

Новосибирский учебно-методический центр по ГИС и ДЗ

Лебедева О.А.

КАРТОГРАФИЧЕСКИЕ ПРОЕЦИИ

Методическое пособие



Новосибирск
2000

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
ПОНЯТИЕ ОБ ОТОБРАЖЕНИИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ПЛОСКОСТИ	6
ПОНЯТИЕ О КАРТОГРАФИЧЕСКОЙ ПРОЕКЦИИ	8
ПОНЯТИЕ О КАРТОГРАФИЧЕСКОЙ СЕТКЕ	10
СИСТЕМЫ КООРДИНАТ	11
СФЕРИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ СИСТЕМА КООРДИНАТ.	11
ПРЯМОУГОЛЬНАЯ СИСТЕМА КООРДИНАТ.	12
СИСТЕМЫ ОТСЧЕТА	12
ПОНЯТИЕ О МАСШТАБАХ	13
ЭЛЛИПС ИСКАЖЕНИЙ	14
СТАНДАРТНЫЕ ПАРАЛЛЕЛИ	15
СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ ПРОЕКЦИЙ	16
ГЕОМЕТРИЧЕСКИЙ.....	16
АНАЛИТИЧЕСКИЙ.....	18
КЛАССИФИКАЦИЯ КАРТОГРАФИЧЕСКИХ ПРОЕКЦИЙ	18
ПО ХАРАКТЕРУ ИСКАЖЕНИЯ	18
ПО ВИДУ МЕРИДИАНОВ И ПАРАЛЛЕЛЕЙ НОРМАЛЬНОЙ СЕТКИ.....	19
ПО ПОЛОЖЕНИЮ ПОЛЮСА НОРМАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КООРДИНАТ	22
ПО СПОСОБУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ.....	23
КАРТОГРАФИЧЕСКИЕ ПРОЕКЦИИ	23
<i>РАВНОУГОЛЬНЫЕ ПОПЕРЕЧНО-ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ ПРОЕКЦИИ</i>	23
<i>UTM (UNIVERSAL TRANSVERSE MERCATOR) – универсальная поперечная проекция Меркатора.</i>	23
<i>ПРОЕКЦИЯ ГАУССА-КРЮГЕРА – равноугольная поперечная цилиндрическая</i>	24
<i>КОНИЧЕСКИЕ ПРОЕКЦИИ</i>	26
EQUIDISTANT CONIC – коническая равнопромежуточная.....	26
LAMBERT CONFORMAL CONIC – коническая равноугольная Ламберта.....	26
ALBERS EQUAL-AREA CONIC – коническая равновеликая Альберса	27
<i>АЗИМУТАЛЬНЫЕ ПРОЕКЦИИ</i>	28
AZIMUTHAL EQUAL-AREA – азимутальная равновеликая проекция.	28
AZIMUTHAL EQUIDISTANT – азимутальная равнопромежуточная.	29
(Проекция Постеля)	29
STEREOGRAPHIC – равноугольная азимутальная (стереографическая).	29
<i>ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ ПРОЕКЦИИ</i>	30
CYLINDRICAL EQUAL-AREA – цилиндрическая равновеликая проекция.....	30
EQUIDISTANT CYLINDRICAL– равнопромежуточная цилиндрическая проекция.....	31
а) Простая цилиндрическая проекция	31
б) Прямоугольная цилиндрическая проекция.....	31
CONFORMAL CYLINDRICAL– цилиндрическая равноугольная проекция.....	32
(проекция Меркатора)	32
ВЫБОР КАРТОГРАФИЧЕСКИХ ПРОЕКЦИЙ	33
РАСПОЗНАВАНИЕ ПРОЕКЦИЙ	35
Цилиндрические проекции	35
Конические проекции.....	35
Азимутальные проекции.....	36
Проекции с круговыми параллелями	36
Псевдоцилиндрические проекции	37

ВВЕДЕНИЕ

Численные методы анализа эмпирических данных используются в науке и инженерных отраслях вот уже более 300 лет.

Если в инженерных отраслях, *a priori* эмпирические численные данные являются базисом для различных построений, делая их более экономичными и простыми, то в науке (особенно в науках о Земле) численное моделирование долго не выходило за рамки статистической обработки и/или создания абстрактных моделей (включая геологические карты). В течение последних тридцати лет, исключительно быстрое развитие вычислительной техники и связанной с ней информационной индустрии, существенно понизили стоимость процессов численного моделирования, одновременно увеличив скорость рутинных операций в тысячи и миллионы раз.

Фактически, сегодня можно с уверенностью утверждать, что геологические науки, в самом широком смысле этого термина, вплотную подошли к созданию реальных пространственно временных моделей и реконструкции реальных процессов, происходящих и происходивших на Земле и в ее недрах.

Легкость, с которой сегодня могут быть получены эмпирические данные приводит к появлению опасной тенденции, не обращать внимание на их качество, тщательно отслеживая только процедуры последующей обработки и анализа. Автоматизация инструментальных средств измерения, генерации данных и их анализа должна включать методы оценки качества, как на этапе получения данных, так и на этапе их обработки. К сожалению, это делается далеко не всегда. Производители оборудования обычно разрабатывают и изготавливают его, предполагая, что они хорошо знают, чего хочет от него потребитель. Как правило, это приводит к допущению, что автоматизированное обеспечение контроля качества измерений менее важно чем низкая стоимость, удобство пользования, скорость и длительность срока эксплуатации.

Не обнаруженные вовремя (соответственно, неучтенные) ошибки в эмпирических данных могут приводить к неправильным выводам о физических процессах, которые должны описываться ими (Fryer, et.al., 1994).

Например, при использовании трехмерных (3D) координат точек, описывающих топографию местности для двух разных эпох, отличия в координатах, а следовательно, в полученных по ним поверхностях рельефа, могут быть обусловлены следующими основными причинами: 1) координатные сетки (datums) для разных эпох могут быть различными; 2) различия в данных могут определяться различиями в методах их интерполяции; 3) наконец, топография могла просто измениться за указанное время.

Для любых исследований, связанных с мониторингом (динамикой) свойств земной поверхности, существенным является обеспечение сходимости систем привязки координатных данных. В противном случае, любые заключения о происходящих изменениях (на поверхности, в земной коре, мантии и т.п.), фиксируемые методами численного моделирования и пространственного анализа, не могут быть признаны корректными. Разумеется, практически невозможно обеспечить высокую точность ретроспективных построений, однако игнорировать возможные ошибки, связанные с привязкой первичных данных, тоже нельзя.

ПОНЯТИЕ ОБ ОТОБРАЖЕНИИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ПЛОСКОСТИ

Физическая поверхность Земли имеет неправильную форму и потому не может быть описана замкнутыми формулами. В силу этого, для решения задач, эту поверхность заменяют математически правильной поверхностью. В самом точном приближении таковой поверхностью является поверхность **геоида**.

Геоид – это геометрическое тело, ограниченное уровенной поверхностью морей и океанов, связанных между собой и имеющих единую водную массу. В каждой своей точке эта поверхность нормальна направлению силы тяжести.

Геоид тоже не может быть описан замкнутыми формулами. Вместо него, в качестве поверхности относимости, используется эллипсоид вращения с малым сжатием, причем, берут его таких размеров и так ориентируют в теле Земли, чтобы он напоминал геоид – это референц- эллипсоид (земной эллипсоид, рис.1.).

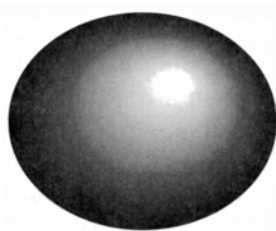


Рис.1. эллипсоид

В разных странах приняты свои референц- эллипсоиды, различающиеся своими параметрами (см.табл.). В нашей стране используется референц-эллипсоид Красовского.

Примеры параметров Земного эллипсоида:

<i>Название</i>	<i>Дата</i>	<i>Большая полуось</i>	<i>Малая Полуось</i>	<i>Применение</i>
Айри (Airy)	1830	6377563.396	6356256.91	Великобритания
Бессель (Bessel)	1841	6377397.155	6356078.96284	Центральная Европа, Чили, Индонезия
Кларк (Clarke)	1866	6378206.4	6356583.8	Североамериканский континент, Филиппины
Хелмет (Helmet)	1907	6378200	6356818.17	Египет
Красовский	1940	6378245	6356863.0188	СНГ, Россия, некоторые страны вост. Европы
Сфера		6370997	6370997	Весь мир (мелкий масштаб)
WGS84	1984	6378137	6356752.31	Весь Мир (GPS приемники)

Эллипсоид вращения – это тело, образованное вращением эллипса вокруг полярной оси (рис. 2.).



Рис. 2.

В случае использования эллиптической модели Земли, мы должны учитывать параметры определяющие главную (большую) и второстепенную (малую) оси эллипса (рис. 3.). Параметр сжатия (уплощения) определяется как отношение этих осей и примерно равен 0.003353.



Рис. 3.

Для решения практических задач, земная поверхность может быть принята за сферу (рис. 4.).

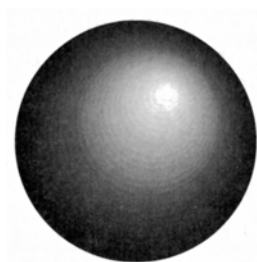


Рис. 4. сфера

Сжатием эллипсоида можно пренебречь в следующих случаях:

- 1) При создании мелкомасштабных обзорных карт
- 2) Когда при заданных величинах искажений невозможно получить непосредственно проекцию эллипсоида на плоскости.

В этих случаях прибегают к двойным преобразованиям:

Эллипсоид → Сфера → Плоскость

Размеры земной сферы могут быть получены по-разному. В частности, можно потребовать, чтобы земная сфера имела равную площадь с эллипсоидом. Если сфера равновелика с поверхностью эллипсоида, то ее радиус равен 6 376 116 метров. Можно потребовать, чтобы сфера была равна объему эллипсоида, тогда ее радиус будет равен 6 376 110 метров.

ПОНЯТИЕ О КАРТОГРАФИЧЕСКОЙ ПРОЕКЦИИ

Проблема изображения земной поверхности на плоскости решается в два этапа:

1. Неправильная физическая поверхность Земли отображается на математически правильную поверхность (поверхность относимости).
2. Поверхность относимости отображается на плоскости (по тому или иному закону).

В результате получаем картографические проекции.

Картографическая проекция позволяет установить зависимость между точками на земной поверхности и на плоскости (карте).

Картографическая проекция – определенный математический закон отображения одной поверхности на другую, при следующих условиях:

- 1) точки, взятые на одной поверхности, соответствуют точкам на другой поверхности и наоборот;
- 2) непрерывному перемещению точки на одной поверхности соответствует перемещение на второй поверхности.

Картографическая проекция – определенный способ отображения одной поверхности на другую, устанавливающий аналитическую зависимость между координатами точек эллипсоида (сферы) и соответствующих точек плоскости.

Пусть на поверхности сфероида (S) задана замкнутая область D, ограниченная замкнутым контуром L (рис. 5.). Положение точки M на этой поверхности определено координатными линиями $\lambda = \text{const}$, $\varphi = \text{const}$.

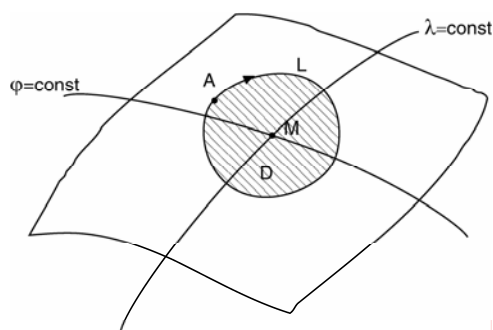


Рис. 5. сфероид

Пусть этой точке M на плоскости в прямоугольных координатах X и Y соответствует точка M' (рис. 6.).

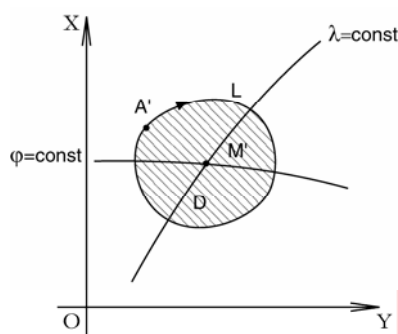


Рис. 6. плоскость

Тогда между этими точками существует следующая связь:

$$X=f_1(\varphi; \lambda)$$

$$Y=f_2(\varphi; \lambda)$$

В этих уравнениях X и Y – плоские прямоугольные координаты изображаемой на плоскости точки, выраженные как функции геодезических координат той же точки на поверхности эллипсоида.

Для того, чтобы эта функциональная зависимость описывала картографическое отображение, которое должно быть непрерывное и однозначное, необходимо наложить на функции следующие требования:

- 1) f_1 и f_2 должны быть однозначны;
- 2) f_1 и f_2 должны иметь непрерывные частные производные
- 3) f_1 и f_2 должны иметь определитель системы (якобиан) больше нуля
($H=X_\varphi Y_\lambda - X_\lambda Y_\varphi > 0$)

Только в этом случае точка M отобразится только одной точкой M' и точке M' будет соответствовать на поверхности единственная точка M .

Если выбрать под тем или иным условием закон изображения точек эллипсоида на плоскости, то можно, пользуясь написанными формулами, получить формулы для перехода от расстояний и углов на поверхности эллипсоида к соответствующим расстояниям и углам на плоскости.

Законов изображения поверхности эллипсоида на плоскости может быть бесчисленное множество; очевидно, каждый закон изображения определяется видом функций f_1 и f_2 в приведенных уравнениях.

Картографическая проекция – однозначное, дважды непрерывно дифференцируемое с определителем, отличным от нуля, соответствие между точками поверхности эллипсоида и точками плоскости.

С геометрической точки зрения условия, накладываемые на функции, означают следующее:

- 1) бесконечно малому приращению координат на одной поверхности, соответствует бесконечно малое приращение координат на второй;

- 2) бесконечно малый линейный отрезок, взятый на одной поверхности, отображается на второй также бесконечно малым линейным отрезком;
- 3) два линейных бесконечно малых параллельных отрезка, взятые на одной поверхности, отображаются на второй также бесконечно малыми параллельными отрезками;
- 4) т.к. $H > 0$ (якобиан), будет сохраняться направление обхода контура на одной и второй поверхности.

ПОНЯТИЕ О КАРТОГРАФИЧЕСКОЙ СЕТКЕ

Линии меридианов и параллелей на эллипсоиде образуют координатную сеть (рис. 7.).



Рис. 7. Градусная сетка

Параллель – это след сечения поверхности эллипсоида плоскостями, проходящими перпендикулярно полярной оси (оси вращения эллипсоида). Это окружности разного диаметра (рис.8).

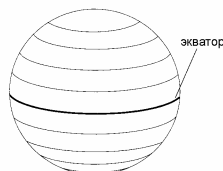


Рис. 8. Параллели (широты)

Меридиан - это след сечения поверхности эллипсоида плоскостями, проходящими через полярную ось и точку на поверхности эллипсоида (рис. 9.)

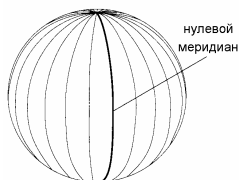


Рис. 9. Меридианы (долготы)

Положение любой точки на поверхности определяется в той или иной системе координат или в соответствующей ей системе координатных линий.

Координатная сетка – сеть координатных линий на поверхности.

Картографическая сетка – изображение координатной сети на плоскости в заданной проекции.

Картографические сетки могут быть нормальными, поперечными и косыми.

Нормальная картографическая сетка – это наиболее простое изображение координатных линий в заданной проекции на плоскости в той или иной системе координат. В случае прямых проекций, когда географический полюс совпадает с полюсом нормальной системы, основная и нормальная сетки совпадают. В случае косых и поперечных проекций такого совпадения нет.

- 1) Одна и та же координатная сеть в разных проекциях изображается по-разному
- 2) Разные координатные сетки в одной и той же проекции изображаются по-разному.

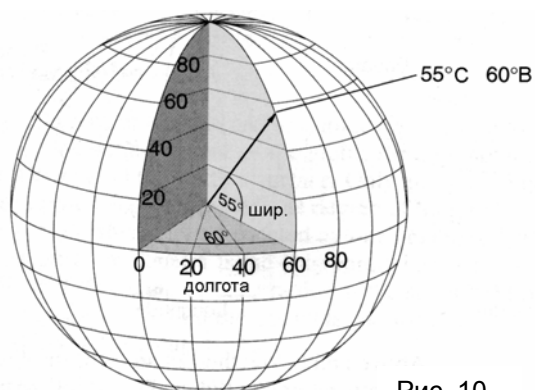
СИСТЕМЫ КООРДИНАТ

Конечная практическая цель пространственной привязки на земле-определение положения пункта наблюдения на поверхности принятого референц-эллипсоида. Положение пункта (точки) наблюдения можно определить в различных системах координат. Удобнее всего вычислять координаты в такой системе, которая была бы проста и обеспечивала бы наиболее удобное и легкое использование координат в разнообразных практических целях.

Наиболее известной, еще со школьной скамьи, системой определения положения на Земле, является **система географических (геодезических) координат**.

Сферическая географическая система координат.

Поскольку земной шар изначально имеет форму близкую к сферической, положение любой точки на поверхности достаточно просто определяется относительно условного центра Земли (условного центра вращения земного эллипсоида) в угловых величинах. Эта система, основана на определении углов отклонения условной линии, проведенной через центр земли и определяемую точку, от нулевого **меридиана** и **экватора**. Как и всякая сферическая система координат, географическая делит земной шар на условные горизонтальные линии- параллели (широты) и условные вертикальные линии-меридианы (долготы).



Широта – угол между нормалью к поверхности эллипсоида в данной точке и плоскостью экватора (рис 10.).

Долгота – двугранный угол между меридианом данной точки и начальным меридианом (Гринвичским) (рис 10.).

Для географической системы координат в качестве нулевого меридиана принят Гринвичский меридиан, а в качестве нулевой параллели – экватор.

Земной шар делится по долготам на 360 условных единиц- градусов, а по широтам- на 180. Положительные или отрицательные значения зависят от положения квадранта (NE, NW, SW, SE – сев-вост, сев-зап, юго-зап, юго-вост.). Измерения выражаются в градусах, минутах и секундах (DMS). Значения долготы меняются от 0° до 180° в восточном полушарии, в западном полушарии от 0° до -180°. Значения широты изменяются от 0° до 90° в северном полушарии, в южном полушарии от 0° до -90°.

Поскольку взаимное расположение точек в географической системе координат определяется в угловых единицах (градусы, минуты и секунды широты и долготы), эта система наиболее удобна для высокоточных измерений. Практически точность положения в пространстве для географической системы координат зависит только от одного параметра- радиуса земного эллипсоида в данной точке.

Однако эта система не удобна для решения широкого круга практических задач, поскольку линейное значение угловых единиц различно в зависимости от широты места, а направления меридианов, от которых насчитываются азимуты, не параллельны между собой.

Прямоугольная система координат.

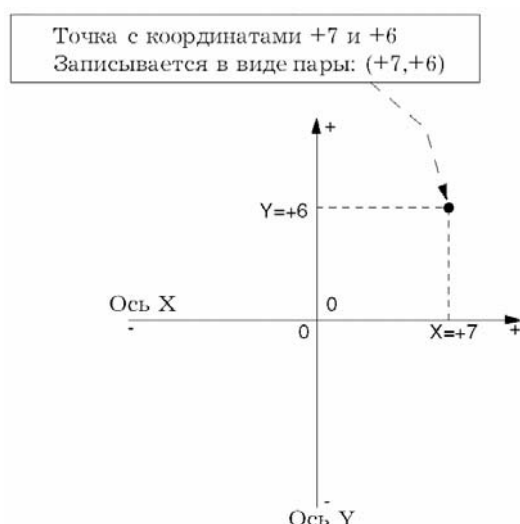


Рис. 11.

Наиболее простой и легкой для восприятия, при практическом определении пространственного положения на карте, является **прямоугольная система координат** (рис. 11.). Она основана на плоскости. Реальные географические координаты измеряются в значениях *x*-, *y*- координат от определенной начальной точки. *x*-, *y*- координаты имеют положительные величины и измеряются в метрах.

Преобразование географических координат из сферической системы в двумерную систему координат приводит к искажениям одного или более свойств пространства (площади, формы, расстояния и направления).

СИСТЕМЫ ОТСЧЕТА

Системы отсчета (Датумы) - это набор параметров и контрольных точек, используемых для точного задания трехмерной формы Земли. В то время как сфероид аппроксимирует форму Земли, датум определяет положение сфероида по отношению к центру Земли. Датум обеспечивает относительную систему (рамку) для измерения параметров местоположений на поверхности Земли. Он задает начало отсчета и ориентацию для линий широты и долготы.

В последние пятнадцать лет спутниковые данные позволили, используя новые методы измерений, определить оптимально соответствующий поверхности Земли

сфероид, который связывает координаты с центром масс Земли. Являясь геоцентрическим (глобальным), то есть связанным с центром Земли, датум использует центр масс Земли в качестве начала отсчета. Наиболее широко используемым датумом является Мировая геодезическая система 1984 года (WGS84). Она служит основой для измерения местоположений во всем мире.

Локальный датум изменяет положение сфероида так, чтобы наиболее близко совместить его поверхность с нужной областью. Точка на поверхности сфероида, совпадающая с конкретным местоположением на поверхности Земли, известна как "исходная точка" датума (origin point). Координаты этой точки фиксируются, и все остальные точки рассчитываются, исходя из них. Начало отсчета координатной системы для локального датума не совпадает с центром Земли. Центр сфероида локального датума сдвинут относительно центра Земли (рис. 12). Так, Североамериканский датум 1927 года (NAD27) и Европейский датум 1950 года являются локальными. NAD27 разработан с учетом наилучшего представления Северной Америки, а Европейский датум ED50 создан, соответственно, для использования в Европе. Локальный датум не следует применять вне области, для которой он был разработан.

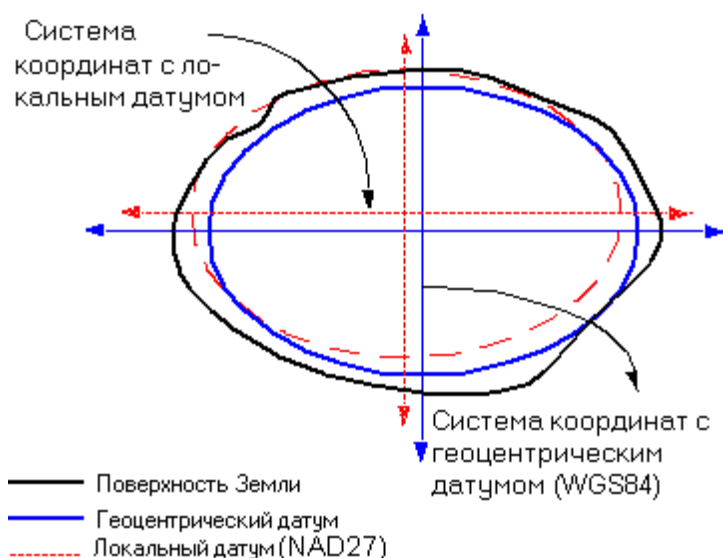


Рис. 12. Связь между геоцентрическим (глобальным) и локальным датумом.

ПОНЯТИЕ О МАСШТАБАХ

Учитывая, что эллипсоид вращения, сфера и плоскость имеют разные меры кривизны, при их отображении друг на друга всегда будут возникать искажения в длинах, углах, площадях.

$$\frac{1}{MN} \text{ - мера кривизны эллипсоида}$$

$$\frac{1}{R^2} \text{ - мера кривизны сферы}$$

0 – мера кривизны плоскости

На каждой карте следует различать три масштаба:

- 1) μ – масштаб длин или частно-линейный масштаб
- 2) ρ – масштаб площадей
- 3) m – главный или общий масштаб

Это величины, которые характеризуют искажения.

Масштаб длин (μ) – это отношение бесконечно малого линейного отрезка, взятого на плоскости в данной точке по данному направлению к соответствующему бесконечно малому линейному отрезку на поверхности.

$$\mu = \frac{d\delta}{dS}$$

Этот масштаб является функцией положения точки и в общем случае изменяется в окрестности этой точки в зависимости от направления. Естественно считать, что чем меньше изменения масштаба в окрестности данной точки, тем проекция совершенней.

Масштаб площадей (ρ) – отношение элементарной площадки на плоскости к соответствующей элементарной площадке на поверхности

$$\rho = \frac{dS_{пл}}{dS_{эпл}}$$

Этот масштаб является функцией положения точки и не зависит от направления.

Главный масштаб (m) – это степень уменьшения земной поверхности при изображении ее на плоскости.

Этот масштаб никакого влияния на величины и характер распределения искажений не оказывает.

Величина искажений будет определяться принятым законом отображения, т.е. картографической проекцией.

ЭЛЛИПС ИСКАЖЕНИЙ

При изображении любой произвольной поверхности на другую с точностью до бесконечно малых величин, бесконечно малая окружность на поверхности эллипсоида (сферы) изображается на другой поверхности (плоскости) бесконечно малым эллипсом (рис. 13.).

В частных случаях, а именно в равноугольных (конформных) проекциях, в которых частные масштабы длин вдоль меридианов и параллелей равны ($m=n$), бесконечно малая окружность на поверхности эллипсоида (сферы) изображается на плоскости подобной бесконечно малой окружностью.

Отметим, что для геометрической интерпретации искажений удобнее использовать не бесконечно малые, а конечные величины. Исходя из этого, **эллипсом искажений (индикатриссой Тиссо)** назвали эллипс конечных размеров, при радиусе окружности равном 1, соответствующий бесконечно малому эллипсу.

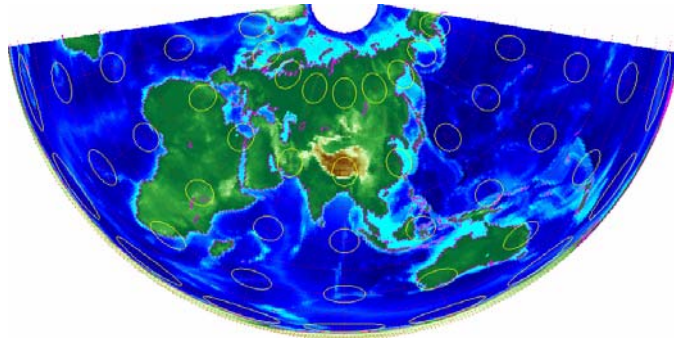


Рис. 13.

Эллипс искажений (индикатрисса Тиссо) – эллипс конечных размеров, каждый радиус-вектор которого равен масштабу длин в точке по данному направлению и оси которого совпадают с главными направлениями.

Следующие формулы определяют форму и размеры эллипса искажений:

$$a^2 + b^2 = m^2 + n^2$$

$$a \times b = m \times n \times \sin \theta ,$$

a, b - главные направления

m, n - масштаб длин по меридианам и параллелям

θ - угол между меридианами и параллелями

Эллипс искажений используется для показа величины искажений в разных точках картографической сетки. Главные направления не совпадают с направлениями меридиана и параллели. Они будут совпадать с ними только в том случае, если угол между меридианом и параллелью равен 90° . Поэтому эллипсы искажений характеризуют не только величину искажений длин, но и характер размещения искажений в данной точке по направлениям.

Для наглядного показа распределения искажений на картографической сетке, кроме эллипсов искажения, строят **линии, соединяющие точки с одинаковыми значениями искажений углов или площадей**, так называемые **изоколы**.

СТАНДАРТНЫЕ ПАРАЛЛЕЛИ

Параллели касания или сечения, образующиеся в результате касания или сечения поверхности эллипсоида заданной поверхностью, называются **стандартными параллелями**.

Существуют следующие способы задания стандартных параллелей:

- 1) задается одна стандартная параллель (параллель касания). Эту параллель следует задавать по середине изображаемой области; т.к. вдоль нее искажения отсутствуют, она является линией нулевых искажений или центральной линией, и по мере удаления от нее к северу и к югу масштаб возрастает.

2) задаются две стандартные параллели (параллели сечения). В этом случае искажения на проекции распределяются более равномерно: в промежутке между стандартными параллелями (φ_3, φ_4) масштаб меньше единицы, вне их – больше единицы и возрастает до бесконечности на полюсах. Параллели сечения целесообразно выбирать на одинаковых расстояниях от крайних (φ_1, φ_2) и средней (φ_0) параллелей изображаемой области, т.е. отступя одну четверть расстояния от средней параллели.

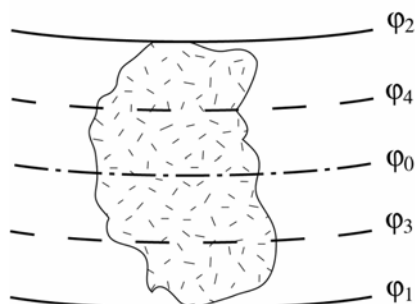


Рис. 14.

В данном случае (рис. 14.) широты стандартных параллелей (φ_3, φ_4) определяются так:

$$\varphi_3 = \varphi_0 - \frac{1}{4}(\varphi_2 - \varphi_1) = \varphi_0 - \frac{1}{2}\Delta,$$

$$\varphi_4 = \varphi_0 + \frac{1}{4}(\varphi_2 - \varphi_1) = \varphi_0 + \frac{1}{2}\Delta,$$

где $\varphi_0 = \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2}, \quad \Delta = \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{2}.$

СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ ПРОЕКЦИЙ

Существует два основных способа построения картографических проекций:

- 1) геометрический
- 2) аналитический

Геометрический

Этот способ основан на законах линейной перспективы. Землю принимают за поверхность определенного радиуса и проектируют на боковую поверхность цилиндра или конуса. Причем, указанные поверхности могут либо касаться, либо сечь её (рис. 15.).

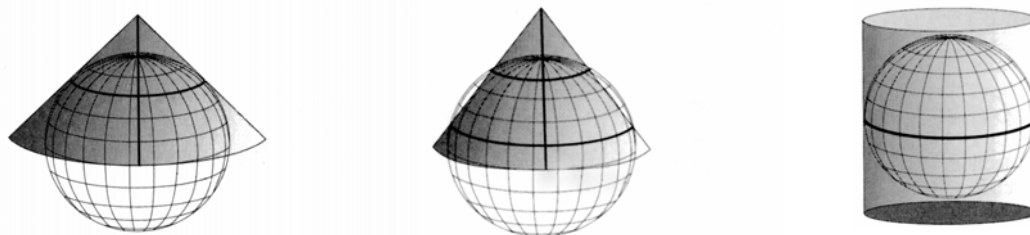


Рис. 15.

Линии сопряжения касательной или секущей поверхности с поверхностью эллипсоида, называются стандартными параллелями или линиями нулевых искажений.

При проектировании точек земной поверхности на плоскость, получаем перспективные проекции. В зависимости от удаления точки глаза от центра земной поверхности, все перспективные проекции подразделяются на:

а) гномонические (центральные) – точка зрения совпадает с центром земной сферы

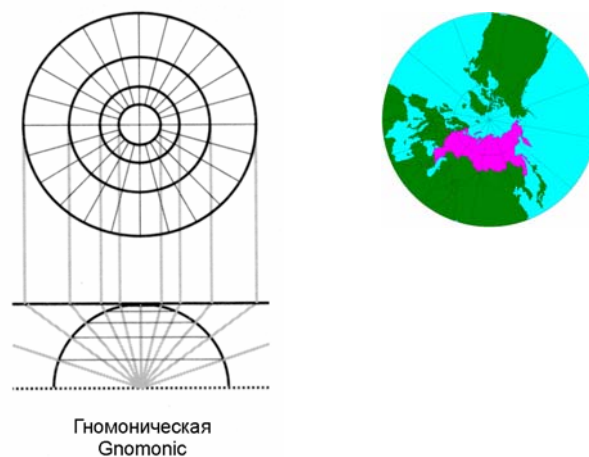


Рис. 16

б) стереографические - точка зрения находится на поверхности сферы

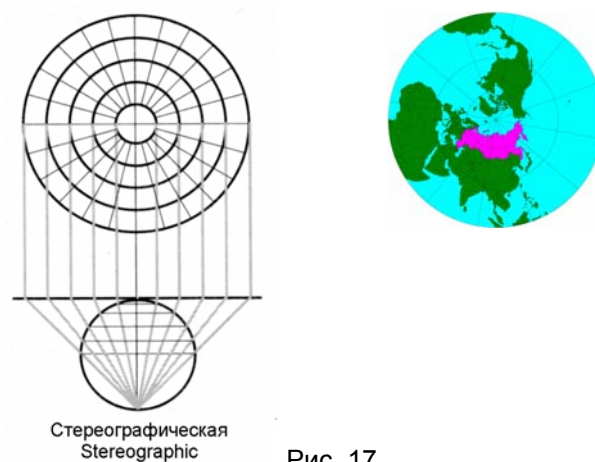


Рис. 17

в) **ортографические** – рассматривает поверхность из любой точки вне земной сферы. Получается путем проектирования точек земной сферы пучком параллельных прямых лучей, ортогональных к картинной плоскости.

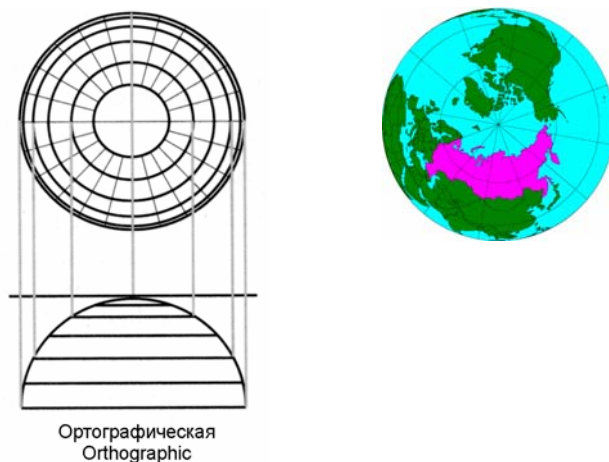


Рис. 18

Аналитический

Этот способ построения проекций основан на формулах, устанавливающих функциональную зависимость между точками первой и второй поверхности, имеющих следующий вид:

$$X=f_1(\varphi; \lambda)$$

$$Y=f_2(\varphi; \lambda)$$

Аналитический способ построения проекций является более гибким, позволяет получить огромное множество новых проекций, позволяет изыскивать проекции по заранее заданному характеру искажения.

КЛАССИФИКАЦИЯ КАРТОГРАФИЧЕСКИХ ПРОЕКЦИЙ

Известно, что признаков для классификации может быть несколько, следовательно, и классификаций может быть несколько; при этом следует заметить, что одни и те же проекции в зависимости от признака могут попасть в разные группы. В настоящее время в нашей стране пользуются классификацией Каврайского. Согласно ей все проекции классифицируются по четырем признакам:

- I. Характеру искажения
- II. Виду меридианов и параллелей нормальной сетки
- III. Положению полюса нормальной системы координат
- IV. Способу использования

По характеру искажения

Самым существенным признаком проекций является свойство изображений. Неизбежным же свойством изображений являются искажения. Характер искажений определяется в зависимости от того, что искажается – длина, угол или площадь. Если

величина искажений в большей или меньшей степени зависит от размеров и формы изображаемой территории, то характер искажений всецело зависит от самой проекции. Вот почему при выборе проекции решающую роль играет характер искажений.

По **характеру искажения** проекции делятся на:

- 1) **Равноугольные (конформные)** – углы и азимуты передаются без искажений, т.к. масштабы длин в точках не зависят от направления. Как следствие, в этих проекциях сохраняется подобие в бесконечно малых частях. Картографическая сетка в этих проекциях ортогональна. На картах в равноугольных проекциях можно измерять углы и азимуты, на них удобно производить измерение длин по всем направлениям.
- 2) **Равновеликие (эквивалентные)** – масштаб площадей остается постоянным и равным единице, а следовательно площади передаются без искажений. На картах в равновеликих проекциях можно делать сопоставление площадей.
- 3) **Равнопромежуточные (экидистантные)** – масштаб по одному из главных направлений сохраняется и равен единице ($a=1$ или $b=1$)
- 4) **Произвольные** – присутствуют все виды искажений.

Свойства равноугольности, равновеликости, равнопромежуточности одновременно на одной и той же проекции несовместимы. Проекция, на которой всюду отсутствовали бы искажения длин, т.е. было бы сохранено постоянство масштаба, не существует. На карте могут отсутствовать либо искажения углов, либо площадей, но одновременно отсутствовать искажения углов и площадей не могут. Поэтому характерным свойством картографической проекции является обязательное наличие на карте того или иного искажения.

По виду меридианов и параллелей нормальной сетки

Классификация проекций по виду нормальной сетки наиболее наглядна и наиболее проста, и поэтому она легче всего воспринимается. Следует подчеркнуть, что классификация по этому признаку касается только проекций в нормальном положении, вид косых или поперечных сеток будет уже другой, не охватываемый классификацией.

По **виду меридианов и параллелей нормальной сетки**:

- 1) **Круговые** – проекции, у которых меридианы и параллели изображаются окружностями. Экватор и ср. меридиан – прямые линии. Применяются для изображения всей поверхности Земли. (произвольная Гринтена, равноугольная Лагранжа).

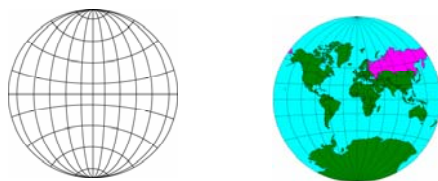


Рис. 19

- 2) **Азимутальные** – параллели – одноцентренные окружности, меридианы – пучок прямых, расходящихся радиально из центра параллелей. Эти проекции применяются в прямом положении - для полярных территорий; в поперечном - для изображения зап. и вост. полушарий; в косом - для изображения территорий, имеющих округлую форму.



Рис.20

- 3) **Цилиндрические** – параллели - параллельные прямые, перпендикулярные осевому меридиану, причем параллели всегда равноразделенные (отрезки параллелей пропорциональны разностям долгот); меридианы - Все меридианы прямые, перпендикулярные параллелям. Расстояния между меридианами пропорциональны разностям долгот. В этих проекциях можно изобразить весь земной шар. Наиболее выгодны эти проекции для изображения территорий, расположенных вблизи экваториальных широт и растянутых вдоль экватора (или вдоль некоторой стандартной параллели).

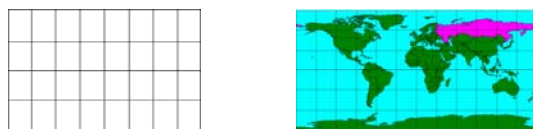


Рис. 21

- 4) **Конические** – параллели - Дуги концентрических окружностей, общий центр которых лежит на осевом меридиане или его продолжении. Параллели равноразделенные, т.е.вдоль каждой параллели отрезки между меридианами одинаковые; меридианы - пучок прямых, расходящихся радиально из точки, являющейся центром параллелей. Углы между меридианами пропорциональны разностям их долгот. Эти проекции наиболее выгодны для изображения территорий, расположенных в средних широтах и растянутых вдоль параллелей.



Рис. 22

- 5) **Псевдоконические** – параллели - дуги концентрических окружностей, общий центр которых лежит на осевом меридиане или его продолжении; меридианы – некоторые кривые, симметричные относительно среднего прямолинейного меридиана. Наиболее

выгодны для изображения территорий, имеющих форму квадрата с вогнутыми сторонами. (проекция Бонна – применяется для карты Франции).

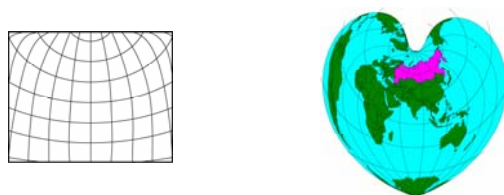


Рис. 23

- 6) **Псевдоцилиндрические** – параллели - Параллельные прямые, перпендикулярные осевому меридиану. В большинстве случаев равноразделенные; меридианы – некоторые кривые, симметричные относительно среднего прямолинейного меридиана. Используются для изображения всей земной поверхности. Наиболее выгодны для изображения территорий растянутых вдоль среднего меридиана и экватора. (равновеликая синусоидальная проекция Сансона, равновеликая синусоидальная проекция Эккерта, равновеликая эллиптическая проекция Мольвейде).



Рис. 24

- 7) **Поликонические** – параллели - дуги окружностей (окружности), центры которых лежат на осевом меридиане сетки или на его продолжении; меридианы – некоторые кривые, симметричные относительно среднего прямолинейного меридиана. Широко применяются для мелкомасштабных обзорных карт, выгодны для изображения территорий, растянутых вдоль среднего меридиана. (простая поликоническая проекция, видоизмененная поликоническая проекция для международной карты мира в масштабе 1:1 000 000).

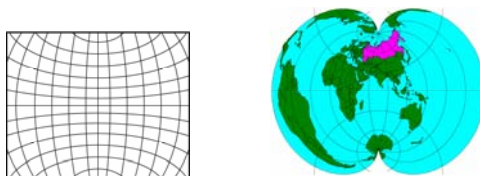


Рис. 25

По положению полюса нормальной системы координат

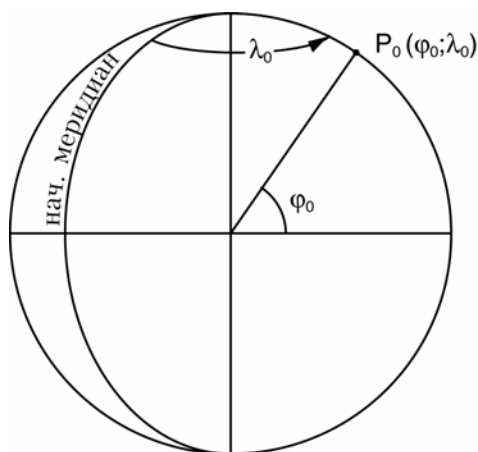


Рис. 26

P_0 - полюс нормальной системы координат совмещается с центральной точкой картографируемой территории. Это делается для того, чтобы уменьшить величины искажений в пределах картографируемой территории. В зависимости от величины φ_0 все проекции классифицируются:

- 1) **Полярные (нормальная)** – полюс нормальной системы координат совпадает с географическим - $\varphi_0=90^\circ$



Рис. 27

- 2) **Поперечные (трансверсионные)** – полюс нормальной системы совпадает с экватором - $\varphi_0=0^\circ$



Рис. 28

3) **Косые (наклонные)** – полюс нормальной системы координат располагается между географическим полюсом и экватором - $0^\circ < \varphi_0 < 90^\circ$

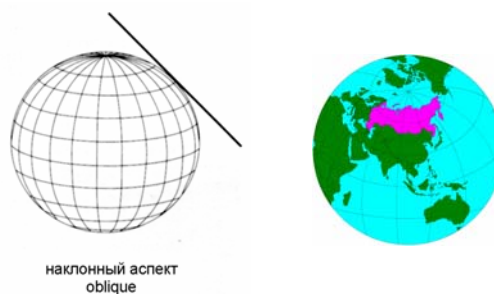


Рис. 29

По способу использования

- 1) **Сплошные** – вся картографируемая территория проектируется на плоскость по одному закону
- 2) **Многополосные** – территория разбивается на ряд широтных зон, каждая из которых проектируется на плоскость по одному и тому же закону, но с разными параметрами для каждой из зон. Преимущества - малые величины искажений; недостатки – невозможно получить сплошное изображение. (трапецивидная проекция Мюфлинга, применялась для карт крупного масштаба до 1928г. Для СССР)
- 3) **Многогранные** – территория разбивается на ряд меридианальных зон, каждая из которых проектируется на плоскость по одному и тому же закону, но с разными параметрами для каждой из зон. Преимущества - малые величины искажений; недостатки – невозможно получить сплошное изображение. (проекция Гаусса-Крюгера)
- 4) **Составные** – часть территории проектируется по одному закону, а оставшаяся часть по другому. (составная проекция для карты Луны – в этом случае экваториальная часть Луны проектируется в равноугольных цилиндрических проекциях, а полюса в равноугольных азимутальных).

КАРТОГРАФИЧЕСКИЕ ПРОЕКЦИИ

РАВНОУГОЛЬНЫЕ ПОПЕРЕЧНО-ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ ПРОЕКЦИИ

UTM (UNIVERSAL TRANSVERSE MERCATOR) – универсальная поперечная проекция Меркатора.

Описание: В этой проекции Земля делится на 60 шестиградусных зон ($6^\circ \times 60 = 360^\circ$). Зоны пронумерованы от 1 до 60 от 180° з.д. Каждая зона имеет свой центральный меридиан (рис. 30). Проекция UTM основана на цилиндре, ориентированном параллельно экватору, поэтому она является *поперечной*. Координаты UTM выражаются в метрах. Отчёт по оси X (направление на восток) идёт от центрального меридиана зоны. Отчёт по оси Y (направление на север) начинается от экватора. Чтобы исключить отрицательные координаты, проекция изменяет значения в начале координат. Величина сдвига от

центрального меридиана это *ложный восточный сдвиг*, он равен 500000 метров; величина сдвига от экватора – *ложный северный сдвиг* (0 метров).

Искажения: Проекция UTM является конформной, т.е. сохраняет форму с точным соблюдением малых форм и минимальными искажениями крупных форм внутри зоны. В определённых пределах также сохраняется направление. Имеются небольшие искажения площади. Масштаб постоянен вдоль центрального меридиана при факторе масштаба 0.9996, чтобы сократить широтные искажения внутри каждой зоны.

Использование: Проекция UTM рассчитана на ошибку по масштабу не более 0.1% внутри каждой зоны. Т.к. искажения увеличиваются на территории, занимающей более одной зоны, UTM не может быть лучшей проекцией во всех случаях.

Параметры (для первой зоны):

Longitude of the Central Meridian: -177 (долгота центрального меридиана зоны)

Latitude of the Origin of the Projection: 0 (широта точки начала отсчета координат)

Scale Factor: 0.9996 (масштабный коэффициент, т.е. степень уменьшения на центральном меридиане) (Scale Reduction Factor at the Central Meridian)

False Easting: 500000 (ложный восточный сдвиг) (смещение начала отсчета координат в метрах)

False Northing: 0 (ложный северный сдвиг) (смещение начала отсчета координат)

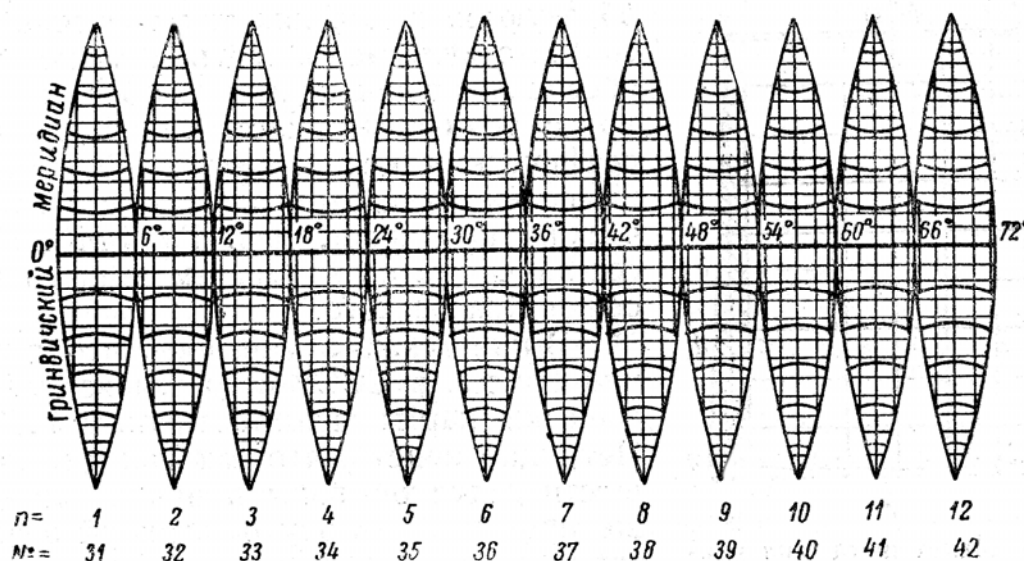


Рис. 30

ПРОЕКЦИЯ ГАУССА-КРЮГЕРА – равноугольная поперечная цилиндрическая

Описание: С 1928 г. Проекция Гаусса была принята как основа для системы плоских прямоугольных координат, определяющих положение опорных геодезических пунктов на земной поверхности. Они применяются в пределах каждой шестиградусной зоны. Так как все 60 шестиградусных зон тождественны между собой, то, чтобы знать, в какой зоне находится точка, заданная прямоугольными координатами, необходимо указать номер

зоны. Принято номер шестиградусной зоны, в которой лежит данная точка, приписывать впереди перед ординатой точки. Записанные так ординаты называются *условными*.

Если известен номер шестиградусной зоны, то долготу осевого меридиана от Гринвича можно определить по формуле:

$$\lambda_0 = 6^\circ \times n - 3^\circ$$

Отличие от проекции UTM заключается в том, что нумерация шестиградусных зон начинается от первой зоны, примыкающей к Гринвичскому меридиану с востока, следовательно номер n шестиградусной зоны проекции Гаусса-Крюгера связан с номером N зоны проекции UTM соотношением $n=N-30$ (рис. 30).

А также в том, что в ней на среднем меридиане частный масштаб длин равен 1.

В нашей стране с 1935г. эта проекция применяется для топографических карт, начиная с масштаба 1: 500000 до самых крупных.

Использование: Проекция Гаусса-Крюгера может быть использована для построения карт и мельче масштаба 1: 500000 с охватом территорий, простирающихся по долготе до 32° с искажениями длин, не превосходящими 4%.

Параметры (для первой зоны):

Longitude of the Central Meridian: 3 (долгота центрального меридиана зоны) (что соответствует 31 зоне проекции UTM)

Latitude of the Origin of the Projection: 0 (широта точки начала отсчета координат)

Scale Factor: 1 (масштабный коэффициент на центральном меридиане) (Scale Reduction Factor at the Central Meridian)

False Easting: 500000 (ложный восточный сдвиг)

False Northing: 0 (ложный северный сдвиг)

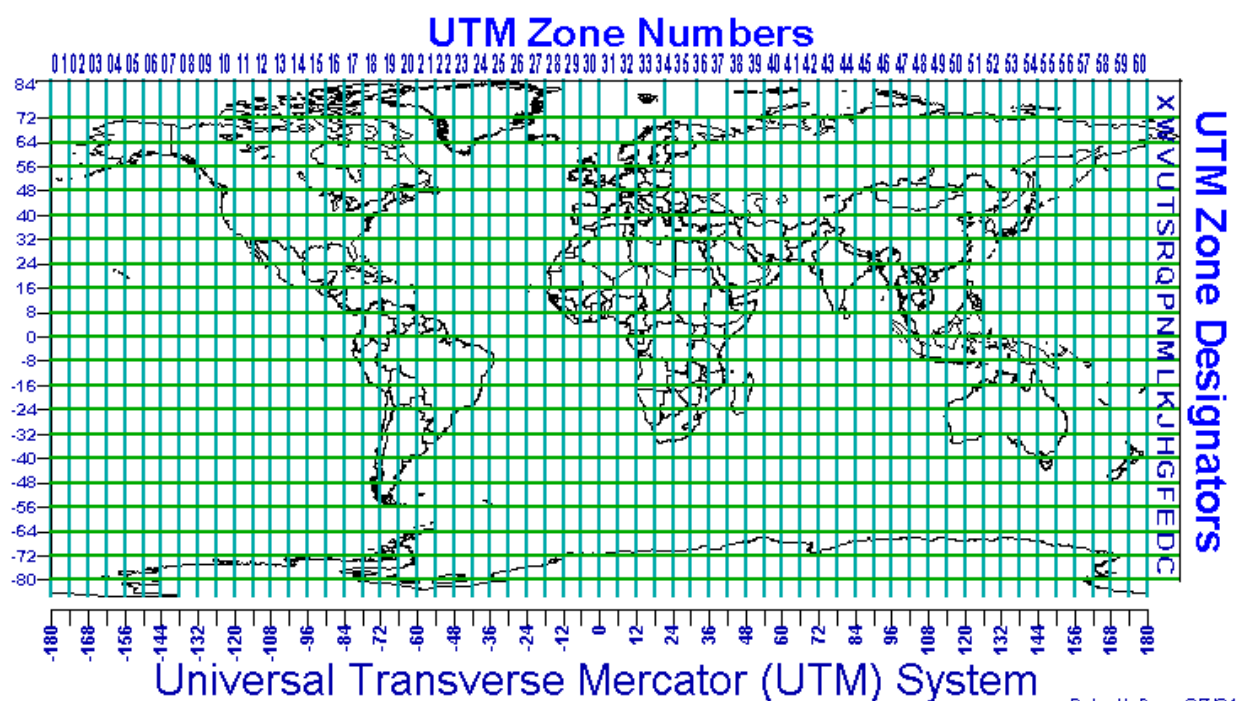


Рис. 31 Нумерация шестиградусных зон в проекции UTM

КОНИЧЕСКИЕ ПРОЕКЦИИ

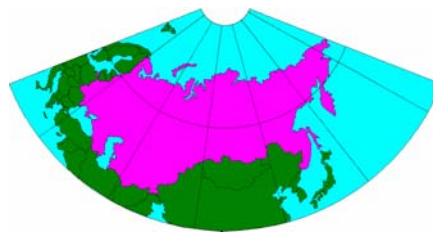
EQUIDISTANT CONIC – коническая равнопромежуточная

Описание: Эта проекция основана на конусе, секущем эллипсоид, поэтому она является *конической*. Конус сопрягается с земным эллипсоидом в двух местах, формируя две *стандартные параллели*, вдоль которых отсутствуют искажения. Максимальные искажения в конических проекциях будут в области вершины конуса; именно поэтому, последний обычно отсекается, а полярные области не проецируются в конические проекции. Данная проекция является равнопромежуточной, т.к. расстояние между линиями параллелей в ней равны.

Искажения: Форма сохраняется вдоль стандартных параллелей. Искажения формы и площадей являются постоянными вдоль любой параллели и возрастают по мере удаления от стандартных параллелей. Направления сохраняются вдоль стандартных параллелей. Область наименьших искажений – средние широты, для которых и применяется коническая проекция.

	30°	40°	50°	60°	70°	80°
<i>m</i> – масштаб длин по меридианам	1	1	1	1	1	1
<i>n</i> - масштаб длин по параллелям	1.065	1.020	0.995	0.996	1.041	1.235
<i>p</i> – масштаб площадей	1.065	1.020	0.995	0.996	1.041	1.235
ω – угловые искажения	3°38	1°07	0°18	0°15	2°19	12°03

Использование: Проекция EQUIDISTANT CONIC используется для изображения среднеширотных регионов, желательный предел по широте 30°.



Параметры:

Longitude of the Central Meridian: (долгота центрального меридиана зоны)

Latitude of the Origin of the Projection: (широта точки начала отсчета координат)

Latitude of the Southern Standard Parallel: (широта южной стандартной параллели)

Latitude of the Northern Standard Parallel: (широта северной стандартной параллели)

LAMBERT CONFORMAL CONIC – коническая равноугольная Ламберта

Искажения: Данная проекция является равноугольной (конформной), следовательно в ней сохраняется подобие малых форм и направление как на мелко-, так и на крупномасштабных картах. Площади имеют минимальные искажения около стандартных

параллелей. Масштаб площадей уменьшается в промежутке между стандартными параллелями и увеличивается за их пределами.

	30°	40°	50°	60°	70°	80°
<i>m</i> – масштаб длин по меридианам	1.109	1.041	1	0.985	1	1.070
<i>n</i> - масштаб длин по параллелям	1.109	1.041	1	0.985	1	1.070
<i>p</i> – масштаб площадей	1.229	1.084	1	0.970	1	1.145
ω – угловые искажения	0°	0°	0°	0°	0°	0°

Использование: Проекция LAMBERT CONFORMAL CONIC используется для изображения среднеширотных регионов, желательный предел по широте 35°.



Параметры:

Longitude of the Central Meridian: (долгота центрального меридиана)

Latitude of the Origin of the Projection: (широта точки начала отсчета координат)

Latitude of the Southern Standard Parallel: (широта южной стандартной параллели)

Latitude of the Northern Standard Parallel: (широта северной стандартной параллели)

False Northing: (ложный северный сдвиг)

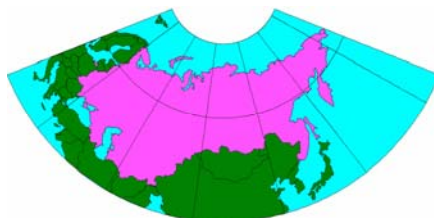
False Easting: (ложный восточный сдвиг)

ALBERS EQUAL-AREA CONIC – коническая равновеликая Альберса

Искажения: Данная проекция является равновеликой (эквивалентной), следовательно в ней сохраняется подобие площадей. Форма вдоль стандартных параллелей сохраняется и имеет минимальные искажения между ними. Направления также сохраняются вдоль стандартных параллелей.

	30°	40°	50°	60°	70°	80°
<i>m</i> – масштаб длин по меридианам	0.930	0.970	1	1.015	1	0.868
<i>n</i> - масштаб длин по параллелям	1.075	1.031	1	0.985	1	1.152
<i>p</i> – масштаб площадей	1	1	1	1	1	1
ω – угловые искажения	8°16	3°27	0°	1°42	0°	16°09

Использование: Проекция ALBERS EQUAL-AREA CONIC используется для изображения среднеширотных регионов, желательный предел по широте 30°-35°.



Параметры:

Longitude of the Central Meridian: (долгота центрального меридиана)

Latitude of the Origin of the Projection: (широта точки начала отсчета координат)

Latitude of Southern Standard Parallel: (широта южной стандартной параллели)

Latitude of Northern Standard Parallel: (широта северной стандартной параллели)

False Northing: (ложный северный сдвиг)

False Easting: (ложный восточный сдвиг)

АЗИМУТАЛЬНЫЕ ПРОЕКЦИИ

AZIMUTHAL EQUAL-AREA – азимутальная равновеликая проекция.

Описание: Эта проекция получена в результате проектирования земной поверхности на плоскость, касающуюся глобуса. Эта проекция может использоваться как в нормальном, так и в поперечном и косом положениях.

Искажения: Искажения в углах этой в проекции будет минимальным, нежели в других равновеликих проекциях. Форма имеет минимальные искажения

	0°	30°	60°	90°
<i>m</i> – масштаб длин по меридианам	1	0.966	0.866	0.707
<i>n</i> - масштаб длин по параллелям	1.	1.035	1.155	1.414
<i>p</i> – масштаб площадей	1	1	1	1
<i>ω</i> – угловые искажения	0°	3°58	16°26	38°57

Использование: Благодаря своим свойствам, проекция AZIMUTHAL EQUAL-AREA широко применяется для карт, на которых нужно правильно передать не только площади территорий, но и очертания этих территорий. В поперечном положении эта проекция используется для построения карт полушарий, а в косом положении – для карт материков Азии, Австралии, Северной Америки, Южной Америки.



AZIMUTHAL EQUIDISTANT – азимутальная равнопромежуточная.

(Проекция Постеля)

Описание: Эта проекция получена в результате проектирования земной поверхности на плоскость, касающуюся глобуса. Эта проекция может использоваться как в нормальном, так и в поперечном и косом положениях.

Искажения: Любая часть земного шара, ограниченная окружностью, изображается с меньшим относительным искажением длин, чем в какой бы то ни было другой проекции.

	0°	30°	60°	9 0°
<i>m</i> – масштаб длин по меридианам	1	1	1	1
<i>n</i> - масштаб длин по параллелям	1	1.047	1.209	1.571
<i>p</i> – масштаб площадей	1	1.047	1.209	1.571
<i>ω</i> – угловые искажения	0°	2°38	10°52	25°39

Использование: Проекция AZIMUTHAL EQUIDISTANT широко применяется для территорий, имеющих округлую форму. В случае, если территория имеет малые размеры, то в этой проекции можно создавать карты крупного и среднего масштаба. Применяется в тех случаях, когда желают в какой-нибудь точке карты сохранить без искажений азимуты и расстояния от этой точки, до любой другой (авиационные, сейсмические карты с аэропортом или сейсмической станцией в центре).



STEREOGRAPHIC – равноугольная азимутальная (стереографическая).

Описание: Эта проекция получена по законам линейной перспективы. Эта проекция может использоваться как в нормальном, так и в поперечном и косом положениях.

Искажения: Любой круг, взятый на поверхности сферы будет изображаться в этой проекции также кругом. Форма и углы сохраняются, площадь передается без искажения только в центре, искажения возрастают по мере удаления от центра, масштаб длин также увеличивается по мере удаления от центра.

	0°	30°	60°	9 0°
<i>m</i> – масштаб длин по меридианам	1	1.072	1.333	2

n – масштаб длин по параллелям	1	1.072	1.333	2
p – масштаб площадей	1	1.149	1.778	4
ω – угловые искажения	0°	0°	0°	0°

Использование: Благодаря своим свойствам, проекция получила широкое применение на практике (карты северного и южного полушарий). В ней хорошо изображать территории, имеющие округлую форму, т.к. она будет удовлетворять теореме Чебышева, по которой наилучшей проекцией считается та, где масштаб длин сохраняется вдоль контура изображаемой территории. Также в этой проекции можно создавать карты крупного (1:2000 – 1:100 000) и среднего масштабов (1:200 000, 1:500 000) на незначительные территории.



ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ ПРОЕКЦИИ

CYLINDRICAL EQUAL-AREA – цилиндрическая равновеликая проекция.

Описание: Если пересечь поверхность цилиндра, касательного к поверхности глобуса по экватору, плоскостями меридианов и параллелей и затем развернуть поверхность его в плоскость, то получим равновеликую цилиндрическую проекцию, предложенную Ламбертом, под названием *изоцилиндрической*.

Искажения: Площади передаются без искажения. Контур (форма) искажаются весьма значительно, сохраняются только вдоль стандартных параллелей. Масштаб сохраняется вдоль экватора. Для мировых карт из равновеликих цилиндрических проекций является наивыгоднейшей проекция с параллелями сечения $\pm 30^\circ$, в этом случае средняя величина из абсолютных значений наибольших искажений углов получается меньше, чем в других проекциях.

	0°	30°	60°	90°
m – масштаб длин по меридианам	1	0.866	0.5	0
n – масштаб длин по параллелям	1	1.115	2	∞
p – масштаб площадей	1	1	1	1
ω – угловые искажения	0°	16°26'	73°44'	180°0'

Использование: Применяется для карт, на которых хотят показать распределение географических объектов по зонам в зависимости от изменения географической широты (зоогеографические, геоботанические, этнографические и т.д.)

EQUIDISTANT CYLINDRICAL– равнопромежуточная цилиндрическая проекция.

Описание:

а) Простая цилиндрическая проекция

В данном случае на поверхность цилиндра, касательного к экватору глобуса, переносятся равноотстоящие меридианы и экватор в виде образующих цилиндра и касательной, а на полученных меридианах откладываются выпрямленные дуги меридианов глобуса, соответствующие принятой постоянной разности широт. После развертывания поверхности цилиндра в плоскость получим картографическую сетку в ***простой цилиндрической или квадратной проекции***. Сетка в этой проекции квадратная. Эта проекция самая простая не только среди всех цилиндрических, но и вообще среди всех картографических проекций.

Искажения: Квадратная проекция не сохраняет ни равенства углов, ни равенства площадей. Так как масштаб по всем меридианам сохраняется постоянным, равным главному, то эта проекция является равнопромежуточной. Таким образом, все отрезки по мере удаления от экватора всё более и более искажаются, увеличиваясь на крайних параллелях по долготе до 30% своей длины. Наибольшие искажения углов, ничтожные вблизи экватора, быстро растут с увеличением широты.

	0°	30°	60°	90°
<i>m</i> – масштаб длин по меридианам	1	1	1	1
<i>n</i> - масштаб длин по параллелям	1	1.155	2	∞
<i>p</i> – масштаб площадей	1	1.155	2	∞
<i>ω</i> – угловые искажения	0°	8°14	38°57	180°0

Использование: Наиболее удобна только для изображения экваториальных территорий и для составления зодиакальных карт неба.



б) Прямоугольная цилиндрическая проекция

В целях уменьшения крайних искажений вместо касательного цилиндра можно взять секущий цилиндр с двумя параллелями сечения, отстоящими от экватора на равных расстояниях. Картографическая сетка в прямоугольной проекции представляет собой

систему равных прямоугольников, сжатых по долготе, чем и объясняется название проекции.

Искажения: Относительные максимальные искажения длин в этой проекции на крайних параллелях ($\varphi = \pm 40^\circ$) составляют 22.7%, т.е. меньше, чем в квадратной проекции. Точно так же уменьшились искажения площадей и углов, но искажения в обе стороны от параллелей сечения возрастают неравномерно. Масштаб по всем меридианам и по двум параллелям сечения равен главному масштабу, т.е. увеличение равно 1. Увеличение по параллелям, расположенным между параллелями сечения, меньше 1, а по внешним параллелям – больше 1.

	0°	30°	60°	90°
<i>m</i> – масштаб длин по меридианам	1	1	1	1
<i>n</i> - масштаб длин по параллелям	0.940	1.085	1.879	∞
<i>p</i> – масштаб площадей	0.940	1.085	1.879	∞
ω – угловые искажения	3°56	4°67	35°31	180°0

Использование: Применяется иногда для изображения небольших частей земной поверхности, причем за параллель сечения берется средняя параллель страны.



CONFORMAL CYLINDRICAL– цилиндрическая равноугольная проекция.

(проекция Меркатора)

Описание: Предложена Меркатором в 1569г. Обладает свойством локсодромичности, т.е. локсодромии (см. Словарь) изображаются прямыми линиями.

Искажения: Проекция является равноугольной. Изменение масштабов медленнее всего происходит вблизи экватора.

	0°	30°	60°	90°
<i>m</i> – масштаб длин по меридианам	1	1.115	2	∞
<i>n</i> - масштаб длин по параллелям	1	1.115	2	∞
<i>p</i> – масштаб площадей	1	1.333	4	∞
ω – угловые искажения	0°	0°	0°	0°

Использование: Проекция Меркатора является единственной, в которой локсодромия изображается прямой линией, что преопределило широкое ее использование для создания морских навигационных карт.



ВЫБОР КАРТОГРАФИЧЕСКИХ ПРОЕКЦИЙ

При создании любых карт важное значение имеет вопрос о выборе картографических проекций, обеспечивающих оптимальное решение по этим картам различных задач.

Выбор картографических проекций зависит от многих факторов, которые можно разделить на три группы.

- 1) К первой отнесем факторы, характеризующие объект картографирования. Это географическое положение изображаемой территории, ее размеры, форма границ (конфигурация), степень показа смежных с картографируемой областью территорий, значимость отдельных ее частей.
- 2) Вторая группа включает факторы, характеризующие создаваемую карту, способы и условия ее использования. В эту группу входят назначение и специализация, масштаб и содержание карты, задачи, которые будут решаться по ней (картометрические, навигационные и пр.) и требования к точности их решения, способы использования карты.
- 3) К третьей группе отнесем факторы, которые характеризуют получаемую проекцию. Это ее характер искажений, условия обеспечения минимума искажений и допустимые максимальные искажения длин, углов и площадей, характер их распределения, изображение полюсов, условия симметричности картографической сетки относительно экватора и т.п.

Выбор картографических проекций осуществляется в два этапа: на первом устанавливается совокупность проекций (или их свойства), из которой целесообразно производить их выбор; на втором - определяют искомую проекцию.

Все факторы первой группы, как правило, должны быть твердо заданными. Их учет предполагает, прежде всего, выбор таких проекций, в которых их центральные точки и центральные линии, вблизи которых масштабы мало изменяются, находятся в центре

картографируемой территории, а центральные линии направлены, по возможности, по направлению наибольшего протяжения этих территорий.

Поэтому для многих карт выбирают:

цилиндрические проекции - для территорий, расположенных вблизи и симметрично относительно экватора и вытянутых по долготе;

конические проекции - для таких же территорий, но не симметричных относительно экватора или расположенных в средних широтах;

азимутальные проекции – для изображения полярных областей;

поперечные и косые цилиндрические проекции - для изображения территорий, вытянутых вдоль меридианов или вертикалов;

поперечные или косые азимутальные проекции - для показа территорий, очертания которых близки к окружности и т.п.

Таким образом, учет факторов этой группы дает возможность предварительно установить совокупность проекций (или их свойств), из которых целесообразно определять искомую проекцию.

Вторая группа факторов является основной при решении поставленной задачи. Именно, исходя из условий этой группы, определяют относительную значимость факторов третьей группы: какие из них являются в конкретном случае наиболее существенными, а какие факторы можно не учитывать. При этом некоторые из требований, например, о желаемом характере искажений проекции, максимально допустимых их величинах, изображении полюсов, симметричности или асимметричности картографической сетки, разделенности меридианов и параллелей, наличии перекрывающихся частей изображения и т.п. в определенных случаях подлежат, безусловному учету. Это значит, что выбор проекции должен выполняться в данном случае только из совокупности проекций, в которой заданные требования полностью удовлетворяются, например, только из равновеликих проекций или только из проекций с ортогональной сеткой и т.п. Таким образом, факторы, приобретающие в данном конкретном случае безусловную значимость, в дополнение к факторам первой группы, позволяют, в основном, решить первую часть задачи - установить совокупность проекций (или их свойств), из состава которой целесообразно определять искомую проекцию.

После выделения всех этих факторов, подлежащих обязательному учету, выполняется ранжирование (иерархия) всех прочих факторов, определяется относительная значимость каждого из них при выборе конкретной проекции.

Как уже отмечалось, учет факторов первой группы позволяет установить совокупность проекций, из состава которой целесообразно определять искомую проекцию. Влияние на решение данной задачи этих факторов возрастает вместе с увеличением размеров изображаемых областей.

Для уменьшения величин искажений и обеспечение лучшего их распределения, особенно при картографировании крупных территорий, стремятся, учесть положение центральных точек и линий проекций и их соответствие географическому положению территорий.

В тех случаях, когда изображению подлежат крупные по площади области и, следовательно, искажения длин и площадей будут достигать значительных величин, пренебречь которыми невозможно, следует выбирать не те проекции, в которых искажения длин минимальны, а те, в которых проще учитывать влияние этих искажений.

Использовании проекций с малым искажением углов неизбежно приводит к увеличению искажения площадей в этой проекции и наоборот. Поэтому в случаях, когда в равной степени нежелательны и искажения углов и площадей, целесообразно использовать проекции, близкие к равнопромежуточным.

При создании мелкомасштабных карт, предназначенных для зрительного восприятия, существенными факторами являются наиболее правильная передача относительности географического расположения территорий, вид картографической сетки, наличие эффекта сферичности и другие.

Таким образом, **картографические проекции необходимо выбирать под условием, чтобы они не только обеспечивали минимум искажений, но и чтобы характер их искажений обеспечивал оптимальные условия решения задач по картам, вытекающие из их назначения.**

РАСПОЗНАВАНИЕ ПРОЕКЦИЙ

Определение вида проекции, а также характера и распределения искажений, имеет практическое значение при пользовании картами.

Рассмотрим общие правила для распознавания проекций по сетке для мелкомасштабных карт, охватывающих территории материков, полушария и всю земную поверхность.

Цилиндрические проекции

Если параллели – прямые линии, а меридианы – перпендикулярные им равноотстоящие прямые, то перед нами одна из цилиндрических проекций в нормальном положении.(рис. 21)

У равнопромежуточной проекции параллели равноотстоящие; равновеликая проекция имеет промежутки между ними, уменьшающиеся к полюсам; если же промежутки между параллелями увеличиваются по мере приближения к полюсам, причем на широте 60° промежутков между параллелями в два раза больше такого же промежутка на экваторе, то проекция равноугольная меркаторская. При более медленном нарастании промежутков между параллелями в крайних широтах можно предположить, что карта составлена в стереографической цилиндрической проекции.

Конические проекции

В конических проекциях параллели – концентрические окружности, а меридианы – прямые (радиусы этих окружностей), причем углы между ними меньше разности долгот в натуре.(рис. 22) При этом, если параллели равноотстоящие, то проекция равнопромежуточная, если расстояния между параллелями убывают в обе стороны,

начиная от некоторой средней параллели, то перед нами равновеликая коническая проекция, а если, наоборот, увеличиваются, то – равноугольная коническая.

Меридианы и параллели пересекаются в конических проекциях под прямым углом.

Азимутальные проекции

В нормальных азимутальных проекциях параллели — концентрические окружности, а меридианы — радиусы этих окружностей с углами между ними, равными разности долгот в натуре.(рис. 20)

Нормальные сетки азимутальных проекций применяются для изображения полярных областей. При этом, если расстояния между параллелями одинаковые, то проекция—равнопромежуточная; если расстояния между ними уменьшаются от полюса к экватору и на экваторе составляют 0,7 интервала между параллелями у полюса, то это равновеликая азимутальная проекция; если расстояния между параллелями у экватора уменьшаются еще сильнее, так, что они почти сливаются, то проекция ортографическая. В равноугольной азимутальной (стереографической) (рис. 31) проекции в нормальном положении расстояния между параллелями увеличиваются от полюса к экватору приблизительно в два раза, а в гномонической проекции они возрастают до бесконечности, поэтому на картах в этой проекции возможно изобразить территорию меньше полушария.

Азимутальные проекции применяются в поперечном положении для карт полушарий. Для опознавания среди них отдельных видов проекций действуют те же правила, что и для нормальных сеток, с той разницей, что интервалы между параллелями надо определять вдоль осевого меридиана от центральной точки к полюсам. Так же должны изменяться и расстояния между меридианами, считаемые по прямолинейному экватору. Кроме того, поперечную стереографическую проекцию можно отличить от прочих по виду меридианов и параллелей, которые изображаются на ней окружностями, а поперечную гномоническую—по виду меридианов, изображаемых параллельными прямыми.

Азимутальные проекции применяются также в косом положении для изображения материков. Для их распознавания надо измерять промежутки вдоль прямолинейного меридиана вблизи центральной точки и на краю, применяя те же правила для опознавания, что и для нормальной сетки.

Проекции с круговыми параллелями

Псевдоконическая проекция Бонна имеет сетку, симметричную относительно среднего прямолинейного меридиана, разделенного параллелями на равные части; параллели—концентрические окружности, разделенные криволинейными меридианами на равные части (рис. 23).

Простая поликоническая проекция отличается от проекции Бонна по внешнему виду тем, что параллели в ней изображаются равнораз-деленными дугами эксцентрисических окружностей (рис. 25).

Круговая проекция Гринтена (рис. 19) может быть узнана по меридианам и параллелям, изображающимся окружностями, симметрично прямолинейному осевому меридиану и экватору, при этом в отличие от поперечной стереографической проекции экватор делится меридианами на равные части, расстояния между параллелями вдоль

осевого меридиана увеличиваются примерно в $2\frac{1}{3}$ раза от центральной точки к полюсам, меридианы и параллели пересекаются не под прямыми углами (кроме пересечений с осевым меридианом и экватором).

Псевдоцилиндрические проекции

Во всех псевдоцилиндрических проекциях параллели изображаются прямыми, а меридианы различными кривыми, симметричными одному прямолинейному меридиану. При этом применяются псевдоцилиндрические проекции как с равноотделенными меридианами и параллелями, так и с неравноотделенными. В некоторых проекциях полюс изображается точкой, в других—полярной линией.(рис.24)

Большая группа псевдоцилиндрических проекций имеет синусоидальные меридианы. При этом, если параллели равноотстоящие и равноотделенные меридианами, а полюс изображается точкой, то это псевдоцилиндрическая равновеликая проекция Сансона.(рис. 24)

От проекции Сансона отличаются близкие между собой по внешнему виду равновеликие синусоидальные проекции Эккерта и В. В. Каврайского (1936 г.), в которых интервалы между параллелями уменьшаются от экватора к полюсам, изображаемым полярными линиями, равными половине экватора, параллели равноотделенные.

В равновеликой эллиптической проекции Мольвейде (рис. 24) согласно определению меридианы изображаются эллипсами, делящими каждую параллель на равные части; полюс изображается точкой.