

Введение в навигацию и основные понятия фигуры Земли

Навигация (лат. *navigatio*, от лат. *Navigo* — «плыть на судне»):

Определение местоположения, скорости и ориентации движущихся объектов.

Мореплавание, судоходство.

Период времени в году, когда по местным климатическим условиям возможно судоходство.

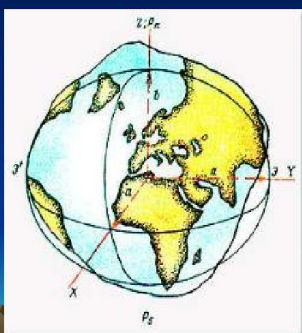
Основной раздел судоходства, в котором разрабатываются теоретические обоснования и практические приёмы вождения судов.

В течение многих веков термин навигация означал совокупность указанных значений. В XX веке, с развитием науки и техники, появлением воздушных судов, космических кораблей — новых объектов навигации, появились новые смысловые значения термина. Теперь, в общем смысле, навигация — процесс управления некоторым объектом (имеющим собственные методы передвижения) в определённом пространстве передвижения. Состоит из двух основных частей:

теоретическое обоснование и практическое применение методов управления объектом, маршрутизация, выбор оптимального пути следования объекта в пространстве.

Определение собственного местоположения в данный конкретный момент времени! Наиболее близкое по смыслу понятие — ориентирование!

ГЕОИД ЗЕМЛИ



Земля. Фигура земли. В геодезии, картографии и судоходстве за фигуру Земли принят эллипсоид вращения - математическая модель, наиболее близкая к Геоиду (~Земле).

Эллипсоид вращения – (сферóид) — поверхность вращения в трёхмерном пространстве, образованная при вращении эллипса вокруг одной из его главных осей.

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.

Полюс: –точка на поверхности земного шара, образуемая осью вращения Земли. Различают Северный географический полюс и Южный географический полюс; истинный, магнитный и компасный полюсы.

Экватор: - (горизонтальная) линия сечения земной поверхности плоскостью, проходящей через центр Земли перпендикулярно оси её вращения и делящая земной шар на Северное и Южное полушария. Служит началом отсчёта географических широт - Длина Экватора 40 075,7 км.

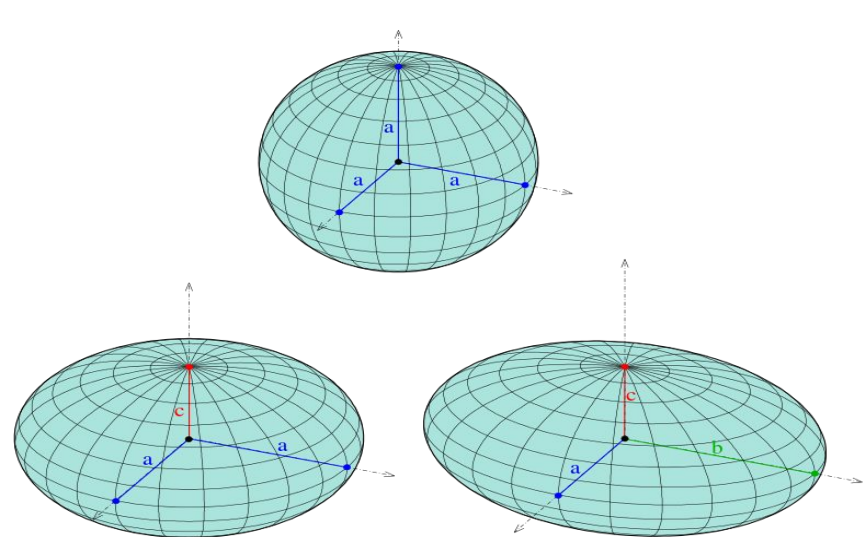
Параллель – (горизонтальная) линия сечения поверхности земного шара плоскостью, параллельной плоскости экватора.

Меридиан – (вертикальная) линия сечения поверхности земного шара плоскостью, проходящей через Сев. и Южн. географические полюсы и перпендикулярной плоскости экватора. - Меридиан, проходящий через, Гринвич (Англия) – называют Начальным, Нулевым или Гринвичским меридианом. Географические координаты (широта, долгота).

Географическая широта определяется углом между плоскостью экватора и параллелью места наблюдения и измеряется дугой меридиана в пределах от 0° до 90° к N и S; ей приписывается соответствующий знак (плюс или минус).

Географическая долгота – двугранный угол между плоскостью гринвичского меридиана и плоскостью меридиана наблюдателя и измеряется дугой экватора к востоку от Гринвича до 180° (остовая) и на запад от 180° (вестовая); ей приписывают соответственно знак плюс или минус. Часто географические координаты называют геодезическими.

Поверхность геоида все еще остается достаточно сложной для изучения. Она описывается бесконечными рядами, так называемыми разложениями по сферическим функциям. Если в рядах оставить конечное число членов, то получим ту или иную частную модель геоида. Наиболее простой (и довольно грубой) моделью геоида является шар, далее - эллипсоид вращения, последующие модели не поддаются простой геометрической интерпретации. Поэтому изучают отступления геоида от некоторой фигуры сравнения как правило, это будет двухосный



Эллипсоид вращения, форма и размеры которого близки к форме и размерам геоида, называется земным. Это самое общее определение.

Размеры и форма эллипсоида вполне определяются двумя параметрами: большой полуосью a и сжатием a (или эксцентриситетом e). Для практической реализации земной эллипсоид необходимо ориентировать в теле Земли определенным образом. При этом выдвигается общее условие: ориентирование должно быть выполнено таким образом, чтобы разности астрономических и геодезических координат были минимальными. Земной эллипсоид может подбираться так, чтобы данное условие было выполнено в некоторой области, стране или даже в группе стран (например, СНГ). В этом случае ориентирование эллипсоида подчиняется следующим требованиям:

Малая полуось эллипсоида должна быть параллельна оси вращения Земли.

Поверхность эллипсоида должна находиться возможно ближе к поверхности геоида в пределах данной страны.

Эллипсоид, удовлетворяющий этим требованиям и принятый для обработки геодезических измерений законодательно, называется *референц-эллипсоидом (РЭ)*.

Для закрепления РЭ в теле Земли необходимо задать геодезические координаты B , L , H начального пункта геодезической сети и начальный азимут A на соседний пункт. Совокупность этих величин называется *исходными геодезическими датами*.

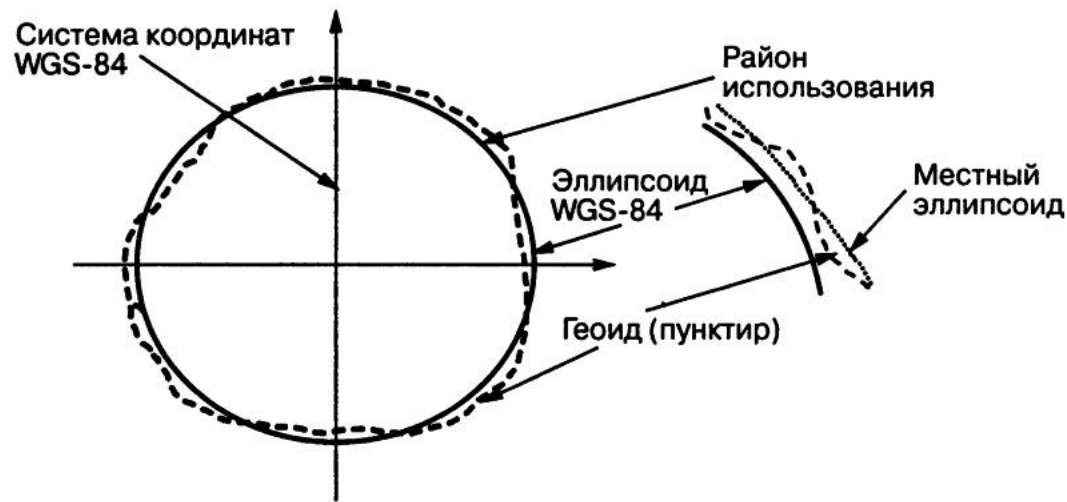
Если подбирать эллипсоид для Земли в целом, то он должен удовлетворять следующим требованиям:

Малая полуось должна совпадать с осью вращения Земли.

Центр эллипсоида должен совпадать с центром масс Земли.

Высоты геоида над эллипсоидом h (так называемые аномалии высот) должны обеспечивать минимальное значение среднеквадратичной суммы высот .

Эллипсоид, удовлетворяющий этим требованиям, называется *общим земным эллипсоидом (ОЗЭ)*.



Изображения геоида, эллипсоида WGS-84 и местного эллипсоида

Поскольку требования к ОЗЭ на практике удовлетворяются с некоторыми допусками, а выполнение последнего в полном объеме вообще недопустимо, то в геодезии и смежных науках могут использоваться различные реализации ОЗЭ, параметры которых очень близки, но не совпадают

Системы координат можно классифицировать по ряду признаков. Приведем некоторые из них.

1. По расположению начал. Если начало отсчета совпадает с центром масс Земли, то такая система называется *геоцентрической*. Если начало отсчета системы располагается вблизи центра масс Земли (в пределах нескольких сотен метров), то это - *квазигеоцентрическая* система. При расположении начала отсчета на поверхности Земли получим *топоцентрическую* систему.
2. По виду координатных линий. *Прямоугольные*: x, y, z - в пространстве, x, y - на плоскости; *криволинейные*: сферические φ, λ, H - на шаре, эллипсоидальные B, L, H - на эллипсоиде, последние часто называют просто *геодезическими*.
3. По назначению. Для описания положения небесных объектов используются *звездные* системы. Для объектов, участвующих в суточном вращении Земли, используются *земные* системы координат.

Земные системы жестко фиксируются в теле Земли и участвуют в ее суточном вращении. По форме координатных линий наиболее универсальной является прямоугольная система декартовых координат - x, y, z . Но при решении задач картографии, навигации и др. необходимо использовать координатную поверхность отсчетного эллипсоида и связанные с ней геодезические (эллипсоидные) координаты B, L, H . Связь прямоугольных и геодезических координат описывается выражениями

$$x = (N + H) \cos B \cos L \quad y = (N + H) \cos B \sin L \quad z = [N(1 - e^2) + H] \sin B \quad N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 B}}$$

Если в формулах используются параметры a и e референц-эллипсоида, то получим референцную систему координат, если параметры ОЗЭ, то это будет общеземная система координат. В обоих случаях начало систем располагается в центре эллипсоида, оси x лежат в плоскостях начальных меридианов, оси z совпадают с малыми полуосями эллипсоидов.

Референчные и общеземные системы, используемые в разных странах или отнесенные к разным эпохам, различаются по расположению начал x_0, y_0, z_0 , разворотом осей на малые углы, и разностью масштабов dm . В общем случае связь двух систем (назовем их 1 и 2) устанавливается

формулой

Параметры связи между общеземной системой координат и референчными системами используемыми в России

| Система | a | e^2 |
|---------------|-------------|--------------|
| СК-42 (СК-95) | 6 378 245 м | 0,0066934216 |
| WGS-84 | 6 378 137 | 0,0066943800 |
| ПЗ-90 | 6 378 136, | 0,0066946619 |

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_2 = (1 + dm) \begin{bmatrix} 1 & \varepsilon_x & -\varepsilon_y \\ -\varepsilon_x & 1 & \varepsilon_y \\ \varepsilon_y & -\varepsilon_x & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_1 + \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{bmatrix}$$

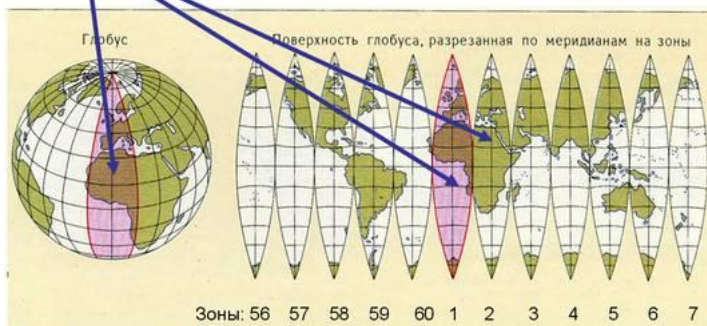
Для перехода от геоцентрических систем координат, которые используются при обработке спутниковых измерений системами GPS и Глонасс, к референчным СК-42, СК-95 и др. необходимо использовать данное уравнение “семи параметров”.

Картографические проекции

Картографической проекцией (КП) называется способ изображения поверхности эллипсоида (шара) на плоскости по определенному закону, который устанавливает взаимно-однозначное соответствие между точками эллипсоида и плоскости.

Поверхность эллипсоида нельзя развернуть на плоскости без искажений, в зависимости от их характера различают равноугольные, равновеликие и произвольные проекции.

Воображаемый цилиндр, на который происходит проекция, охватывает земной эллипсоид по меридиану, называемому **центральный (осевым) меридианом зоны**



Изображение каждого треугольника в проекции Гаусса-Крюгера представляет собой шестигранную координатную зону. В качестве декартовых координат используют прямолинейные изображения осевого меридиана (ось x) и экватора (ось y). В пределах каждой шести градусной зоны размещается целое число трапеций карт в масштабах от 1:1 000 000 до 1:10 000. Для того чтобы обеспечить выполнение топогеодезических работ на границе двух соседних зон, стандартная зона расширяется на $30'$ по долготу к востоку и западу от граничного меридиана.

Среди множества КП при выполнении топографических и геодезических работ применяется конформная проекция Гаусса-Крюгера, в которой углы изображаются без искажений, а линейные искажения не зависят от направления, что облегчает их учет.

В основу построения единой системы плоских координат для России (а также для стран СНГ) положено деление поверхности эллипсоида (северной его части) на ряд совершенно одинаковых сфероидических треугольников, ограниченных экватором и меридианами с разностью долгот 6°

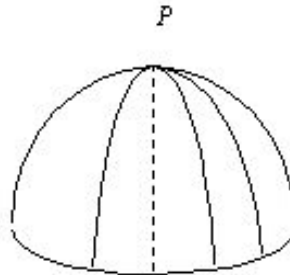


Рис. 1

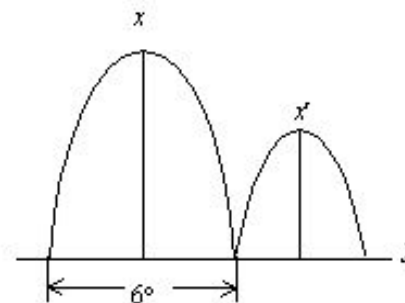
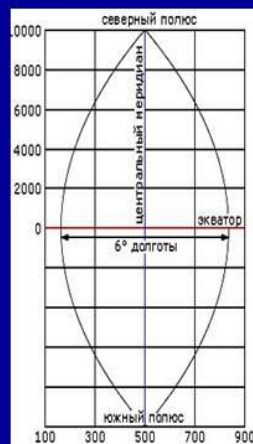
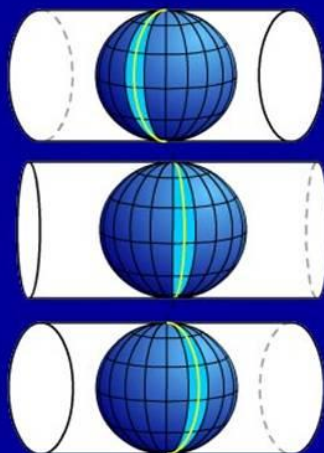
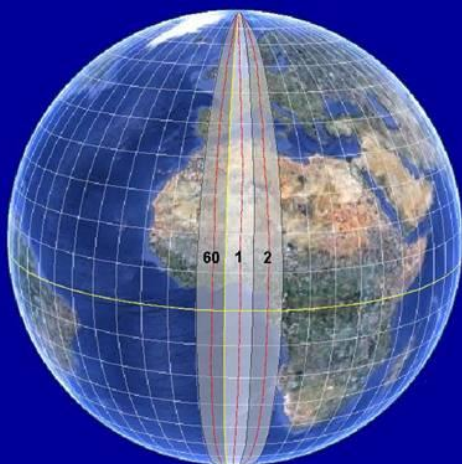


Рис. 2

Для топографических карт ряда стран применяется в шестиградусных зонах проекция УТМ (универсальная трансверсальная проекция Меркатора, называемая также проекцией Гаусса-Боага). Данная проекция отличается от проекции Гаусса-Крюгера тем, что в ней на среднем меридиане масштаб равен не единице, а 0,9996.

При решении других задач используются разные КП. Однако их число столь велико, что все их характеристики не могут быть описаны в данном обзоре, исключение сделаем для проекции Меркатора.

Поперечно – цилиндрическая проекция Меркатора



Земной шар разделён на 60 зон шириной 6°. Зоны нумеруются с запада на восток, начиная с 0°

Проектирование происходит на воображаемый цилиндр, который охватывает земной эллипсоид по меридиану, называемому центральным (осевым) меридианом зоны.

Проекция равноугольная. Локальные углы точно во всех направлениях, малые формы сохраняются, искажение формы больших территорий увеличивается при удалении от центрального меридиана. Протяженность сфероида или эллипсоида должна быть в пределах 10- 12° по обе стороны от центрального меридиана.

Достоинства:

- нормальная равноугольная цилиндрическая картографическая проекция, наиболее распространённая для составления морских карт.
- соблюдая условия равноугольности на картах, позволяет углы и направления, измеренные на местности, прокладывать на карте без исправлений, а линию пути судна, идущего постоянным курсом (локсодромию), - прямой линией.

Круговая и румбовая система деления истинного

горизонта

Для определения направлений в судождении введены понятия: **истинного горизонта наблюдателя** (воображаемая горизонтальная плоскость, проходящая через глаз наблюдателя); **истинного меридиана наблюдателя** или **полуденной линии** - (образуется пересечением плоскости истинного горизонта и вертикальной плоскости, проходящей через глаз наблюдателя и ось вращения Земли, т.е. и через полюсы; образуют прямую N – S).

Другая вертикальная плоскость, перпендикулярная плоскости истинного меридиана наблюдателя, называют **плоскостью первого вертикала**. Пересекаясь с плоскостью истинного горизонта она образует направление **Б**.
На основе этих понятий строятся четыре системы отсчёта направлений в судождении.

Румбовая система

Румб (англ. rhumb):

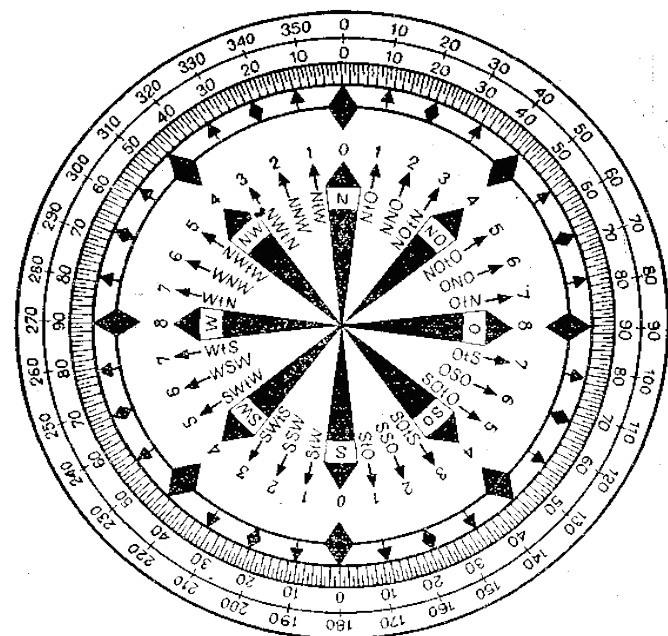
1) Единица плоского угла, применяемая в навигации для определения направлений относительно стран света или угла между ними. 1 румб = $11,250 = 1/32$ части окружности видимого горизонта (т.е. 3600).

2) Направление на к.-л. объект, определяемое углом от северной части истинного меридиана.

Весь горизонт делится на 32 румба, каждый из которых = 11,250 и имеет соответствующее буквенное наименование, определяющее его отстояние от главных и четвертных румбов.

Направления N, E, S, W называют главными румбами. Средние значения между ними NE, SE, SW, NW называют четвертными румбами. Реже используются средние значения между четвертными румбами, т.н. трёхбуквенные румбы.

Румбовую систему в настоящее время употребляют для указания направлении ветра, волнения и



Круговая система

В круговой системе весь горизонт делится на 360° , а счёт направлений ведётся от 0° до 360° по часовой стрелке от N-й части истинного меридиана наблюдателя.

В судовождении является основной системой определения направлений в море (курс, пеленг) по причине однозначности и простоты указания.

Полукруговая система и **Четвертная система** в судовождении утратили своё значение и сейчас практически не применяются.

В качестве примера: одни и те же направления можно записать в трёх системах:

| | | | | |
|---------------|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Круговая: | 18° | 172° | 248° | 321° |
| Полукруговая: | N 18° E (S 162° E) | N 172° E (S 8° E) | N 112° W (S 68° W) | N 39° W (S 141° W) |
| Четвертная: | NE 18° | SE 8° | SW 68° | NW 39° |

В мореплавании различают три вида направлений: КУРС, ПЕЛЕНГ и КУРСОВОЙ УГОЛ

Курс (англ. course): - направление движения судна, измеряется горизонтальным углом между северной частью принятого меридиана и диаметральной плоскостью судно по направлению его движения;

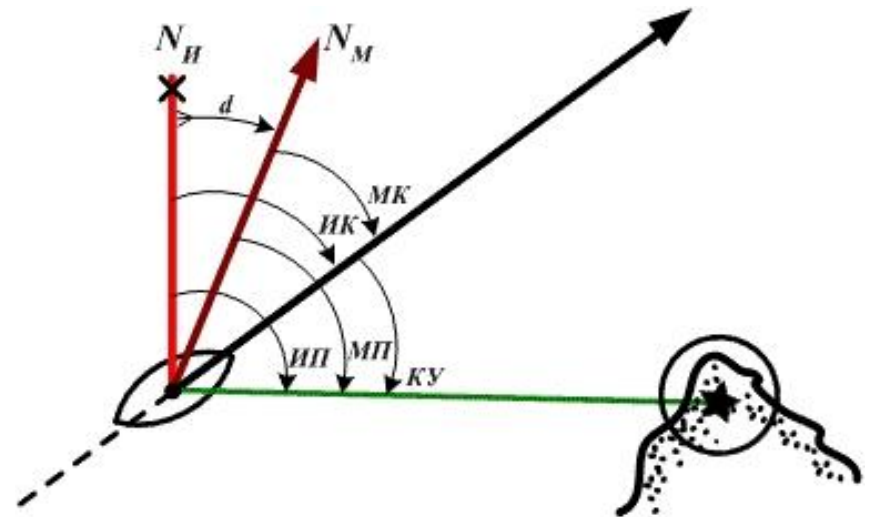
- измеряется от 0° до 360° по ходу часовой стрелки;

- различают истинный (ИК), магнитный (МК) и компасный (КК);

- судовые курсоуказатели отсчитывают КК, на картах прокладывают только ИК, $ИК = КК + \dots К$;

- непосредственно в навигации МК не используется;

- влияние земного магнетизма учитывается в



Пеленг (гол. *peiling*, англ. *bearing*): (может быть гидролокационным ГБО)

- направление от глаза наблюдателя на заданный объект (судно, маяк, буй, плавающий предмет);
- измеряется горизонтальным углом между вертикальной плоскостью истинного меридиана и вертикальной плоскостью, проходящей через место наблюдателя и наблюдаемый объект. - Счёт пеленга ведётся от 0° до 360° по ходу часовой стрелки.

Курсовой угол – направление от глаза наблюдателя на ориентир (судно, маяк, буй, плавающий предмет) и называется относительным направлением; - КУ отсчитывается (измеряется) от носовой части ДП судна на ориентир в сторону правого или левого борта от 0° до 180° ;

- КУ правого борта считают положительными, левого – отрицательными;

- КУ = 90° по правому или левому борту называют траверзными и говорят, что предмет: «**находится на траверзе судна справа \ слева по борту**».

- При решении ряда задач КУ пр\б измеряется в круговом счёте (от 0° до 360°)

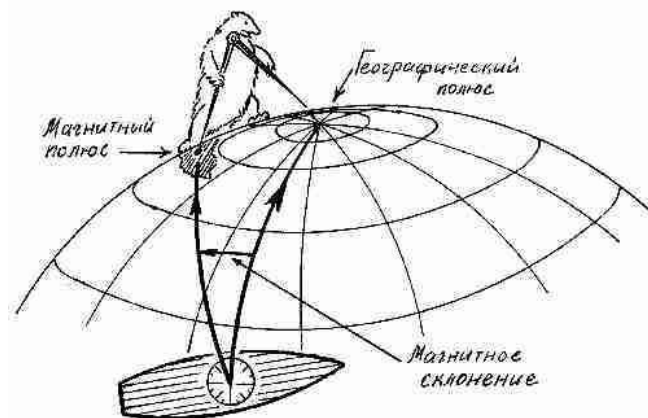
Азимут (от араб. *السموت*, (*ас-сумут*, «направление»), обозначается «Аз» или «Az») — в геодезии угол между направлением на север и направлением на какой-либо заданный предмет. Азимут обычно отсчитывается в направлении видимого движения небесной сферы (по часовой стрелке на картах).

Пеленг и азимут близнецы-братья!

Магнитный азимут A_m — горизонтальный угол, измеренный по ходу часовой стрелки от северного направления магнитного меридиана до направления на предмет. Его значения могут быть от 0° до 360° .

Магнитный азимут направления определяется с помощью компаса или буссоли. При этом отпускают тормоз магнитной стрелки (арретир) и поворачивают компас в горизонтальной плоскости до тех пор, пока северный конец стрелки не установится против нулевого деления шкалы. Затем, не меняя положения компаса, устанавливают визирное приспособление так, чтобы линия визирования через целик и мушку совпала с направлением на предмет. Отсчет шкалы против мушки соответствует величине определяемого магнитного азимута направления на местный предмет.

Использование этого простого способа ориентирования



Морские карты

Для решения задач судождения или, проще говоря, для плавания по морям и океанам используются т.н. **МОРСКИЕ КАРТЫ**.

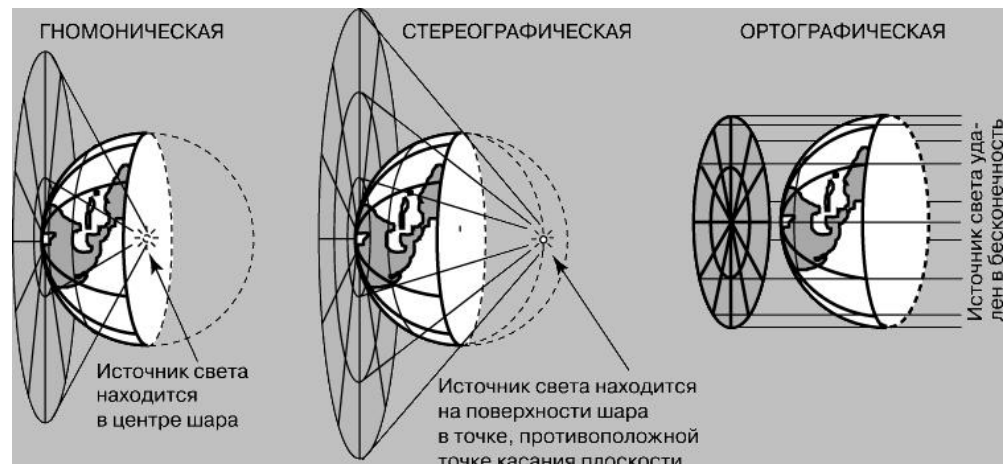
Это одно из основных навигационных пособий, поэтому они должны удовлетворять ряду специальных требований: составляться в картографических проекциях, которые обеспечивали бы простоту и удобство графических и других необходимых расчётов на судне, наиболее полно отображать элементы водной поверхности и прилегающей суши, иметь удобный формат для использования в судовых помещениях, д.б. незначительная деформация в условиях хранения на судне и допускать неоднократное применение карандаша и резинки.

По назначению морские карты делятся на НАВИГАЦИОННЫЕ, ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ и СПРАВОЧНЫЕ.

Навигационные карты являются основным типом морских карт и делятся в зависимости от назначения и масштаба на 4 вида:

- **генеральные** (М 1:1 000 000 до М 1:5 000 000);
- **путевые** (М 1:100 000 до М 1:500 000);
- **частные** (М 1:25 000 до М 1:50 000);
- **планы** (М 1:25 000 и крупнее).

Навигационные карты составляются в основном в **МЕРКАТОРСКОЙ ПРОЕКЦИИ** в различных масштабах, полярные районы (выше 85°) – в **ГНОМОНИЧЕСКОЙ НОРМАЛЬНОЙ ПРОЕКЦИИ**.



Морские карты

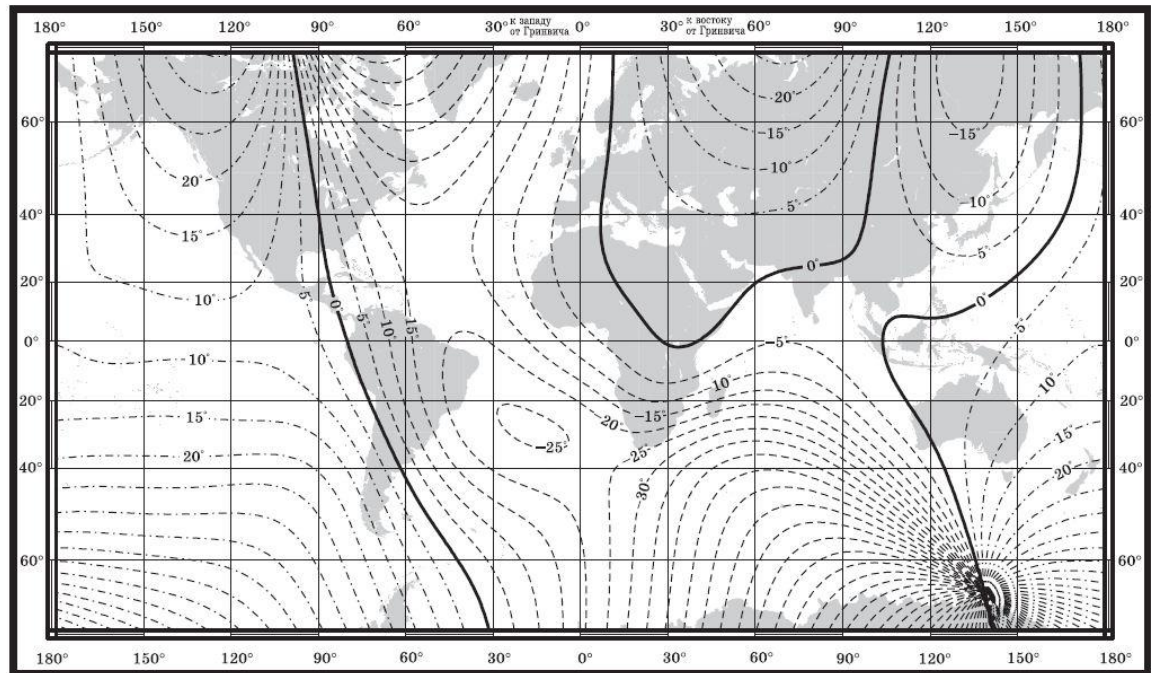
Вспомогательные карты: - карты-сетки с различными изолиниями;

- бланковые карта для составления различных схем;
- кодированные карты с нанесёнными квадратами;
- карты для плавания по Дуге Большого Круга (ДБК).

Справочные карты (для получения общих сведений об условиях плавания):

- обзорные карты;
 - карты радиомаяков и радиостанций, обслуживающих мореплавателей;
- карты гидрометеоэлементов по сезонам и месяцам;
- карты с элементами земного магнетизма;
- карта часовых поясов с указанием границ;
- сборные листы для подбора неог
- карты звёздного неба;
- карты грунтов;
- морские атласы.

Карта магнитного поля



Рекомендуемая литература

1. Лекция по курсу «НАВИГАЦИЯ» В. Курочкин, А. Устинов , 2005.
2. Баранов В.Н., Бойко Е.Г. и др. "Космическая геодезия". М., Недра, 1989
3. Бугаевский Л.М. "Математическая картография". М., Златоуст, 1998
4. Молоденский М.С., Еремеев В.Ф., Юркина М.И. "Методы изучения внешнего гравитационного поля Земли". М., Геодезиздат, 1960
5. Мориц Г. "Современная физическая геодезия". М., Недра, 1983
6. Основные положения о государственной геодезической сети России. М., 1997
7. Галазин В.Ф., Базлов Ю.А. и др. "Совместное использование GPS и "Глонасс". Доклад. Май, 1997г.
8. Пеллинен Л.П. "Высшая геодезия". М., Недра, 1978
9. "КАРТОГРАФИЧЕСКИЕ ПРОЕЦИИ" Методическое пособие Новосибирский учебно-методический центр по ГИС и ДЗ Лебедева О.А.
10. Информационный ресурс: https://ru.wikipedia.org/wiki/Фигура_Земли
11. Информационный ресурс: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Компас>
- 12 . Информационный ресурс: https://ru.wikipedia.org/wiki/Магнитное_поле_Земли
13. Информационный ресурс: Архив сайта AGP Navgeocom 1999 – 2006