

Ветровое волнение в океанах и  
морях. Характеристики волн.  
Штормовые нагоны.

# Основные элементы волн

■ вершина

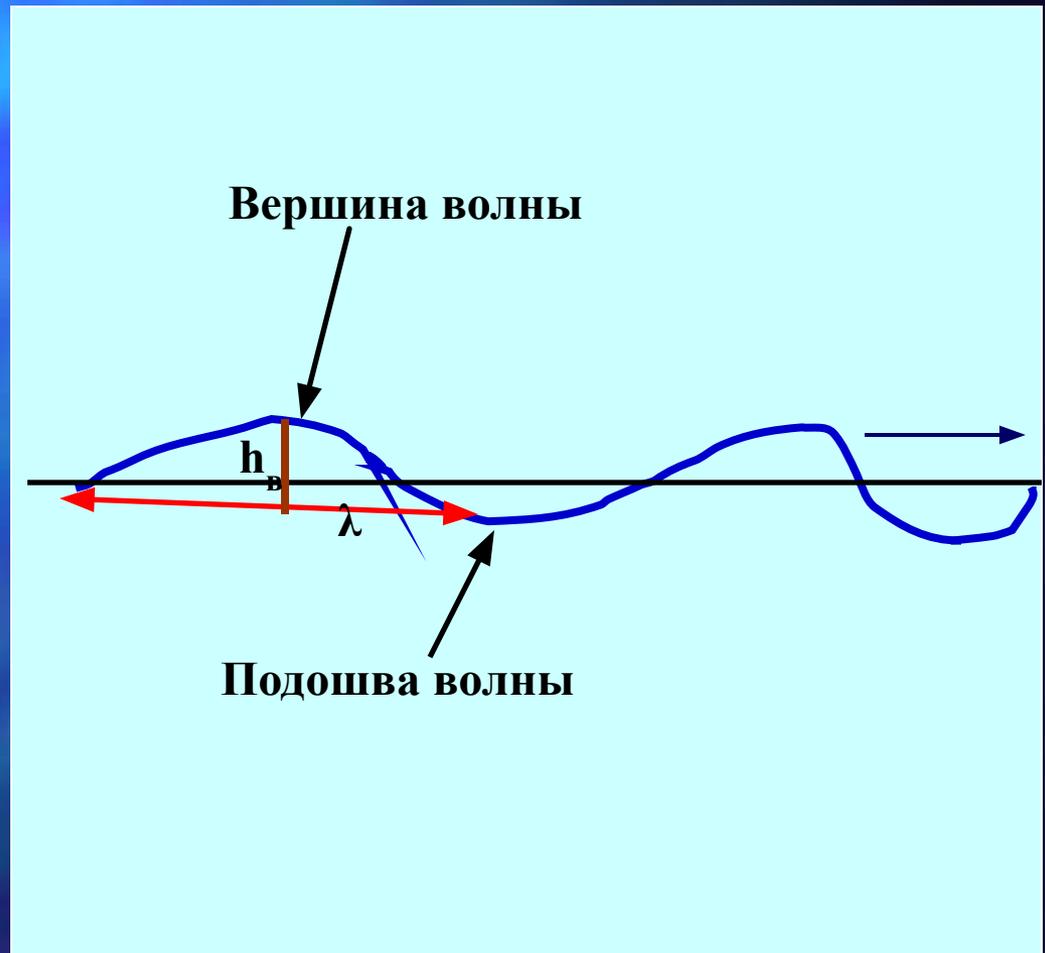
■ подошва

■ длина  $\lambda$  [м]

■ высота  $h_{\text{в}}$  [м]

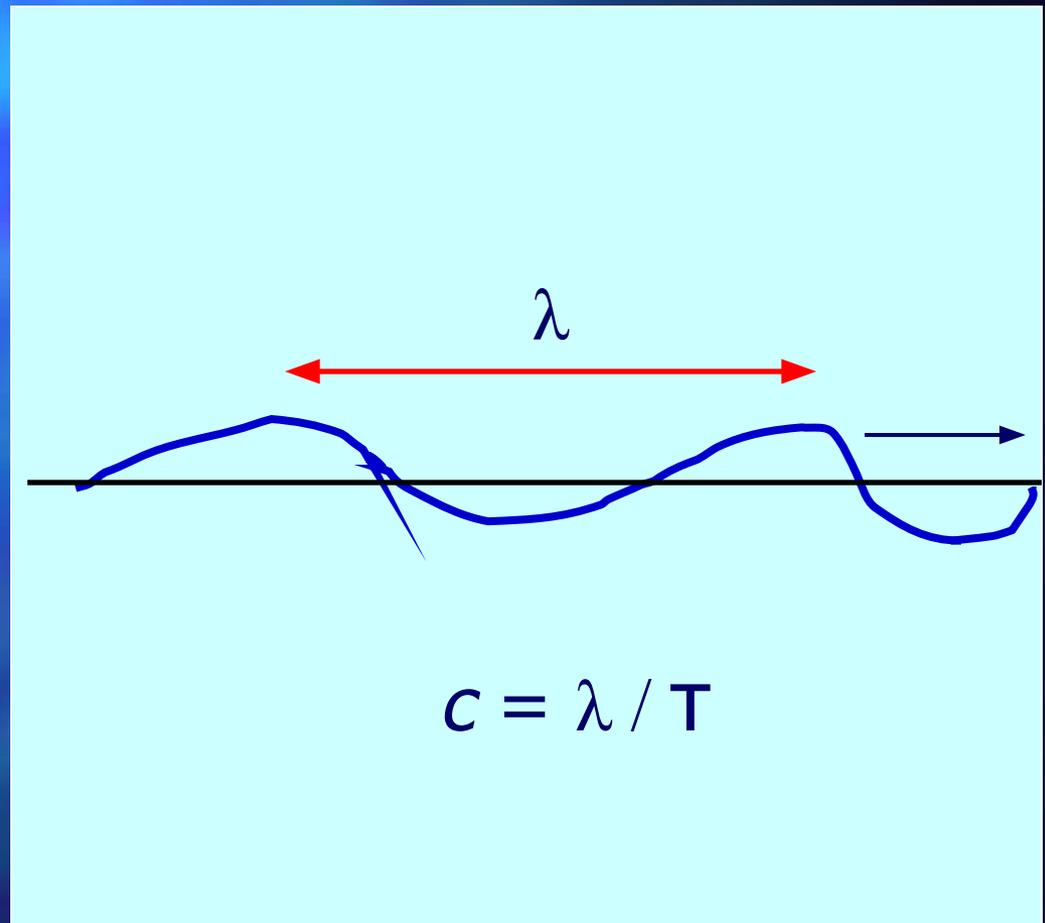
■ крутизна

$$\delta = h_{\text{в}} / \lambda$$

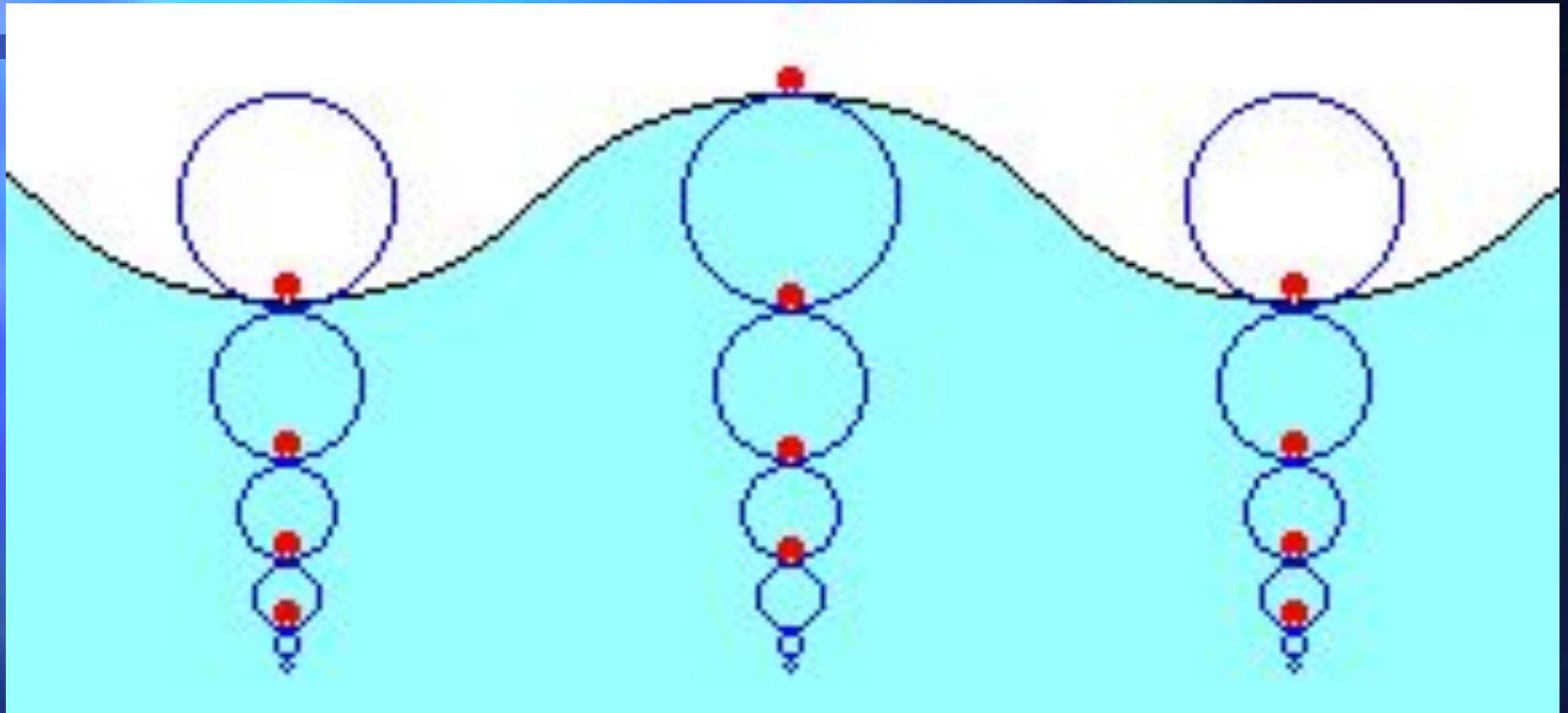


# Характеристики движения волн

- $T$  [с] - время перемещения волны на расстояние  $\lambda$  (период волны)
- фазовая скорость [м/с]



# Траектории частиц в волне



# Классы волн

---

- поверхностные
- внутренние

# Классификация волн по направлению перемещения

---

- поступательные волны
- стоячие

# Классификация волн по их длине

---

- длинные (  $\lambda / h_B > 2$ ,  $c = \sqrt{gh}$  ) – приливные, сейсмические
- короткие (  $\lambda / h_B < 2$  ) - ветровые

**Фронт волны**



*Волновой луч – перпендикуляр к фронту волны*

# Отличия волн по их форме

---

- двумерные – отличаются по длине и высоте, одинаковы по фронту волны
- трехмерные – длина и высота волн изменяется по фронту волны

# Причины возникновения волн

- воздействие ветра на поверхность воды
- влияние силы трения на трансформацию поверхности воды при ее перемещении к берегу
- наличие градиента давления и перепада уровней между частями водоема
- деформации дна океана
- воздействие поверхностных волн на появление устойчивых вертикальных движений слоев воды
- влияние приливных сил

# Классификация волн по происхождению

---

- ветровые
- тектонические
- приливные
- барические
- сейшевые
- внутренние

# Общая характеристика ветровых волн

---

- трехмерность
- длина и высота волн зависят от продолжительности действия ветра и длины пути разгона
- максимальная длина 30-35 м

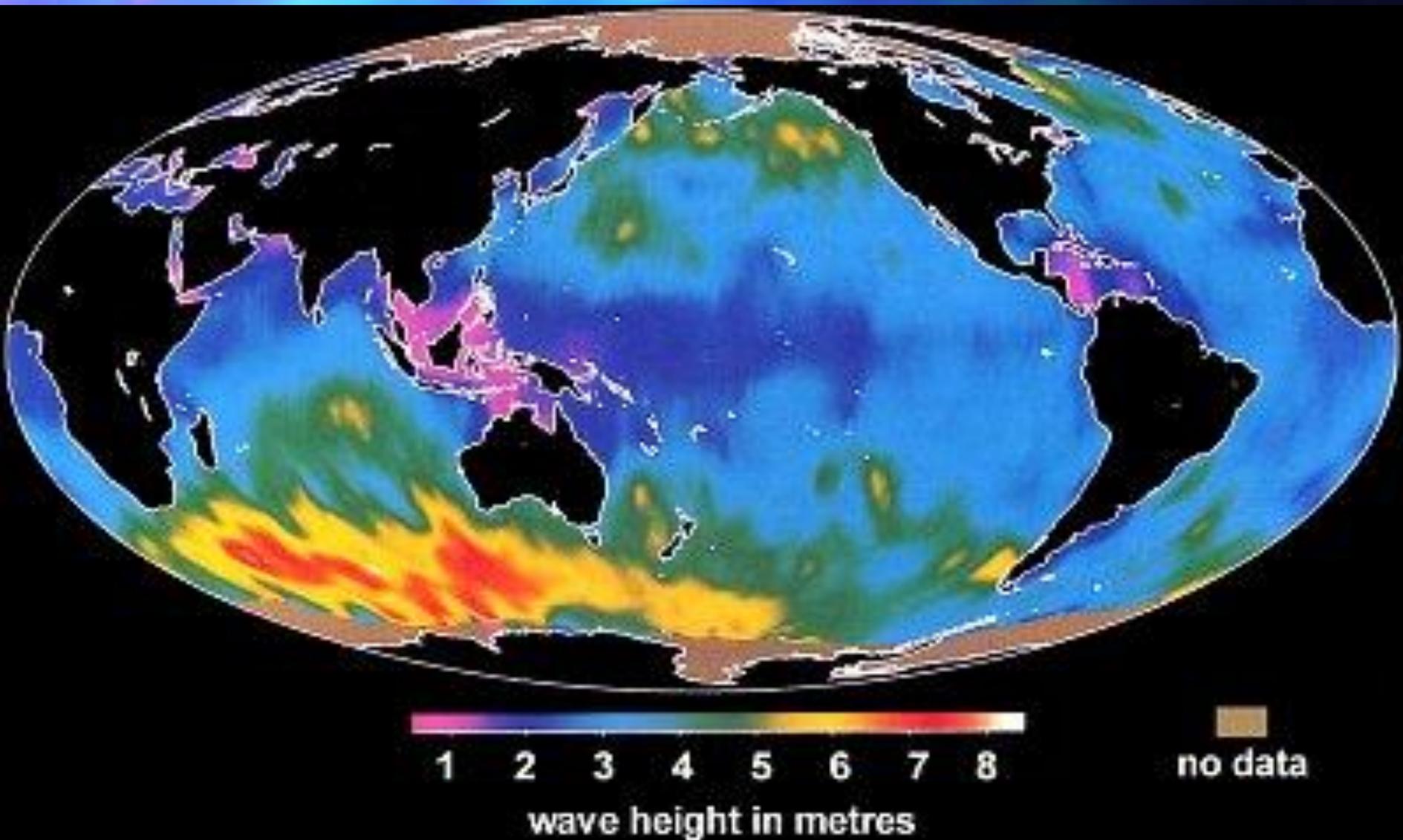
# Трёхмерная структура волнения



# Шкала оценки волнения

Высота волны, м	Оценка волнения - балл
0	штиль - 0
<0,25	слабое - 1
0,25-0,75	умеренное - 2
0,75-1,25	умеренное - 3
1,25-2,0	значительное - 4
2,0-3,5	значительное - 5
3,5-6,0	сильное - 6
6,0-8,5	сильное - 7
8,5-11,0	очень сильное - 8
> 11,0	исключительное - 9

# Области максимального волнения (июль)



# Причины деформации волн у берега

---

- трение при взаимодействии воды и берегового склона
- отражение волн от берега
- рефракция волн

# Следствия увеличения трения на пологом склоне выровненного берега

---

- увеличивается скорость перемещения гребня по сравнению с подошвой волны
- волна становится круче
- обрушение волны – прибой
- заплеск

# Волны у пологого берега



# Прибой



# Следствия увеличения трения на пологом склоне при наличии крутого берега

- увеличивается скорость перемещения гребня по сравнению с подошвой волны
- волна становится круче
- обрушение волны – взброс
- бурун (при наличии подводной гряды далеко от уреза)

# Взброс в районе скалистого мыса



# Взброс при контакте волн с инженерными сооружениями



**Фото из архива Н.Л.Фроловой**

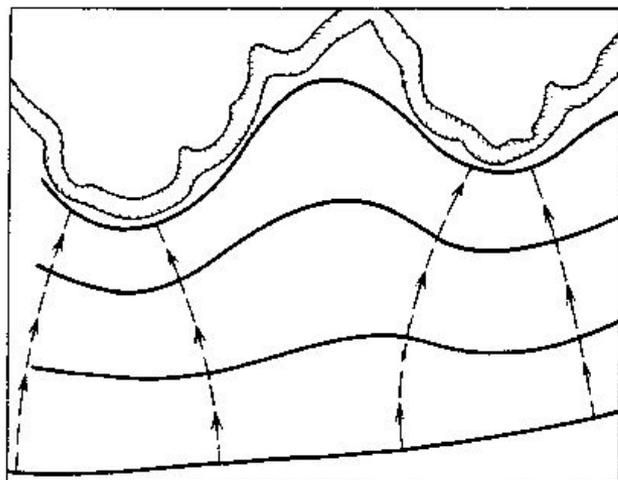
# Рефракция волн – адаптация фронта волн к линии неровного берега

независимо от положения фронта волн в море волна у берега всегда параллельна урезу

разные участки фронта волн движутся с разными скоростями

$$c = \sqrt{gh}$$

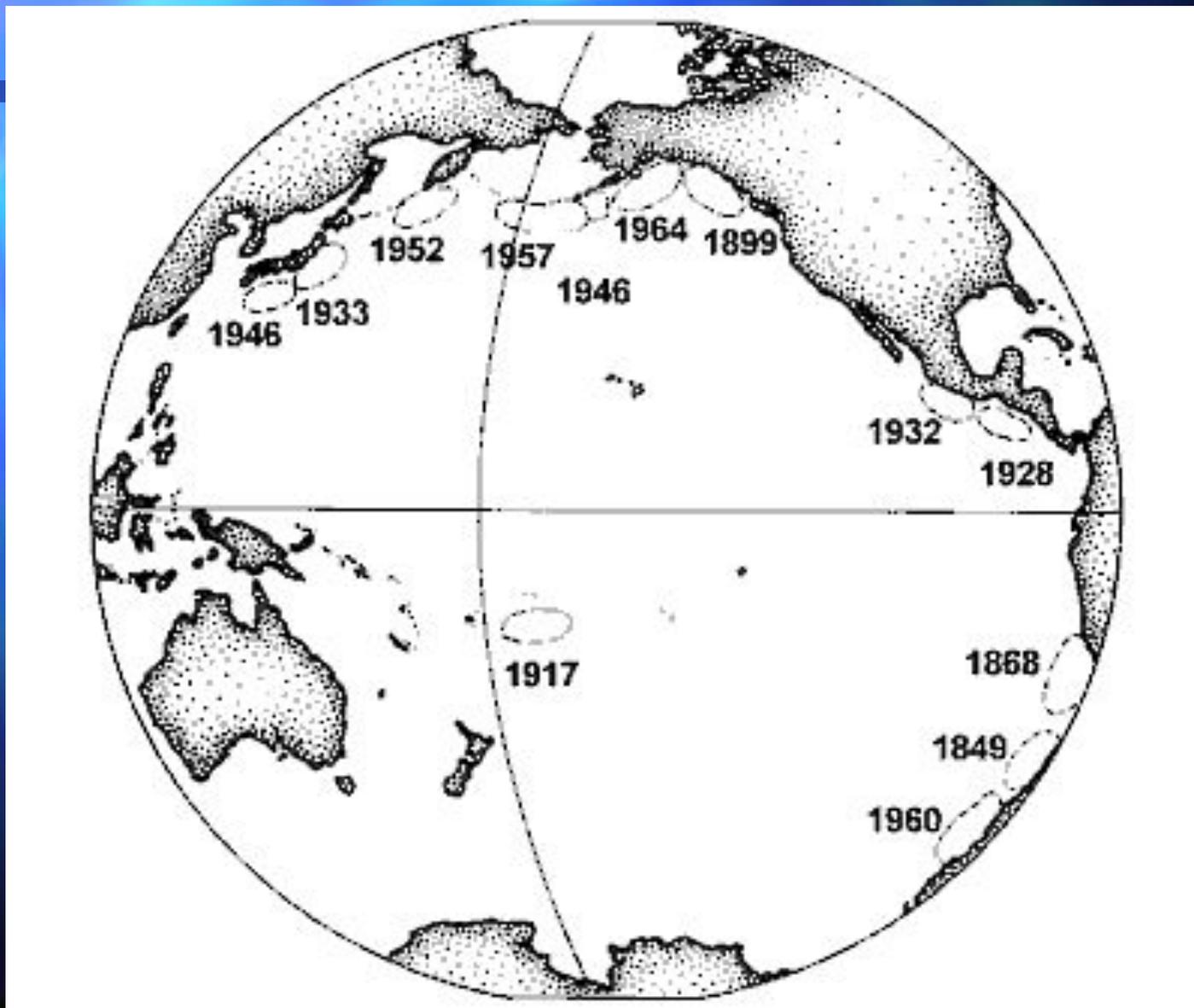
- выравнивание фронта



# Тектонические волны - цунами

- следствие землетрясений и т.п.
- высота - 0,1- 35 м
- длина – 20 – 600 км
- период – 0,03 – 3,3 ч
- в месте зарождения  $h_{\text{в}} < 2 \text{ м}$
- максимума она достигает у берега
- наиболее часты у берегов Японии, Чили, Перу
- катастрофическими являются примерно 10-30% цунами

# Области катастрофических цунами в Тихом океане

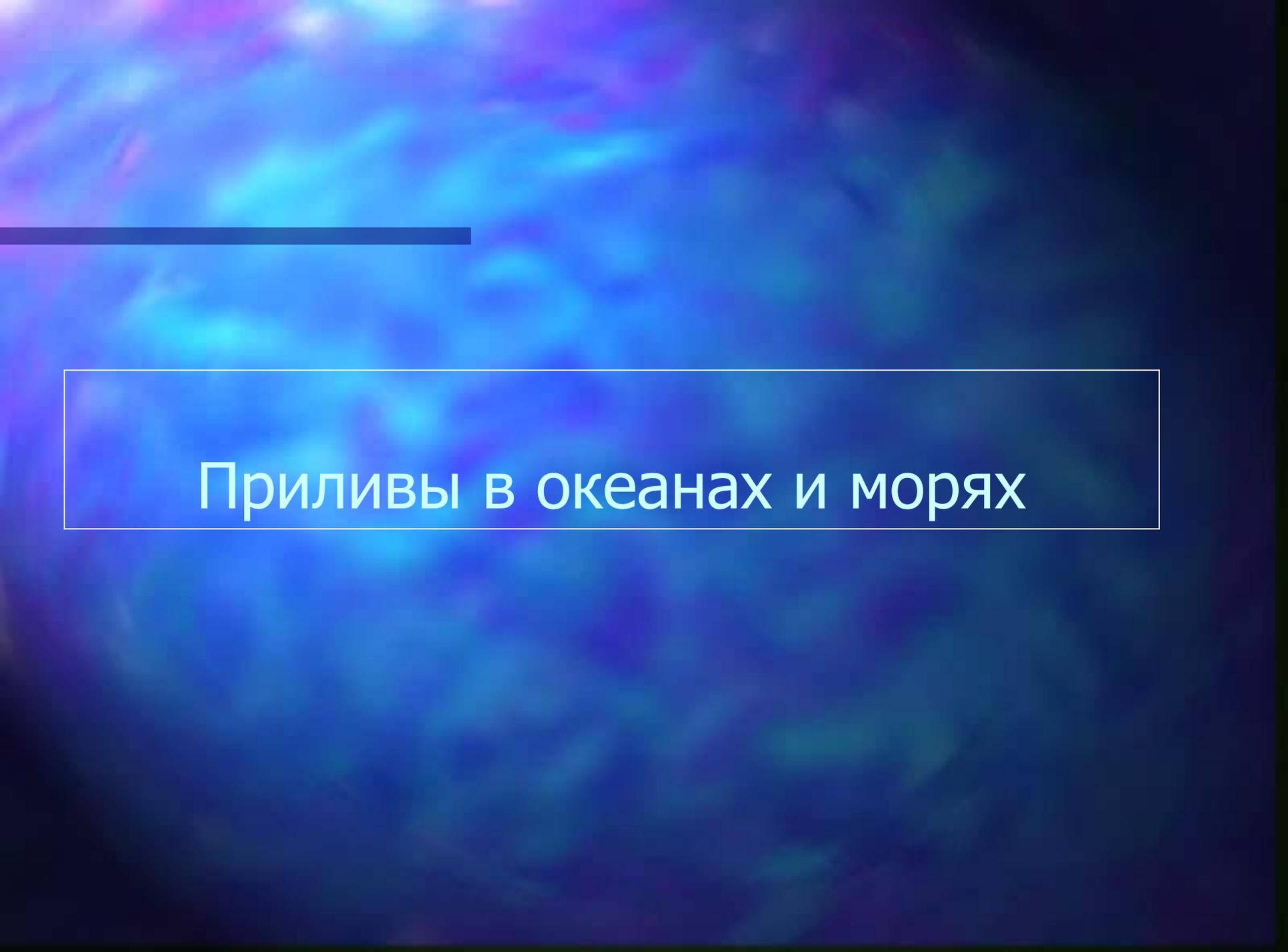


# Цунами на отмелом морском берегу



фото ВВС

фото



# Приливы в океанах и морях

Прилив –  
периодические колебания уровня  
воды у берегов (волны),  
обусловленные взаимодействием в  
системе Земля-Луна-Солнце

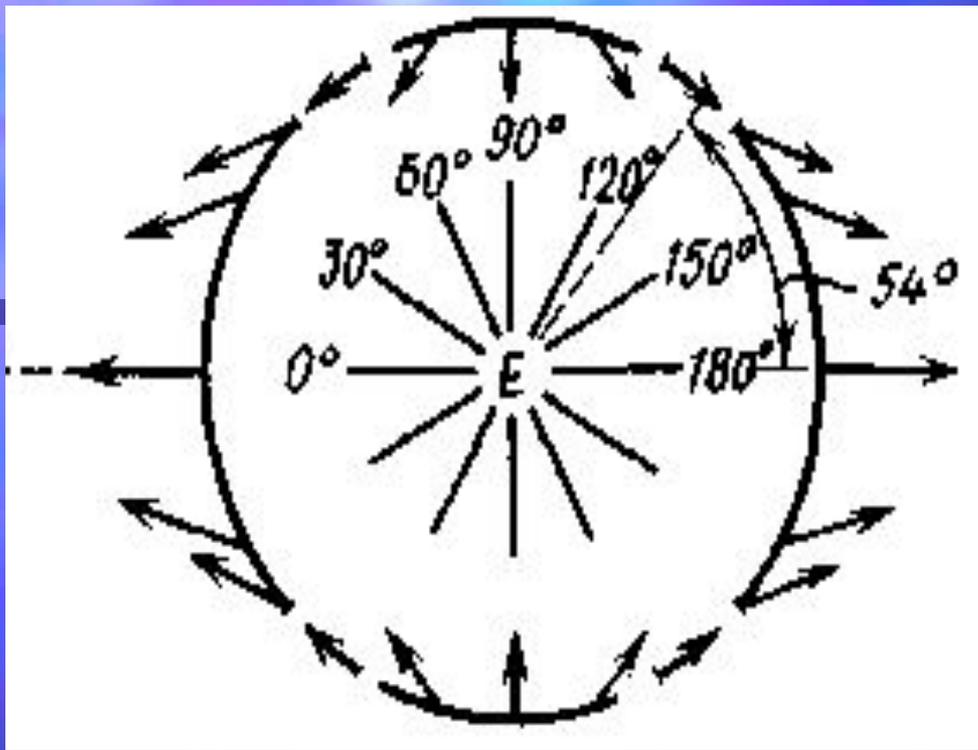


Схема распределения приливообразующей силы на меридиональном сечении поверхности Земли

Приливный уровень определяется равнодействующей двух сил:

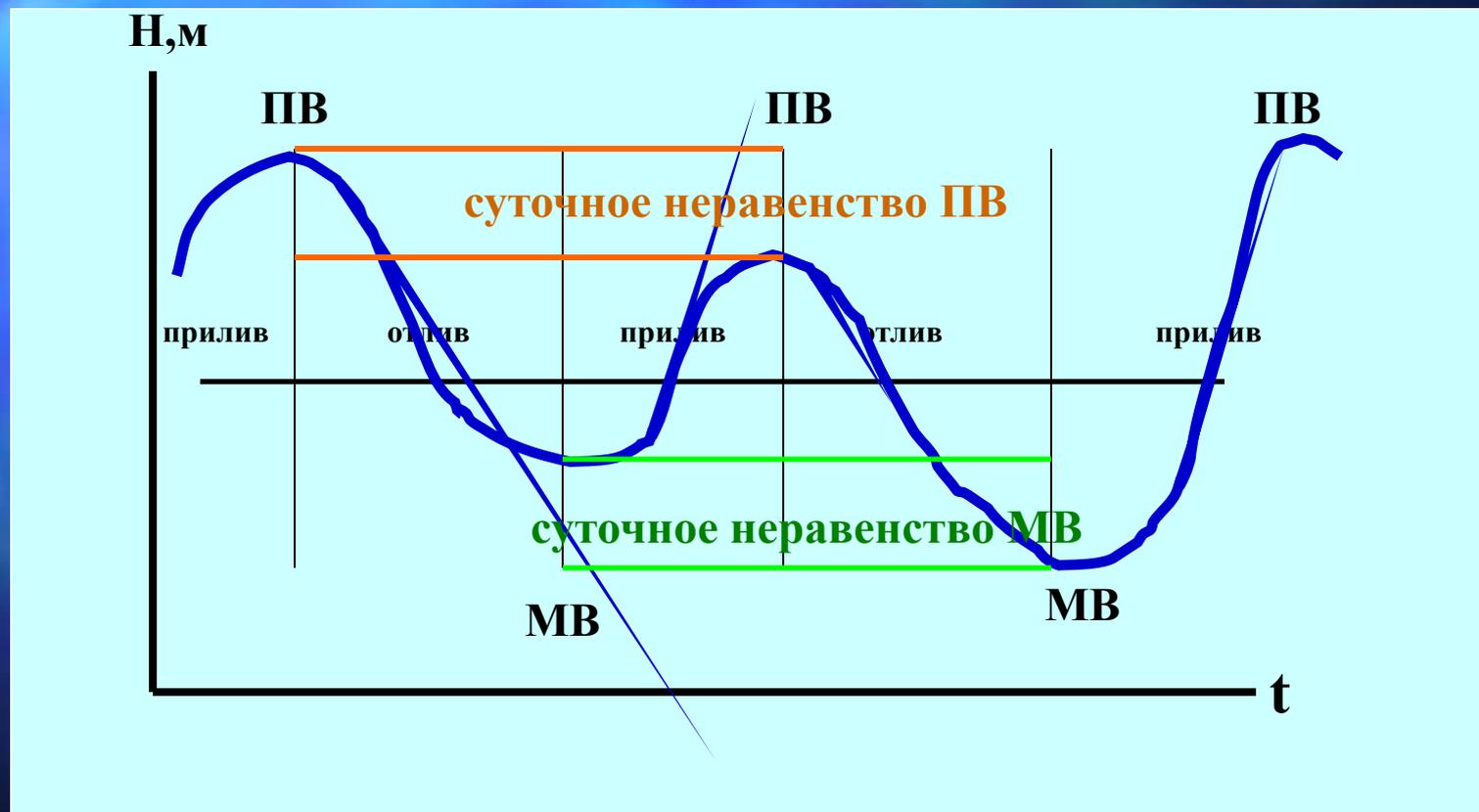
- притяжения Земли к Луне,
- центробежной силы вращения системы Земля-Луна вокруг общего центра масс (находится на расстоянии  $0,73R$  от центра Земли)

# Фазы прилива

---

- повышение уровня – прилив
- понижение уровня – отлив
- максимальный уровень в конце прилива – полная вода
- минимальный уровень в конце отлива – малая вода
- разность уровней при полной и малой воде – величина прилива

# Реальная схема суточных колебаний уровня воды у берега в период прилива



# Причины изменения уровня воды в период полной и малой воды

- суточное изменение уровней ПВ и МВ, связано с наклоном земной оси к плоскости эклиптики
- полумесячное изменение уровней ПВ и МВ, обусловлено вращением Луны и влиянием Солнца
- ежемесячные изменения уровней ПВ и МВ - следствие вращения Луны вокруг Земли по эллипсоидной орбите

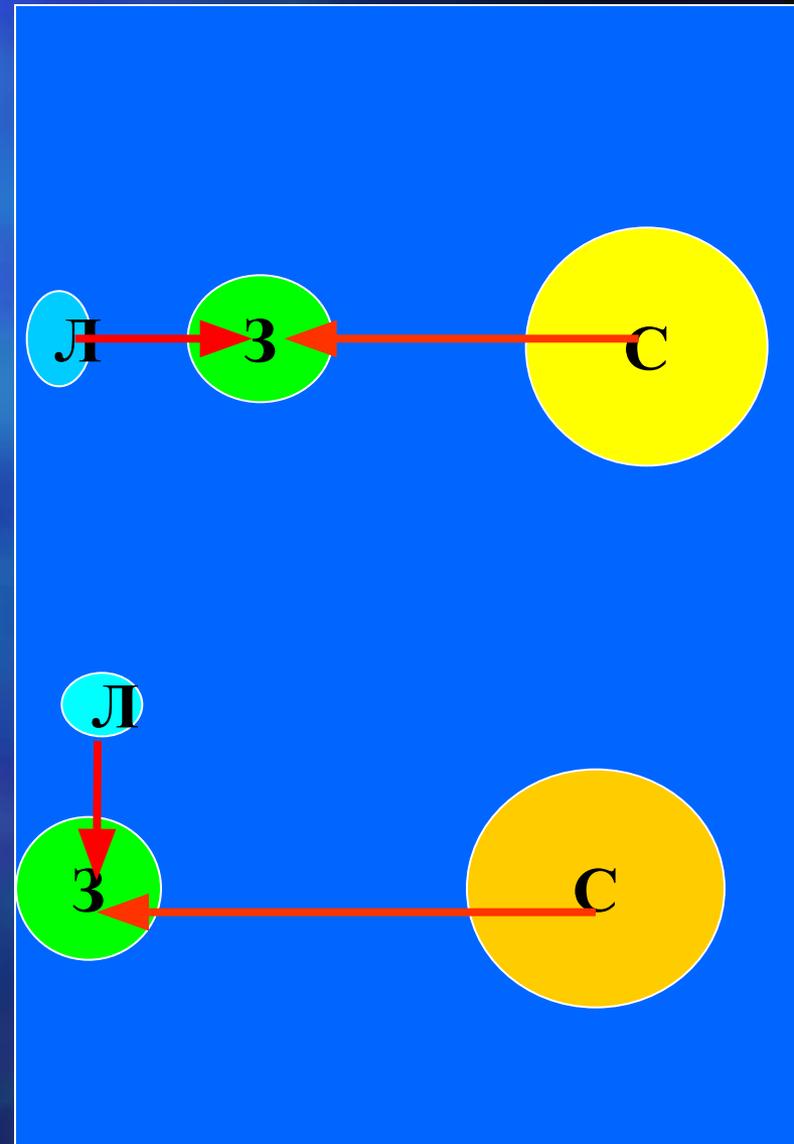
# Типизация приливов по характеру изменения уровня

---

- правильный суточный
- правильный полусуточный
- смешанный:
  - неправильный суточный
  - неправильный полусуточный

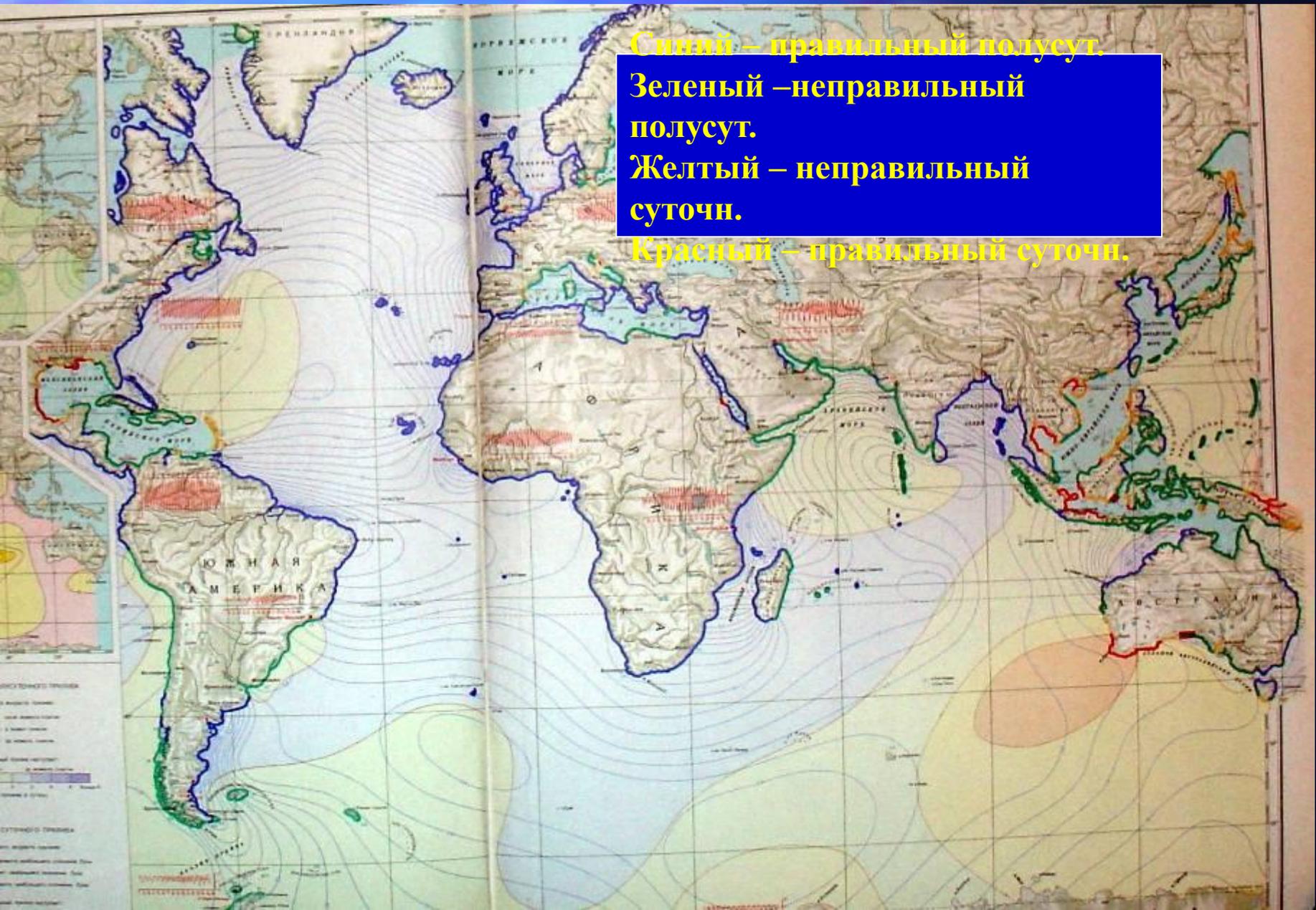
# Типы смешанных приливов

- сизигия - увеличение отклонений уровня вследствие сложения приливообразующих сил (в новолуние и полнолуние)
- квадратура – уменьшение отклонений уровня вследствие вычитания ЭТИХ СИЛ



# Характер приливов

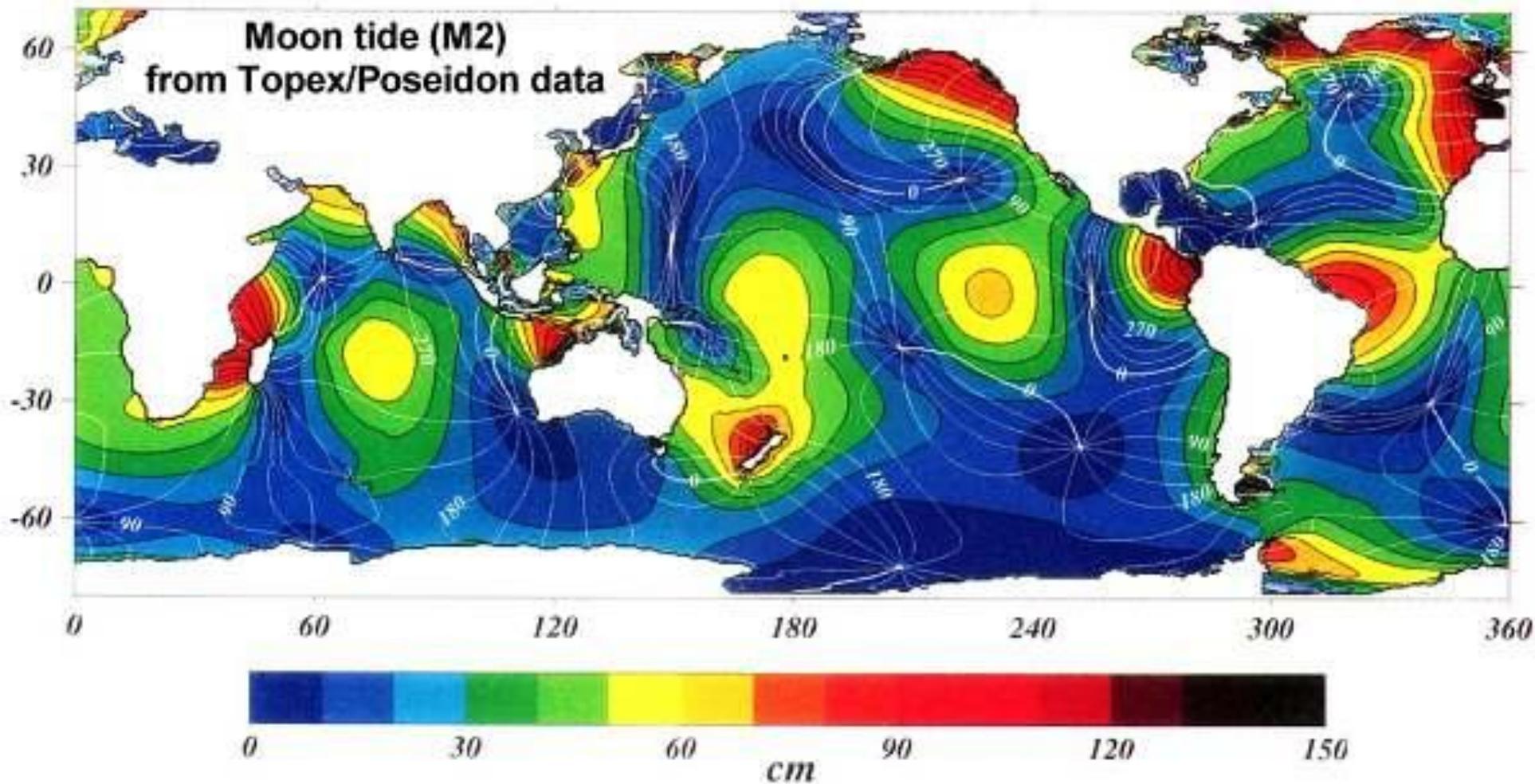
Синий – правильный полусут.  
Зеленый – неправильный полусут.  
Желтый – неправильный суточн.  
Красный – правильный суточн.



# Величина прилива в различных природных условиях

Величина прилива, м	Регион
18	Северная Америка, залив Фанди
10-12	Патагония, Баффинова Земля, залив Аляска, Камбейский залив Индийского океана
13	Пенжинская губа Охотского моря
10	Мезенский залив Белого моря

# Высота лунного прилива



# Сейши и причины их возникновения

- колебательные движения всей массы моря – сейши
- сейши – индуцированная приливом или перепадом давления стоячая волна в ограниченном по площади и относительно изолированном от океана море
- формула Мериана для определения периода колебаний сейш

$$\tau = \frac{2L}{\sqrt{gh}}$$

# Внутренние волны (*ВВ*)

---

- *ВВ* – проявляются в колебаниях температуры и солености по глубине моря
- обусловлены трением в зоне контакта горизонтально смещающихся волн различной природы на границе слоев с разной плотностью

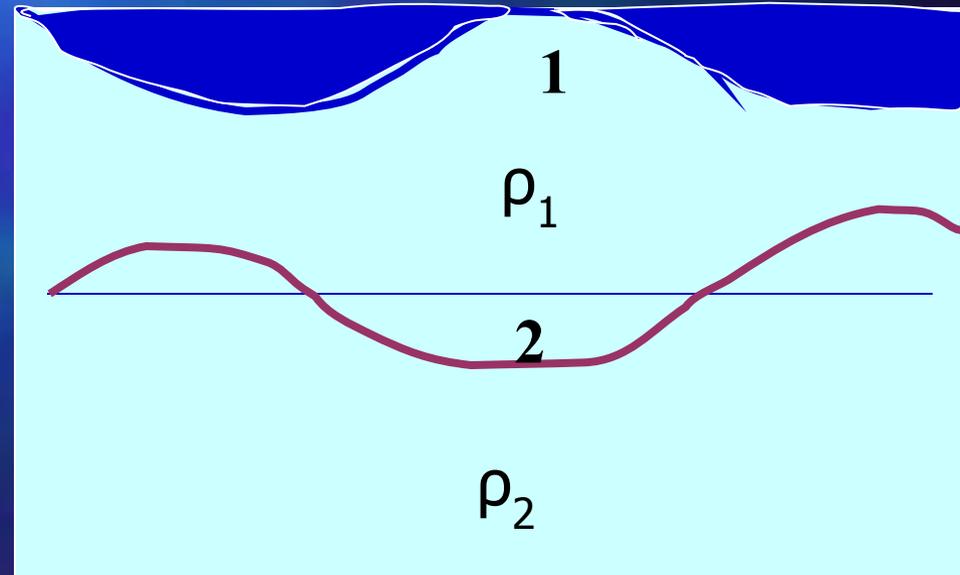
# Характеристики внутренних волн (ВВ)

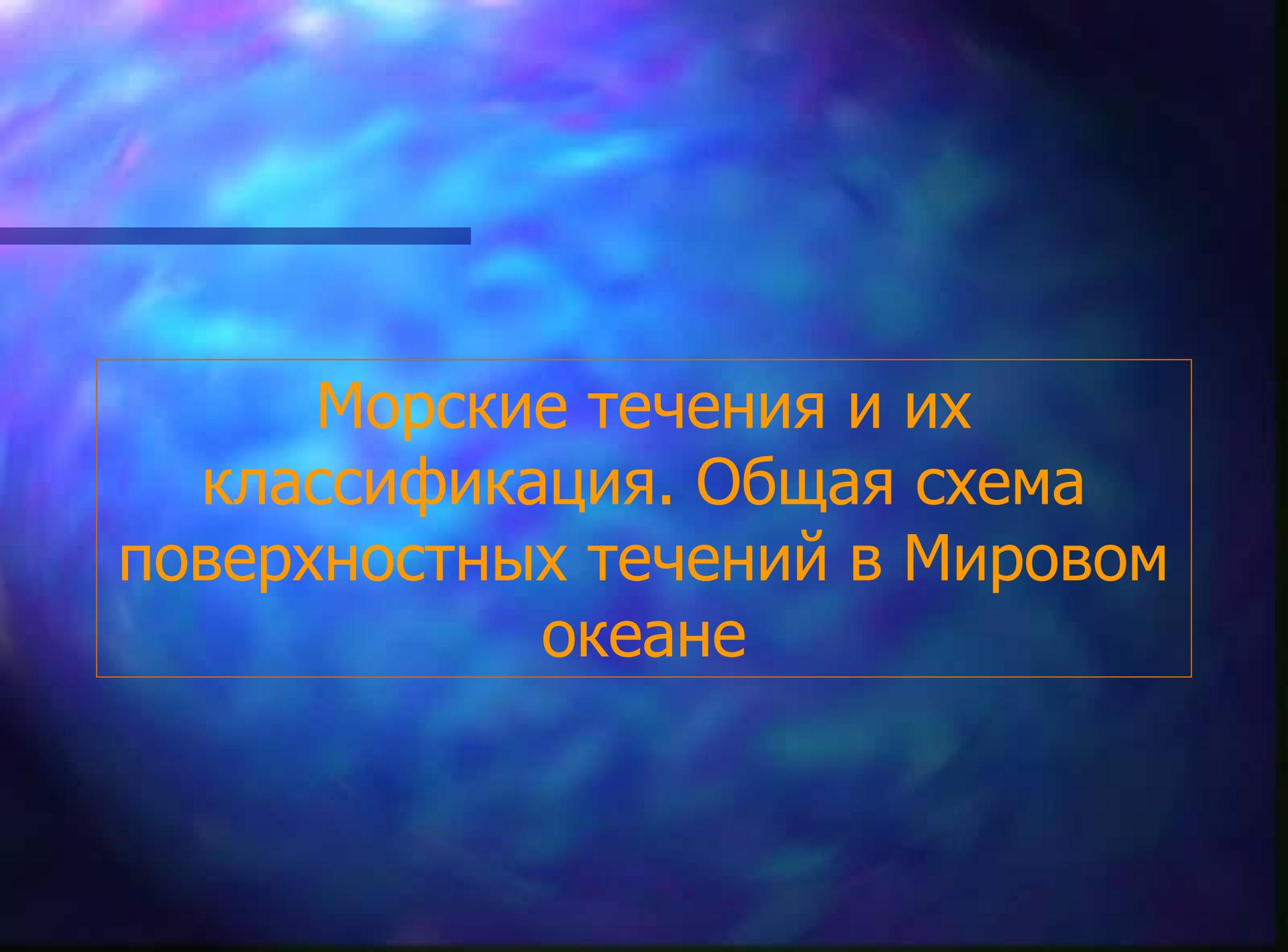
- высота - 10-100 м
- период волн – 0,12 – 4,0 часа
- длина  $\lambda$ – 0,1 –200 км
- скорость распространения внутренней волны  $c$

$$c = \sqrt{\frac{g\lambda(\rho_2 - \rho_1)}{2\pi(\rho_2 + \rho_1)}}$$

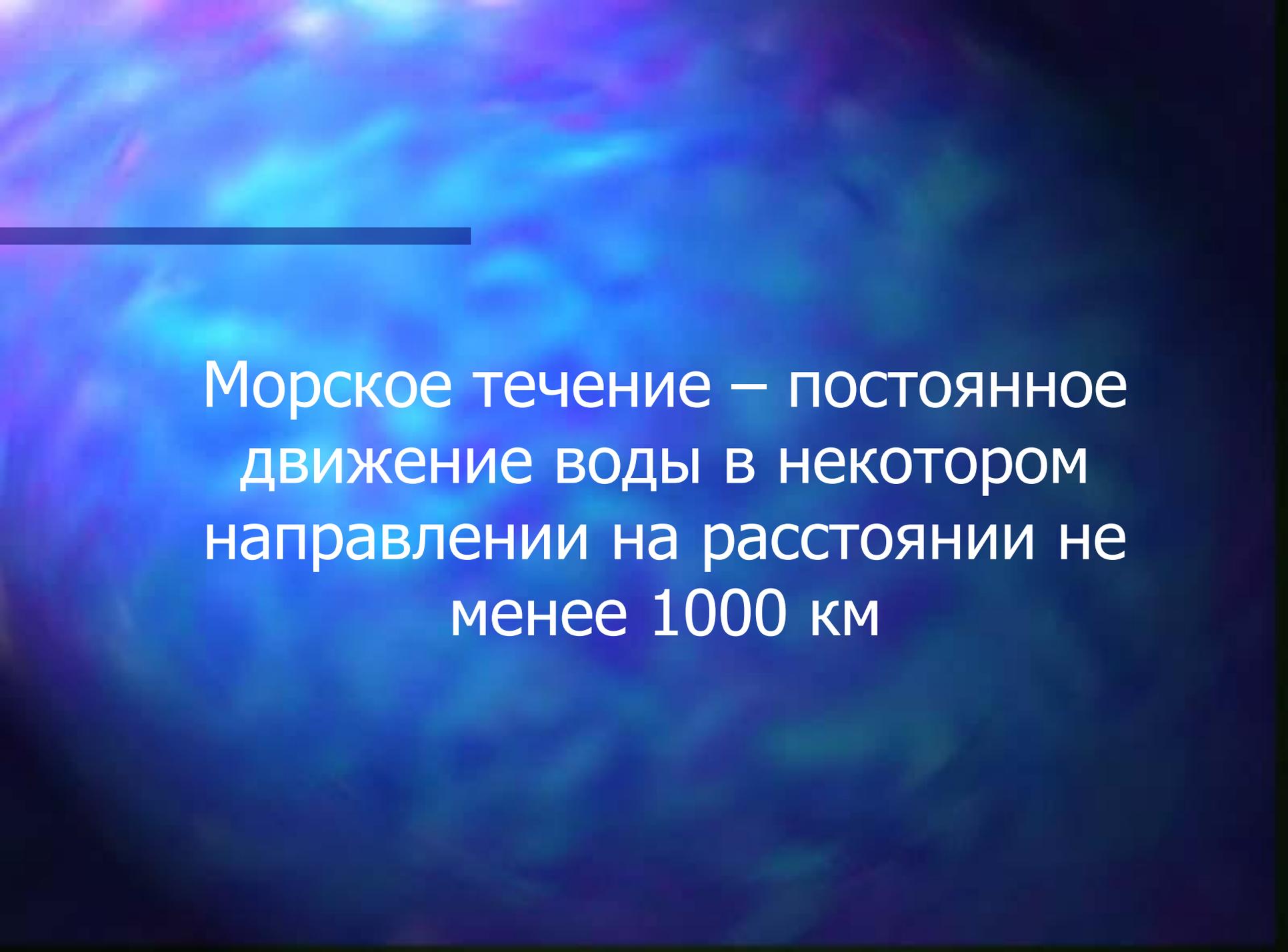
$\rho_1$  и  $\rho_2$  плотность воды  
в смежных слоях

1- поверхностные и  
2 – внутренние волны





Морские течения и их  
классификация. Общая схема  
поверхностных течений в Мировом  
океане



Морское течение – постоянное движение воды в некотором направлении на расстоянии не менее 1000 км

# Силы, влияющие на возникновение морских течений и их характеристики

---

- сила трения на границе раздела воздух-вода
- сила тяжести
- сила давления
- сила Кориолиса
- сила трения на границе вода-дно

# Классификация морских течений

---

- градиентные
- дрейфовые (фрикционные)
- суммарные (дрейфово-градиентные)

# Градиентные течения

---

- плотностные (термохалинные)
- ветровые (постоянные ветры вызывают перепады уровня)
- стоковые

Большая часть постоянных течений в океане – градиентные или смешанной природы. Плотностные течения при этом доминируют.

# Типизация течений по времени существования

---

- постоянные
- периодические
- временные

# Типизация течений по району расположения

- поверхностные
- глубоководные
- прибрежные

# Термические типы течений

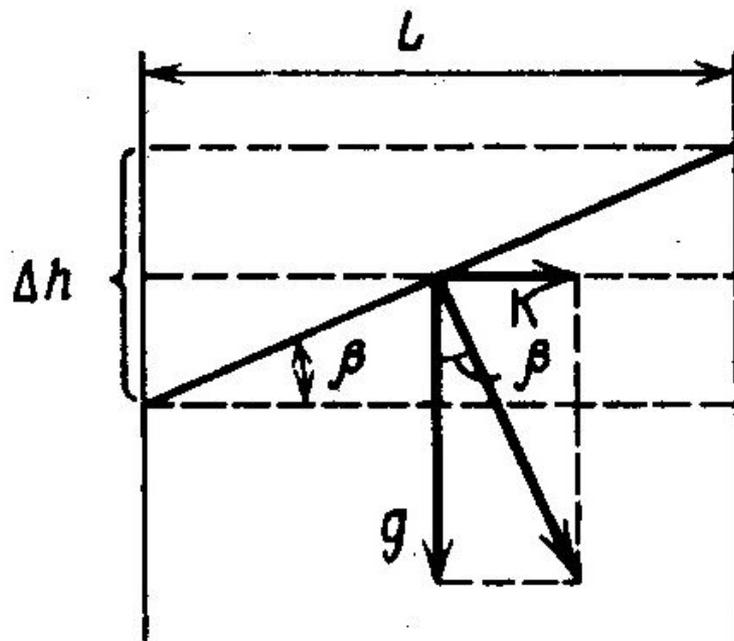
---

- теплые
- холодные
- нейтральные

# Геострофические течения – градиентные течения

возникают при наличии  
градиентов давления (за счет  
разной плотности вод или  
нагонов) при участии силы  
Кориолиса

# геострофические течения



Сечение потока в Северном полушарии, который идет “в чертеж”

На жидкость действуют силы тяжести  $g$  и Кориолиса  $K$ ; поверхность наклонена так, что она перпендикулярна равнодействующей обеих сил.

Скорость потока:

$$v = \frac{gtg\beta}{2\omega \sin \varphi} = \frac{g\Delta h}{2\omega L \sin \varphi}$$

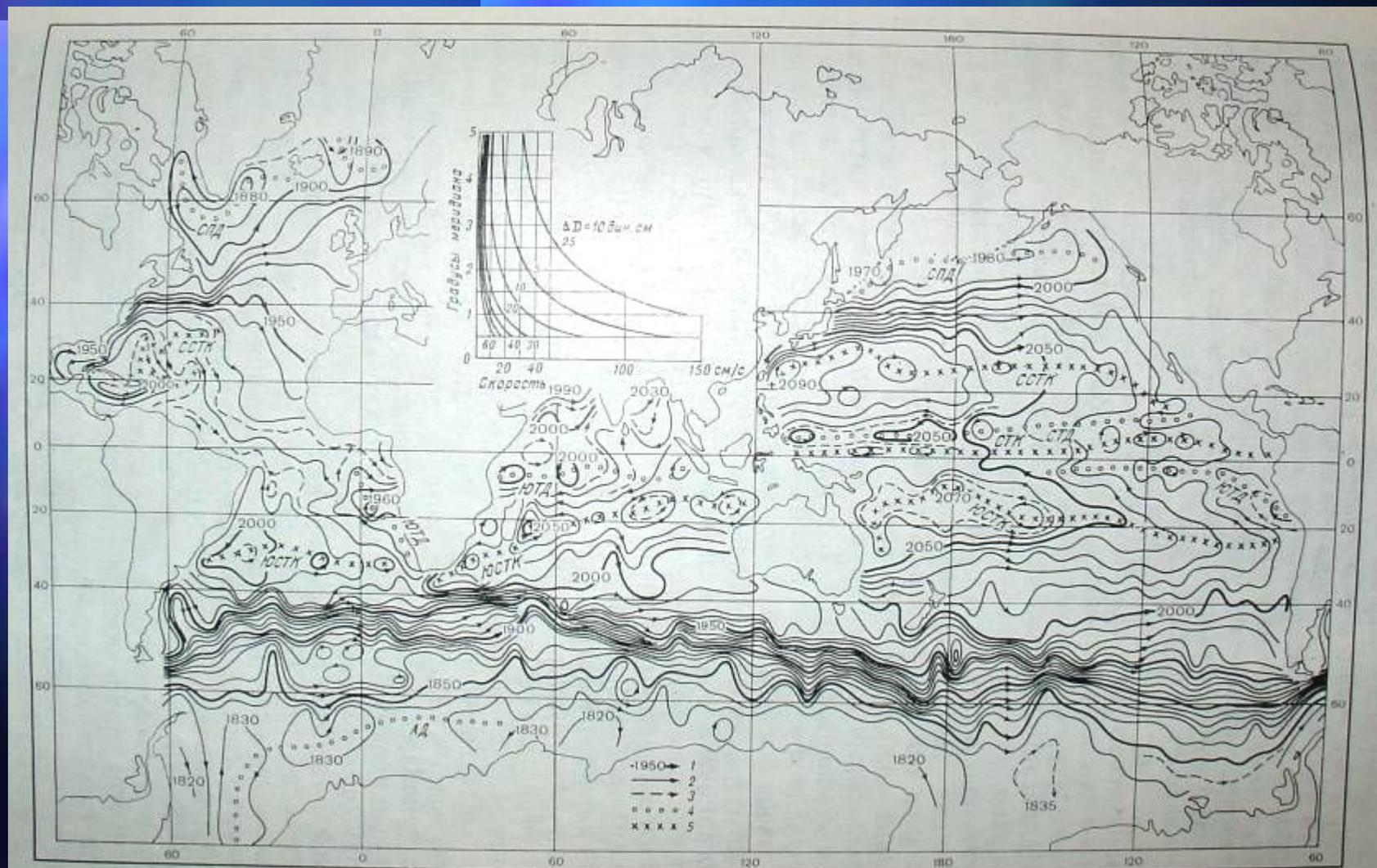
# Динамический метод вычисления течений в океане:

Расчет высоты  $h$  в точке относительно нулевого (отсчетного) уровня по известному среднему удельному объему  $\alpha$  ( $g$  – ускорение своб. падения,  $p$  – давление):

$$h = \frac{10 p \alpha}{g}$$

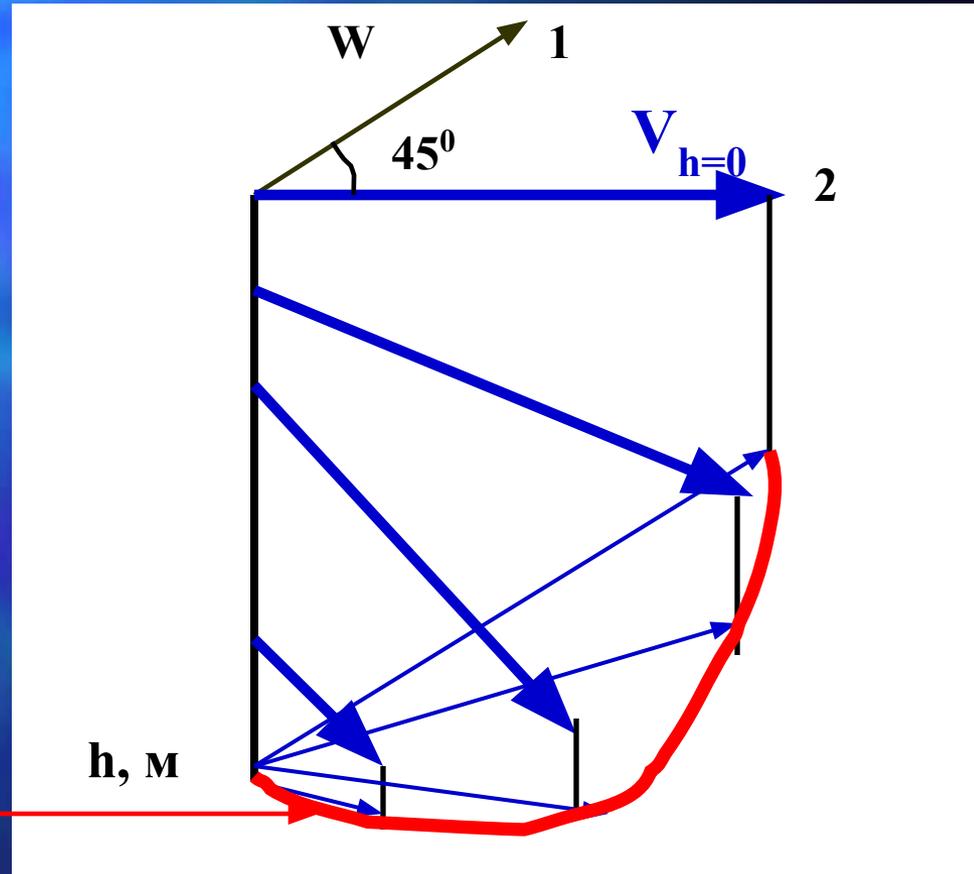
Затем – вычисление скоростей по значениям  $\Delta h$ ,  
построение карт

# Карта динамической топографии поверхности океана, отсчетная поверхность - 1500 м



# Теория дрейфовых течений

- направление ветра (1) и направление поверхностной скорости движения морской воды (2) образуют угол  $45^\circ$
- изменение скорости ветрового течения по глубине моря  $V = f(h)$  описывается уравнением спирали Экмана



# Связь скорости дрейфового течения и скорости ветра

- на поверхности моря скорость течения зависит от скорости ветра  $W$  и географической широты  $\phi$

$$V_{h=0} = \frac{AW}{\sqrt{\sin \phi}}$$

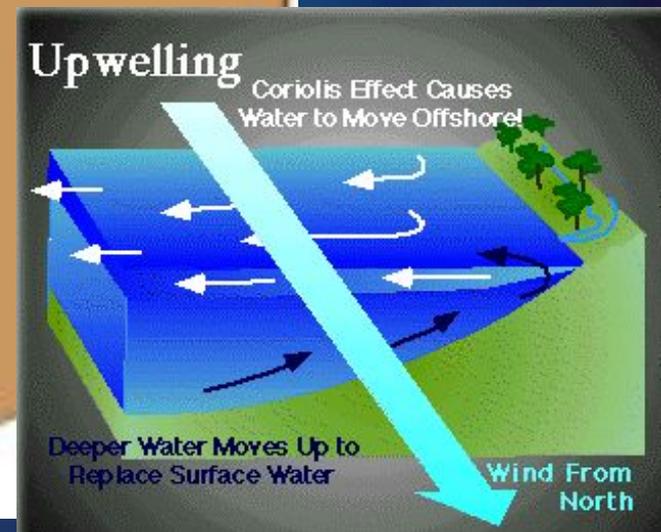
- по глубине моря скорость ветрового течения уменьшается, а его направление отклоняется вправо в северном полушарии и влево – в южном полушарии под влиянием силы Кориолиса
- $A = 0,01-0,03$  – ветровой коэффициент

# Некоторые особенности спирали Экмана

- на некоторой глубине скорость ветрового течения противоположна по направлению поверхностной скорости
- ее величина равна  $0,04V_{h=0}$
- эта глубина называется глубиной трения
- глубина трения минимальна на полюсе
- она максимальна на экваторе
- реально она не превышает 20-50 м

# Апвеллинг – следствие отклонения дрейфового течения

Направление действия ветра

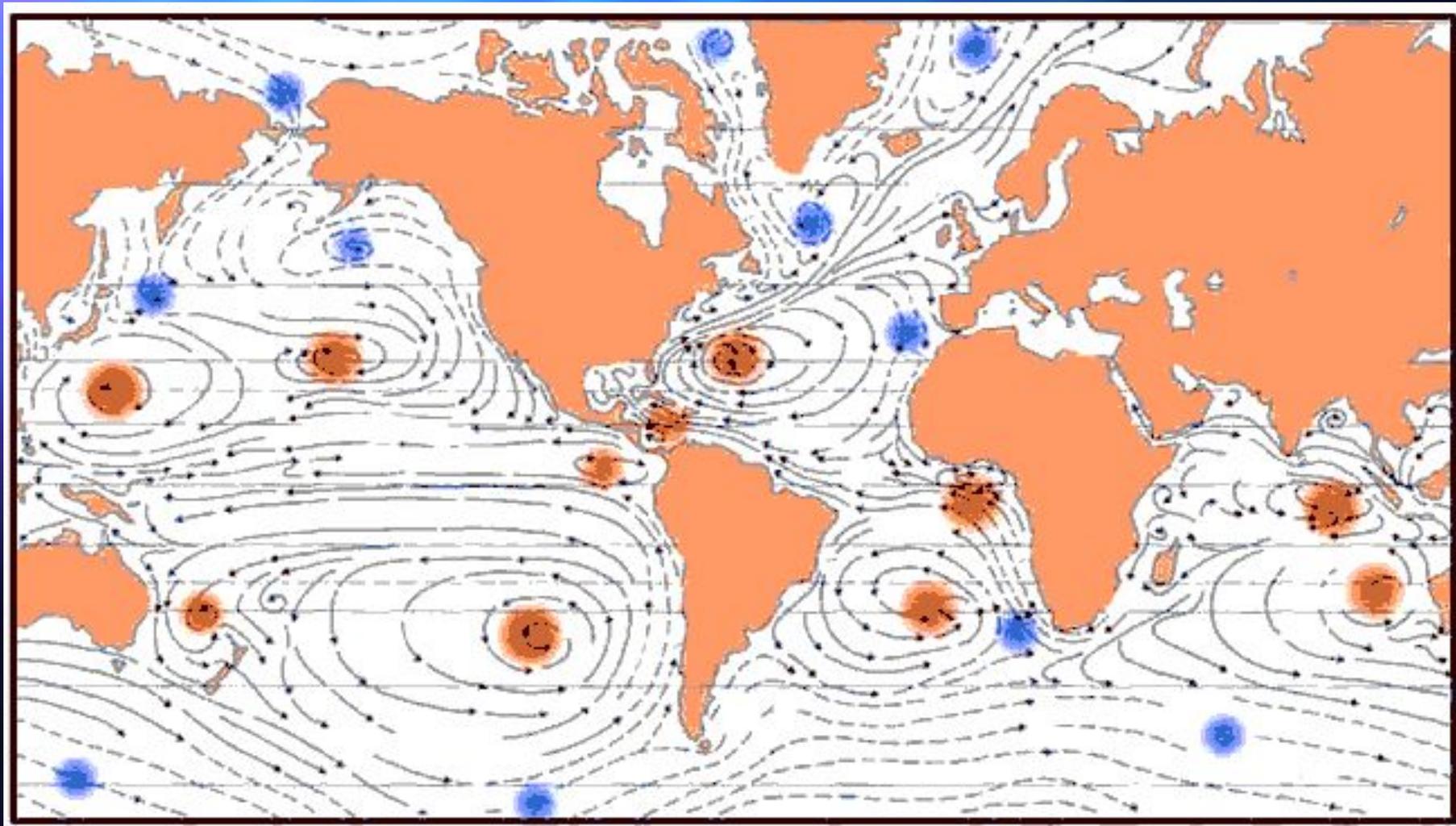


# Циркуляция вод в Мировом океане

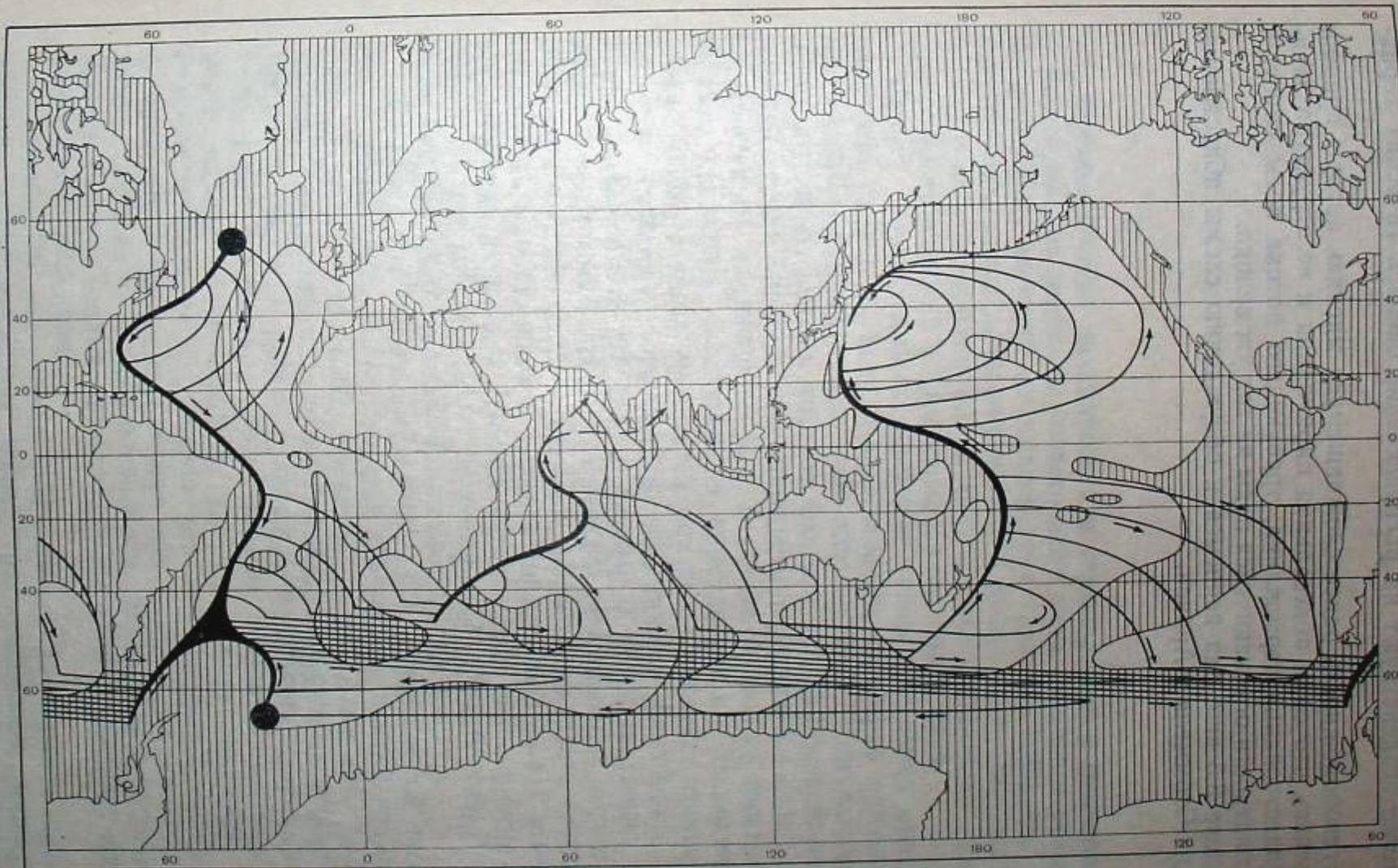
---

- система круговоротов
- меридиональная циркуляция
- пограничные течения
- дивергенции и конвергенции
- межокеанская циркуляция – глобальный конвейер
- глубинная циркуляция

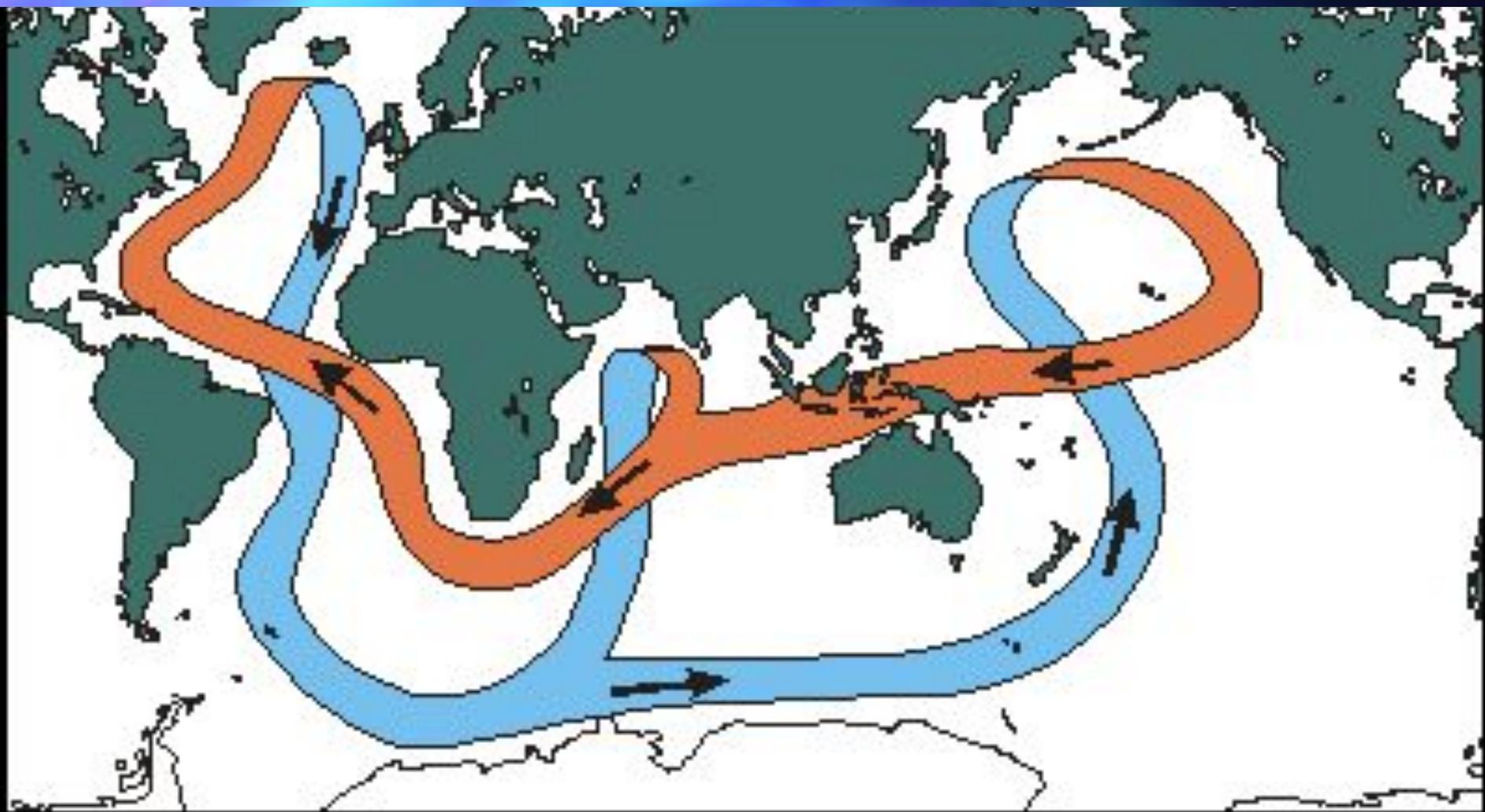
# Упрощенная схема основных течений на поверхности Мирового океана



# Глубинная циркуляция

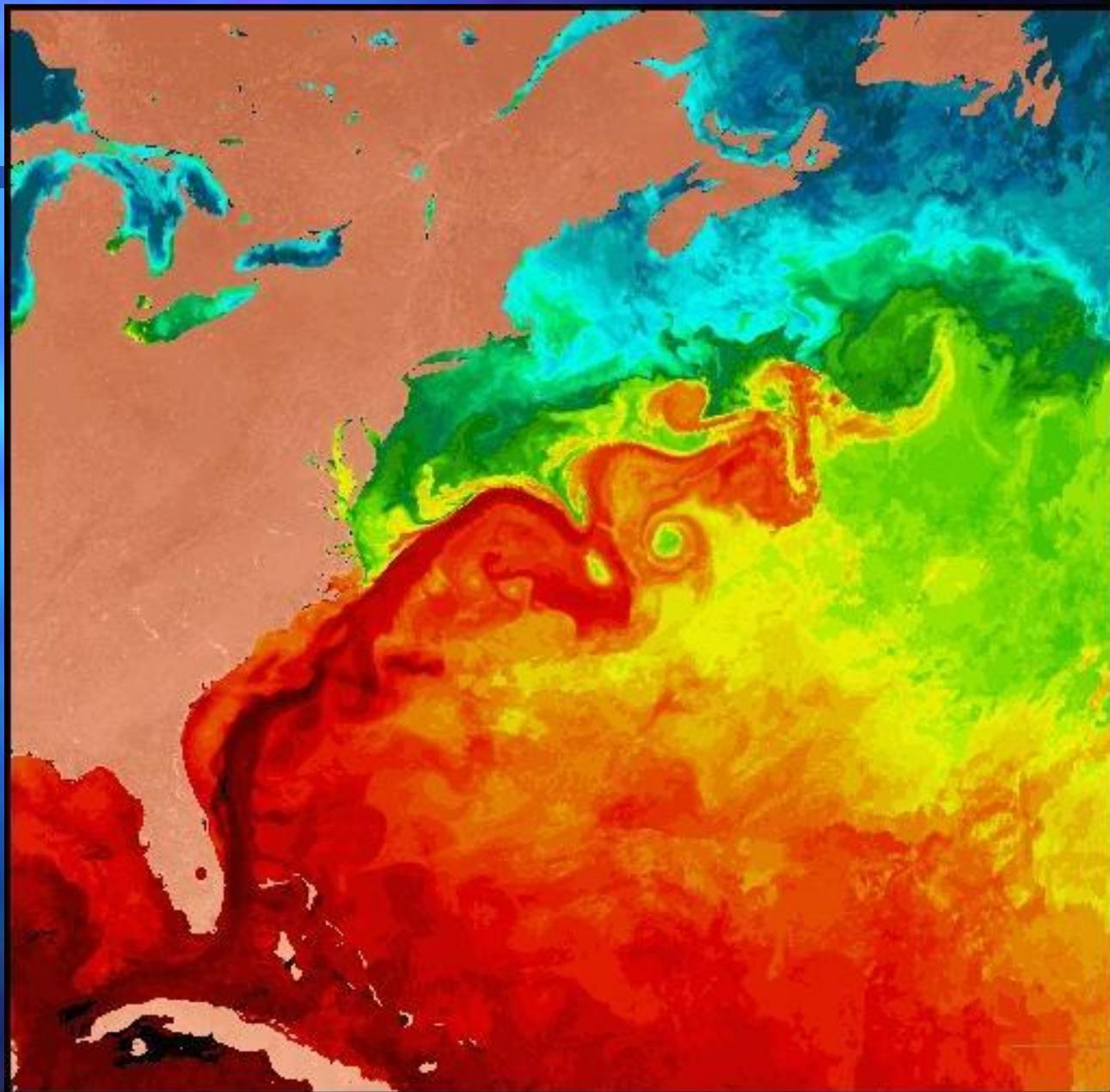


# Глобальный океанский конвейер

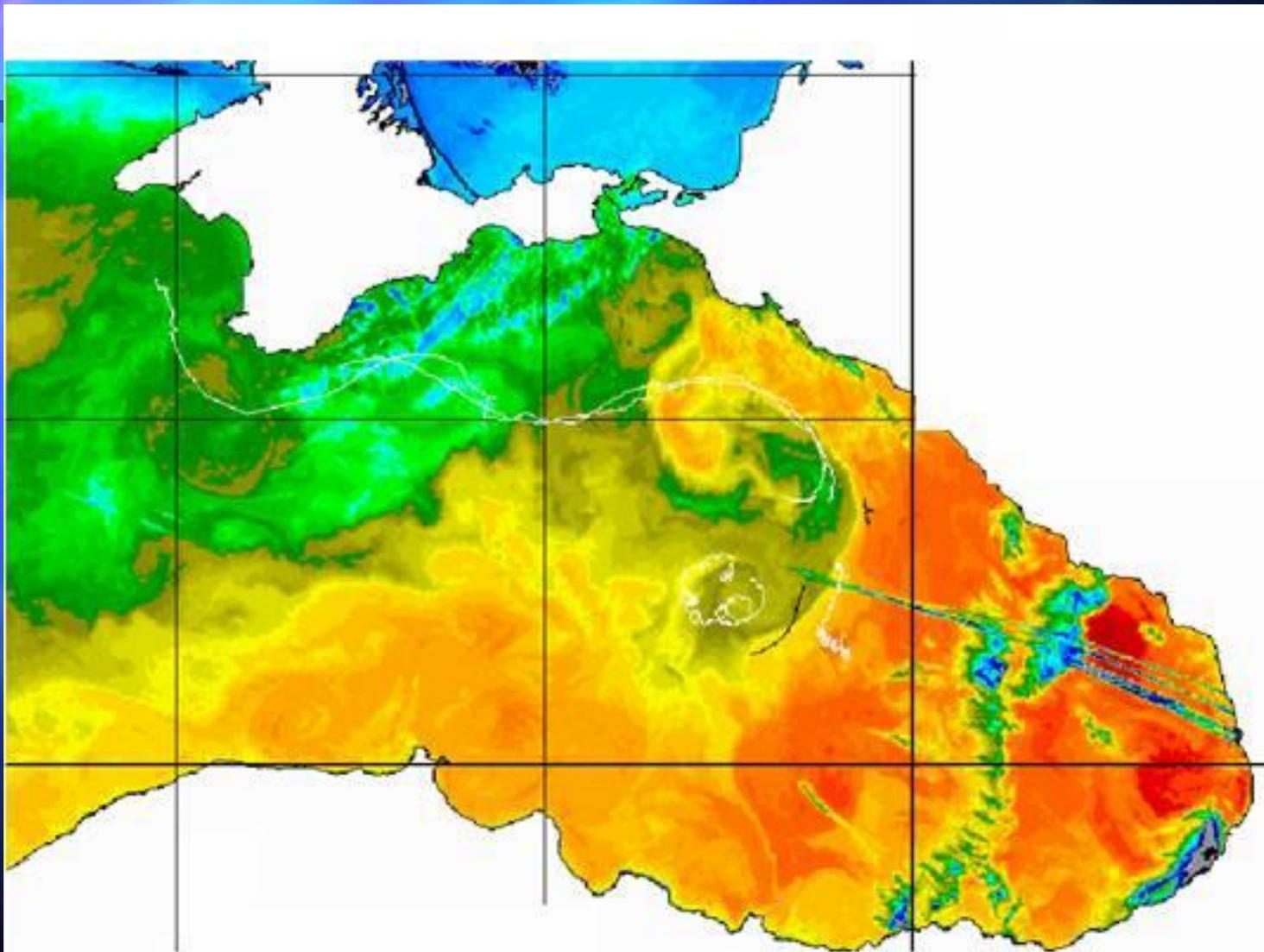


- течения в океане имеют вихревую структуру

- размеры вихрей  $\sim 100 - 300$  км



# Вихри в Черном море



# Основные течения Тихого океана

Название	Термический тип
Северное и Южное пассатные	нейтральные
Курисио	теплое
Восточно-Австралийское	теплое
Курило-Камчатское	холодное
Калифорнийское	холодное
Перуанское	холодное

# Основные течения Атлантического океана

Название	Термический тип
Северное и Южное пассатное	нейтральное
Гольфстрим	теплое
Северо-Атлантическое	теплое
Бразильское	теплое
Лабрадорское	холодное
Канарское	холодное
Бенгельское	холодное

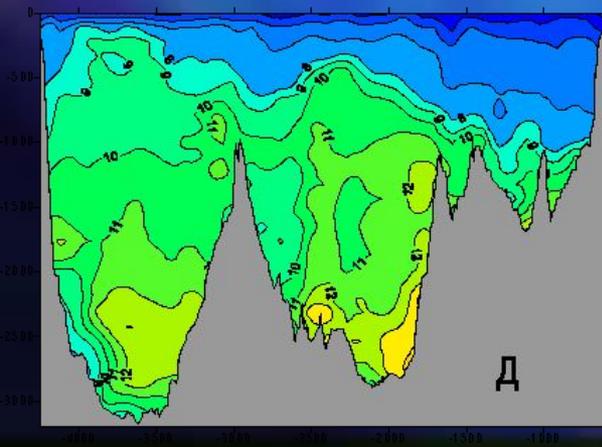
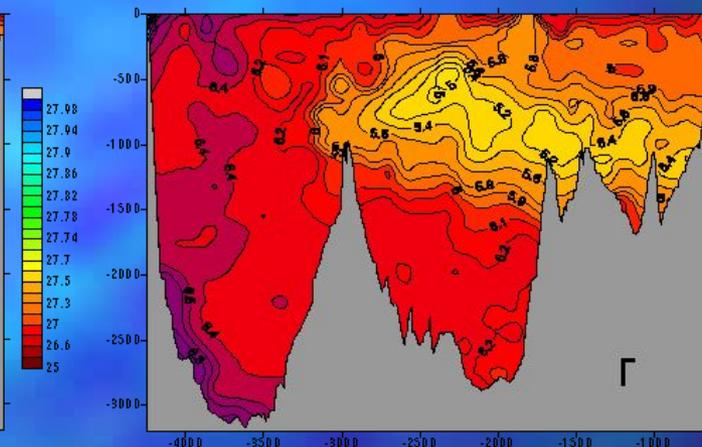
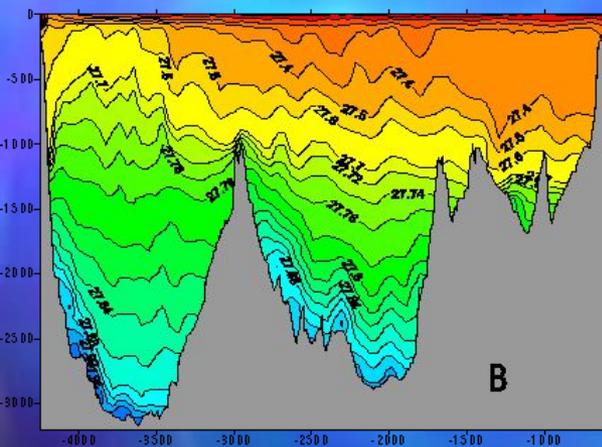
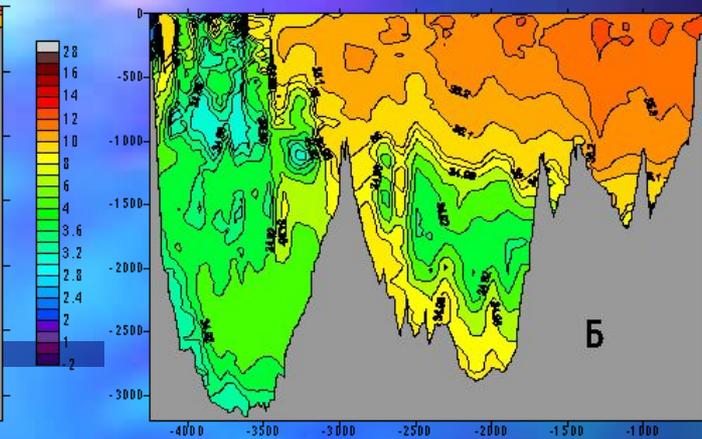
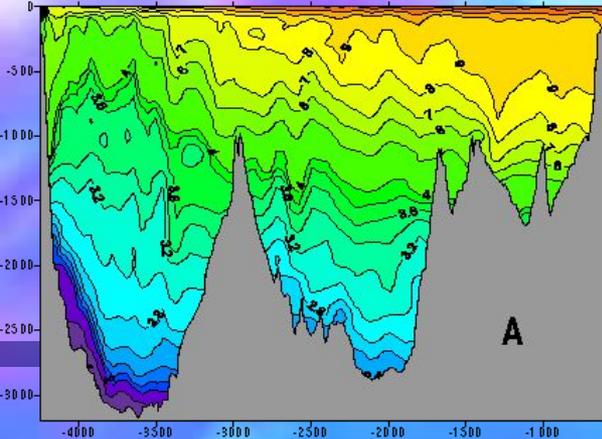
# Водные массы океана

**Сравнительно большой объем воды, формирующийся в определенном районе Мирового океана, обладающий подобием физических, химических, биологических характеристик – водная масса**

# Характеристики водных масс

---

- температура
- соленость
- плотность
- прозрачность
- содержание кислорода
- содержание биогенных элементов (кремний, азот, фосфор)
- содержание микроэлементов



**Распределение:**

**потенциальной температуры (А),**

**солености (Б),**

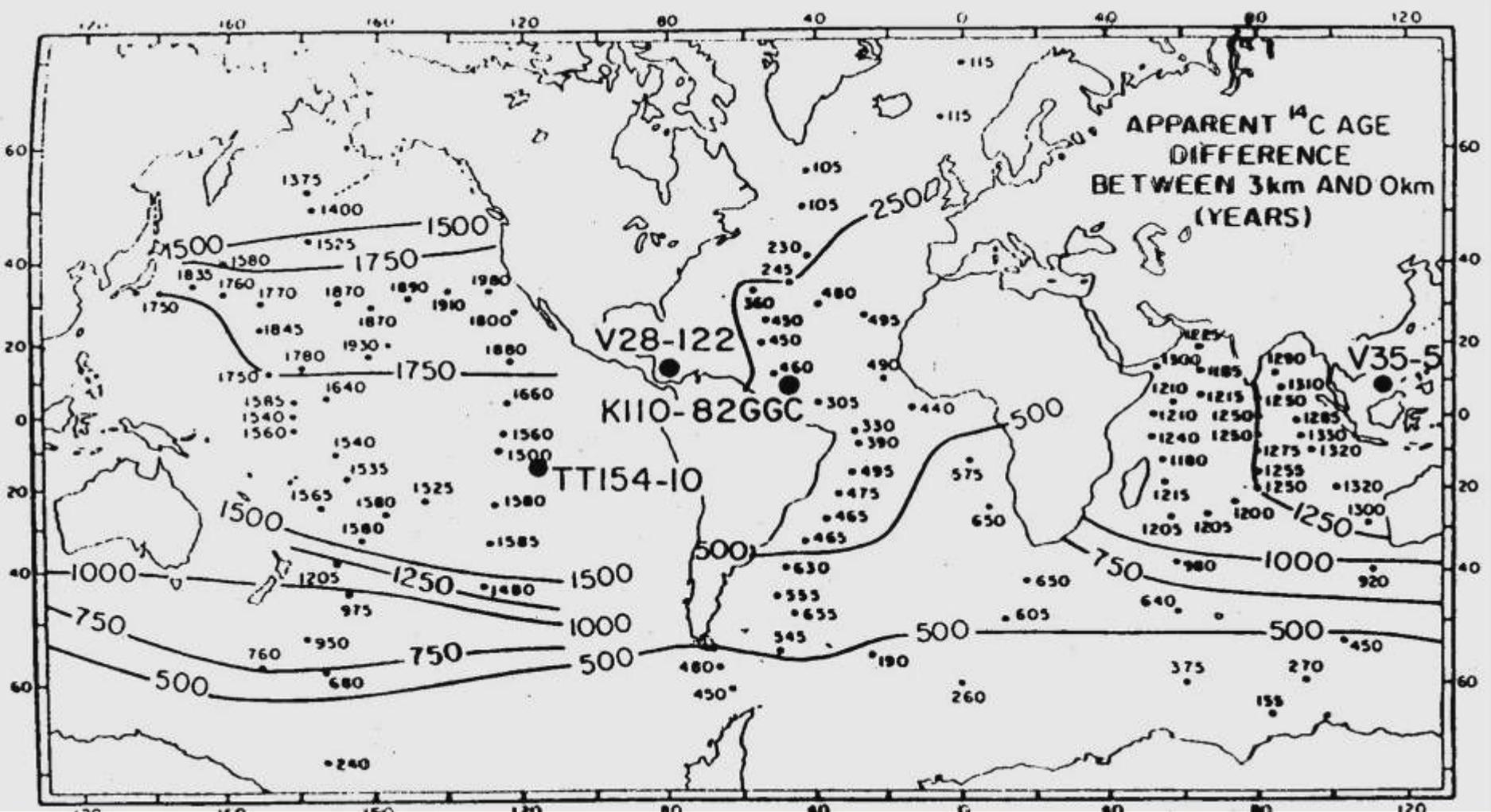
**аномалии плотности  $\sigma_0$  (В),**

**растворенного кислорода, мл/л (Г),**

**концентрации силикатов (Д),  
микромоль/кг**

**(разрез по 59-60°с.ш. (2003 г.))**





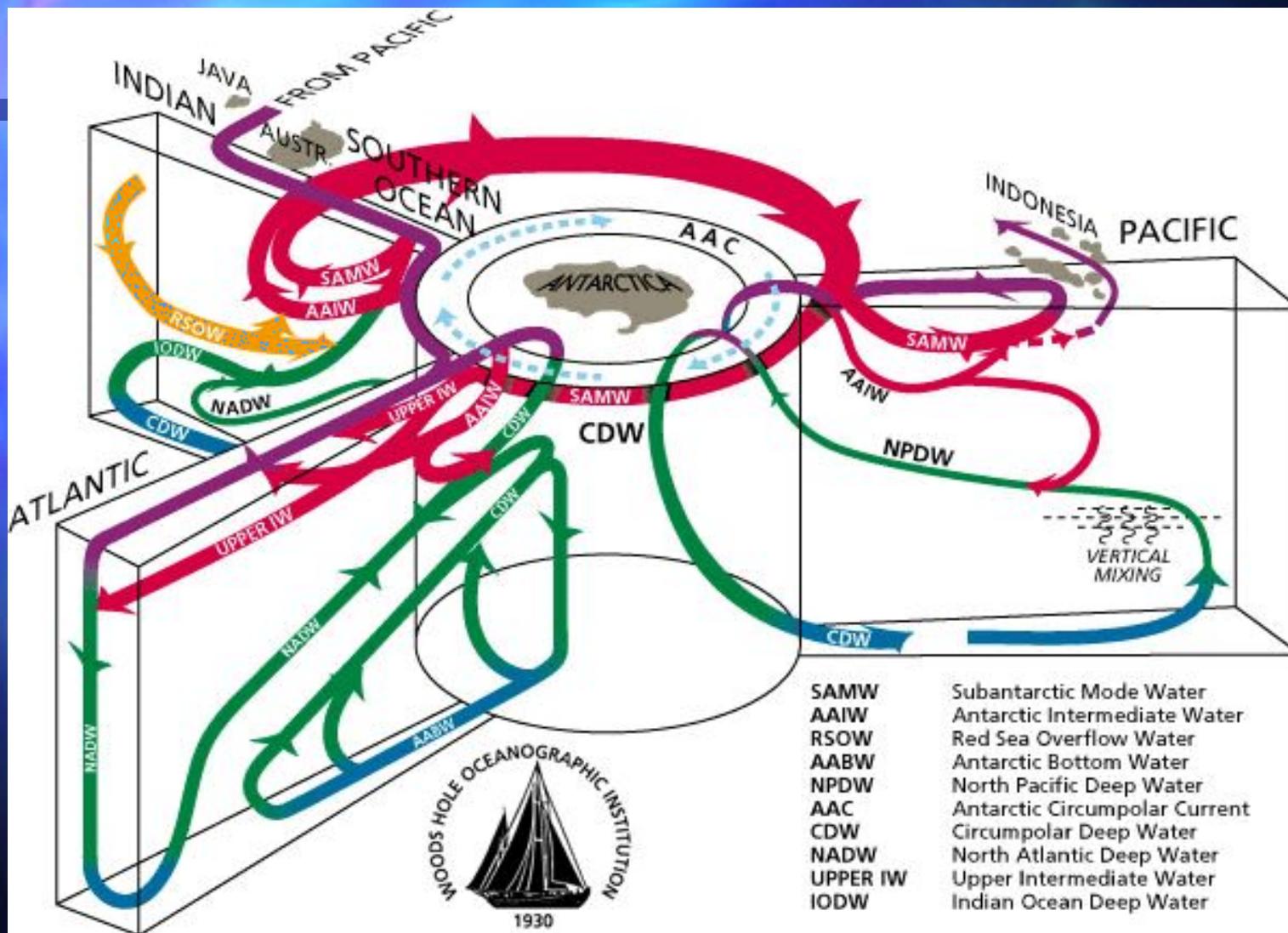
Возраст глубинных вод океана

# Структура водных масс

---

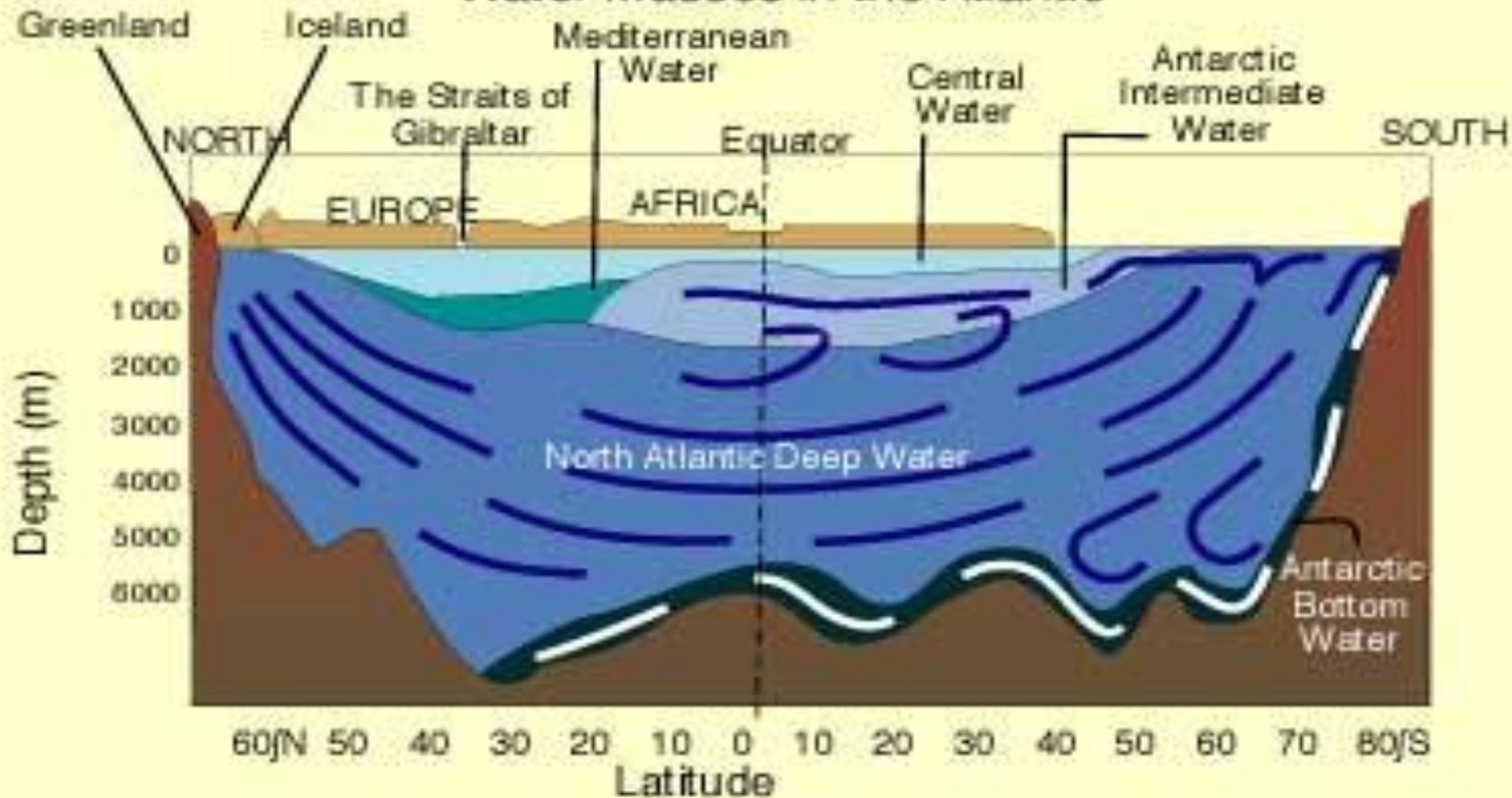
- поверхностные ( $\leq 300$  м)
- промежуточные (300 – 1500 м)
- глубинные (1500 – 4000 м)
- придонные ( $> 4000$  м)

# Перенос водных масс в океанах

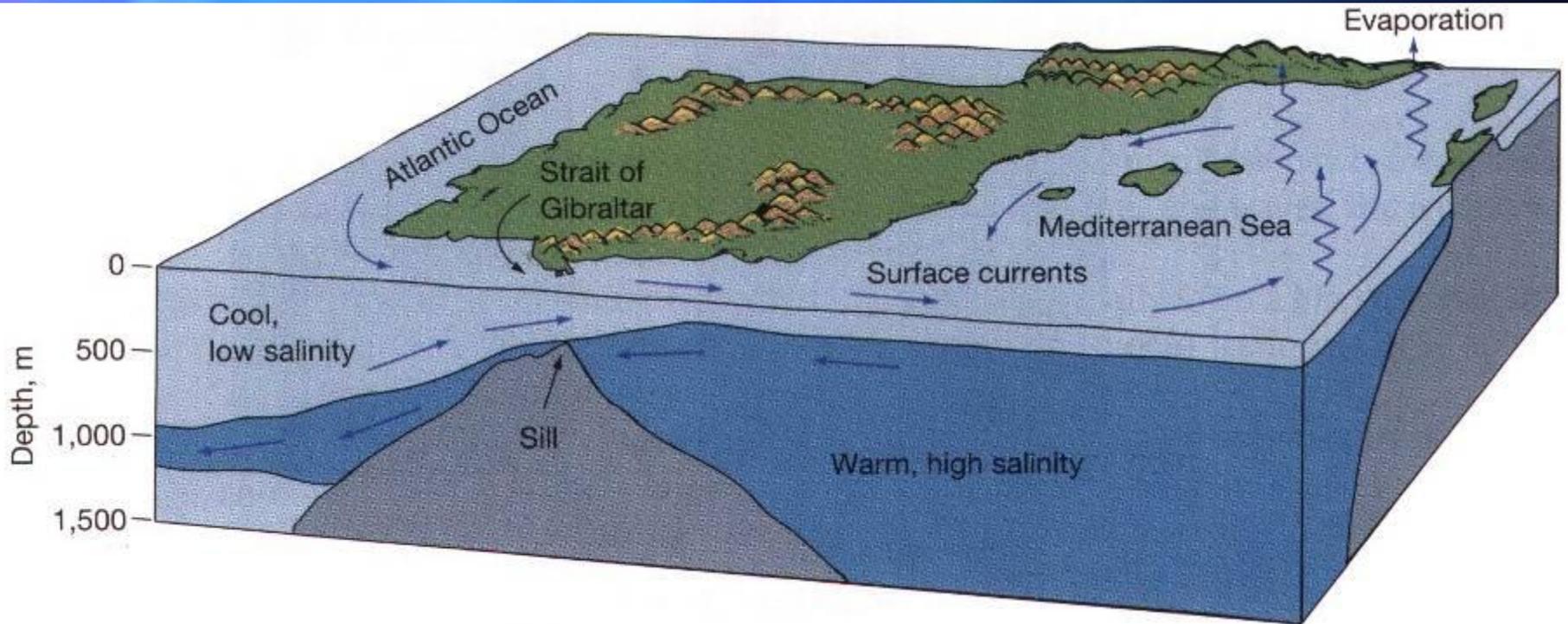


# Водные массы Атлантики

Water Masses in the Atlantic



# Формирование средиземноморской водной массы в Атлантике



# Методы изучения водных масс океанов



зонд и розетта с  
батометрами

# Отбор проб из батометров



# Запуск поплавка нейтральной плавучести



# Научное судно «Академик Вавилов»



# Ресурсы Мирового океана, их использование и охрана



# МИРОВОЙ ОКЕАН -

$1,37 \cdot 10^9$  км<sup>3</sup> воды,

$4,8 \cdot 10^{16}$  т солей,

$4,2 \cdot 10^9$  км<sup>3</sup> газов,

$32,5 \cdot 10^9$  т морских

животных

с годовой

продуктивностью

$56 \cdot 10^9$  т/год,

$1,7 \cdot 10^9$  т водорослей с

продуктивностью  $550 \cdot 10^9$

т/год



**Для справки:  
масса людей  
–  $0,28 \cdot 10^9$  т,  
урожай-  
 $1,5 \cdot 10^9$  т/год**

# **Экономическая выгода от использования ресурсов океана**

**Рыболовство - 80-90 млн.т в год - 50 млрд.\$**

**Добыча нефти со дна (30% мировой добычи) - 150млрд.\$**

**Добыча газа со дна (25% мировой добычи) - 30 млрд.\$**

**Морские индустрии – более 800 млрд.\$**

**Торговый флот мира -150 млрд.\$**

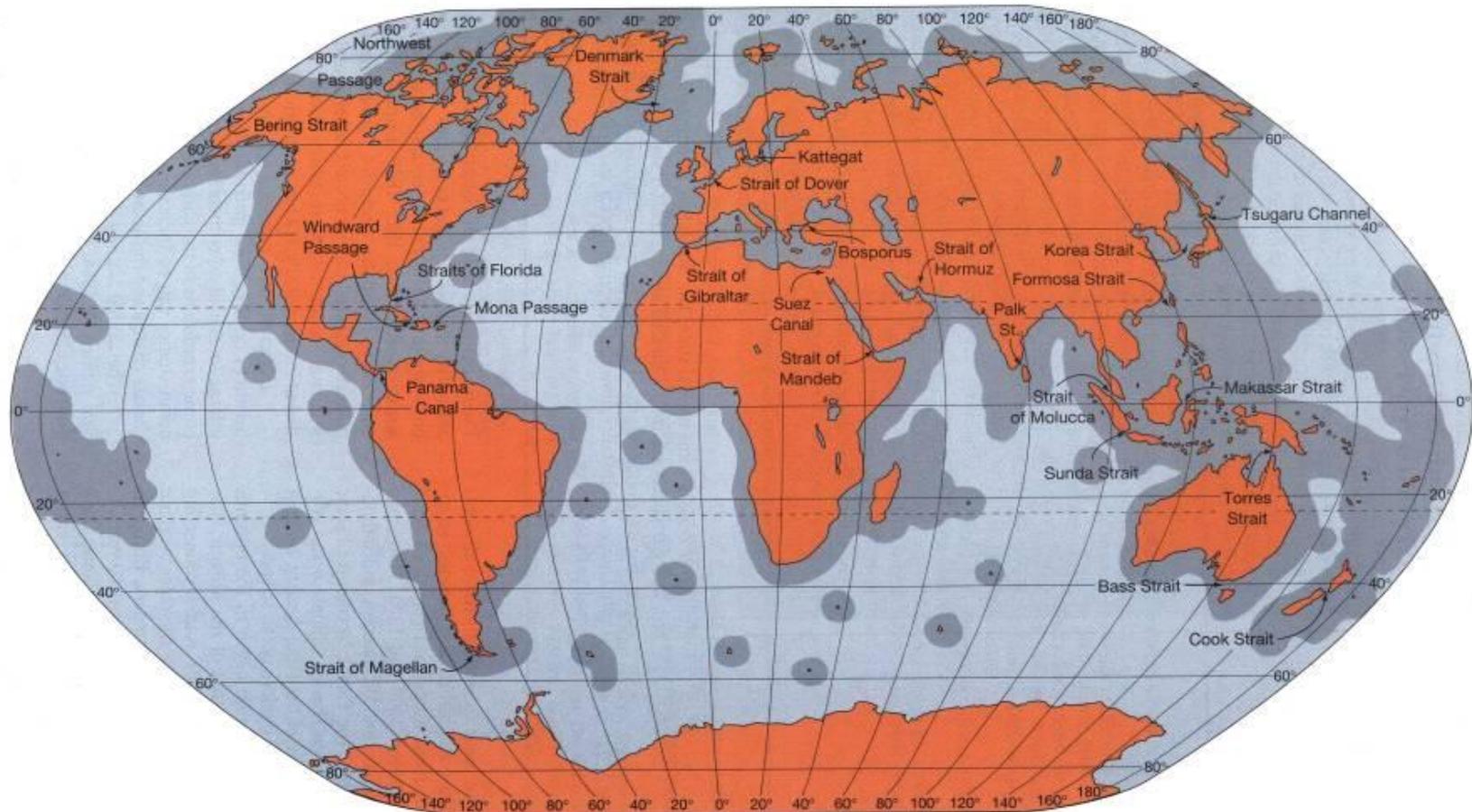
**Эксплуатация курортов - 300 млрд.\$**

**Территориальные ресурсы для населения Земли**

# Виды ресурсов

- биологические
- минеральные (углеводороды (более 65% мировых запасов), железо-марганцевые конкреции, соль)
- энергетические (энергия приливов, волнового прибоя, термический контраст течений)
- рекреационные

# Экономические зоны океана



**Figure 1-21**

Exclusive Economic Zones are areas extending 370 kilometers out to sea from all shorelines of the world. Several large areas of the world ocean, such as the Gulf of Mexico and the Mediterranean and North Seas, are totally divided among several EEZs. Some strategic straits affected by the EEZs are labeled.

# Схема пищевых цепей

