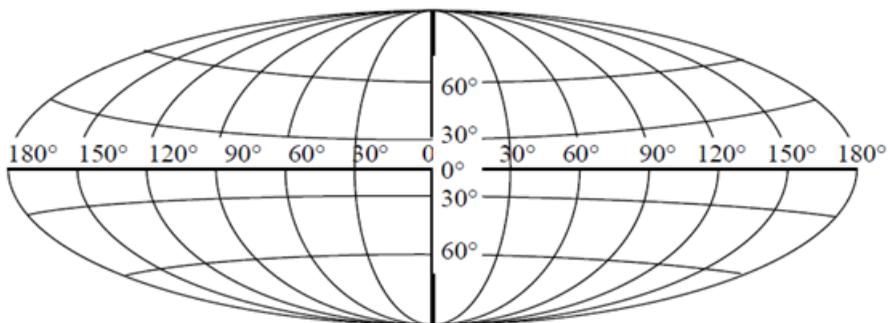


Рис. 8. Вид картографической сетки поликонической проекции

1.1.5 Классификация картографических проекций по положению полюса нормальной системы координат

В зависимости от положения полюса нормальной системы P_0 все проекции подразделяются на следующие:

а) **прямые, или нормальные** – полюс нормальной системы P_0 совпадает с географическим полюсом ($\varphi_0 = 90^\circ$);

б) **поперечные, или экваториальные** – полюс нормальной системы P_0 лежит на поверхности в плоскости экватора ($\varphi_0 = 90^\circ$);

в) **косые, или горизонтальные** – полюс нормальной системы P_0 располагается между географическим полюсом и экватором ($0^\circ < \varphi_0 < 90^\circ$).

В прямых проекциях основная и нормальная сетки совпадают. В косых и поперечных проекциях такого совпадения нет.

Каждый конкретный вид проекций предназначен для создания карт на определенные участки земного шара. Например: карта мира составляется в цилиндрических, псевдоцилиндрических и поликонических проекциях; карты полушарий – в азимутальных проекциях (для северного или южного полушария применяют нормальные (полярные) азимутальные проекции, а для карт западного или восточного полушария – поперечные (экваториальные) проекции. Косые азимутальные проекции используют для карт отдельных материков. Конические равноугольные или равновеликие проекции в основном используются при создании карт отдельных стран и административных единиц. Карты России зачастую составляются в конических равнопромежуточных проекциях, поскольку ее территория расположена в средних широтах и вытянута вдоль параллелей.

1.2 Порядок работы при аналитическом исследовании свойств картографических проекций

Исследованию свойств картографических проекций необходимо выполнять в следующей последовательности:

а) *Определение вида сетки меридианов и параллелей.*

Для определения вида картографической сетки необходимо систему (1) решить совместно так, чтобы в одном случае получить уравнение вида

$$F_1(x, y, \varphi) = 0, \varphi = const, \quad (15)$$

в другом – уравнение вида

Общая картография

$$F_2(x, y, \lambda) = 0, \lambda = const. \quad (16)$$

Тогда (15) – уравнение параллелей, (16) – уравнение меридианов.

Зная уравнения (14), (15) можно определить вид картографической сетки (п. 1.1.4).

б) Построение сетки меридианов и параллелей.

Необходимо рассчитать и построить на чертежной бумаге формата 20×30 см картографическую сетку исследуемой проекции. Частота сетки $\Delta\varphi = \Delta\lambda = 30^\circ$. Радиус земной сферы принять равным $R = 64 \cdot 10^7$ см. Вычисление прямоугольных координат x , y узловых точек сетки выполнить с точностью до $0,01$ см.

в) Определить ортогональность картографической сетки.

Для этого находят коэффициенты Гаусса по формулам (2), и делают вывод об ортогональности сетки на основании формулы (10).

г) Определить частные масштабы длин и площадей, масштабы по главным направлениям и наибольшее искажение углов.

Для вычислений используют формулы (5), (6), (7), (9), (11).

д) Найти величины искажений в узловых точках сетки с частотой $\Delta\varphi = \Delta\lambda = 30^\circ$.

Таблица 1

Оформление таблицы при зависимости характеристик от одной переменной (φ)

$\varphi, ^\circ$	m	n	p	ω
0				
30				
60				
90				

Вычисление m , n , p выполнить до $0,001$; ω – до минут. Для цилиндрических и азимутальных проекций вычислить и табулировать m , n , p , ω (табл. 1); для псевдоцилиндрических – m , n , p (табл. 2).

Таблица 2

Оформление таблицы при зависимости характеристик от двух переменных (φ, λ)

$\lambda, ^\circ$	m							n	p
	0	30	60	90	120	150	180		
$\varphi, ^\circ$									
0									
30									
60									
90									

е) определить группу проекций по характеру искажений.

Группу проекций по характеру искажений определяют по коэффициентам Гаусса (пункт 1.1.3).

1.3 Примеры аналитического исследования свойств картографических проекций

Пример № 1

Порядок выполнения задания рассмотрим на примере решения уравнений проекции:

$$\begin{cases} X = R \cos \varphi \cos \lambda \\ Y = R \cos \varphi \sin \lambda \end{cases} \quad (17)$$

а) Определение вида сетки меридианов и параллелей.

В данных уравнениях абсциссы и ординаты являются функциями и широты и долготы, следовательно, для получения уравнения меридианов нужно решить совместно исходные уравнения так, чтобы исключить φ , а для получения уравнения параллелей – исключить из них λ .

В результате будем иметь уравнение меридианов вида $F_1(X, Y, \lambda) = C$, и уравнение параллелей $F_2(X, Y, \varphi) = C$.

Уравнение меридианов получим делением первого уравнения на второе

$$X = Y \operatorname{tg} \lambda. \quad (18)$$

Тогда, при $\lambda = \text{const}$, это уравнение пучка прямых линий, проходящих через начало прямоугольных координат – географиче-

ческий полюс и пересекающихся под углами, равными разности долгот $\Delta\lambda$.

Для исключения из уравнений λ возведем в квадрат оба уравнения и почленно сложим полученные уравнения. Уравнение параллелей будет иметь вид:

$$X^2 + Y^2 = R^2 \cos^2 \alpha, \quad (19)$$

При $\varphi = \text{const}$, это уравнение концентрических окружностей радиусом $r = R \cos \varphi$ с центром в точке схода меридианов – географическом полюсе.

Из уравнений (16) и (17) видно, что при удалении от полюса к экватору, т.е. при уменьшении широты от 90° до 0° радиусы параллелей увеличиваются пропорционально $\cos \varphi$, а расстояния между параллелями уменьшается пропорционально $\cos \varphi_2 - \cos \varphi_1$, где φ_1 и φ_2 широты соседних параллелей. Максимальным радиусом в проекции будет радиус экватора ($\cos 0^\circ = 1$), следовательно, наибольшей территорией, которую можно изобразить в данной проекции, будет полушарие.

Используя классификацию проекций по виду картографической сетки (пункт 1.1.4), делаем вывод о том, что исследуемая проекция – азимутальная (рис. 2).

б) Построение сетки меридианов и параллелей.

Рассчитать и построить на чертежной бумаге формата 20×30 см картографическую сетку исследуемой проекции. Частота сетки $\Delta\varphi = \Delta\lambda = 30^\circ$. Радиус земной сферы принять равным $R = 64 \cdot 10^7$ см. Вычисление прямоугольных координат x, y узловых точек сетки выполнить с точностью до $0,01$ см.

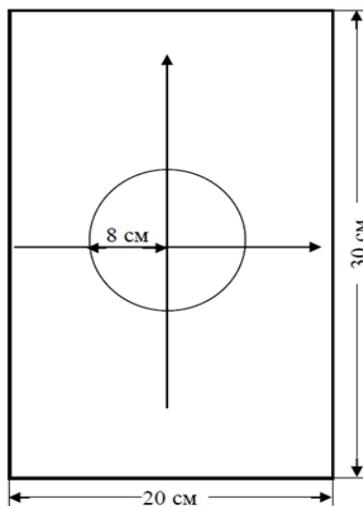


Рис. 9. Пример размещения чертежа при построении картографической сетки азимутальной проекции

Общая картография

– *Определяют масштаб построения проекции.*

С учетом заданного формата чертежной бумаги для построения картографической сетки и округлой формы изображения земной поверхности в азимутальной проекции (рис. 9) масштаб построения проекции следует определять выражением:

$$\mu = \frac{8}{r_{\text{ЭКВ}}} = \frac{8}{R \cos \varphi} \quad (20)$$

где 8 см – принятый, с учетом формата чертежной бумаги, в масштабе построения радиус экватора на плоскости;

$r_{\text{ЭКВ}/\varphi_0=0}$ – радиус экватора на поверхности сферы.

Для данного примера $r_{\text{ЭКВ}} = R \cos \varphi$; при $\varphi = 0^\circ$ – $r_{\text{ЭКВ}} = R$, $R = 64 \cdot 10^7$ см, тогда $\mu_0 = 1:80\,000\,000$.

– *Для построения параллелей, вычисляем их радиусы по формуле:*

$$r = R \cos \varphi \cdot \mu_0. \quad (21)$$

Результаты вычислений приведены в табл. 3

Таблица 3

Радиусы параллелей

№	$\varphi, ^\circ$	$r_i, \text{см}$
1	0	8,00
2	30	6,96
3	60	4,00
4	90	0,00

Последовательно откладывая по оси X или Y радиусы и проводя соответствующие им окружности, находят положения параллелей 30° , 60° , 90° (рис. 10).

– Для построения меридианов, используем их уравнение (18).

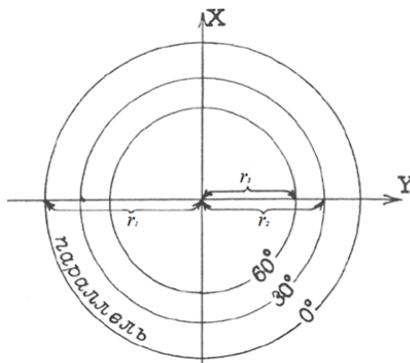


Рис. 10. Изображение параллелей картографической сетки в азимутальной проекции

В данном случае, для построения меридианов (они представляют собой прямые линии) достаточно провести лучи, исходящие из пересечения осей X и Y, через 30° (начиная от оси X или Y).

Построение меридианов приведено на рисунке 11

в) Определение ортогональности картографической сетки.

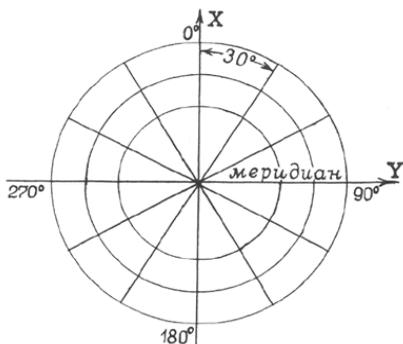


Рис. 11. Изображение меридианов картографической сетки в азимутальной проекции

Рис. 11. Изображение меридианов картографической сетки в азимутальной проекции

Предварительно возьмем частные производные от уравнений проекций

$$\frac{\partial x}{\partial \rho} = R \sin \rho \cos \alpha,$$

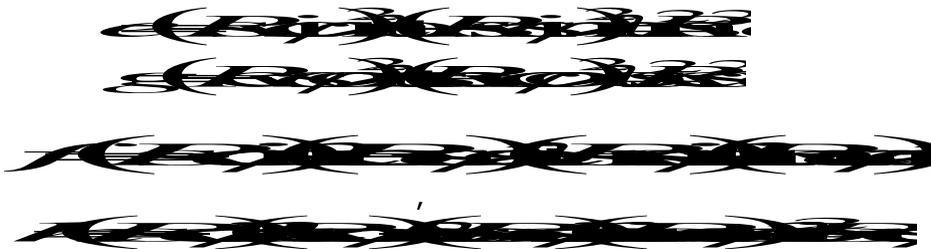
$$\frac{\partial y}{\partial \rho} = R \sin \rho \sin \alpha,$$

$$\frac{\partial x}{\partial \alpha} = -R \cos \rho \sin \alpha,$$

$$\frac{\partial y}{\partial \alpha} = R \cos \rho \cos \alpha.$$

Найдем коэффициенты Гаусса по формулам (2):

Общая картография



$f = 0$, значит, картографическая сетка ортогональна.

Для контроля найдем угол между меридианами и параллелями по формуле (10) $\sin \frac{h}{\sqrt{eg}} = 1$. $i = 90^\circ$, ортогональность сетки подтверждается.

г) Определение частных масштабов длин и площадей, масштабов по главным направлениям и наибольшего искажения углов.

Масштаб по меридианам, формула (5): $m = \frac{\sqrt{e}}{R} = \sin \varphi$,
изменяется от 0 на экваторе до 1 на полюсе.

Масштаб по параллелям, формула (6): $n = \frac{\sqrt{g}}{R \cos \varphi} = 1$, т.е.
постоянен, длины параллелей не искажаются.

Масштаб площади, формула (9): $P = \frac{h}{R \cos \varphi} = \sin \varphi$.

Контроль: $P = m \cdot n = \sin \varphi$.

Масштаб площади аналогичен масштабу по меридианам, т.е. изменяется от 0 на экваторе до 1 на полюсе.

Масштабы по главным направлениям, формулы (7) (экстремальные масштабы а и b):

$$A = \frac{\sqrt{e}}{R} \sin \varphi; \quad B = \frac{\sqrt{g}}{R \cos \varphi};$$

$$a = \frac{A+B}{2}; \quad a = m; \quad b = \frac{A-B}{2}; \quad b = n.$$

Общая картография

Так как сетка ортогональна, то главные направления совпадают с меридианами и параллелями. Учитывая, что $\sin \varphi$ меньше единицы, в нашем случае лучше принять

$$a = n = 1, \quad b = m \sin \varphi.$$

Наибольшее искажение углов найдем по одной из формул (11):

$$\frac{\partial \alpha}{\partial \varphi} = \frac{2ab \sin \varphi \cos \varphi}{2ab \sin^2 \varphi} = \frac{\cos \varphi}{\sin \varphi} = \cot \varphi$$

Наибольшее искажения достигают углы на экваторе при $\varphi = 0^0$ и уменьшаются до 0 на полюсе.

д) Вычисление величин искажений в узловых точках сетки с частотой $\Delta\varphi = 30^0$ (табл. 4).

е) Определение группы проекций по характеру искажений.

1. Условие равноугольности не выполняется, т.к. хотя $f = 0$, но $m \neq n$ и $\omega \neq 0$, т.е. проекция не равноугольна.

2. Условие равновеликости не выполняется, т.к. $h \neq R \cos \varphi$ и $p \neq 1$ проекция не равновеликая.

3. Так как $n = a = 1$, то проекция равнопромежуточная по параллелям

Таблица 4

Значения масштабов m , n , p и ω

$\varphi, ^0$	m	n	p	ω
0	0,000	1,000	0,000	180^0
30	0,500	1,000	0,500	$38^0 56'$
60	0,866	1,000	0,866	$8^0 14'$
90	1,000	1,000	1,000	0^0

Вывод. Исследуемая проекция по виду картографической сетки является азимутальной, по характеру искажений – равнопромежуточной по параллелям.

Пример № 2

Рассмотрим порядок выполнения задания на примере решения уравнений проекции:

$$\begin{cases} X=R\varphi \\ Y=R\lambda\cos\varphi \end{cases} \quad (22)$$

а) Определение вида сетки меридианов и параллелей.

В первом уравнении проекции X является функцией только широты φ . Следовательно, уравнение $X=R\varphi$ при $\varphi = \text{const}$ представляет собой уравнение параллелей, изображающихся прямыми параллельными линиями.

Во втором уравнении y – функция двух переменных – φ и λ . Чтобы получить уравнение меридианов из первого уравнения системы (22), находим $\varphi = X/R$ и подставляем его во второе уравнение, которое примет следующий вид:

$Y=R\lambda\cos\left(\frac{X}{R}\right)$, $\lambda = \text{const}$ – уравнение меридианов (уравнение синусоиды).

Используя классификацию проекций по виду сетки (пункт 1.1.4), делаем вывод, что исследуемая проекция – псевдоцилиндрическая (рис. 4).

б) Построение сетки меридианов и параллелей.

– Определяют масштаб построения проекции.

С учетом заданного формата чертежной бумаги для построения картографической сетки и вытянутости изображения земной поверхности в псевдоцилиндрической проекции с запада на восток масштаб построения проекции следует определить выражением:

$$\mu_0 = \frac{26}{2\pi R} \quad (23)$$

где 26 см – принятая, с учетом формата чертежной бумаги, в масштабе построения длина экватора на плоскости;
 $2\pi R$ – длина экватора на поверхности сферы; $R = 64 \cdot 10^7$ см (рис. 12).

Общая картография

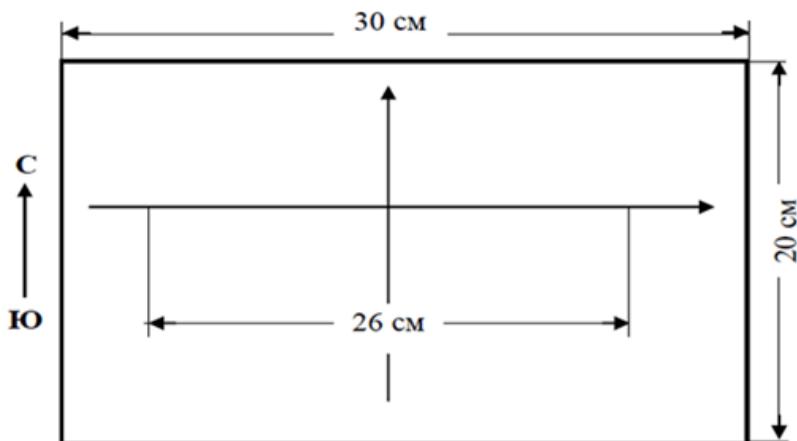


Рис. 12. Пример чертежа при построении картографической сетки псевдоцилиндрической проекции

Тогда, по формуле (23), найдем масштаб построения:

$$M = \frac{26}{21640} = \frac{1}{83230}$$

Для удобства в расчетах координат x , y масштаб построения следует округлить, а

именно принять его равным $M = \frac{1}{16000}$

– Для построения параллелей, с учетом их уравнения, вычисляют $X = R\varphi$; φ – взять в радианной мере (для этого φ° делят на $\rho = 57^{\circ}$). Результаты вычислений X_i приведены в табл. 5.

Таблица 5

Абсциссы X_i

№	$\varphi, ^{\circ}$	$\varphi, \text{рад}$	$X_i, \text{см}$
1	0	0,00	0,00
2	30	0,53	2,12
3	60	1,05	4,20
4	90	1,58	6,32

Из табл. 4 видно, что экватор совпадает с осью Y . Последовательно откладывая от оси Y расстояния X_2, X_3, X_4 , находят по-

Общая картография

ложения параллелей 30, 60, 90° (рис. 13).

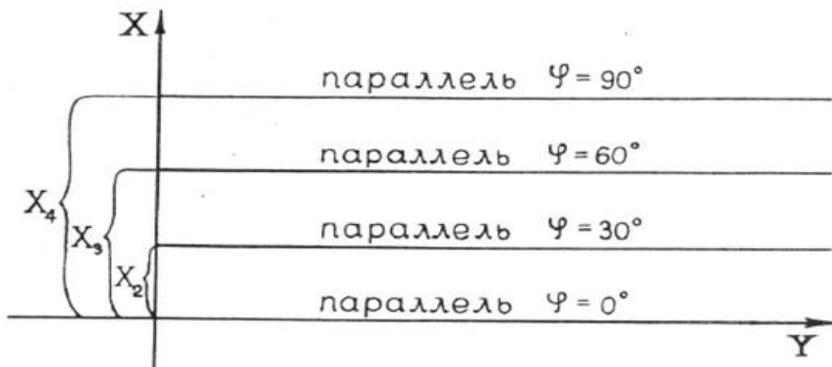


Рис. 13. Изображение параллелей картографической сетки псевдоцилиндрической проекции

– Для построения меридианов, используем их уравнение

$$Y = R \cos \varphi \lambda,$$

Учитывая, что λ не входит под знак какой-либо функции, можно сделать вывод о том, что расстояние между меридианами на каждой конкретной параллели есть величина постоянная. Поэтому при расчетах Y_i достаточно принять $\lambda = 30^\circ$; в радианной мере $\lambda = 0,53$. Вычисления для построения меридианов приведены в табл. 5.

Таблица 5

Ординаты Y_i

№	$\varphi, ^\circ$	$\lambda, \text{рад}$	$Y_i, \text{см}$
1	0	0,53	2,12
2	30	0,53	1,83
3	60	0,53	1,06
4	90	0,53	0,00

Средний меридиан $\lambda = 0^\circ$ будет совпадать с осью X.

Полученные значения Y откладываем 6 раз на восток и на запад от оси X по каждой из параллелей и соединяем соответствующие точки (рис. 14).

Построение картографической сетки на рис. 13, 14 приведено лишь для 1/4 части изображения. Это построение будет симметрично относительно среднего меридиана и экватора.

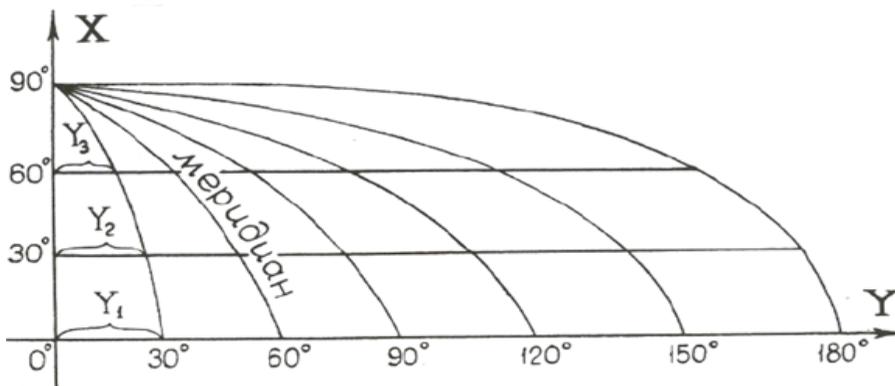


Рис. 14. Изображение меридианов картографической сетки псевдоцилиндрической проекции

в) Определение ортогональности картографической сетки.

Предварительно возьмем частные производные от уравнений проекций (22):

$$\frac{\partial x}{\partial \varphi} = R \quad \frac{\partial y}{\partial \varphi} = R \sin \varphi$$

$$\frac{\partial x}{\partial \alpha} = 0 \quad \frac{\partial y}{\partial \alpha} = R \cos \varphi$$

Найдем коэффициенты Гаусса по формулам (2):

$$e = R(1 + \lambda^2 \sin^2 \varphi), \quad f = R \lambda \sin \varphi \alpha,$$

$$g = R \cos^2 \varphi, \quad h = R \cos \varphi.$$

Так как $f \neq 0$, значит, картографическая сетка не ортогональна.

Для контроля найдем угол между меридианами и параллелями по формуле (10)

$$\sin i = \frac{1}{\sqrt{e g h^2 \sin^2 \varphi}}$$

следовательно $i \neq 90^\circ$ и сетка не ортогональна.

г) Определение частных масштабов длин и площадей, масштабов по главным направлениям и наибольшего искажения уг-

Общая картография

ЛОВ.

Масштаб по меридианам, формула (5):

$$m = \frac{\sqrt{e}}{R} \sqrt{1 + \sin^2 \varphi},$$

 Масштаб по параллелям, формула (6): $n = \frac{\sqrt{g}}{R \cos \varphi} = 1$, т.е.

постоянен.

 Масштаб площади, формула (9): $p = \frac{h}{R \cos \varphi} = 1$.

 Контроль: $p = m \sin \varphi = 1$.

Масштабы по главным направлениям, формулы (7) (экстремальные масштабы а и b):

$$a = \frac{AB}{2} \sqrt{1 + \sin^2 \varphi};$$

$$b = \frac{AB}{2} \sqrt{1 - \sin^2 \varphi};$$

$$a = \frac{AB}{2} \sqrt{1 + \sin^2 \varphi};$$

$$b = \frac{AB}{2} \sqrt{1 - \sin^2 \varphi};$$

Наибольшее искажение углов найдем по одной из формул (11):

$$\frac{\cos B \sin \varphi}{2 \sin A \sqrt{1 - \sin^2 \varphi}}$$

 д) Вычисление величин искажений в узловых точках сетки с частотой $\Delta\varphi = \Delta\lambda = 30^\circ$ (табл. 6).

е) Определение группы проекций по характеру искажений.

1. Условие равноугольности не выполняется, т.к. $f \neq 0$, $m \neq n$ и $\omega \neq 0$, т.е. проекция не равноугольна.
2. Так как $h = R \cos \varphi$ и $p = 1$, то проекция равновеликая.
3. Условие равнопромежуточности не выполняется,

Общая картография

т.к. $m \neq n \neq 1$.

Вывод. Исследуемая проекция по виду картографической сетки является псевдоцилиндрической, по характеру искажений – равновеликой.

Таблица 6

 Значения масштабов m , n , p

$\lambda, ^\circ$ $\varphi, ^\circ$	m							n	p
	0	30	60	90	120	150	180		
0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
30	1,000	1,034	1,129	1,272	1,448	1,647	1,862	1,000	1,000
60	1,000	1,098	1,351	1,688	2,071	2,478	2,899	1,000	1,000
90	1,000	1,129	1,448	1,862	2,321	2,802	3,329	1,000	1,000

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОМЕНКЛАТУРЫ ЛИСТОВ КАРТ РАЗЛИЧНЫХ МАСШТАБОВ

Цель задания

Приобретение практических навыков по определению номенклатуры листов карт различных масштабов.

Содержание задания

По заданным географическим координатам точки определить номенклатуру листов карты для масштабов от 1:1 000 000 до 1: 10 000 (табл. 7).

Индивидуальные исходные данные

Студенты получают индивидуальное задание (прил. 2) от преподавателя.

2.1 Номенклатура и разграфка топографических карт

Топографические карты являются многоместными произведениями. Территория государства изображается на них по частям на отдельных листах. Листы карт различных масштабов объединяются единой системой разграфки и номенклатуры.

Разграфка – деление в определенной последовательности меридианами и параллелями поверхности земного шара на части, для последующего изображения этих частей на планах и картах.

Номенклатура – система обозначения отдельных листов карты различных масштабов.

Разграфка осуществляется следующим образом.

От экватора к северу и к югу земной шар делится параллелями через 4 градуса, образуя пояса, которые обозначаются заглавными буквами латинского алфавита. От меридиана с долготой 180⁰ весь земной шар делится меридианами на 6-градусные колонны, которые нумеруются арабскими цифрами. Эта площадь и описывается в одном листе карты с масштабом 1:1 000 000 (рис. 15). Такая карта является отправной точкой для всех последующих листов более крупных масштабов.

Колонны листов миллионной карты совпадают с шестиградусными координатными зонами, на которые разбивается поверхность земного эллипсоида при вычислении координат и составлении карт в проекции Гаусса. Различие заключается лишь в их нумерации: так как счёт координатных зон ведётся от нулевого (Гринвичского) меридиана, а счёт колонн листов миллионной карты от меридиана 180 градусов, то номер зоны отличается от номера колонны на 30. Поэтому, зная номенклатуру листа карты,

Общая картография

легко определить, к какой зоне он относится. Например, лист М-35 расположен в 5-й зоне (35-30), а лист К-29 — в 59-й зоне (29+30).

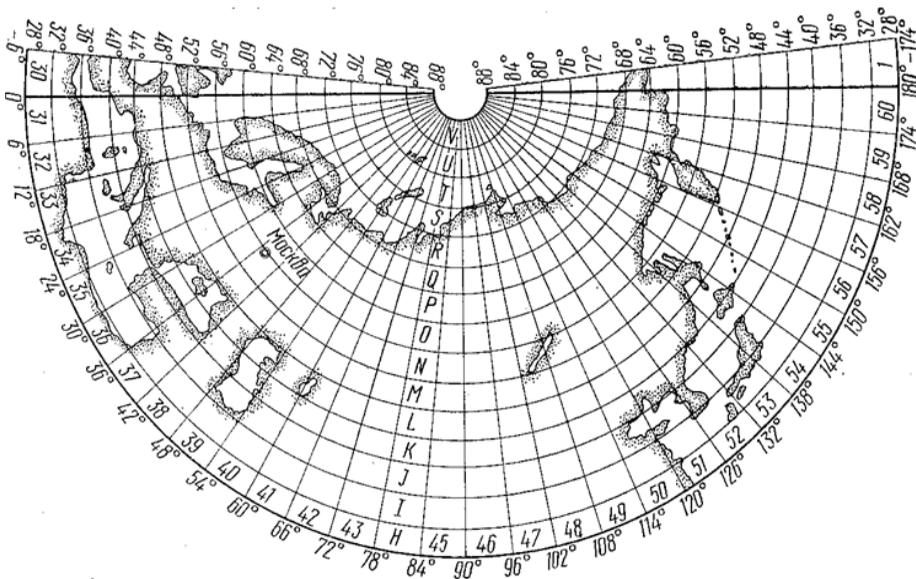


Рис. 15. Разграфка и номенклатура листов карты масштаба 1:1 000 000

Листы карт масштабов 1:1 000 000 – 1:10 000 ограничены меридианами и параллелями, протяжение дуг которых зависит от масштаба карты. Стандартные размеры листов карт различных масштабов указаны в таблице 7.

Таблица 7

Размеры листов карт различных масштабов

Масштаб	Номенклатура	Исходный масштаб	Число листов	Размеры листа	
				по широте	по долготе
1:1 000 000	N-36			4°	6°
1: 500 000	N-36-Г	1:1 000 000	4	2°	3°
1: 300 000	VIII - N-36	1:1 000 000	9	1° 20'	2°
1: 200 000	N-36-XXX	1:1 000 000	36	40'	1°
1: 100 000	N-36-133	1:1 000 000	144	20'	30'
1: 50 000	N-36-133-A	1: 100 000	4	10'	15'
1: 25 000	N-36-133-A-6	1: 50 000	4	5'	7' 30''
1: 10 000	N-36-133-A-6-3	1: 25 000	4	2' 30''	3' 45''

Номенклатура листов карт масштабов 1:100 000 – 1:500 000 складывается из номенклатуры соответствующего листа миллионной карты с добавлением к ней цифры (цифр) или буквы, указывающей расположение на нём данного листа (рис. 16).

Как видно из рисунка (16), счёт листов всех масштабов ведётся слева направо и сверху вниз, при этом:

– листы масштаба 1:500 000 (4 листа) обозначаются русскими прописными буквами А, Б, В, Г. Следовательно, если номенклатура листа миллионной карты будет, например, N-36, то лист масштаба 1:500 000 с г. Поленск имеет номенклатуру N-36-A;

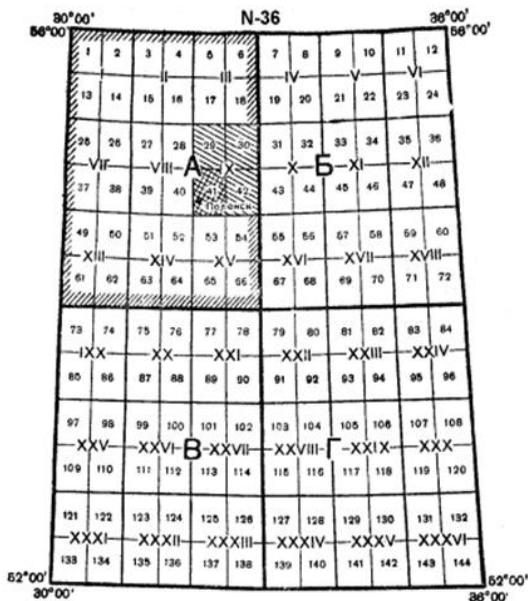
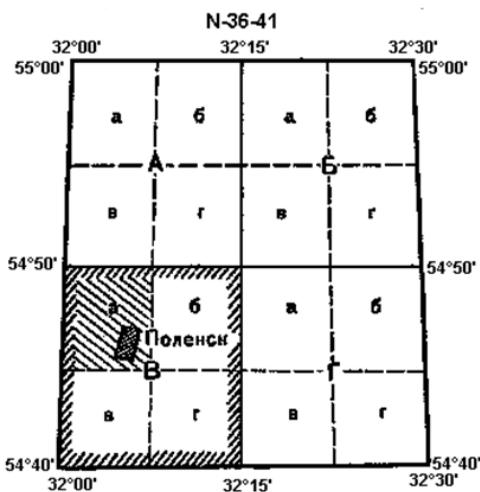


Рис. 16. Расположение, порядок нумерации и обозначения листов карт масштабов 1:500 000 – 1:500 000 на листе карты 1:1 000 000

Общая картография

– листы масштаба 1:200 000 (36 листов) обозначаются римскими цифрами от I до XXXVI. Таким образом, номенклатура листа с г. Поленск будет N-36-IX. 36 листов получается потому, что приходится разбивать лист масштаба 1:500 000 не на 4 листа, как в предыдущем случае, а на 9 частей. Пользоваться римскими цифрами иногда неудобно, поэтому двухкилометровки иногда обозначают двузначными арабскими цифрами от 01 до 36. Так выглядят обозначения двухкилометровок в этом случае: O-37-01, O-37-25 O-37-36;

– листы масштаба 1:100 000 нумеруются цифрами от 1 до 144. Например, лист с г. Поленск имеет номенклатуру N-36-41.



Листу карты масштаба 1:100 000 соответствуют 4 листа масштаба 1:50 000 (рис. 17), обозначаемые русскими прописными буквами "А, Б, В, Г", а листу масштаба 1:50 000 — 4 листа карты 1:25 000, которые обозначаются строчными буквами русского алфавита "а, б, в, г".

Рис. 17. Разграфка и номенклатура листов карт масштаба 1:50 000 и 1:25 000 на листе карты 1:100 000

В соответствии с этим номенклатура листов карты 1:50 000 складывается из номенклатуры листа масштаба 1:100 000, а листов карты 1:25 000 — из номенклатуры листа масштаба 1:50 000 с присоединением к ней буквы, указывающей данный лист. Например, N-36-41-В обозначает лист масштаба 1:50 000, а N-36-41-В-а — лист масштаба 1:25 000 с г. Поленск.

3. ИЗМЕРЕНИЕ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПО ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ КАРТЕ МАСШТАБА 1:25 000

Цель задания

Приобретение практических навыков в работе с топографической картой масштаба 1: 25 000.

Содержание задания

- По заданному положению четырех точек на карте определить их географические и прямоугольные координаты, высоты.
- Вычислить площадь S и периметр P четырехугольника (образованного указанными точками), уклоны i и углы наклона v его сторон, горизонтальные проложения d и наклонные длины L сторон четырехугольника.
- Рассчитать поправки ΔS и ΔP в площадь и периметр четырехугольника за счет искажений проекции.

Индивидуальные исходные данные

Студенты получают индивидуальное задание (четыре точки на карте масштаба 1:25 000) от преподавателя.

3.1 Определение географических координат по карте

Порядок выполнения задачи

Пользуясь минутной рамкой карты можно определить географические координаты точки (в данном примере – точки A). Для определения широты φ и долготы λ надо:

1. на карте провести ближайšie к точке A с юга параллель и с запада меридиан, соединив одноименные минутные деления градусной рамки (рис. 18);
2. для точки A_0 (точки пересечения проведенных меридиана и параллели) определить широту φ_0 и λ_0 (в градусах и минутах);
3. из точки A опустить перпендикуляры на построенные меридиан и параллель и с учетом секундной рамки измерить расстояния $AA_1 = \Delta\varphi$ и $AA_2 = \Delta\lambda$;
4. определить окончательные координаты $\varphi_A = \varphi_0 + \Delta\varphi$, $\lambda_A = \lambda_0 + \Delta\lambda$.

Пример: $\varphi_0 = 54^\circ 15'$; $\lambda_0 = 14^\circ 23'$;

$\Delta\varphi = AA_1 = 16''$; $\Delta\lambda = AA_2 = 28''$;

$\varphi_A = 54^\circ 15' 16''$; $\lambda_A = 14^\circ 23' 28''$.

Результаты вычислений географических координат оформить в таблице 7.

3.2 Определение прямоугольных координат по карте

Порядок выполнения задачи

Пользуясь километровой сеткой карты можно определить прямоугольные координаты точки (в данном примере – точки В).

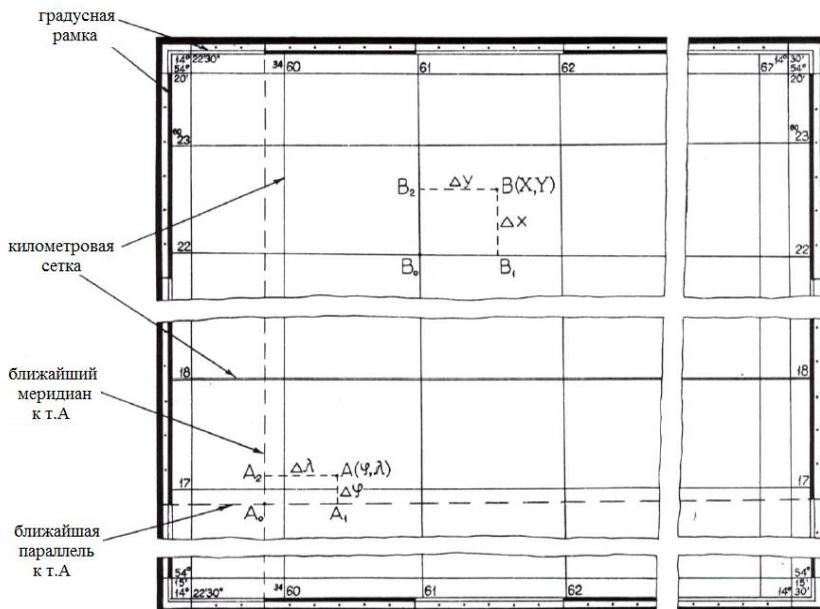


Рис. 18. Определение географических и прямоугольных координат точки по топографической карте

Для определения прямоугольных координат x , y точки В следует использовать оцифровку километровой сетки:

1. по оцифровке найти координаты x_0 , y_0 юго-западного угла квадрата километровой сетки, в котором находится данная точка В;

2. затем из точки В опустить перпендикуляры на стороны квадрата BB_1 и BB_2 и с учетом масштаба карты определить их длины (рис. 18): $BB_1 = \Delta x$; $BB_2 = \Delta y$;

3. прямоугольные координаты точки В определить из выражений: $x_B = x_0 + \Delta x$; $y_B = y_0 + \Delta y$.

Пример: $x_0 = 6\,022$ км; $y_0 = 3\,461$ км;

Общая картография

$$\Delta x = 0,601 \text{ км}; \Delta y = 0,750 \text{ км};$$

$$x_B = 6\,022 + 0,610 = 6\,022,610 \text{ км};$$

$$y_B = 3\,461 + 0,750 = 3\,461,750 \text{ км}.$$

Результаты вычислений прямоугольных координат оформить в таблице 7.

Таблица 7
Координаты и высоты точек, определенные по карте

Точки	Географические координаты		Прямоугольные координаты		Высоты Н, м
	λ	φ	х, км	у, км	
А	$53^{\circ}42'55,1''$	$65^{\circ}47'08,0''$	5 957,925	11 683,900	108,60
В					
С					
Д					

3.3 Определение высот (отметок) точек по карте

Порядок выполнения задачи

Если точка расположена на горизонтали, то ее отметка будет равна отметке этой горизонтали.

Если же точка расположена между горизонталями, то необходимо выполнить следующие действия:

1. через заданную точку провести кратчайшее расстояние между горизонталями, это расстояние будет являться заложением, его измеряют при помощи линейки (рис. 19), пусть $d = 2,4 \text{ см}$,

2. затем измерить часть заложения от меньшей горизонтали до заданной точки – $\Delta d = 1,1 \text{ см}$;

3. превышение заданной точки над меньшей горизонталью определяют из подобия треугольников (рис. 19) – $\frac{\Delta h}{\Delta d} = \frac{h_{сеч}}{d}$,

т.е. $\Delta h = h_{сеч} \frac{\Delta d}{d}$; если высота сечения рельефа равна 2,5 м, то



4. отметку заданной точки находят по формуле:

$$H_A = H_{\text{меньш}} + \Delta h, \quad (24)$$

где H_A – отметка определяемой точки,
 $H_{\text{меньш}}$ – отметка меньшей по высоте горизонтали,
 Δh – превышение определяемой точки над меньшей горизонталью.

7.

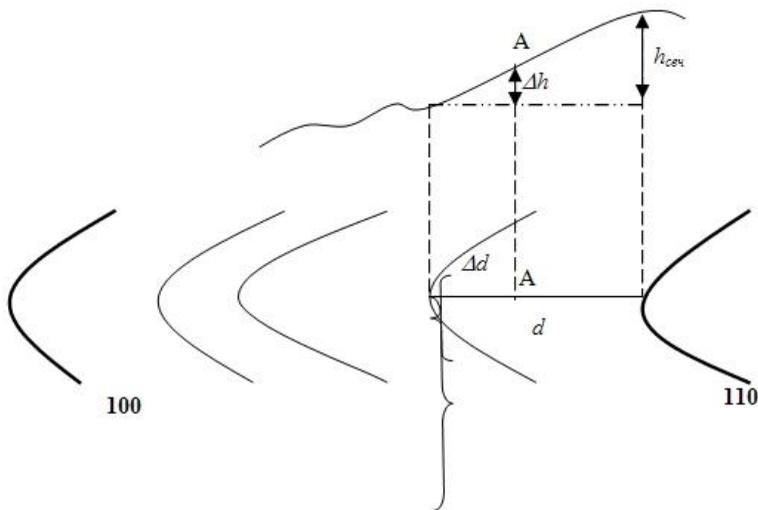


Рис. 19. Определение отметки точки между горизонталями

3.4 Определение площади (S)

Порядок выполнения задачи

Вычислить площадь четырехугольника ABCD (рис. 20) аналитическим способом по формуле:

$$S = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i) \quad (25)$$

где x_i, y_i – прямоугольные координаты вершин многоугольника;
 n – число сторон многоугольника.

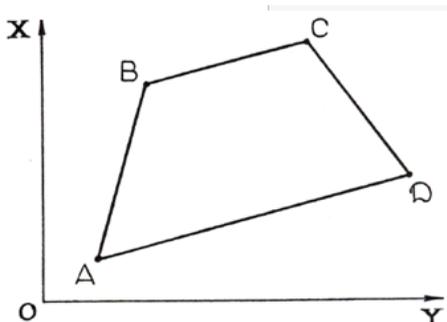


Рис. 20. Определение площади многоугольника аналитическим способом

Например, площадь четырехугольника ABCD (рис. 20) равна:



3.5 Вычисление горизонтального проложения (d)

Порядок выполнения задачи

Горизонтальное проложение линии d определить по формуле обратной геодезической задачи:

$$d = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$$

Результаты вычислений оформить в табл. 8.

3.6 Вычисление уклона (i) и угла наклона (v)

Порядок выполнения задачи

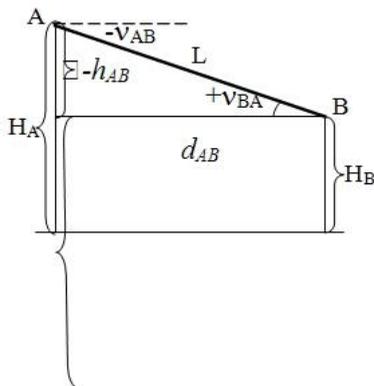


Рис. 21. Углы наклона линии местности

Уклон линии AB (i_{AB}) определяется как тангенс угла наклона (рис. 21) по формуле:

$$i_{AB} \text{ и } g_{AB} = \frac{h_{AB}}{d_{AB}} \quad (26)$$

где v_{AB} – угол наклона линии,

$h_{AB} = H_B - H_A$ – превышение между точками,

d_{AB} – горизонтальное проложение между ними.

Уклон определяется в тысячных долях, процентах или промиллях - $i = \frac{h}{d} \cdot 1000 = \text{‰}$.

Следовательно, угол наклона можно найти как арктангенс уклона, т.е. $v_{AB} = \arctg i_{AB}$.

Результаты вычислений оформить в табл. 8.

3.7 Вычисление наклонной длины (L)

Наклонную длину линии L вычислить по формуле:

$$L = \frac{1}{\cos v}$$

Результаты вычислений оформить в табл. 8.

Таблица 8

Характеристики четырехугольника ABCD

Линия	Горизонтальное проложение $d, м$	Уклон линии, v	Угол наклона линии	Наклонная длина $L, м$
AB	1 372,95	0,0135	$1^{\circ} 03' 35''$	1 373,19
BC				
CD				
DA				

3.8 Вычисление периметра (P)

Периметр многоугольника P вычисляется по формуле:

$$P = \sum_{i=1}^n L_i, \quad (27)$$

где L_i – длина отдельной стороны;
 n – число сторон многоугольника.

Например, периметр четырехугольника ABCD:

$$P = L_{AB} + L_{BC} + L_{CD} + L_{DA}$$

3.9 Вычисление поправок ΔS и ΔP в площадь и периметр четырехугольника за счет искажений проекции

Все топографические карты масштаба 1:25 000 созданы в равноугольной поперечно-цилиндрической проекции Гаусса – Крюгера. В этой проекции, как и в любой равноугольной поперечно-цилиндрической проекции, масштабы длин по меридиану m и по параллели n равны. При этом частные масштабы длин μ и площадей ρ определяются как:

$$\begin{aligned} \mu &= 1 + \frac{\lambda}{2} \cos^2 \varphi, \\ \rho &= 1 + \lambda \cos^2 \varphi. \end{aligned} \quad (28)$$

Отклонение этих величин от единицы используется для характеристики относительного искажения длин V_μ и площадей V_ρ . Последние с учетом формул (28) следует вычислить как

Общая картография

$$\begin{aligned}
 V_{\mu} &= \mu l = \frac{\lambda}{2} c \cos \varphi \\
 V_{\rho} &= \rho l = \lambda c \cos \varphi
 \end{aligned}
 \tag{29}$$

В формулах (29) долгота l и широта φ определяются для точки, расположенной в центре листа топокарты, причем долготу указанной точки надо определить относительно осевого меридиана зоны в радианной мере.

Долгота осевого меридиана зоны определяется по формуле:

$$L_0 = (N - 30) * 6^{\circ} - 3^{\circ} \tag{30}$$

где N – номер колонны.

Например, для топографической карты с номенклатурой N-41-84-B-г:

$$L_0 = (41 - 30) * 6^{\circ} - 3^{\circ} = 63^{\circ}.$$

Далее определяют долготу L_{cp} для центральной точки листа карты; в данном случае L_{cp} составит $65^{\circ} 41' 15''$ (с учетом того, что $L_{зап} = 65^{\circ} 37' 30''$, $L_{вост} = 65^{\circ} 52' 30''$). Тогда: $\lambda^0 = L_{cp} - L_0 = 2^{\circ} 41' 15''$.

Полученное значение необходимо перевести в радианную меру, с учетом того, что $\rho = \pi/180 = 0,0174444$; $l = \pi / 108\ 000 = 0,00029$.

Широта для центральной точки листа карты определяется с учетом того, что для карты данной номенклатуры $\varphi_{сев} = 53^{\circ} 45'$ и $\varphi_{юж} = 53^{\circ} 40'$. Тогда φ_{cp} составит $53^{\circ} 42' 30''$.

Поправки за счет искажений проекции в периметр и площадь определить, как:

$$\begin{aligned}
 \Delta P &= -P * V_{\mu} \\
 \Delta S &= -S * V_{\rho}
 \end{aligned}
 \tag{31}$$

и внести их в конечный результат:

$$\begin{aligned}
 P_K &= P + \Delta P \\
 S_K &= S + \Delta S
 \end{aligned}
 \tag{32}$$

Общая картография

В формулах (31) и (32) используются значения P и S , вычисленные для четырехугольника ABCD.

Результаты вычислений оформить в табл. 9.

Таблица 9

Вычисление периметра P_k и площади S_k четырехугольника

Периметр $P, м$	Площадь $S, м^2$	Относительные искажения		Поправки в		Конечные значения	
		длин V_μ	площадей V_ρ	периметр $\Delta P, м$	площадь $\Delta S, м^2$	периметр $P_k, м$	площадь $S_k, м^2$

4. АНАЛИЗ И ОПИСАНИЕ ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ КАРТЫ МАСШТАБА 1:25 000

Цель задания

Изучить назначение и содержание топографической карты масштаба 1: 25 000, полноту и подробность изображения всех основных элементов местности.

Содержание задания

Выполнить анализ и описание топографической карты масштаба 1:25 000 по следующему плану:

1. общие сведения о карте,
2. математическая основа карты,
3. геодезическая основа карты,
4. гидрография,
5. населенные пункты,
6. дорожная сеть и дорожные сооружения,
7. рельеф,
8. растительный покров и грунты.

1. Общие сведения о карте

В данном пункте указывается название карты и ее номенклатура. Выходные данные (где, кем и когда составлена и издана карта). Назначение карты.

2. Математическая основа карты

В данном разделе описывается проекция карты, система координат и высот. Приводятся географические координаты углов трапеции, размер листа в градусной и линейной мерах. Способы обозначения масштабов.

3. Геодезическая основа карты

Дается краткая характеристика обеспеченности картографируемого района плановыми и высотными пунктами государственной геодезической сети. Указывается класс и точность опорных пунктов, наличие ориентиров и местных предметов.

4. Гидрография

Дается краткое описание речных бассейнов, вида речной системы, густоты рек (реки горные, равнинные, переходного типа, характеристика их извилистости). Указываются главные реки, отмечаются их особенности (протоки, рукава, острова, пороги, водопады, дельта, ширина, глубина, скорость течения, характер грунта дна). Судходные реки и каналы. Порты, пристани, паромы, перевозки, броды, их характеристика. Отметки урезов воды. Магистральные каналы.

Дается общий характер размещения озер и водохранилищ,

Общая картография

их происхождение, размеры, форма, водный режим, качество воды. Характеристика главных озер. Связь с речной сетью. Инженерные сооружения. Судходство, порты, пристани. Инженерные сооружения (плотины, шлюзы, дамбы)

Каналы и каналы оросительных и осушительных систем.

Наличие и характер размещения колодцев, источников (ключей, родников), водопроводов, их характеристики.

5. Населенные пункты

Дается краткая характеристика расположения населенных пунктов, их типов, величины (степень обжитости района, густота, характер расположения, преобладающий тип и величина населенных пунктов). Отмечаются главные населенные пункты, их планировка, характер застройки, ориентиры (постройки башенного типа, выдающиеся здания, отдельно расположенные дворы и т. д.) в черте населенных пунктов. Промышленные, сельскохозяйственные и социально-культурные объекты, как в черте населенных пунктов, так и вне ее.

6. Дорожная сеть и дорожные сооружения

Дается общая характеристика дорожной сети на картографируемый район (густота дорог, характер размещения, преобладающие классы дорог).

Характеристика автомобильных дорог по их классу, ширине проезжей части, характеру покрытия. Краткая характеристика дорожных сооружений (мостов, насыпей, выемок, линий связи, километровых столбов, древесных насаждений - обсадок).

Приводится краткое описание железных дорог с их подразделением по ширине колеи, числу путей, виду тяги, состоянию полотна. Краткая характеристика железнодорожных станций, разъездов, платформ, казарм, будок, мостов, труб, насыпей, выемок и т.д.

Наличие грунтовых, проселочных, полевых и лесных дорог.

7. Рельеф

В данном пункте описываются: тип рельефа (горный, холмистый, равнинный и т. п.); морфологические особенности рельефа; степень расчлененности; крутизна склонов; наиболее часто встречающиеся формы рельефа, наличие балок, оврагов, обрывов, курганов, ям и т. д., изображаемых специальными условными знаками, их характеристики; максимальные и минимальные абсолютные высоты, средние относительные высоты; высота сечения рельефа.

8. Растительный покров и грунты

Дается описание основные видов растительного покрова и

Общая картография

грунтов (древесная растительность, кустарники, кустарнички, полукустарники, травянистая растительность, мхи, лишайники, камышовые и тростниковые заросли, их искусственные насаждения, болота, солончаки, пески, каменистые россыпи и т.п.) указывается процент залесенности, процент заболоченности и т.д.

В описании лесов отмечаются особенности их географического размещения, форма и размеры контуров, преобладающие породы леса и числовые характеристики, наличие полей и просек. Наличие других видов растительности (поросли леса, редколесья, горелые и сухостойные леса, буреломы, вырубленные леса, узкие полосы леса и др.).

Подробно характеризуются кустарниковая и травянистая растительности (сплошные заросли кустарников, группы кустов, узкие полосы кустарников, луга, камышовые заросли и т. д.). Искусственные насаждения древесных, кустарниковых и травянистых культур (фруктовые сады, виноградники и др.). Наличие рощ и отдельно стоящих деревьев, имеющих ориентирное значение.

Описываются болота, их проходимость, характер размещения, болотная растительность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Берлянт, А.М. Картография: учебник для вузов. М.: Аспект-Пресс, 2002. 336 с.
2. Серапинас Балис Балио. Математическая картография. М.: Академия, 2005. 336 с.
3. Поклад Г.Г., Гриднев С.П. Геодезия: учебное пособие для вузов. Академический Проект, 2007. 590 с.
4. Поклад Г.Г. Геодезия. М.: Недра, 1988. 304 с.
5. Руководство по картографическим и картоиздательским работам. Часть 1. Составление и подготовка к изданию топографических карт масштабов 1:25000, 1:50000, 1:100000. М.: РИО ВТС, 1978. 130 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

ВАРИАНТЫ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ

№ варианта	Уравнения проекций	№ варианта	Уравнения проекции
1	$x = R \sin \varphi$ $y = R \lambda$	16	$x = R \cos \varphi$ $y = R \sin \varphi$
2	$x = R \cos \varphi$ $y = R \sin \varphi$	17	$x = R \operatorname{tg} \varphi$ $y = R \cos \varphi$
3	$x = R \operatorname{tg} \varphi$ $y = R \cos \varphi$	18	$x = 2R \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}$ $y = R \lambda$
4	$x = R \operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right)$ $y = R \lambda$	19	$x = -R \sin \varphi$ $y = R \cos \varphi$
5	$x = R \operatorname{tg} \varphi$ $y = R \lambda$	20	$x = R \cos \varphi$ $y = R \sin \varphi$
6	$x = R \varphi$ $y = R \cos \varphi$	21	$x = R \sin \varphi$ $y = R \sin \varphi$
7	$x = R \sin \varphi$ $y = R \cos \varphi$	22	$x = R \sin \varphi$ $y = R \sin \varphi$
8	$x = R \sin \varphi$ $y = R \cos \varphi$	23	$x = R \sin \varphi$ $y = R \sin \varphi$
9	$x = R \varphi$ $y = -R \cos \varphi$	24	$x = R \cos \varphi$ $y = R \cos \varphi$
10	$x = R \sin \varphi$ $y = -R \cos \varphi$	25	$x = R \varphi$ $y = R \sin \varphi$
11	$x = R \sin \varphi$ $y = -R \cos \varphi$	26	$x = R \sin \varphi$ $y = R \sin \varphi$
12	$x = R \operatorname{tg} \varphi$ $y = R \lambda$	27	$x = R \cos \varphi$ $y = R \sin \varphi$
13	$x = R \varphi$ $y = -R \sin \varphi$	28	$x = R \sin \varphi$ $y = -R \sin \varphi$
14	$x = R \varphi$ $y = 2R \sin \varphi$	29	$x = -R \sin \varphi$ $y = R \lambda$
15	$x = 2R \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}$ $y = 2R \lambda \cos \frac{\varphi}{2}$	30	$x = -2R \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}$ $y = 2R \lambda \cos \frac{\varphi}{2}$