

Проблема

Как изобразить нашу Землю на плоскости?

Как показать правильные размеры Земли и объектов, находящихся на ней?

Как избежать при этом искажений?

Тема: «Классификация картографических проекций»

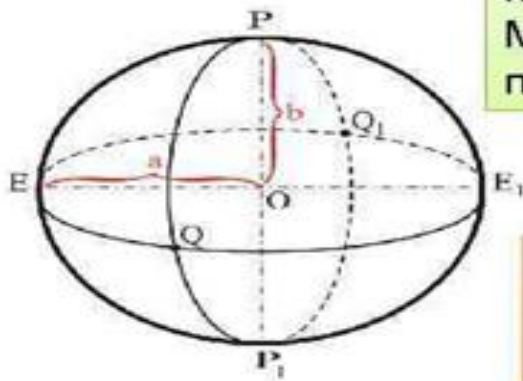
Вопросы:

1. Понятие о земном эллипсоиде и сфероиде
2. Система координат на поверхности эллипсоида и сферы
3. Понятия о картографической проекции
4. Классификация картографических проекций по характеру искажений, выбор картографических проекций.
5. Проекция Гаусса – Крюгера
6. Основные свойства и особенности картографических проекций

Литература

1. Макаров К. Н. Геодезия в строительстве : учебник для среднего профессионального образования / К. Н. Макаров. — 3-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2024. — 170 с.
2. Смалев В. И. Геодезия с основами картографии и картографического черчения : учебное пособие для среднего профессионального образования / В. И. Смалев. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва: Издательство Юрайт, 2024. — 189 с.
3. Вострокнутов А. Л. Основы топографии : учебник для среднего профессионального образования / А. Л. Вострокнутов, В. Н. Супрун, Г. В. Шевченко ; под общей редакцией А. Л. Вострокнутова. — Москва: Издательство Юрайт, 2024. — 196 с.

Понятие о земном эллипсоиде и сфероиде



Геоид - тело, ограниченное поверхностью среднего уровня Мирового океана, мысленно продолженного под материками.

Эллипсоид

Сфероид - эллипсоид с малым сжатием
Сфероид = Земной эллипсоид

Референц-эллипсоид - эллипсоид, определённым образом ориентированный в теле геоида

$$\alpha = \frac{a - b}{a}$$

$$a = 6\,378\,245 \text{ м}$$

$$b = 6\,356\,863 \text{ м}$$

$$\alpha = 1:298.3$$

Физическая поверхность земли

Геоид – выпуклая замкнутая поверхность, совпадающая с поверхностью воды в морях и океанах в спокойном состоянии и перпендикулярная к направлению силы тяжести в любой её точке.

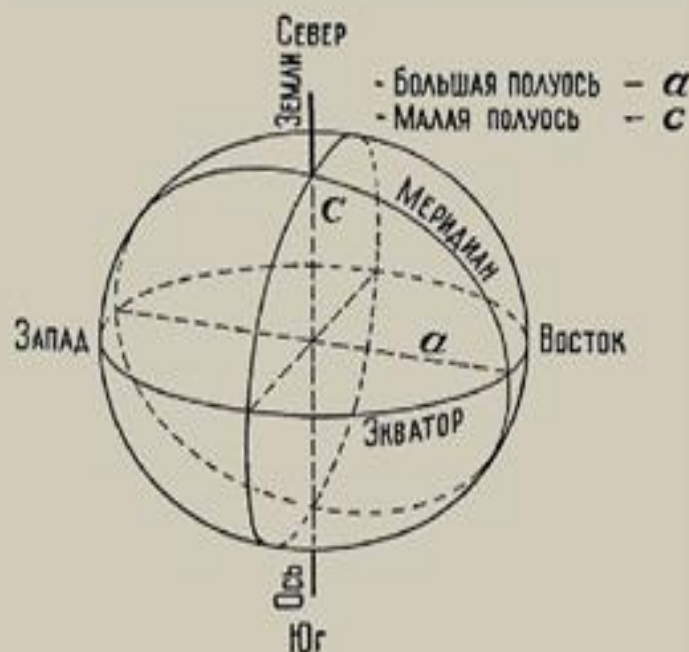
Свойство поверхности геоида – в каждой своей точке она нормальна (перпендикулярна) к направлению отвесной линии, проходящей через эту точку (действие силы тяжести). Поверхность геоида сложная и неправильная, что не дает возможности пользоваться ею при геодезических и картографических расчетах.

В силу этого земную поверхность заменяют некоторой правильной поверхностью, которая носит название поверхности относимости.

Современные представления о фигуре Земли

Описание формы Земли с помощью геометрической фигуры:

- Эллипсоид вращения – правильная фигура, которая возникает при вращении равномерного тела;
- Сфероид – условная замкнутая поверхность, которая сформировалась при равномерном удалении точек от центра. Возникает при вращении тела, которому свойственна однородность и равномерное распределение плотности;



Математическая поверхность Земли

Земной эллипсоид – это эллипсоид вращения с малым сжатием, размеры которого и ориентировка в теле Земли выбраны таким образом, чтобы для заданной территории он наименее уклонялся от геоида. Плоскость экватора и центр эллипсоида вращения совпадают с плоскостью экватора и центром масс Земли.

Такой земной эллипсоид называют референц-эллипсоидом. Постановлением Совета Министров от 7 апреля 1946 г. за такой референц-эллипсоид у нас в стране принят референц-эллипсоид Красовского.

В России с 1946 г. для геодезических и картографических работ приняты следующие размеры референц-эллипсоида:

большая полуось $a=6\,378\,245$ м;

малая полуось $b=6\,356\,863$ м;

полярное сжатие $\alpha=(a-b)/a=1/298,3$;

В ряде случаев Землю принимают за шар с радиусом (R).

$R=6\,371\,110$ м $\approx 6\,371,11$ км

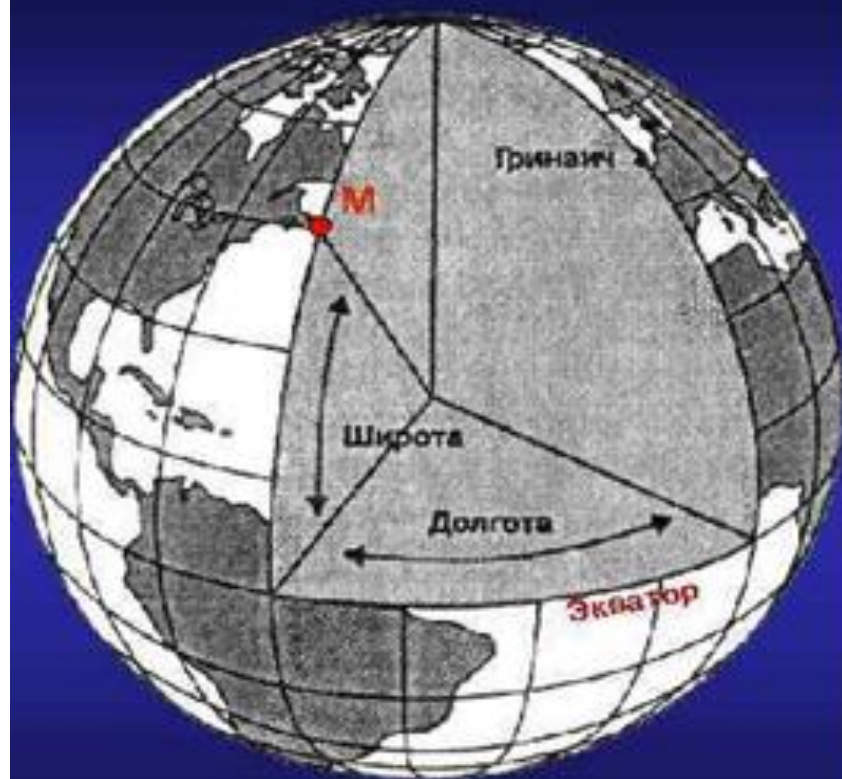
Референц-эллипсоид

- **Референц-эллипсоид** — приближенная форма поверхности Земли (а точнее, геоида), используемая для нужд геодезии на некотором участке земной поверхности (территории отдельной страны или нескольких стран).



Система координат на поверхности эллипсоида и сферы

Географические системы координат



Географические координаты (широта и долгота) - это угловые величины, определяющие положение точки на земной поверхности. Измеряются в градусах, минутах, секундах.

Широта - это угол между отвесной линией (нормалью) в данной точке и плоскостью экватора. *Изменяется* от 0 (экватор) до 90° на полюсах: “северные” (+), “южные” (-).

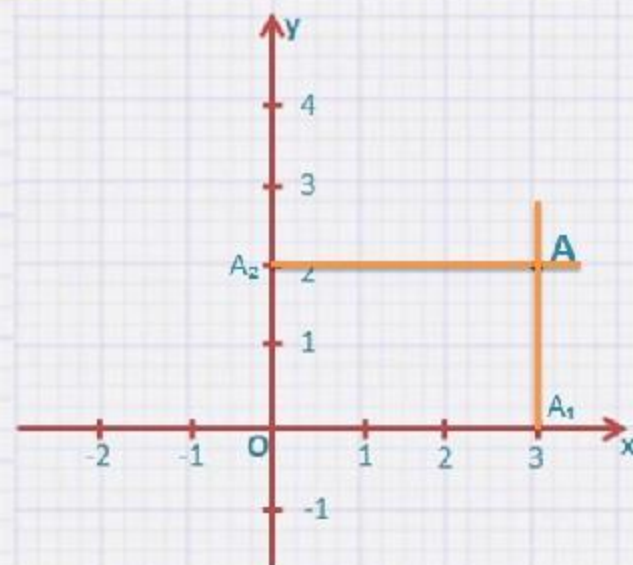
Долгота - это угол между плоскостью меридиана, проходящего через данную точку, и плоскостью начального меридиана (проходит через Гринвич, вблизи Лондона, принят в 1884 г.). *Изменяется* от 0 до 360° с запада на восток или в *обе стороны* от 0 до 180° : “восточная” (+), “западная” (-).

Плоские прямоугольные геодезические системы координат

- При решении инженерно-геодезических задач в основном применяют плоскую прямоугольную геодезическую и полярную системы координат.
- Для определения положения точек в плоской прямоугольной геодезической системе координат используют горизонтальную координатную плоскость XOY , образованную двумя взаимно перпендикулярными прямыми. Одну из них принимают за ось абсцисс X , другую — за ось ординат Y , точку пересечения осей O — за начало координат.

Декартова система координат на плоскости

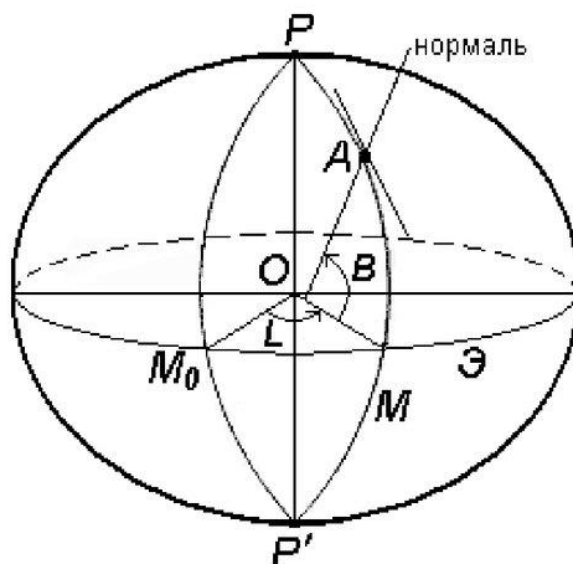
- Координаты точки записывают в скобках рядом с буквой, обозначающей эту точку: **$A(x;y)$** , причем на первом месте пишется абсцисса, а на втором месте – ордината.
- Например, точка A , изображенная на рисунке, имеет абсциссу $x=3$ и ординату $y=2$, поэтому пишут **$A(3;2)$** .



Геодезические координаты определяют положение точки земной поверхности на референц-эллипсоиде

24

Геодезические координаты



- Геодезическая широта (B) определяется острым углом между нормалью к поверхности эллипсоида и плоскостью экватора. Широта изменяется от 0° до 90° ($0^\circ \leq B \leq 90^\circ$). Различают северную широту и южную широту.
- Геодезическая долгота (L) равна двугранному углу между плоскостями начального меридиана и меридиана данной точки. Долгота изменяется от 0° до 180° ($0^\circ \leq L \leq 180^\circ$). Различают восточную долготу и западную долготу.

Проектирование земной поверхности. Системы координат

Геодезические координаты

Геодезические координаты определяют положение точки земной поверхности на референц-эллипсоиде

Геодезическая широта B – угол, образованный нормалью к поверхности эллипсоида в данной точке и плоскостью его экватора. Широта отсчитывается от экватора к северу или югу от 0° до 90° и соответственно называется северной или южной широтой.

Геодезическая долгота L – двугранный угол между плоскостями геодезического меридиана данной точки и начального геодезического Гринвичского меридиана.

Долготы точек, расположенных к востоку от начального меридиана, называются восточными, а к западу – западными.

Астрономические координаты (для геодезии)

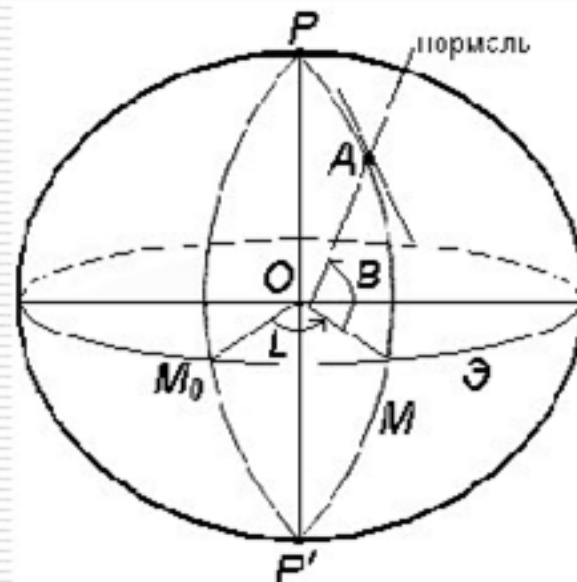
Астрономическая широта φ и долгота λ определяют положение точки земной поверхности относительно экваториальной плоскости и плоскости начального астрономического меридиана.

Астрономическая широта φ – угол, образованный отвесной линией в данной точке и экваториальной плоскостью.

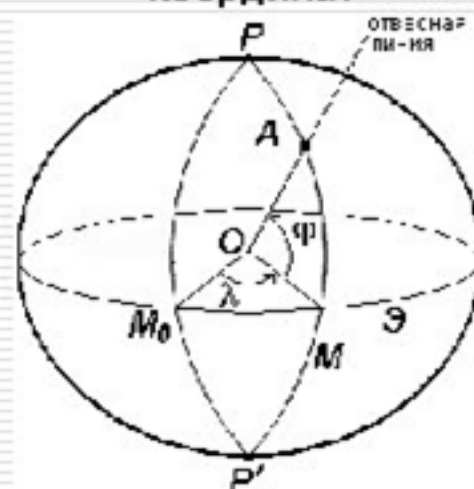
Астрономическая долгота λ – двугранный угол между плоскостями астрономического меридиана данной точки и начального астрономического меридиана.

Плоскостью астрономического меридиана является плоскость, проходящая через отвесную линию в данной точке и параллельная оси вращения Земли.

Астрономическая широта φ и долгота λ определяются астрономическими наблюдениями.



Система геодезических координат

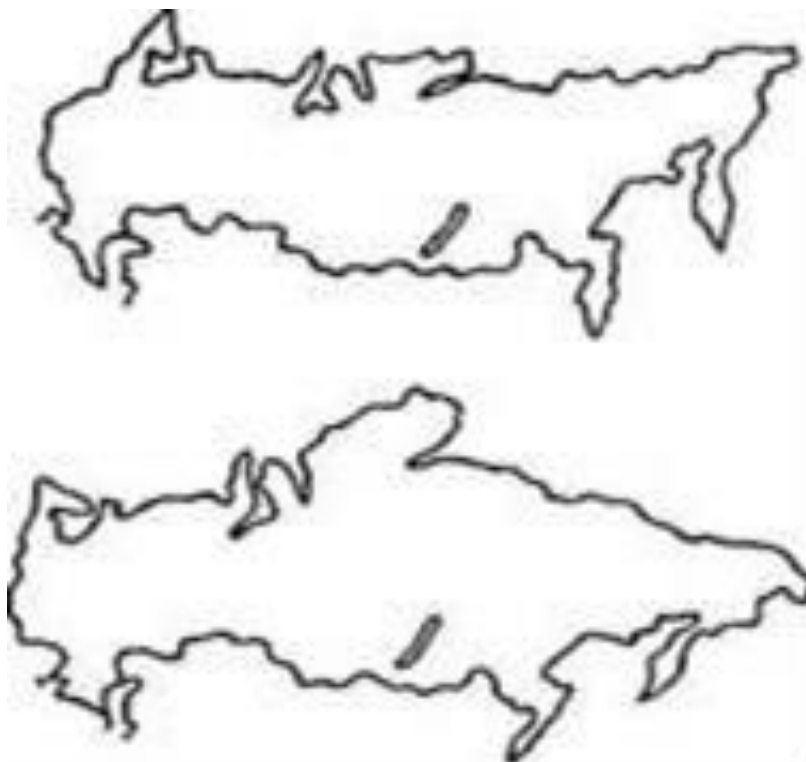


Система астрономических координат

Понятия о картографической проекции

Картографической проекцией называется математически определенный способ отображения поверхности земного эллипсоида на плоскости.

Он устанавливает функциональную зависимость между географическими координатами точек поверхности земного эллипсоида (широтой B и долготой L) и прямоугольными координатами X и Y этих точек на плоскости (карте).



На рис. 1 Контур России в разных проекциях

В картографических проекциях виды искажений:

- ◆ искажения длин — вследствие этого масштаб карты непостоянен в разных точках и по разным направлениям, а длины линий и расстояния искажены;
- ◆ искажения площадей — масштаб площадей в разных точках карты различен, что является прямым следствием искажений длин и нарушает размеры объектов;
- ◆ искажения углов — углы между направлениями на карте искажены относительно тех же углов на местности;
- ◆ искажения форм — фигуры на карте деформированы и не подобны фигурам на местности, что прямо связано с искажениями углов.

Классификация картографических проекций

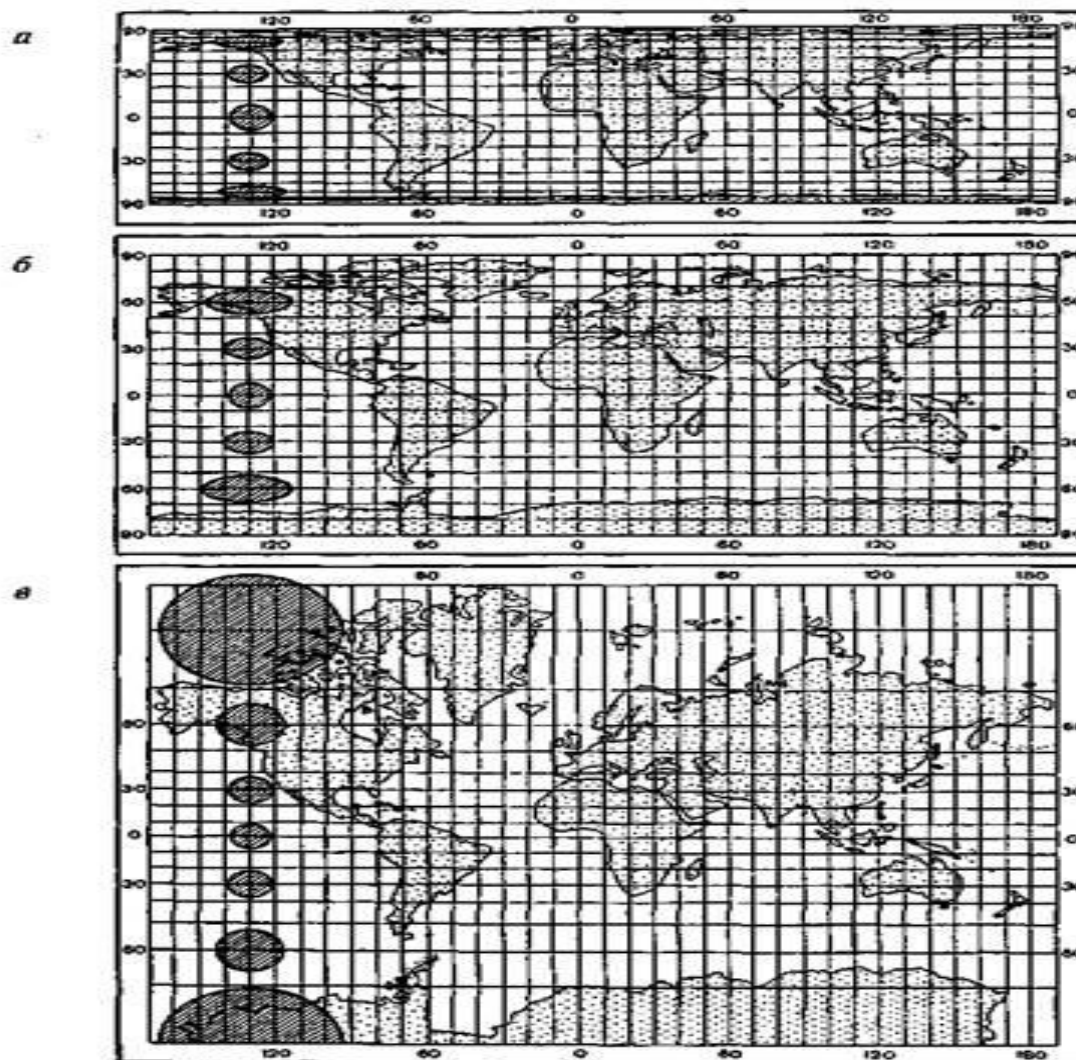
Картографические проекции обычно различают:

- по характеру искажений;
- по виду вспомогательной геометрической поверхности, применяемой при переходе от поверхности эллипсоида к плоскости (или по виду нормальной сетки);
- по ориентировке этой поверхности по отношению к элементам земного эллипсоида (земной оси, экватору, полюсам).

По характеру искажений проекции делятся на равноугольные, равновеликие и произвольные

- **Равновеликие проекции** сохраняют площади без искажений. Такие проекции удобны для измерения площадей объектов. Однако в них особенно значительно нарушены углы и формы, что особенно заметно для больших территорий.
- **Равноугольные проекции** — оставляют без искажений углы и формы контуров, показанных на карте. Элементарная окружность в таких проекциях всегда остается окружностью, но размеры ее сильно меняются. Зато карты, оставленные в равноугольных проекциях, имеют значительные искажения площадей.
- **Равнопромежуточные проекции** — проекции, в которых масштаб длин по одному из главных направлений постоянен и обычно равен главному масштабу карты.
- **Произвольные (условные)** — на карте имеются искажения и углов, и площадей. Карты, построенные в этих проекциях, отличаются меньшим искажением площадей, чем в равноугольных проекциях, и меньшим искажением углов и форм, чем в равновеликих проекциях.

Рис. 2 Искажения в равновеликой (а), равнопромежуточной (б) и равноугольной (в) цилиндрических проекциях



По виду вспомогательной геометрической поверхности различают: **цилиндрические, конические, поликонические и азимутальные проекции**

Цилиндрическими называют проекции, в которых сеть меридианов и параллелей с поверхности эллипсоида проецируется на боковую поверхность касательного или секущего цилиндра, затем цилиндр разрезается по образующей и разворачивается в плоскость.

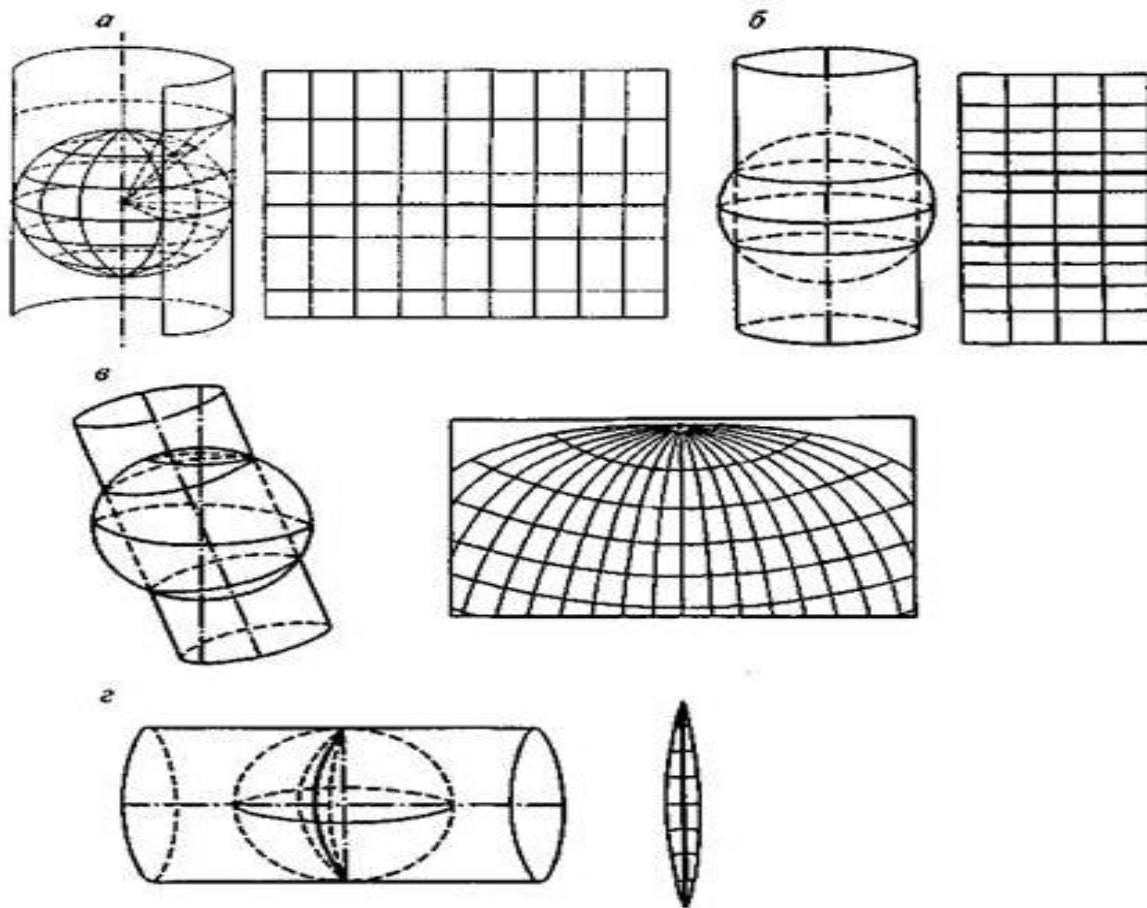
В зависимости от ориентировки цилиндра относительно земной оси различают проекции:

а) **нормальные**, когда ось цилиндра совпадает с малой осью земного эллипсоида. Сетка: меридианы представляют собой равноотстоящие друг от друга **параллельные прямые линии**; **параллели – прямые**, перпендикулярные меридианам. Линия нулевых искажений в проекции на касательном цилиндре – экватор;

б) **поперечные**, когда ось цилиндра лежит в плоскости экватора (т.е. перпендикулярна малой земной оси). Линия нулевых искажений в проекции на касательном цилиндре – меридиан касания. **Сетка: параллели и меридианы – кривые линии**;

в) **косые**, когда ось цилиндра составляет с осью эллипсоида острый угол. Линия нулевых искажений в проекции на касательном цилиндре – линия касания цилиндра и эллипсоида. **Сетка: параллели и меридианы – кривые линии.**

Цилиндрические проекции: а — развертка нормальной цилиндрической проекции (проектирование на касательный цилиндр); б — нормальная цилиндрическая проекция на секущий цилиндр; в — косая цилиндрическая проекция на секущем цилиндре; г — поперечная цилиндрическая проекция на касательном цилиндре



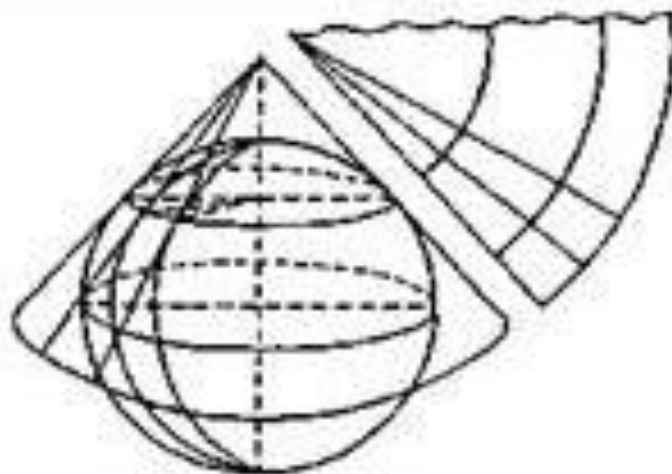
Коническими называют проекции, в которых сеть меридианов и параллелей с поверхности эллипсоида проецируется на боковую поверхность касательного или секущего конуса, затем конус разрезается по образующей и разворачивается в плоскость.

В зависимости от ориентировки конуса относительно земной оси различают проекции:

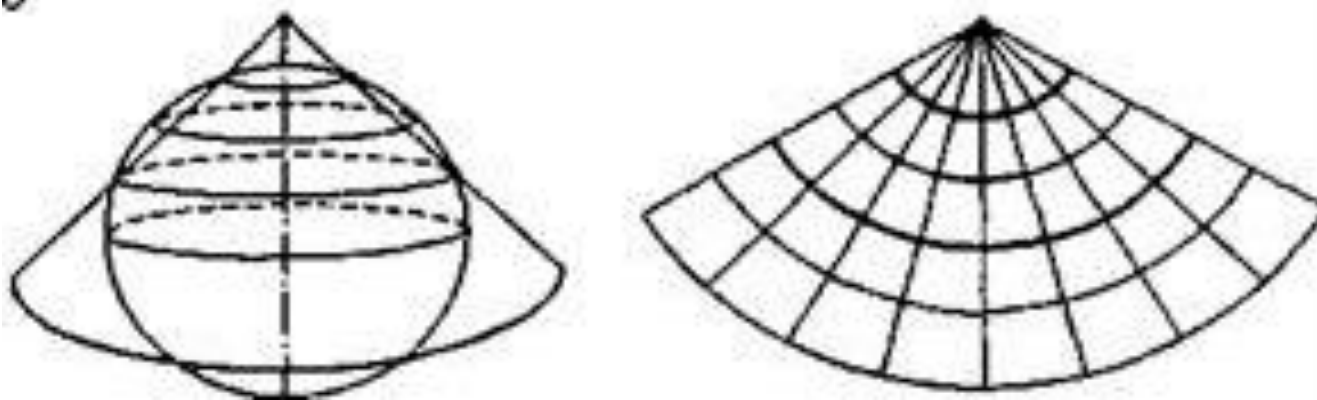
- **нормальные**, когда ось конуса совпадает с малой осью земного эллипсоида. Сетка: **меридианы представляют собой прямые линии**, исходящие из вершины конуса; **параллели – дуги концентрических окружностей**. Линия нулевых искажений – любая параллель касания, кроме экватора;
- **поперечные**, когда ось конуса лежит в плоскости экватора (т. е. перпендикулярна малой земной оси). Линия нулевых искажений – меридиан касания. Сетка: **параллели и меридианы – кривые линии**;
- **косые**, когда ось конуса составляет с осью эллипсоида острый угол. Линия нулевых искажений – линия касания. Сетка: **параллели и меридианы – кривые линии**. Два последних вида проекций применяются очень редко.

Нормальная коническая проекция: а — проекция на касательный конус и развертка; б — проекция на секущий конус и развертка

а



б

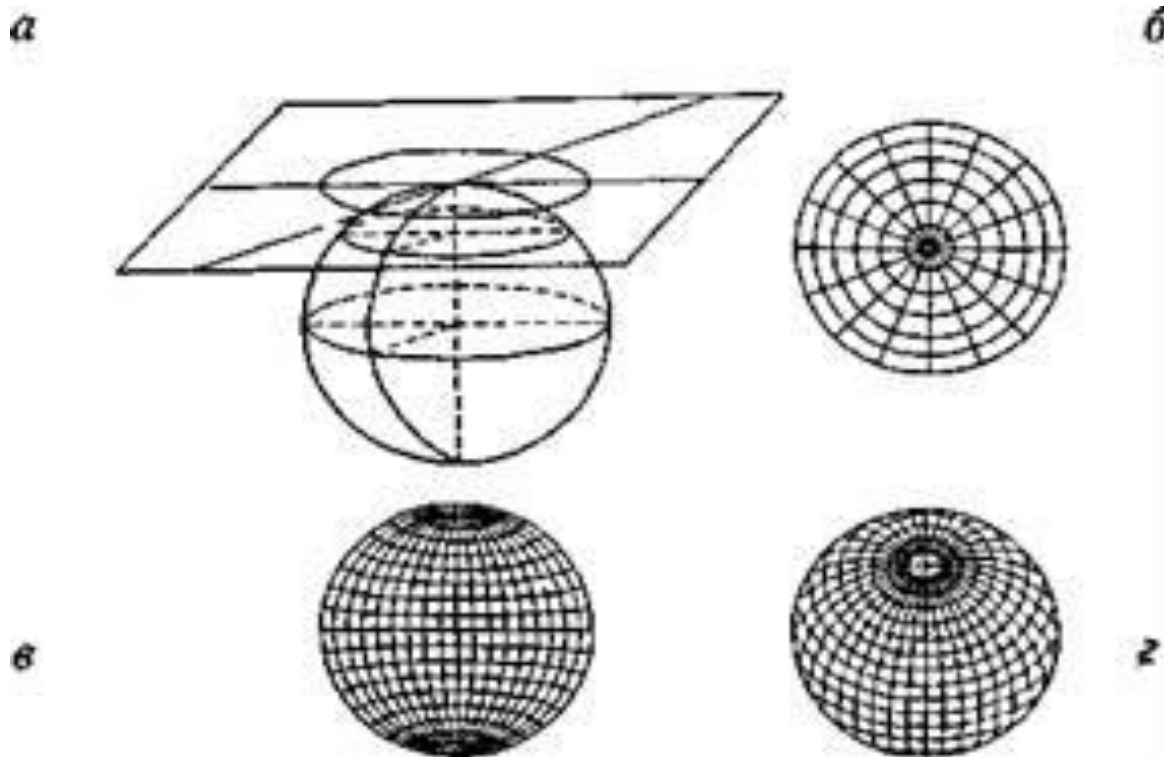


Азимутальными называют проекции, в которых сеть параллелей и меридианов проецируется с поверхности эллипсоида на касательную (или секущую) плоскость. Точка касания плоскости земного эллипсоида является точкой нулевых искажений.

В зависимости от положения точки касания среди азимутальных проекций различают простые:

- **полярные (нормальные)**, когда плоскость касается земного эллипсоида в одном из полюсов. Сетка: **параллели – концентрические окружности с центром в точке полюса; меридианы – прямые линии**, радиусы этих окружностей;
- **экваториальные (поперечные)**, когда плоскость касается эллипсоида в любой точке на экваторе. Сетка: **средний меридиан и экватор взаимно перпендикулярные прямые линии, остальные параллели и меридианы – кривые линии** (иногда параллели изображаются прямыми линиями);
- **горизонтальные (косые)**, когда плоскость касается эллипсоида в какой-либо точке, лежащей между полюсом и экватором. Сетка: **средний меридиан, на котором расположена точка касания, – прямая линия, остальные меридианы и параллели – кривые линии.**

Азимутальные проекции: а — нормальная (или полярная) проекция; б — сетка в полярной проекции; в — сетка в поперечной (экваториальной) проекции; г — сетка в косо́й азимутальной проекции



Условные (произвольные) проекции — проекции, для которых нельзя подобрать простых геометрических аналогов. Их строят, исходя из каких-либо заданных условий, например желательного вида географической сетки, того или иного распределения искажений на карте, заданного вида сетки и др.

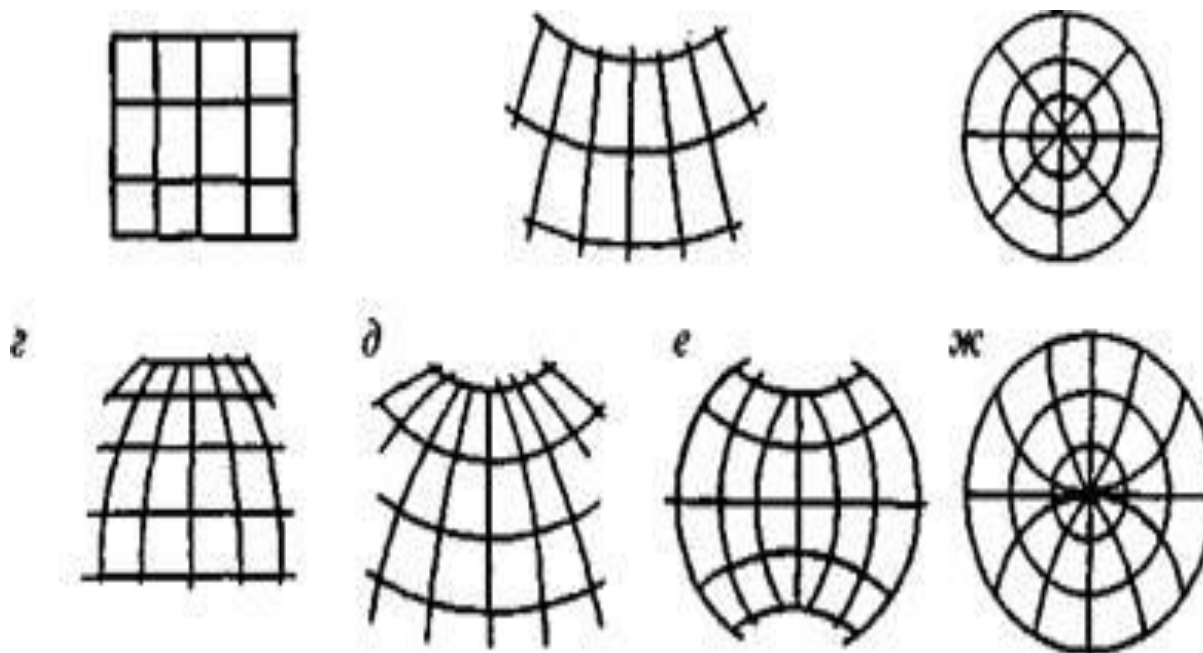
В частности, к условным принадлежат **псевдоцилиндрические, псевдоконические, псевдоазимутальные** и другие проекции, полученные путем преобразования одной или нескольких исходных проекций.

Вид сетки меридианов и параллелей в разных картографических проекциях:

а — цилиндрическая; б — коническая; в — азимутальная;

г — псевдоцилиндрическая; д — псевдоконическая; е — поликоническая,

ж — псевдоазимутальная



- **Псевдоцилиндрические проекции** — проекции, в которых **параллели — прямые** (как и в нормальных цилиндрических проекциях), **средний меридиан — перпендикулярная им прямая, а остальные меридианы — кривые**, увеличивающие кривизну по мере удаления от среднего меридиана.
- **Псевдоконические проекции** — такие, в которых все **параллели изображаются дугами концентрических окружностей** (как в нормальных конических), **средний меридиан — прямая линия, а остальные меридианы — кривые**, причем кривизна их возрастает с удалением от среднего меридиана.
- **Псевдоазимутальная проекция** — проекция, в которой **параллели нормальной сетки — концентрические окружности, а меридианы — кривые линии**, в частном случае — прямые, сходящиеся в центре окружностей.
- **Поликоническими** называют проекции, в которых проектирование сети параллелей и меридианов производится сразу на несколько конусов. Сетка: **центральный меридиан и экватор — взаимно перпендикулярные прямые линии, остальные параллели — дуги эксцентрических окружностей, а меридианы — кривые линии.**

Выбор картографической проекции

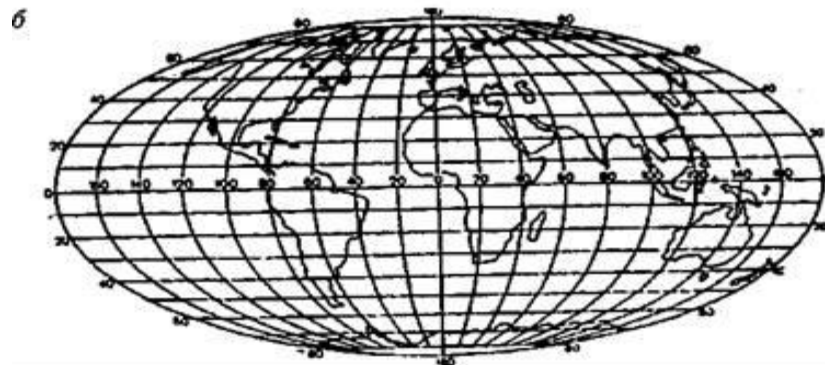
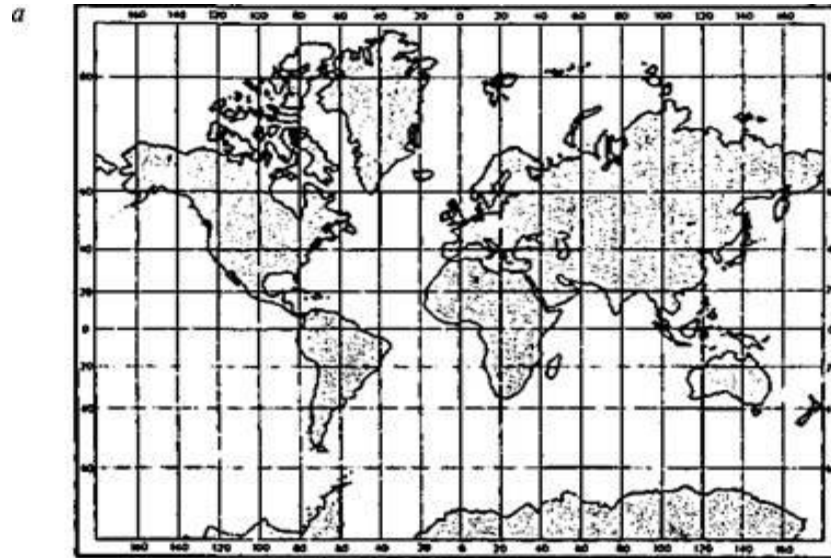
На выбор проекций влияет множество факторов:

- географические особенности картографируемой территории (ее положение на земном шаре, размеры, конфигурация);
- характеристики создаваемой карты (назначение, масштаб, тематика);
- условия и способы использования карты, круг решаемых по ней задач;
- особенности самой проекции (величина искажений и их распределение, форма картографической сетки, кривизна линий положения, наличие эффекта сферичности и др.)

- **Карты мира** обычно составляют в цилиндрических, псевдоцилиндрических и поликонических проекциях. Для уменьшения искажений часто используют секущие цилиндры, а псевдоцилиндрические проекции иногда дают с разрывами на океанах.
- **Карты полушарий** всегда строят в азимутальных проекциях. Для западного и восточного полушарий естественно брать поперечные (экваториальные), для северного и южного полушарий — нормальные (полярные), а в других случаях (например, для материкового и океанического полушарий) — косые азимутальные проекции.
- **Карты материков Европы, Азии, Северной Америки, Южной Америки, Австралии с Океанией** чаще всего строят в равновеликих косых азимутальных проекциях, для Африки берут поперечные, а для Антарктиды — нормальные азимутальные.

Примеры проекций для карт мира:

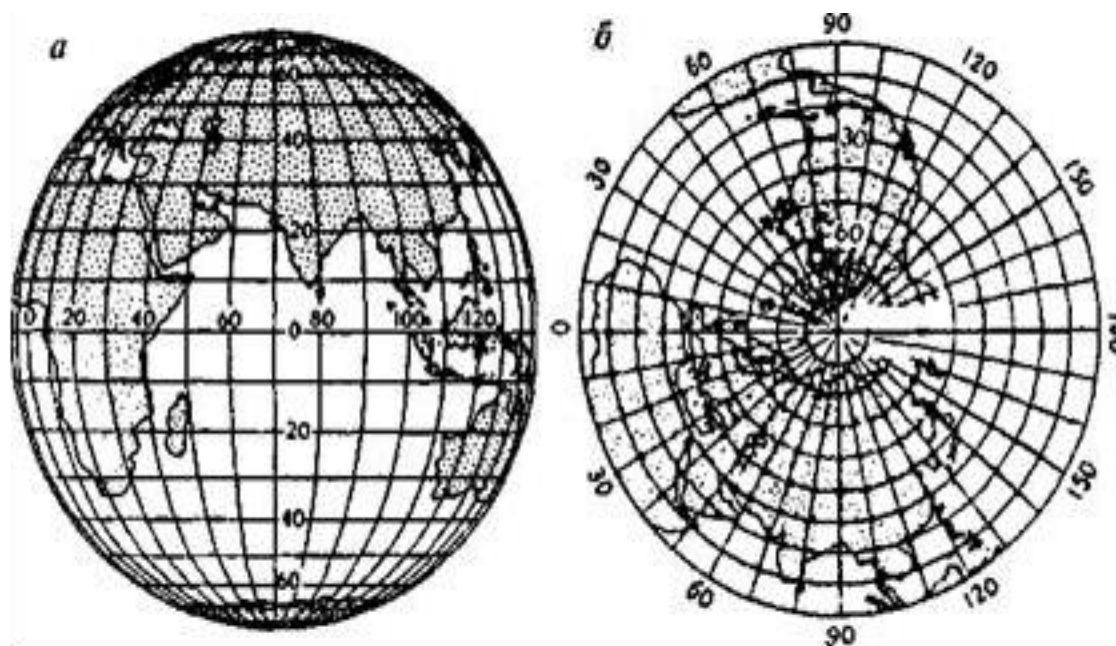
а — цилиндрическая проекция Меркатора; б — псевдоцилиндрическая проекция Мольвейде



Карты России в целом составляют чаще всего в нормальных конических равнопромежуточных проекциях с секущим конусом, но в некоторых особых случаях — в поликонических, произвольных проекциях.

Проекции для карт полушарий:

а — поперечная азимутальная ортографическая проекция для восточного полушария; б- нормальная равнопромежуточная проекция Постеля для северного полушария



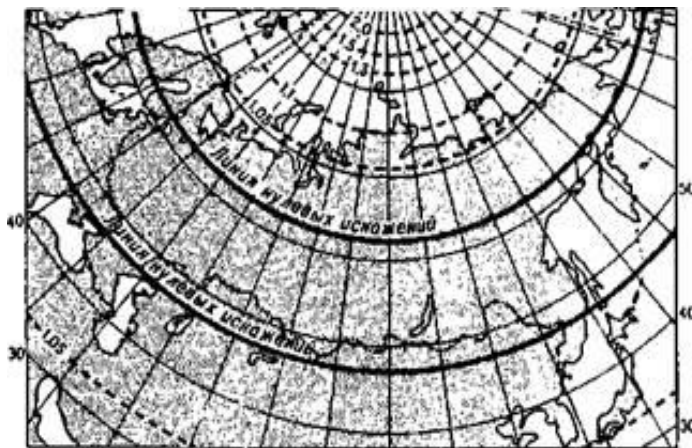
Карты отдельных стран, административных областей, провинций, штатов выполняют в косых равноугольных и равновеликих конических или азимутальных проекциях, но многое зависит от конфигурации территории и ее положения на земном шаре.

Топографические карты России создают в поперечно-цилиндрической проекции **Гаусса-Крюгера**, а США и многие другие западные страны — в универсальной поперечно-цилиндрической проекции Меркатора.

Морские и аэронавигационные карты всегда даются исключительно в цилиндрической проекции Меркатора, а тематические карты морей и океанов создают в самых разнообразных, иногда довольно сложных проекциях.

Проекции для карт России и сопредельных государств:

а) нормальная равнопромежуточная проекция Каврайского



Проекции для карт России и сопредельных государств:
б — поперечно-цилиндрическая проекция Соловьева

б



Классификация картографических проекций и их использование

Классификация проекций по		Изображение (вид)		Изображаемая территория на картах
виду меридианов и параллелей	ориентировке вспомогательной поверхности	меридианов	параллелей	
цилиндрические	нормальные	прямые	прямые	Карты мира. Экваториальные государства
	поперечные	кривые	кривые	Топографические карты, отдельные государства
	косые	кривые	кривые	Карты СНГ (СССР) для начальной школы
конические	нормальные	прямые	дуги концентрических окружностей	Карты СНГ (СССР) и других государств, Западная Европа, Австралия
	поперечные	кривые	кривые	Не используются
	косые	кривые	кривые	Отдельные государства, мало используются
азимутальные	нормальные	прямые	концентрические окружности	Карты Арктики и Антарктиды
	поперечные*	кривые	кривые	Западное и восточное полушария, Африка, экваториальные государства
	косые	кривые	кривые	Карты материков, материковое и океаническое полушария, отдельные государства
поликонические		кривые	дуги эксцентрических окружностей	Карты мира, СССР (для карт вузов 1953-1959гг.), океанов
псевдоцилиндрические		кривые	прямые	Карты мира, океанов, Африка
псевдоконические		кривые	дуги концентрических окружностей	Карты Евразии и других материков

Рефлексия

1. Что такое картографическая проекция?
2. Зачем создают картографические проекции?
3. Какие виды картографических проекций существуют? По каким признакам их выделяют?
4. Какие искажения присущи определенным видам проекций?

Спасибо за внимание!