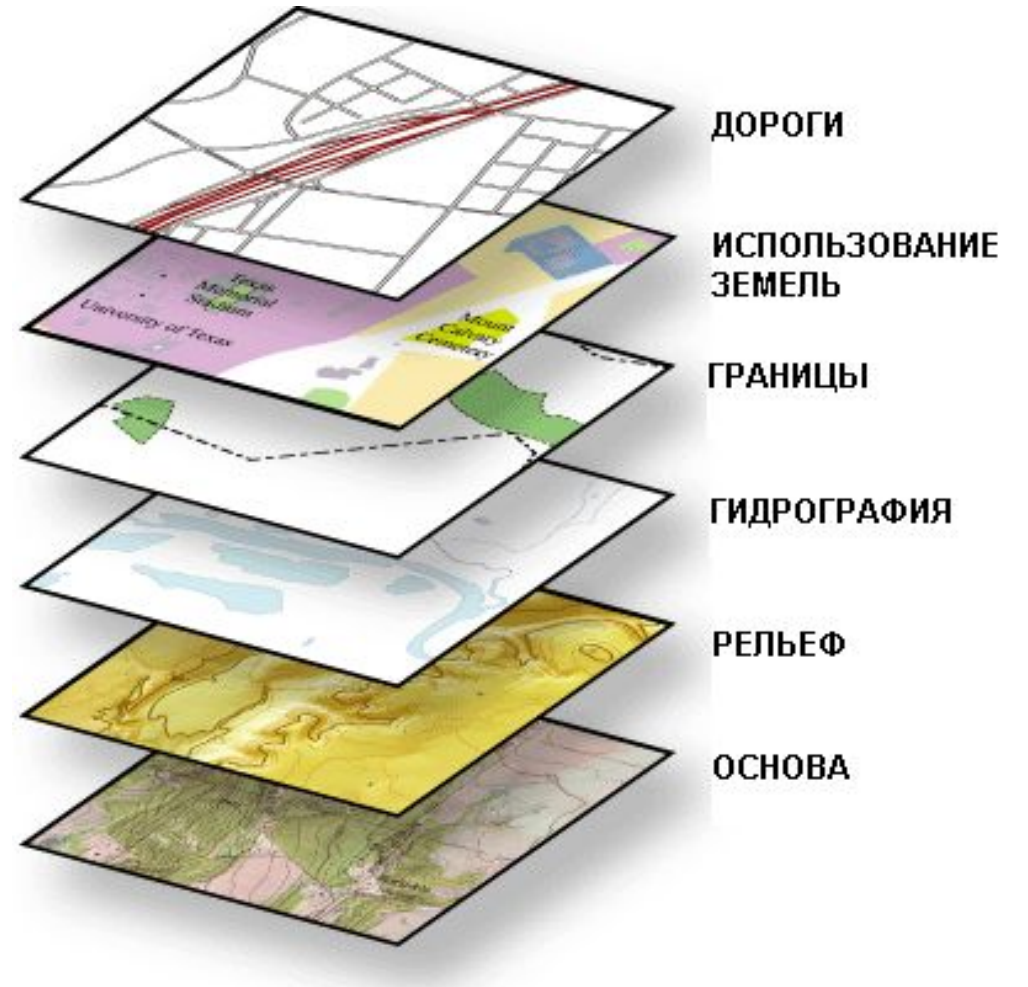


# Что такое картографические проекции?

В ArcGIS все данные вводятся в определенной системе координат, которая используется для интеграции с другими слоями геоданных на общей координатной основе, такой как карта.

Системы координат дают возможность интегрировать данные в карты, а также позволяют выполнять различные аналитические операции, такие как наложение слоев данных из несопоставимых источников и систем координат.



# Что такое система координат?

Системы координат позволяют использовать географические данные общей локализации для их интеграции. Системы координат используются для локализации географических объектов, изображений и точек наблюдений, таких, как GPS-позиции на общегеографической сетке.

Каждая система координат определяется рядом параметров:

- Системой измерений: географической (в которой сферические координаты измерены от центра Земли) или планиметрической (в которой координаты земной поверхности спроектированы на двухмерную плоскую поверхность).
- Единицами измерений (обычно футы или метры в системах координат проекции или десятичные доли градуса для долготы-широты).
- Определением проекции карты для систем координат проекции.
- Другими свойствами системы измерений, такими как референсный сфероид, датум и параметры проекции (одна или две стандартные параллели, центральный меридиан, возможные сдвиги по осям X и Y).

# Типы систем координат

В ГИС используются два типа систем координат:

- Глобальная или сферическая система координат – долгота–широта. Часто ее называют *географической системой координат*.
- Системы координат проекций, основаны на картографических проекциях, таких как поперечная Меркатора, равновеликая Альберса или Робинсона (а также многочисленные другие модели проекций), обеспечивают различные механизмы проецирования карты сферической поверхности Земли на двухмерную поверхность Декартовых координат. Проекцию системы координат иногда называют *картографической проекцией*.

Системы координат (географические или проекции) создают основу для расположения объектов реального мира. В ArcGIS системы координат используются как метод автоматической интеграции географического положения из разных наборов данных в общую координатную сеть для отображения и анализа.

## **ArcGIS автоматически интегрирует данные в известных системах координат**

Все географические данные, используемые в ArcGIS, предполагают наличие корректной системы координат, что позволяет им быть локализованными на реальной земной поверхности.

Если данные имеют корректную систему координат, ArcGIS может автоматически интегрировать их "на лету" с другими спроецированными данными в соответствующую среду – для картографирования, трехмерной визуализации, анализа и т.д.

Если данные не имеют пространственной привязки, их невозможно интегрировать. Необходимо определить ее до того, как вы начнете использовать эти данные в ArcGIS. Пространственная привязка (система координат) является метаданными. Она описывает систему координат, которую используют данные.

## Что такое пространственная привязка в ArcGIS?

*Пространственная привязка в ArcGIS* – это набор параметров, которые определяют систему координат и другие пространственные свойства всех данных в базе геоданных. Обычно все данные для одной территории (и в одной базе геоданных) используют одинаковые определения пространственных привязок.

Пространственные привязки в ArcGIS включают параметры для:

- Системы координат
- Точности координат, с которой они хранятся (также называется разрешение координат)
- Допуски при обработке (такие как кластерный допуск)
- Пространственный или картографический экстенд набора данных (также называется пространственный домен)

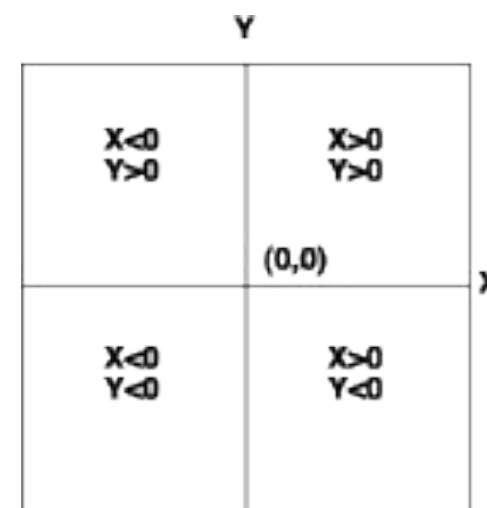
Система координат проекции определяется на плоской, двухмерной поверхности. В отличие от географической системы координат, система координат проекции характеризуется постоянством длин, углов и площадей в двух измерениях. Она всегда базируется на географической системе координат, основанной на сфере или сфероиде.

В проективной системе координат положение определяется координатами  $X, Y$  на координатной сетке, с исходной точкой в центре сетки. Каждая точка определяется двумя параметрами относительно центральной точки. Один параметр определяет её горизонтальное положение, другой – вертикальное. Эти два значения называются координатой  $x$  и координатой  $y$ . Если использовать эти обозначения, то начальные координаты имеют значения  $x=0$  и  $y=0$ .

На регулярной сетке из отстоящих на одинаковом расстоянии друг от друга горизонтальных и вертикальных линий, горизонтальная линия в центре называется осью  $x$ , а центральная вертикальная линия – осью  $y$ . Единицы равномерно и непрерывно расположены по всему диапазону значений  $x$  и  $y$ . Горизонтальным линиям выше начала координат и вертикальным линиям справа от начала координат приписываются положительные значения; линиям ниже или слева – отрицательные значения. Четыре квадранта представляют четыре возможные комбинации положительных и отрицательных  $x$ - и  $y$ -координат.

При работе с данными в географической системе координат иногда удобно связать значения долготы с осью  $X$  и значения широты с осью  $Y$ .

Что такое системы координат проекции?



Независимо от того, представляете ли вы Землю в виде сферы или сфероида, ее трехмерную поверхность необходимо преобразовать в плоский лист карты. Это преобразование, выполняемое по математическим законам, называется картографической проекцией.

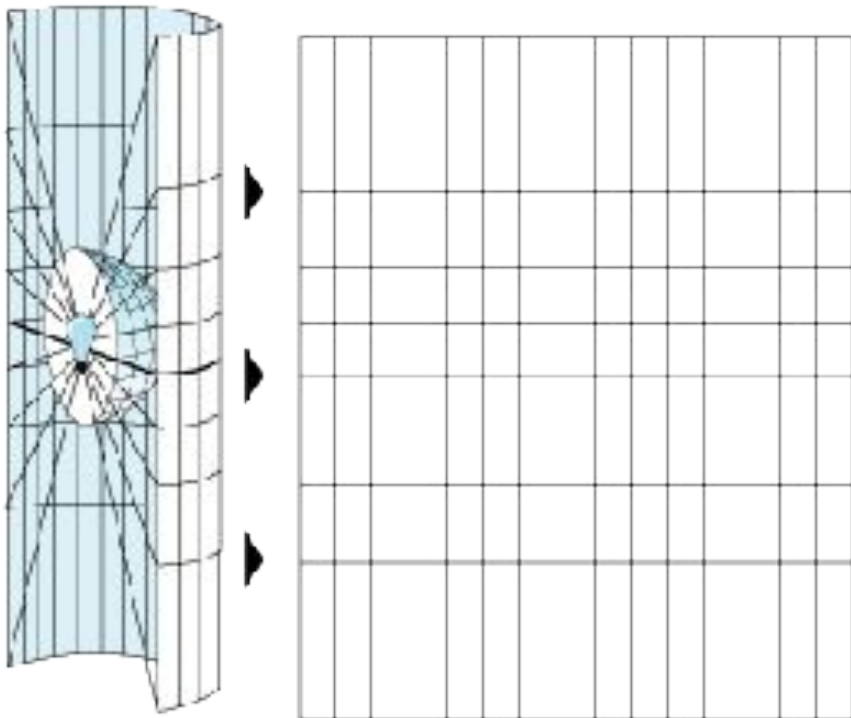
Одним из простых способов понимания того, как картографические проекции изменяют пространственные свойства, является визуализация проекции света сквозь Землю на поверхность, которая называется проекционной поверхностью.

Представьте чистую поверхность Земли с нанесенной на нее градусной сеткой. Оберните кусок бумаги вокруг Земли. Источник света в центре Земли отбросит тени от сетки координат на кусок бумаги. Вы можете теперь развернуть бумагу и положить ее на плоскость. Форма координатной сетки на плоской поверхности бумаги очень отличается от ее формы на поверхности Земли. Картографическая проекция исказила градусную сетку.

Спроецировать сфероид на плоскость нисколько не легче, чем разложить на ней кусок апельсиновой кожуры – он будет разорван. При отображении земной поверхности в двухмерном пространстве искажается форма, площадь, длина или направление объектов.

Картографическая проекция использует математические формулы для связи сферических координат на глобусе с плоскими координатами.

Различные проекции имеют разные типы искажений. Некоторые проекции разработаны с учетом минимизации искажений одной или двух характеристик данных. Проекция может сохранять площадь пространственного объекта, но изменять его форму. На рисунке ниже объекты вблизи полюсов вытянуты.



На схеме ниже показаны трехмерные пространственные объекты, сжатые для их отображения на плоской поверхности.



Картографические проекции предназначены для определенных целей. Одна картографическая проекция может использоваться для данных большого масштаба в ограниченной области, а другая – для карт мира маленького масштаба. Картографические проекции, используемые для мелкомасштабных карт, обычно основаны на сферических, а не сфероидальных географических системах координат.



## Равноугольные проекции

Равноугольные проекции сохраняют без искажений малые локальные формы. Для сохранения отдельных углов, описывающих пространственные отношения, равноугольная проекция должна также представлять линии картографической сетки пересекающимися под углом  $90^\circ$  на карте. Это достигается с помощью сохранения всех углов. Недостаток заключается в том, что площадь, ограниченная рядом кривых, может быть в процессе преобразования значительно искажена. Все картографические проекции искажают форму больших объектов на земной поверхности.

## Равновеликие проекции

Равновеликие проекции сохраняют площадь изображаемых объектов. Это достигается за счет искажения других свойств, таких как форма, углы и масштаб. В равновеликих проекциях параллели и меридианы могут не пересекаться под правильными углами. В некоторых случаях, особенно на картах небольших территорий, искажение форм не является очевидным, и очень трудно отличить равноугольную проекцию от равновеликой, если только она не была соответствующим образом определена по документации или путем измерений.

# Равнопромежуточные проекции

Карты в равнопромежуточных проекциях сохраняют расстояния между определенными точками. Правильный масштаб не сохраняется никакой проекцией на всей карте, однако, в большинстве случаев существует одна или более линий на карте, вдоль которых масштаб сохраняется постоянным.

В большинстве равнопромежуточных проекций есть одна или несколько линий, длина которых на карте равна (в масштабе карты) длине соотносимой с нею линии на глобусе, независимо от того, является ли эта линия большой или малой окружностью, прямой или кривой линией. О таких расстояниях говорят, что они истинные. Например, в Синусоидальной проекции экватор и все параллели имеют свою истинную длину.

В других равнопромежуточных проекциях могут быть истинными экватор и все меридианы. Иные проекции (например, равнопромежуточная проекция двух точек) показывают истинный масштаб между одной или двумя точками и каждой другой точкой на карте. Необходимо иметь в виду, что ни одна проекция не бывает равнопромежуточной по отношению ко всем точкам на карте.

## Азимутальные проекции (истинного направления)

Кратчайший путь между двумя точками на сферической поверхности, такой как поверхность Земли, пролегает вдоль сферического эквивалента прямой линии на плоской поверхности. Это большая окружность, на которой лежат две точки.

Проекции истинного направления, или азимутальные проекции, используются для сохранения некоторых кривых, описывающих большие окружности, и придают правильные азимутальные направления всем точкам на карте относительно центра. Некоторые проекции этого типа являются также равноугольными, равновеликими или равнопромежуточными.

Поскольку карты плоские, в некоторых простейших проекциях используются геометрические фигуры, которые можно развернуть на плоскость без растяжения и разрывов их поверхностей. Они называются развертывающимися поверхностями. Типичными примерами являются конусы, цилиндры и плоскости. Проекция карты систематизировано проектирует участки поверхности сфероидна на соответствующие позиции плоскости с помощью математических алгоритмов

Первым шагом при проецировании одной поверхности на другую является создание одной или более точек контакта. Каждая такая точка называется точкой касания. Как будет показано ниже в разделе «Азимутальные проекции», азимутальная проекция проходит по касательной к земной поверхности только в одной точке. Конусы и цилиндры касаются земного шара вдоль линии. Если поверхность проекции пересекает земной шар, а не касается его поверхности, то полученная в результате проекция является секущей, а не касательной. Независимо от того, является ли контакт касательным или секущим, его место очень значимо, поскольку определяет точку или линии нулевого искажения. Эту линию истинного масштаба часто называют стандартной линией. В общем случае, искажение проекции увеличивается с увеличением расстояния от точки контакта.

Многие обычные картографические проекции можно классифицировать в соответствии с используемой для них проекционной поверхностью: конические, цилиндрические или азимутальные (проекции на плоскость).

# Коническая (касательная)



Конус размещается на земном шаре. Конус и земной шар касаются друг друга по линии широты. Она называется стандартной параллелью. Конус "разрезается" по линии долготы, противоположной центральному меридиану, и разворачивается на плоскость



Конус так же оборачивается вокруг земного шара, но проходит сквозь поверхность. Поэтому конус и земной шар имеют две общие линии широты. Это линии стандартных параллелей. Конус "разрезается" по линии долготы, противоположной центральному меридиану, и разворачивается на плоскость

## Равновеликая проекция Альберса

В этой конической проекции используются две стандартные параллели для некоторого уменьшения искажения, получаемого при использовании только одной стандартной параллели. Хотя ни форма, ни линейный масштаб не являются истинно правильными, искажение этих свойств минимизируется в регионе между двумя стандартными параллелями. Эта проекция наилучшим образом подходит для картографирования больших участков Земли, вытянутых больше с востока на запад, чем с севера на юг.



В этой проекции меридианы представляют собой расположенные через одинаковые интервалы прямые линии, сходящиеся в одной точке. Полюса представлены скорее как дуги, чем как отдельные точки. Параллели выглядят как концентрические окружности, разнесенные на разные расстояния; интервал между ними уменьшается по направлению к полюсам.

## Равнопромежуточная коническая проекция

Эта коническая проекция может быть основана на одной или двух стандартных параллелях. Как предполагает само название, все параллели находятся на равном расстоянии друг от друга, пересекая меридианы через одинаковые интервалы. Это утверждение является верным, независимо от того, одна или две параллели используются в качестве стандартных параллелей.



## Равноугольная коническая проекция Ламберта

Эта проекция является одной из лучших для средних широт. Она подобна Конической равновеликой проекции Альберса, за исключением того, что она передает форму более точно, чем площадь. В Государственной системе плановых координат США (SPCS) эта проекция используется для изображения всех зон, простирающихся с востока на запад.



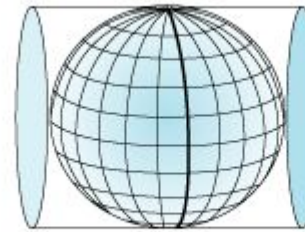
## Цилиндрическая -

### разновидности

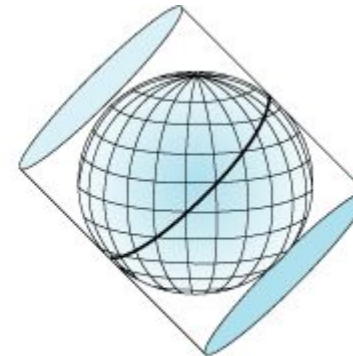
Цилиндр оборачивается вокруг земного шара. Цилиндр может касаться земного шара по линии широты (нормальная проекция), линии долготы (поперечная) или по какой-либо другой линии (косая).



Нормальная



Поперечная



Косая

## Азимутальная -

### разновидности

Лист карты располагается на земном шаре. Лист может касаться земного шара в точке полюса (полярная проекция), на экваторе (экваториальная) или в любой другой точке (косая)



Полярная



Экваториальная

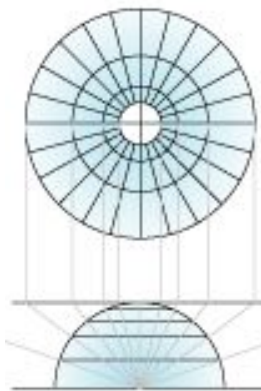


Косая

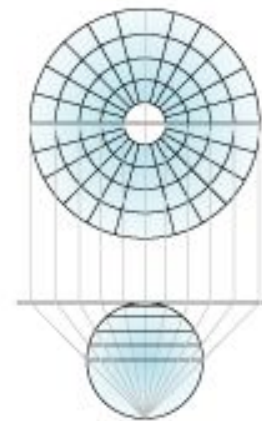
## Полярная -

### разновидности

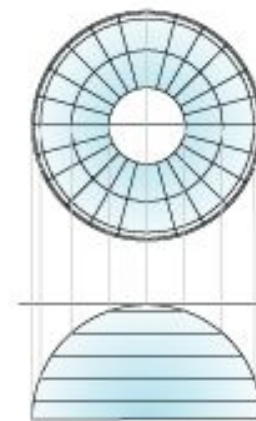
(различные перспективы)  
Азимутальная проекция может быть построена с различными перспективами. Гномоническая – точка перспективы расположена в центре земного шара. Стереографическая – точка перспективы расположена с обратной стороны земного шара. Ортографическая – точка находится на бесконечном удалении от земного шара.



Гномоническая



Стереографическая



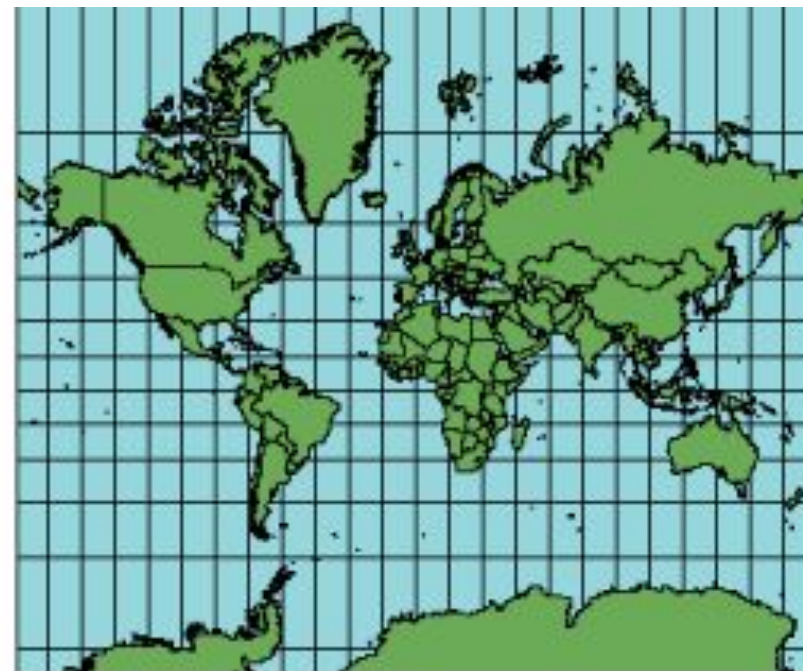
Ортографическая



# Проекция Меркатора

Первоначально эта проекция была создана для отображения точных показаний компаса в морских путешествиях.

Дополнительная характеристика данной проекции состоит в том, что все формы местности являются точными и легко опознаются. Основанная на сфере версия проекции Меркатора используется рядом картографических веб-сайтов. Радиус сферы равен большой полуоси WGS 1984 – 6378137,0 метров. Существует два метода имитации проекции Меркатора, которые используются веб-сервисами. Если поддерживаются сфероиды (эллипсоиды), система координат проекции должна основываться на географической системе координат, также основанной на сфере. Поэтому используются только сферические уравнения. Реализация дополнительной сферы Меркатора имеет только сферические уравнения. Кроме того, существует параметр проекции, который определяет, что использовать для радиуса сферы, если географическая система координат основана на эллипсоиде. Для большой полуоси используется значение по умолчанию (0).



Все меридианы параллельны друг другу и находятся на одинаковом расстоянии. Линии широт тоже параллельны, но расстояние между ними увеличивается по направлению к полюсам. Полюса не отображаются.

# Поперечная проекция

## Меркатора

Аналогична проекции Меркатора за исключением того, что цилиндр вытянут не вдоль меридиана, а вдоль экватора. Результатом является равноугольная проекция, которая не сохраняет правильные направления. Центральный меридиан размещается в центре области интереса. По центральному меридиану искажения всех свойств объектов региона – минимальные. Эта проекция наилучшим образом подходит для регионов, вытянутых в направлении север–юг.

Системы координат UTM и Гаусса–Крюгера основаны на поперечной проекции Меркатора.



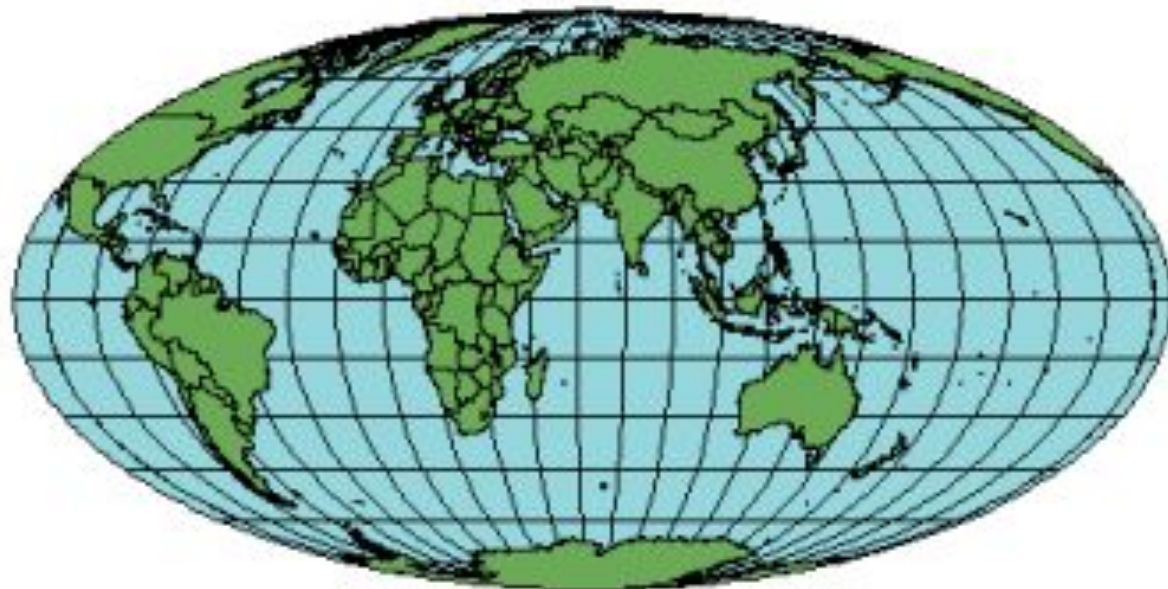
Поперечная цилиндрическая проекция с центральным меридианом, расположенным в конкретном регионе. В системе координат Гаусса–Крюгера поверхность Земли разделена на 60 зон шириной шесть градусов, и центральный меридиан первой зоны –  $177^\circ$  ЗД. Проецирование осуществляется в каждой зоне отдельно на цилиндр, ось которого поворачивается в плоскости экватора на 6 градусов от зоны к зоне. Коэффициент масштаба равен 1,000, а не 0,9996, в отличие от UTM. В некоторых странах к 500 000-метровому сдвигу по Y прибавляется число, которое равно номеру зоны. Зона 5 системы координат Гаусса–Крюгера может иметь значения сдвига по оси X – 500 000 метров или 5 500 000 метров

# Проекция

## Мольвейде

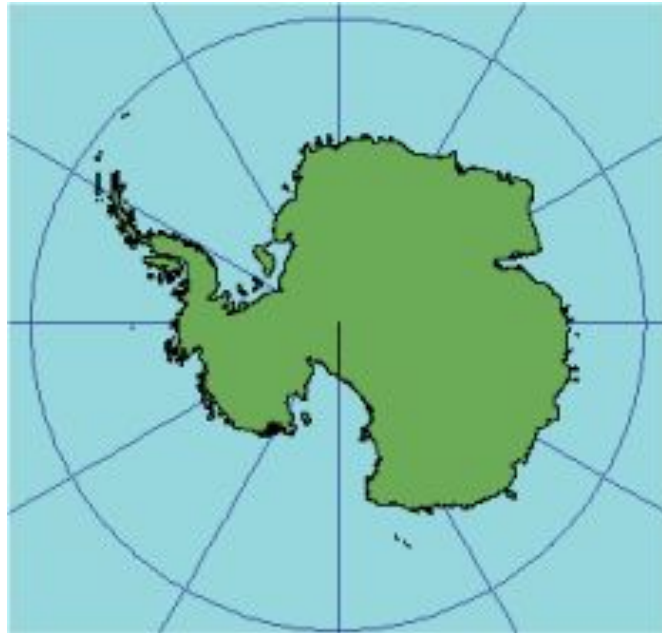
Также носит название проекции Бабине, эллиптической, гомолографической или гомалографической. Карл Б. Мольвейде создал эту псевдоцилиндрическую проекцию в 1805 году. Эта равновеликая проекция была разработана для мелкомасштабных карт.

Псевдоцилиндрическая равновеликая проекция. Все параллели являются прямыми линиями, а все меридианы – это эллиптические дуги, равноотстоящие друг от друга. Исключение составляет центральный меридиан, который отображается прямой линией. Полюса изображаются точками



## Гномоническая проекция

Эта азимутальная проекция использует центр Земли как точку перспективы. Все большие окружности представляют собой прямые линии, независимо от ориентировки проекции. Эту проекцию полезно использовать при разработке маршрутов навигации, поскольку большие окружности представляют маршруты с кратчайшим расстоянием.



## Ортографическая проекция

Эта перспективная проекция “обозревает” земной шар из бесконечности. Это дает иллюзию трехмерного глобуса. Искажения в форме и размере у границ проекции представляются более реалистичными нашему взгляду, чем в любой другой проекции, за исключением проекции вертикальной ближней перспективы (Vertical Near-Side Perspective).



# Универсальная полярная стереографическая проекция (UPS)

Эта разновидность полярной стереографической проекции используется для картографирования территорий к северу от  $84^\circ$  СШ и к югу от  $80^\circ$  ЮШ, которые не включены в систему координат UTM (Универсальной поперечной проекции Меркатора). Проекция аналогична полярной ориентировке Стереографической проекции на сфероиде со специфическими параметрами. Центральной точкой проекции является либо Северный полюс, либо Южный полюс.

Приблизительно (для сфероида) азимутальная перспективная проекция, в которой один полюс как бы виден с другого полюса. Линии широты представляют собой концентрические окружности. Расстояние между окружностями увеличивается по мере удаления от центральной точки (полюса). Начальной точке на пересечении меридианов присвоены значения сдвига по осям X и Y 2 000 000 метров.

