

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»

А.Г. Дамрин, С.Н. Боженков

КАРТОГРАФИЯ

Учебно-методическое пособие

Рекомендовано Ученым советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет» в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по программе высшего профессионального образования по направлению подготовки 120700.62 Землеустройство и кадастры, профиль «Городской кадастр»

Оренбург
2012

УДК 528.9(075.8)
ББК 26.17я73
Д16

Рецензент – доцент, кандидат географических наук А.Н. Тюрин

- Д17 **Дамрин, А.Г.**
Картография: учебно-методическое пособие / А.Г. Дамрин,
С.Н. Боженков; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2012. –
132 с.

Основное содержание: рассмотрены вопросы истории картографии, определения масштабов длин линий и площадей по картам, математической основы мелкомасштабных карт, классификации проекций, построения картографических сеток и чтения карт. В данном учебно-методическом пособии приводятся также методические рекомендации по выполнению основных картографических расчётов и расчётно-графической работы.

Учебно-методическое пособие рекомендовано для студентов очной и заочной форм обучения по направлению подготовки 120700.62 Землеустройство и кадастры, профилю «Городской кадастр» по дисциплине базовой части профессионального цикла «Картография».

УДК 528.9(075.8)
ББК 26.17я73

© Дамрин А.Г.
Боженков С.Н, 2012
© ОГУ, 2012

Содержание

1 Предмет картографии.....	6
1.1 Картография как наука.....	6
1.2 Общее понятие о картах. Географический глобус.....	7
1.3 Классификация карт.....	10
1.4 Общая схема работ по созданию карт.....	12
2 История развития картографии.....	13
2.1 Древний период развития картографии.....	13
2.2 Картография Древней Греции и Древнего Рима.....	15
2.3 Картография Средних веков.....	20
2.4 Картография эпохи Великих географических открытий.....	22
3 Определение масштабов. Измерение длин линий и площадей по картам.....	25
3.1 Общие сведения. Численный, именованный, линейный и поперечный масштабы.....	25
3.2 Определение масштабов топографических карт. Выполнение измерений по топокартам.....	29
4 Математическая основа мелкомасштабных карт. Классификации картографических проекций.....	37
4.1 Масштабы карт. Виды искажений на картах.....	37
4.2 Картографические проекции и их классификации.....	45
4.3 Определение масштабов, площадей, искажений форм и углов.....	49
5 Картографические проекции для карт мира, России, полушарий.....	53
5.1 Общие сведения. Определение и распознавание картографических проекций.....	53
5.2 Практическое определение картографических проекций карт.....	64
6 Построение картографических сеток.....	65
6.1 Общие сведения. Методика построения картографических сеток.....	65
6.2 Методические указания к заданиям по построению картографических сеток.....	66

7 Картографическая генерализация.....	71
7.1 Оптическая и графическая генерализация.....	71
7.2 Виды генерализации. Ценз и нормы отбора.....	73
8 Описание местности по топографической карте.....	75
8.1 Общие сведения. Чтение топографической карты.....	75
8.2 Выполнение заданий по чтению топокарты.....	77
9 Обзорные общегеографические и тематические карты.....	86
9.1 Комплексная характеристика территории по карте.....	86
9.2 Описание местности по обзорным общегеографическим картам.....	87
9.3 Построение структурного профиля по тематическим картам.....	90
10 Расчетно-графическая работа «Составление тематических карт в определенных проекциях».....	98
10.1 Определение номенклатуры.....	98
10.2 Расчет исходных данных для построения нормальной прямоугольной равнопромежуточной цилиндрической проекции.....	103
10.3 Расчет отрезков длин дуг меридианов.....	104
10.4 Расчет длины дуги параллели.....	109
10.5 Построение картографической сетки.....	111
10.6 Монтаж и составление карты.....	112
10.7 Расчет прямоугольных координат вершин углов трапеции картографируемой территории.....	112
10.8 Определение прямоугольных координат для построения рамок трапеции N-40-110-A-a.....	115
10.9 Расчет размеров рамок трапеции М 1:25 000 N-40-110-A-a.....	116
10.10 Размещение трапеции на рамке прямоугольных координат.....	117
Список использованных источников.....	118
Приложение А (обязательное) Исходная карта Шарлыкского района Оренбургской области масштаба 1:500 000.....	120

Приложение Б (обязательное) Схема расположения листов топографической карты масштаба 1:25 000 на территории Шарлыкского района Оренбургской области.....	121
Приложение В (обязательное) Административная карта Шарлыкского района Оренбургской области, построенная в нормальной равноугольной цилиндрической проекции М 1:500 000.....	122
Приложение Г (обязательное) Размещение трапеции N-40-110-A-a на рамке прямоугольных координат М 1:100 000.....	123
Приложение Д (справочное) Таблица для определения проекций.....	124
Приложение Е (справочное) Таблица длин дуг параллелей и меридианов на эллипсоиде Красовского.....	127

1 Предмет картографии

1.1 Картография как наука

Картография – это наука, занимающаяся изучением, разработкой и созданием географических карт.

Она подразделяется на три научно-технические дисциплины: математическую картографию, составление карт и издание карт.

Математическая картография занимается изображением сфероидальной земной поверхности на плоскости. Вопрос сводится к вычислению и построению на бумаге картографической сетки, которая соответствует сети параллелей и меридианов. Эта картографическая сетка служит основой для правильного географического размещения элементов содержания карты.

Составление карт заключается в заполнении картографической сетки элементами содержания карты, которые берутся с картографических материалов. Для того, чтобы составить новую карту, необходимо правильно отобразить территорию земной поверхности в соответствии с теми требованиями, которые предъявляются к этой карте. В зависимости от назначения карты и от её масштаба определяют характер и полноту её содержания, условные знаки, методы и приёмы составительских работ. Результатом составительских работ является вычерченная от руки в определённых условных знаках карта, которая называется оригиналом.

Издание карт состоит в получении с оригинала карты необходимого количества отпечатанных листов в соответствии с принятыми условиями их оформления.

(Картография связана с другими науками: география, геодезия, астрономия, гравиметрия).

1.2 Общее понятие о картах. Географический глобус

Карта – это уменьшенное, обобщённое, измеримое изображение земной поверхности на плоскости, построенное по определённым математическим законам при условии использования конкретного какого-либо масштаба, передающее размещение, состояние и взаимосвязь различных явлений природы и общества.

В чём отличие карты от плана ?

На плане, в отличие от карты, масштаб в различных его местах и в любом направлении одинаков. На карте, где земная поверхность изображается полностью, либо значительная её часть масштаб непостоянен и изменяется в различных направлениях.

Развернуть сфероидальную поверхность на плоскость без складок и разрывов нельзя. Поэтому переход от эллипсоида к плоскости осуществляется математическими способами, определяющими зависимость между некоторыми точками эллипсоида и плоскости. При этом складок и разрывов не будет, но элементы содержания карты, сохраняя точное географическое положение, будут иметь искажения длин, площадей и углов. Это значит, что масштаб на карте непостоянен.

Моделью земного шара является глобус.

Глобус – это уменьшенное изображение поверхности Земли на шаре, т.е. это объёмная шарообразная модель Земли с картографическим изображением её поверхности.

Глобус – это картографическое изображение на поверхности шара, сохраняющее геометрическое подобие контуров и соотношение площадей.

Поверхность глобуса представляет собой центральную проекцию земного шара на сферу лучами, идущими из его центра (рисунок 1).

Точки ABC земного шара изобразятся на глобусе – abc. Из геометрии известно, что фигуры взятые в пространстве будут подобны, если все лучи, выходящие из одного центра и проходящие через идентичные точки обеих

фигур будут делиться в одном и том же отношении, т.е. $aOc \sim AOC$, $aOb \sim AOB$, $cOb \sim COB$.

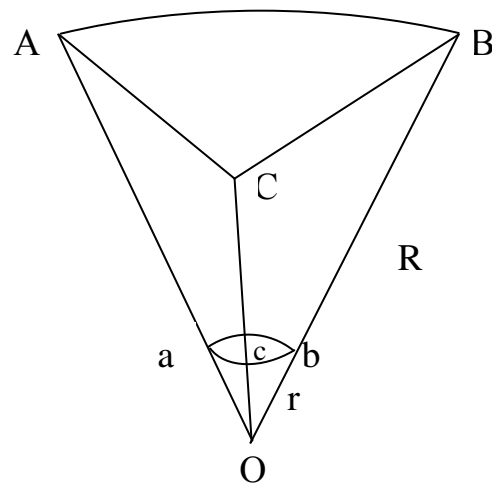


Рисунок 1 – Центральная проекция земного шара на глобус

Если подобны треугольники, то подобны и углы:

$$\frac{\angle a}{\angle A} = \frac{\angle b}{\angle B} = \frac{\angle c}{\angle C}. \quad (1)$$

В картографии сохранение углов называется конформность.

Площадь поверхности шара S (из геометрии) равна

$$S = \frac{4\pi R^2}{4\pi r^2} = \frac{R^2}{r^2} = \frac{R}{r}, \quad (2)$$

где R – радиус земного шара, км;

r – радиус глобуса, м.

Соотношение между изображениями на глобусе такое же, какое существует между контурами в натуре, т.е. сохраняется постоянство площадей.

Свойства глобуса:

1 Сохраняется отношение длин линий.

2 Постоянство масштаба.

3 Сохраняется подобие фигур.

4 Сохраняются величины площадей.

5 Демонстрирует шарообразность Земли.

6 Даёт правильное представление о распределении на земной поверхности водных пространств и суши.

7 Даёт правильное представление о положении земной оси, полюсов, экватора, тропиков, полярных кругов, параллелей и меридианов.

Недостаток глобуса: невозможность изображения с необходимой подробностью географических объектов земной поверхности. Масштабы глобусов: 1 : 30000000; 1 : 50000000; 1 : 83000000.

Поскольку глобусы строятся в очень мелком масштабе, то и точность определения по ним площадей, расстояний, фигур невысока. Например, если по глобусу, имеющему масштаб 1 : 50000000, измерять расстояние с точностью до 0,2 мм (это технические возможности изготовления глобуса), то ошибка измерений будет составлять 10 км.

Ортодромия – это кратчайшая линия между двумя точками на поверхности земного эллипсоида или шара. На земном шаре – это дуга большого круга. Если выбрать на глобусе две точки, лежащие далеко друг от друга и имеющие разные долготы (например: Каир - Магадан), а затем натянуть между ними нитку, то она ляжет по ортодромии. При этом разные меридианы она будет пересекать под разными углами. Таким образом, можно наглядно установить, что азимуты ортодромии в разных её точках различны.

Ортодромия представляет собой очень важную линию для морской и воздушной навигации, так как движение по морю и по воздуху из одного пункта в другой совершается по кратчайшему расстоянию.

Локсодромия – линия на поверхности земного эллипсоида или шара, которая пересекает все меридианы под одним и тем же углом. Она представляет собой спиралевидную кривую. Она не является линией кратчайшего пути, как ортодромия. Движение по локсодромии невыгодно, так как это удлиняет путь.

1.3 Классификация карт

Классификацией называется распределение каких-либо явлений или предметов на классы по их общим признакам.

Карты подразделяют по масштабу, по содержанию, по назначению, по охвату территории, по числу красок или листов, по характеру использования.

По масштабу карты делят на три группы:

- 1) карты крупного масштаба – 1 : 200000 и крупнее;
- 2) карты среднего масштаба – от 1 : 300000 до 1 : 1000000;
- 3) карты мелкого масштаба – мельче 1 : 1000000.

По содержанию карты подразделяют на общегеографические и специальные (таблица 1).

Таблица 1 - Классификация тематических карт по их содержанию

	Группы	Виды карт (примеры)
Физико-географические	общие физико-географические	природного районирования; географических поясов, природных зон; физические
	карты геохимические	литогеохимические, почвенно- геохимические
	карты литосферы	геологические: собственно геологические (дочетвертичных отложений, четвертичных отложений, петрографические), тектонические, вулканизма; рельефа земной поверхности: гипсометрические, геоморфологические, морфометрические
	карты атмосферы	климатические: общие климатические, климатического районирования; метеорологические: температуры воздуха, давления, осадков и других метеорологических элементов, солнечной радиации; синоптические; фенологические (метеорологических явлений)
	карты гидросферы	океанологические; гидрографические; современного оледенения

Продолжение таблицы 1

	Группы	Виды карт (примеры)
Физико-географические	карты биосферы	почвенные; растительности: геоботанические, флористические; животного мира: зоогеографические, общие и частные; фенологические биосферы
	карты геофизические	земного магнетизма, гравитационные, сейсмические
Социально-географические	комплексные карты	ландшафтные
	карты населения	численности, размещения, состава, миграций населения
	карты экономические	общеекономические; промышленности; сельского хозяйства; лесного хозяйства; использования земель; транспорта; природных ресурсов
	карты политические и политико-административные	политические; политико-административные
	карты культуры	науки и образования, искусства, здравоохранения
	карты исторические	общие исторические (по периодам)

На общегеографических картах даётся общая характеристика территории в физико-географическом и социально-экономическом отношениях. Общегеографические карты, в свою очередь, делятся на топографические и обзорные общегеографические.

К специальным картам относятся:

1) карты, на которых один или несколько элементов даются с наибольшей подробностью. Например: климатические, почвенные, геологические и др.;

2) карты, на которых для характеристики какого-либо явления, кроме элементов общегеографической карты, нанесены специальные данные. Например, экономические.

По назначению карты делятся на справочные, учебные, военные, полётные, морские, дорожные, туристические.

По охвату территории – на карты мира, полушарий, материков, океанов, морей, групп материков, отдельных стран, отдельных областей и краёв.

По второстепенным признакам карты подразделяются: по числу красок – на многокрасочные и однокрасочные; по числу листов – многолистные и однолистные; по характеру пользования – настенные и настольные.

1.4 Общая схема работ по созданию карт

Работа по созданию карты представляет собой комплекс процессов, каждый из которых выполняет определённую часть работы.

1 Редакционно-подготовительные работы. Создание карты начинается с глубокого изучения данной территории по различным картографическим, литературным и другим материалам. Ответственный редактор карты отбирает необходимый материал и вырабатывает план проведения всех работ.

Результатом работы является программа карты или редакционный план. Он представляет собой проект будущей карты.

2 Составление карты. После утверждения программы приступают к составлению карты. Прежде всего строят математическую основу. Для этого наносят картографическую сетку, рамки карты, опорные пункты. На построенную математическую основу различными методами и приёмами наносят необходимые элементы карты. В результате получают составительский оригинал.

3 Оформление карт, или подготовка их к изданию.

С составительского оригинала издание карты не производится. С него изготавливают копию, на которой вычерчивают все элементы содержания карты. Эта копия составительского оригинала называется издательским оригиналом, который подвергается корректуре.

4 Издание карты является последним процессом её создания. Оно состоит из двух основных стадий: из подготовки печатных форм и печати с них карты.

Общее наблюдение за всеми работами в процессе издания, направление этих работ и контроль за правильностью их исполнения осуществляет

технический редактор карты. Поэтому каждая карта обычно имеет двух редакторов: ответственного редактора, руководящего всеми работами, и технического, руководящего работами по изданию карт.

2 История развития картографии

2.1 Древний период развития картографии

Первые попытки создания картографических изображений относятся к глубокой древности. Картографией начали заниматься ещё за несколько тысячелетий до нашей эры в древних рабовладельческих государствах Востока – Китае, Египте и Ассирио-Вавилонии. Задолго до нашей эры Дальний Восток был обследован и изображён на карте географии Китая. Первые карты китайских провинций были изображены на вазах за три тысячи лет до нашей эры. За тысячу лет до нашей эры в Китае существовало учреждение для производства топографических съёмок. Рисунки местности, выполненные за три тысячи лет до нашей эры, найдены на Северном Кавказе и в Египте. Для ведения земледелия в Вавилонии и Египте нужна была значительная сеть ирригационных сооружений. Строительство этих сооружений, закрепление земли за её владельцами, расчёт налогов на земли – всё это требовало описаний земель, которые иногда составлялись в виде чертежей. Найден план г.Вавилона, выполненный на глиняной дощечке.

В Вавилоне и Египте накопились уже довольно значительные сведения об окружающих странах, с которыми египтяне и вавилоняне вели войны и имели торговые и дипломатические отношения.

В результате знакомства с окружающими территориями появились их мелкомасштабные изображения. Сохранилась древнейшая карта, возрастом 2500 лет до н.э., исполненная на глиняной дощечке (рисунок 2).

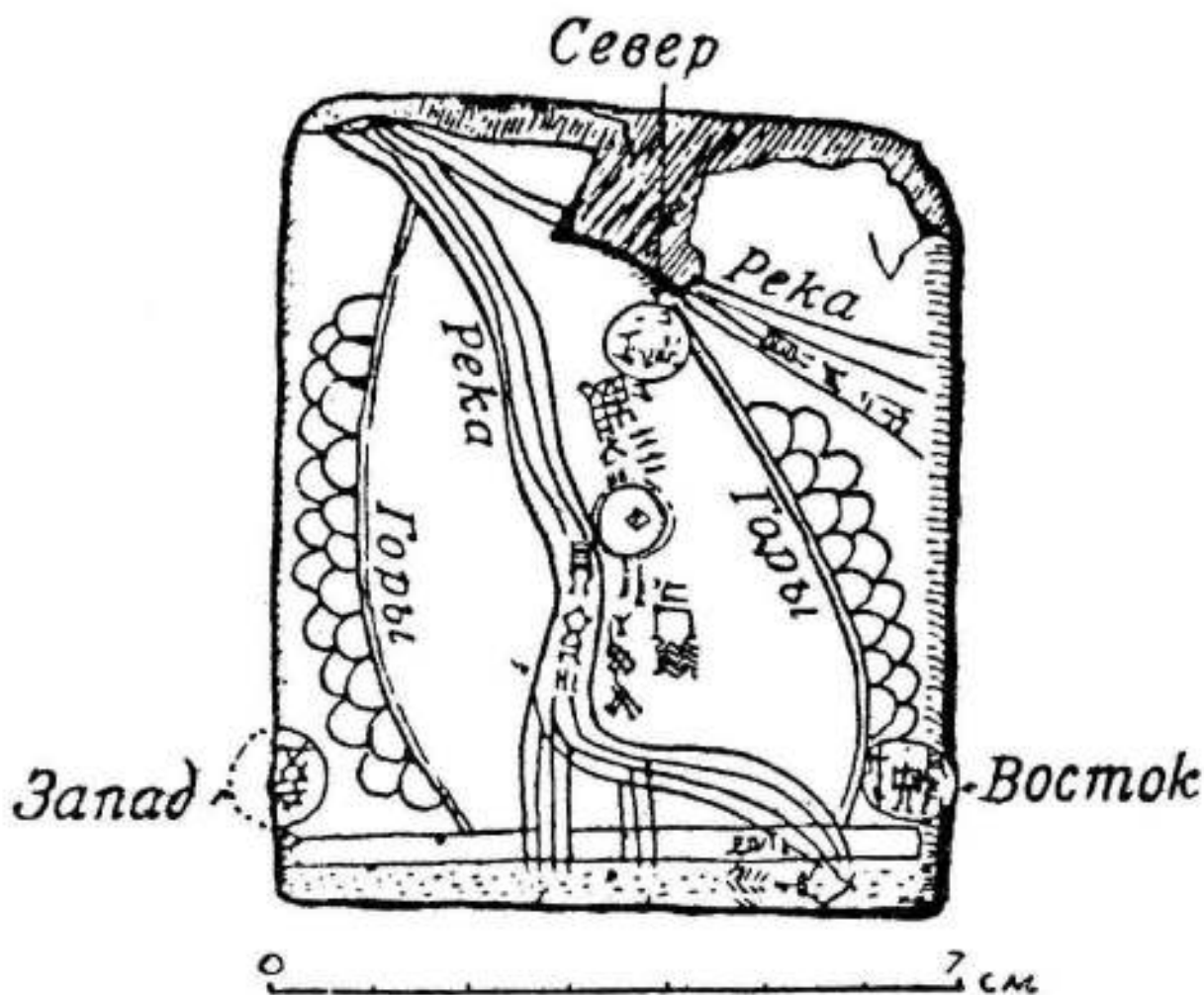


Рисунок 2 - Древнейшая из известных вавилонских карт (2500 лет до н. э.), найденная при раскопках города Га-Сур в 300 км к северу от Вавилона

Эта карта имеет указания сторон света. На ней нанесены горы, четыре города и реки, впадающие в море. Все объекты подписаны номенклатурными и географическими наименованиями. Сохранилась также более поздняя карта (VII в. до н.э.), охватывающая Вавилонию и Ассирию. Суша изображена на этой карте плоским кругом, омываемым водой. На карте показаны река Евфрат, ряд мелких городов – в виде кружков и город Вавилон в виде четырёхугольника. Известна карта золотых приисков, составленная за 1400 лет до н.э. и охватывающая территорию между рекой Нилом и Красным морем. На

карте в плане изображены дороги, дома, храм, бассейн для промывки руды; горы показаны в профиль.

2.2 Картография Древней Греции и Древнего Рима

Значительного развития достигла картография, как и другие отрасли науки, в Древней Греции в VI – IV вв. до н.э. Древние греки располагали значительными географическими сведениями относительно многих стран, прежде всего стран Средиземноморского бассейна, с которыми они вели оживлённую торговлю. Особое влияние на расширение географических знаний оказала греческая колонизация, распространившаяся в период разложения родового строя и возникновения рабовладельческих греческих государств. Колонии вели торговлю с Грецией и другими странами продуктами ремесла и сельского хозяйства, а также рабами и вели войны в целях захвата рабов и земель. Через эти колонии греки получали сведения о странах, отдалённых от Греции.

Большое влияние на расширение географических знаний имели также войны греков с восточными государствами, в первую очередь с Ираном. В V веке до н.э. Александр Македонский, объединив под своей властью Македонию и Грецию, завладел Малой Азией, Сирией, Египтом, Средней Азией, Ираном и дошёл до Индии.

Расширение географических знаний давало возможность греческим учёным делать талантливые заключения и выводы по ряду вопросов, касающихся общего вида Земли. Первое представление об общем виде Земли нашло отображение в карте, составленной Анаксимандром из Милета в VI в. до н.э. Карту Анаксимандра переработал за счёт новых данных его последователь Гекатей (V в. до н.э.).

В труде Гекатея «Землеописание» описывается форма Земли. Земля, по мнению Гекатея, представляет собой овал, с востока на запад в два раза

большой, чем с севера на юг; вся населённая часть суши, называемая ойкуменой, омываемая со всех сторон океаном. В центре ойкумены помещается Великое Море (современное Средиземное). Земля делится на три части: Европу, Азию и Ливию.

Но в это время существовало и другое мнение о форме Земли. Учёный Пифагор (VI в. до н.э.) и его последователи выдвигали предположение, по которому Земля признавалась шарообразной и имела движение вокруг особого центрального огня, закрытого от Земли.

Позднее, в сочинении греческого учёного Аристотеля (IV в. до н.э.), дано описание Земли как шара. Аристотель считал, что земной шар в пространстве неподвижен, а вокруг него вращаются концентрические сферы, несущие на себе Луну, Солнце, планеты и звёзды. Земля делится на 5 зон: жаркую – между тропиками, две умеренные – между полярными кругами и тропиками и две холодные – между полярными кругами и полюсами. Жизнь наблюдается лишь в умеренных зонах.

Крупнейшие работы по геодезии, астрономии, картографии и географии дал глава Александрийской библиотеки Эратосфен (276 – 195 гг. до н.э.). Он написал книгу «География», в которой подробно описал известную в то время людям земную поверхность и нанёс её на карту. Его карта уже имела параллели и меридианы. Эратосфен считается первым геодезистом, так как он впервые произвёл измерения длины дуги меридиана для определения размеров Земли. Эратосфен вычислил дугу меридиана между Сиеной и Александрией, наблюдая широту местности по Солнцу. Он знал, что в городе Сиене в день летнего солнцестояния лучи Солнца падают отвесно, а в городе Александрии, находящемся на одном меридиане с Сиеной, лучи Солнца отклоняются на $\frac{1}{50}$ часть окружности ($7^{\circ}12'$). Отсюда он заключил, что дуга меридиана между Сиеной и Александрией составляет $\frac{1}{50}$ часть дуги всего меридиана. Определив длину пути между городами Сиеной и Александрией по времени и скорости

движения караванов, Эратосфен смог вычислить длину дуги всего меридиана (рисунок 3).

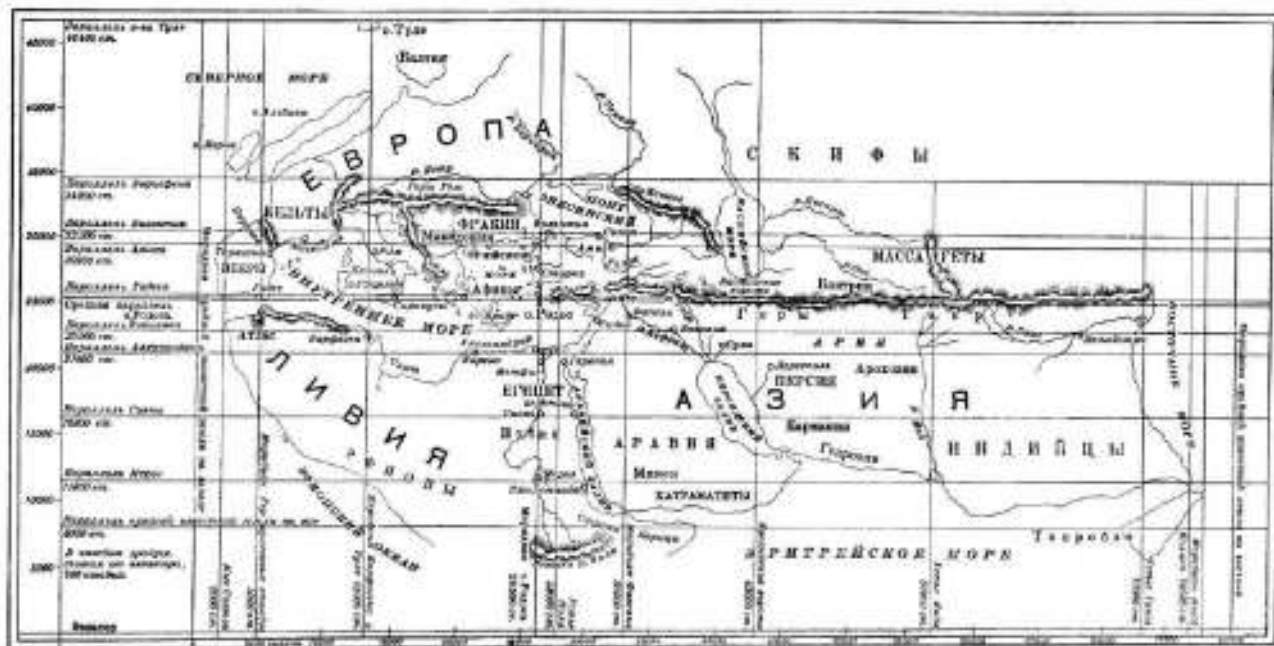


Рисунок 3 - Реконструкция карты Эратосфена (III век до н. э.)

Астроном Гиппарх (160 – 125 гг. до н.э.) работал в области математического обоснования карт; им создана коническая проекция. Гиппарх указывал на то, что карты должны составляться на основе наблюдений астрономических широт и долгот точек местности, которые по этим данным могут наноситься на картографическую сетку. Он дал способ определения астрономическим путём широт и долгот. Гиппарх предложил деление окружности на 360^0 , он же предложил деление Земли на широтные зоны по продолжительности дня.

Историк и географ Страбон (63 г. до н.э. – 21 г. н.э.) написал труд «География», в котором он оценивает значение географии и указывает на её органическую связь с астрономией и геодезией. Страбон даёт указания о проведении астрономических и геодезических измерений и дальнейшем картографировании имеющихся данных географии. Говоря о картографировании Земли, он указывает на то, что необязательно изображать

Землю на глобусе, её можно изобразить и на плоскости, причём кривые параллели и меридианы заменить прямыми линиями. Иными словами, он предлагал составлять карты в цилиндрической проекции.

В развитие картографии внёс огромный вклад математик, астроном и картограф Клавдий Птолемей (87 – 150 гг. н.э.). Он написал математический и астрономический труд «Великое собрание», состоящее из 13 книг, и картографический труд «География» из 8 книг.

В труде «Великое собрание» Птолемей описал математику, географию, астрономию и изложил идею системы мироздания. Он отстаивает геоцентрическую систему мира, выдвинутую Аристотелем, по которой шарообразная Земля принимается неподвижной и является центром Вселенной, а Солнце, Луна, остальные планеты и звёзды вращаются вокруг неё. Геоцентрическая система просуществовала до XVI в., когда Николай Коперник опубликовал свой труд о гелиоцентрической системе мира, в которой центром Вселенной является не Земля, а Солнце.

Восемь томов «Географии» посвящены объяснению географии как науки и описанию известной в то время части Земли, с подробным перечислением всех пунктов, с указанием их широт и долгот (8000 пунктов). В его труде рассмотрены существующие картографические проекции и предложены две новые – стереографическая и простая коническая. Для пяти наиболее употребляемых проекций указаны практические способы их построения.

В представлении о Земле, её форме и размерах Птолемей допускал большие ошибки. Он считал, что суши на земном шаре больше, чем водного пространства (рисунок 4). Индийский океан изображён в виде большого озера, а Азия и Африка оказались соединёнными между собой. Несмотря на указанные ошибки, картография как наука в труде Птолемея достигла своего наивысшего уровня для того времени.

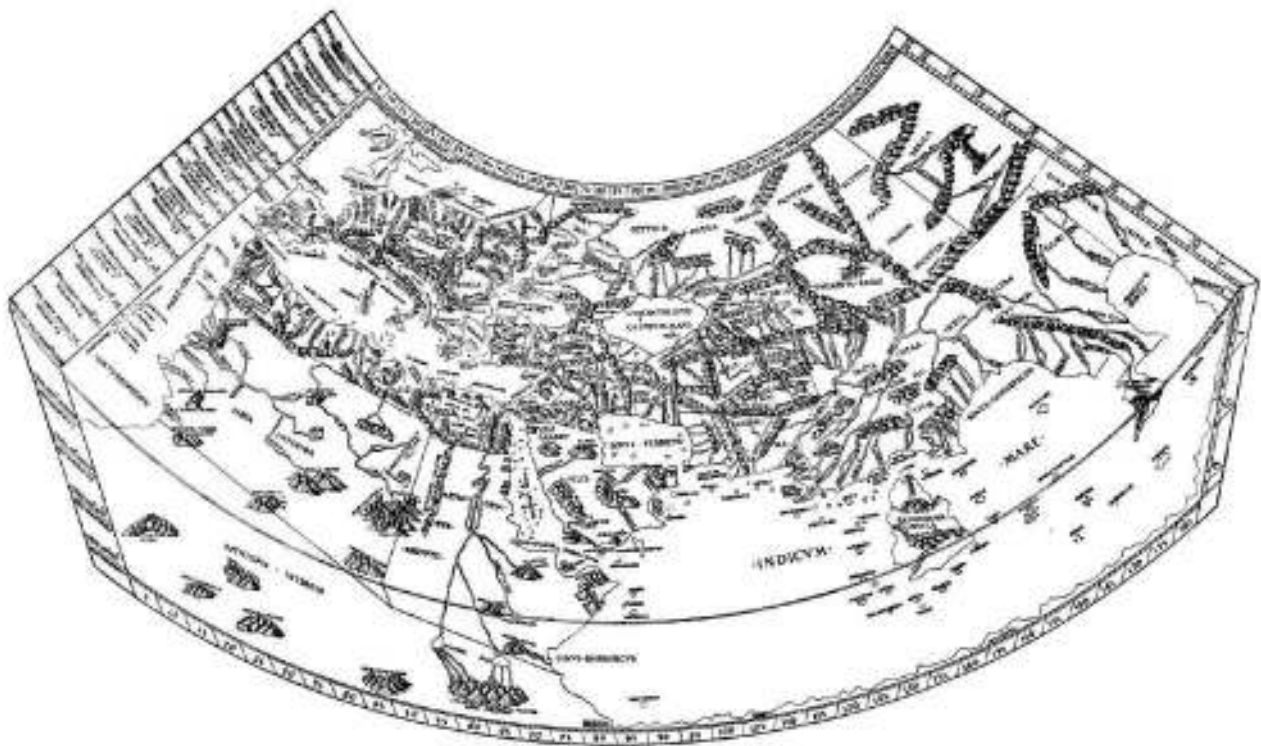


Рисунок 4 - Карта мира из «Географии» Птолемея, изданной в 1490 году

В Римской империи для торговли, военных походов и для управления захваченными землями строилось много дорог. Изображение этих дорог на картах стало жизненной необходимостью. Были созданы дорожные карты. Известна карта под названием «Пеутингерова таблица» (рисунок 5). Карта представляет собой рулон в 7 м длиной и 0,33 м шириной, склеенный из 11 кусков. Изображение на карте сжато с севера на юг так, что Средиземное и Чёрное моря изображены в виде узких полос, реки также вытянуты с запада на восток. Карта составлена без картографической сетки, схематично. Очень подробно дана на ней нагрузка в виде городов, укреплений, дорожной сети, рек, озёр и лесов. Города, леса и горы даны в перспективном изображении, остальные элементы – в плане. На дорогах отмечены станции и даны подписи расстояний между ними.

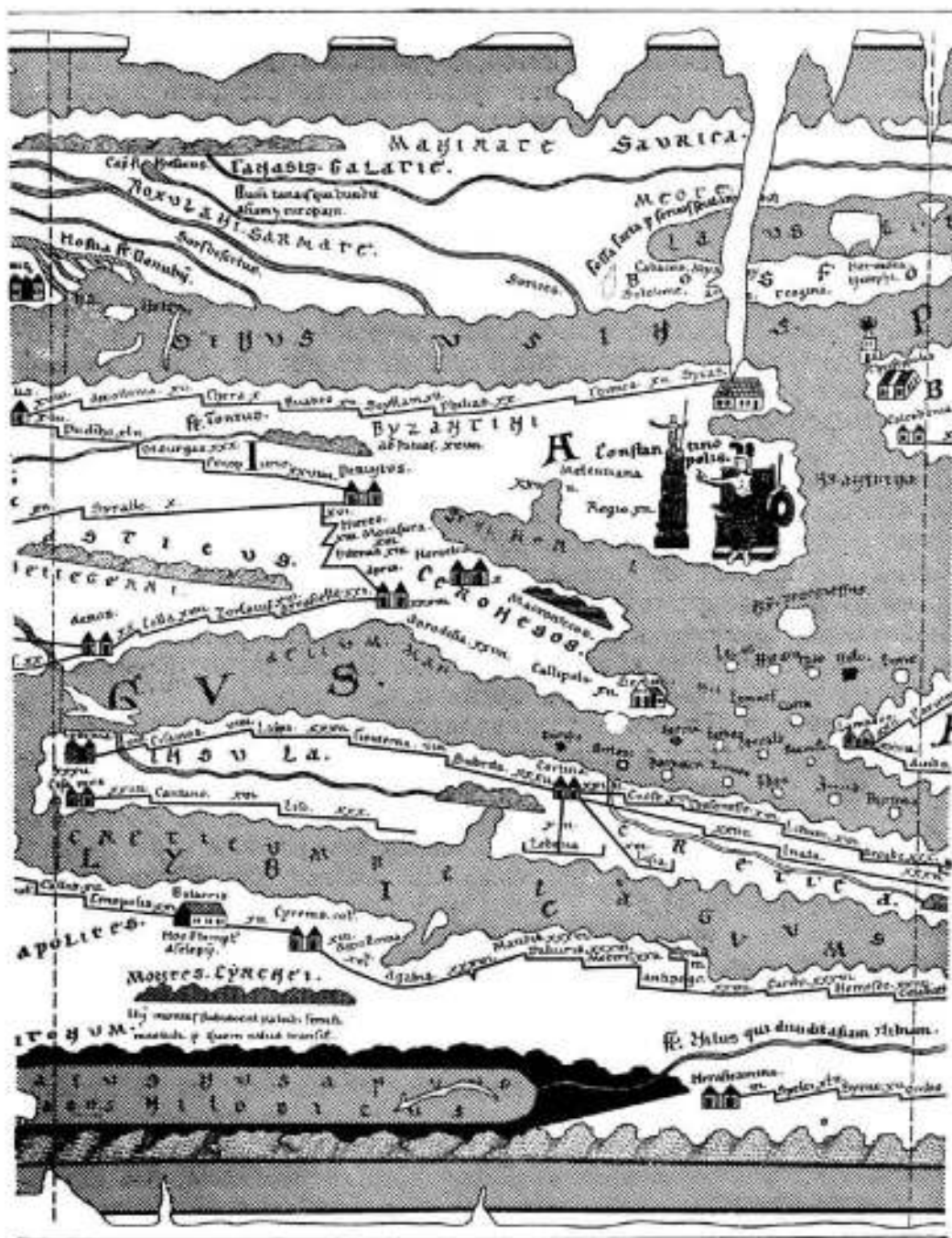


Рисунок 5 - Пеутингера таблица – римская дорожная карта (IV в.)

2.3 Картография Средних веков

Картография в эпоху феодализма переживала глубокий застой. Результаты работ многих поколений были отвергнуты. Понятие о шарообразности Земли вытеснилось представлением о Земле плоской, в виде

четырёхугольника или круга. Защита старых учений жёстко преследовалась. Карты не являлись результатом отражения географических знаний о Земле, а служили лишь иллюстрациями к богословским сочинениям.

Средневековое учение о Земле может быть наглядно показано на примере книги «Христианская топография» византийского купца Козьмы Индикополова (VI в.), совершавшего неоднократные путешествия в Индию, Аравию, Эфиопию и Китай. По его описаниям Земля представляет собой плоский прямоугольный остров, длиной в два раза больше ширины, окружённый прямоугольным океаном. Океан, вдаваясь в сушу, образует четыре моря: Римское, Персидское, Каспийское и Аравийское. За океаном, на востоке, лежит рай, образовавшийся после потопа. Из рая вытекают четыре священные реки: Нил, Тигр, Евфрат и Ганг. Движение небесных светил происходит не вследствие вращения Земли, а благодаря действию ангелов (рисунок 6).

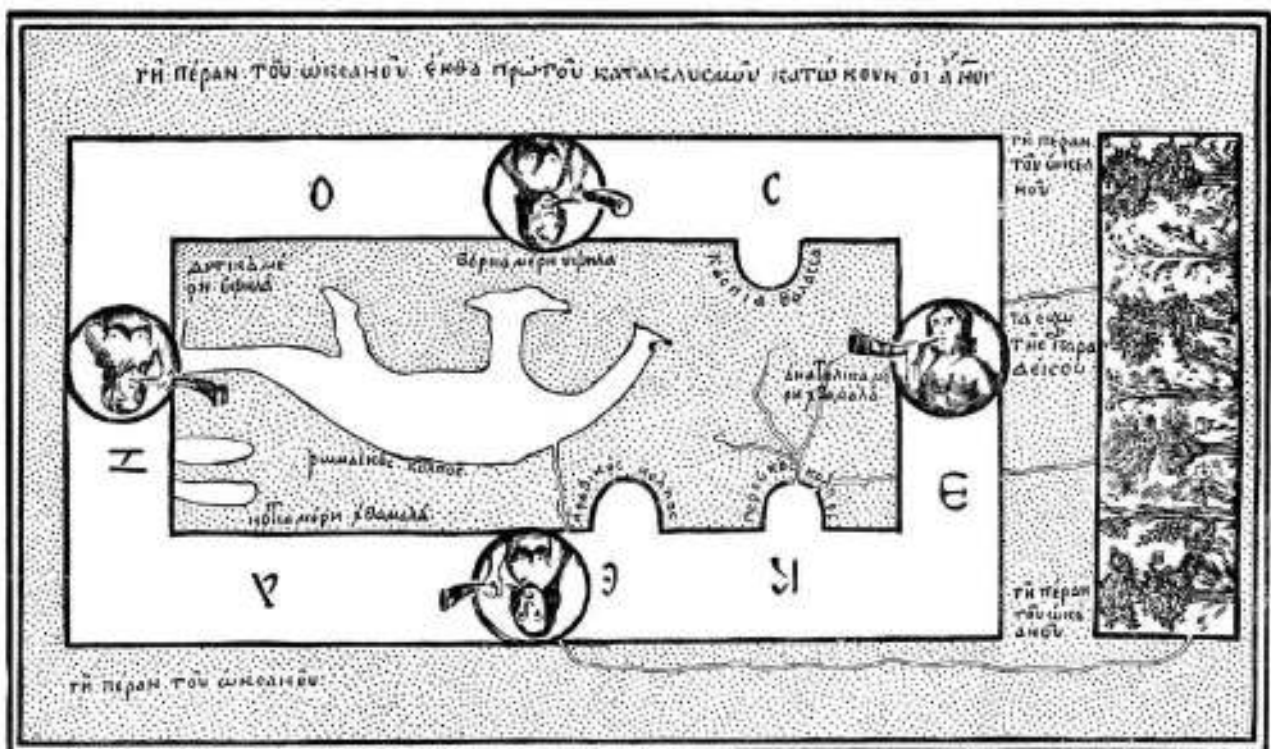


Рисунок 6 - Карта мира Козьмы Индикополова (VI в.)

Карты, созданные в монастырях для целей проповеди христианства не могли оказать положительного влияния на дальнейшее развитие картографии. Однако значительно выше Европы в культурном отношении стояли страны Востока. Большую роль сыграли в развитии науки учёные Средней Азии, являвшейся в то время одним из важных научных центров мира. Крупнейшим математиком, астрономом и географом своего времени был Мухаммед-аль-Хорезми. Более других выделяется своими сочинениями и картами учёный Идриси (XII в.). Разбирая труд Птолемея, Идриси дополнил новыми географическими данными. На карте Идриси внесены значительные изменения, по сравнению с картами Птолемея, относительно протяжённости Земли, очертаний Каспийского и Средиземного морей.

2.4 Картография эпохи Великих географических открытий

Картография в эпоху Возрождения обогатилась созданием морских навигационных карт, называемых портланами (рисунок 7).

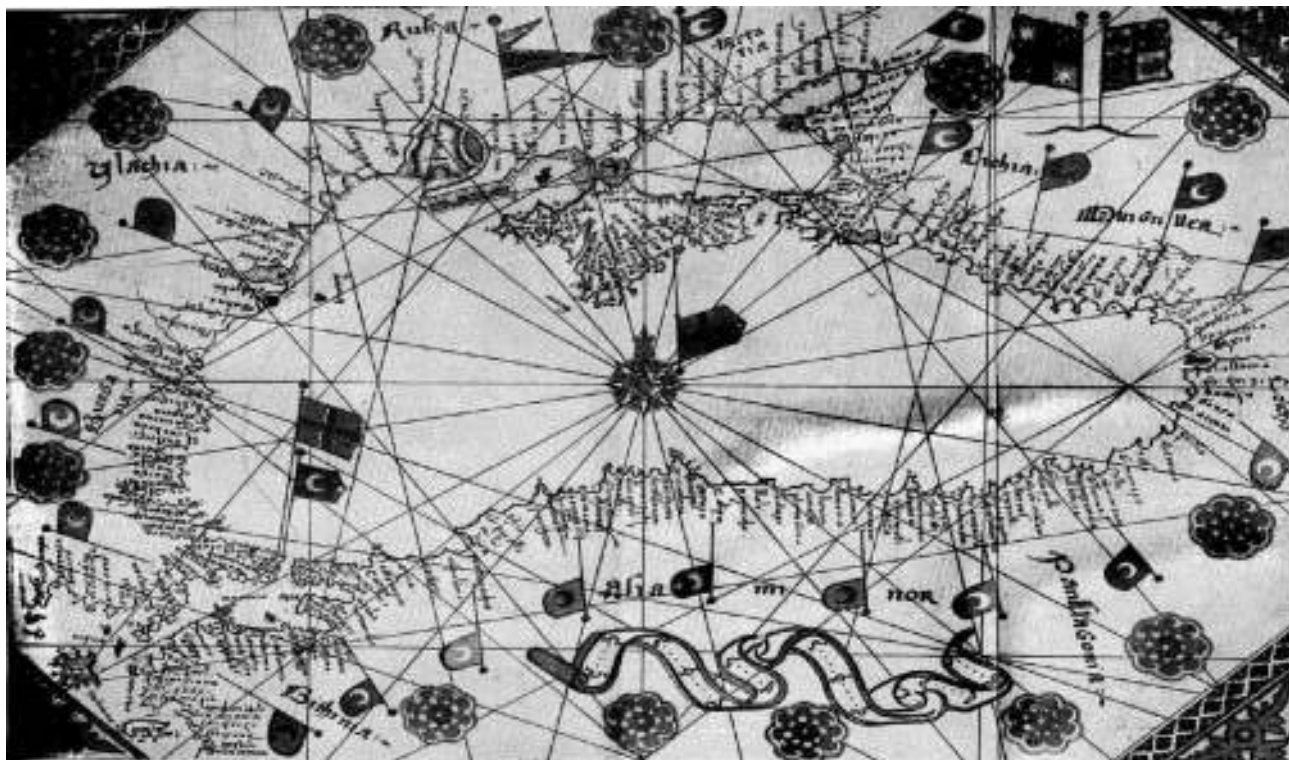


Рисунок 7 - Портлан Чёрного моря изготавил Калапода в 1552 году

Портланы – это карты, на которых изображались только моря; суша, попадающая в рамки карты не показывалась. Очень подробно давалась береговая линия с выделением бухт, заливов, островов, мысов и мелей. Портланы составлялись без определённого масштаба, но на них сохранялись правильное взаимное положение и ориентировка объектов, а для целей мореплавания помещался линейный масштаб. Картографической сетки не было, они составлялись без проекций.

Однако в XIII веке путешественниками был собран значительный материал. Венецианский купец Марко Поло совершил 25-летнее путешествие из Венеции сухопутным путём через Западную Европу, Россию, Сибирь, Китай до Тихого океана и обратно морем вдоль юго-восточных берегов Азии. Португальцы открыли острова Мадейру, Азорские и Канарские острова. Наличие новых данных вызвало создание новых карт мира. На одной из карт (1459 г.) Фра-Мауро очень подробно показал Чёрное, Каспийское, Средиземное моря и Московское государство (рисунок 8).

Развитие капиталистических отношений в Европе требовало открытия новых торговых путей. Путешествия Афанасия Никитина, Христофора Колумба, Америго Веспуччи, Фернанда Магеллана послужили открытиям новых материков и океанов. Эти открытия полностью изменили представление о Земле и создали новые условия для развития картографии. Первая карта с обозначением Нового Света составлена Рюишем в 1508 г. На карте Рюиша Америка изображена отдельным материком, а Северная Америка присоединена к Азии как её северо-восточная оконечность.

Крупнейшим картографом Нидерландов является Меркатор (XVI в.). Им впервые карты начали составляться в картографических проекциях. Он предложил для морских карт конформную цилиндрическую проекцию, применяемую до настоящего времени.



Рисунок 8 - Часть карты Фра-Мауро (1459 г.), содержащая Чёрное и Каспийское моря и территорию Московского государства

Географическая наука 19 века получила большое развитие в связи с организацией во многих странах Географических обществ. Крупнейшую картографическую проблему представляло создание международной карты мира. В 1891 г. А.Пенком было высказано предложение о создании карты в масштабе 1 : 1000000. Общее число листов карты составляет 2500, на сушу падает 840 листов.

3 Определение масштабов. Измерение длин линий и площадей по картам

3.1 Общие сведения. Численный, именованный, линейный и поперечный масштабы

Масштабом карты называется отношение, показывающее, во сколько раз уменьшены линейные размеры эллипсоида (или шара) при его изображении на плоскости.

Масштаб плана – отношение длины отрезка линии на плане к горизонтальной проекции и горизонтальному положению соответствующего отрезка линии на местности.

Масштаб остаётся постоянным только на плане и топографической карте – крупномасштабных изображениях небольших участков земной поверхности, когда искажения, вызванные её кривизной, практически не ощутимы.

На мелкомасштабной карте в разных её точках масштаб различный и изменяется в зависимости от вида проекции, направления и расстояния от точки или линии нулевых искажений. Различают главный масштаб, равный масштабу модели земного эллипсоида или шара, на основании которой создаётся карта, и прочие масштабы, называемые частными. Главный масштаб сохраняется в точках и по линиям нулевых искажений и указывается на карте.

Различают также численные, именованные и графические формы выражения масштаба.

Численный масштаб записывают в виде дроби, в числителе которой единица, а в знаменателе – число, выражающее степень уменьшения горизонтальных проекций линий на местности при изображении их на плане или топографической карте. Например, $\frac{1}{5000}$, $\frac{1}{10000}$, $\frac{1}{25000}$ или 1:5000, 1:10000, 1:25000 (план соответственно называется пятитысячный, а карты – десятитысячная и двадцатипятитысячная).

Часто численный масштаб сопровождается на плане или карте именованным масштабом – пояснительной подписью, показывающей, какое горизонтальное расстояние на местности в метрах соответствует одному сантиметру на бумаге. С именованным масштабом отождествляется часто употребляемый в геодезии и картографии термин «величина масштаба», смысл которого можно понять из следующих примеров.

Пример - Численный масштаб 1:100000, именованный масштаб – «в 1 см – 1000 метров»; величина масштаба 1000 м; точность масштаба – 10 м.

При помощи численного масштаба решаются две основные задачи, выполняемые по плану или карте:

1 По горизонтальной проекции линии местности, обозначаемой буквой D , определить d – её значение на плане или карте.

2 По длине отрезка d , измеренной на плане или карте, вычислить D – длину горизонтальной проекции линии на местности.

В первом случае горизонтальную проекцию линии местности необходимо разделить на величину масштаба.

Пример - $D = 367$ м, масштаб 1:5000. $d = 367 \div 50 = 7,34$ см

Во втором случае необходимо расстояние между точками на плане или карте умножить на величину масштаба.

Пример - $d = 4,6$ см, масштаб 1:10000. $D = 4,6 \cdot 100 = 460$ м

Применение численного масштаба несложно, однако на практике отдаётся предпочтение графическим масштабам, упрощающим решение задач, не требующим вычислений и, следовательно, исключаящим появление возможных при этом ошибок. Графические масштабы подразделяются на линейные и поперечные.

Линейный масштаб – прямая линия, разделённая на равные промежутки (основания) с подписанными значениями соответствующих им длин горизонтальных линий на местности в метрах (рисунок 9).

1 : 10 000

в 1 сантиметре 100 метров

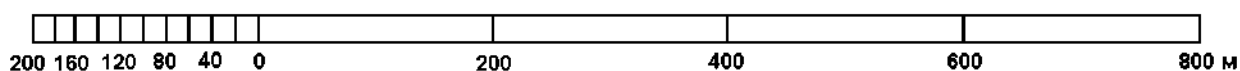


Рисунок 9 - Именованный (сверху), линейный (внизу) масштабы

На топографических планах и картах линейный масштаб приводится под южной стороной рамки. Для построения на бумаге линейного масштаба проводят остро отточенным карандашом по линейке две параллельные линии на расстоянии 2 мм одна от другой. Несколько раз откладывают на них какой-нибудь отрезок (например, 1 или 2 см), называемый основанием масштаба.

Крайнее левое основание делят на 10 равных частей, каждая из которых называется наименьшим делением линейного масштаба. Затем по заданному численному масштабу, рассчитывая значение горизонтального расстояния на местности в метрах, соответствующее взятому основанию масштаба, подписывают линейный масштаб.

За начало отсчёта длин на линейном масштабе, обозначаемое нулём, принимают правый конец крайнего левого основания. Вправо от нуля на отмеченных отрезках — основаниях подписывают последовательно число метров на местности, соответствующее одному, двум, трём и так далее основаниям, а влево от нуля — его долям.

Размерность указывается только один раз в правом конце линейного масштаба. Например, для масштаба 1:10000 с основанием 2 см справа от нуля пишут соответственно 200, 400, 600, 800 и т.д., доли крайнего левого основания оцифровывают влево от нуля: 20, 40, 60, 80 и т.д. до 200.

Для обеспечения более высокой точности линейных измерений по плану или карте применяют поперечный масштаб, который, как и линейный является графическим выражением численного, вернее, он включает оба предыдущих масштаба (рисунок 10).

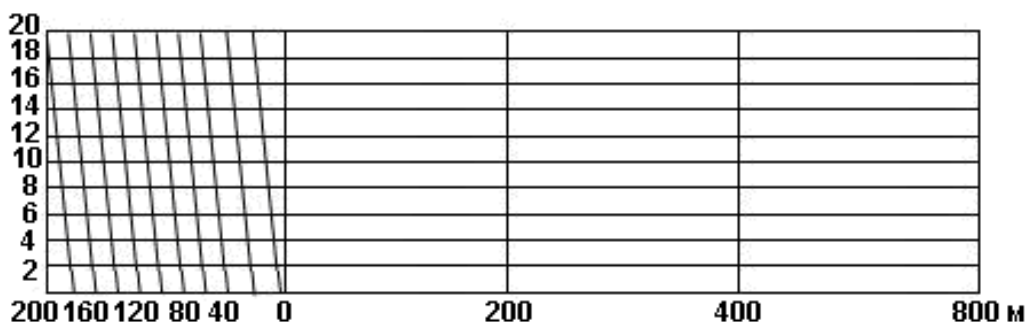


Рисунок 10 - Поперечный масштаб

Для построения поперечного масштаба откладывают на горизонтальной прямой несколько раз основание масштаба – отрезок длиной 1 или 2 см. Из полученных точек к прямой восстанавливают перпендикуляры. Крайние из них делят на 10 равных отрезков. Через полученные точки проводят горизонтальные линии, параллельные основаниям. Верхнюю и нижнюю линии крайнего левого основания также разделяют на 10 равных частей и крайние точки делений соединяют наклонными линиями. Затем по заданному численному масштабу оцифровывают поперечный масштаб. За начало отсчёта длин принимают правый конец крайнего левого основания. Вправо от нуля крайние точки делений последующих оснований подписывают числом метров на местности, соответствующим одному, двум, трём и т.д. основаниям, влево от нуля – долям основания. Значения сотых долей основания подписывают на крайней левой вертикали снизу вверх.

Пример оцифровки поперечного масштаба с основанием 2 см для масштаба 1:10000 приведён на рисунке (рисунок 10). Отрезок крайнего левого основания на второй снизу горизонтальной линии, заключённой между нулевой вертикалью масштаба и ближайшей к ней трансверсалью, называется наименьшим делением поперечного масштаба (для масштаба 1:10000 с основанием 2 см – 2 мм).

3.2 Определение масштабов топографических карт. Выполнение измерений по топокартам

Задание 1. Определить масштаб топографической карты:

а) по номенклатуре листа карты.

Пример 1 - Определить масштаб листа топографической карты с номенклатурой N-37-144.

Буква латинского алфавита и число – это обозначения листа карты масштаба 1:1000000:N-37. Арабскими цифрами при исходном миллионном листе обозначают листы карты масштаба 1:100000 (их получают делением миллионного листа на 144 части). Следовательно, масштаб данной карты 1:100000.

Пример 2 - Определить масштаб листа топографической карты с номенклатурой N-45-140-A-б.

N-45 – номенклатура исходного миллионного листа.

140 – обозначение листа карты масштаба 1:100000. Если этот лист разделить на четыре части, то одна такая часть – это лист карты масштаба 1:50000, обозначенная буквой А; б – обозначение листа карты 1:25000, который можно получить делением предыдущего листа масштаба 1:50000 на четыре части. Масштаб карты – 1:25000;

б) по градусным размерам рамки листа карты.

Градусные размеры рамки листа карты получают вычитанием значения географической широты параллели, ограничивающей картографическое изображение с юга, из широты северной параллели и вычитанием значения долготы западного меридиана из долготы восточного меридиана. Полученные размеры сравнивают с размерами рамок, приведёнными в таблице 2, и выписывают оттуда соответствующий масштаб.

Таблица 2 - Размеры листов топографических карт

Масштаб	Размеры листов	
	по параллели	по меридиану
1:1000000	6 ⁰	4 ⁰
1:500000	3 ⁰	2 ⁰
1:200000	1 ⁰	0 ⁰ 40'
1:100000	0 ⁰ 30'	0 ⁰ 20'
1:50000	0 ⁰ 15'	0 ⁰ 10'
1:25000	0 ⁰ 07'30"	0 ⁰ 05'
1:10000	0 ⁰ 03'45"	0 ⁰ 02'30"
1:5000	0 ⁰ 01'52,5"	0 ⁰ 01'15"
1:2000	0 ⁰ 00'37,5"	0 ⁰ 00'25"

в) по километровой сетке.

Километровая сетка топографической карты – система параллельных горизонтальных и вертикальных линий, проведённых через целое число километров (через 1 км в масштабе 1:10000 – 1:50000, 2 км – 1:100000, 10 км – 1:200000).

Для определения масштаба топографической карты по километровой сетке линейкой измеряется сторона квадрата. Предположим, что она равна 4 см. По значениям километровых линий, подписанным в промежутках между внутренней и минутной рамками карты, определяют расстояние между линиями сетки на местности. В данном случае сторона квадрата – 1 км. Составляем отношение:

$$\frac{1}{m} = \frac{4\tilde{n}\tilde{i}}{100000\tilde{n}\tilde{i}} = \frac{1}{25000}, \quad (3)$$

где m – знаменатель численного масштаба, см;

г) по линейной величине минутного интервала дуги меридиана на карте.

На местности линейная величина одной минуты дуги меридиана равна в среднем 1850 м. Измерив линейкой длину одной минуты по меридиану на минутной рамке карты, можно определить её масштаб.

Пример - Длина одной минуты на карте 7,4 см. Если 7,4 см соответствует 1825 м или 185200 см, то 1 см на карте соответствует $\frac{185000}{7,4} = 25000 (\tilde{n}\grave{i})$.

Масштаб карты – 1:25000;

д) по известному расстоянию на местности между двумя пунктами.

Предположим, известно, что расстояние от совхоза Беличи до реки Голубая по прямой автомобильной дороге 700 м (это расстояние на карте У-34-37-В-в масштаба 1:25000). Соответствующий отрезок на карте У-34-37-В-в равен 2,8 см. Масштаб карты определяем, составив отношение:

$$\frac{1}{m} = \frac{2,8\tilde{n}\grave{i}}{70000\tilde{n}\grave{i}} = \frac{1}{25000}; \quad (4)$$

е) по подписанной на карте ширине реки.

На топографических картах обычно подписывают ширину крупных рек. Поэтому для определения масштаба достаточно измерить по карте ширину реки и составить отношение.

Пример – На карте У-34-37-В-в указано, что ширина реки Соть к северо-востоку от населённого пункта Быково равна 285 м. Это же расстояние, измеренное по карте, составляет 1,14 см. Отсюда:

$$\frac{1}{m} = \frac{1,14\tilde{n}\grave{i}}{28500\tilde{n}\grave{i}} = \frac{1}{25000}. \quad (5)$$

Измерения по картам длин и площадей. На точность измерений по картам среди других факторов влияют точность, определяемая применяемым способом измерения и используемыми приборами, а также предельная точность масштаба карты. Точность, обусловленная применяемым способом измерения и используемыми при этом приборами, бывает различной. Так, точность измерения длин извилистых линий малым раствором циркуля-измерителя заметно выше, чем курвиметром, но ниже, чем точность измерения циркулем

расстояния по прямой линии. А точность измерения малых площадей палеткой несколько выше, чем планиметром. Предельная точность масштаба является той величиной, которую приходится учитывать для того, чтобы установить, сколькими метрами либо гектарами на местности выражается техническая точность или точность, свойственная применяемым способам или инструментам. Так, можно считать, что ошибка измерения длины прямого отрезка с помощью циркуля-измерителя равна 0,3 мм. При масштабе карты 1:100000 (предельная точность 10 м) эта ошибка выражается на местности 30 м.

Чтобы избежать грубых ошибок любое измерение необходимо производить минимум два раза.

Задание 2. По топографической карте У-34-37-В-в (Снов) масштаба 1:25000, пользуясь данным на ней линейным масштабом, измерить расстояние по прямой между двумя пунктами, в соответствии с вариантами таблицы 3.

Методические указания. Измерять заданное расстояние необходимо между определёнными точками условных знаков, изображающих названные объекты. Само измерение необходимо выполнять с помощью циркуля-измерителя. Прежде чем пользоваться линейным масштабом, необходимо выяснить, скольким метрам или километрам на местности соответствует его основание, а скольким метрам – наименьшее деление его левого основания (т.е. точность масштаба). Раствор циркуля, взятый между заданными пунктами по карте, в момент прочтения расстояния должен располагаться на линейном масштабе так, чтобы правая игла находилась точно на одном из штрихов вправо от 0, а левая – в пределах левого основания масштаба. Отсчёт, сделанный по левой игле с помощью делений левого основания, нужно сложить с отсчётом, измеренным по правой игле. Это и даст искомое расстояние.

Задание 3. По топографической карте У-34-37-В-в (Снов) масштаба 1:25000, пользуясь данным на ней линейным масштабом, измерить расстояния по дороге между пунктами в соответствии с вариантами таблицы 3.

Задание 4. По топографической карте У-34-37-В-в (Снов) масштаба 1:25000 измерить малым раствором циркуля-измерителя длину отрезка реки в соответствии с вариантами таблицы 3.

Методические указания. Методика измерения длины извилистой линии циркулем-измерителем сводится к последовательному откладыванию малого его раствора по измеряемой линии. При этом величина раствора определяется, исходя из двух противоположных соображений. Дуга части линии, которая оказывается между иглами циркуля, фактически заменяется хордой. Поэтому результат измерения оказывается в целом меньше длины линии. С этой точки зрения раствор должен быть меньше длины линии. Раствор циркуля-измерителя, взятый очень тщательно, обычно содержит хотя бы небольшую ошибку, которая накапливается при последовательном его откладывании по линии. Вместе с тем, чем меньше раствор циркуля, тем больше растворов уложится в измеряемой линии и тем большая ошибка накопится. С этой точки зрения раствор должен быть возможно большим. Чаще всего используется раствор, равный 2 мм. Но если измеряемая линия не очень извилиста, а сами извилины не очень мелкие, то лучше взять раствор, равный 3 мм или 4 мм.

Принятая для измерения величина раствора должна быть тщательно взята по поперечному масштабу. При измерении необходимо стараться её не изменить. А по окончании измерения необходимо проверить, не изменилась ли она. Если изменилась, измерения необходимо повторить. Лучше для измерения использовать микроизмеритель. Десятые доли последнего раствора должны быть оценены на глаз. Должно быть выполнено не менее двух измерений, из которых необходимо вычислить среднее число растворов. Для того чтобы найти длину заданного отрезка в метрах или километрах, необходимо определить цену одного раствора.

Например, в результате двух измерений отрезка реки раствором, равным 2 мм по карте масштаба 1:100000, получилось 101,3 и 102,3 раствора. Так как в 1 см на карте соответствует 1 км на местности, то в 1 мм содержится 100 м, а в 2 мм – 200 м. Это и есть цена раствора циркуля. Среднее из двух измерений

составляет 101,8 раствора. Умножая на него цену одного раствора, находим искомую длину равной 20360 м. Но результат каждого из двух измерений отклоняется от среднего на 0,5 раствора, т.е. на 100 м на местности. Принимая эту величину за фактическую точность измерения и округляя результат до 100 м, получим окончательно длину заданного отрезка равной 20,4 км. Ход вычисления записывается так:

- | | | | |
|---|------------------------------|---|------------------------------|
| 1 | 1 измерение – 101,3 раствора | 2 | При масштабе в 1 см – 1 км, |
| | 2 измерение – 102,3 раствора | | 1 мм – 100 м. Следовательно, |
| | Среднее – 101,8 раствора | | цена раствора равна 200 м. |
- 3 Длина отрезка реки $200 \times 101,8 = 20360 \text{ м}$, или $\approx 20,4 \text{ км}$

Таблица 3 - Варианты к заданиям 2, 3, 4

№ варианта	К заданию 2	К заданию 3	К заданию 4
1	Колодец в кв 6809 – точка с высотой 170,0 в кв 6807	Пересечение дорог с высотой 209,7 в кв 7010 – начало сада в с.Демидово (у дороги) в кв 7109	р.Стача от моста в кв 6706 до устья
2	Ключ в кв 6909 – пункт гос. геодезической сети с высотой 198,4 в кв 7009	Пересечение дорог с высотой 209,7 в кв 7010 - ю.-з. окраина с.Окунево в кв 7012	р.Андога от горизонт. линии сетки 72 до сев. рамки листа
3	Колодец в кв 6612 – ключ в кв 6513	Мост в с.Дровяная в кв 6706 – мост в кв 6608	р.Каменка от её истока в кв 6713 до моста на улучш. грунт. дороге в кв 6613
4	Южный ключ в кв 7012 – ключ в кв 7112	Южная труба на шоссе в кв 6914 – р.Соть у парома в кв 7113	Безымянная речка от её истока в кв 6508 до устья
5	Мук. мельница в кв 6611 – колодец в кв 6612	Угол с.-з. окраины г.Снов – с.-з. окраина с.Вороново в кв 6612	р.Голубая от южной рамки (кв 6412) до оз. Чёрное
6	Отдельный куст в кв 7007 – точка с высотой 176,2 в кв 6908	Пересечение дорог у МТМ в кв 6514 – с.-в. окраина с.Вороново в кв 6612	р.Голубая от мук. мельницы в кв 6613 до вертикальной линии сетки 11
7	Вершина с высотой 171,3 в кв 6713 – колодец в кв 6614	Мост через р.Андога в кв 6511 – с.-з. окраина с.Вороново в кв 6612	р.Стача от вертик. линии сетки 07 (кв 6807) до устья
8	Восточный родник в кв 6612 – склад горючего в кв 6514200=40	Мост в кв 6608 – зап.окраина с.Фёдоровка в кв 6510	р.Андога от вертик. линии сетки 11 до её горизонт. линии 68

Продолжение таблицы 3

№ варианта	К заданию 2	К заданию 3	К заданию 4
9	Колодец с ветр. двигателем в кв 6412 – склад горючего в кв 6514	Сев.окраина г.Снов в кв 6413 – мук. мельница в кв 6613	р.Каменка от её истока в кв 6713 до устья
10	Колодец в кв 6909 - отдельный куст в кв 6808	Мост в с.Дровяная в кв 6706 – мост у с.Филатово в кв 7007	Безымянная речка от её истока в кв 6509 до устья

Задание 5. По топографической карте У-34-37-В-в (Снов) масштаба 1:25000 измерить с помощью сеточной палетки, а также планиметра площадь участка в соответствии с вариантами таблицы 4.

Методические указания. Перед измерением площади при помощи палетки (рисунок 11) необходимо определить цену её деления. Если, например, сторона квадрата палетки составляет 2 мм, что на карте масштаба 1:100000 будет соответствовать 200 м на местности, то площадь такого деления будет соответствовать $200 \times 200 = 40000 \text{ м}^2$ на местности, т.е. цена деления палетки будет 4 га. На измеряемый участок необходимо положить палетку и посчитать число целых делений, а также сумму их частей (например, $0,2 + 0,7 + 0,9 + \dots = 12,3$ клетки), оказавшихся внутри контура измеряемого участка (эти части оцениваются на глаз). Затем необходимо их сложить (например, $120 + 12,3 = 132,3$ клетки), а палетку повернуть на некоторый угол и, снова наложив её на участок, для контроля повторить измерение. Среднее число из двух измерений нужно умножить на цену деления палетки, и таким образом, получить площадь участка. Ход вычисления можно записать так:

1 1 измерение – 101,3 раствора

2 измерение

Целых делений - 89

Целых делений - 91

Сумма частей делений – 18,9

Сумма частей делений – 18,3

Всего – 107,9

Всего – 109,3

Среднее – 108,6 делений

2 При масштабе в 1 см 1 км, в 1 мм – 100 м, в 2 мм – 200 м

Цена деления палетки $200 \times 200 = 40000 \text{ м}^2 = 4 \text{ га}$

3 Площадь участка равна $4 \times 108,6 = 434,4 \text{ га}$

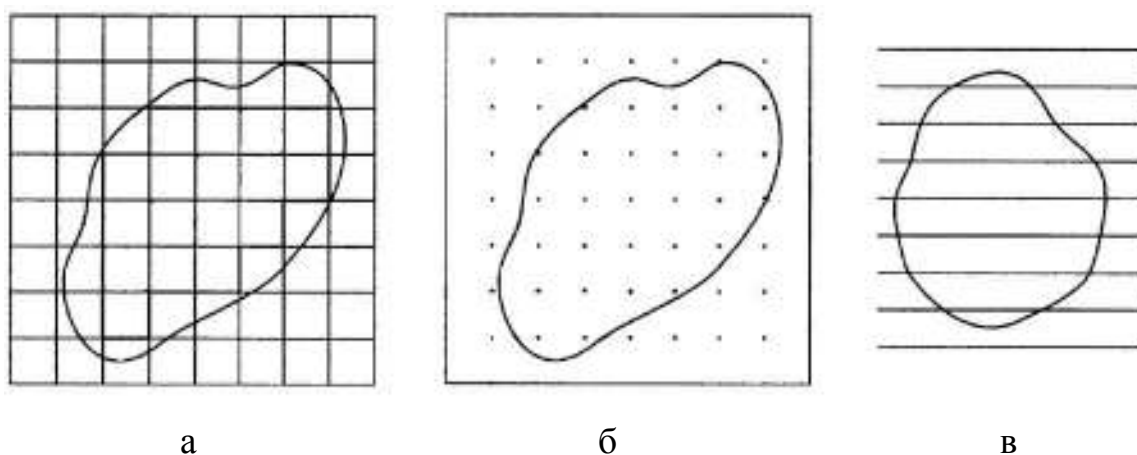


Рисунок 11 - Палетки: а – квадратная, б – точечная, в - линейная

При измерении площади при помощи планиметра необходимо определить цену его деления, затем шпилем обводного рычага дважды обвести контур измеряемого участка. В процессе обвода контура полюс планиметра необходимо закрепить иглой так, чтобы рычаги планиметра при обводе участка не составляли бы очень острых углов (менее 30°) или углов, близких к 180° (более 150°). Число делений в площади участка при обводке его почасовой стрелке вычисляется по формуле

$$k = n_2 - n_1, \quad (6)$$

где n_2 - конечный отсчёт по нему;

n_1 – начальный отсчёт по счётному механизму.

Площадь участка следует измерять в два приёма при расположении счётного аппарата по разные стороны от линии полюс – шпиль. Среднее число делений из полученных при измерении чисел нужно умножить на цену деления, что и даст искомую площадь участка.

Таблица 4 - Варианты к заданию 5

№ варианта	Площадь какого участка необходимо измерить
1	Массив леса в кв 6710, 6711, 6611 и др.
2	Массив леса в кв 6807, 6907, 6906 и др.
3	Лес «Тёмный бор» в кв 6909, 6908, 7009, 7008 и 7108
4	Массив леса в кв 7313, 7314, 7213, 7214 и 7113
5	Участок непосредственно к северу от горизонт. линии сетки 66, между р.Андога, р.Голубая и оз.Чёрное (в кв 6611, 6612 и др.)
6	Массив леса в кв 6713, 6712 и 6711
7	Участок между р.Андога и притоками, впадающими в неё в кв 6709 и в кв 6710, ограниченный с юга горизонт. линией сетки 66.
8	Весь лесной массив вместе с горелым лесом, редким лесом, буреломом и кустарником в кв 6411, 6412, 6511 и 6512
9	Участок между оз.Чёрное, его юго-восточными притоками (с каменным мостом) р.Голубая и горизонт. линией сетки 65
10	Участок между р.Андога, притоком, впадающим в неё в кв 6709, р.Стача, горизонт. линией сетки 67 и её вертик. линией 08.

4 Математическая основа мелкомасштабных карт.

Классификации картографических проекций

4.1 Масштабы карт. Виды искажений на картах

Картографическое изображение может различаться по своим математическим свойствам, которые возникают в результате трех условий:

- 1) проектирования физической поверхности Земли на условную поверхность земного эллипсоида (геодезическая основа);
- 2) уменьшения картографического изображения до необходимых размеров (масштаб);
- 3) переход от условной сфероидической поверхности земного эллипсоида к плоскости – карте (картографическая проекция).

Таким образом, совокупность геодезической основы, масштаба карты и картографической проекции является элементами математической основы.

Геодезическая основа карт определяется принятыми размерами эллипсоида, началом координат и высот, а также зависит от методов, которыми определяют плановое и высотное положение геодезических пунктов.

При использовании мелкомасштабных географических карт их геодезическая основа, а также масштаб географических карт не влияют существенно на искаженность картографического изображения. Зато картографическая проекция в математической основе карт оказывает наибольшее влияние. От нее зависят и важнейшие особенности масштабов на географических картах.

На географических картах изображаются значительные части территории Земли или целиком её территория. Существует прямая зависимость между размерами изображаемой территории и величинами искажений на картах. Теоретически бесконечно малая часть поверхности эллипсоида не может быть развернута на плоскости. Естественно, на карте мира искажения достигают наибольших значений. Характер искажений зависит от выбора картографической проекции, т.е. от способа изображения поверхности эллипсоида на плоскости. При переходе от поверхности эллипсоида к плоскости неизбежны разрывы или перекрытия. Для их устранения необходимы соответствующие растяжения или сжатия. Поэтому географическая карта – разномасштабное изображение. Только на глобусе сохраняется одинаковый масштаб по всем направлениям. Из этого следует, что в бесконечно малой точке карты существует свой частный масштаб.

Частный масштаб длин – отношение бесконечно малого отрезка в данной точке по данному направлению в проекции к соответствующему бесконечно малому отрезку на поверхности эллипсоида.

Средний масштаб – совокупность частных масштабов отрезков.

Главный масштаб – отношение, показывающее, во сколько раз уменьшены линейные размеры земного эллипсоида, т.е. это масштаб длин в тех местах карты, где нет искажений длин. На географических картах он сохраняется либо на линиях нулевых искажений, либо в точках нулевых искажений. На картах указывается только главный масштаб. Размещение точек и линий нулевых искажений на картах неодинаковое.

На картах искажаются также площади и углы, а следовательно, и форма изображаемой территории.

Масштаб площадей – отношение бесконечно малой площади в данной точке карты к горизонтальной проекции соответствующей поверхности на плоскости.

Искажение угла – разность между углом, образованным двумя линиями на эллипсоиде, и изображением этого угла на карте.

От масштаба географической карты зависит полнота содержания и подробность изображения. С уменьшением масштаба карты уменьшаются все размеры и отдельные географические объекты становятся настолько малыми, что их нельзя изобразить, сохраняя размеры в масштабе.

Таким образом, предельную точность масштаба (0,1 мм) следует считать предельной точностью измерений на карте.

Искажение изображения, выражающееся в переменности масштаба, присуще всем картографическим проекциям. Для оценки геометрических достоинств проекций используют показатели искажений площадей P и углов γ , определяемые при вычислении проекций.

В математической картографии для оценки различных искажений в данной точке карты применяют эллипсы искажений.

Доказано, что бесконечно малая окружность на поверхности земного эллипсоида при перенесении её на карту всегда изображается бесконечно малым эллипсом (рисунок 12).

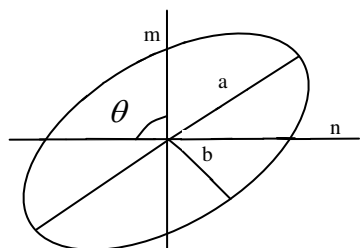


Рисунок 12 - Образование эллипса

Эллипс –это линия пересечения круглого конуса с наклонной плоскостью. Размеры, а также степень вытянутости такого эллипса по сравнению с исходной окружностью наглядно отражают различные виды искажений в данной точке карты. Направления искажений могут быть самыми различными и не совпадать с параллелями и меридианами. Поэтому направления осей эллипса искажений могут быть разными. Но всегда большая a и малая b оси должны быть взаимноперпендикулярными. По степени вытянутости эллипс искажений может иметь два крайних случая:

а) когда обе оси равны, то эллипс становится окружностью;

б) когда одна из осей равно нулю, то эллипс превращается в прямую линию.

По направлению большой оси эллипса будет наибольший масштаб в данной точке, по направлению малой оси – наименьший масштаб. В каждой точке карты всегда есть два направления, которые всегда перпендикулярны и называются главными направлениями эллипса.

Искажения, их распределение в картографических проекциях. Существует множество способов изображения поверхности земного эллипсоида на плоскости (географической карте), называемых картографическими проекциями. Картографическая проекция устанавливает соответствие между географическими координатами точек земного эллипсоида и прямоугольными координатами тех же точек на плоскости.

Сферическую поверхность эллипсоида нельзя развернуть на плоскость без разрывов и складок, т.е. без искажений длин, площадей, углов.

Проекций, совершенно лишенных искажений длин, не существует; вместе с тем есть проекции, свободные от искажений углов или площадей. Поэтому любая географическая карта в той или иной степени – изображение искаженное.

Существует аналитическая зависимость между величиной картографируемой территории и величиной искажения, его распределением и

направленностью. Естественно, чем больше территория, тем больше искажение картографического изображения.

Применяя различные картографические проекции, можно создать карты с минимальными направленными, распределенными искажениями одних видов искажений за счет других.

В любой проекции имеются отдельные точки или линии (система линий), в которых отсутствуют искажения отдельных или всех видов. Их называют точками и линиями нулевых искажений.

Искажения возрастают по мере удаления от точек или линий нулевых искажений.

Для наглядной характеристики распределения искажений и учета их величины при пользовании картой наносятся изоколы – линии, соединяющие точки с одинаковыми значениями искажения площадей и углов согласно картографической сетке – сетке меридианов и параллелей. Точки их пересечений называют узловыми точками.

Картографическая сетка служит для построения картографического изображения и является средством для широкого географического ориентирования.

Существующие на картах различные величины искажений длин, площадей, углов и форм определяют для того, чтобы знать, какие отклонения в данном месте карты существуют против действительных на эллипсоиде. Для этого надо выяснить, что принимается в качестве показателей каждого из этих видов искажений. В качестве показателей искажений принимаются:

1) показатель искажений длин μ - это масштаб длин. Главный масштаб длин принимают равным единице, а частные масштабы длин выражают в долях главного. Масштаб длин принимают как показатель искажений длин в данной точке по данному направлению. Часто вместо μ берут $\mu - 1$, которое называется относительным искажением. Когда необходимо установить искажение длин объекта в целом, независимо от направления, используют наибольшее a и наименьшее b значение масштаба по главным направлениям;

2) показатель искажений площадей P – масштаб площадей, выраженный в долях главного. Нередко используют относительное искажение площадей $P-1$;

3) показатель искажений углов ω - наибольшее искажение углов в данной точке. Кроме этого, необходимо знать искажение угла ε между меридианами и параллелями (отклонение этого угла от прямого). На карте измеряют угол θ между меридианом и параллелью в точке их пересечения. Тогда искажение угла определяется по формуле:

$$\varepsilon = \theta - 90^\circ. \quad (7)$$

3) показатель искажения форм

$$K=a/b, \quad (8)$$

где a – малая полуось эллипса;

b – большая полуось эллипса.

Если $a=b$, то $K=1$. В этом случае бесконечно малая окружность изобразится окружностью. Чем больше K отличается от 1, тем больше вытянут (сжат) эллипс искажений, т.е. тем больше искажение форм. Следует заметить, что показатель K отражает искажение бесконечно малых фигур, а не каких-то крупных объектов: стран, материков и т.д. Для крупных объектов используют значение показателей искажений в их крайних точках.

Величины искажений на картах можно определить по формулам, по таблицам искажений, способом изокол, либо с помощью комограмм.

Определение искажений по формулам. По формулам определяются элементы эллипса искажений, и по их величинам строится эллипс в какой-либо точке карты. Масштабы по меридианам и параллелям определяются путем измерения длин дуг меридиана и параллели, проходящих через точку на карте, и вычисляются по табличным данным для эллипсоида. Тогда масштаб по меридиану (m) и параллели (n) соответственно определяется отношениями:

$$m=ds/dS, \quad (9)$$

где d – диаметр на глобусе, м;

s – площадь участка на карте, м²;

S – площадь участка на местности, м².

$$n=dl/dL, \quad (10)$$

где l – протяженность дуги параллели на карте, м;

L – протяженность дуги параллели на поверхности Земли, м.

Частный масштаб

$$\mu = \sqrt{a^2 \cos^2 a + b^2 \sin^2 a}, \quad (11)$$

где a, b – масштабы по главным направлениям;

a – угол на эллипсоиде, образованный меридианом и главным направлением.

Масштаб площади

$$P=ab, \quad (12)$$

$$P=mn \sin \theta. \quad (13)$$

Искажение углов

$$\sin \frac{\omega}{2} = \frac{a-b}{a+b}. \quad (14)$$

Если меридианы и параллели на карте совпадают с главным направлением эллипса, т.е. $\theta = 90^\circ, \varepsilon = 0^\circ, a=m, b=n$, то формулы примут вид:

$$\mu = \sqrt{m^2 \cos^2 a + n^2 \sin^2 a}, \quad (15)$$

$$P = mn, \quad (16)$$

$$\sin \frac{\omega}{2} = \frac{m - n}{m + n}. \quad (17)$$

Определение искажений по картографическим таблицам. Значения искажений расстояний, углов и площадей указываются в таблицах узловых точек картографической сетки по значениям φ и λ . Причем для цилиндрических, конических и азимутальных проекций, где искажения изменяются в зависимости от географической широты, искажения находят только по ней. Например, на карте, составленной в нормальной равнопромежуточной конической проекции Ф.Н.Красовского необходимо определить искажения для точки с $\varphi = 60^\circ$.

По таблице определяем $m=0,997$, $n=0,987$, $P=0,984$, $\omega=0^\circ 34'$

Таблица 5 - Определение искажений по картографическим таблицам

φ	n	P	ω	m
30°	1,083	1,080	4°45'	0,997
40°	1,031	1,028	1°56'	0,997
50°	0,998	0,996	0°05'	0,997
60°	0,987	0,984	0°34'	0,997
70°	1,010	1,007	0°45'	0,997
80°	1,136	1,133	7°28'	0,997

Определение искажений при помощи изокол. Наиболее наглядным и удобным способом определения показателей искажений являются макеты карт с изоколами. С помощью таких макетов можно не только находить значение показателя искажений для различных объектов, но и вводить поправку в определяемое по карте значение площадей или углов. Обычно это изображения карт в уменьшенном масштабе, где на географическую основу по картографической сетке нанесены линии, соединяющие точки с одинаковой величиной какого-либо показателя искажений – изоколы. Изоколы проводят с

нарастанием значения интервала. Аналогично изображается рельеф на мелкомасштабных картах, где изогипсы также проводятся с увеличенным переменным интервалом, в зависимости от возрастания высоты. Макеты с изоколами искажений могут выражать абсолютные или относительные показатели в процентах или в долях частных масштабов от главного масштаба карты. Например, на карте мира в поликонической проекции через центр территории Австралии проходит изокола $P=2,5$, для Гренландии, которую пересекает линия нулевых искажений, значение $P \approx 1$. Визуально можно определить, что Австралия на карте больше Гренландии примерно в 1,3 раза. Следовательно, на самом деле она больше Гренландии примерно в 3,5 раза.

4.2 Картографические проекции и их классификации

Картографическая проекция – это математически определенный способ изображения поверхности земного эллипсоида на плоскости, устанавливающий аналитическую зависимость между географическими (или иными) координатами точек эллипсоида и прямоугольными координатами тех же точек на плоскости.

Известно, что при создании карт поверхность модели земного эллипсоида развернуть в плоскость без сжатий и растяжений невозможно. Поэтому прибегают к использованию вспомогательных поверхностей цилиндра, конуса или самой плоскости. Вначале путем проектирования на вспомогательную поверхность переносят основные линии – меридианы и параллели (их совокупность составляют картографическую сетку), а затем точки картографического изображения по их координатам.

По виду вспомогательной поверхности, которая используется для построения, проекции делятся на три группы:

1) цилиндрические – вспомогательной поверхностью служит боковая поверхность цилиндра, касательного к эллипсоиду или секущего эллипсоида;

2) конические – вспомогательной поверхностью является боковая поверхность касательного или секущего конуса;

3) азимутные – вспомогательная поверхность – касательная или секущая плоскость.

В зависимости от положения цилиндра, конуса или плоскости к эллипсоиду различают следующие проекции:

1) нормальные – ось цилиндра и конуса совпадает с земной осью, а плоскость располагается перпендикулярно к ней (рисунок 13а);

2) поперечные – ось цилиндра и конуса лежит в плоскости экватора, а плоскость перпендикулярна ей и касается эллипсоида в одной из точек экватора (рисунок 13б);

3) косые – ось цилиндра и конуса образует острый угол с земной осью, а плоскость касается поверхности эллипсоида в одной из точек между полюсом и экватора (рисунок 13в).

Среди азимутных проекций выделяют перспективные, которые получают проектированием поверхности эллипсоида на плоскость с помощью лучей, выходящих из точки зрения, расположенной на прямой, которая проходит через центр шара и перпендикулярна плоскости касания. В зависимости от положения точки зрения проекции бывают:

1) ортографические – точка зрения удалена в бесконечность, и проектирование ведется пучком параллельных лучей;

2) стереографические – точка зрения – на поверхности шара и диаметрально противоположна точке касания картинной плоскости;

3) гномонические – точка зрения – в центре шара.

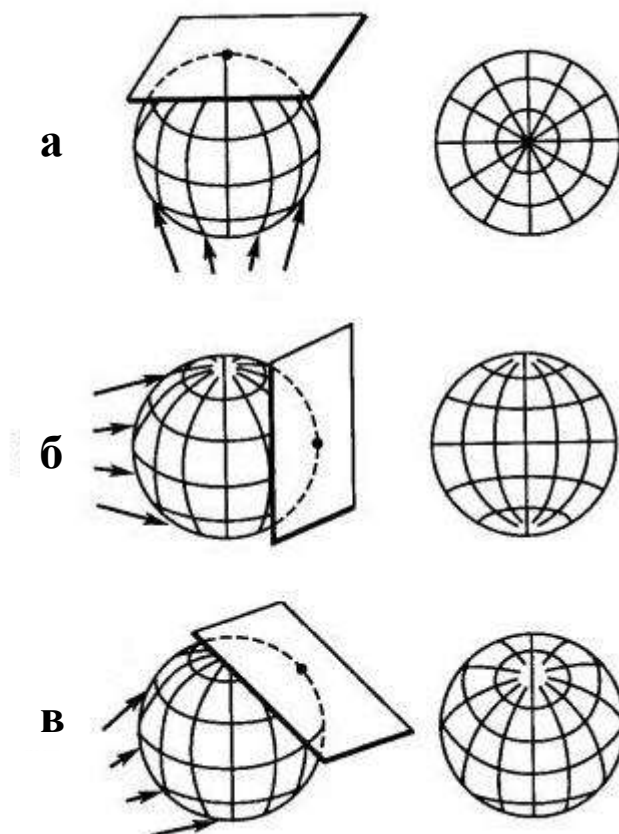


Рисунок 13 - Нормальная (а), поперечная (б), косая (в)
азимутальные проекции

По характеру искажений проекции делятся на:

- 1) равноугольные, в которых на карте нет искажений углов, а значит, не искажаются формы бесконечно малых фигур;
- 2) равновеликие, в которых на карте отсутствуют искажения площадей, однако углы и формы сохраняются;
- 3) произвольные – на карте искажаются и углы и площади.

Длины искажаются во всех проекциях. Но в группе произвольных проекций выделяют проекции равнопромежуточные, которые сохраняют масштаб длин по меридианом или по параллелям.

Искажения длин выражаются в том, что в разных местах карты масштаб разный, поэтому соотношение линейных размеров географических объектов искажены.

При искажении площадей масштаб площади (соотношение площади участка, взятого на карте к площади этого участка на местности) в разных местах карты неодинаков, поэтому нарушаются соотношения площадей географических объектов на карте.

Если фигуры (очертания) географических объектов на карте не подобны этим фигурам на местности, то искажаются формы.

К искажению форм приводят искажения углов, заключающиеся в несоответствии углов между любыми двумя направлениями на земной поверхности и на карте.

Отсутствуют искажения на картах в точках или линиях касания эллипсоида вспомогательными поверхностями, которые называются точками и линиями нулевых искажений. Масштаб в этих точках и на этих линиях равен масштабу модели земного эллипсоида и называется главным. Масштабы в других местах карты изменяются в зависимости от направления и степени удаления от линий и точек нулевых искажений и называются частичными.

Для определения масштаба площадей, масштабов длин, максимального искажения углов и искажения форм для некоторой точки необходимо ввести ряд показателей, характеризующих искажения на карте:

1) частный масштаб длин по какому-либо направлению μ (определяется отношением бесконечно малого отрезка на карте к соответствующему отрезку на поверхности эллипсоида);

2) наибольший частный масштаб длин α ;

3) наибольший частный масштаб длин β (последние две величины совпадают с направлениями соответственно большой и малой осей в эллипсе искажений – геометрической фигуре, получаемой в результате изменения взятой в той или иной точке поверхности земного эллипсоида бесконечно малой окружности при переходе к плоскости – карте);

4) частный масштаб длин по меридианам m ;

5) частный масштаб длин по параллелям n ;

6) частный масштаб площадей p (равен отношению площади эллипса искажений к площади соответствующего бесконечно малого круга на земном эллипсоиде). Выражается в долях главного масштаба площадей;

7) коэффициент R , характеризующей искажения форм

$$R = \frac{a}{b}, \quad (18)$$

8) наибольшее искажение углов w (равно наибольшей в данной точке разности между углом, образованным двумя линиями на эллипсоиде, и его изображением на карте и выражается в градусах);

9) угол между изображением на карте меридиана и параллели θ .

Вид искажений на картах, составленных в нормальной проекции, можно определить по особенностям картографической сетки. Если расстояния между параллелями вдоль меридианов не равны, это свидетельствует о том, что длины меридианов на карте искажаются; если расстояния между меридианами на одной и той же параллели разные, то искажаются длины по параллелям. Если клетки, образованные меридианами и параллелями в одном и том же широтном поясе не одинаковы или с увеличением широты их площади не уменьшаются, а остаются такими же или увеличиваются, то это признак искажения площадей. Если меридианы и параллели пересекаются не под прямым углом, значит на карте искажаются углы.

4.3 Определение масштабов, площадей, искажений углов и форм

Задание 1. Определить в заданной точке:

- 1) наибольший и наименьший масштабы длин;
- 2) масштаб площадей;
- 3) максимальное искажение углов;

4) искажение форм.

1 Определение наибольшего и наименьшего масштабов длин в точке с заданными координатами.

Измеряют длину дуги меридиана, проходящего через заданную точку между двумя соседними параллелями и дуги параллели между меридианами. С помощью таблицы длин дуг меридианов и параллелей (приложение А) определяют действительную длину этих дуг. Вычисляют частные масштабы. В числитель дроби помещают значение длины дуги на карте, в знаменатель – действительную длину; разделив числитель и знаменатель на значение числителя, получают численный частный масштаб. Подобное действие выполняют для меридиана и для параллели. Затем каждый масштаб делят на главный масштаб карты и получают величины m и n .

Для получения величин α и β (наибольшего и наименьшего масштабов длин) нужно вычислить масштаб площадей p .

2 Определение масштаба площадей:

$$p = m \cdot n \cdot \sin \theta , \quad (19)$$

где θ – угол между данными меридианом и параллелью, измеряемый с помощью транспортира.

Полученные данные m , n , и p подставляют в формулы наибольшего и наименьшего масштабов:

$$\begin{cases} a + \epsilon = \sqrt{m^2 + n^2 + 2p} \\ a - \epsilon = \sqrt{m^2 + n^2 - 2p} \end{cases} . \quad (20)$$

Решают систему уравнений.

3 Определение максимального искажения углов:

$$\frac{w}{2} = \frac{a - \varphi}{a + \varphi}. \quad (21)$$

4 Определение искажения форм:

$$K = \frac{a}{\varphi}. \quad (22)$$

Пример - Определить размеры искажений для точки А с координатами 20° с.ш. 40° з.д. (масштаб карты 1:30 000000) (рисунок 14).

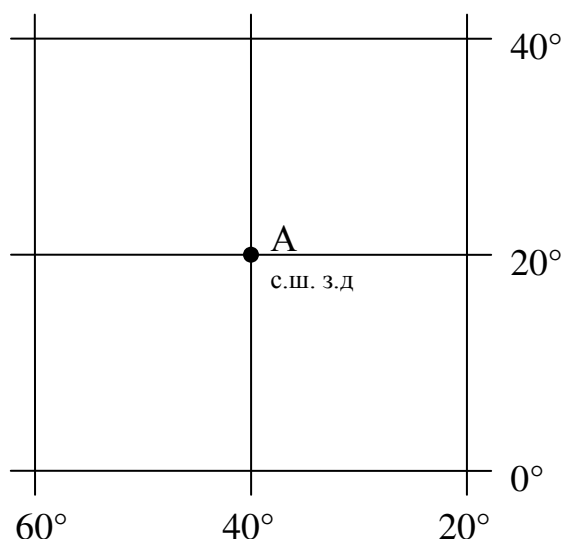


Рисунок 14 - Определение размеров искажений для точки А

Измеренная длина дуги меридиана 40°, заключенной между параллелями 0° и 40° с.ш. равна 140 мм; длина дуги параллели 20°, заключенной между меридианами 60° и 20° з.д. – 120 мм. Угол θ в точке А между меридианом 40° и параллелью 20° равен 90°. По таблица длин дуг параллелей и меридианов находят истинную длину дуги меридиана 40° от 0° с.ш. 4429607 м и длину 1° параллели 20° - 104649 м. Длина дуги параллели 20° между меридианами 60° и 20° равна 104649 м X 40 = 4185960 м.

Вычисляют частные масштабы.

$$\text{По меридиану: } \frac{140_{\text{мм}}}{4429607000_{\text{мм}}} = \frac{1}{31640050}$$

$$\text{По параллели: } \frac{129_{\text{мм}}}{4185960000_{\text{мм}}} = \frac{1}{32459302}$$

Масштабы, выраженные в долях главного:

$$\text{по меридиану: } m = \frac{1}{31640050} \div \frac{1}{30000000} = 0,95$$

$$\text{по параллели: } n = \frac{1}{32459302} \div \frac{1}{30000000} = 0,92$$

$$\text{Искажение площадей: } p = 0,95 \cdot 0,92 \cdot \sin 90^\circ = 0,95 \cdot 0,92 \cdot 1 = 0,87$$

Решая систему уравнений, определяют наибольший и наименьший масштабы:

$$\begin{cases} a + \epsilon = \sqrt{0,95^2 + 0,92^2 + 2 \cdot 0,87} \\ a - \epsilon = \sqrt{0,95^2 + 0,92^2 - 2 \cdot 0,87} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} a + \epsilon = \sqrt{0,9 + 0,85 + 1,74} \\ a - \epsilon = \sqrt{0,9 + 0,85 - 1,74} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} a + \epsilon = \sqrt{1,75 + 1,74} \\ a - \epsilon = \sqrt{1,75 - 1,74} \end{cases} \Rightarrow$$
$$\begin{cases} a + \epsilon = \sqrt{3,49} \\ a - \epsilon = \sqrt{0,01} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} a + \epsilon = 1,87 \\ a - \epsilon = 0,1 \end{cases} \quad (23)$$

$$\epsilon = 0,89; \quad a = 0,99.$$

Максимальное искажение углов:

$$\frac{w}{2} = \frac{0,99 - 0,89}{0,99 + 0,89} = \frac{0,1}{0,2} = 0,5. \quad (24)$$

Искажение форм:

$$\hat{E} = \frac{0,99}{0,89} = 1,01 \quad . \quad (25)$$

5 Картографические проекции для карт мира, России, полушарий

5.1 Общие сведения. Определение и распознавание картографических проекций

При распознавании проекции карты нужно прежде всего обратить внимание на её картографическую сетку, т.е. на вид образующих её параллелей и меридианов. Уже этого бывает достаточно для того, чтобы определить класс проекций по виду вспомогательной поверхности (цилиндрическая, коническая или азимутальная). Например, в нормальных азимутальных проекциях параллели имеют вид концентрических окружностей, а меридианы – прямые линии, исходящие из общего центра параллелей под углами, равными разности долгот.

В нормальных конических проекциях параллели могут быть дугами концентрических или эксцентрических окружностей. Чтобы определить, какими окружностями изображены параллели на данной карте, нужно измерить расстояние между смежными параллелями по перпендикуляру к ним в нескольких местах. Если эти расстояния окажутся равными, то параллели – дуги концентрических окружностей (рисунок 15).

Меридианы в нормальных конических проекциях – прямые линии, исходящие из общего центра параллелей под углами, пропорциональными разности долгот. В нормальных цилиндрических проекциях меридианы – равностоящие параллельные прямые в общем случае не равноотстоящие.

Кроме этих трёх основных классов, существует ещё ряд проекций, картографическую сетку в которых строят по заранее заданному условию. Называются они условными и делятся на псевдоазимутальные, псевдоконические и псевдоцилиндрические. В псевдоазимутальных параллели – концентрические окружности, меридианы – кривые линии, сходящиеся в точке полюса. В псевдоконических проекциях параллели – дуги

концентрических окружностей, меридианы – кривые линии, а средний меридиан – прямая, проходящая через общий центр параллелей.

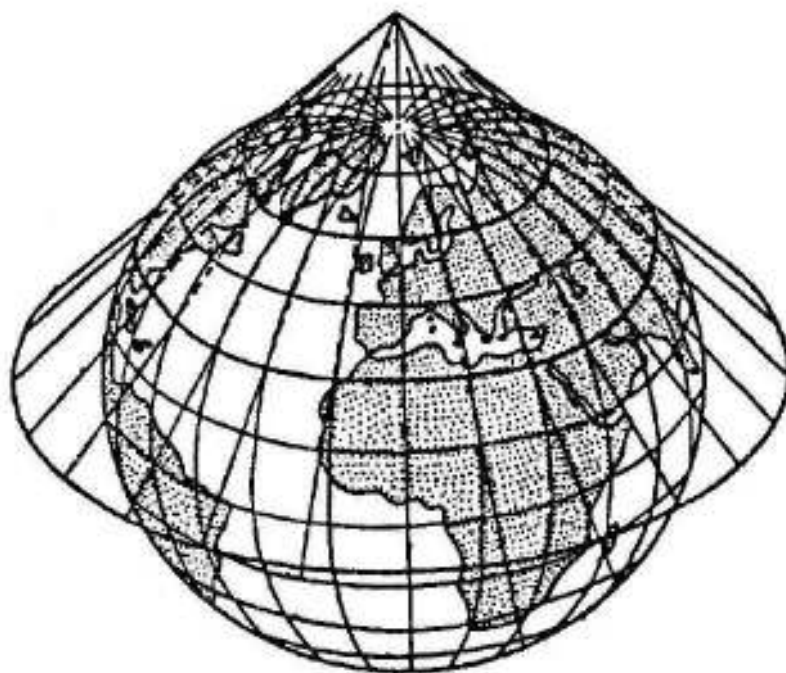


Рисунок 15 – Коническая проекция: главный масштаб сохраняется по параллелям сечения

В псевдоцилиндрических проекциях параллели – параллельные прямые, меридианы – кривые или прямые, наклонные к параллелям; средний меридиан – прямая линия, перпендикулярная к параллелям.

Кроме перечисленных, существует класс поликонических проекций (вспомогательную поверхность образуют поверхности нескольких конусов). Параллели в нормальной поликонической проекции изображаются дугами эксцентрических окружностей, а меридианы кривыми линиями; линия экватора и средний меридиан – прямые линии. В косых и поперечных проекциях любого класса средний меридиан также изображается прямой линией (рисунок 16).

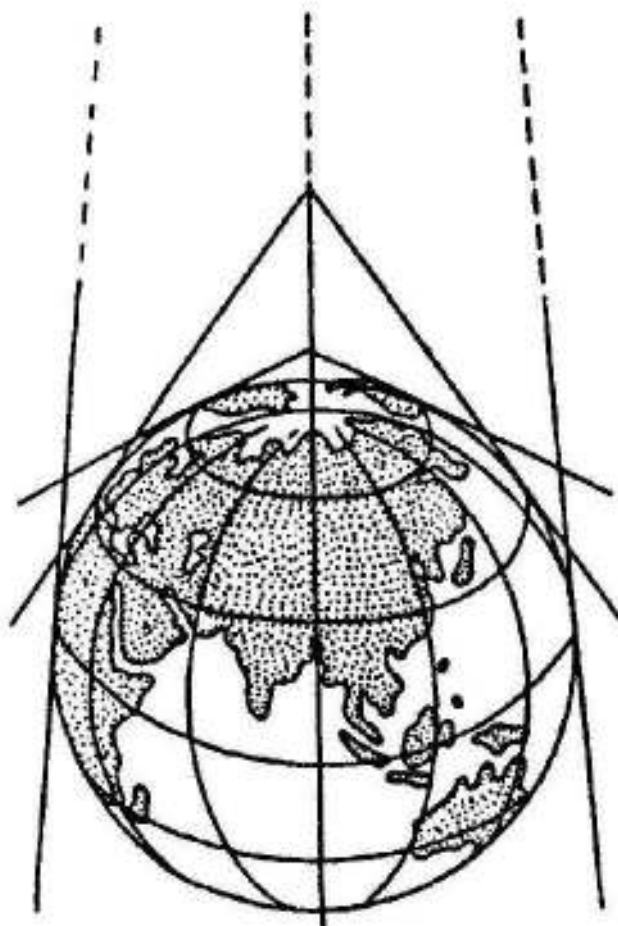


Рисунок 16 – Поликоническая проекция: главный масштаб карты сохраняется на среднем меридиане и вдоль параллелей.

Градусная сетка проектируется на несколько касательных конусов

Угол между меридианами и параллелями в нормальных цилиндрических, конических и азимутальных проекциях равен 90° , в других проекциях он, как правило, не является прямым. В случае если меридианы или параллели кривые, угол измеряется между касательными к криволинейным меридианам и параллелям в точках их пересечения.

При определении проекции необходимо учитывать, как изображаются экватор (прямая или кривая линия) и полюс (точка, дуга или прямая линия).

В равноугольных конических и цилиндрических проекциях отрезки среднего меридиана примерно от средней параллели изображаемой на карте территории возрастают в обе стороны.

В азимутальных проекциях возрастание длин отрезков идёт от центральной точки территории к окраинам. Обязательным признаком равноугольных проекций является пересечение меридианов и параллелей под прямым углом.

В равновеликих проекциях длины отрезков убывают по мере удаления от средней параллели и центральной точки.

Если радиусы параллелей на карте (в случае если они являются окружностями или их дугами) равны радиусам параллелей на глобусе, то длины линий по параллелям не искажаются – проекция, равнопромежуточная по параллелям. А определить радиус любой параллели на карте можно с помощью измерителя: подобрать такой раствор, чтобы при поворачивании ножка измерителя проходила по параллели. Радиус этой же параллели на глобусе масштаба, равного главному масштабу карты, можно вычислить по формуле:

$$p = R \cdot \cos \varphi, \quad (26)$$

где p – радиус данной параллели на глобусе, см;

R – радиус глобуса, см;

φ - широта параллели.

Например, масштаб карты – 1:100000000. Этот же масштаб имеет модель земного шара (глобус), на основании которой создавалась карта. Необходимо вычислить радиус параллели 20° на глобусе. Вычисляют радиус глобуса: $R = 637100000 \text{ см} : 100000000 \text{ см} = 6,4 \text{ см}$ (637100000 см – радиус земного шара, 100000000 см – знаменатель масштаба, 6,4 – радиус модели земного шара в заданном масштабе).

Радиус 20°-й параллели на глобусе равен:

$$P = 6,4 \text{ см} \cdot \cos 20^{\circ} = 6,4 \text{ см} \cdot 0,9 = 5,8 \text{ см}. \quad (27)$$

Если расстояния по меридиану между параллелями одинаковые, длины линий по меридианам не искажаются, проекция – равнопромежуточная по меридианам.

Если площади клеток, образованных параллелями и меридианами на одной и той же широте равны и уменьшаются от экватора к полюсам, то проекция чаще всего относится к равновеликим.

Если меридианы и параллели на карте пересекаются под прямым углом, а диагонали в клетках пересекаются на разных широтах под разными углами, причём у экватора – под прямым, такая проекция является равноугольной.

При определении проекции необходимо обратить внимание на следующие моменты:

- 1) во всех цилиндрических нормальных проекциях параллели имеют вид параллельных прямых;
- 2) у нормальных азимутальных, цилиндрических, конических проекций меридианы прямолинейные;
- 3) участки сеток нормальной конической и нормальной азимутальной проекции можно различить по величине углов между меридианами: в азимутальных проекциях углы равны разности долгот меридианов, а в конических они пропорциональны разности долгот меридианов.

На рисунках 17 - 25 приводятся основные картографические проекции. Свод признаков для определения классов, групп и видов проекций географических карт представлен в приложении Д.

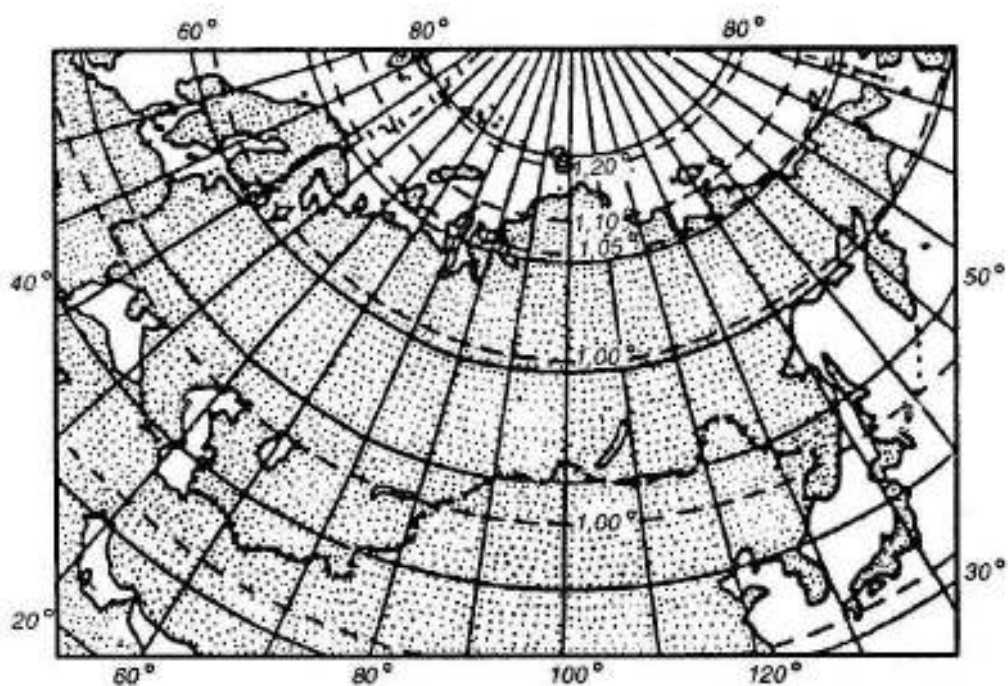


Рисунок 17 - Прямая равнопромежуточная по меридианам проекция
В.В. Каврайского: изоколы масштаба площадей (Р) и длин по параллелям

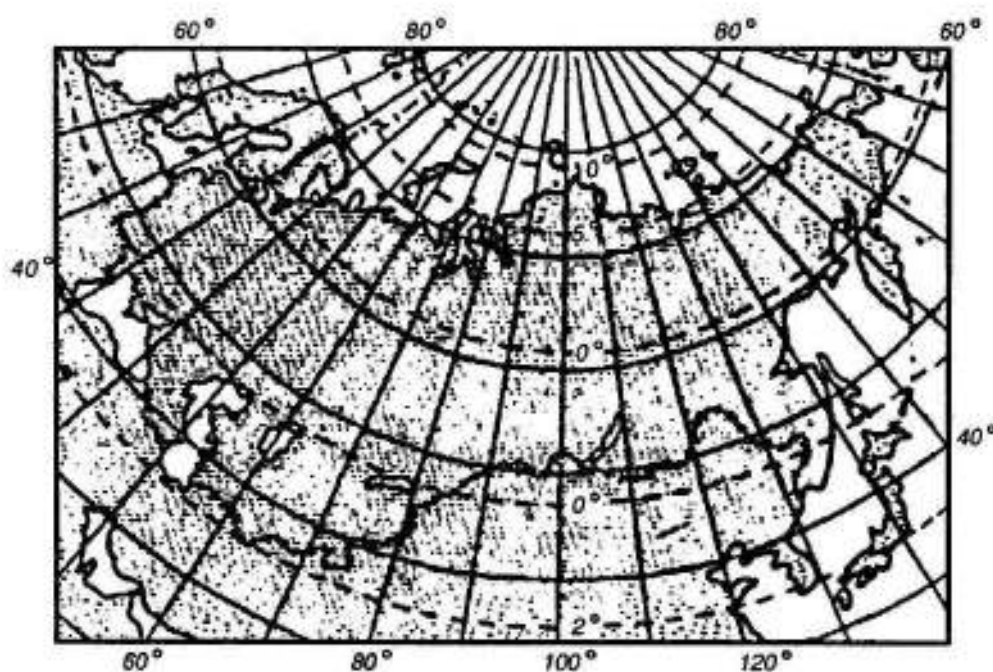


Рисунок 18 - Прямая равнопромежуточная по меридианам проекция
В.В. Каврайского: изоколы наибольших искажений углов

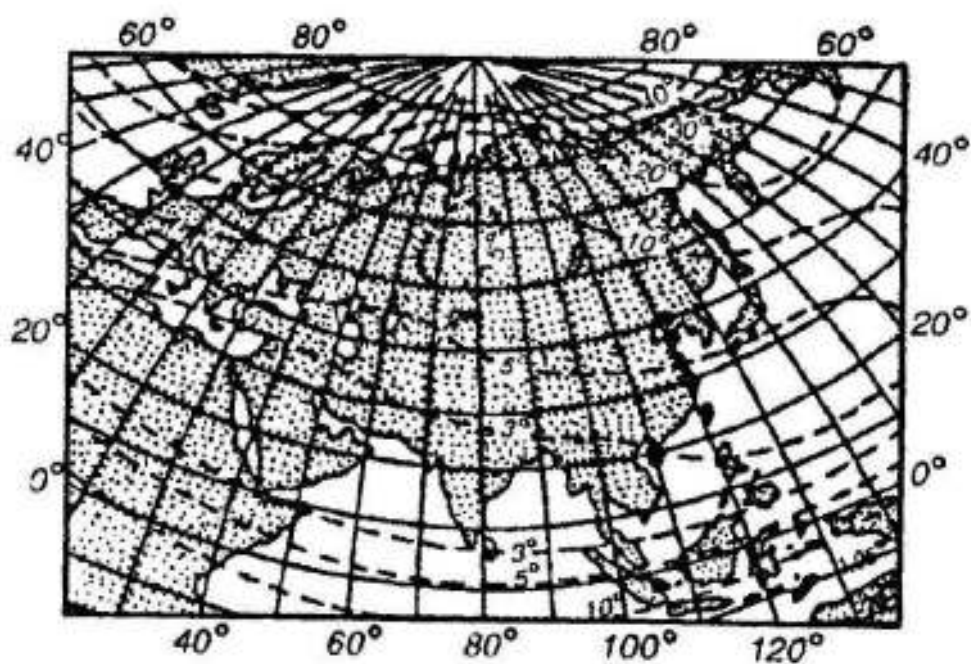


Рисунок 19 - Произвольная проекция ЦНИИГАиК:
изоколы наибольших искажений углов

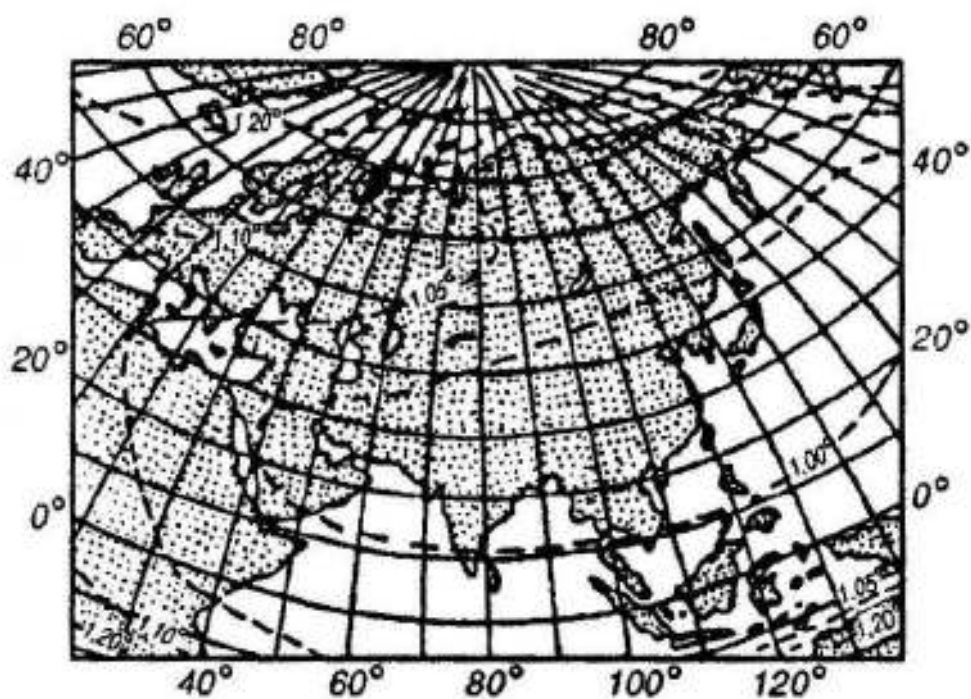


Рисунок 20 - Произвольная проекция ЦНИИГАиК:
изоколы масштаба площадей

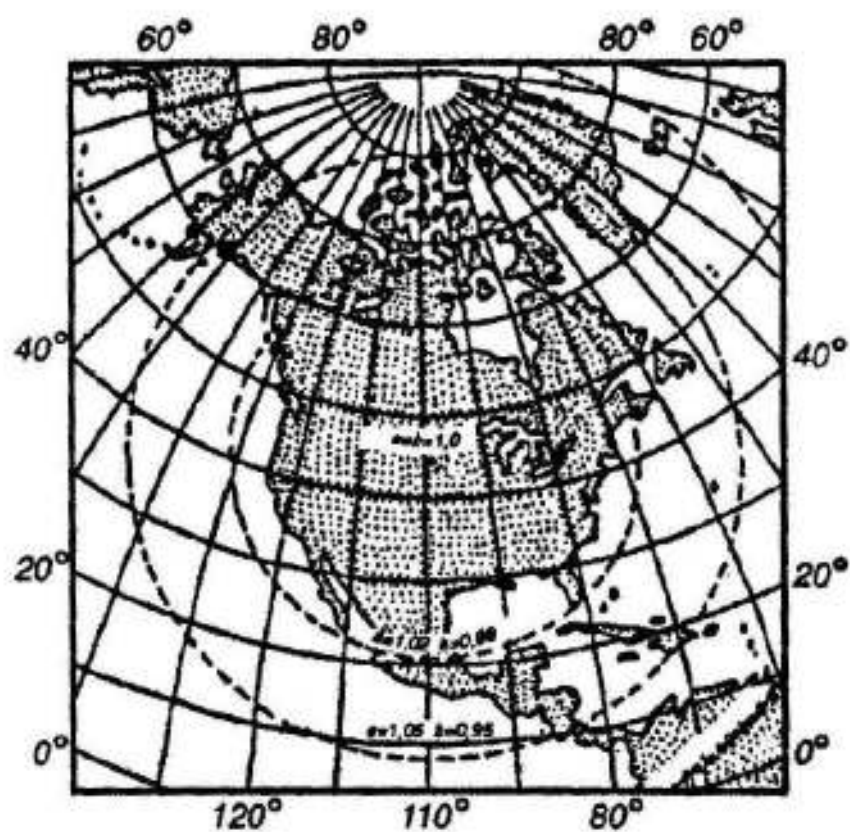


Рисунок 21 - Поперечная равновеликая азимутальная проекция:
изоколы наибольшего и наименьшего масштаба длин

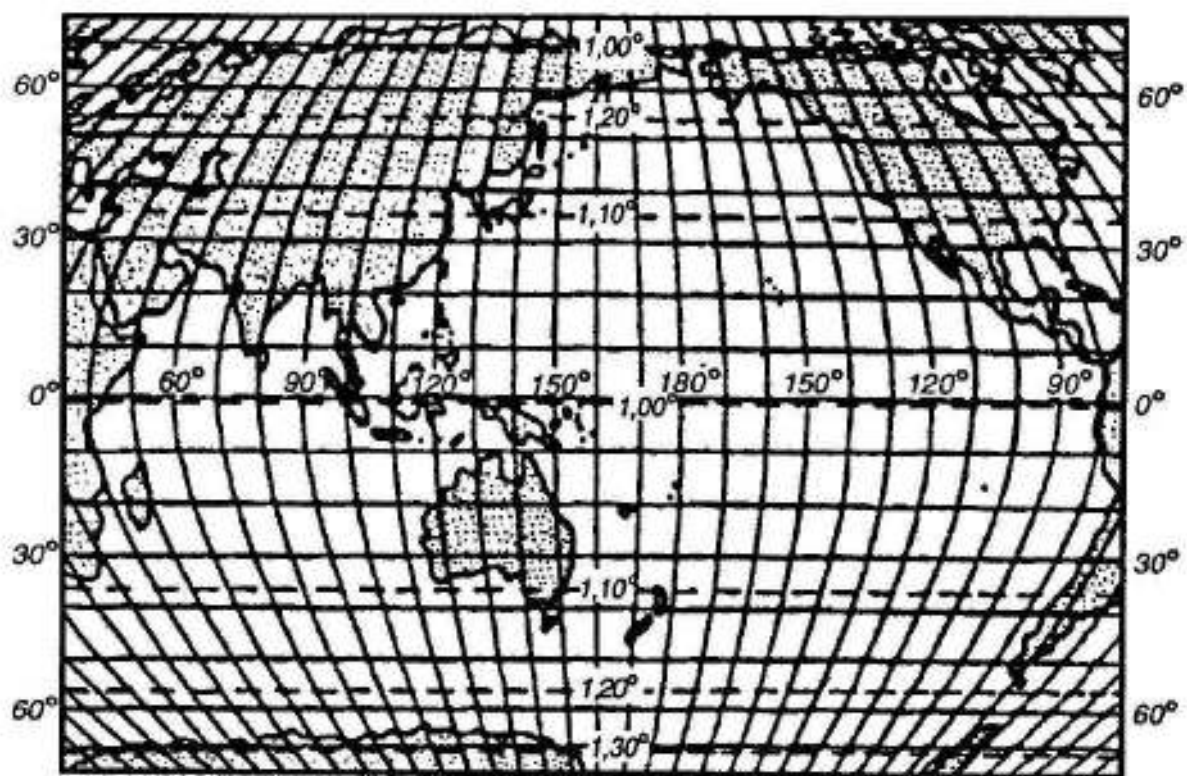


Рисунок 22 - Псевдоцилиндрическая синусоидальная проекция

Н.А. Урмаева: изоколы масштаба площадей

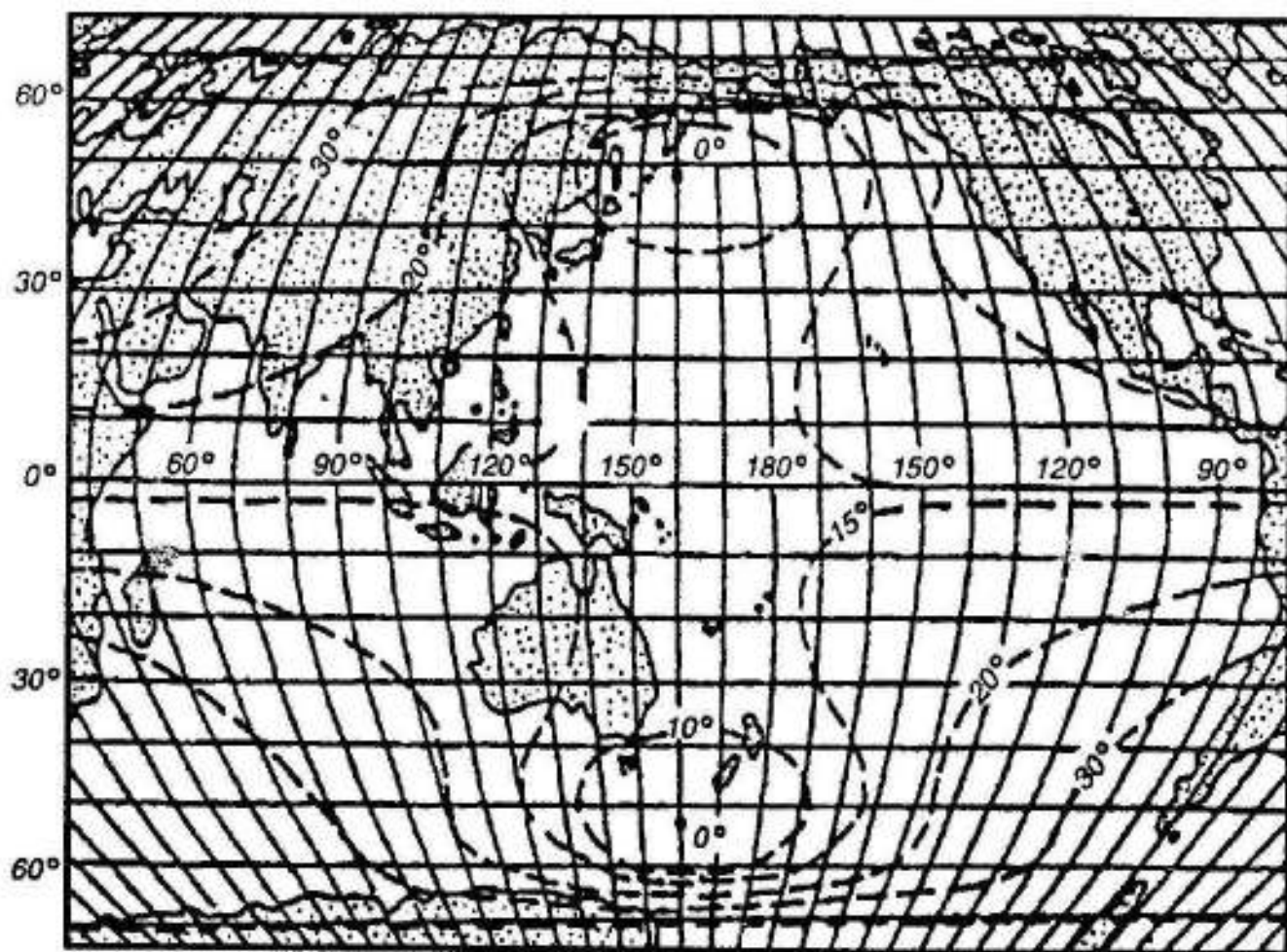


Рисунок 23 - Псевдоцилиндрическая синусоидальная проекция

Н.А. Урмаева: изоколы наибольшего искажения углов



Рисунок 24 - Поликоническая проекция ЦНИИГАиК:
изоколы масштаба площадей

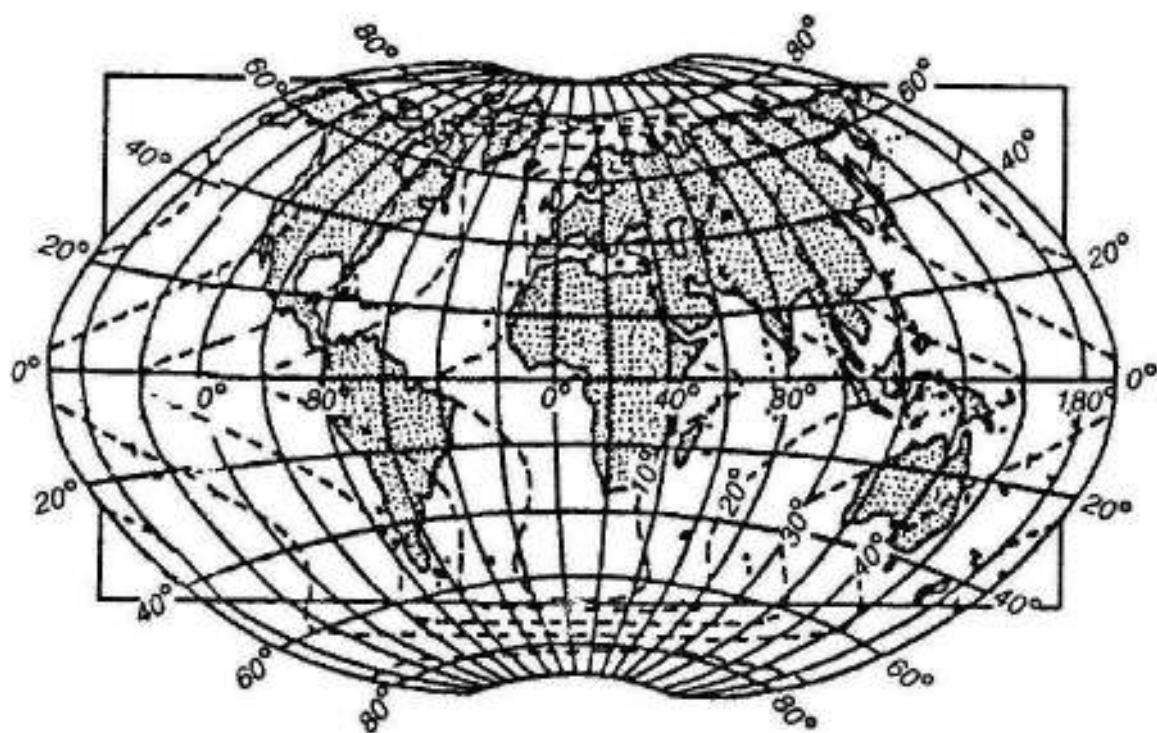


Рисунок 25 - Поликоническая проекция ЦНИИГАиК:
изоколы наибольших искажений углов

5.2 Практическое определение картографических проекций карт

Задание 1. Определить картографическую проекцию заданной карты в соответствии с вариантами таблицы 6.

Пример. Определить картографическую проекцию карты полушарий масштаба 1:100000000.

Легко установить, что средний меридиан на карте (70° в.д. и 110° з.д.) является прямой линией. Для определения формы остальных меридианов наносят на лист прозрачной бумаги, наложенный на карту, три произвольные точки какого-либо меридиана и вдоль него перемещают этот лист. Отмеченные точки при перемещении остаются на линии. Это значит, что меридианы – дуги эксцентрических или концентрических окружностей. Таким же образом определяют форму параллелей (линия экватора прямая): точки, отмеченные на листе прозрачной бумаги, при перемещении сходят с линии выбранной параллели, значит, параллели не являются дугами окружностей.

Для установления изменений длин меридианов между параллелями используют измеритель. Расстояния на среднем меридиане уменьшаются от центра к краям.

Полюс на карте изображается в виде точки, экватор – прямая.

Длины линий по меридианам и параллелям искажаются. Остаётся выявить наличие признаков искажения углов. Они есть, так как диагонали в клетках у экватора (исключая те, которые расположены у пересечения экватора со средним меридианом) пересекаются не под прямыми углами, т.е. эти клетки не квадраты.

Используя полученные данные, по таблице приложения можно определить, что карта составлена в азимутальной поперечной равновеликой проекции Ламберта.

Таблица 6 - Варианты к заданию 1

№ варианта	Карты, проекции которых нужно определить
1	Карта строения земной поверхности Евразии
2	Политическая карта мира
3	Почвенная карта мира
4	Карта растительности России
5	Физическая карта Африки
6	Карта западного полушария
7	Карта Антарктиды
8	Карта Восточно-Европейской равнины и Кавказа
9	Карта Восточного полушария
10	Политическая карта Японии

6 Построение картографических сеток

6.1 Общие сведения. Методика построения картографических сеток

Длины дуг меридианов и параллелей, необходимые для построения каждой из сеток, необходимо брать из таблицы длин дуг параллелей и меридианов на эллипсоиде Красовского. Найденные при использовании этой таблицы величины необходимо перевести в заданный масштаб, выразить в миллиметрах и округлить результат до 0,1 мм, т.е. до точности построения будущей сетки. Длины дуг меридианов (x) и параллелей (y) можно вычислить по следующим формулам:

$$x = \frac{2\pi R \cdot \Delta B}{360 \cdot M}, \quad (28)$$

$$y = \frac{2\pi R \cdot \Delta L \cdot \cos B}{360 \cdot M}, \quad (29)$$

где R – радиус Земли, принятой за шар (6371,1 км);

B – широта параллели;

ΔB и ΔL - принятая густота сетки параллелей и меридианов;

M – знаменатель масштаба.

Прежде чем строить картографическую сетку, необходимо продумать компоновку всего чертежа, определив место для самой картографической сетки, для заголовка и т.д. Всё это должно быть рассчитано с учётом размеров отдельных компонентов чертежа.

Картографическая сетка должна строиться на листе ватмана формата A_4 . Наносимые на линию точки должны не сильно, но чётко фиксироваться наколом на оси самой линии, а не у её края. При проведении линии через две точки необходимо, чтобы её ось проходила через центры этих точек.

В некоторых сетках оба полюса или один из них находятся в пределах чертежа и изображаются точкой. В этом случае все меридианы сходятся в этой точке, что создаёт трудности в аккуратном исполнении чертежа. Чтобы избежать их, рекомендуется недалеко от точки полюса провести еле заметную дугообразную ограничительную линию (примерно по параллели $86-87^0$), до которой и следует проводить все меридианы.

Когда сетка построена и проведена внутренняя рамка (или крайние параллели и меридианы), необходимо на некотором от неё расстоянии (примерно 5 мм) и параллельно ей провести более толстую линию внешней рамки, а между этими двумя рамками подписать широты параллелей и долготы меридианов. Если параллели или меридианы не выходят к рамке, то их оцифровка осуществляется внутри чертежа сетки.

6.2 Методические указания к заданиям по построению картографических сеток

Задание 1. Построить картографическую сетку для карты мира в квадратной цилиндрической проекции в главном масштабе, указанном в одном из вариантов таблицы 7, приняв густоту сетки 20^0 по широте и долготе. Долготу

среднего меридиана и полосу повторного изображения установить самостоятельно.

Методические указания. Эта картографическая проекция является нормальной цилиндрической равнопромежуточной по меридианам. Поэтому картографическая сетка в ней представлена прямыми параллельными друг другу меридианами и им перпендикулярными прямыми параллелями. При этом расстояния между соседними меридианами везде одинаковы и равны действительным длинам дуг экватора между теми же меридианами, уменьшенным в масштаб карты. Расстояния между соседними параллелями определяются сохранением масштаба по всем меридианам ($m = 1$) и равны действительным длинам дуг меридианов между этими параллелями, уменьшенным в масштабе карты.

Для построения заданной картографической сетки прежде всего на листе бумаги проводятся две взаимно перпендикулярные прямые, одна из которых (параллельная длинной стороне листа) представит экватор, а другая – средний меридиан. Чтобы на экваторе получить точки, через которые пройдут остальные меридианы, следует по этой прямой отложить от среднего меридиана к востоку и к западу отрезки, равные длинам дуг экватора в 20^0 , 40^0 , 60^0 и т.д., уменьшенным в заданном масштабе. Для получения точек на среднем меридиане, через которые должны пройти параллели, откладываются по нему отрезки, равные длинам дуг меридиана от экватора до параллели 20^0 , до параллели 40^0 и т.д. Эти дуги экватора и меридиана можно найти из таблицы дуг параллелей и меридианов приложения 2, причём $B=0^0$, поэтому $\cos B=1$ и, следовательно, $y=x$.

При выполнении работы необходимо воспользоваться опорным прямоугольником. Для его построения вначале намечают точку центра будущего чертежа сетки. Через эту точку и через ближайшие углы листа проводят две прямые линии (рисунок 26). От точки их пересечения по всем четырём образовавшимся линиям откладывают равные расстояния. Соединив попарно полученные четыре точки, получают опорный прямоугольник с точно

прямыми углами и точно параллельными противоположными сторонами. Его размер должен быть таким, чтобы будущий чертёж сетки оказался внутри него. Откладывая от соседних углов опорного прямоугольника по противоположащим его сторонам равные расстояния, можно строить линии, параллельные двум другим его сторонам.

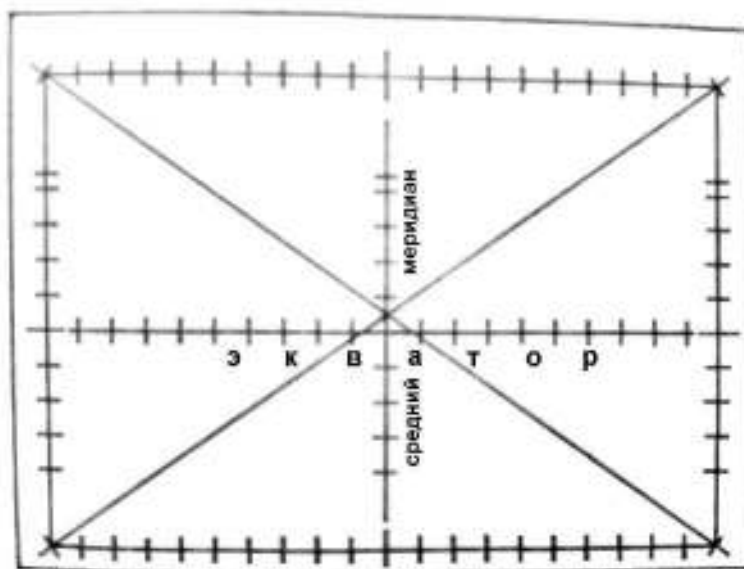


Рисунок 26 - Опорный прямоугольник на листе бумаги. С его помощью построены экватор и средний меридиан в квадратной проекции.

Для построения остальных меридианов и параллелей на них, а также на сторонах прямоугольника отложены расстояния, равные длинам соответствующих дуг

Таким образом можно точно под прямым углом друг к другу провести экватор и средний меридиан в квадратной проекции. Затем, откладывая нужные расстояния, можно построить все остальные параллели и меридианы.

Задание 2. Построить картографическую сетку для карты северного полушария в нормальной азимутальной проекции Постеля в главном масштабе в соответствии с вариантами, приведёнными в таблице 7.

Методические указания. Эта проекция является равнопромежуточной по меридианам. Поэтому для построения в ней параллелей из точки, намеченной

на бумаге как центр чертежа сетки, следует провести концентрические окружности радиусами, равными длинам дуг меридиана от полюса до каждой из параллелей (75^0 , 60^0 с.ш. и т.д.) и до экватора, уменьшенным в заданном масштабе. Длины дуг меридиана (радиусы параллелей p) можно найти из таблицы длин дуг параллелей и меридианов, либо вычислить по формуле:

$$p = 2\pi R \frac{90^\circ - B}{360 \cdot M} \quad . \quad (30)$$

Построенные таким образом окружности и представят параллели и экватор.

Для построения меридианов вначале в пределах уже полученного изображения параллелей провести два строго взаимно перпендикулярных диаметра. Эти два диаметра представят четыре меридиана с разностью долгот каждой соседней пары 90^0 .

Контролем правильности построения служит равенство всех четырёх хорд, стягивающих 90-градусные дуги экватора между каждой парой соседних меридианов. Для получения остальных меридианов в пределах каждой из четырёх образовавшихся четвертей с помощью транспортира необходимо построить ещё пять радиусов через 15^0 один от другого. Все дуги экватора между построенными меридианами должны быть равными друг другу. Выявленные неточности необходимо устранить.

Задание 3. Построить картографическую сетку для карты восточного или западного полушария в глобулярной проекции в главном масштабе, приняв густоту сетки 15^0 по широте и долготе в соответствии с вариантами таблицы 7.

Методические указания. Из точки, намеченной на бумаге как центр чертежа сетки необходимо построить окружность радиусом, равным длине дуги меридиана от экватора до полюса. Длину такой дуги можно взять из таблицы длин дуг параллелей и меридианов на эллипсоиде Красовского либо вычислить по формуле.

В этой окружности необходимо провести два строго взаимно перпендикулярных диаметра, один из которых представит экватор, а другой – средний меридиан карты полушария. Точки пересечения этого меридиана с окружностью станут изображением полюсов. Они разделят окружность на две полуокружности, которые представят два крайних меридиана полушария.

Для построения остальных меридианов необходимо весь экватор разделить на 12 равных частей. Расстояние между каждой парой полученных точек должно быть равно 15-градусной дуге экватора, что необходимо проверить. Через каждую из этих точек и две точки полюсов необходимо циркулем провести дуги окружностей. Они и представят остальные меридианы полушария. Центры меридианов лежат на экваторе и его продолжении (рисунок 27).

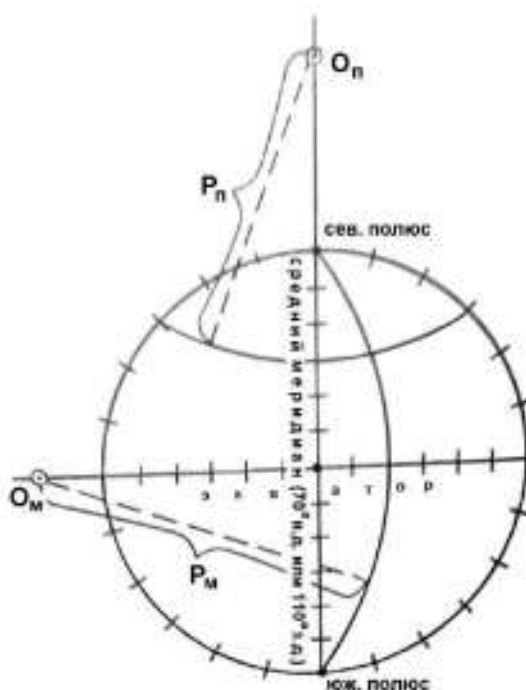


Рисунок 27 - В окружности полушария в глобулярной проекции проведены экватор и средний меридиан. Они, а также крайние меридианы разделены на 12 частей каждый. Для примера построены один меридиан 90 градусов и одна параллель 45 градусов. Их центры и радиусы найдены путем подбора.

Для построения параллелей необходимо средний меридиан и два крайних меридиана также разделить на 12 равных частей каждый. Через первые от полюса три точки – одна на среднем, а две другие на крайних меридианах – следует циркулем, как дугу окружности, провести параллель 75^0 широты около южного и северного полюсов, через следующие три точки – таким же образом параллель 60^0 широты и т.д. Центры всех параллелей лежат на продолжениях среднего меридиана за полюсами. Меридианы, близкие к среднему, и параллели, близкие к экватору, имеют большие радиусы, и их необходимо строить циркулем.

Таблица 7 - Варианты к заданиям 1 – 3

№ варианта	К заданию 1 для карты мира	К заданию 2 для карты северного полушария	К заданию 3 для карты восточного или западного полушария
1	1 : 205000000	1: 110000000	1: 200000000
2	1: 210000000	1: 200000000	1: 115000000
3	1: 215000000	1: 195000000	1: 120000000
4	1: 220000000	1: 190000000	1: 125000000
5	1: 225000000	1: 185000000	1: 130000000
6	1: 230000000	1: 180000000	1: 135000000
7	1: 235000000	1: 175000000	1: 140000000
8	1: 240000000	1: 170000000	1: 145000000
9	1: 245000000	1: 165000000	1: 150000000
10	1: 250000000	1: 160000000	1: 155000000

7 Картографическая генерализация

7.1 Оптическая и графическая генерализация

На ограниченном листе бумаги можно разместить всё то, что есть на земной поверхности возможно двумя путями: с помощью оптической или графической генерализации.

Оптическая генерализация – это снимки, выполненные с больших высот – космические снимки. Автоматически обеспечивают оптическую генерализацию. Такая генерализация подчиняется физическим законам: происходит упрощение форм, обобщение тонов и цветов, линейные границы и контуры упрощаются и спрямляются, размытые становятся контрастными. Наряду с этим, оптическая генерализация объективна: если выполнить 2 снимка с разных высот, то детализация меняется.

Графическая картографическая генерализация заключается в отборе и обобщении изображаемых на карте объектов соответственно назначению, масштабу карты и особенностям картографируемой территории.

Суть генерализации заключается в устранении избыточной информации:

- 1) отвлечение от целого для исследования частного, например: мир – страна, страна – область, область – район;
- 2) упрощение;
- 3) обобщение с выделением признаков и свойств.

На то, как отбирать и обобщать картографическую информацию, указывают факторы генерализации. Выделяют 5 факторов генерализации:

- 1) назначение;
- 2) масштаб;
- 3) особенности картографируемой территории;
- 4) тематика;
- 5) источники.

Рассмотрим каждый из факторов.

Назначение, т.е. для каких целей выполнена карта. По назначению можно выделить учебные и справочные карты. Например, учебная карта России для средней школы и справочная общегеографическая карта России. На учебной карте сведения согласуются с учебником, на справочной – нет, т.е. зависит детальность нагрузки.

Масштаб. Рассмотрим 3 карты: карта России учебная, карта России общегеографическая, карта Оренбургской области. На карте России дороги

показаны только государственного значения, на карте области – государственные и областные. Нанесение областных дорог на карту России является балластом.

Особенности картографируемой территории. Изображение гидрографии на картах. В пустынных областях на картах изображают даже пересыхающие реки, в увлажнённых районах показаны даже не все реки, а пересыхающие вообще нет.

Тематика. Рассмотрим 2 карты: физическую карту России и общегеографическую карту России. На физической карте основой содержания являются гидрография и рельеф. На общегеографической карте все 7 элементов равнозначны. На общегеографической карте пути сообщения есть, на физической их нет.

Источники. Степень генерализации зависит от исходного картографического материала, полноты и подробности изображения элементов содержания.

7.2 Виды генерализации. Ценз и нормы отбора

Отбор объектов или элементов картографического изображения либо с помощью цензов либо с помощью норм. Отбор – это ограничение содержания карты необходимыми явлениями и объектами и исключение прочих. Ценз – это граница отбора объектов, т.е. предел для показа объектов. Ценз – это редакционное указание составителю. Например, дать реки больше 1 см в масштабе карты – избирательный ценз. Исключить реки меньше одного см – исключаящий ценз. Норма – это количество сохраняемых объектов в данном районе. Например, показать 15 населённых пунктов на 1 дм²; показать 10 рек на 1 дм². Нормы по всей территории районированы. Создаётся схема районирования, а затем для каждого района выбирается либо ценз, либо норма. Лучше ценз.

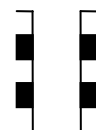
Обобщение количественной характеристики. Переход от непрерывной шкалы к ступенчатой и далее укрупнение ступеней. Например: изображение населённых пунктов.

Обобщение качественной характеристики. Проводят с целью сокращения числа качественных различий. Например: типы поселений – города, ПГТ, посёлки сельского типа. В зависимости от этого зависит политико-административное деление территории и его изображение на карте.

Обобщение очертаний. Например: реки на школьной карте России и на общегеографической карте. На общегеографической карте реки меньше по ширине, но больше притоков. На школьной карте реки больше по ширине, но меньше притоков.

Переход от простых объектов к более сложным собирательным обозначениям. Например: изображение населённых пунктов:

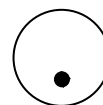
1) топокарта – изображены улицы с домами;



2) обзорные карты – изображены кварталы;



3) общегеографические карты – пунсон.



Все эти виды генерализации всегда выступают вместе, отдельно не существуют.

Обобщение приводит к противоречию между геометрической точностью положения объектов и требованиями географического соответствия.

Например: населённый пункт, расположенный на берегу реки. На карте река занимает больше места, чем в действительности. Пунсон изображения населённого пункта должен быть изображён на реке, а он находится на берегу –

это географическое соответствие. Для мелкомасштабных карт это считается важнее.

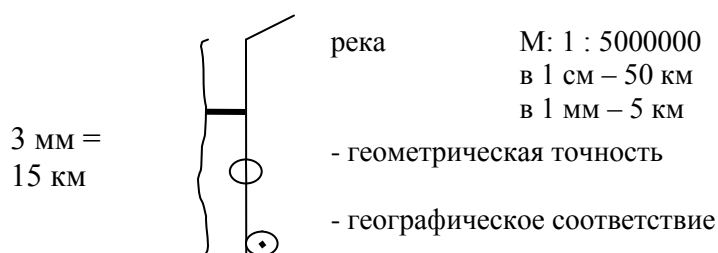


Рисунок 28 - Геометрическая точность и географическое соответствие объектов

Геометрическая точность – определяет соответствие местоположения точек на карте их местоположению в действительности на своём месте, в своих очертаниях и размерах в масштабе карты.

Географическое соответствие – устанавливает передачу действительности в её главных типичных чертах отображения пространственных взаимосвязей явлений и сохранение их географической специфики.

Таким образом, учитывать генерализацию необходимо для правильной оценки географической карты и для её использования, т.е. для получения верного представления о территории.

8 Описание местности по топографической карте

8.1 Общие сведения. Чтение топографической карты

Чтение карты – мысленное представление как выглядит в действительности изображаемый участок местности.

Читать карту помогают условные знаки, специально применяемые для отображения объектов местности, их качественных и количественных характеристик. Все условные знаки делятся на графические и пояснительные.

Среди графических выделяют площадные (масштабные), внемасштабные и линейные условные знаки.

Площадные условные знаки применяют для изображения объектов, площадь которых выражается в масштабе карты. Каждый такой знак состоит из контура – плавного очертания объекта, который проводится на карте сплошной линией (например, контур озера) или точечным контуром (лес, кустарник), - и заполняющего контур пояснительного обозначения в виде окраски (лес), цветной штриховки (болото) или сети значков (кустарник).

Внемасштабными условными знаками изображаются объекты, которые из-за своих незначительных размеров не могут быть выражены в масштабе карты (отдельные деревья, колодцы, мосты, геодезические пункты и др.).

Положение центра таких объектов на местности соответствует главной точке условного знака. У знаков правильной геометрической формы эта точка находится в центре, у знаков с широким основанием – посередине основания, у знаков в основании с прямым углом – в вершине угла, у знаков, представляющих собой сочетание нескольких фигур, - в центре нижней фигуры. Этими главными точками нужно пользоваться при измерениях по карте расстояний между объектами, определении координат.

С помощью линейных условных знаков изображают объекты линейного протяжения (река, дороги, граница). Длина их выражается в масштабе, а ширина нередко показывается с некоторым преувеличением. Положению объекта на местности соответствует ось линейного условного знака.

Пояснительные условные знаки служат для дополнительной характеристики предметов местности. К ним относятся:

1) значковые, характеризующие сущность объекта. Например, рисунок дерева в контуре леса указывает на преобладание лиственных или хвойных пород и др.;

2) буквенные пояснительные условные знаки используются для качественной характеристики объектов или для показа их разновидностей, располагаются возле условных знаков. Это сокращённые подписи,

Приложение Д

(справочное)

Таблицы для определения проекций

Таблица Д.1 – Определение проекций мировых карт

Какими линиями изображаются		Как изменяется длина дуги среднего меридиана между соседними параллелями при удалении от экватора	Во сколько раз длина дуги среднего меридиана между экватором и параллелью 20° меньше длины такой же длины дуги меридиана с долготой 180°	Сколько градусов дуги 80-й параллели захватывает 60-градусная дуга экватора (от среднего меридиана)	Название проекции
Меридианы	Параллели				
1	2	3	4	5	6
Прямыми	Прямыми	Между параллелями 60 и 80° в 3 раза больше, чем между экватором и параллелью	Эти дуги равны	60° (эти дуги равны)	Нормальная равноугольная цилиндрическая проекция Меркатора
Прямыми	Прямыми	Между параллелями 60 и 80° в 1,8 раза больше, чем между экватором и параллелью	То же	То же	Нормальная произвольная цилиндрическая проекция Урмаева
Кривыми	Прямыми	Между параллелями 60 и 80° в 1,3 раза больше, чем между экватором и параллелью	Эти дуги почти равны	Примерно 88°	Произвольная псевдоцилиндрическая проекция ЦНИИГАиК

Продолжение таблицы Д.1

1	2	3	4	5	6
Кривыми	Дугами эксцентрических окружностей	Сохраняются равными	Примерно в 1,5 раза	Примерно 117°	Произвольная поликоническая проекция ЦНИИГАиК. Вариант 1950
Кривыми	Дугами эксцентрических окружностей	Между параллелями 60 и 80° в 1, 2 раза больше, чем между экватором и параллелью 20°	Почти в 1,4 раза	Примерно 121°	Произвольная поликоническая проекция ЦНИИГАиК. Вариант БСЭ

Таблица Д.2 – Определение проекций материков Евразии, северной Америки, Южной Америки, Африки и Австралии

Какими линиями изображаются параллели	Как изменяется длина дуги среднего меридиана между соседними параллелями от центра материка к северу и к югу	Как изменяется длина дуги средней параллели между соседними меридианами при удалении от среднего меридиана	Как изменяется расстояние между соседними параллелями при удалении от среднего меридиана	Какой линией изображается экватор	Название проекции
1	2	3	4	5	6
Кривыми, увеличивающими кривизну при удалении от среднего меридиана	Уменьшается	Уменьшается	Увеличивается	Кривой	Косая равновеликая азимутальная проекция Ламберта

Продолжение таблицы Д.2

1	2	3	4	5	6
				Прямой	Поперечная равновеликая азимутальная проекция Ламберта
Кривыми, близкими к дугам окружностей	То же	К западу увеличивается, к востоку изменяется мало. Картографическая сетка несимметрична относительно среднего меридиана	Изменяется мало и по-разному в разных точках карты	Кривой	Условная произвольная проекция ЦНИИГиК (для Евразии)
Дугами окружностей	Не изменяется	Не изменяется	Не изменяется	Дугой окружности	Равновеликая псевдоконическая проекция Бонна
Прямыми	То же	То же	То же	Прямой	Равновеликая псевдоцилиндрическая проекция Сансона

Таблица Д.3 – Определение проекций карт полушарий

Какими линиями изображаются параллели	Как изменяются длины дуг среднего меридиана между соседними параллелями и экватора между соседними меридианами при удалении от центра полушария к его краям	Название проекции
Восточное и западное полушария		
Кривыми, с нарастающей выпуклостью от экватора	Уменьшаются до 1,4 раза	Поперечная равновеликая азимутальная проекция Ламберта
	Не изменяются	Поперечная равнопромежуточная азимутальная проекция Постеля
Дугами окружностей	-	Условная произвольная шаровая (глобулярная) проекция
	Увеличиваются до двух раз	Поперечная равноугольная стереографическая азимутальная проекция
Прямыми	Уменьшаются до 6...12 раз	Поперечная равнопромежуточная ортографическая азимутальная проекция
Северное и южное полушарие		
Полными концентрическими окружностями	Равны	Нормальная равнопромежуточная азимутальная проекция Постеля

Таблица Д.4 – Определение проекций карт СНГ

Какими линиями изображаются		Как изменяется длина дуги среднего меридиана между соседними параллелями при удалении от центра к северу и югу	Как изменяется длина дуги средней параллели между соседними меридианами при удалении от среднего меридиана к востоку и западу	Особые признаки	Название проекции
Меридианы	Параллели	Не изменяется	Не изменяется	Угол между меридианами, имеющими разность долгот 90° , составляет около 73°	Нормальная равнопромежуточная коническая проекция Каврайского
				Угол между меридианами, имеющими разность долгот 90° , составляет около $76,5^\circ$	Нормальная произвольная коническая проекция Красовского
Кривыми	Кривыми	К северу увеличивается, к югу уменьшается немного; при этом между параллелью 80° и полюсом в 1,3 раза больше, чем между параллелями 50 и 60°	Постепенно увеличивается к востоку и западу одинаково	-	Косая произвольная цилиндрическая проекция Соловьева для начальной школы
То же	То же	Немного увеличивается: между параллелью 80° и полюсом, а также между параллелями 40 и 50° в 1,1 раза больше, чем между параллелями 60 и 70°	Сначала увеличивается, потом немного уменьшается	Средний меридиан 100°	

Приложение Е

(справочное)

Таблица Е.1 - Длины дуг и меридианов на эллипсоиде Красовского

Широта, градус	Расстояние от экватора, м	Длины дуги параллели в 1°, м	Широта	Длина дуги меридиана в 1°, м
0	-	111321	0°	-
1	110576	111305	0-1	110576
2	221153	111254	1-2	110577
3	331732	111170	2-3	110579
4	442312	111052	3-4	110580
5	552895	110901	4-5	110583
6	663482	110716	5-6	110587
7	774072	110497	6-7	110590
8	884668	110245	7-8	110596
9	995268	109960	8-9	110600
10	1 105875	109641	9-10	110607
11	1 216488	109289	10-11	110613
12	1 327108	108904	11-12	110620
13	1 437737	108487	12-13	110629
14	1 548373	108036	13-14	110636
15	1 659019	107552	14-15	110646
16	1 769675	107036	15-16	110656
17	1 880341	106488	16-17	110666
18	1 881017	105907	17-18	110676
19	2 101706	105294	18-19	110689
20	2 212406	104649	19-20	110700

Продолжение таблицы Е.1

Широта, градус	Расстояние от экватора, м	Длины дуги параллели в 1°, м	Широта	Длина дуги меридиана в 1°, м
21	2 323118	103972	20-21	110712
22	2 433844	103264	21-22	110726
23	2 544583	102524	22-23	110739
24	2 655336	101753	23-24	110753
25	2 766103	100952	24-25	110767
26	2 876886	110119	25-26	110783
27	2 987683	99257	26-27	110797
28	3 098497	98364	27-28	110814
29	3 209326	97441	28-29	110829
30	3 320172	96488	20-30	110846
31	3 431035	95506	30-31	110863
32	3 541915	94495	31-32	110880
33	3 652813	93455	32-33	110898
34	3 763728	92386	33-34	110915
35	3 874662	91290	34-35	110934
36	3 985613	90615	35-36	110951
37	4 096584	89013	36-37	110971
38	4 207573	87834	37-38	110989
39	4 318580	86628	38-39	111007
40	4 429607	85395	39-40	111027
41	4 540654	84137	40-41	111047
42	4 651719	82852	41-42	111065
43	4 762804	81542	42-43	111085
44	4 873908	80208	43-44	111104
45	4 985032	78848	44-45	111124

Продолжение таблицы Е.1

Широта, градус	Расстояние от экватора, м	Длины дуги параллели в 1°, м	Широта	Длина дуги меридиана в 1°, м
46	5 096176	77465	45-46	111144
47	5 207339	76057	46-47	111163
48	5 318521	74627	47-48	111182
49	5 429723	73173	48-49	111202
50	5 540944	71697	49-50	111221
51	5 652185	70199	50-51	111241
52	5 763445	68679	51-52	111260
53	5 874723	67138	52-53	111278
54	5 986021	65577	53-54	111298
55	6 097337	63995	54-55	111316
56	5 208672	62394	55-56	111335
57	6 320025	60773	56-57	111353
58	6 431395	59134	57-58	111370
59	6 542783	57476	58-59	111388
60	6 654189	55801	59-60	111406
61	6 765612	54108	60-61	111423
62	6 877051	52399	61-62	111439
63	6 988506	50674	62-63	111455
64	7 099978	48933	63-64	111472
65	7 211465	47176	64-65	111487
66	7322967	45405	65-66	111502
67	7 434483	43621	66-67	111516
68	7 546014	41822	67-68	111531
69	7 657558	40011	68-69	111544
70	7 769116	38177	69-70	111558

Продолжение таблицы Е.1

Широта, градус	Расстояние от экватора, м	Длины дуги параллели в 1°, м	Широта	Длина дуги меридиана в 1°, м
71	7 760686	36352	70-71	111570
72	7 992268	34505	71-72	111582
73	8 103862	32674	72-73	111594
74	8 215467	30780	73-74	111605
75	8 327082	28902	74-75	111615
76	8 438707	27016	75-76	111625
77	6 550341	25122	76-77	111634
78	8 661984	23219	77-78	111643
79	8 773635	21310	78-79	111651
80	8 885293	19394	79-80	111658
81	8 996958	17472	80-81	111665
82	9 108629	15544	81-82	111671
83	9 220306	13612	82-83	111677
84	9 331987	11675	83-84	111681
85	9 443673	9735	84-85	111686
86	9 555362	7791	85-86	111689
87	9 667053	5846	86-87	111691
88	9 778747	3898	87-88	111694
89	9 890442	1949	88-89	111695
90	10 002137	0000	89-90	111695