

Основы воздушной навигации.

Содержание

Введение

1. Определение навигации. Задачи навигации.
 2. Классификация технических средств навигации.
 3. Форма и размеры Земли. Основные географические точки, линии и круги на земном шаре.
 4. Единицы измерения расстояний.
 5. Направления на земной поверхности.
 6. Основные линии пути и положения.
 7. Географические координаты.
 8. Системы координат, применяемые в воздушной навигации.
- Заключение.

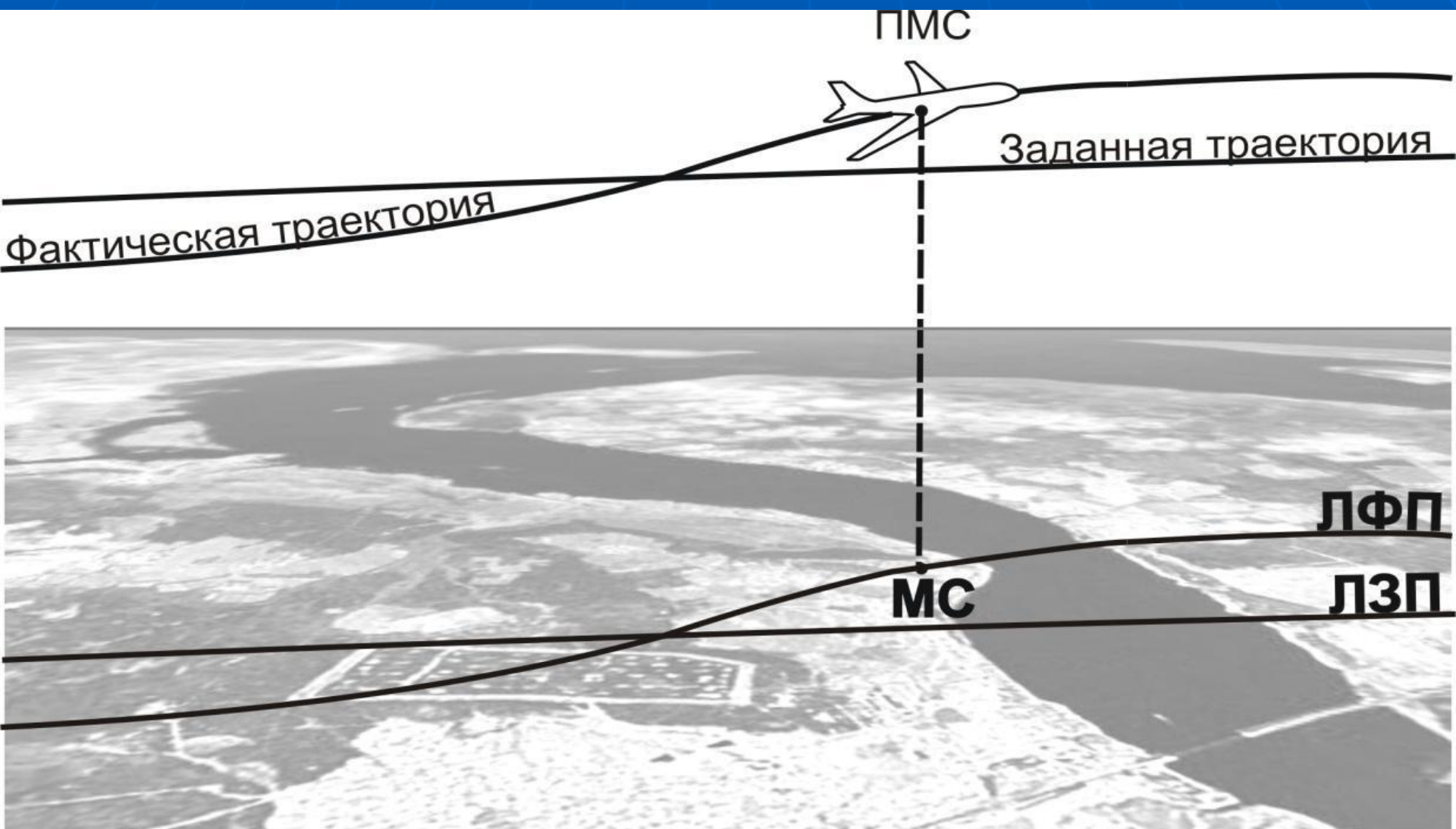
Основы воздушной навигации.

Аэронавигация - это наука о безопасном точном и надежном вождении воздушных судов из одной точки земной поверхности в другую.

Аэронавигация – управление траекторией движения ВС, осуществляемое экипажем в полете.

Под **аэронавигацией** понимается также комплекс действий **экипажа** воздушного судна и **работников** наземных служб **управления воздушным движением**, направленных на обеспечение безопасности, наибольшей точности выполнения полетов по установленным трассам (маршрутам) и прибытия в пункт назначения в заданное время.

Траектория и линия пути



Траектория и линия пути

- *Пространственное место самолета (ПМС)* – точка в пространстве, в которой в данный момент времени находится центр масс ВС.
- *Место самолета (МС)* – проекция ПМС на земную поверхность
- *Траектория* – линия, описываемая ПМС при его движении.
- *Линия пути* – линия, описываемая МС при его движении (проекция траектории на земную поверхность).

- *Линия заданного пути (ЛЗП)* – это линия, по которой должно перемещаться МС в соответствии с планом полета
- *линия фактического пути (ЛФП)* – по которой оно перемещается на самом деле в данном полете.

Основные требования к аэронавигации.

- *Безопасность аэронавигации* – основное требование .
- *Точность.* Точность аэронавигации – это степень приближения фактической траектории к заданной. От точности зависит и безопасность, и экономичность полета.
- *Экономичность.* Чем меньше время полета, тем меньше себестоимость, включающая в себя все сопутствующие затраты – от заработной платы персонала до стоимости израсходованного топлива.
- *Регулярность.* Полеты в общем случае должны выполняться по расписанию. Задержка с вылетом или прилетом не только приносит неудобства пассажирам , но может привести к тому, что ВС отправят в зону ожидания, где оно будет ждать освобождения временного «окна» для захода на посадку.

Основные требования к экипажам (пилотам) воздушных судов :

- ❖ Обеспечение безопасности полетов ;
- ❖ точное выполнение полета по установленной трассе (маршруту) на заданной высоте с выдерживанием такого режима полета, который обеспечивает выполнение задания;
- ❖ определение навигационных элементов, необходимых для выполнения полета по установленному маршруту или авиационных работ (фотографирование, авиационный поиск, сбрасывание груза и др.);
- ❖ обеспечение прибытия воздушного судна в район выполнения авиационных работ, в пункт или аэродром назначения в заданное время и выполнение безопасной посадки;

Основные задачи аэронавигации.

формирование (выбор) заданной траектории.

определение местоположения ВС в пространстве и параметров его движения.

формирование навигационного решения (управляющих воздействий для вывода воздушного судна на заданную траекторию.)

Для успешного решения указанных задач экипаж с достаточной точностью должен знать :

- ❖ Где находится воздушное судно в данный момент времени ;
- ❖ В каком направлении и на какой высоте необходимо выполнять дальнейший полет;
- ❖ какую при этом надо выдерживать скорость , чтобы в заданные пункты прибыть в назначенное время ;

Только располагая этими данными экипаж способен управлять движением воздушного судна.

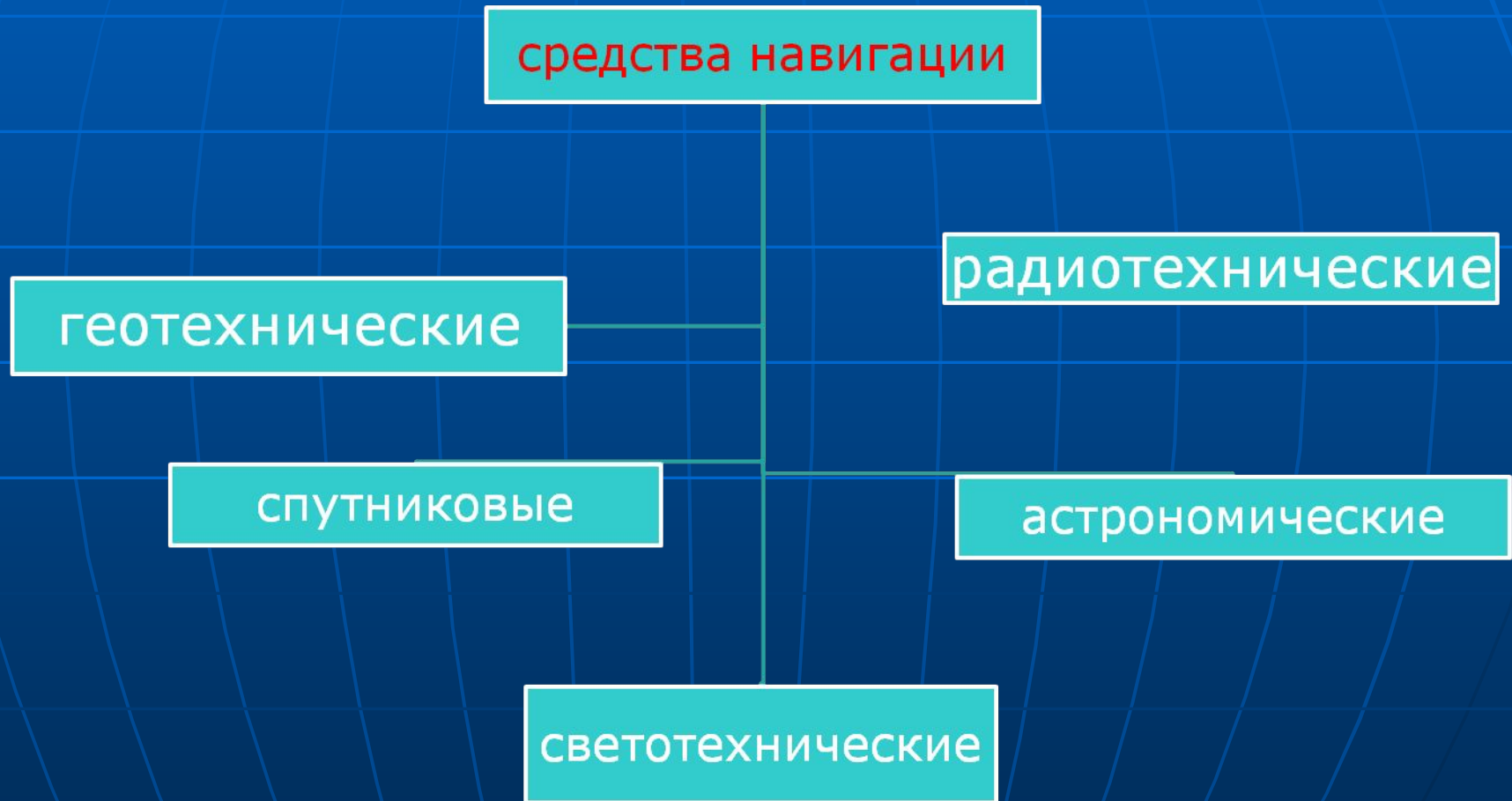
Для решения задач воздушной навигации используются технические средства.

Вопрос 2. Классификация технических средств навигации.

Классификация технических средств навигации



Классификация технических средств навигации

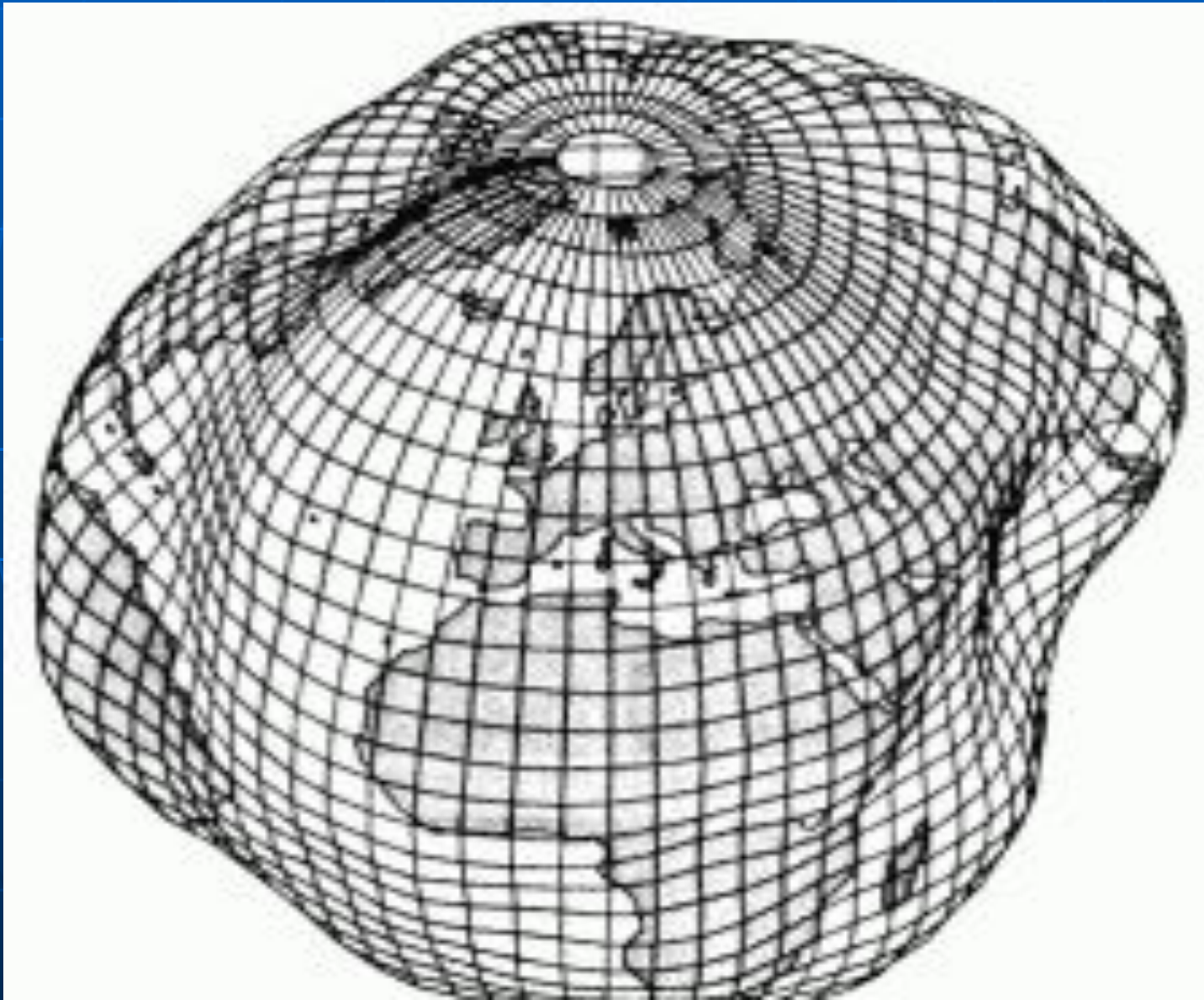


Вопрос 3. Форма и размеры Земли. Основные географические точки, линии и круги на земном шаре.

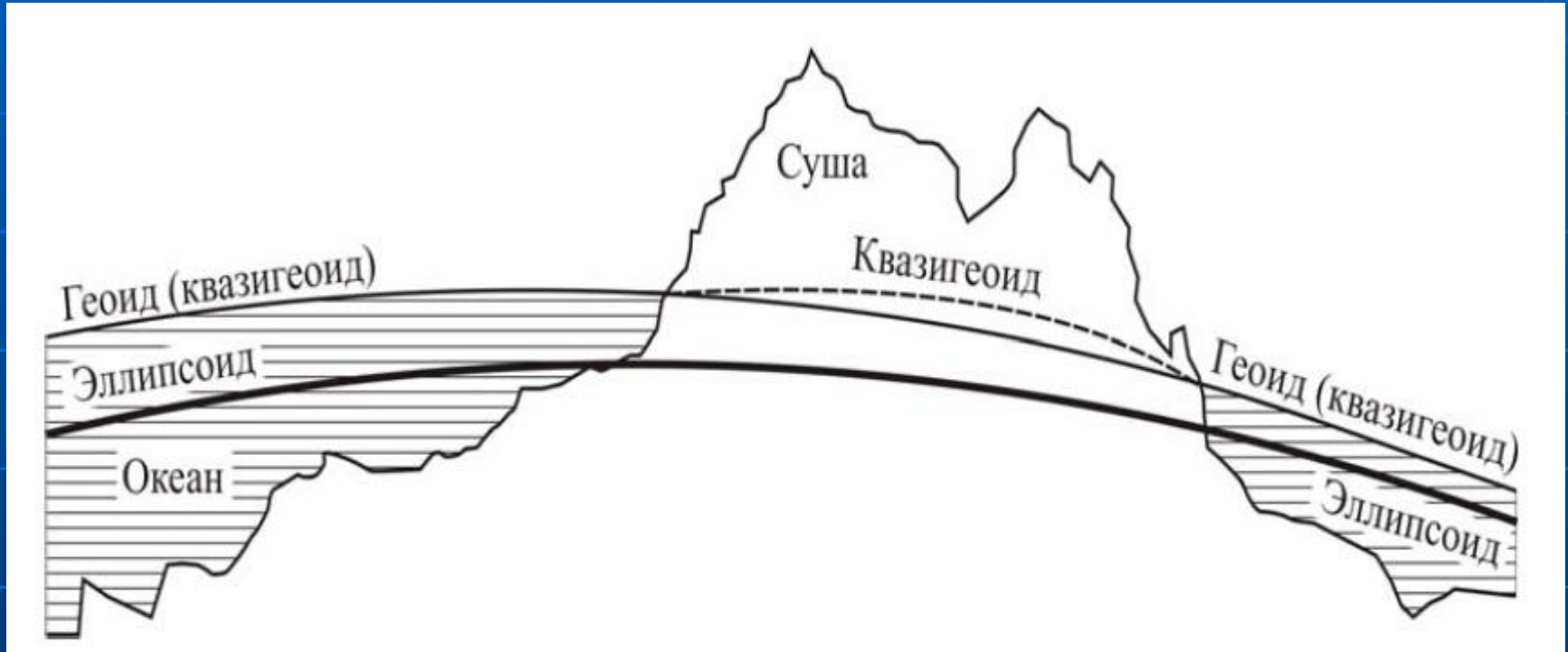
Модели земной поверхности.

- **Физическая поверхность** – это действительная поверхность Земли.
- **Уровенная поверхность** – это поверхность, во всех точках перпендикулярная направлению силы тяжести (отвесной линии).
- **Геоид** – это фигура, образованная уровневой поверхностью, совпадающая с поверхностью Мирового океана в спокойном состоянии.
- **Квазигеоид** – поверхность, которая совпадает с геоидом на поверхности Мирового океана и очень близка к нему на суше. Эту поверхность и называют *средним уровнем моря* .(**MSL**)
- **Эллипсоид** -математически правильное тело, полученное путем вращения эллипса вокруг малой полуоси.
- **Сфера** – Это эллипсоид без сжатия(когда высокой точности не требуется, то Землю можно представить более простой фигурой)
- **Плоскость** - поверхность Земли принимается за плоскость, то есть не учитывается кривизна Земли. (расчеты производятся на ограниченной территории)

Физическая поверхность Земли



геоид и земной эллипсоид



Высота рельефа местности отсчитывается от поверхности **квазигеоида**. Но практически можно считать, что от поверхности геоида, учитывая незначительную разницу. На равнине 20 – 30 см, в горах 2 – 3 метра.

Модели земной поверхности.

Геоид - фигура, ограниченная уровенной поверхностью, совпадающей с поверхностью мирового океана в состоянии равновесия воды. Уровенная поверхность в каждой своей точке нормальна к направлению силы тяжести.

Квазигеоид – это поверхность ,совпадающая с поверхностью геоида над морями и океанами и приблизительно совпадающая над сушей.(поскольку не известно распределение масс внутри Земли)

Земным эллипсоидом - называется фигура, представляющая собой сплюснутый эллипсоид вращения. Его размеры подбирают таким образом, чтобы он в пределах определенной территорий максимально подходил к поверхности геоида.

Такой эллипсоид называется **референц-эллипсоидом**.

Модели земной поверхности



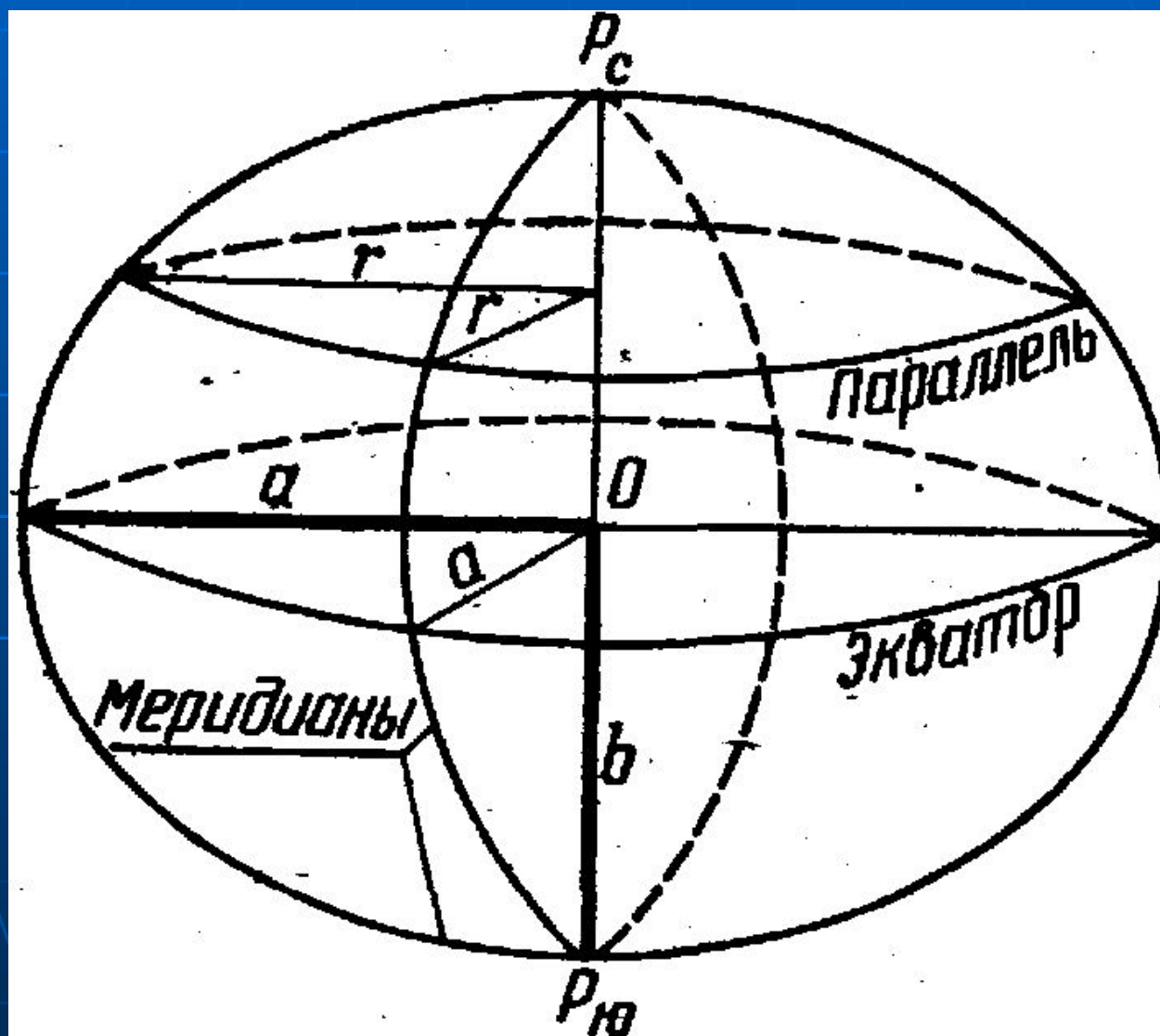
Поверхность геоида и референц-эллипсоида

Характеристики референц – эллипсоида Красовского (СК-42):

большая полуось (радиус экватора) $a = 6\,378\,245\text{ м}$;

малая полуось (расстояние от плоскости экватора до полюса) $b = 6\,356\,863\text{ м}$;

коэффициент сжатия $c = 0,00335233$



Референц - эллипсоид Красовского

Референц – эллипсоид ПЗ – 90 02

Характеристики референц-эллипсоида ПЗ-90 02

большая полуось (радиус экватора) **$a = 6\,378\,136\text{ м};$**

коэффициент сжатия эллипсоида **$c = 0,0033528;$**

центр эллипсоида совмещён с началом геоцентрической системы координат.

Характеристики WGS-84

Характеристики сфероида WGS-84:

экваториальный радиус $a = 6\,378\,137$ м;

полярный радиус $b = 6\,356\,752,314245$ м;

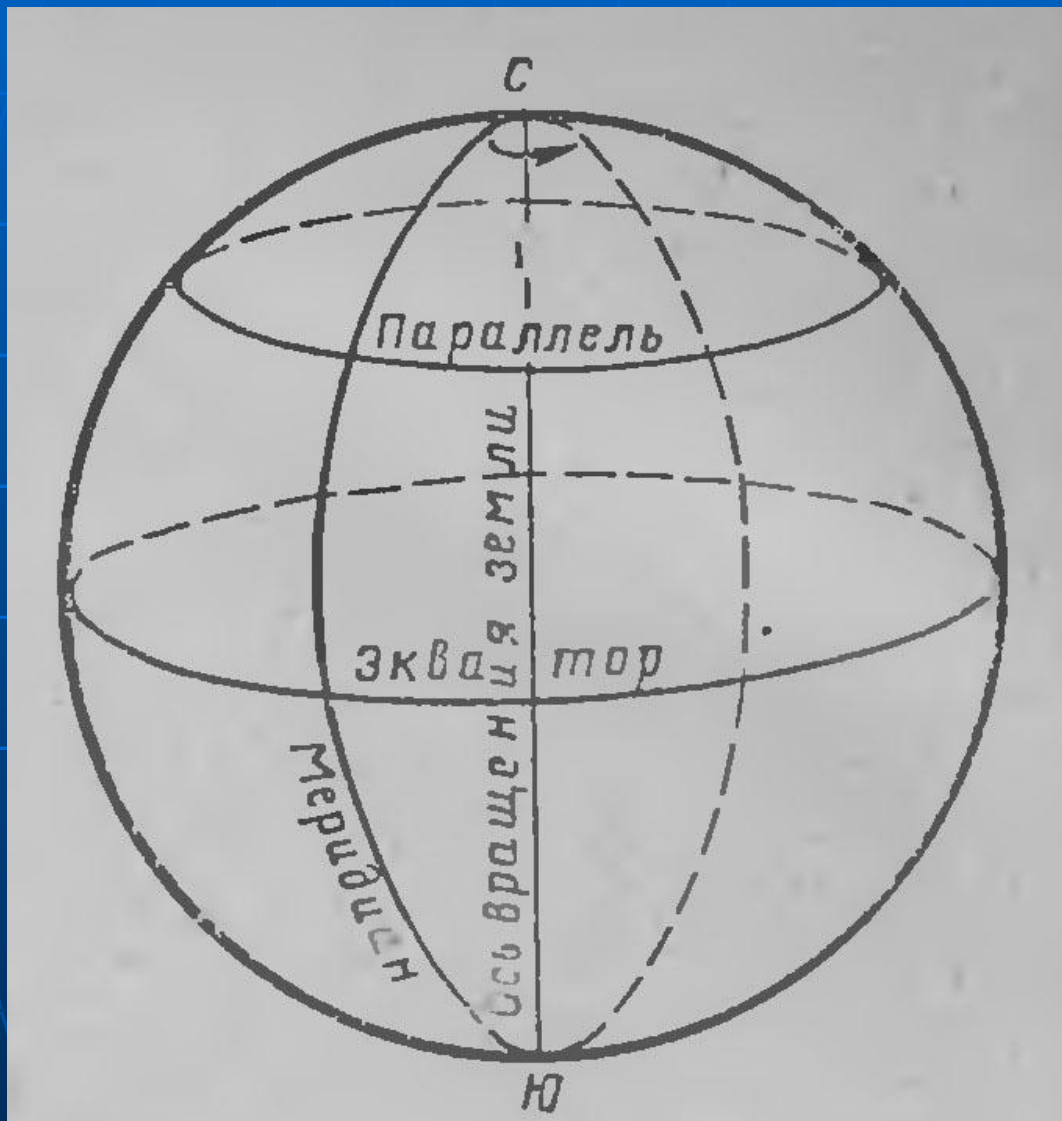
максимальное расхождение сфероида WGS-84 с геоидом составляет не более 200 м.

ИКАО приняло решение с 1 января 1998 г. публиковать в документах аэронавигационной информации координаты пунктов в единой для всего мира системе координат, называемой WGS-84 (World Geodetic System).

WGS-84 - трёхмерная система координат для позиционирования на Земле. В отличие от локальных систем, является единой системой для всей планеты. Предшественниками WGS-84 были системы WG-72, WGS-64 и WGS-60.

WGS-84 определяет координаты относительно центра масс Земли, погрешность составляет менее 2 см. В WGS-84, нулевым меридианом считается «IERS Reference Meridian». Он расположен на 5,31" к востоку от Гринвичского меридиана.

Основные географические точки , линии и круги.



**Основные географические точки, линии
и круги на земном шаре**

Измерение направлений и расстояний на поверхности Земли.

При решении многих навигационных задач, не требующих высокой точности, Земля принимается за шар с радиусом **$R = 6371$ км**. При этом допуске максимальные ошибки в определении длин могут составить **0,5%** и в определении направления **12'**.

Зная радиус Земли, можно рассчитать длину большого круга (меридиана и экватора);

$$L = 2\pi R = 2 \times 3,14 \times 6371 = 40030 \approx 40000 \text{ км.}$$

Определив длину большого круга, можно найти длину дуги меридиана (экватора) в **1°** или в **1'**:

$$1^\circ \text{ дуги меридиана (экватора)} = L/360^\circ = \mathbf{111,2 \text{ км}},$$

$$1' \text{ дуги меридиана (экватора)} = 111/60' = \mathbf{1,853 \text{ км}}.$$

секунды – около 31 м.

Длина каждой параллели меньше длины экватора и зависит от широты места φ .

$$\text{Она равна } \mathbf{L_{пар} = L_{экв} \cos \varphi_{пар}}.$$

Пересчет единиц расстояния.

Соотношения единиц расстояния:

1 ММ (NM) = 1! дуги меридиана = 1852 м = 1,852 км;

1 АМ (SM) = 1,6 км;

1 фут (ft) = 30,48 см;

1 м = 3,28 фута.

Перевод одних единиц измерения расстояний в другие производится по формулам:

$S \text{ км} = S \text{ ММ} \times 1,852;$

$S \text{ ММ} = S \text{ км} / 1,852;$

$S \text{ км} = S \text{ АМ} \times 1,6;$

$S \text{ АМ} = S \text{ км} / 1,6;$

$H \text{ футов} = H \text{ м} \times 3,28;$

$H \text{ м} = H \text{ футов} / 3,28.$

Системы координат на земной поверхности.

Прямоугольные системы координат

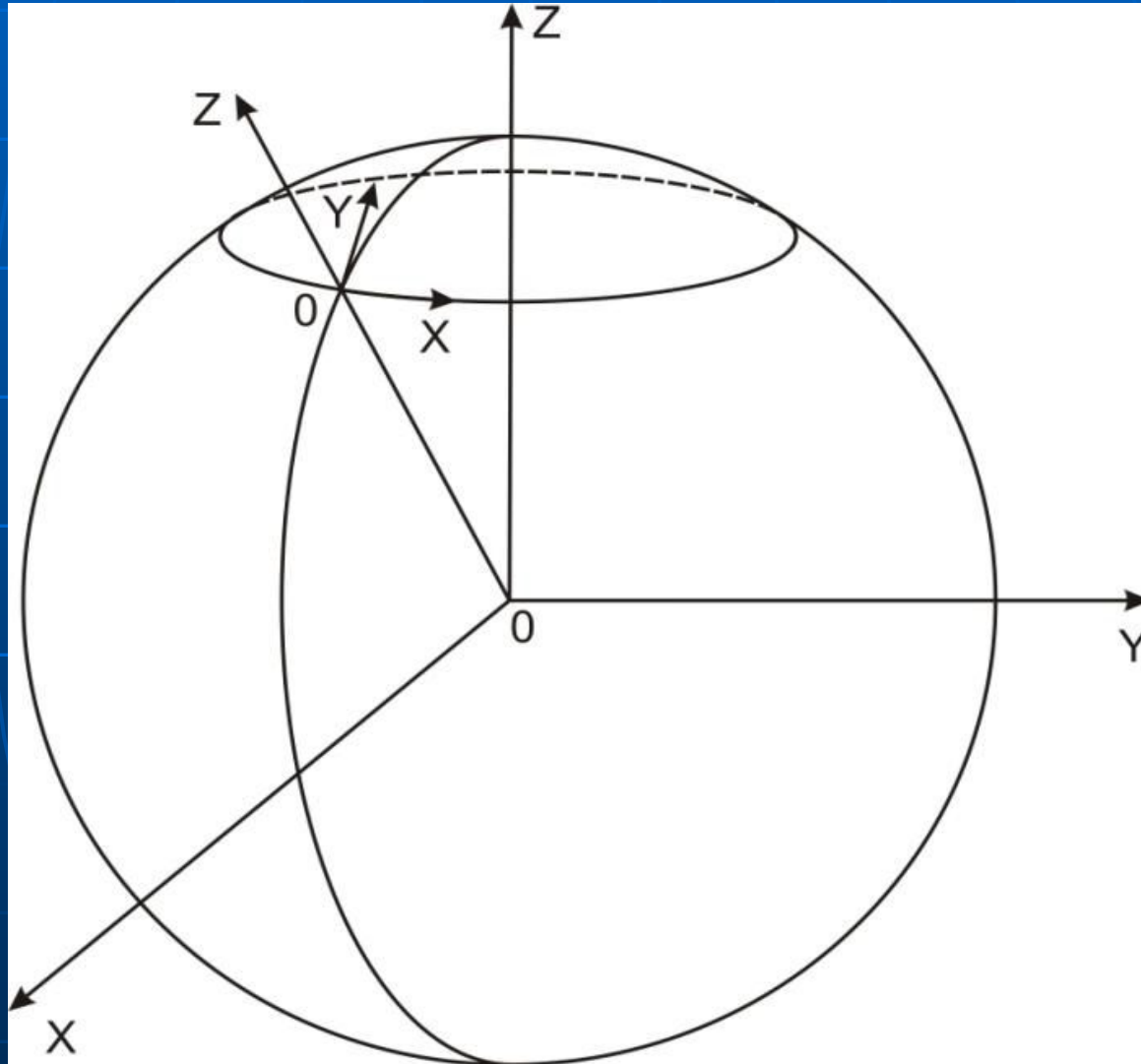
Сферическая система координат

Геодезическая система координат

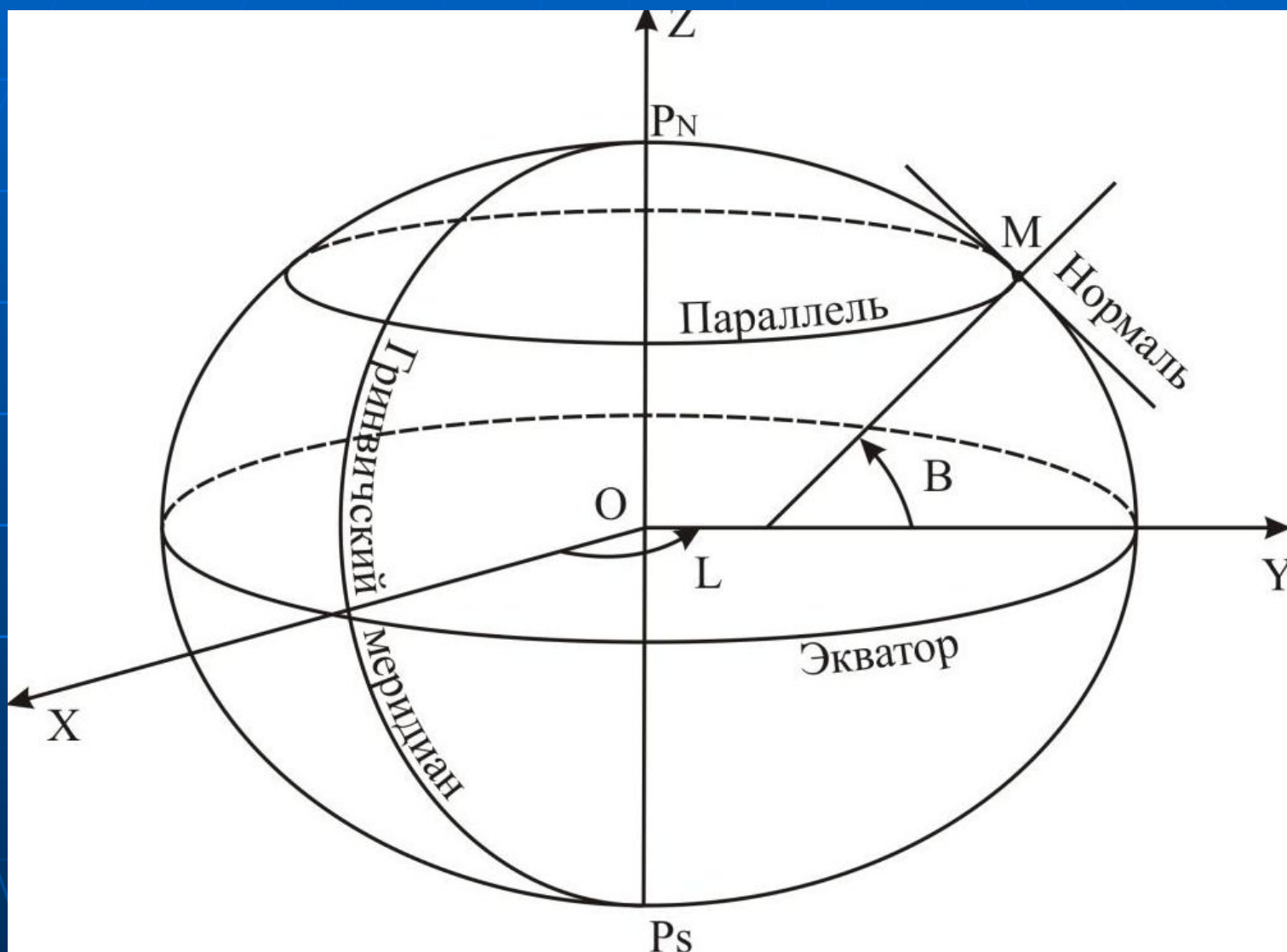
Прямоугольные системы координат.

- **Прямоугольные системы** координат – это обычные декартовы системы, имеющие три перпендикулярных оси (X , Y , Z). Они используются для описания положения точек в пространстве, на поверхности или внутри Земли.
 - **ПРЯМОУГОЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ КООРДИНАТ:**
 - **Геоцентрические**
 - **Топоцентрические**
 - **Референцные**
- **Референцные** прямоугольные системы – центр координат находится в центре эллипсоида

Прямоугольные системы координат



Геодезические координаты.

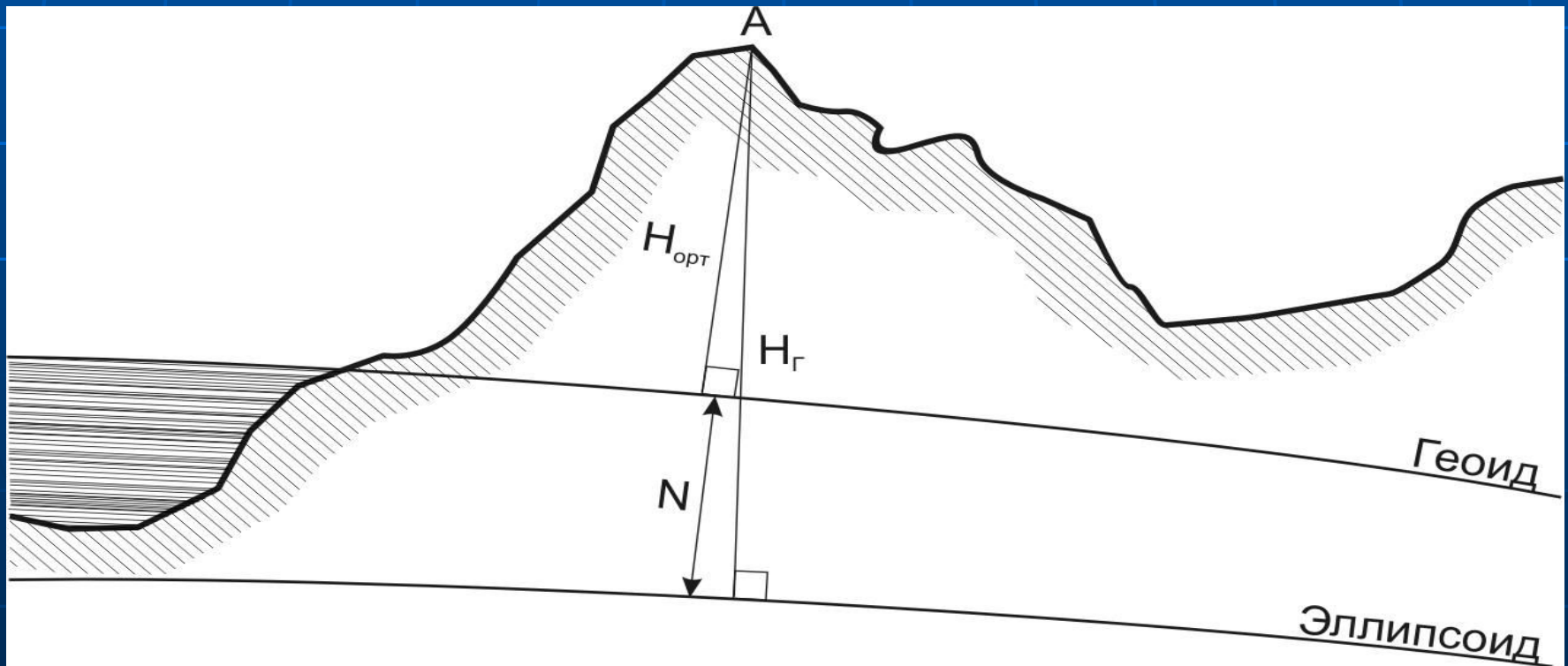


Геодезические координаты

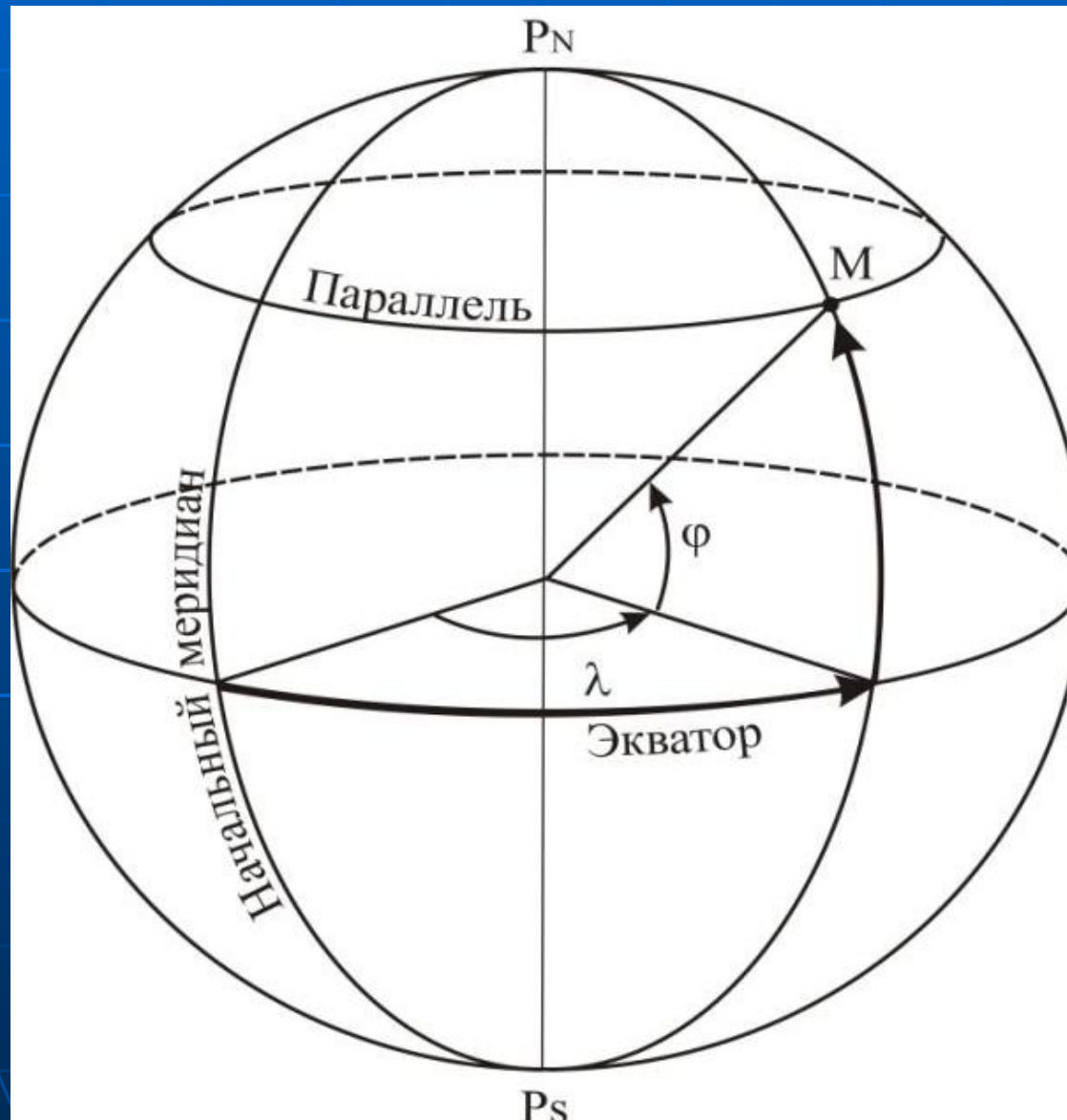
- **Геодезическая широта B** - это угол, заключенный между плоскостью экватора и нормалью к поверхности эллипсоида в данной точке. Отсчитывается от 0 до 90 градусов к северу (северная широта) и к югу (южная широта)
- **Геодезическая долгота L** – это двугранный угол между плоскостями начального меридиана и меридиана данной точки. Отсчитывается от 0 до 180 градусов к востоку (восточная долгота) и к западу (западная долгота)
- **Геодезическая высота H_g** – расстояние от точки наблюдателя до поверхности эллипса. Она отсчитывается от поверхности эллипсоида по нормали к ней. В настоящее время H_g на борту ВС может быть определена только с помощью спутниковых навигационных систем.

Геодезическая высота.

- *Ортометрическая высота $H_{орт}$* измеряется от уровня геоида по направлению отвесной линии.
- Превышение N геоида над поверхностью эллипсоида в данной точке называется *волной геоида*
- *Геодезическая высота H_g*



Сферические координаты



Сферические координаты

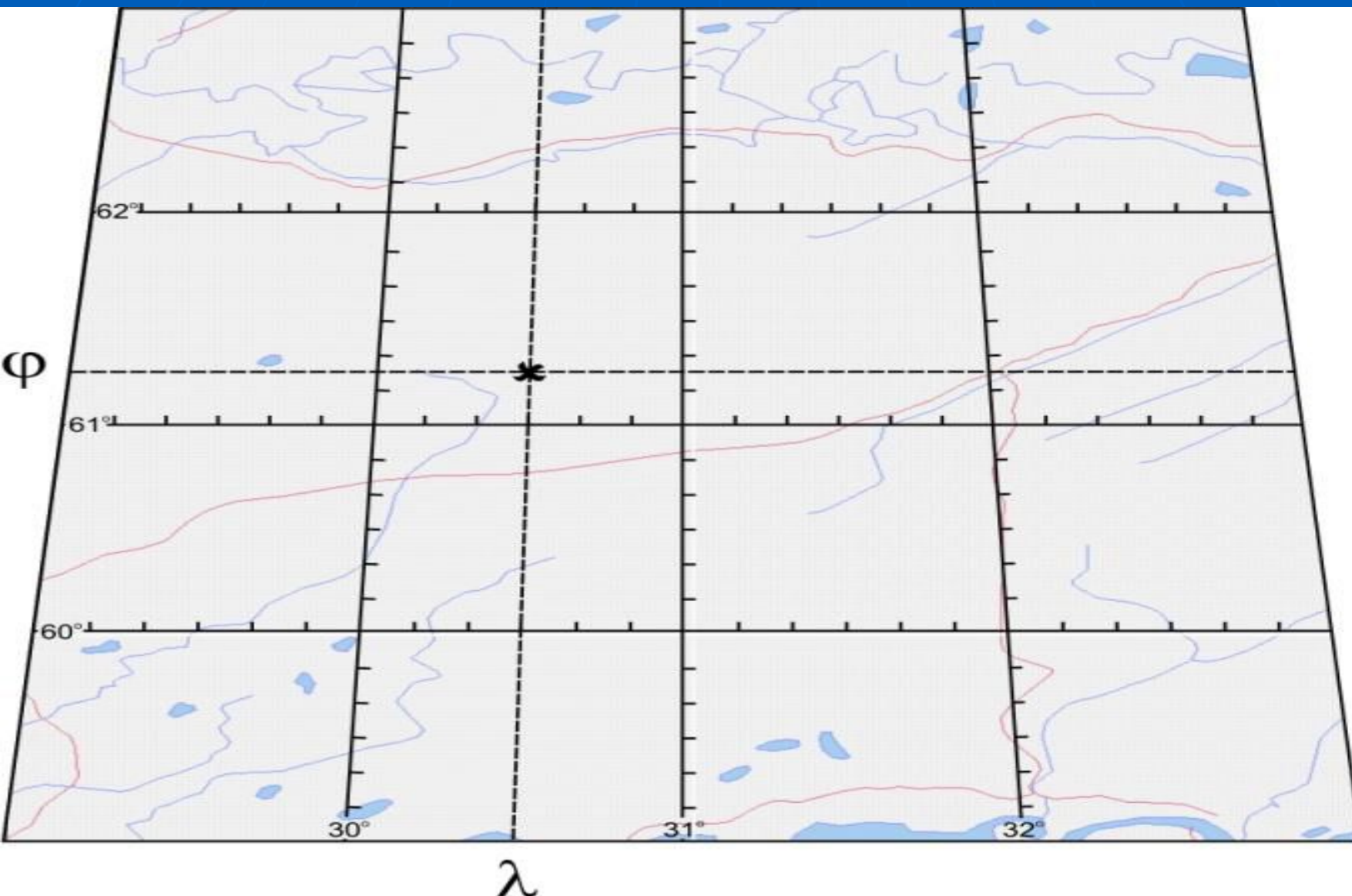
- **Сферическая широта φ** – это угол между плоскостью экватора и направлением из центра сферы на данную точку.
- **Сферическая долгота λ** – двугранный угол между плоскостями начального меридиана и меридиана данной точки.

Меридиан – большой круг, плоскость которого проходит через ось вращения Земли.

Параллель – дуга малого круга, плоскость которого перпендикулярна оси вращения Земли и, следовательно, параллельна экватору.

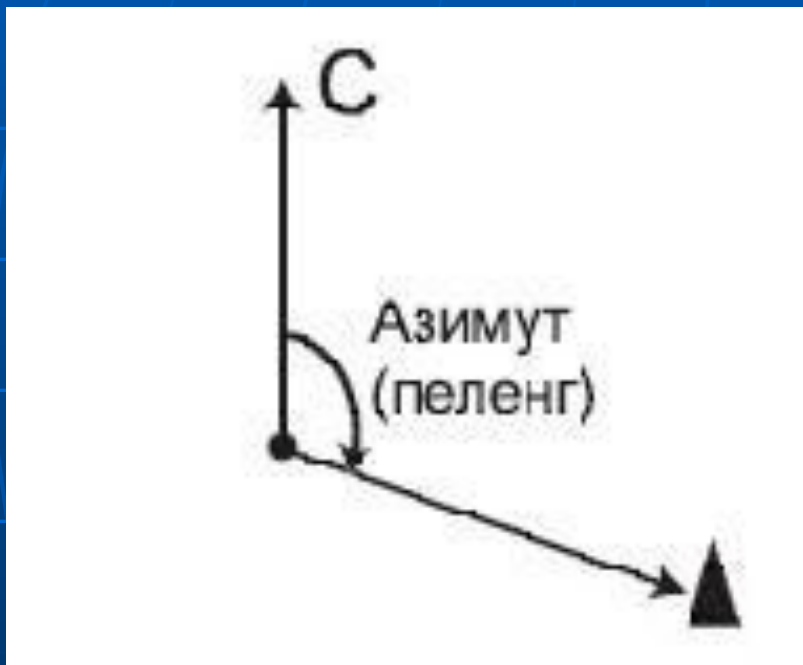
Экватор – большой круг, плоскость которого перпендикулярна оси вращения Земли.

Определение широты и долготы по карте.



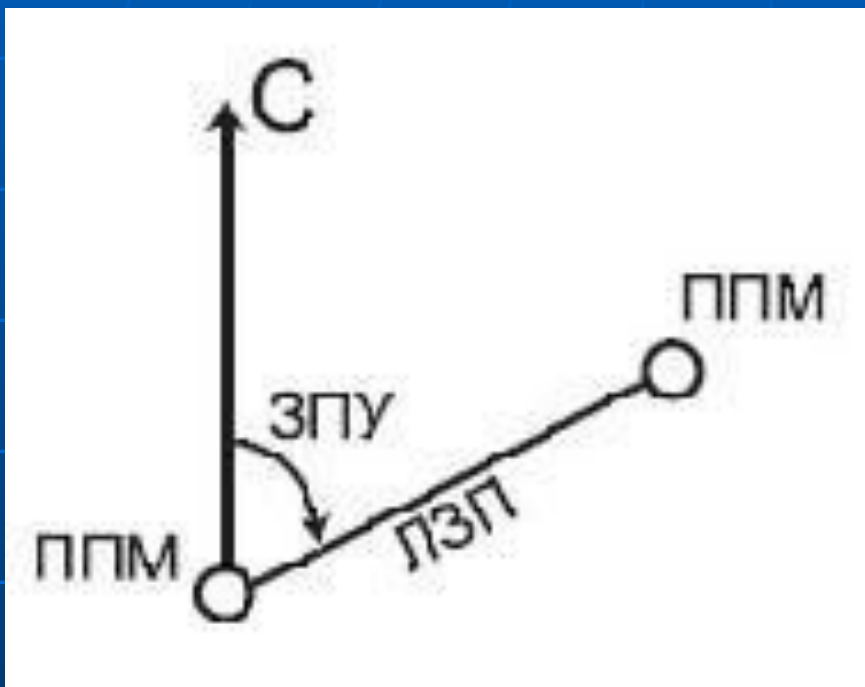
Вопрос 5. Направления на земной поверхности

Азимут (пеленг) ориентира.



Азимут, или пеленг ориентира (Azimuth, Bearing) называется угол, заключенный между северным направлением меридиана, проходящего через данную точку, и направлением на наблюдаемый ориентир. Азимут (пеленг) ориентира отсчитывается от северного направления меридиана до направления на ориентир по часовой стрелке от 0 до 360°.

Заданный путевой угол и линия заданного пути.



При подготовке к полету заданные пункты маршрута соединяют на карте линией, которая в самолетовождении называется **линией заданного пути (ЛЗП) (Desired track, DTK)**.

Заданным путевым углом (ЗПУ) называется угол, заключенный между северным направлением меридиана и линией заданного пути. Он отсчитывается от северного направления меридиана до направления линии заданного пути по часовой стрелке от 0° до 360° .

Вопрос 6. Основные линии на поверхности земного шара

Линия пути и линия положения.

Линией пути самолета называется проекция на земную поверхность траектории его движения в пространстве. В настоящее время применяются главным образом две линии пути: **ортодромия** и **локсодромия**.

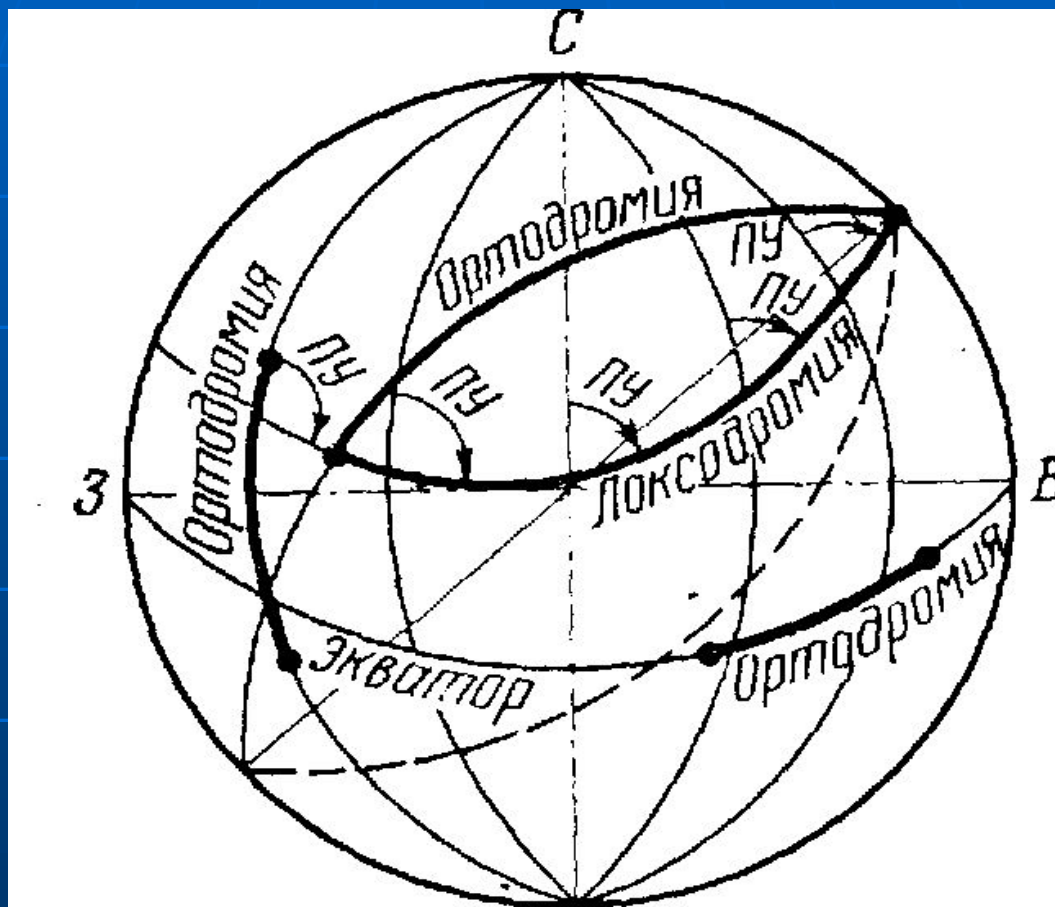
Линией положения называется геометрическое место точек вероятного местонахождения самолета, соответствующее постоянному значению измеренного навигационного параметра. В самолетовождении используются следующие основные линии положения:

линия ортодромического пеленга;

линия равных азимутов (радиопеленгов);

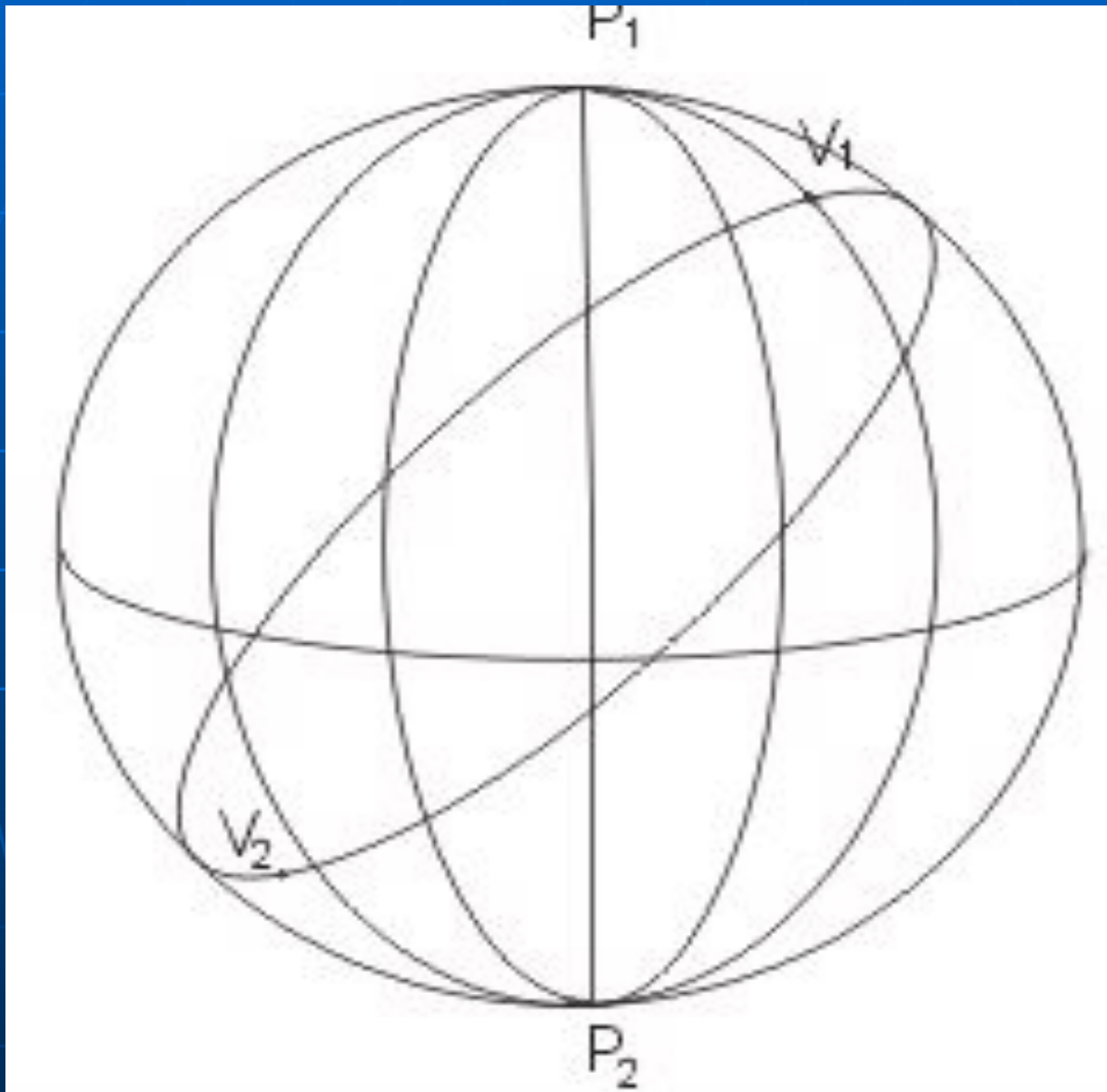
линия равных расстояний;

Ортодромия.



Ортодромия - дуга большого круга, являющаяся кратчайшим расстоянием между двумя точками на поверхности земного шара. Ортодромия пересекает меридианы под различными углами. В частном случае она может совпадать с меридианом и экватором

Ортодромия.

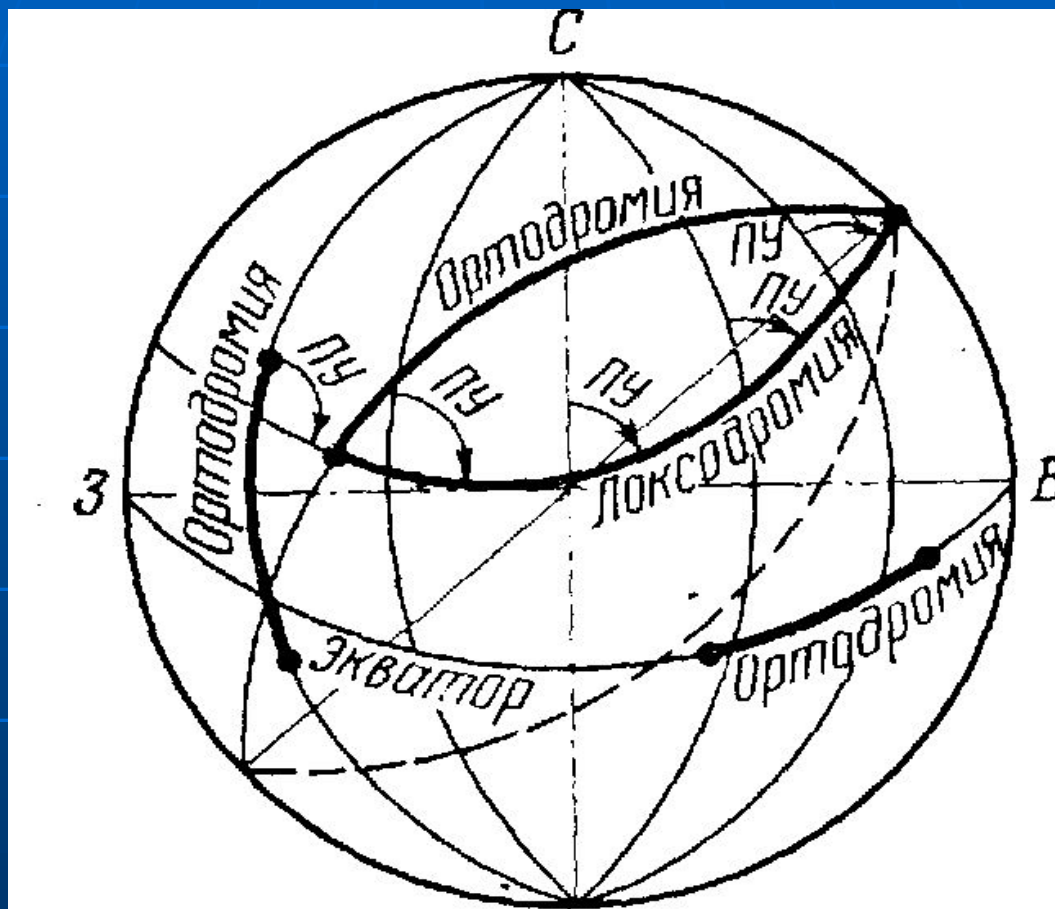


Основные свойства ортодромии.

Ортодромия :

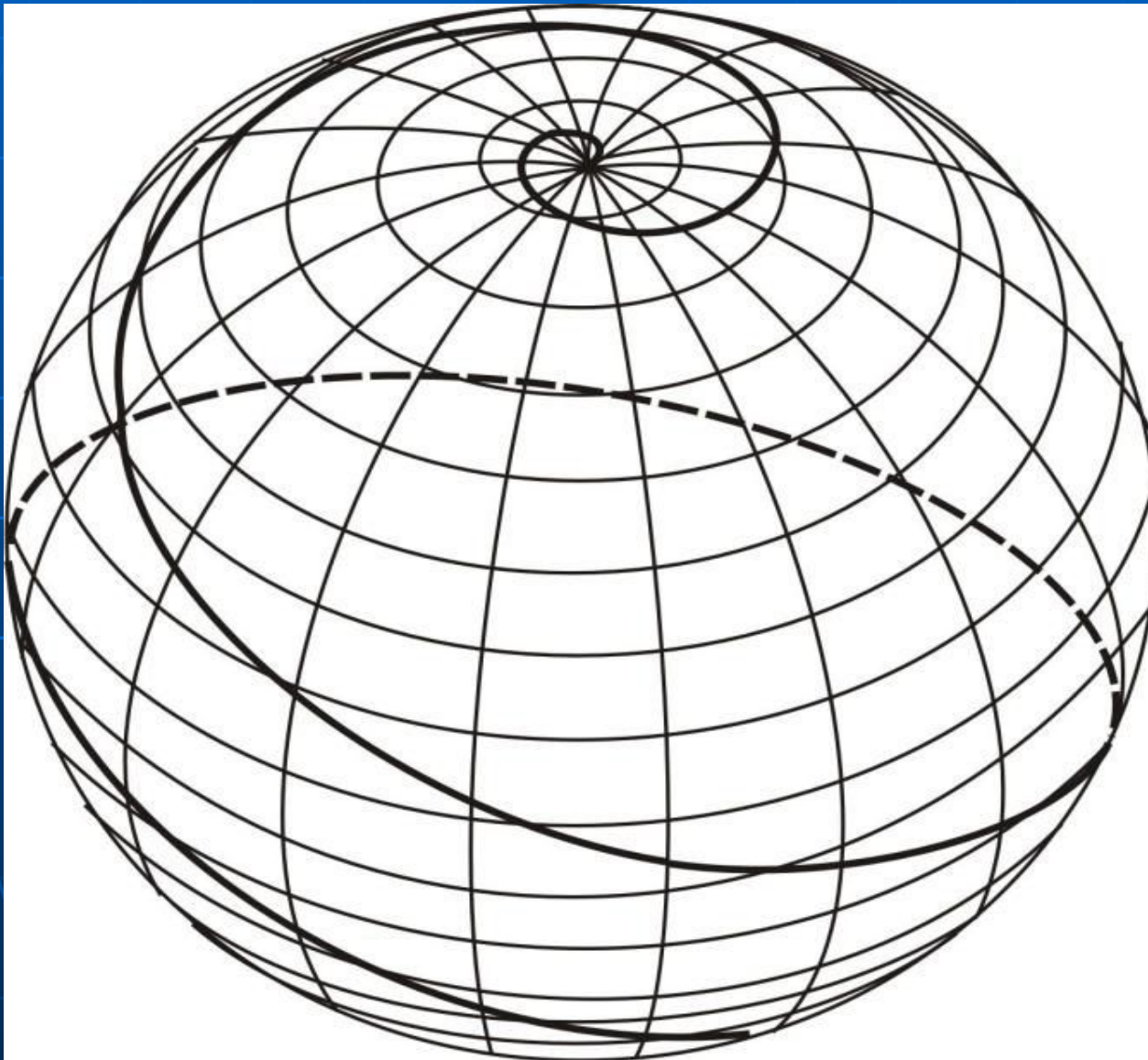
- является линией кратчайшего расстояния между точками на поверхности земного шара;
- пересекает меридианы под различными не равными между собой углами вследствие схождения меридианов у полюсов;
- на полетных картах ортодромия между двумя пунктами, расположенными на расстоянии до 1000 - 1200 км, прокладывается прямой линией. В этом случае путевой угол и длина пути по ортодромии измеряются по карте. На больших расстояниях ортодромия прокладывается кривой линией, обращенной выпуклостью к полюсу. В этом случае путевой угол и длина пути рассчитываются по специальным формулам.

Локсодромия



Локсодромия - линия на поверхности земного шара, пересекающая меридианы под одинаковым путевым углом.

Локсодромия



Основные свойства локсодромии.

На поверхности земного шара локсодромия имеет вид пространственной логарифмической спирали, которая огибает земной шар бесконечное число раз и с каждым оборотом постепенно приближается к полюсу, но никогда не достигает его.

Локсодромия обладает следующими свойствами:

- пересекает меридианы под постоянным углом и на поверхности Земного шара своей выпуклостью обращена в сторону экватора;
- путь по локсодромии всегда длиннее пути по ортодромии, за исключением частных случаев, когда полет происходит по меридиану или по экватору.

Линия равных азимутов.



Линия равных азимутов (линия равных радиопеленгов) - линия, в каждой точке которой радионавигационная точка (РНТ) пеленгуется под одним и тем же истинным пеленгом радиостанции (ИПР). Линия равных азимутов в качестве линии положения применяется при измерении пеленга радиостанции с помощью радиокompаса.

Линии положения.

Линия равных расстояний - линия, все точки которой находятся на одинаковом удалении от некоторой фиксированной точки. На поверхности земного шара линия равных расстояний представляет окружность малого круга. В качестве линии положения линия равных расстояний находит применение при измерении расстояния с помощью дальномерной и угломерно-дальномерной систем.

Линия равных разностей расстояний - линия, в каждой точке которой разность расстояний до двух фиксированных точек на земной поверхности (радиостанций) является постоянной величиной. Находит применение при определении местоположения с помощью разностно-дальномерных навигационных систем.

Вопрос 6. Географические координаты

Географические координаты.

Географические координаты - это угловые величины, определяющие положение любой данной точки на поверхности земного эллипсоида. Исходными плоскостями в этой системе являются плоскости начального меридиана и экватора, а координатами угловые величины - широта и долгота .

Параллель, проходящая через центр эллипсоида называется **экватором**. В качестве начального принят Гринвичский меридиан (меридиан , проходящий через центр главного центра Гринвичской обсерватории)

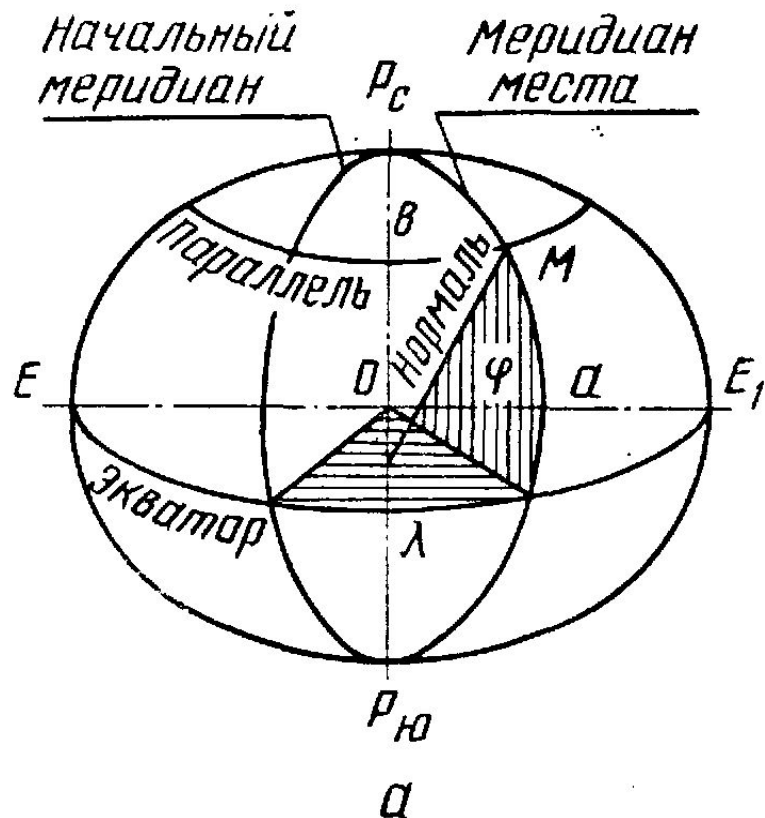
Географические координаты полученные в результате геодезических измерений называются – **геодезическими**.

Географической широтой ϕ (*Latitude*) называется угол между плоскостью экватора и нормалью к поверхности эллипсоида в данной точке (М).

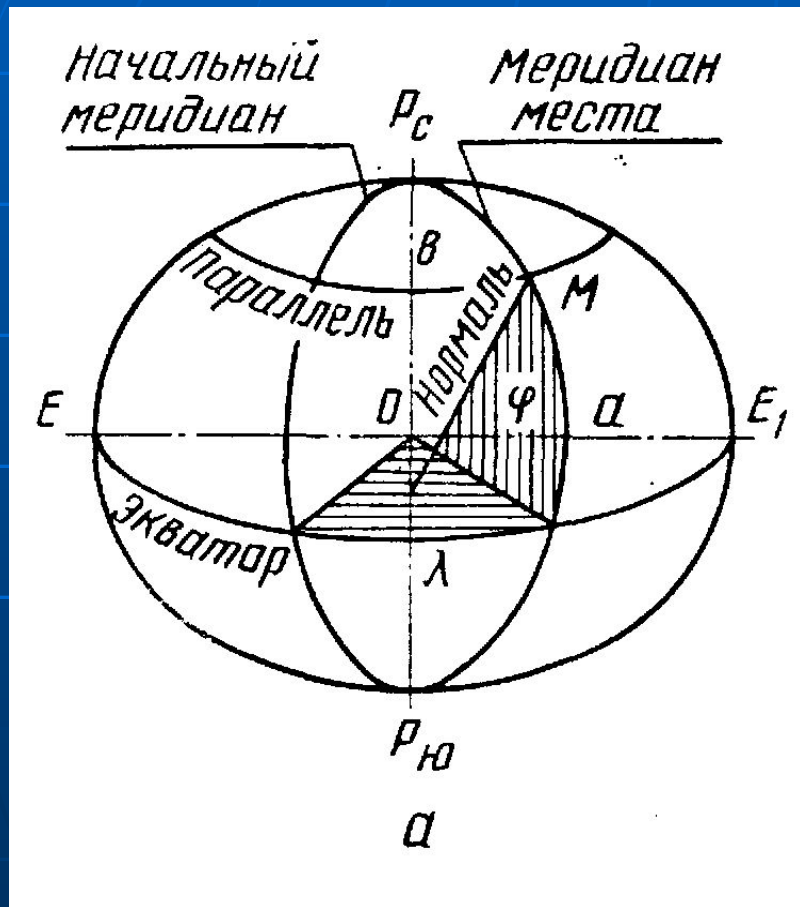
Широта измеряется от плоскости экватора к полюсам от 0 до 90° к северу или югу.

Северная	широта	считается
положительной,	южная	-
отрицательной.		

Все точки, лежащие на одной параллели, имеют одинаковую широту.



Географическая долгота.



Географической долготой λ (Longitude) называется двугранный угол между плоскостью начального меридиана и плоскостью меридиана данной точки (М), или длина дуги экватора, выраженная в градусах, между начальным меридианом и меридианом данной точки.

Долгота измеряется в градусах. Отсчет ведется от начального меридиана к востоку и западу от 0 до 180°. Восточная долгота считается положительной, западная считается отрицательной.

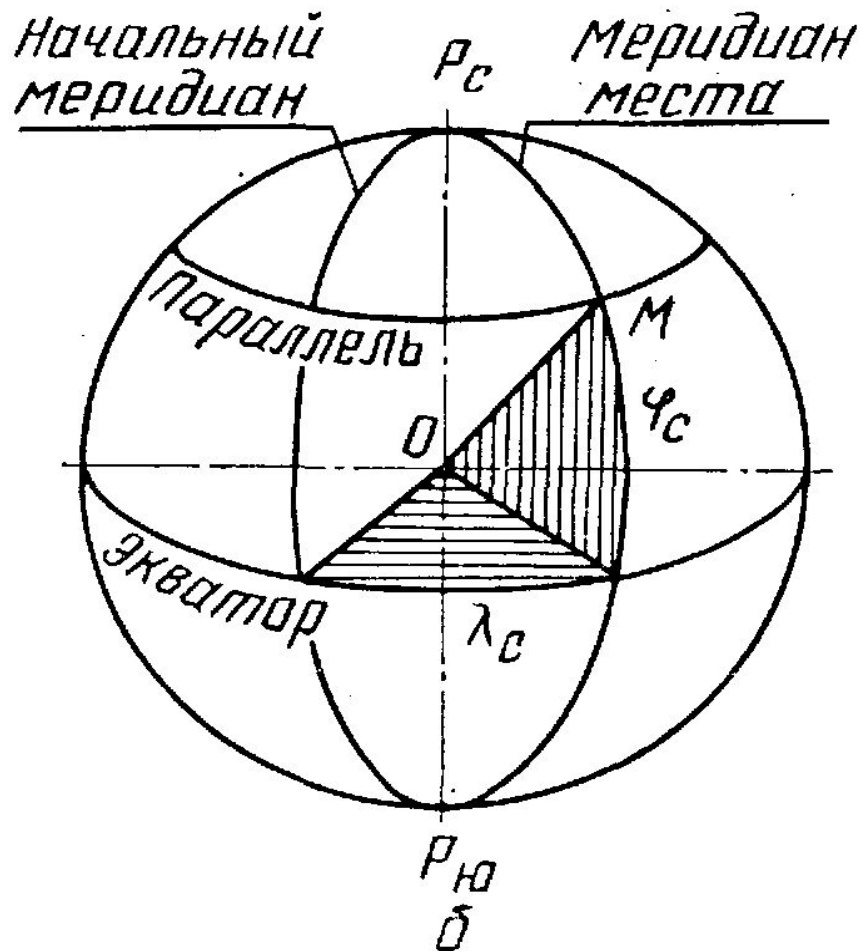
Все точки, лежащие на одном меридиане, имеют одну и ту же долготу.

Вопрос 7. Системы координат, применяемые в воздушной навигации

Системы координат применяемые в навигации.

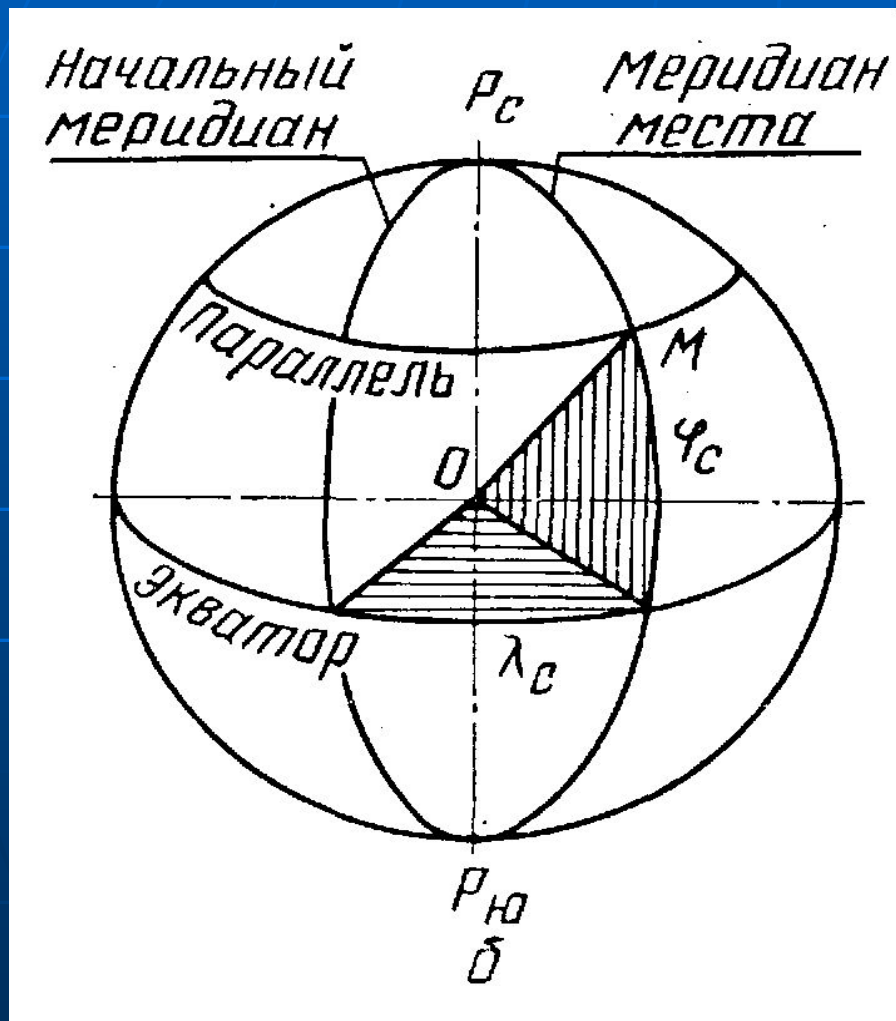


Сферическая система координат



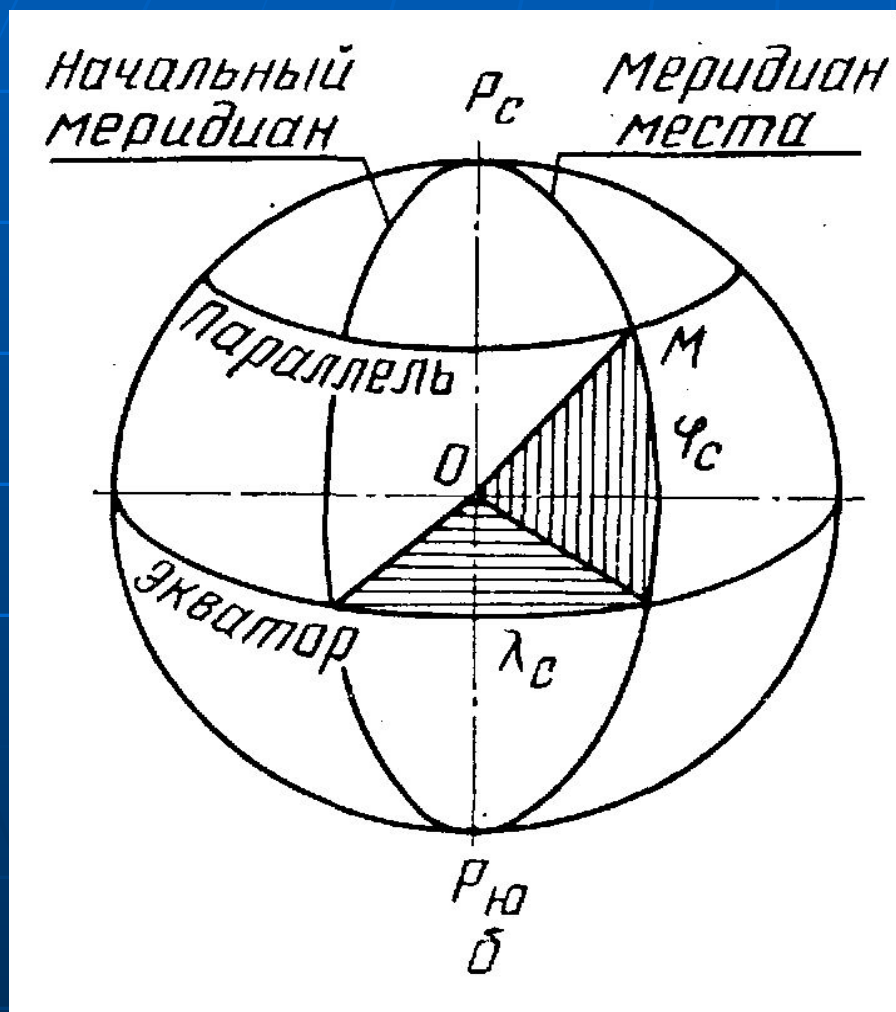
Сферическая система координат используется для упрощения решения некоторых навигационных задач. Землю принимают за шар и пользуются сферическими координатами

Сферическая широта.



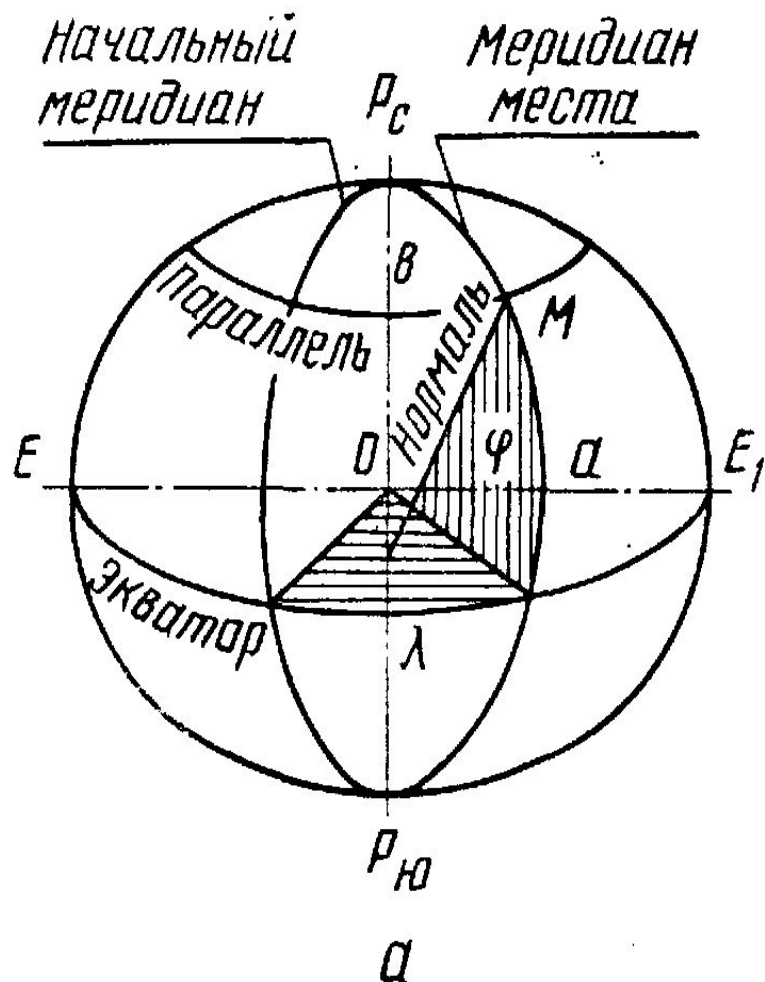
Сферической широтой ϕ_c называется угол, заключенный между плоскостью экватора и направлением на данную точку из центра земной сферы. Сферическая широта измеряется центральным углом или дугой меридиана в тех же пределах, что и широта географическая. Опытным путем установлено, что разность между географической широтой и сферической незначительна и не превышает $11'33''$.

Сферическая долгота.



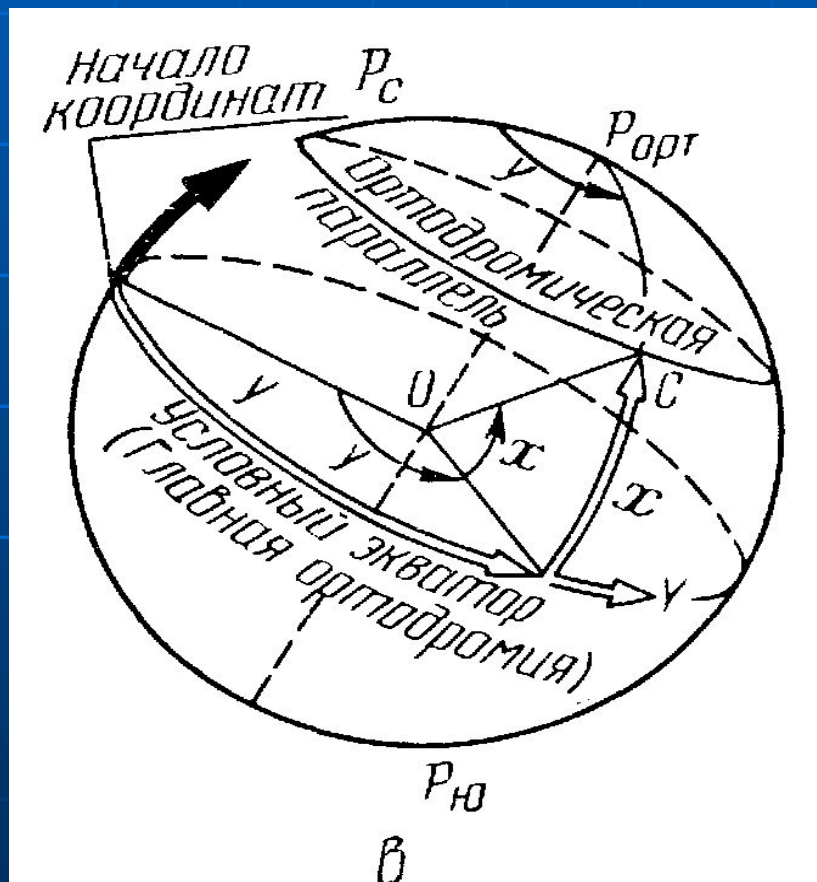
Сферическая долгота λ_c определяется двугранным углом, заключенным между плоскостью начального меридиана и плоскостью меридиана данной точки. Она измеряется в тех же пределах, что и географическая долгота.

Геодезическая система координат.



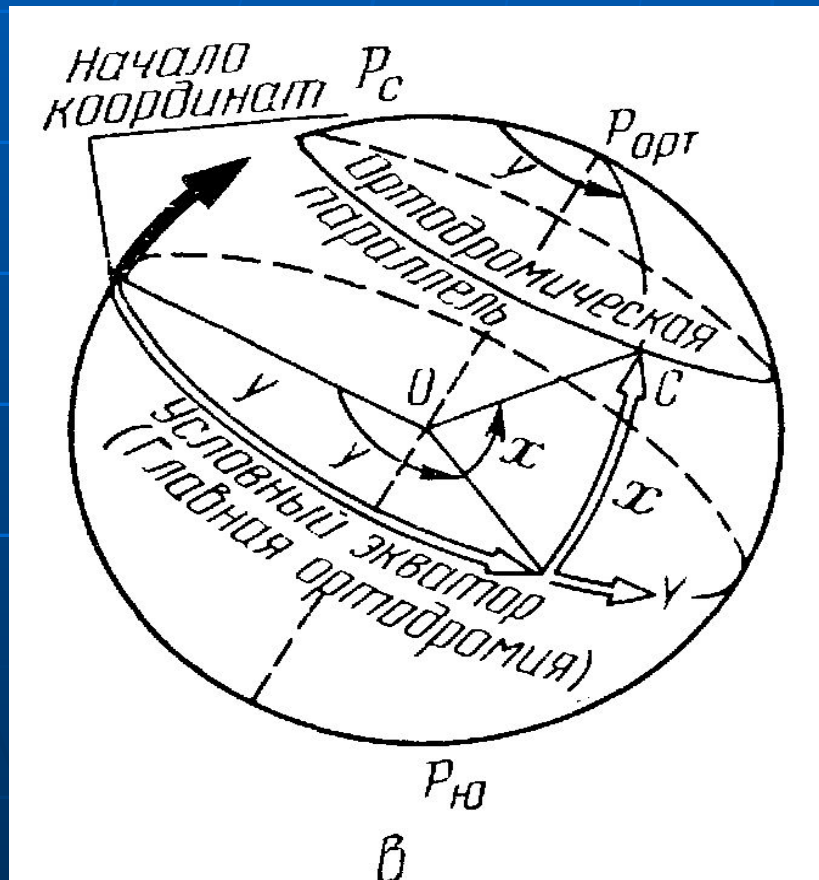
Географическая система координат является частным случаем сферической. За основные плоскости в этой системе приняты плоскость географического экватора и плоскость начального меридиана. Географическая система координат в виде меридианов и параллелей наносится на все навигационные карты и является основной для определения координат точек на картах.

Ортодромическая система координат.



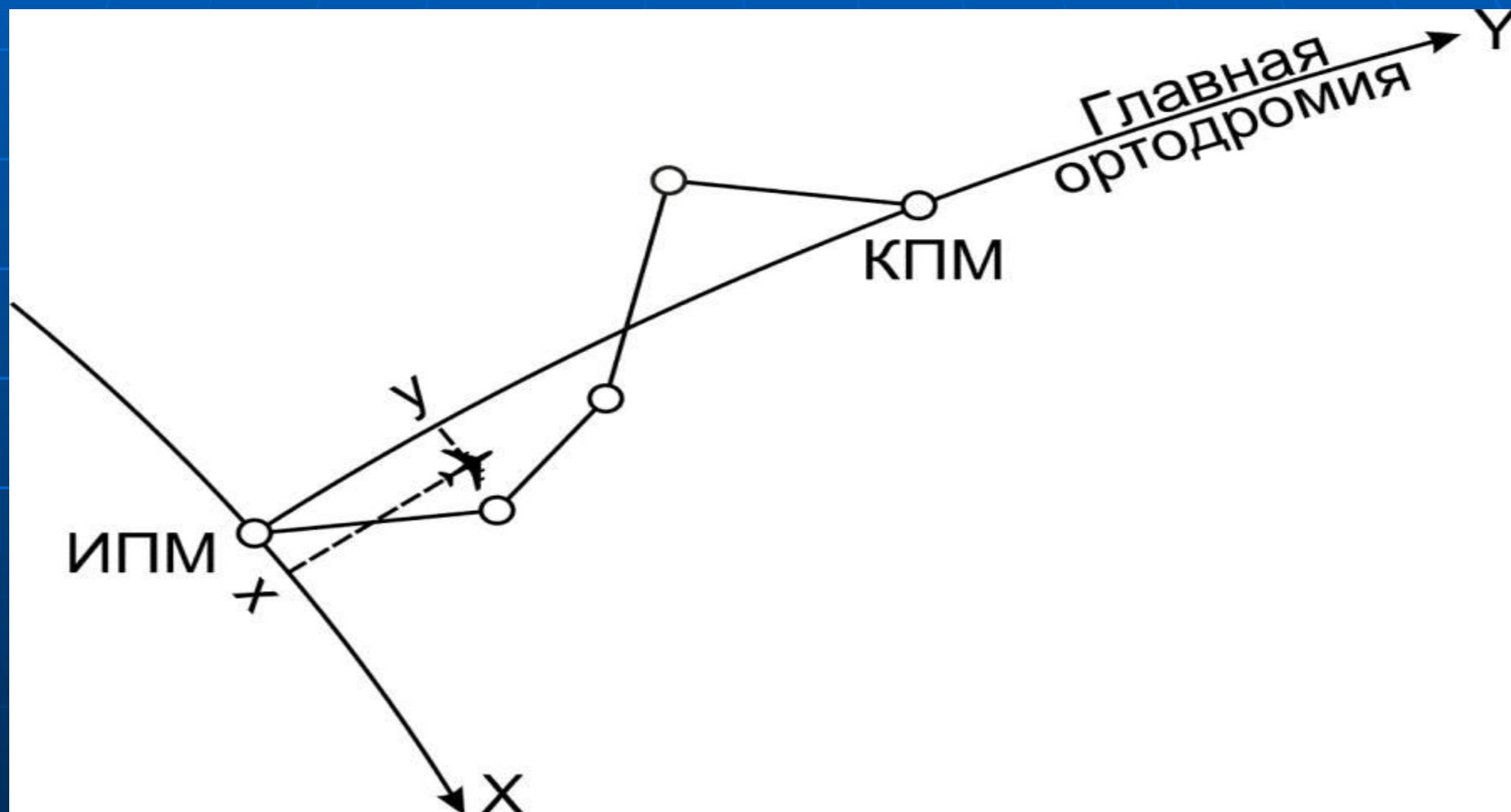
Ортодромическая система координат является также сферической системой, но с произвольным расположением полюсов. Она применяется в качестве основной системы координат в автоматических навигационных устройствах, которые определяют координаты места самолета

Общая ортодромическая система координат.

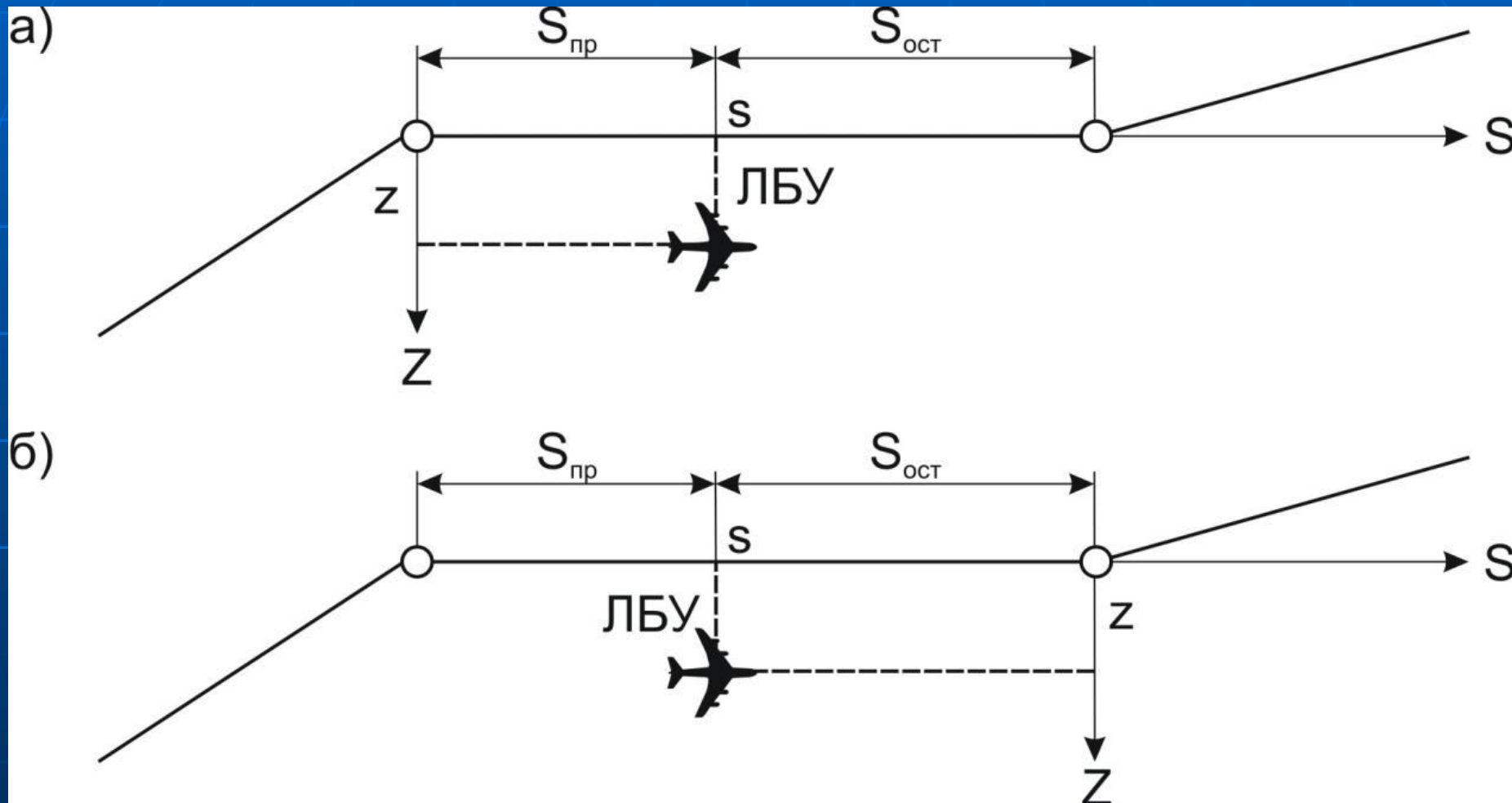


В этой системе за основные оси координат приняты две ортодромии, что и определило ее название. Ортодромия, совмещенная с линией заданного пути или с осью маршрута, называется главной и принимается за ось Y . Она является как бы условным экватором. Другая ортодромия, перпендикулярная главной, проводится через точку начала отсчета координат и принимается за ось X . Эта ортодромия представляет собой условный меридиан.

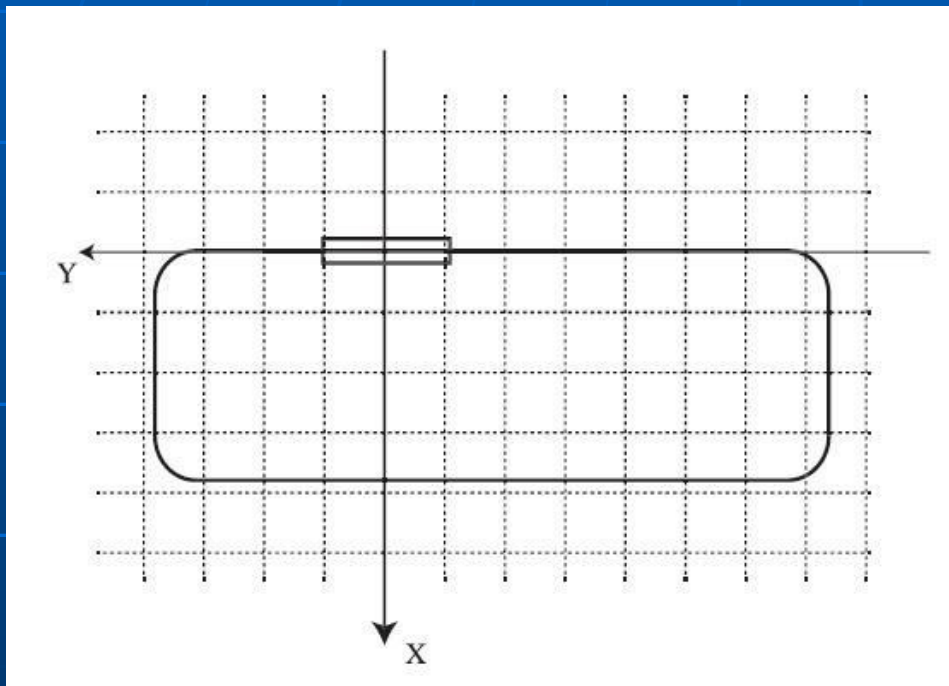
Общая ортодромическая система координат.



Частная ортодромическая система координат.

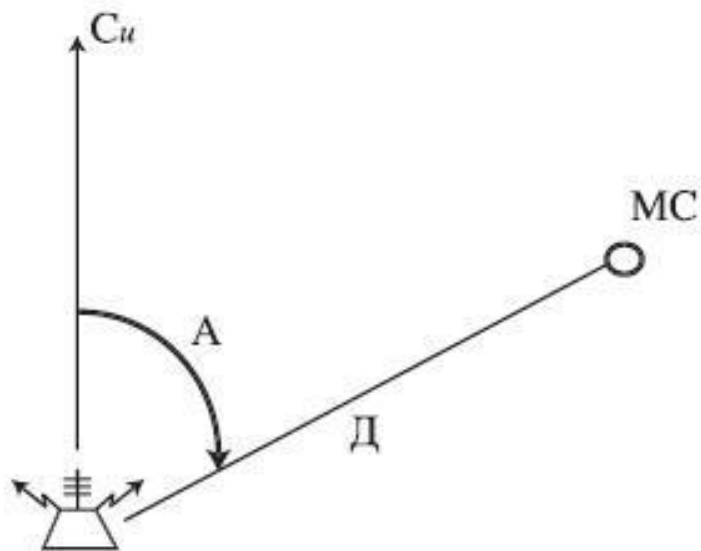


Прямоугольная система координат.



Прямоугольная система координат применяется для программирования автоматизированного захода на посадку. В этом случае начало координат совмещают с центром ВПП, а ось Y с направлением посадки. Для основных точек схемы захода заранее определяют прямоугольные координаты, позволяющие производить автоматизированный заход на посадку

Полярная система координат.



Полярная система координат является плоской системой.

В этой системе положение точки в пространстве определяется двумя величинами:

азимут (A);

горизонтальной дальностью (D) относительно радионавигационной точки или определенного ориентира

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

Значение наклонной и горизонтальной дальностей

