

**Тема: «Ориентирование на
местности**

**Определение и понятие
географических, геодезических
координат и астрономических
координат»**

Вопросы лекции:

- 1 Географические, геодезические и астрономические координаты
- 2 Плоские прямоугольные геодезические координаты (зональные).
- 3 Полярные координаты
- 4 Системы высот
- 5 Понятие об ориентировании
- 6 Дирекционные углы и осевые румбы, истинные и магнитные азимуты, зависимость между ними. Склонение магнитной стрелки и сближение меридианов.

Основная литература:

- 1. Васильева Л.И. Инженерная геодезия: курс лекций/ Васильева Л.И.; Мачернис – Красноярск, Издательство: СибГТУ., 2011г., 118с.
- 2. Шумаев К. Н. Геодезия с основами землеустройства: учебное пособие/ Шумаев К. Н. - Издательство: Красноярский гос. аграрный ун-т, 2006 г, 84с.

Дополнительная литература:

- 1. Астахова И.А. Геодезия.: учеб. пособие /. Астахова И.А.— Издательство: Майкопский гос .технологический ун-т., 2009г, 64с.
- 2. Киселев М.И. Геодезия: учебник / Киселев М.И., Издательство: Москва: «Академия», 2009г, 385с

Координатами называются угловые и линейные величины, определяющие положение точки на земной поверхности.

Система координат – опорная система для определения положения точек в пространстве или на плоскостях и поверхностях относительно выбранных осей, плоскостей или поверхностей.

В геодезии применяется большое количество систем координат.

Основные из них:

- общеземные системы,
- референцные системы,
- системы астрономических и геодезических координат,
- пространственные прямоугольные
- системы прямоугольных координат на плоскости.

- **Общеземные** системы координат – те, где совмещены их начала с центром масс Земли. Например, географические координаты.
- **Референцные** системы – в которых их начало находится на удалении десятков и сотен метров от центра масс Земли.
- В **астрономической** системе координат положение точки определяется относительно отвесной линии к геоиду и оси вращения Земли.
- В **геодезической** системе координат точка сносится по нормали на эллипсоид вращения.

В общеземных и референцных системах
положения точек могут задаваться

- – пространственными прямоугольными координатами X, Y, Z ;
- – геодезическими координатами B, L, H ;
- – плоскими прямоугольными координатами X, Y в различных проекциях;
- – полярными;
- – и другими координатами.

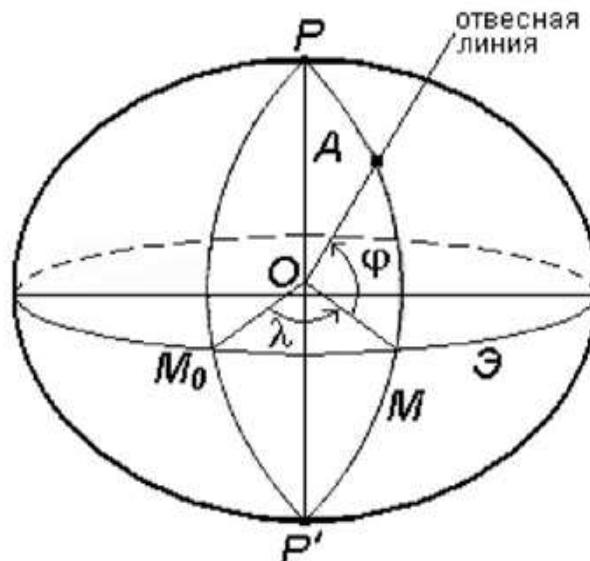
- Любые системы координат задаются **каталогами координат геодезических пунктов**.
- Общеземные системы задаются координатами пунктов сетей, создаваемых в основном методами космической геодезии.
- Референцная система с начальным пунктом Пулково создана с помощью астрономо-геодезической сети. Через эту же сеть распространяется на всю территорию страны общеземная система.
- В геодезии применяют также Декартову системы координаты – прямоугольную систему координат, применяющуюся в математике и эллипсоидальную систему координат, исходящую из теории гравитационного потенциала.

Астрономические координаты (для геодезии)

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

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

Астрономические координаты



- Астрономической широтой (ϕ) называется угол, заключенный между плоскостью земного экватора и направлением отвесной линии в данной точке.
- Астрономической долготой (λ) называется двугранный угол, заключенный между плоскостью начального астрономического меридиана и плоскостью астрономического меридиана, проходящего через данную точку.

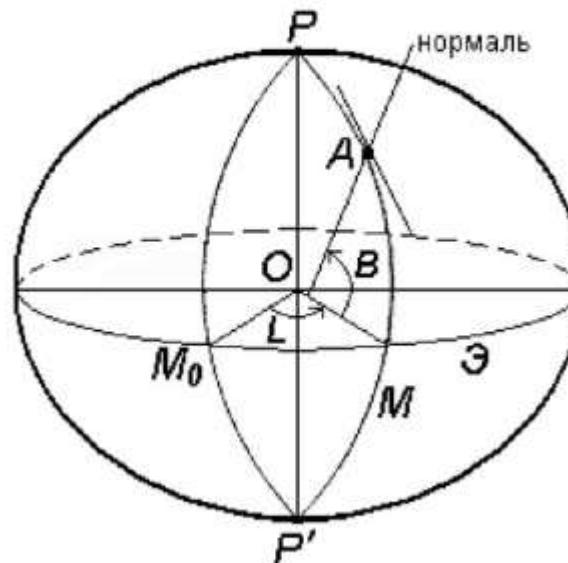
Геодезические координаты

- **Геодезическая система координат** — это система координат, используемая для определения местоположения объектов на Земле. Отсчётной поверхностью является эллипсоид вращения. Геодезические данные используются в геодезии и навигации, в топографической съемке картографами...

Геодезические координаты определяют положение точки земной поверхности на референц-эллипсоиде

24

Геодезические координаты

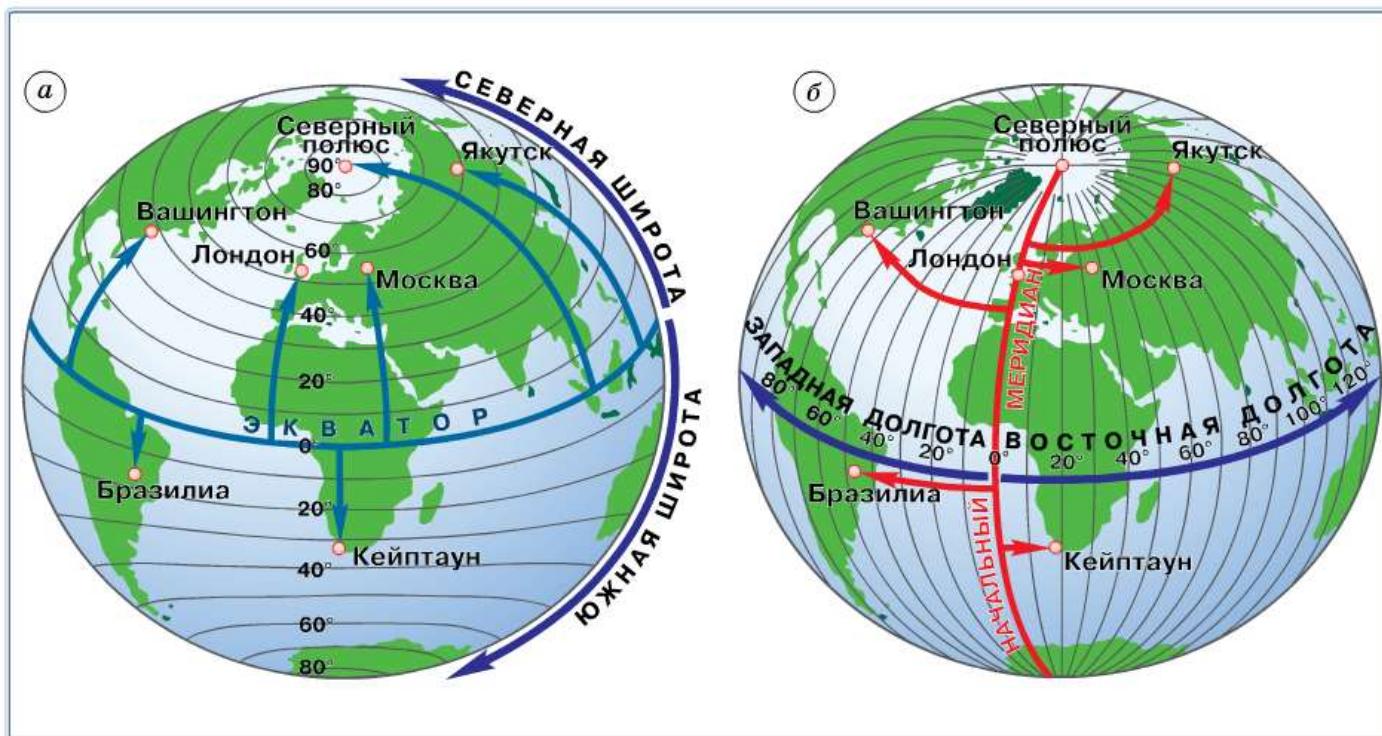


- Геодезическая широта (B) определяется острым углом между нормалью к поверхности эллипсоида и плоскостью экватора. Широта изменяется от 0° до 90° ($0^{\circ} \leq B \leq 90^{\circ}$). Различают северную широту и южную широту.
- Геодезическая долгота (L) равна двугранным углу между плоскостями начального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

Географические координаты

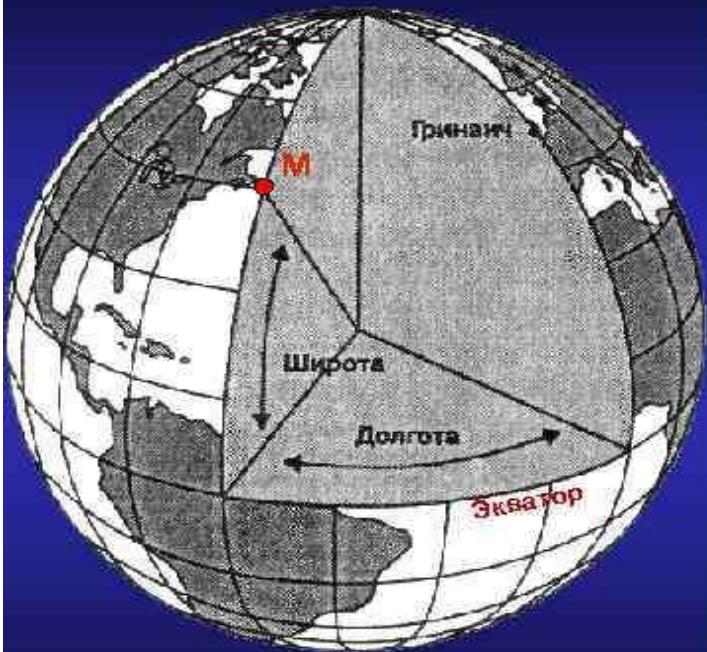
- **Географические координаты** — обобщённое понятие о геодезических и астрономических **координатах**, когда уклонение отвесной линии не учитывают. Иными словами, при определении **географических координат** Земля принимается за шар.
-
- **Географические координаты** – величины, обобщающие две системы координат: геодезическую и астрономическую, используют в тех случаях, когда отклонение отвесных линий от нормали к поверхности не учитывается.
- **Географическая широта** – угол, образованный отвесной линией в данной точке и экваториальной плоскостью.
- **Географическая долгота** – двугранный угол между плоскостями меридiana данной точки с плоскостью начального меридiana.

Определение координат точек: географической широты (а), географической долготы (б)



Определение координат точек: географической широты (а), географической долготы (б)

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 90⁰ на полюсах: "северные" (+), "южные" (-).*

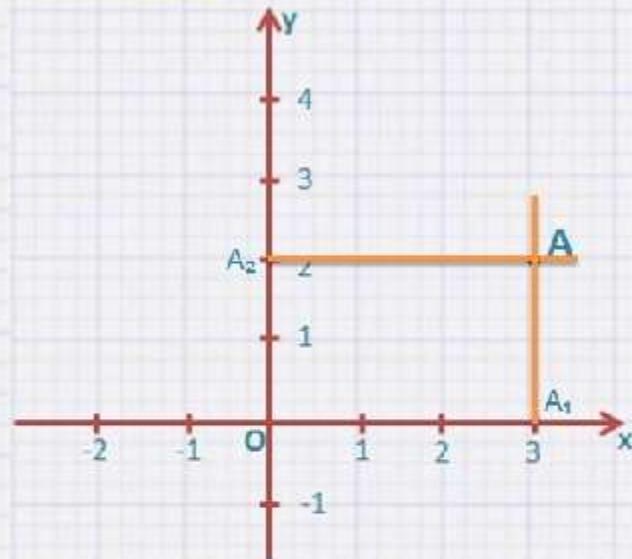
Долгота - это угол между плоскостью меридиана, проходящего через данную точку, и плоскостью начального меридиана (проходит через Гринвич, вблизи Лондона, принят в 1884 г.). *Изменяется от 0 до 360⁰ с запада на восток или в обе стороны от 0 до 180⁰: "восточная" (+), "западная" (-).*

Плоская условная система прямоугольных координат

- Прямоугольная **система координат** — прямолинейная **система координат** с взаимно перпендикулярными осями на плоскости или в пространстве. Наиболее простая и поэтому часто используемая **система координат**.

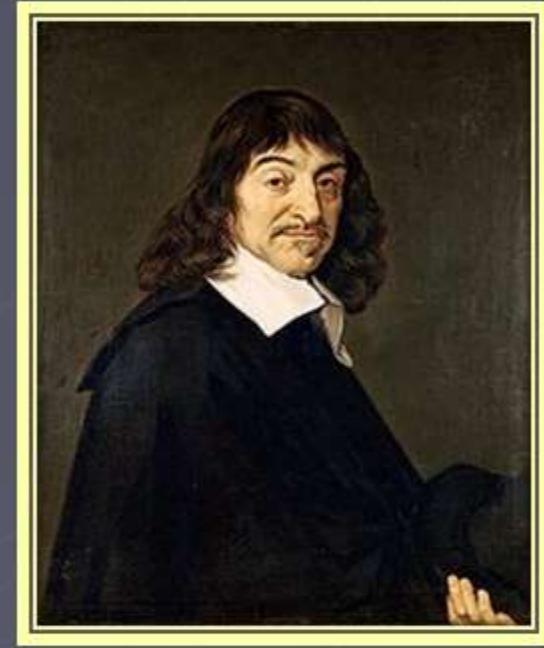
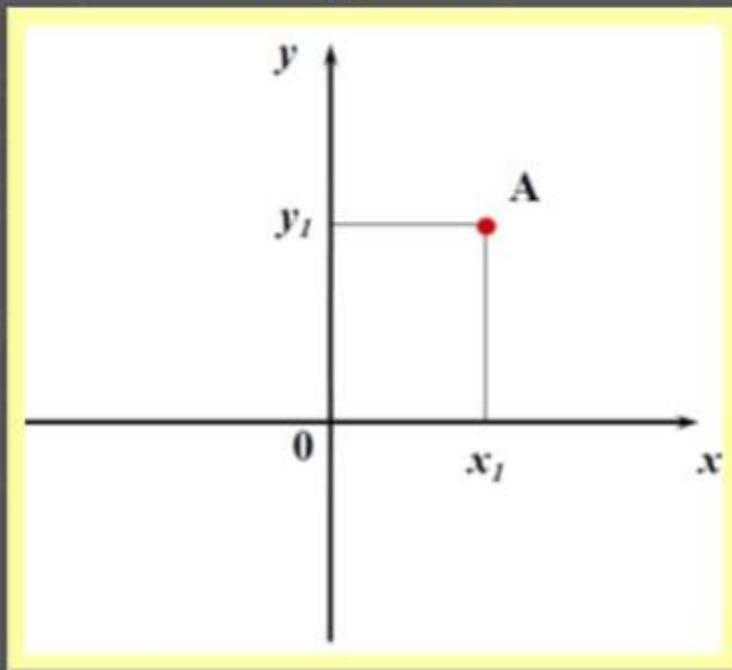
Декартова система координат на плоскости

- 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 $A(3;2)$.



Прямоугольная система координат

Впервые, такую привычную для нас, прямоугольную систему координат ввел французский ученый Рене Декарт в своей работе «Рассуждение о методе» в 1637 году. Поэтому прямоугольную систему координат называют также – **декартова система 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.

- Изучаемые точки проектируют с математической поверхности Земли на координатную плоскость **XOY**. Так как сферическая поверхность не может быть спроектирована на плоскость без искажений (без разрывов и складок), то при построении плоской проекции математической поверхности Земли принимается неизбежность данных искажений, но при этом их величины должным образом ограничивают.
- Для этого применяется равноугольная картографическая проекция Гаусса – Крюгера (проекция названа по имени немецких ученых, предложивших данную проекцию и разработавших формулы для её применения в геодезии), в которой математическая поверхность Земли проектируется на плоскость по участкам – зонам, на которые вся земная поверхность делится меридианами через 6° или 3° , начиная с начального меридиана.

Сущность проекции Гаусса – Крюгера заключается в следующем. Земной эллипсоид делится меридианами через 6° по долготе на 60 зон, простирающихся от полюса до полюса (рис. 7, а).

Нумерация зон ведется с запада на восток от Гринвичского меридиана, который является западной границей первой зоны. Средний меридиан каждой зоны называется *осевым*.

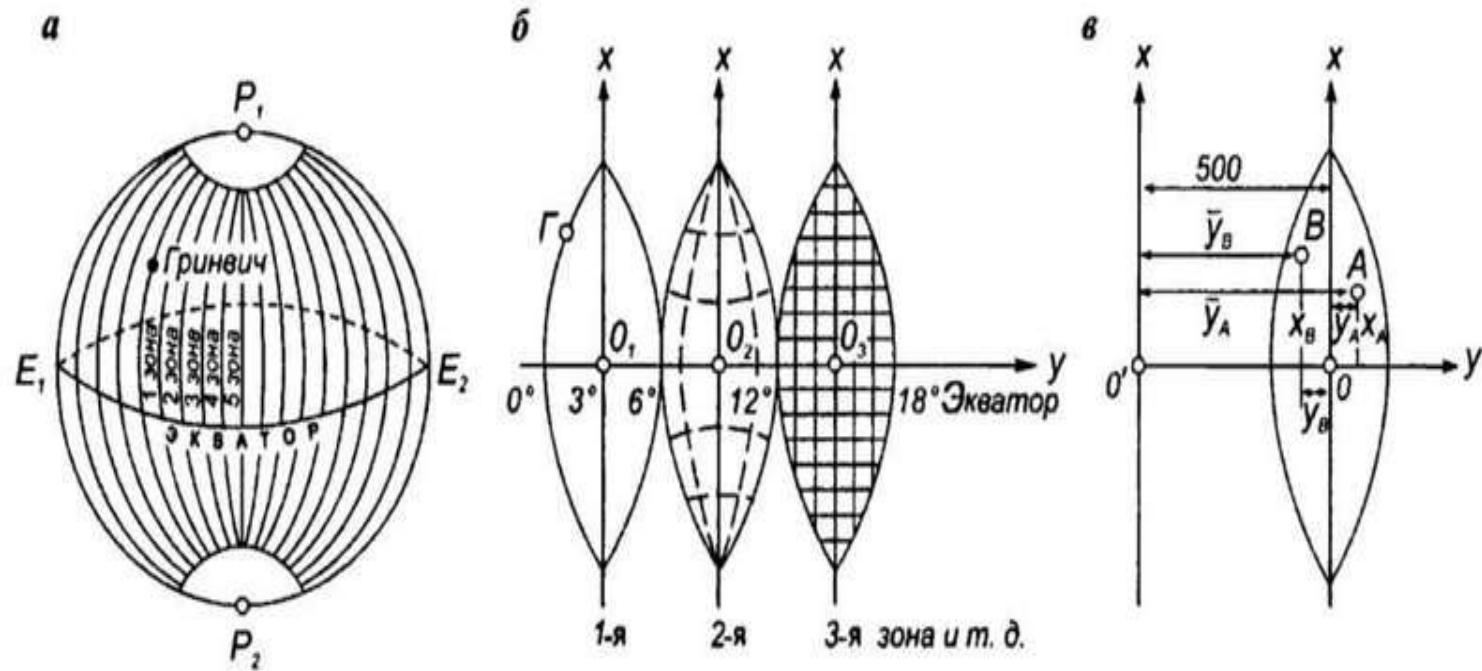


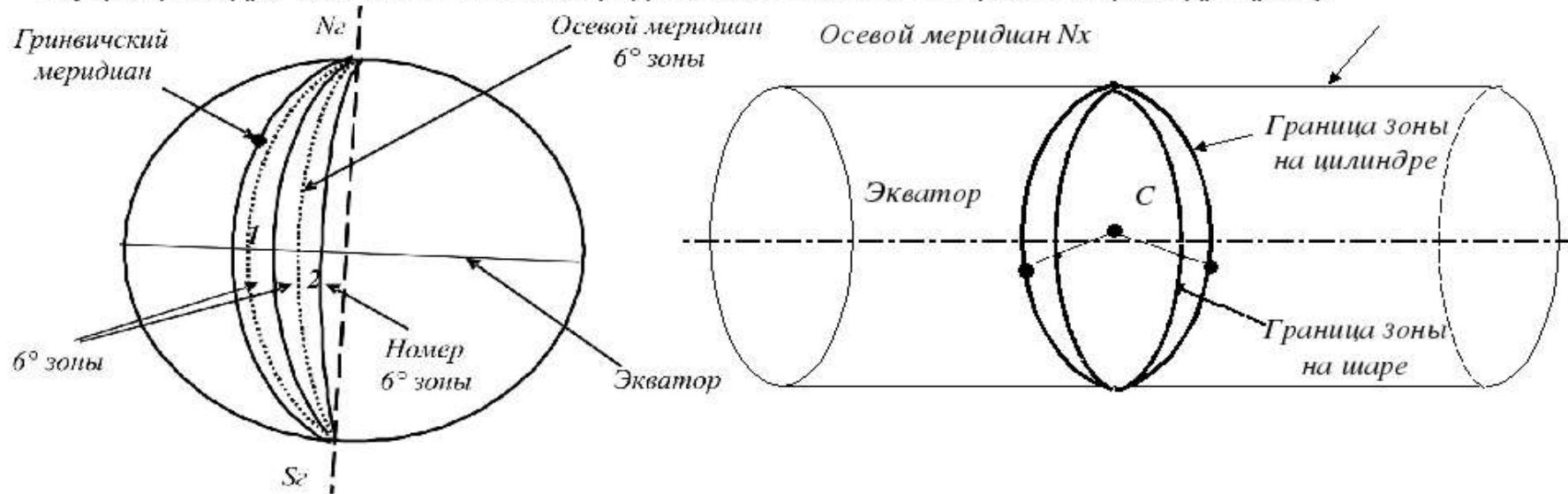
Рис. 7. Зональная система прямоугольных координат:

- а — схема деления поверхности земного шара на зоны;
- б — схема изображения зон после развертки на плоскости;
- в — схема определения преобразованных ординат

Зональная система плоских прямоугольных координат (проекция Гаусса-Крюгера)

В России проекция Гаусса-Крюгера принята с 1928 г. Сущность проекции заключается в следующем. Поверхность земного шара делят меридианами на зоны в 6° по долготе, начиная от нулевого меридиана, и нумеруют по направлению к востоку, всего зон 60.

Далее получают плоские изображения каждой зоны, для чего мысленно помещают земной шар внутрь цилиндра так, чтобы осевой меридиан зоны касался поверхности цилиндра (рис.).



Из центра шара зону проектируют на поверхность цилиндра – при этом углы сферы изобразятся без искажения. Поэтому эту проекцию называют равноугольной, поперечно-цилиндрической. Цилиндр разрезается на две половинки и изображение разворачивают на плоскость. В поперечно-цилиндрической проекции искажения будут в длинах линий: зоны на цилиндре получаются более широкими, чем на шаре. Искажения осевого меридиана не будет, так как он касается поверхности цилиндра, но, чем дальше расположены отрезки дуги от осевого меридиана, тем больше искажения в длинах линий.

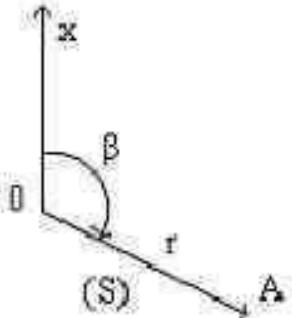
- В пределах каждой зоны строится своя прямоугольная система координат. С этой целью все точки данной зоны проецируются на поверхность цилиндра, ось которого находится в плоскости экватора Земли, а его поверхность касается поверхности Земли вдоль среднего меридиана зоны, называемого осевым. При этом соблюдается условие сохранения подобия фигур на земле и в проекции при малых размерах этих фигур.
- После проектирования точек зоны на цилиндр, он развертывается на плоскость, на которой изображение проекции осевого меридиана и соответствующего участка экватора будет представлена в виде двух взаимно перпендикулярных прямых.
- Точка пересечения их принимается за начало зональной плоской прямоугольной системы координат, изображение северного направления осевого меридиана – за положительную ось абсцисс, а изображение восточного направления экватора – за положительное направление оси ординат.

- На картах, составленных в равноугольной картографической проекции Гаусса – Крюгера, искажения длин в различных точках проекции различны, но по разным направлениям, выходящим из одной и той же точки, эти искажения будут одинаковы. Круг весьма малого радиуса, взятый на уровенной поверхности, изобразится в этой проекции тоже кругом. Поэтому говорят, что рассматриваемая проекция конформна, т. е. сохраняет подобие фигур на сфере и в проекции при весьма малых размерах этих фигур. Таким образом, изображения контуров земной поверхности в этой проекции весьма близки к тем, которые получаются.
- Четверти прямоугольной системы координат нумеруются. Их счет идет по ходу стрелки от положительного направления оси абсцисс.
- Если за начало плоской прямоугольной системы координат принять произвольную точку, то она будет называться относительной или условной.

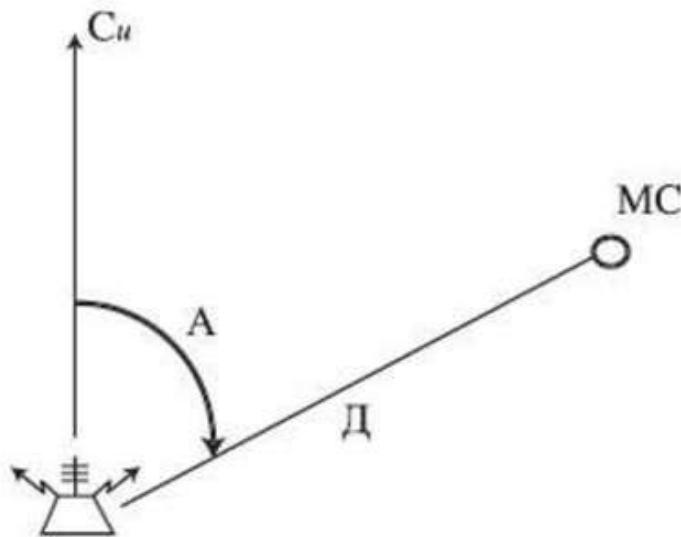
Полярная система координат — система плоских координат образованная направленным прямым лучом Ox , называющимся **полярной осью**. Чаще всего за **полярную** ось принимают ось северного направления какого-либо меридиана.

Полярная система координат

- ▶ Эту систему применяют при определении планового положения точек на небольших участках в процессе съемки местности и при геодезических разбивочных работах.
- ▶ За начало координат (полюс) принимают точку O местности, и полярную ось OX – произвольную линию расположенную на местности.
- ▶ Полярными координатами точки A будут полярный угол β , отсчитываемый по часовой стрелке от полярной оси и полярное расстояние (радиус вектор) $OA=S$.



Полярная система координат.



Полярная система координат является плоской системой.

В этой системе положение точки в пространстве определяется двумя величинами:

азимутом (A);

горизонтальной дальностью (Д) относительно радионавигационной точки или определенного ориентира

Полярная система координат применяется при использовании угломерно-дальномерных радиотехнических систем навигации.

Системы высот

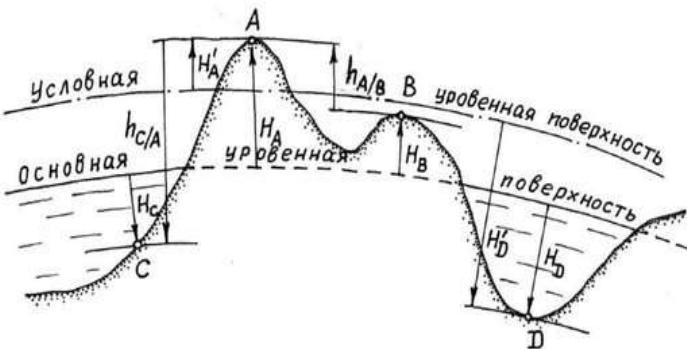
- **Системы высот в геодезии.** Ортометрическая (абсолютная) высота Но – расстояние, отсчитываемое по направлению отвесной линии от поверхности геоида до данной точки.
-
- Высота точки является третьей координатой, определяющей её положение в пространстве.
- В геодезии для определения отметок точек применяются следующие системы высот:
 - ортометрическая (абсолютная);
 - геодезическая;
 - нормальная (обобщенная);
 - относительная (условная).

- **Ортометрическая (абсолютная) высота $Н_о$** – расстояние, отсчитываемое по направлению отвесной линии от поверхности геоида до данной точки.
- **Геодезическая высота $Н_г$** – расстояние, отсчитываемое по направлению нормали от поверхности референц-эллипсоида до данной точки.
- **Квазигеоид** («якобы геоид») – фигура, предложенная в 1950-х г.г. советским учёным М.С. Молоденским в качестве строгого решения задачи определения фигуры Земли путем тщательных измерений гравитационного поля Земли.

Квазигеоид определяется по измеренным значениям потенциалов силы тяжести согласно положениям теории М.С. Молоденского.

- **Местная система высот** – Тихоокеанская, её уровенная поверхность ниже нуля Кронштадтского футштока на 1873 мм.

Система высот



За начало отсчёта высот принимается средний уровень Балтийского моря, являющегося основной уровенной поверхностью, совпадающей с поверхностью геоида. Положение среднего уровня Балтийского моря определено в результате многолетних наблюдений и отмечено на футштоке на водомерном посту в г. Кронштадте.

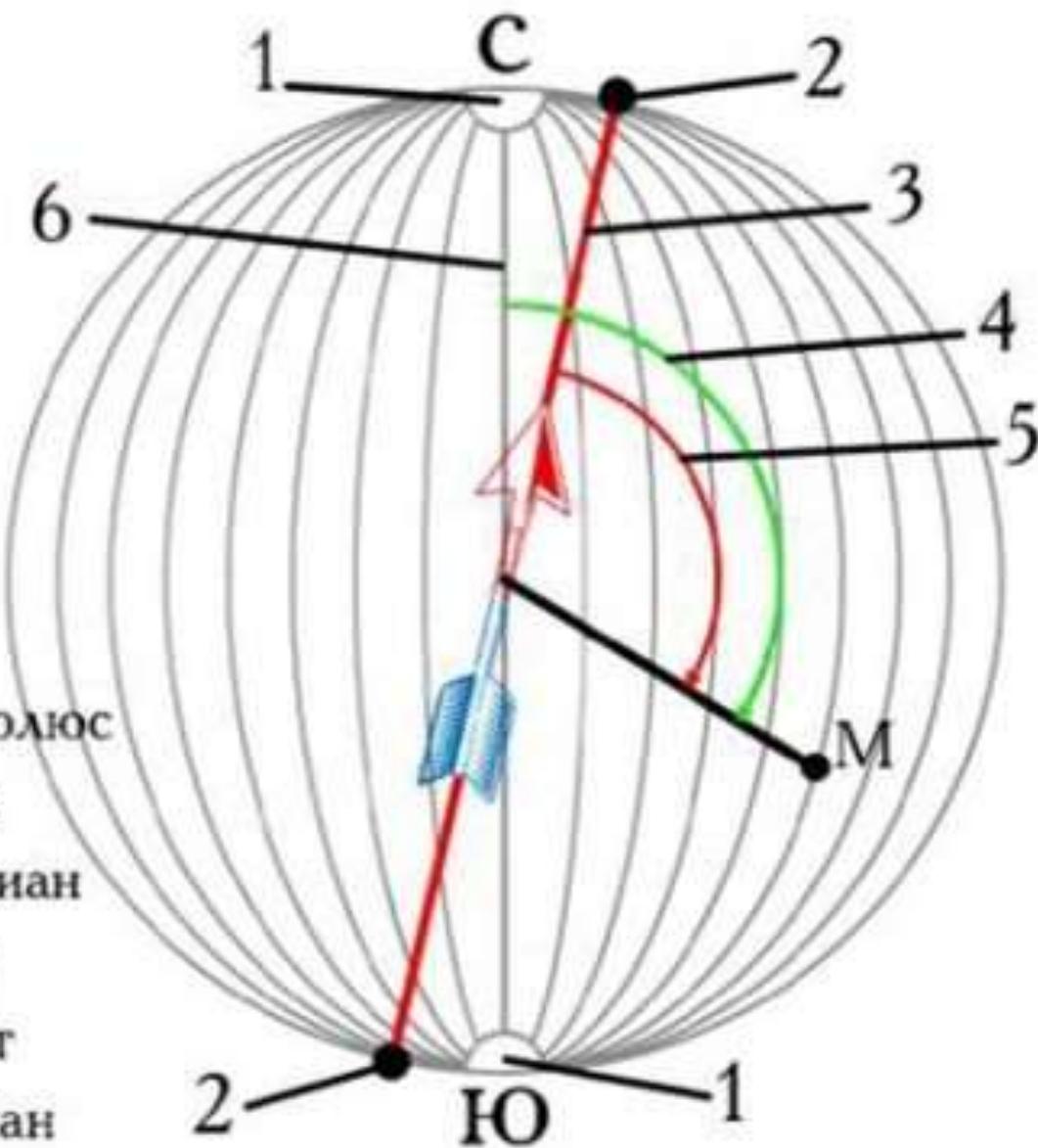
Абсолютные высоты H могут быть положительными (для точек, находящихся в нашем представлении выше уровня Балтийского моря), и отрицательными - для точек, находящихся ниже уровня Балтийского моря. Например, абсолютные высоты точек А и В - положительные, а абсолютная высота точки С - отрицательная.

Разность абсолютных высот двух точек называется относительной высотой или превышением, обозначаемым буквой h :

$$h = H_A - H_B$$

Понятие об ориентировании

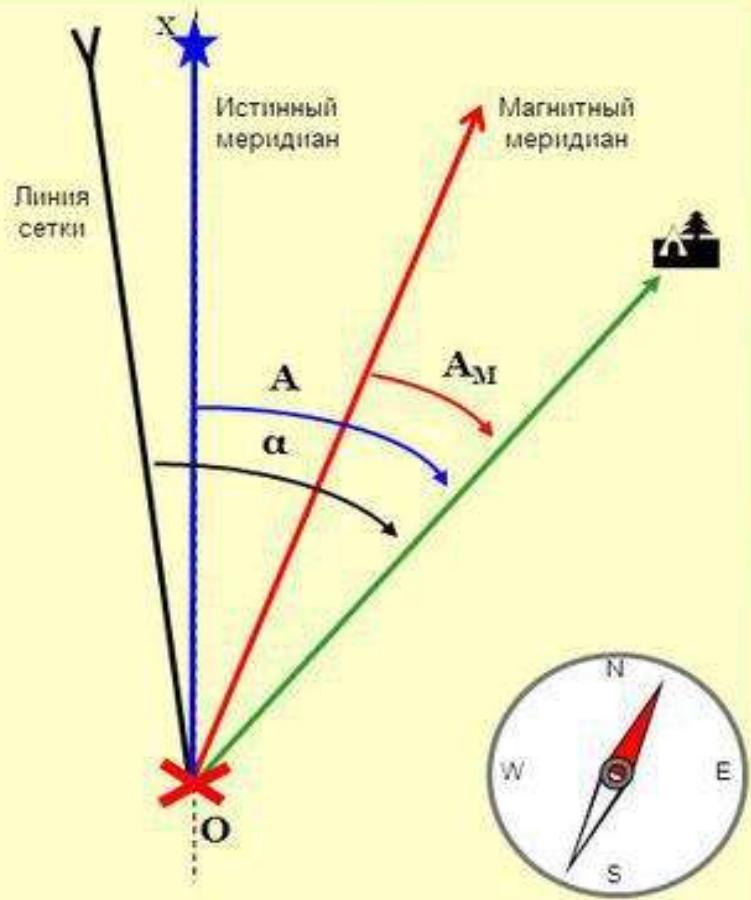
- В геодезии при ориентировании за основное направление принимают **направление осевого, истинного или магнитного меридианов.**
- При этом положение линии определяют с помощью соответствующих углов ориентирования: **дирекционного угла, истинного или магнитного азимута.**



- 1-географический полюс
- 2-магнитный полюс
- 3-магнитный меридиан
- 4-истинный азимут
- 5-магнитный азимут
- 6-истинный меридиан

СИСТЕМА ПЛОСКИХ ПОЛЯРНЫХ КООРДИНАТ

Если представить, что вы стоите в какой-то точке O на оси X , то угол между вами и направлением на предмет (измеряемый по часовой стрелке от 0° до 360°) будет называться **углом положения**.



Различают три вида углов положения:

дирекционный угол α - угол, измеряемый по ходу часовой стрелки от 0° до 360° между северным направлением вертикальной линии координатной (километровой) сетки и направлением на определенную точку;

истинный азимут A - угол, измеряемый по ходу часовой стрелки от 0° до 360° между северным направлением истинного меридиана и направлением на определенную точку;

магнитный азимут A_M - угол, между направлением магнитной стрелки компаса и направлением на определенную точку.



- Осевой (средний) истинный меридиан зоны часто принимают за основное направление. В этом случае положение линии местности относительно осевого меридиана определяет угол ориентирования, называемый дирекционным.
- Дирекционный угол измеряется от северного направления осевого меридиана в направлении движения часовой стрелки через восток, юг и запад, градусная величина дирекционного угла может иметь любое значение от 0° до 360° .
- Для линии OA её дирекционным углом в точке O является горизонтальный угол α_{OA} между северным направлением осевого меридиана и направлением линии.
- Для линий OB, OE и OF – α_{OB} , α_{OE} , α_{OF} .

- **Дирекционным углом** является угол в горизонтальной плоскости, отсчитываемый от северного направления осевого меридиана по ходу часовой стрелки до данной линии.
- В геодезии принято различать прямое и обратное направление линии. Так, если **ВС** считать прямым направлением линии, то **СВ** будет обратным направлением той же линии. В соответствии с этим α_{BC} является прямым дирекционным углом линии **ВС** в точке **M**, а угол α_{CB} – обратным дирекционным углом этой же линии в той же точке.
- $\alpha_{CB} = \alpha_{BC} + 180^\circ$, т.е. прямой и обратный дирекционные углы отличаются друг от друга на 180° .
- Иногда для ориентирования линии местности пользуются не дирекционными углами, а румбами.
- **Осевым румбом** называется острый горизонтальный угол, отсчитываемый от ближайшего направления осевого меридиана (северного или южного) до данной линии. Румбы обозначают буквой *r* с индексом, указывающим четверть, в которой находится румб.

- **Осевой (средний) истинный** меридиан зоны часто принимают за основное направление. В этом случае положение линии местности относительно осевого меридиана определяет угол ориентирования, называемый дирекционным .
- **Дирекционный угол** измеряется от северного направления осевого меридиана в направлении движения часовой стрелки через восток, юг и запад. Следовательно, градусная величина дирекционного угла может иметь любое значение от 0° до 360° .
- **Осевым румбом** называется острый горизонтальный угол, отсчитываемый от ближайшего направления осевого меридиана (северного или южного) до данной линии.

Румбы обозначают буквой r с индексом, указывающим четверть, в которой находится румб.

- Кроме осевого меридиана зоны при ориентировании линий местности за основное направление может приниматься направление истинного (географического) меридиана.

- **Истинный меридиан** – линия пересечения земной поверхности с плоскостью, проходящей через отвесную линию и ось вращения Земли.
- Положение линии местности относительно истинного меридиана определяется истинным азимутом или истинным румбом.
- **Истинный азимут линии** – угол в горизонтальной плоскости, отсчитываемый от северного направления истинного меридиана по ходу часовой стрелки до данной линии.
- **Истинный румб линии** – острый горизонтальный угол, отсчитываемый от ближайшего направления истинного меридиана (северного или южного) до данной линии.
- Истинный азимут A измеряется от 0° до 360° . Зависимость между истинными азимутами и румбами такая же, как и между дирекционными углами и осевыми румбами.

- Истинные меридианы, проходящие через точки Земли с разной долготой, не параллельны между собой и сходятся на полюсах. Поэтому азимуты одной и той же прямой линии, определяемые относительно разных истинных меридианов, отличаются на величину γ), которую называют углом сближения меридианов. Его приближенное значение можно рассчитать по формулам:

$$\gamma = 0,54 \cdot l \cdot \operatorname{tg}\phi \text{ или } \gamma = \sin\phi \cdot \Delta\lambda,$$

- где l – длина прямой линии между точками (км); ϕ – средняя широта линии; $\Delta\lambda$ – разность долгот. При $l = 1$ км и широте Хабаровска $\phi = 48^\circ 28'$ угол сближения меридианов $\gamma = 0,6' = 36''$.
- Для перехода от дирекционного угла к истинному азимуту и наоборот необходимо знать угол сближения γ между осевым и истинным меридианом . Зависимость между истинным азимутом и дирекционным углом следующая

$$A = \alpha + \gamma.$$

- Если точка расположена к западу от осевого меридиана, то величину угла сближения γ между осевым и истинным меридианом принято считать отрицательной, если к востоку – положительной (рис. 21). Например, истинные азимуты линии при дирекционном угле $\alpha = 70^\circ$ и углах сближения $\gamma = -0^\circ 50'$ для западной точки **M1**, $\gamma = 0^\circ 50'$ для восточной – **M2** соответственно равны

$$A_1 = 70^\circ - 0^\circ 50' = 69^\circ 50',$$

$$A_2 = 70^\circ + 0^\circ 50' = 70^\circ 50'.$$

Магнитные азимуты и румбы

- Горизонтальный угол, отсчитываемый от северного направления магнитного меридиана по ходу часовой стрелки до данной линии, называется **магнитным азимутом** A_m .
- В каждой точке на поверхности Земли магнитный и истинный меридианы образуют между собой угол, называемый **склонением магнитной стрелки**.
- Северный конец магнитной стрелки может отклоняться от истинного меридиана к западу или востоку. В зависимости от этого различают западное и восточное склонения. Восточное склонение принято считать положительным, западное – отрицательным:
 - $A_u = A_m + \delta_{вост}$,
 - $A_u = A_m - \delta_{зап}$.

Зависимость между дирекционными углами и румбами определяется для четвертей по следующим формулам:

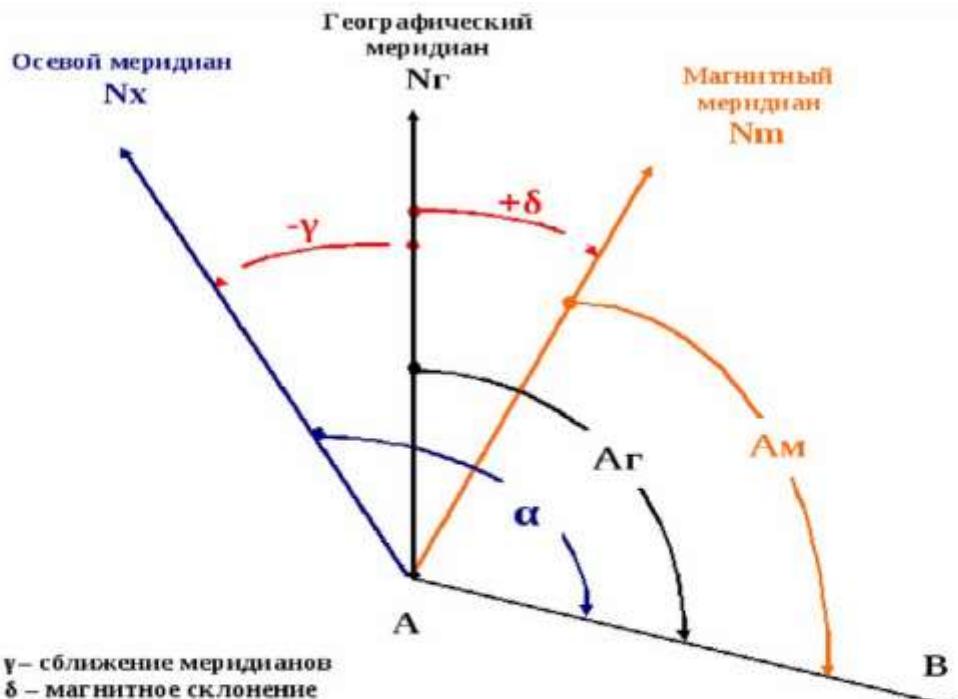
I четверть (СВ) $r = \alpha$

II четверть (ЮВ) $r = 180^\circ - \alpha$

III четверть (ЮЗ) $r = \alpha - 180^\circ$

IV четверть (СЗ) $r = 360^\circ - \alpha$

- Румб в точке **М** направления **ВС** называется прямым, а противоположного направления **СВ** – обратным. Прямой и обратный румб в одной и той же точке данной линии равны по численному значению, но имеют индексы противоположных четвертей.



γ – сближение меридианов
 δ – магнитное склонение
 α – дирекционный угол
 A_m – магнитный азимут
 A_g – географический азимут

$$A_g = \alpha + (\pm \gamma); \quad A_g = A_m + (\pm \delta); \quad \alpha = A_m + (\pm \gamma) + (\pm \delta)$$