

# ОБЩАЯ ОКЕАНОЛОГИЯ

Общая циркуляция вод океана



## Отечественные названия течений

Северное пассатное

Южное пассатное

Гвианское

Курильское

North Equatorial

South Equatorial

North Brazil

Oyashio

# Отечественные названия течений

*Ю.М. Шокальский*

Северное  
экваториальное  
Южное экваториальное

*А.Д. Добровольский*

Северное пассатное  
Южное пассатное ... пассатное  
(экваториальное)

Экваториальное  
противотечение

*Н.Н. Зубов*

Межпассатное  
противотечение

*В.Н. Степанов*

Экваториальное  
противотечение

Течение Западных  
ветров

Антарктическое круговое  
(циркумполярное) течение

Антарктическое циркумполярное  
течение

Течение Гумбольдта

Перуанское течение

Игольное течение

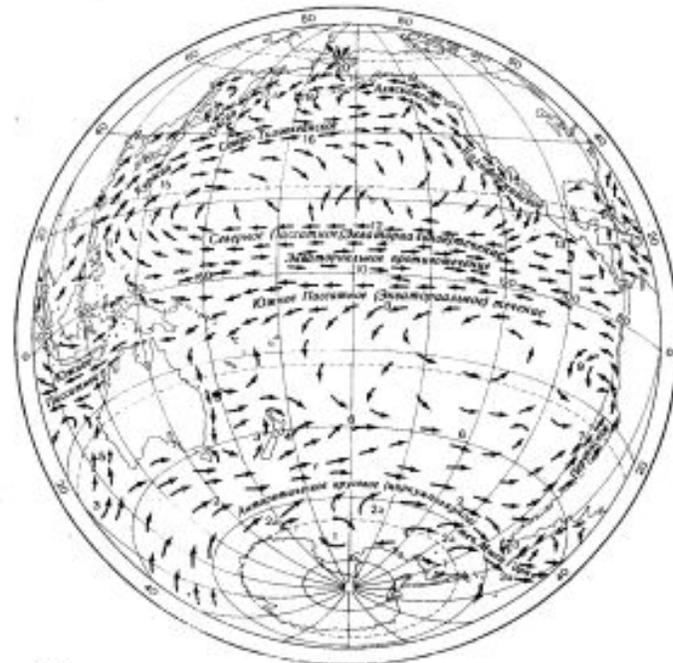
Течение Агульяс

# Отечественные названия течений

Названия течений из Л.А. Жуков «Общая океанология», 1976 г. со ссылкой на *В.Н. Степанова*



Рис. 69. Схема поверхностных течений



Мирового океана для лета северного полушария.

Основные поверхностные течения Мирового океана  
(по В. Н. Степанову. Мировой океан. М., «Знание», 1974. 255 с.)

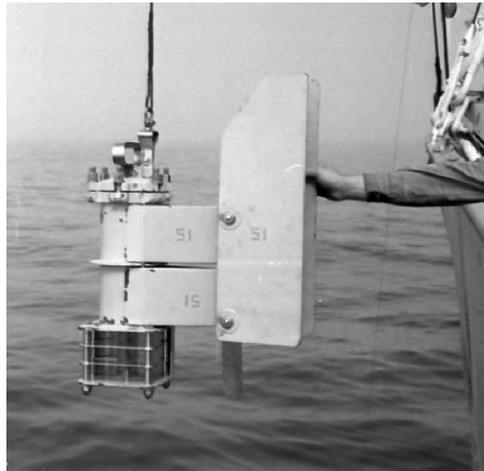
№ на рис. 69	Название течения	№ на рис. 69	Название течения	№ на рис. 69	Название течения
	<b>Все океаны</b>	17а	Флоридское	5	Восточно-Австралийское
1	Прибрежное антарктическое	18	Северо-Атлантическое	6	Южно-Тихоокеанское
2	Антарктическое круговое (циркумпольное)	19	Лабрадорское	7	Перуанское
2а	Южная ветвь Антарктического кругового течения	20	Ирмингера	8	Южное Пассатное
		21	Баффиново	9	Перу-Чилийское
		22	Западно-Гренландское	10	Экваториальное противотечение
	<b>Атлантический океан</b>		<b>Индийский океан</b>	11	Минданао
3	Фолклендское	3	Южно-Индийское	12	Северное Пассатное
3а	Течение Мыса Горн	4	Мадагаскарское	13	Мексиканское
4	Южно-Атлантическое	4а	Мозамбикское	14	Калифорнийское
5	Игольного Мыса	5	Западно-Австралийское	15	Курисио
6	Бразильское	6	Южное Пассатное	16	Северо-Тихоокеанское
7	Бенгельское	7	Сомалийское	17	Оясио
8	Южное Пассатное	8	Экваториальное противотечение	17а	Камчатское
9	Карибское	9	Западно-Аравийское	18	Алеутское
10	Гвианское	10	Восточно-Аравийское	19	Аляскинское
11	Экваториальное противотечение	11	Западно-Бенгельское	20	Восточно-Беринговоморское
12	Гвинейское	12	Восточно-Бенгельское		<b>Северный Ледовитый океан</b>
13	Зеленого Мыса			1	Норвежское
14	Апильское			2	Нордкапское
15	Северное Пассатное			3	Восточно-Гренландское
16	Канарское		<b>Тихий океан</b>	4	Западное арктическое
17	Гольфстрим	3	Западно-Новозеландское	5	Тихоокеанское
		4	Восточно-Новозеландское		

Как измеряют течения в океанах и морях?

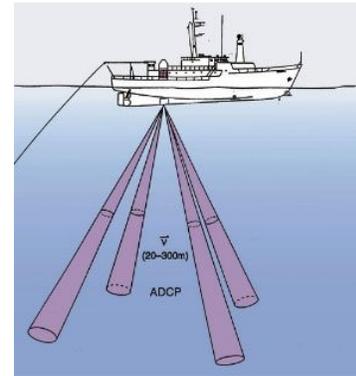
# Измерение течений в океане

Эйлеревы характеристики течений  $V(x,y,z,t)$

## Механические вертушки



## Акустические измерители



ADCP

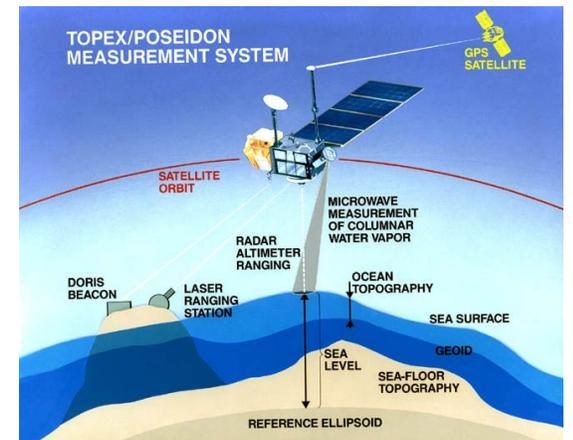


## Электромагнитные измерители

### ЭМИТ

Подводные электрические кабели  
Индукционные измерители скорости потока

## Спутниковая альтиметрия

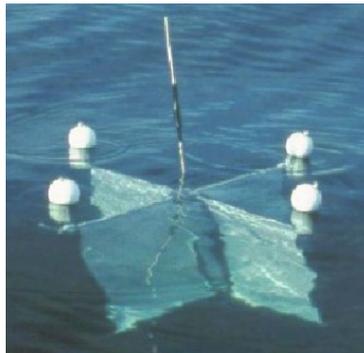


# Измерение течений в океане

Лагранжевы характеристики течений  $x(t)$ ,  $y(t)$ ,  $z(t)$

Плавающие  
объекты

Бутылочная почта  
Дрейфующие поплавки  
Дрейфующие вежи  
Снос судов



Поверхностные  
дрифтеры



Подповерхностные  
дрифтеры

SOFAR



RAFOS



Всплывающие  
буи

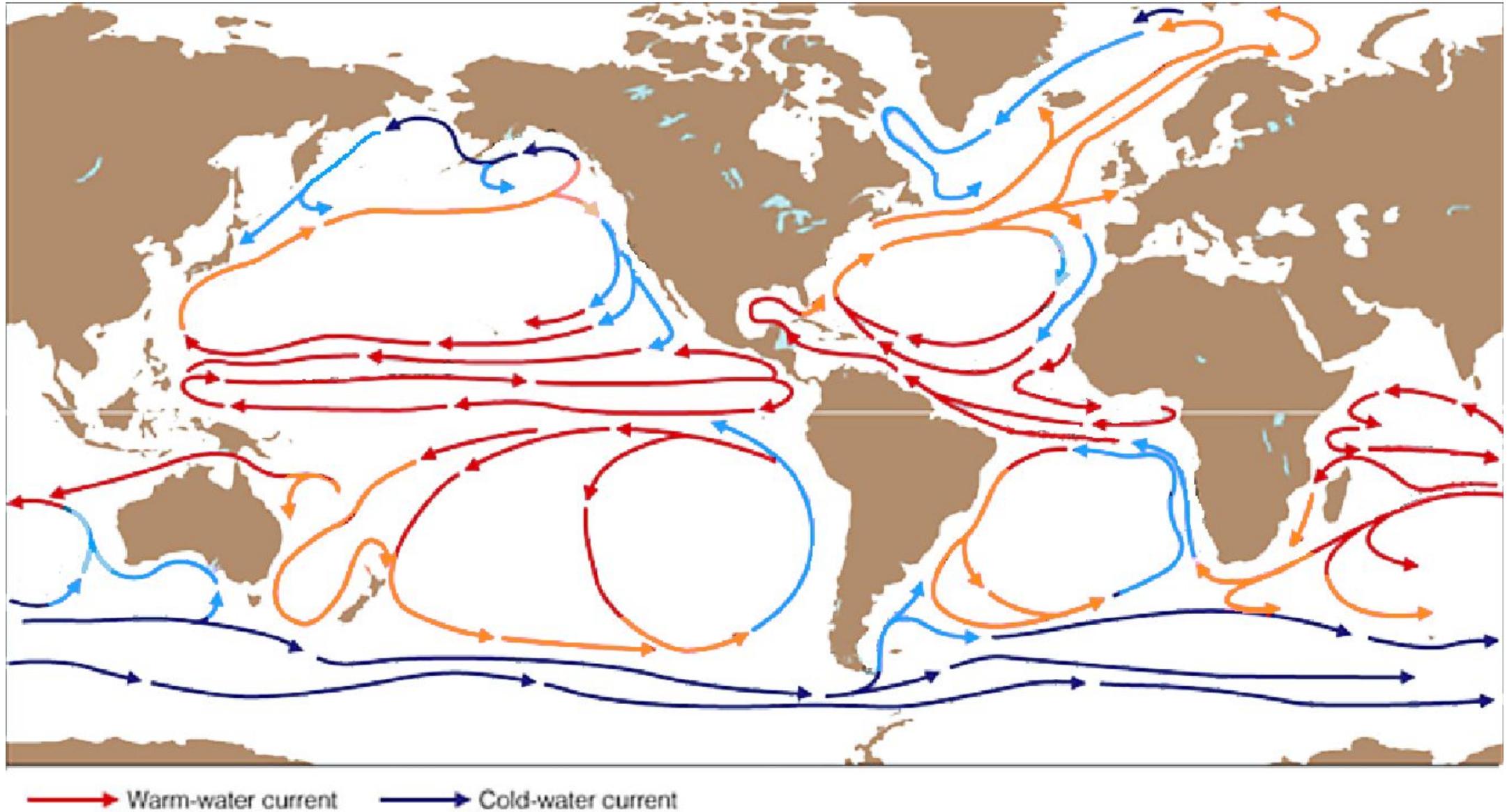


Трассеры

Температура  
Соленость  
Кислород  
Красители  
Тритий  
 $\Delta^{14}\text{C}$   
 $^{129}\text{I}$   
CFC  
 $\text{CCl}_4$

Циркуляция океана как одна из составляющих  
теплового и водного баланса

## Перенос тепла течениями



## Меридиональные потоки тепла

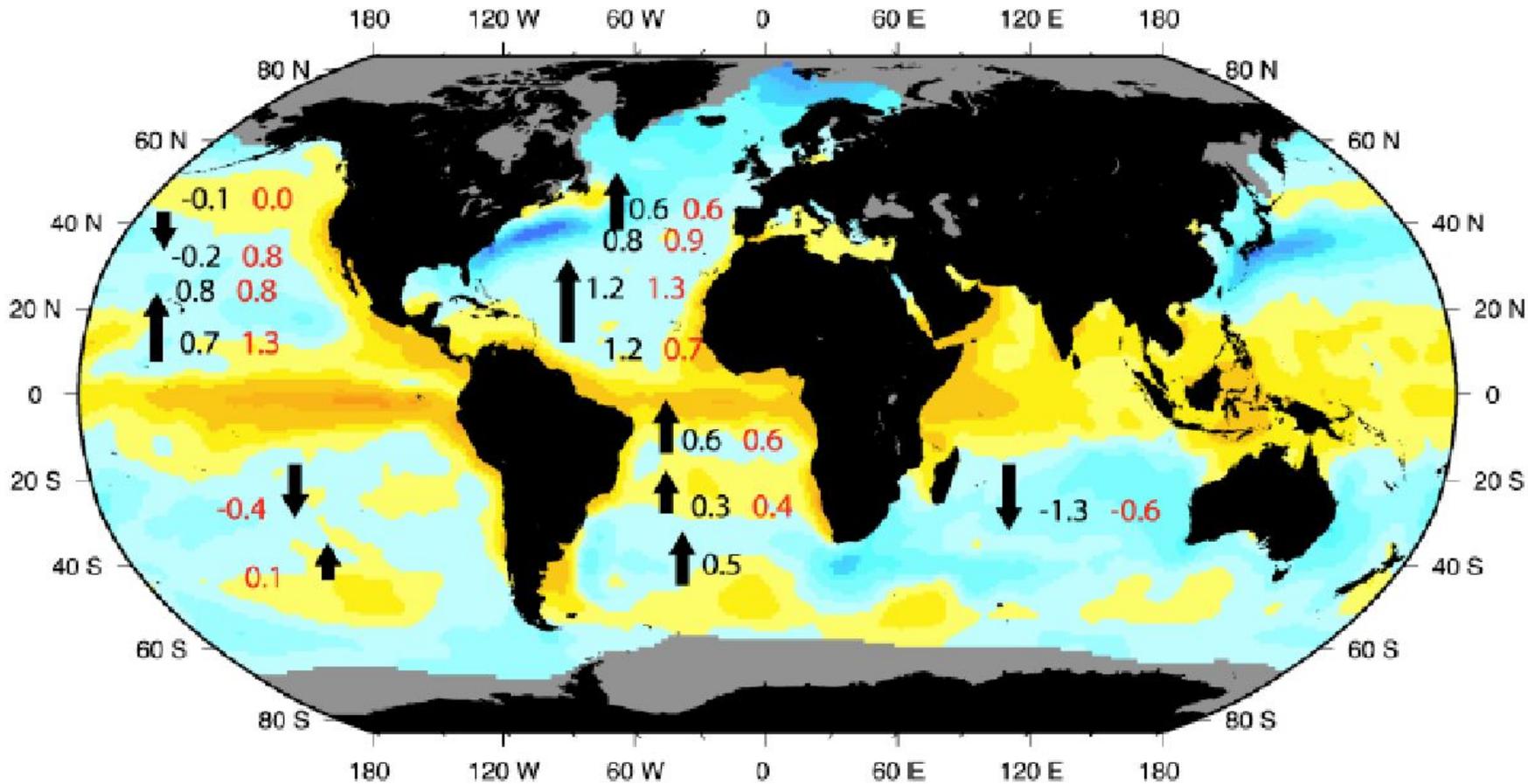
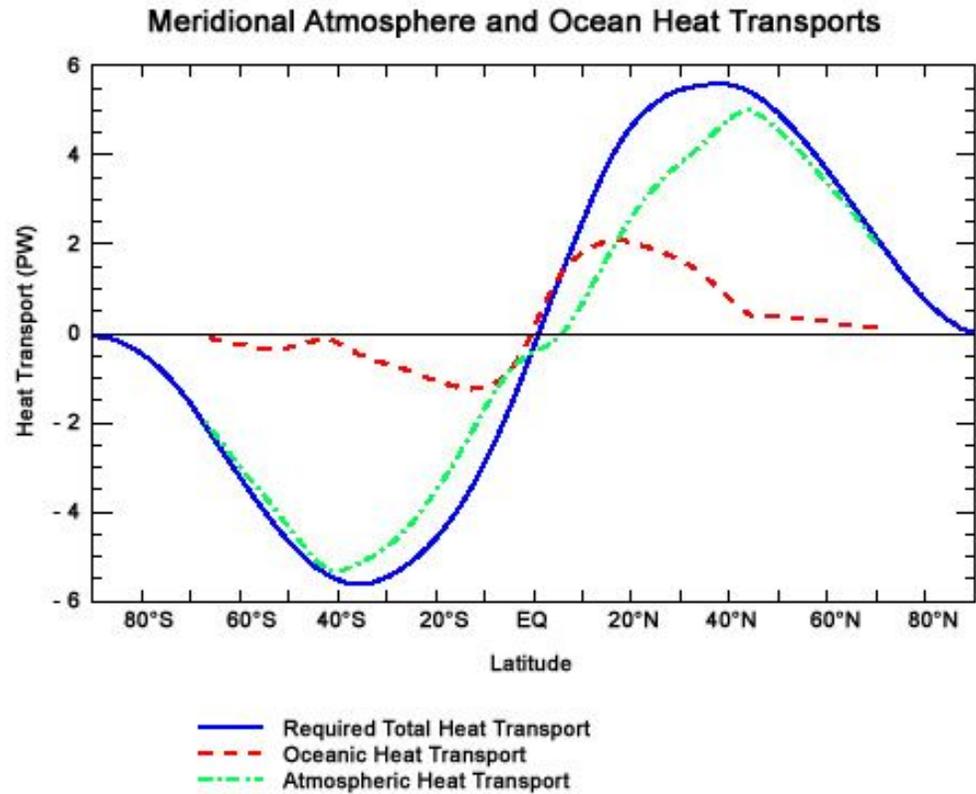
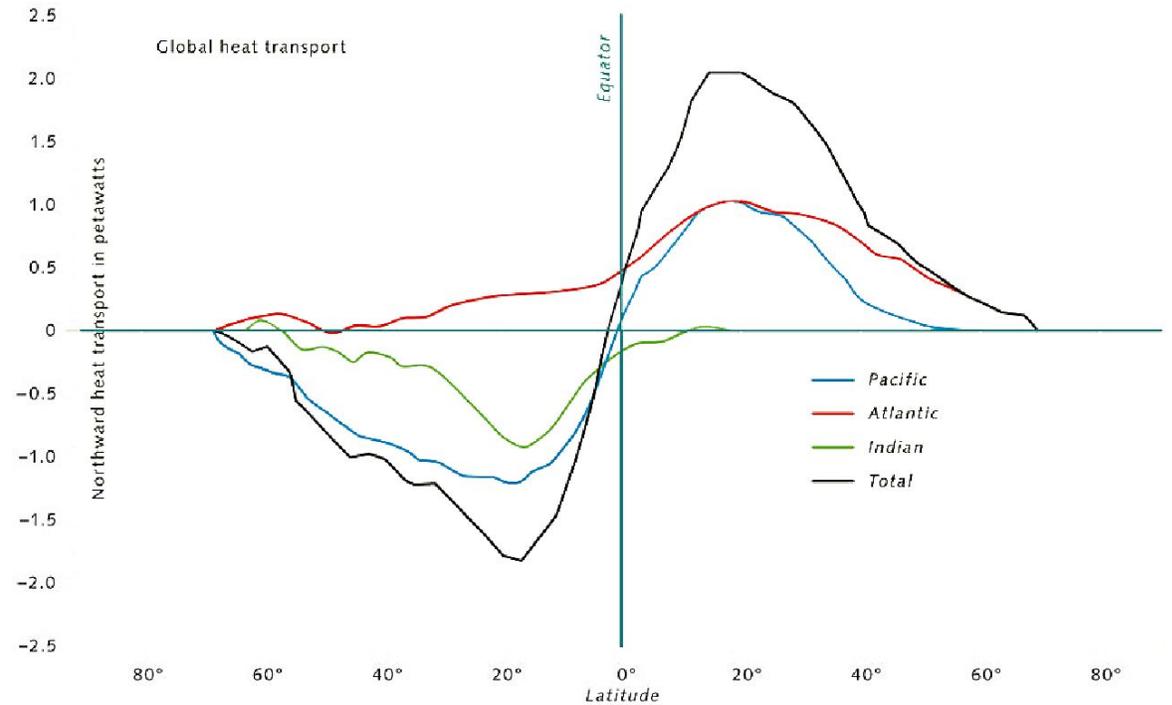


Fig. 5.23. Net south-north heat transports (PW) from direct estimates, superimposed on the map of annual average heat flux (Fig. 5.10). Black: estimates from "inverse models" from many sources (summaries in Bryden and Imawaki, 2001; Talley, 2003). Red: Talley (2003). Positive transports are northward.

# Меридиональные потоки тепла



Trenberth and Caron 2001



# Меридиональные потоки пресных вод

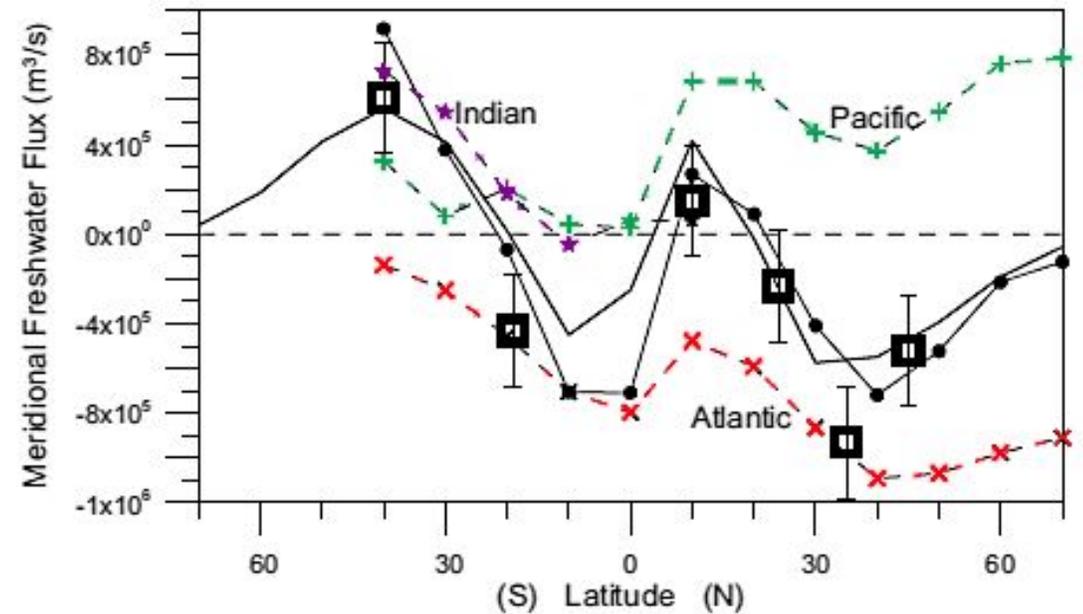
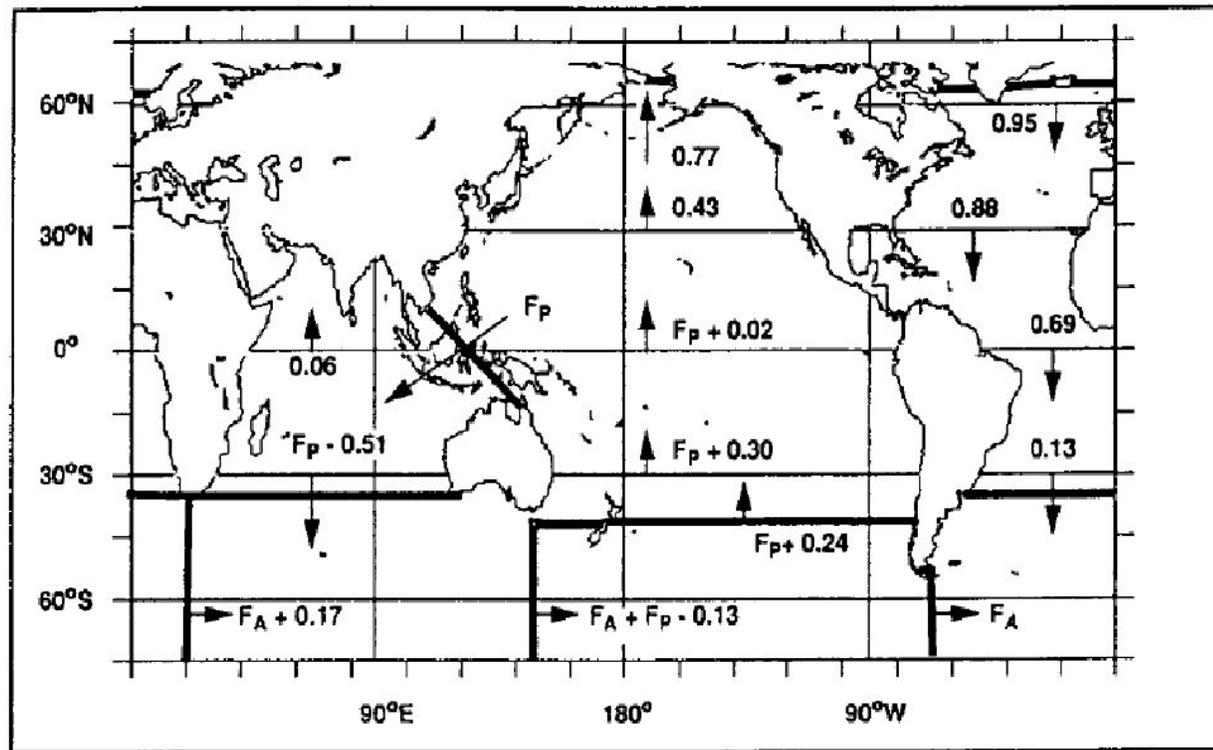


Figure 2.7. Meridional freshwater transport (in  $10^9$  kg/s) in the ocean, with the quantities  $F_p$  and  $F_A$  referring to the freshwater transport of the Pacific-Indian through flow and that of the Antarctic Circumpolar Current at Drake Passage, respectively (Wijffels et al., 1992).

# Типы морских течений

Ветровые  
Дрейфовые  
Градиентны  
е  
Плотностны  
е  
Приливные  
Стоковые  
Волновые

# Формирование глобальной циркуляции океана

Ветровая циркуляция  
Термохалинная  
циркуляция

# Важные понятия в геофизической гидродинамике

Кориолисово ускорение (x) =  $\Omega \times$

$\mathbf{V}$   
Кориолисово ускорение (x) =

$f_y$   
Кориолисово ускорение (y) =

$-f_x$   
Параметр Кориолиса  $f = -2 \Omega \sin(\phi)$

$$\beta = \frac{\partial f}{\partial y}$$

Угловая скорость вращения Земли  $\Omega = 7.29 \times 10^{-5} \text{ c}^{-1}$

Географические  
соотношения

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} = f v$$

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} = -f u$$

Сохранение абсолютной  
завихренности

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\xi + f}{H} \right) = 0$$

H – толщина слоя  
океана

Дивергенци

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} > 0$$

$\nabla \cdot \mathbf{V}$

Конвергенци

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} < 0$$

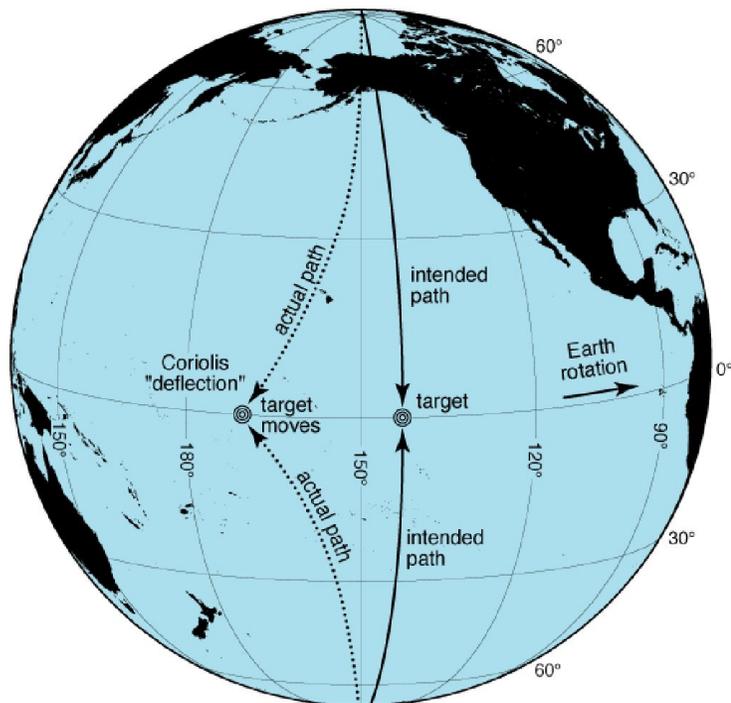
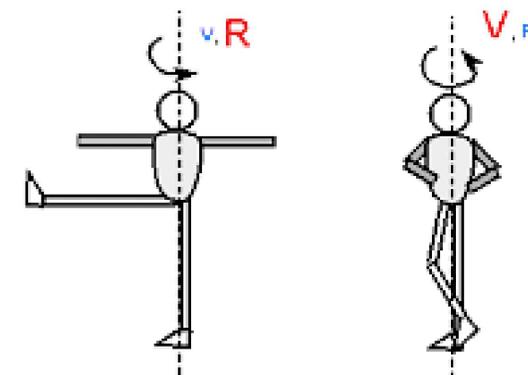
Относительная  
завихренность

$$\xi = \nabla \times \mathbf{u}. \quad \xi = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}$$

Абсолютная  
завихренность

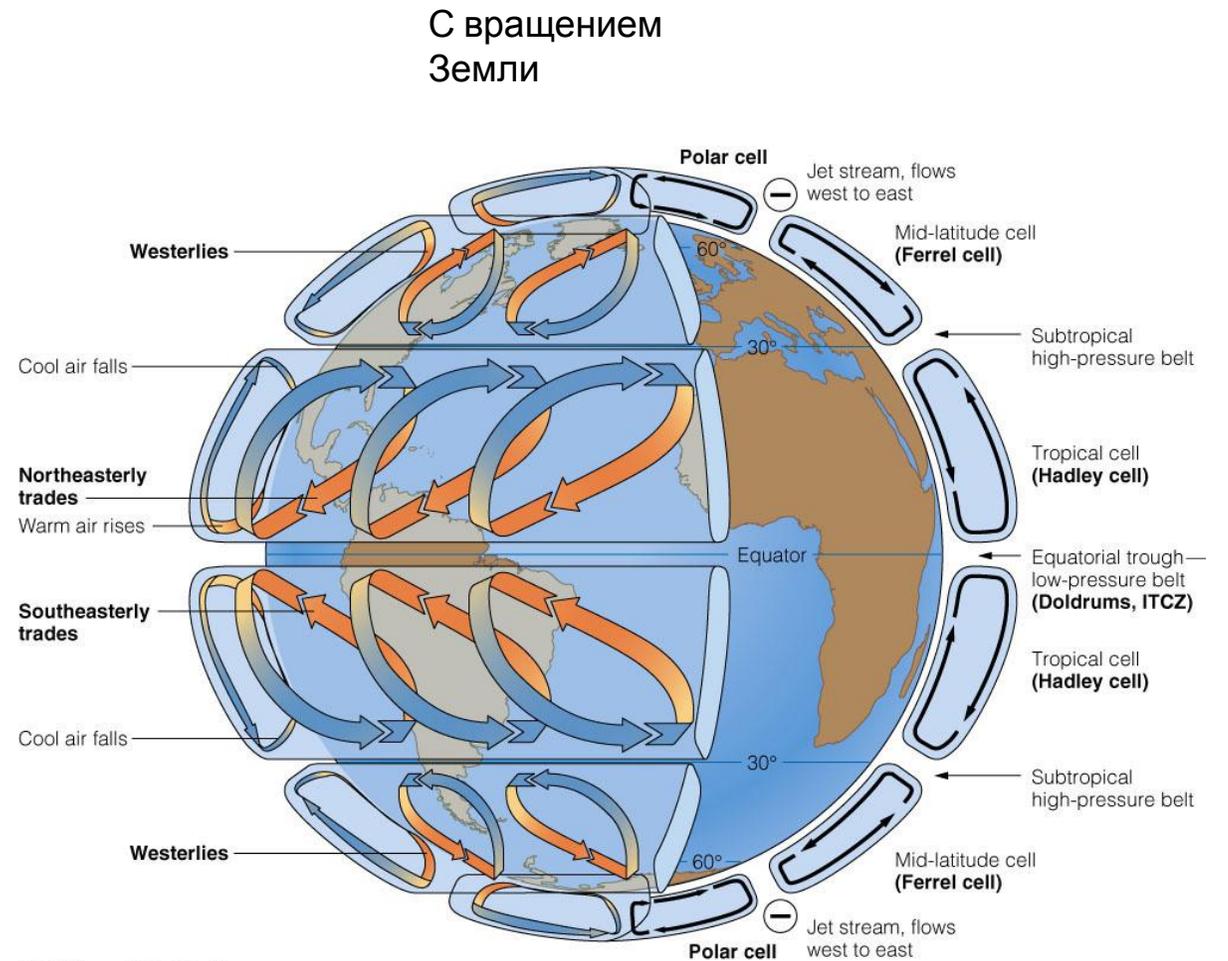
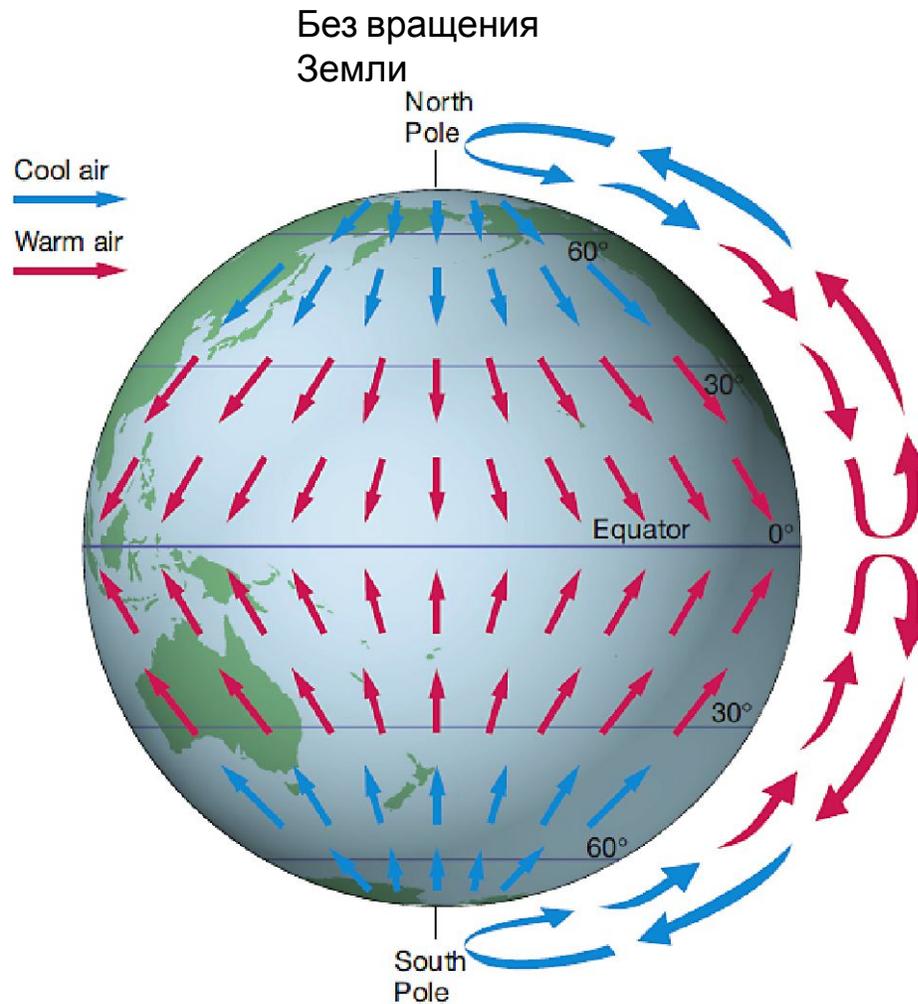
$$f + \xi$$

→ Аналог сохранения момента импульса  
(углового момента)



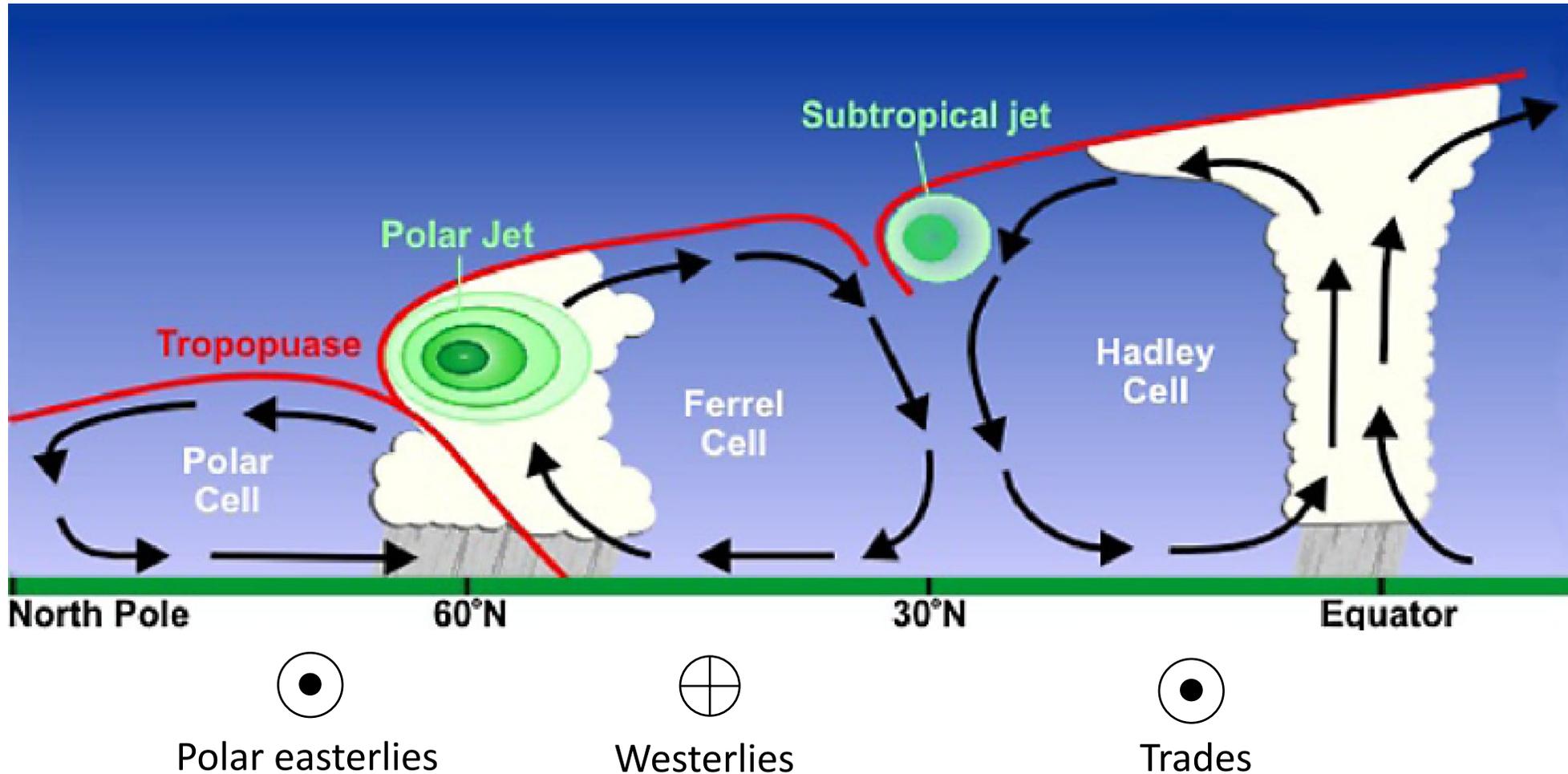
# Глобальная атмосферная циркуляция

## Ячейки глобальной циркуляции



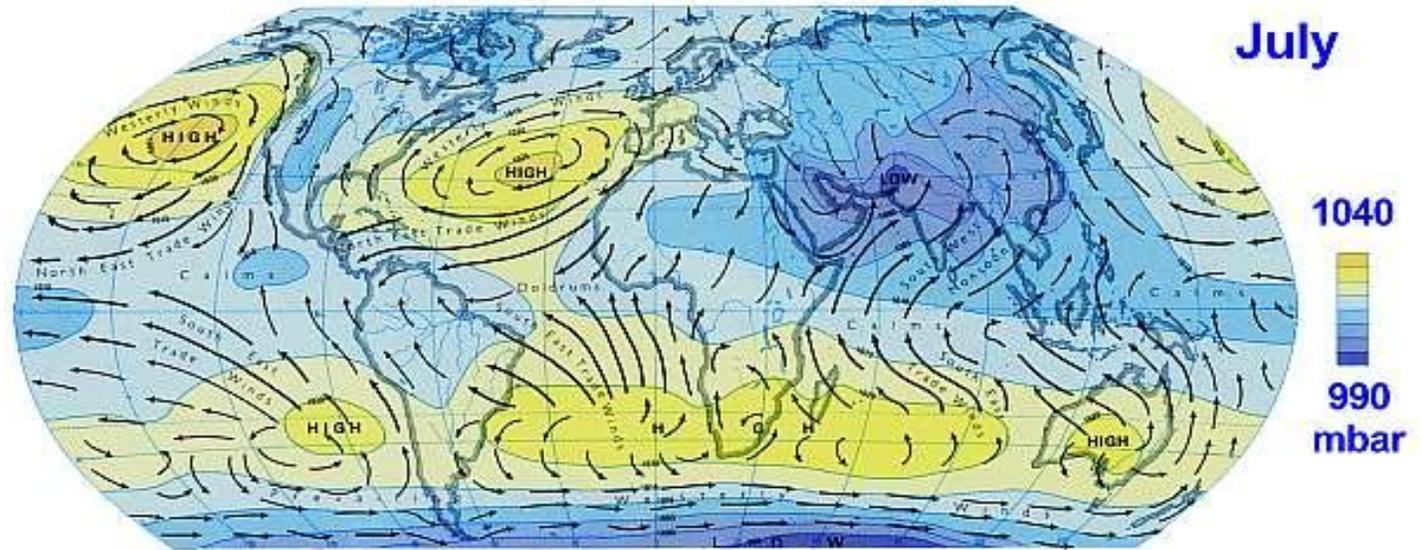
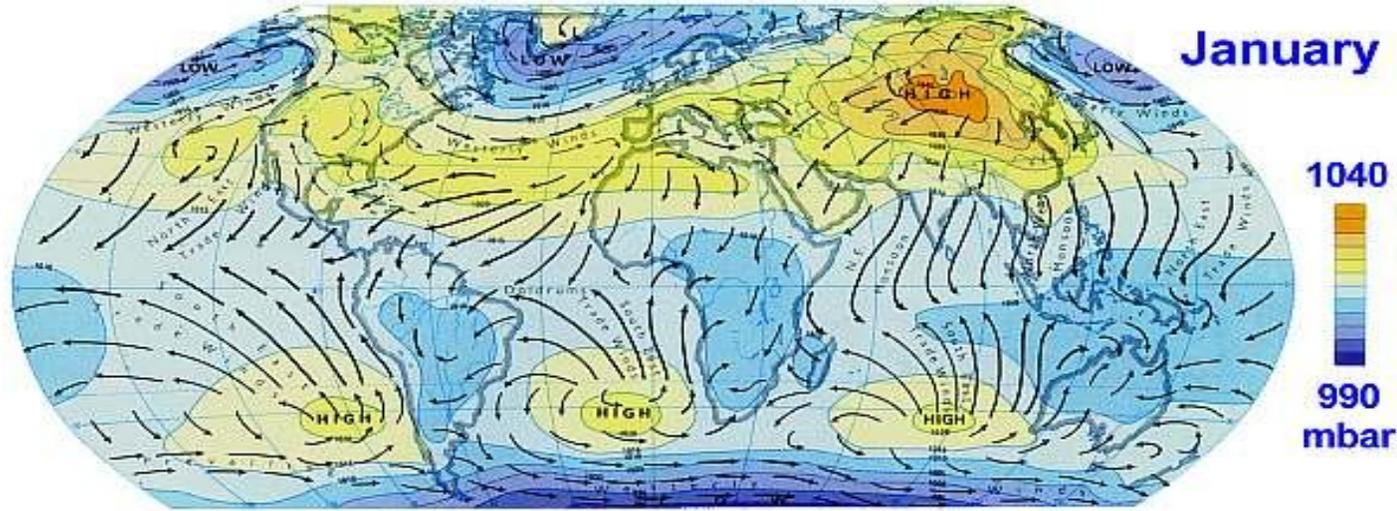
# Глобальная атмосферная циркуляция

Ячейки глобальной циркуляции



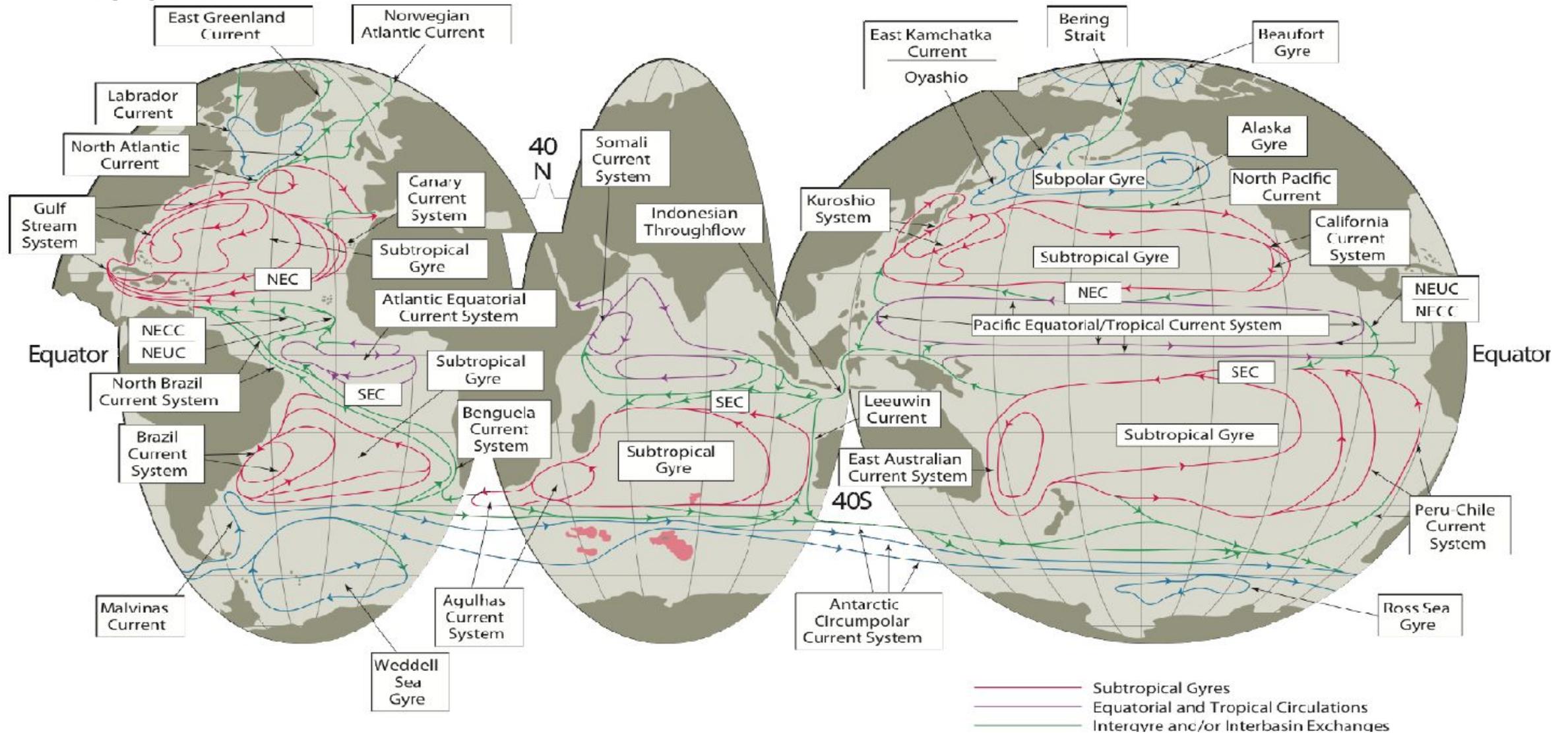
# Глобальная атмосферная циркуляция

## Приземный ветер



# Ветровая циркуляция

## Системы поверхностных течений



# Ветровая циркуляция

Дрейфовые течения, теория Экмана

$$\alpha\mu \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + 2\omega v \sin \varphi = 0$$

$$\alpha\mu \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} - 2\omega u \sin \varphi = 0$$

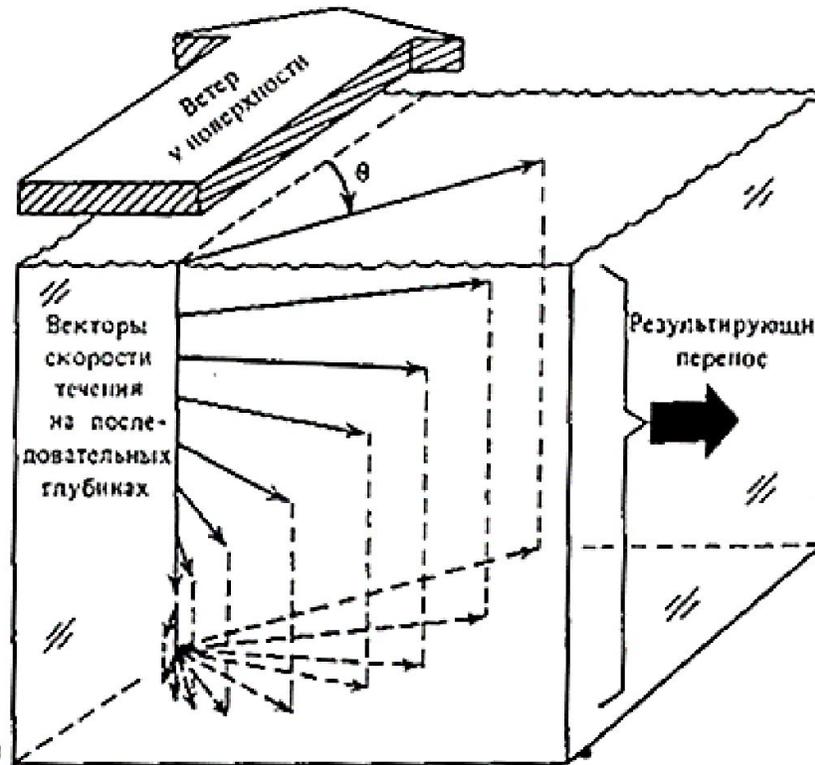


$$u = U_0 e^{-az} \cos(45^\circ - az)$$

$$v = U_0 e^{-az} \sin(45^\circ - az)$$

$\alpha$  – удельный объем;  $g$  – ускорение силы тяжести;  
 $\varphi$  – широта места;  $\mu$  – коэффициент турбулентного трения

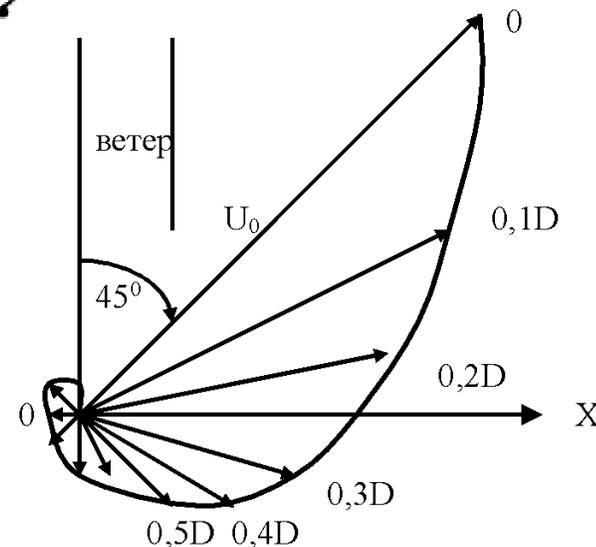
*F.W. Ekman (1905)*



$$\Phi_x = \frac{U_0 D}{\pi \sqrt{2}},$$

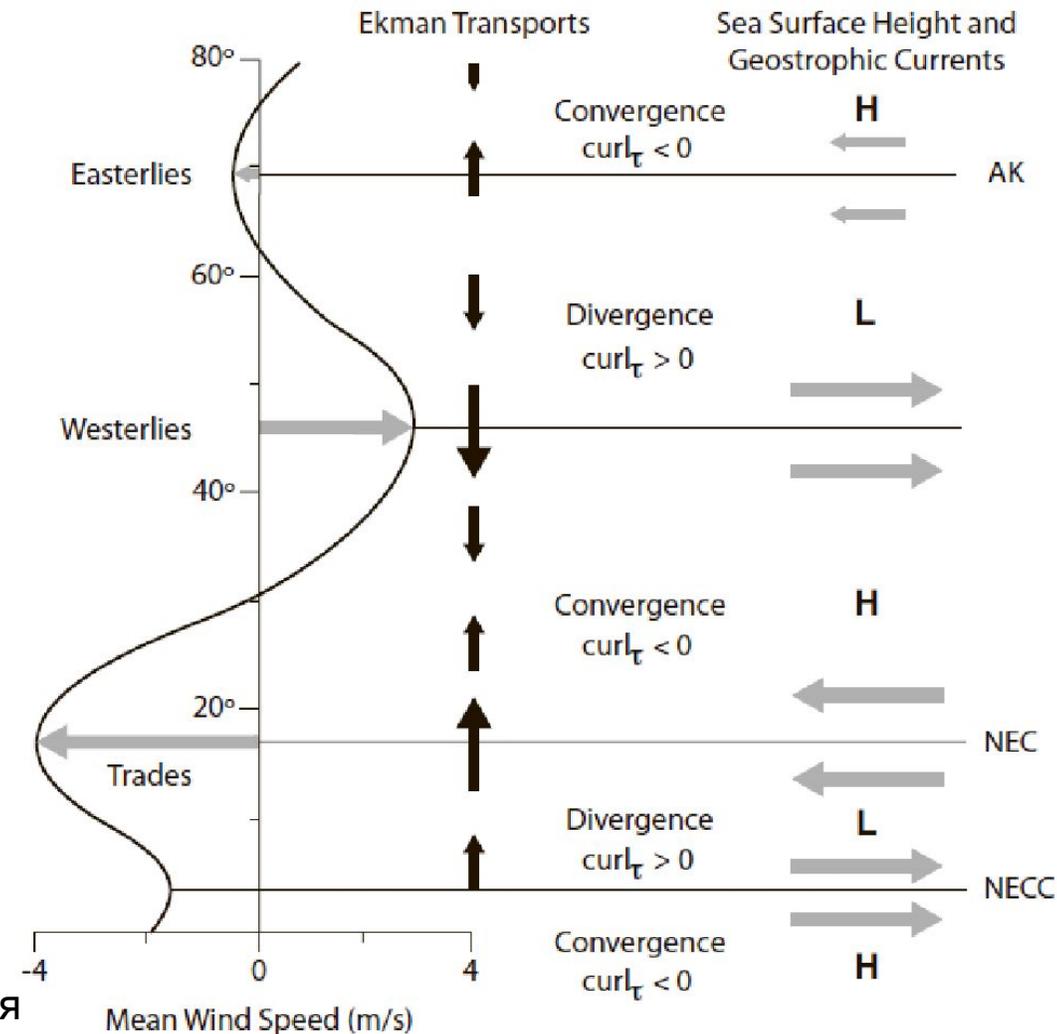
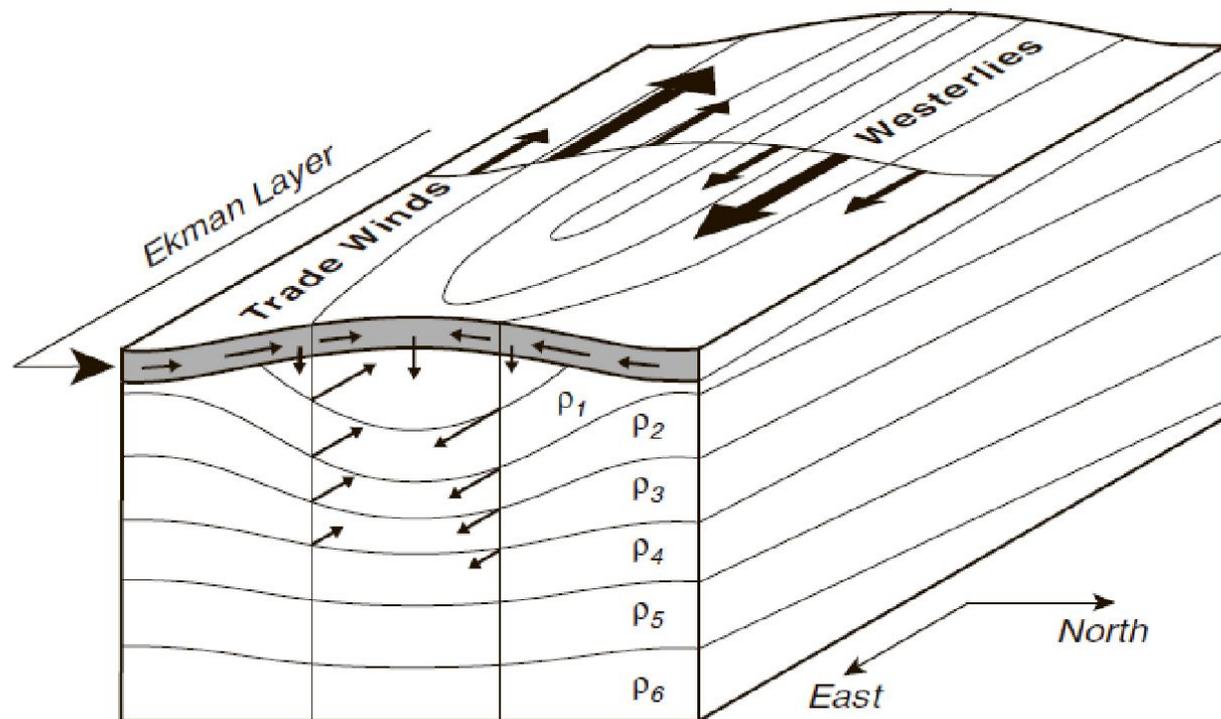
$$\Phi_y = 0.$$

Полный поток воды  
 $D$  – глубина трения



# Ветровая циркуляция

## Экмановский поток



Непрямое воздействие ветра.

Перераспределение масс воды

Геострофическая циркуляция

# Ветровая циркуляция

## Свердруповский поток

Растяжение за счет вертикальной скорости

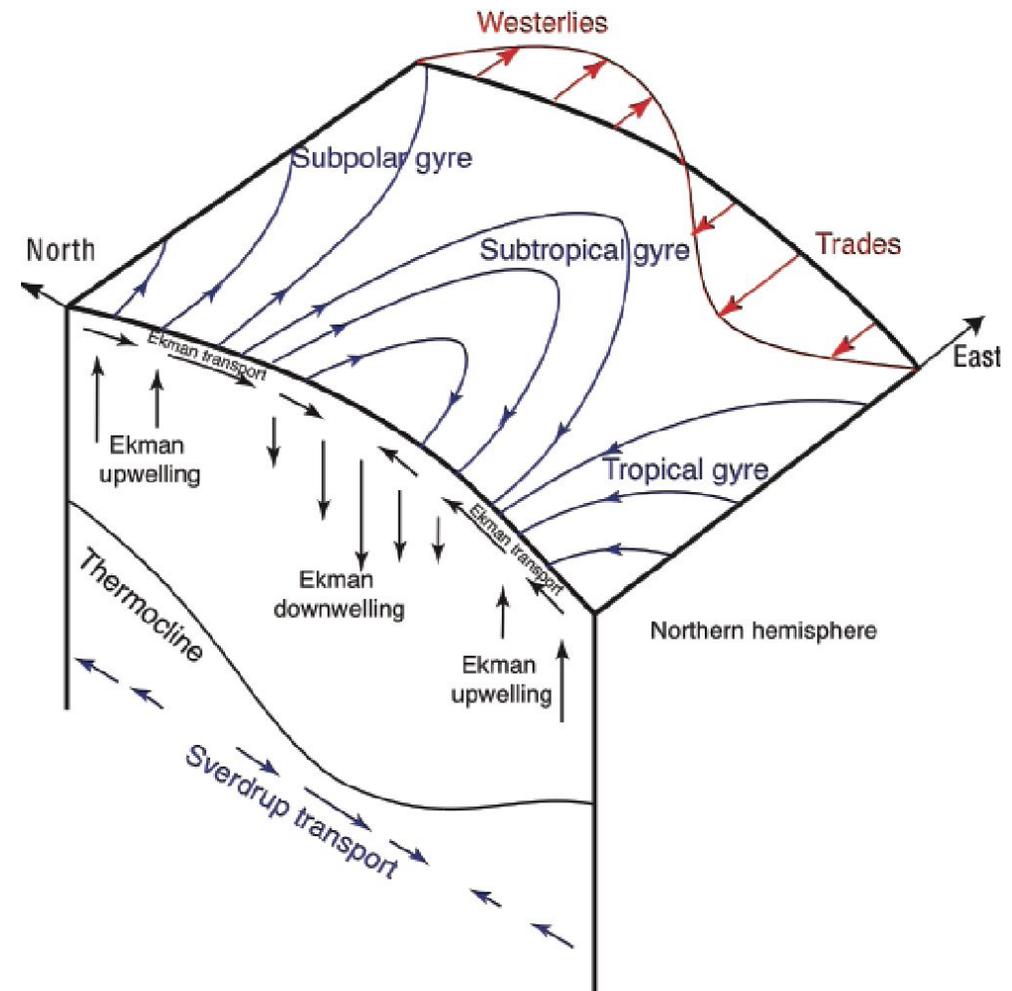
$$w_E = \frac{1}{\rho} \hat{k} \cdot \nabla \times \begin{pmatrix} \bar{T} \\ \bar{f} \end{pmatrix}$$

Сохранение потенциальной завихренности

$$(f + \zeta)/H$$

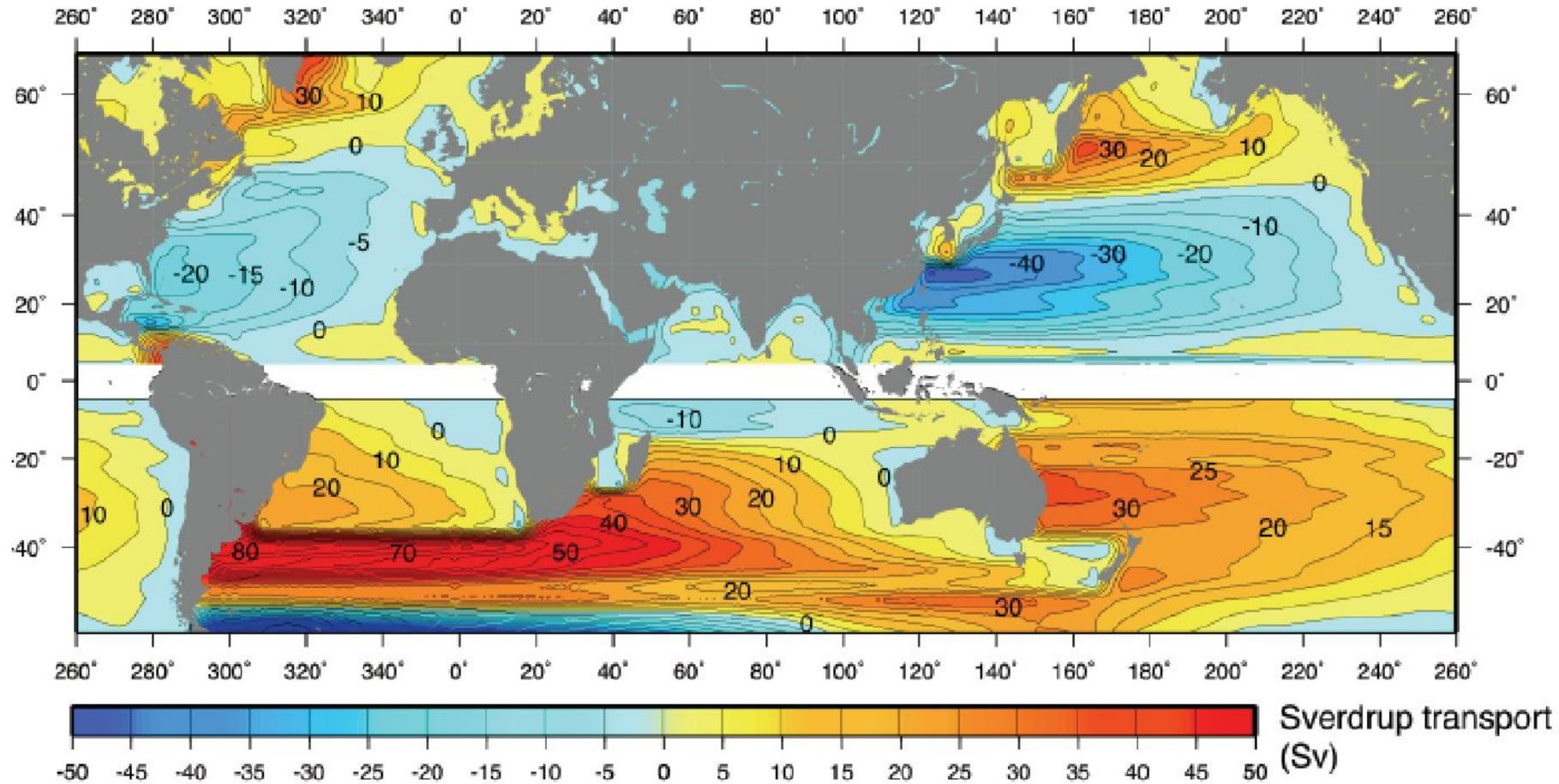
**H. Sverdrup** (1947)

$$M_y \approx -\frac{1}{\beta} \frac{\partial T_x}{\partial y}$$



# Ветровая циркуляция

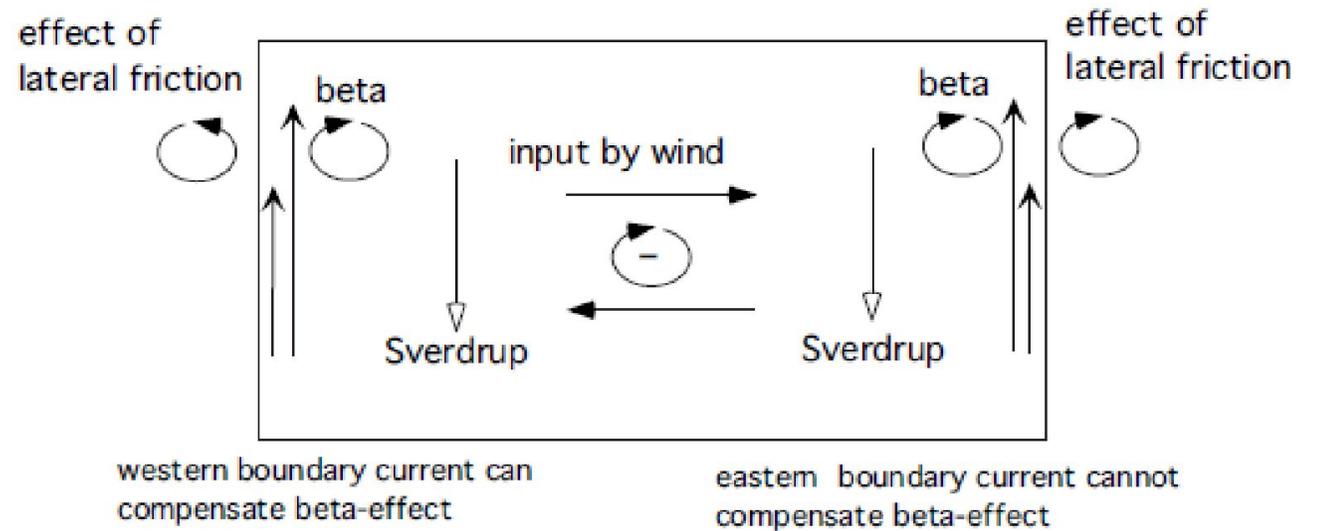
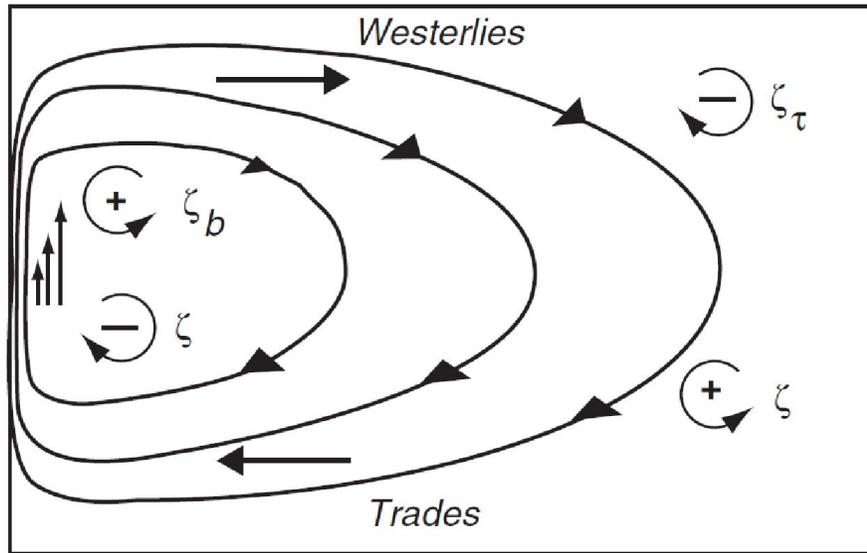
## Свердруповский поток



Субдукция  
Свердруповский поток + Конвекция

# Ветровая циркуляция

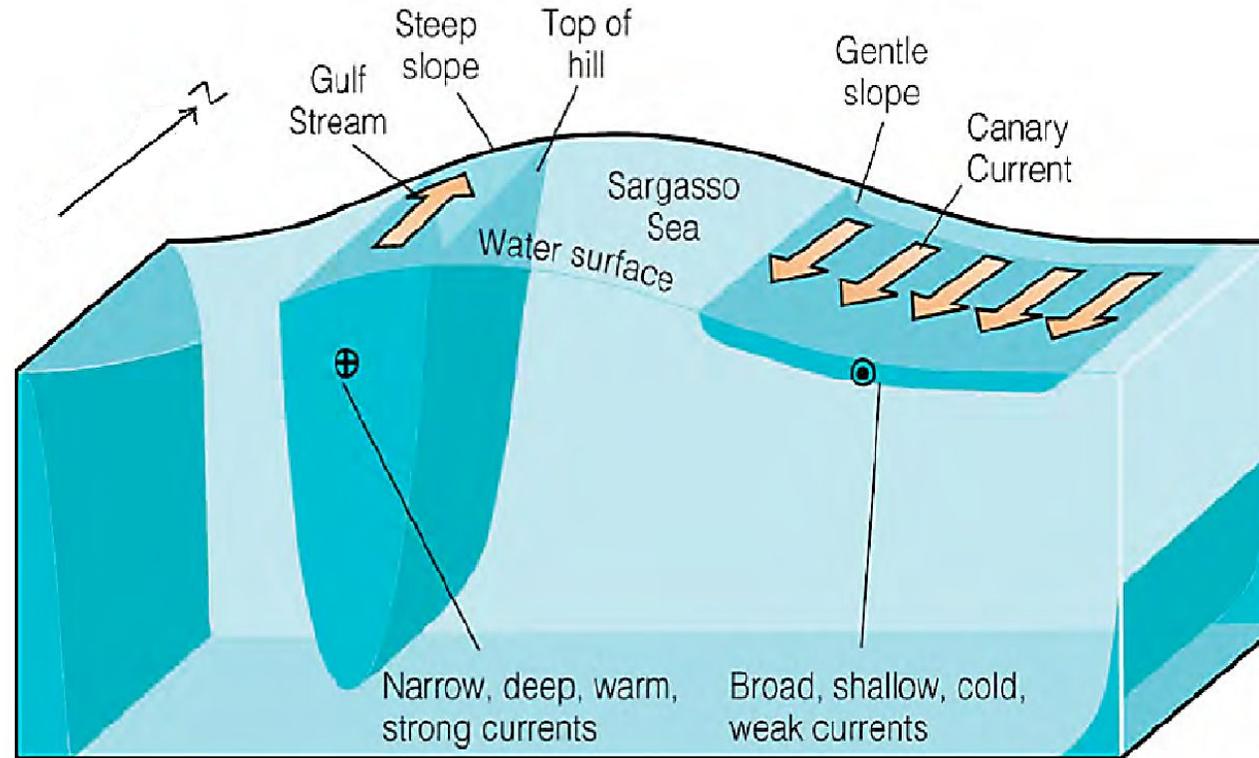
## Западные пограничные течения



**Stommel, Munk (1948, 1950)**

# Ветровая циркуляция

## Пограничные течения



$$1 \text{ Sv} = 1 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ c}^{-1}$$

### Западные пограничные течения

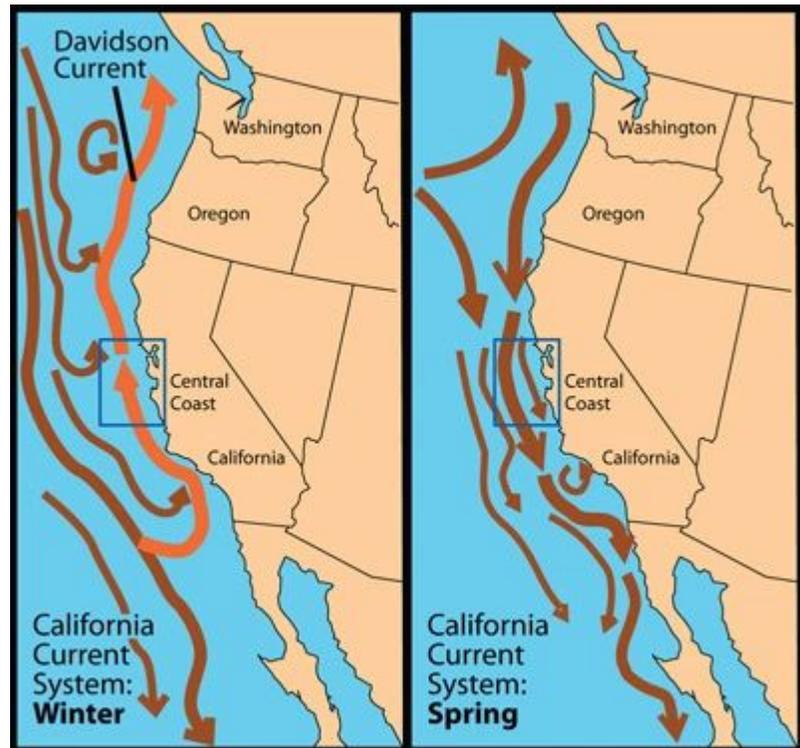
- Гольфстрим (30-150 Sv)
- Курисио (20-30 Sv)
- Сомалийское (10-90 Sv)
- Восточно-Австралийское (20-40 Sv)
- Бразильское (10-20 Sv)
- Агульяс (10-20 Sv)
- Быстрые (до 2 м/с)
- Глубокие (~ 1 км)
- Узкие (~ 100 км)
- Теплые

### Восточные пограничные течения

- Канарское
- Бенгельское
- Калифорнийское
- Перуанское
- Западно-Австралийское
- Leeuwin
- Умеренные (до 0.5 м/с)
- Неглубокие (~ 100 м)
- Широкие (~ 1000 км)
- Холодные

# Ветровая циркуляция

## Восточные пограничные течения



Калифорнийское  
течение

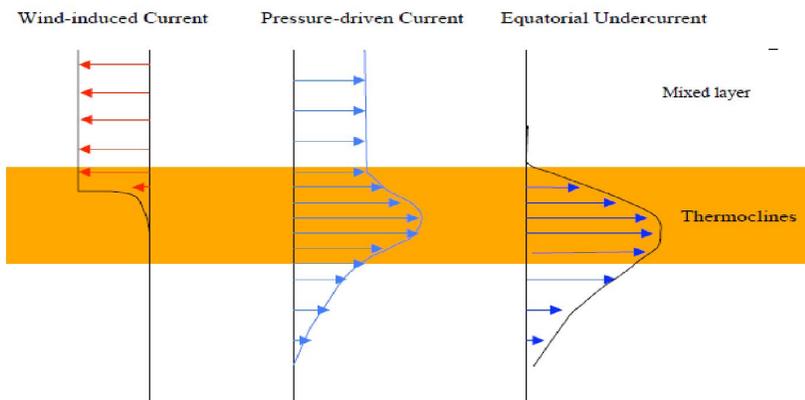
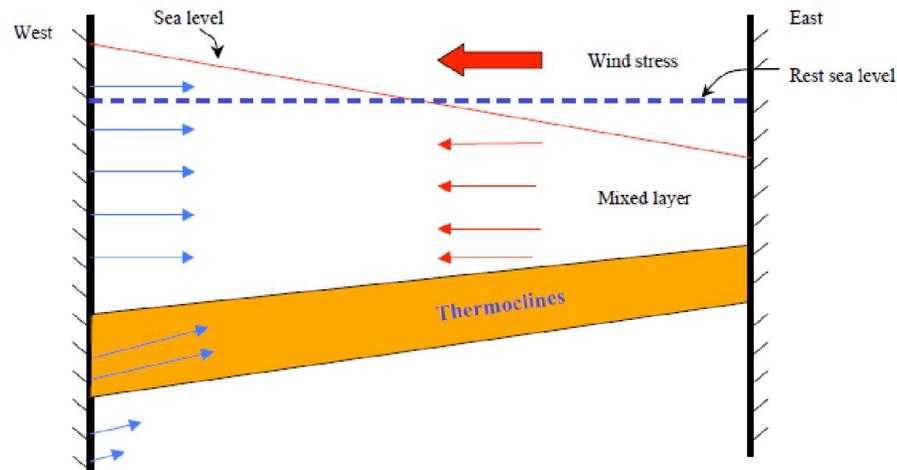
В отличие от западных пограничных течений баланс потенциальной завихренности не играет определяющей роли.

Геострофическое течение, поверхностный поток к экватору и подповерхностный поток к полюсу, прибрежный апвеллинг.

# Ветровая циркуляция

## Экваториальные течения

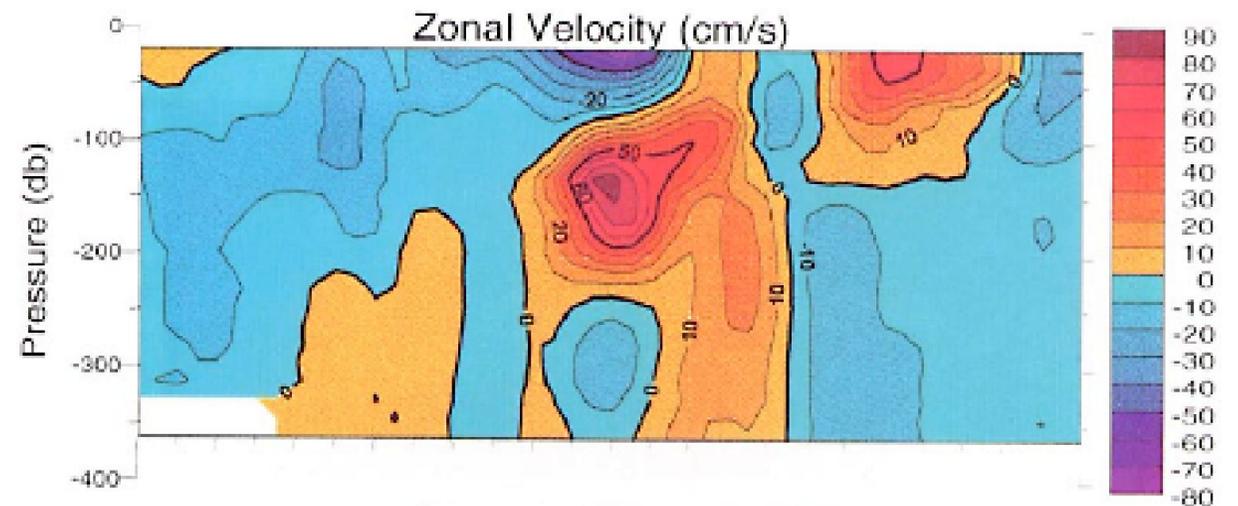
### Equatorial Undercurrent



Главная причина отличительных особенностей экваториальной системы течений заключается в стремлении силы Кориолиса на экваторе к нулю.

Экваториальные течения формируются пассатными ветрами, которые создают повышение уровня океана у западных берегов континентов.

Зональный градиент давления создает подповерхностное экваториальное противотечение, направленное на восток.

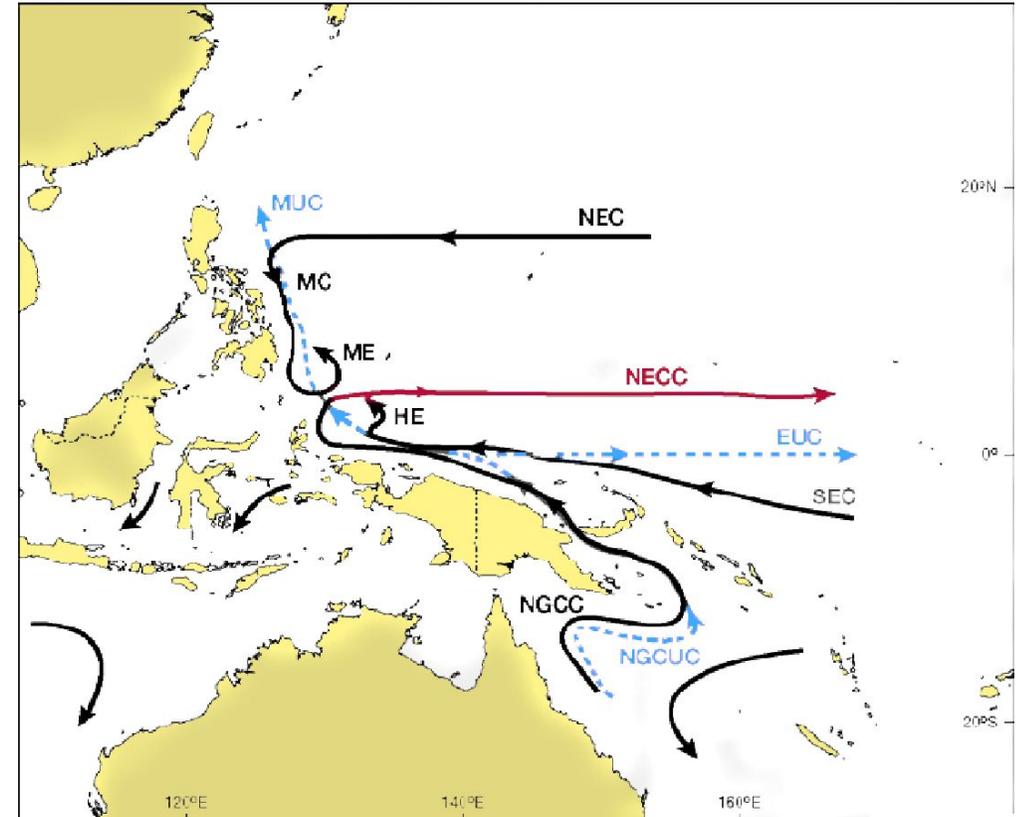
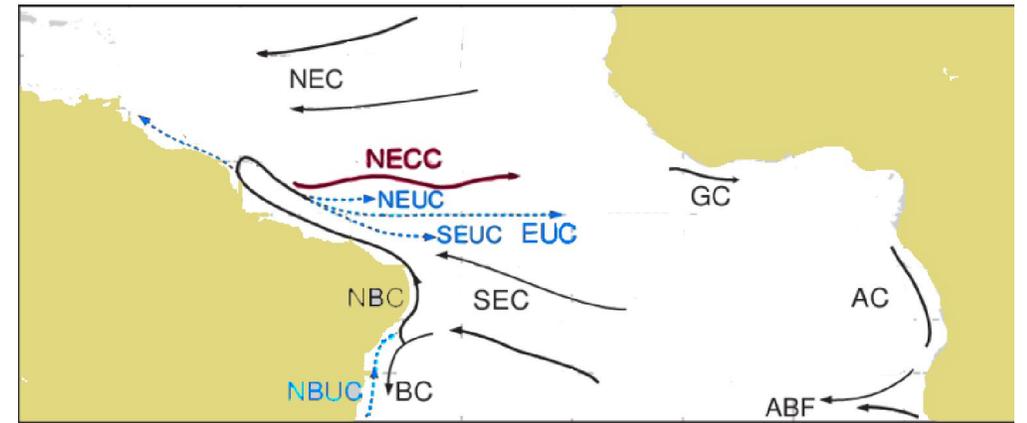


# Ветровая циркуляция

## Экваториальные течения

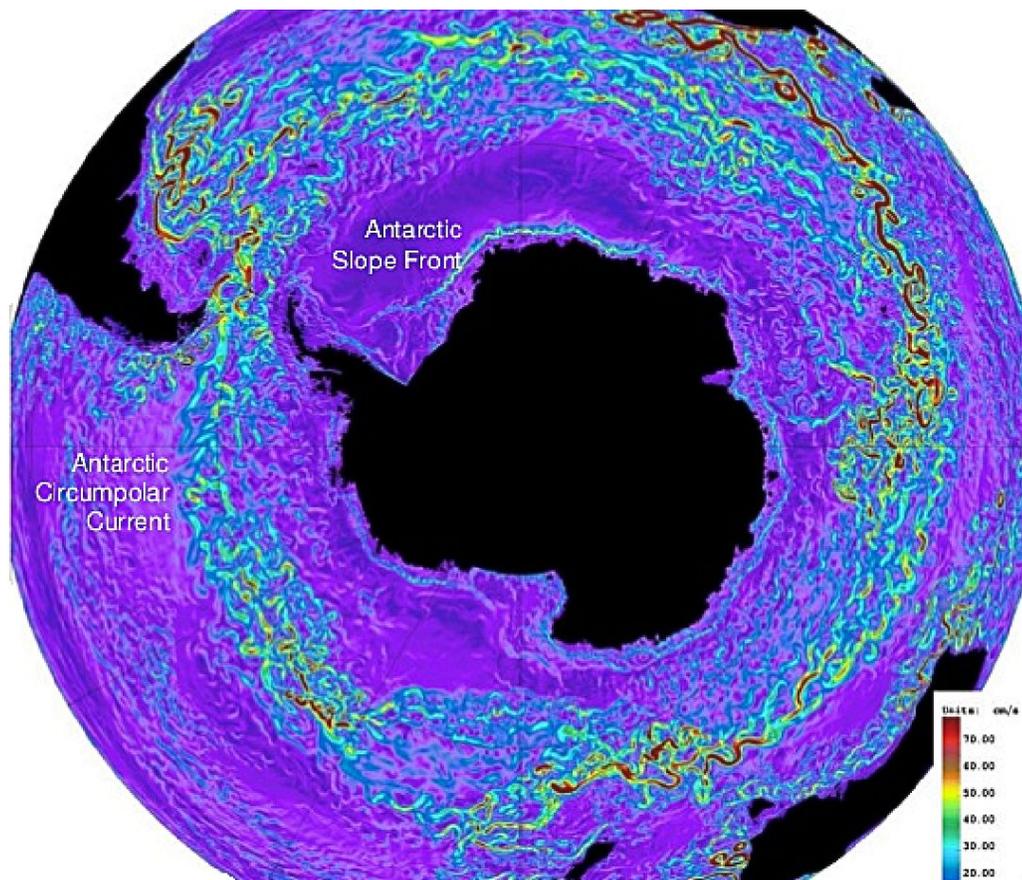
К северу от экватора пассатное противотечение в поверхностном слое направлено против господствующих ветров.

Основной механизм формирования пассатного противотечения – конвергенция свердруповского потока субтропических круговоротов северного и южного полушария



# Ветровая циркуляция

## Антарктическое циркумполярное течение (АЦТ)



(100-150 Sv)

Отсутствие континентальных барьеров обуславливает слабые зональные градиенты давления и, соответственно, слабый меридиональный перенос.

Слабое развитие в южном (океаническом) полушарии отдельных макроциркуляционных атмосферных систем приводит к слабому влиянию свердруповского потока.

Общая динамика АЦТ во многом схожа с атмосферными струйными течениями.

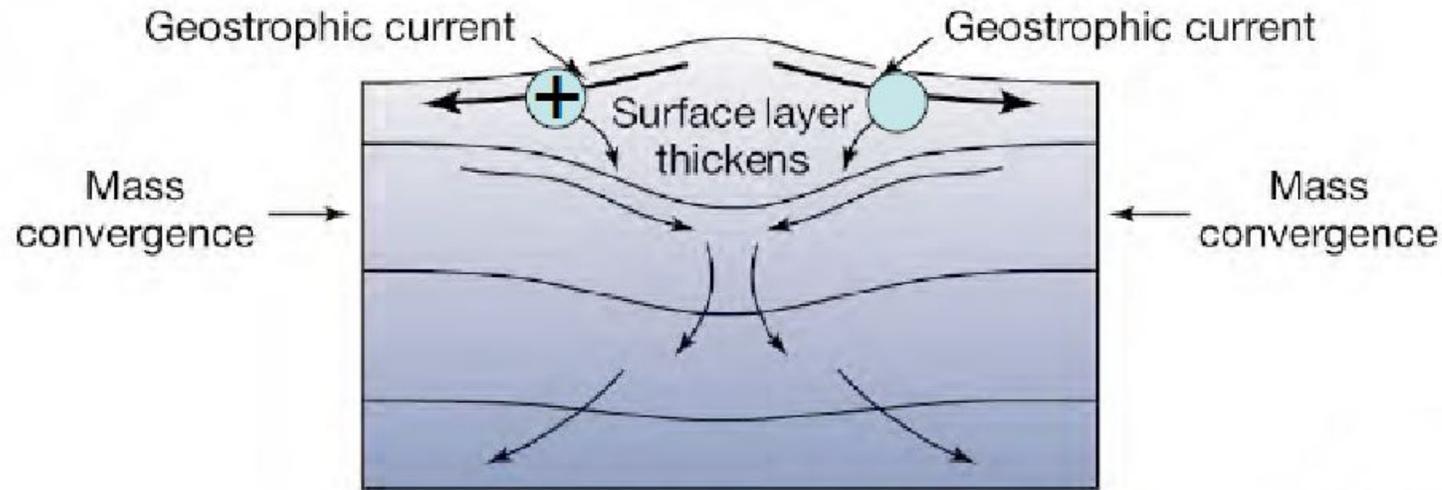
Умеренное (~ 0.7 м/с)

Глубокое (2 - 4 км)

Широкое (до 2000 км)

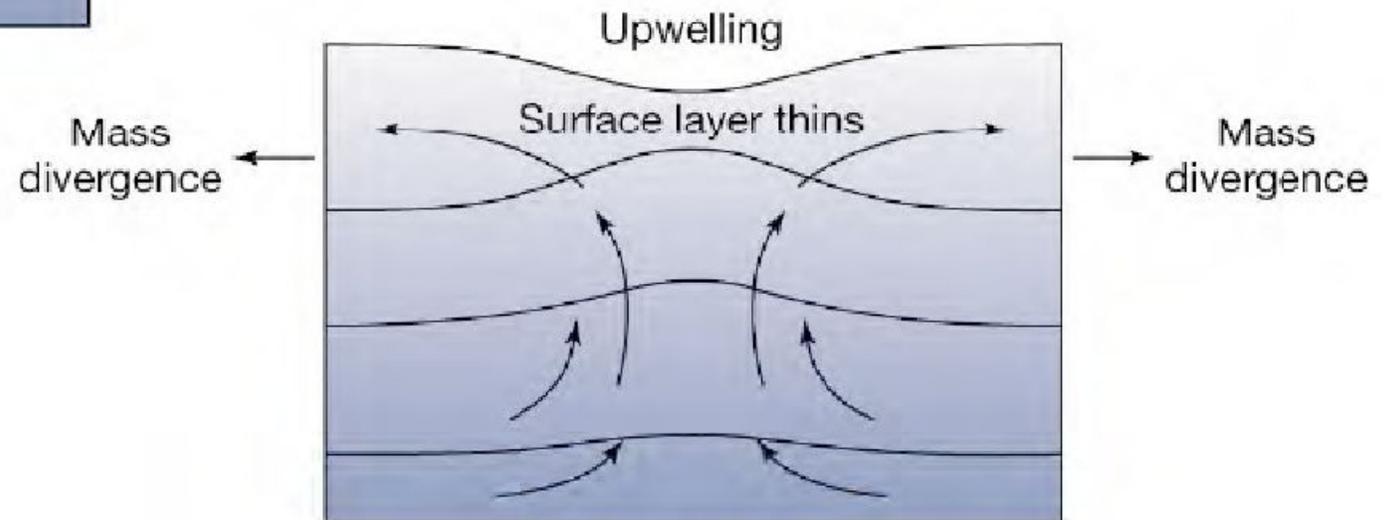
# Ветровая циркуляция

## Конвергенции и дивергенции



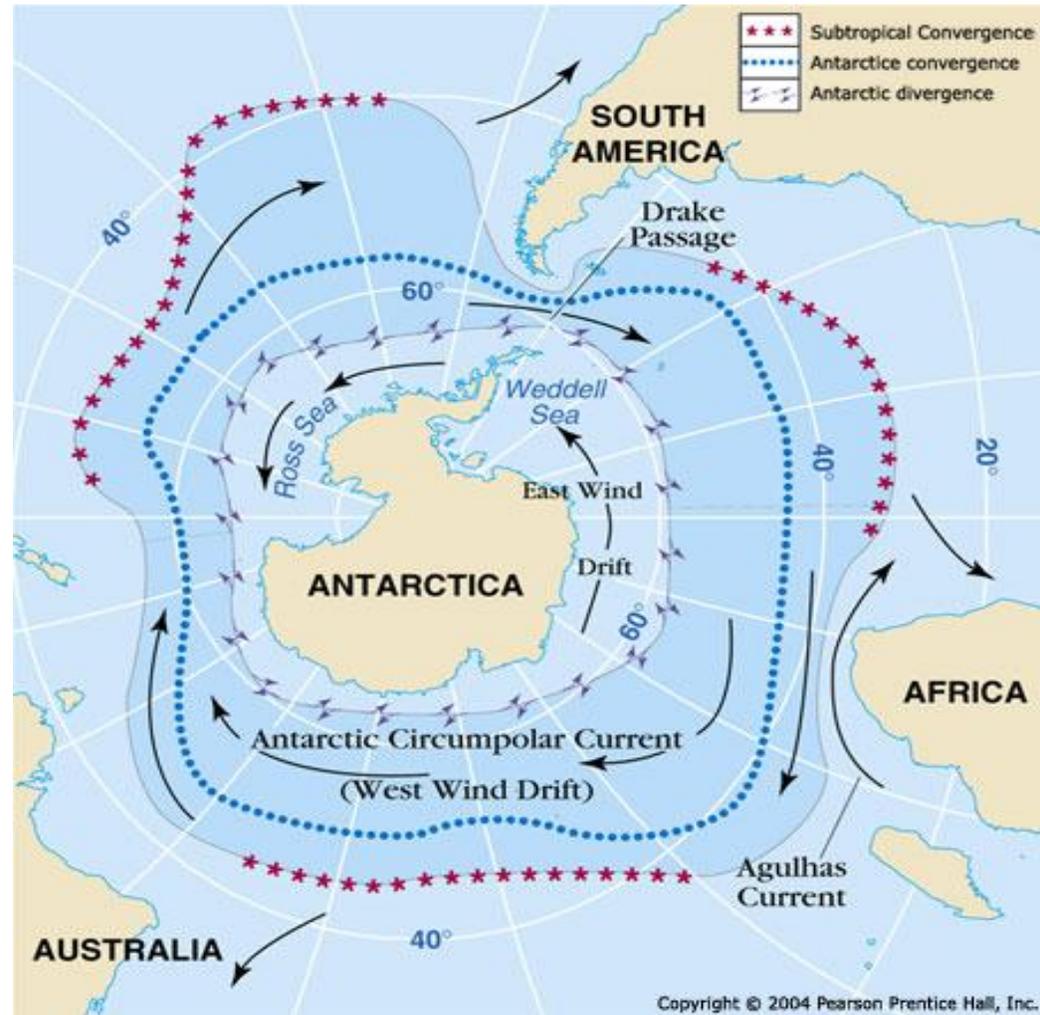
Конвергенция вод в субтропических антициклонических круговоротах приводит к нисходящим движениям

Дивергенция вод в субполярных циклонических круговоротах и в экваториальной зоне приводит к восходящим движениям



# Ветровая циркуляция

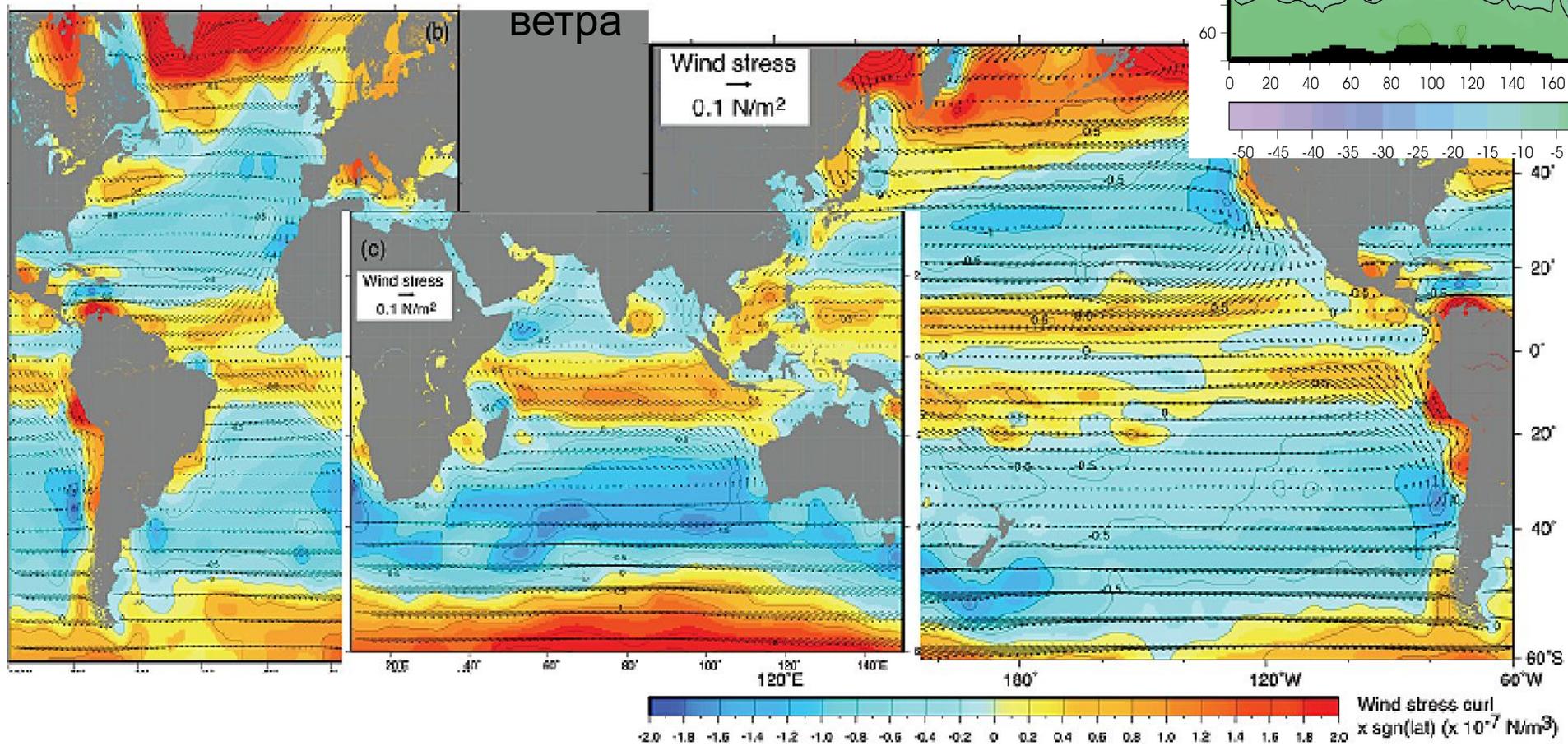
## Конвергенции и дивергенции



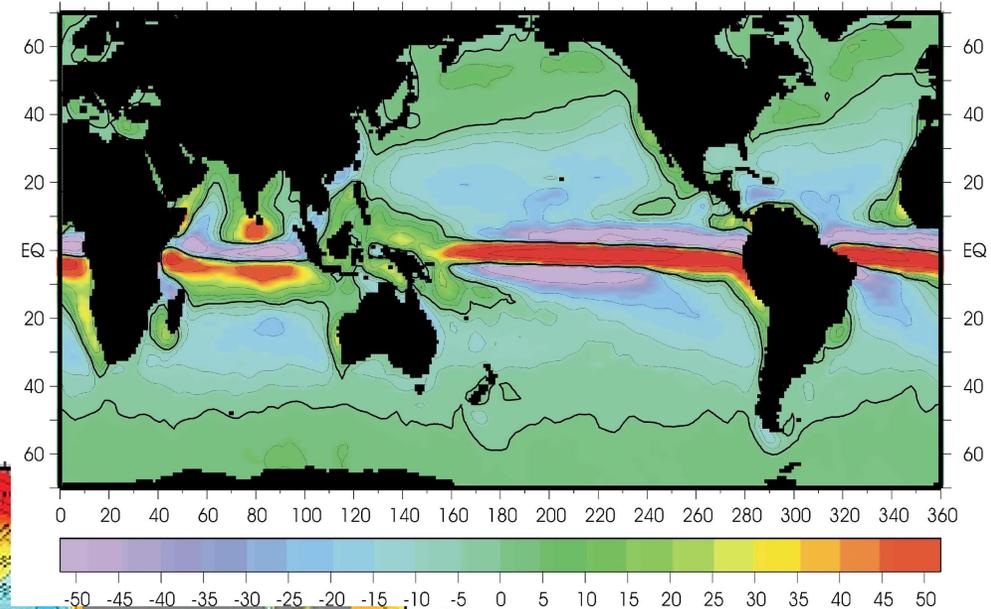
# Ветровая циркуляция

Апвеллинг и даунвеллинг

Завихренность  
ветра

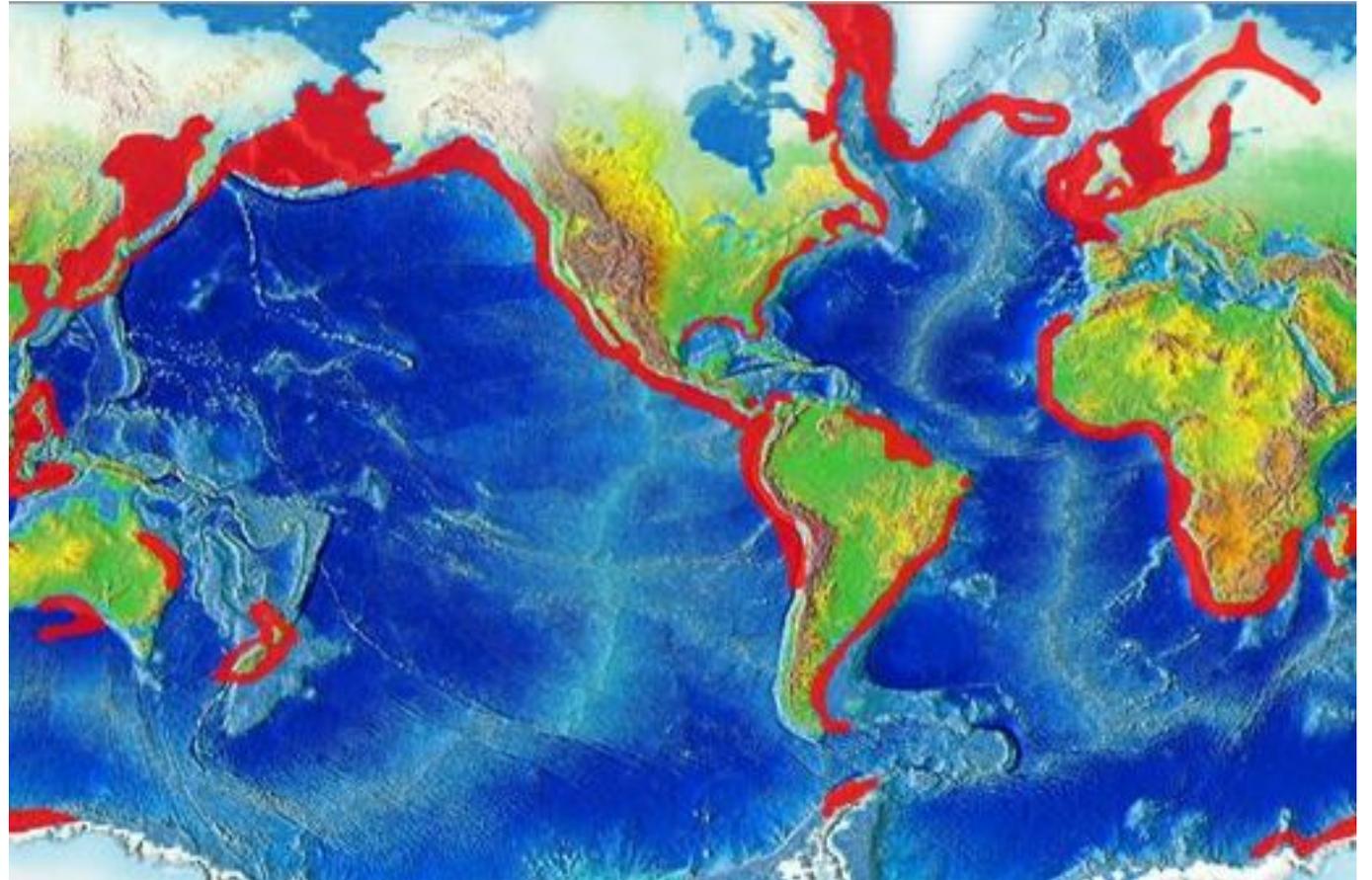
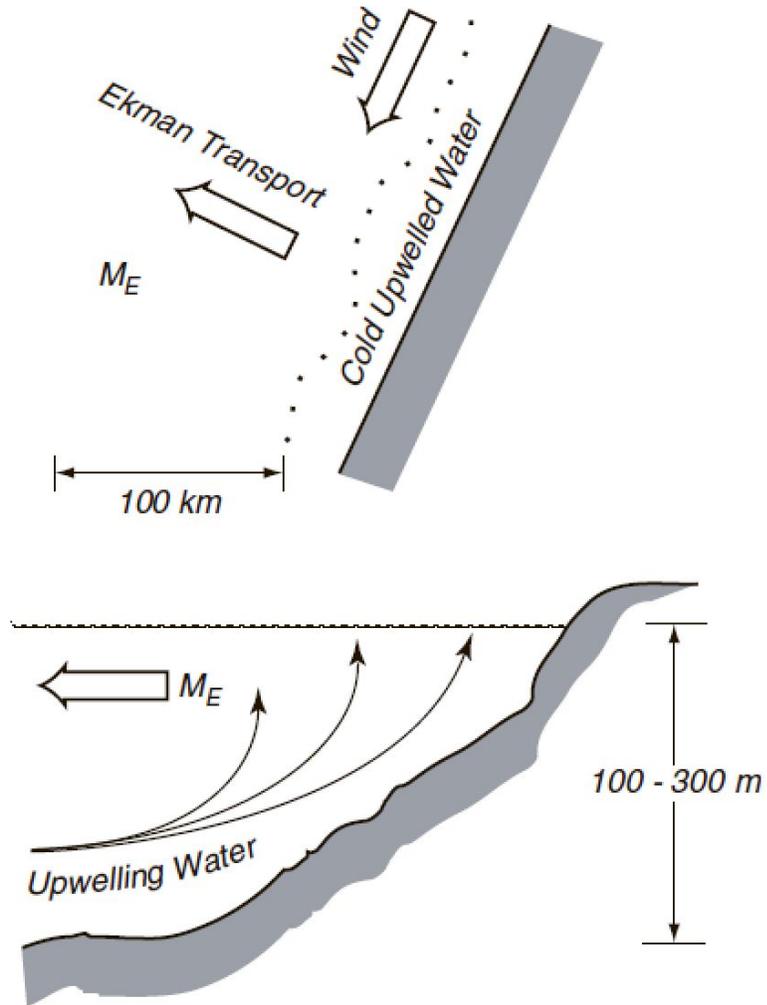


Annual Mean Global Wind-induced Upwelling (cm/day)



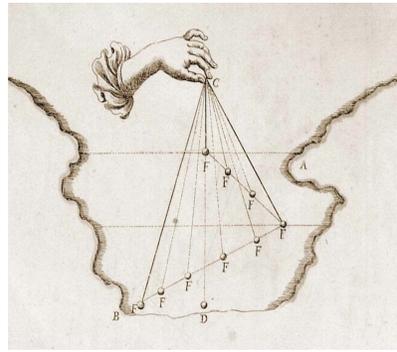
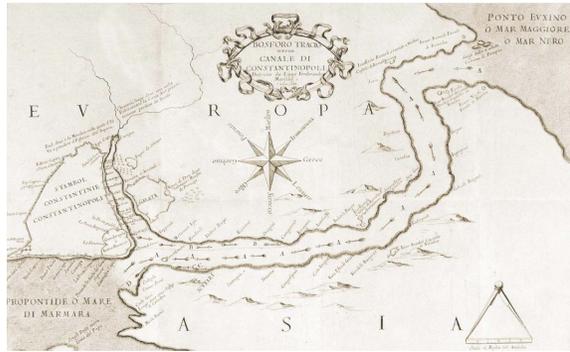
# Ветровая циркуляция

## Прибрежный апвеллинг



# Термохалинная циркуляция

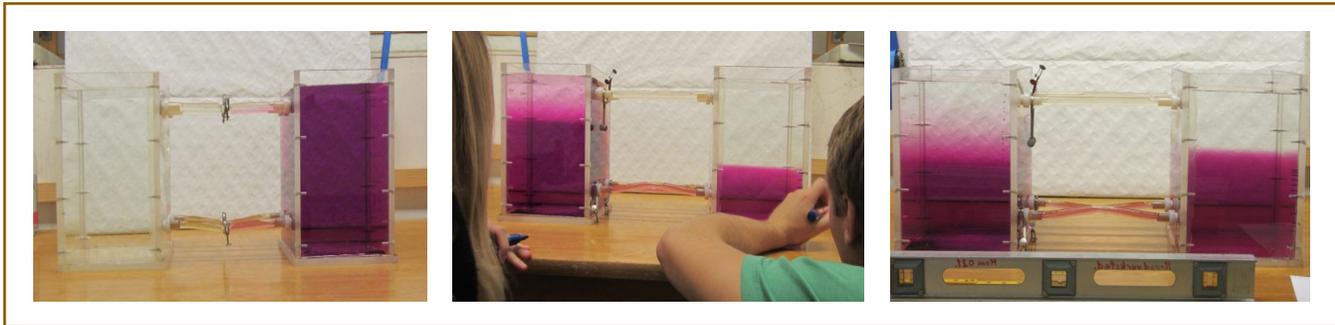
Луиджи Марсильи (1681-1725)



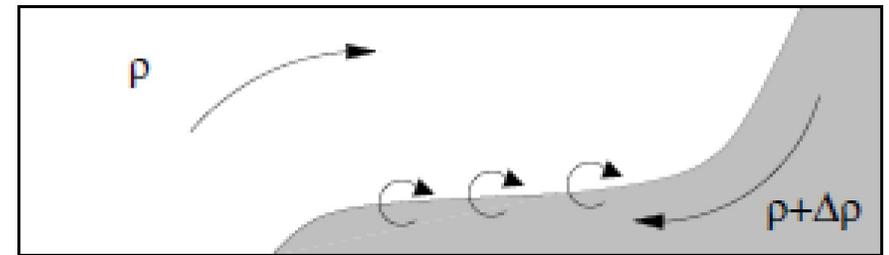
“Osservazioni intorno al Bosforo”, 1681

“Histoire physique de la mer”, 1725

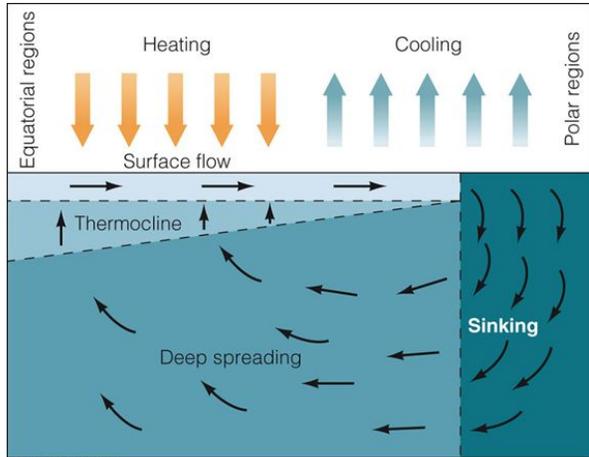
«Ящик Марсильи»



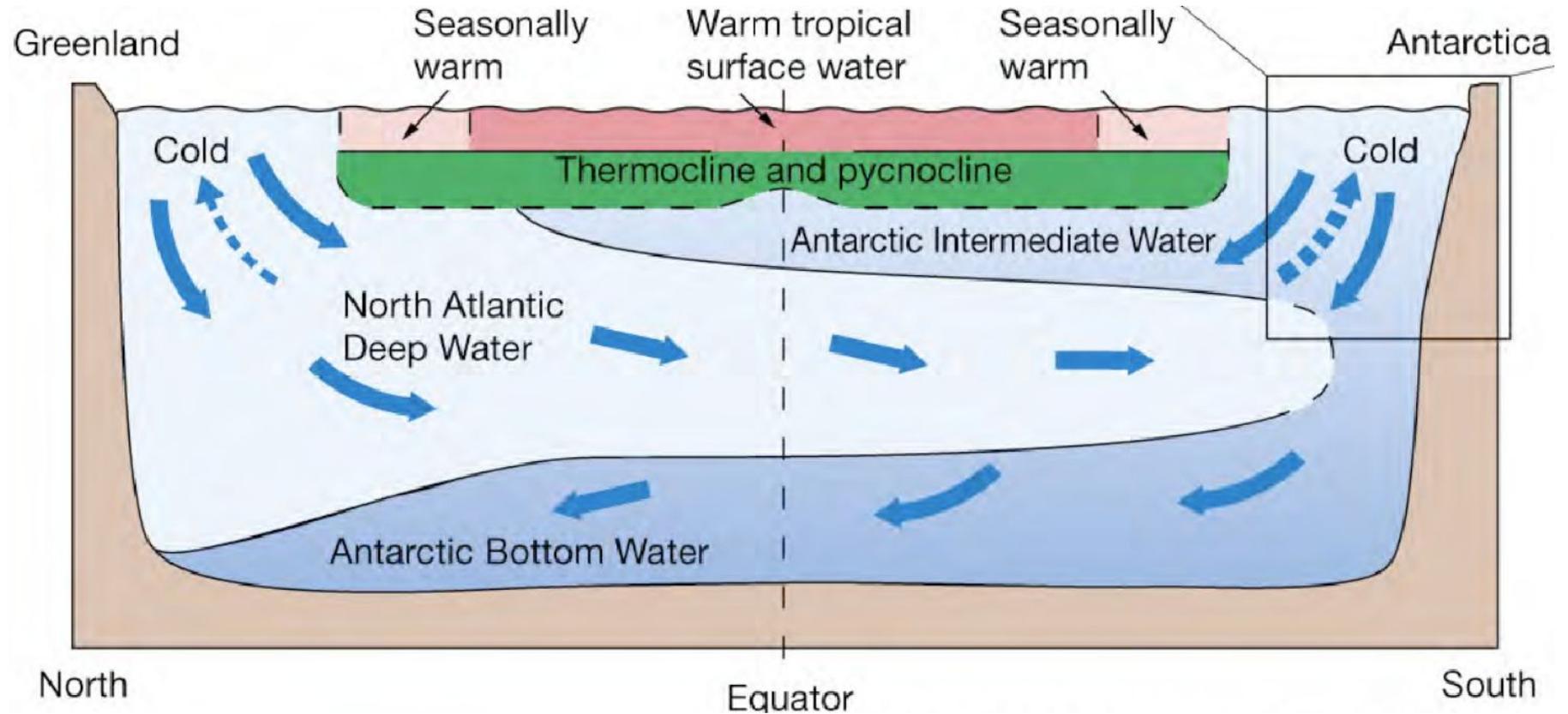
Плотностное течение



# Термохалинная циркуляция

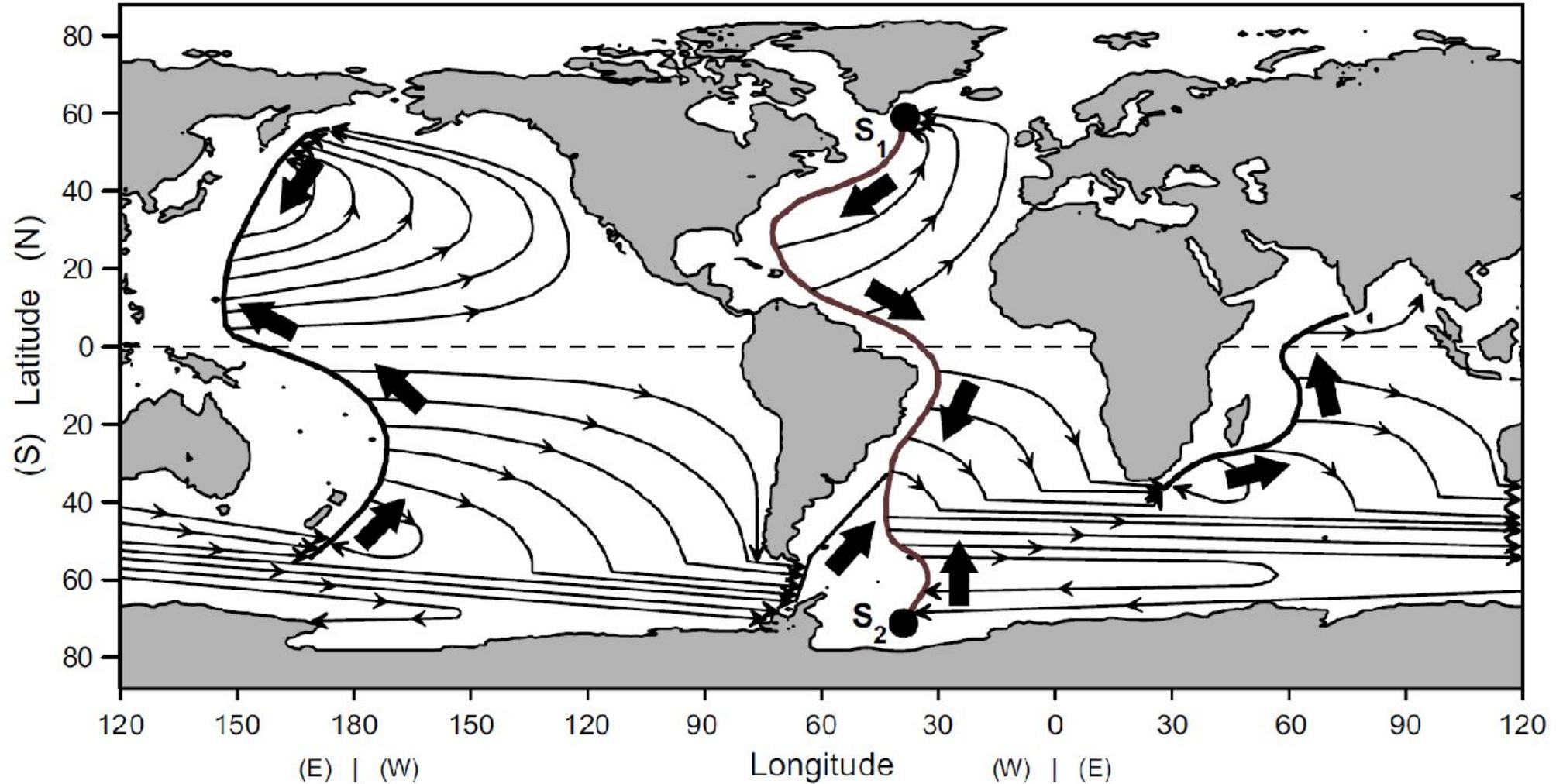


Wyrтки (1961)



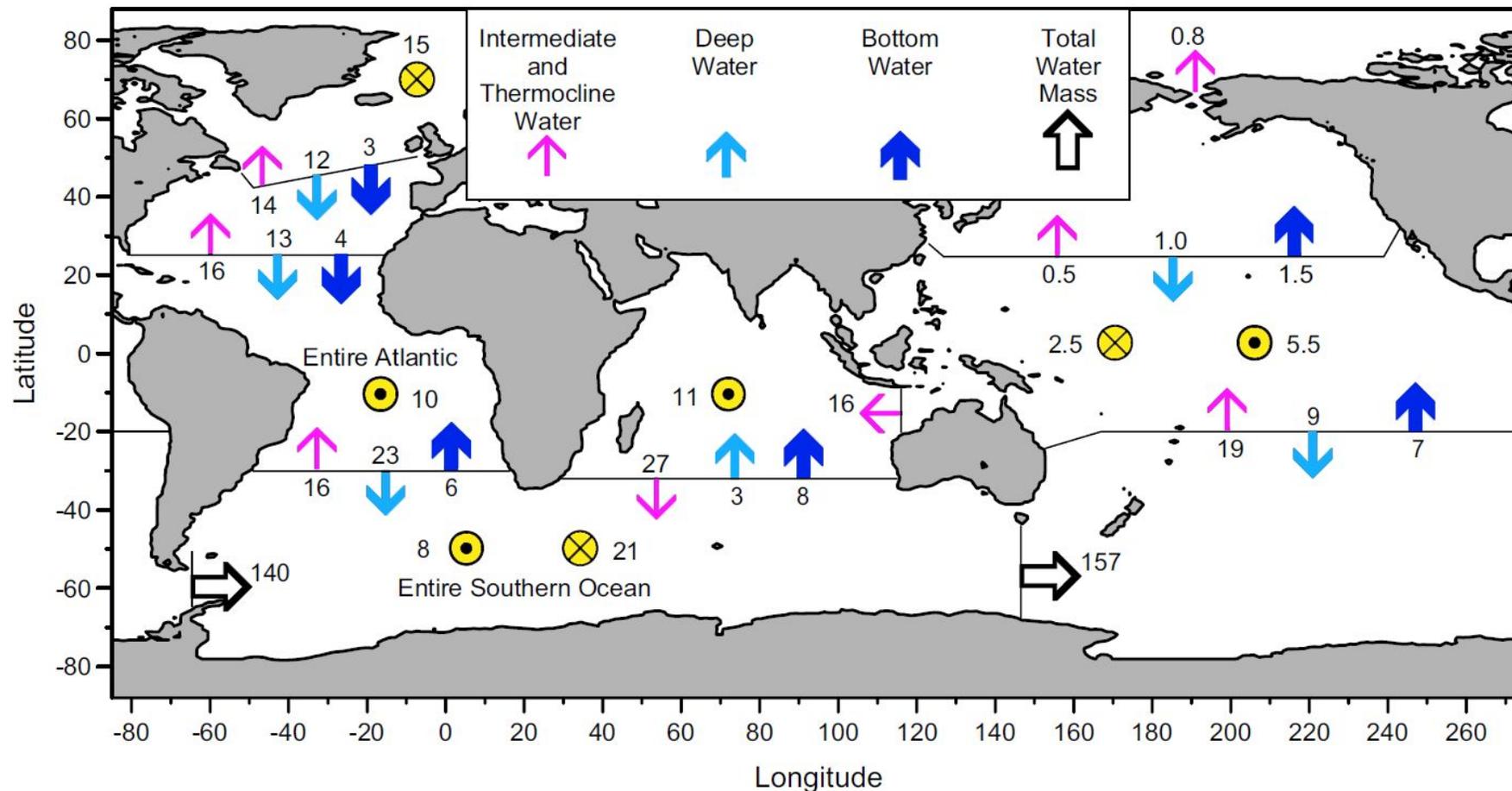
# Термохалинная циркуляция

Модель глубинной циркуляции Аарона-Стоммела



*Aaron, Stommel (1960)*

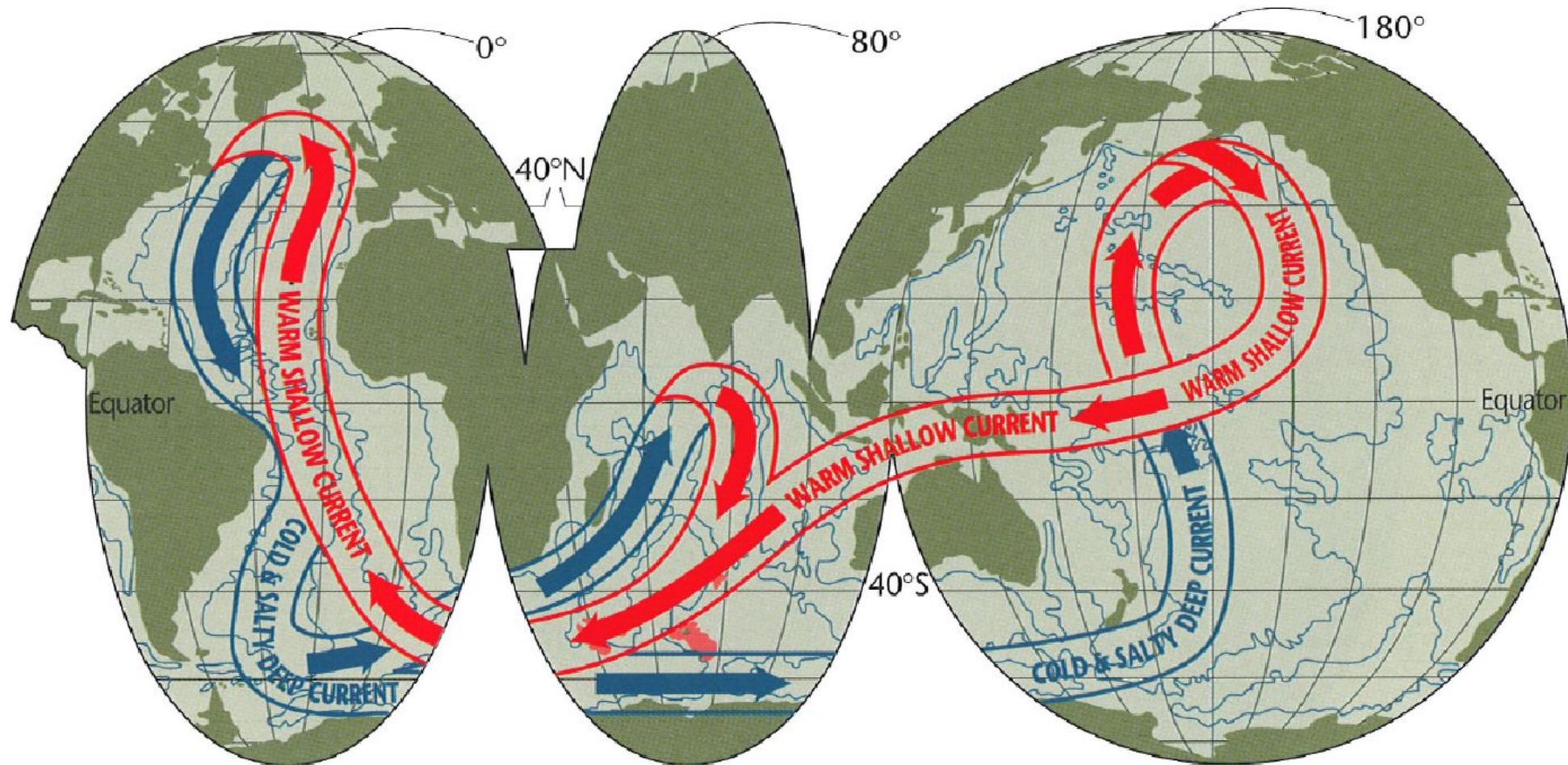
# Меридиональные потоки воды



**Volume transports in Sv ( $10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ ) of the thermohaline overturning circulation for three layers, derived by Ganachaud and Wunsch (2000)**

# Термохалинная циркуляция

Глобальный конвейер

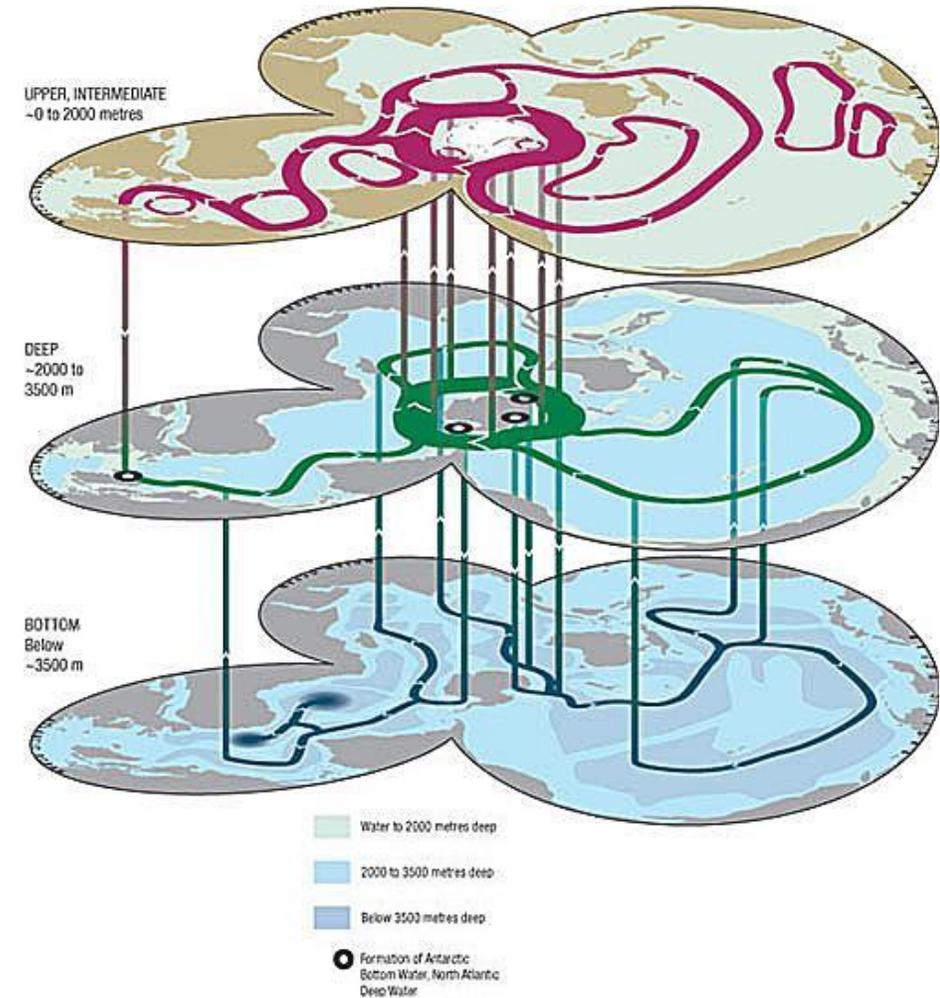
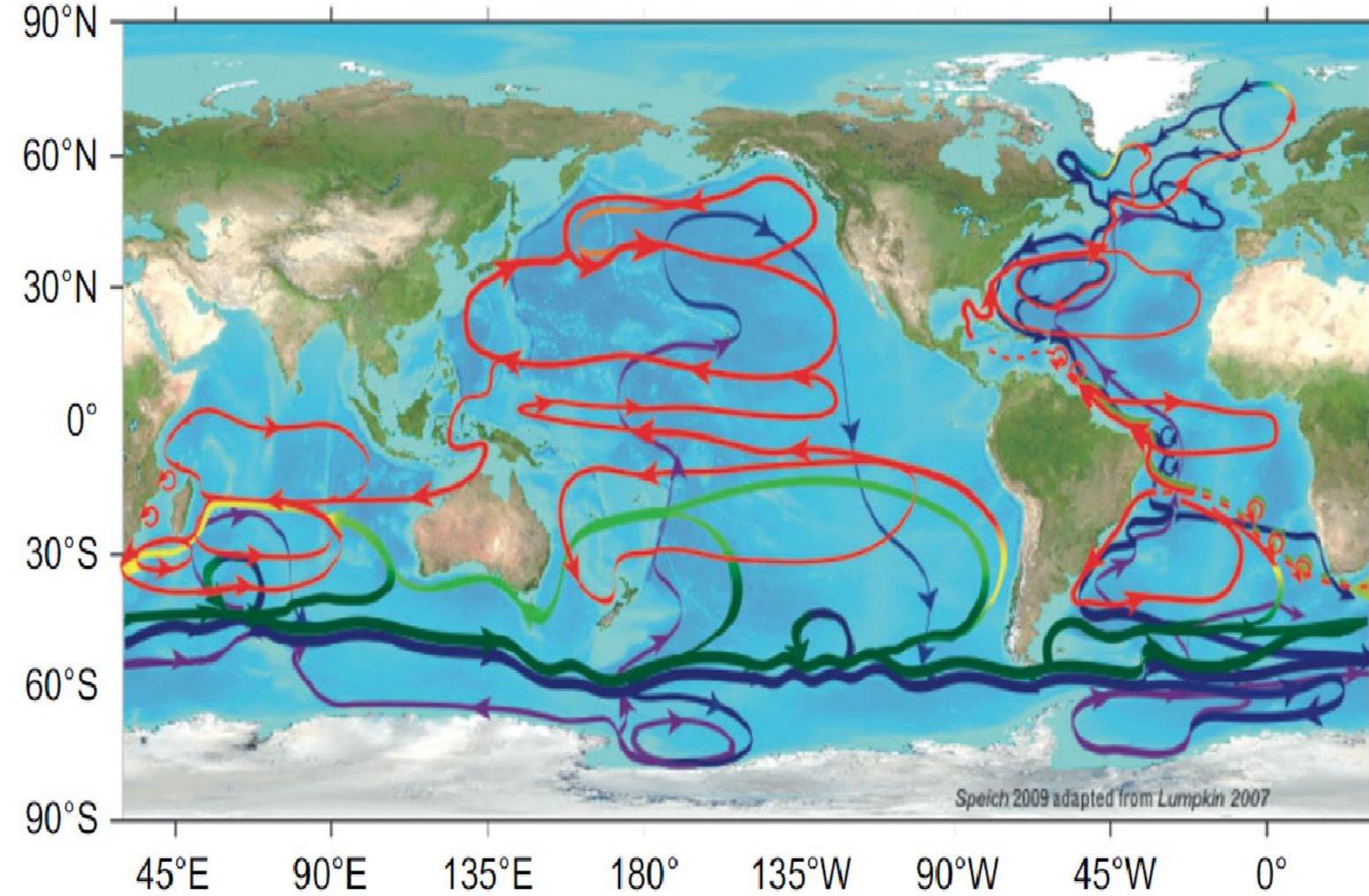


**Wallace Broecker (1987, 1991)**



# Термохалинная циркуляция

## Глобальный конвейер





## Общая циркуляция вод океана

- Общая циркуляция вод океана обеспечивает глобальное перераспределение тепла и соли, являясь составляющей частью теплового и водного баланса океана;
- Ветровая циркуляция, движимая полем ветра, формирует крупномасштабные системы течений и устойчивые вертикальные движения в верхнем слое океана ;
- Термохалинная циркуляция, поддерживаемая глобальными меридиональными градиентами плотности воды, создает трехслойную структуру течений в промежуточном, глубинном и придонном слоях океана;