

ОБЩАЯ ОКЕАНОЛОГИЯ

Общая циркуляция вод океана



Отечественные названия течений

Северное пассатное

Южное пассатное

Гвианское

Курильское

North Equatorial

South Equatorial

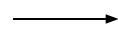
North Brazil

Oyashio

Отечественные названия течений

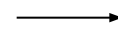
Ю.М. Шокальский

Северное
экваториальное
Южное экваториальное

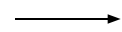


А.Д. Добровольский

Северное пассатное
Южное пассатное ... пассатное
(экваториальное)

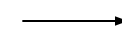


Экваториальное
противотечение



Н.Н. Зубов

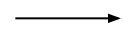
Межпассатное
противотечение



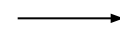
В.Н. Степанов

Экваториальное
противотечение

Течение Западных
ветров

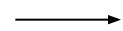


Антарктическое круговое
(циркумполярное) течение



Антарктическое циркумполярное
течение

Течение Гумбольдта



Перуанское течение

Игольное течение



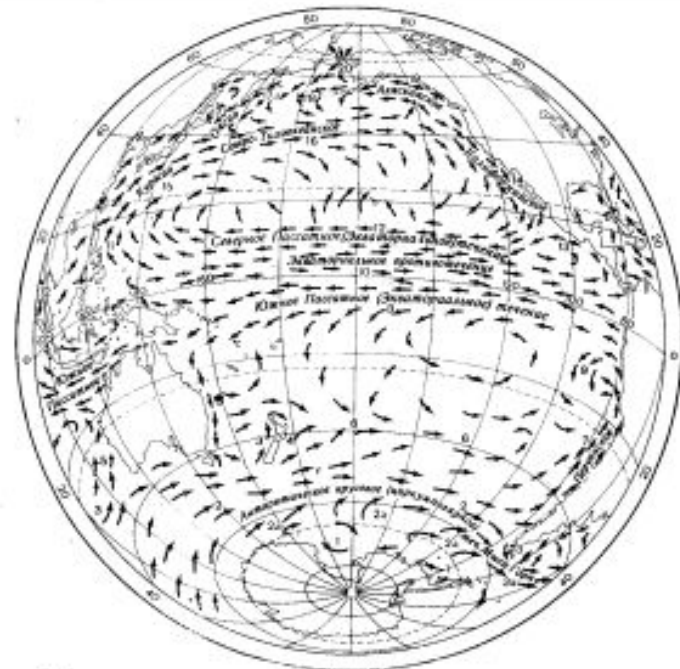
Течение Агульяс

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.)

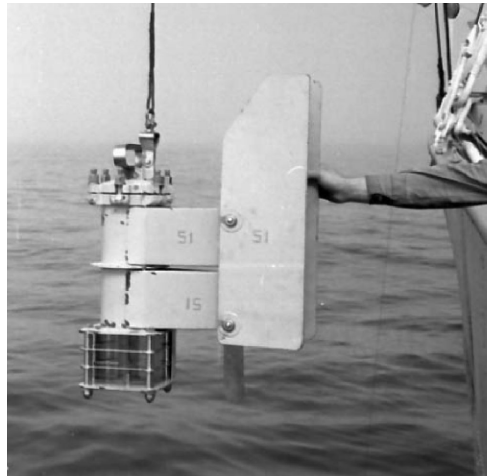
№ на рис. 69	Название течения	№ на рис. 69	Название течения	№ на рис. 69	Название течения
	Все океаны	17а	Флоридское	5	Восточно-Австралийское
1	Прибрежное антарктическое	18	Северо-Атлантическое	6	Южно-Тихоокеанское
2	Антарктическое круговое (циркумпольное)	19	Лабрадорское	7	Перуанское
2а	Южная ветвь Антарктического кругового течения	20	Ирмингера	8	Южное Пассатное
		21	Баффиново	9	Перу-Чилийское
		22	Западно-Гренландское	10	Экваториальное противотечение
	Атлантический океан		Индийский океан	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		Северный Ледовитый океан
13	Зеленого Мыса			1	Норвежское
14	Апильское			2	Нордкапское
15	Северное Пассатное			3	Восточно-Гренландское
16	Канарское		Тихий океан	4	Западное арктическое
17	Гольфстрим	3	Западно-Новозеландское	5	Тихоокеанское
		4	Восточно-Новозеландское		

Как измеряют течения в океанах и морях?

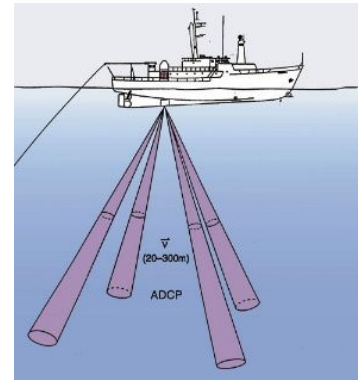
Измерение течений в океане

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

Механические вертушки



Акустические измерители



ADCP

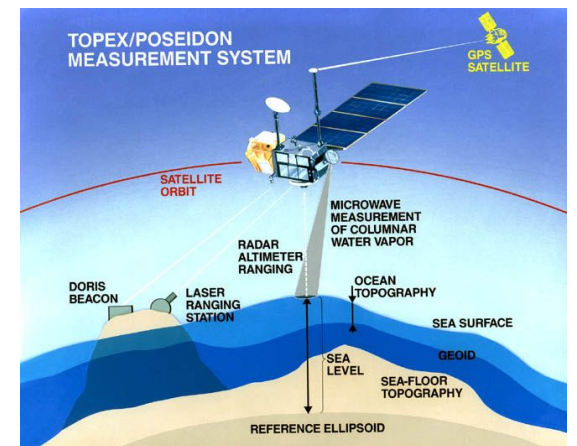


Электромагнитные измерители

ЭМИТ

Подводные электрические кабели
Индукционные измерители скорости потока

Спутниковая альтиметрия

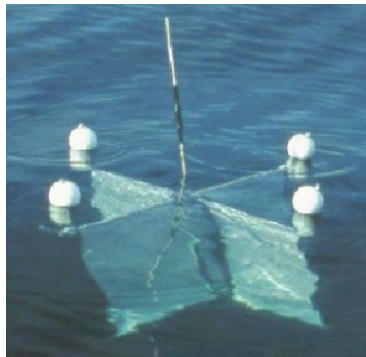


Измерение течений в океане

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



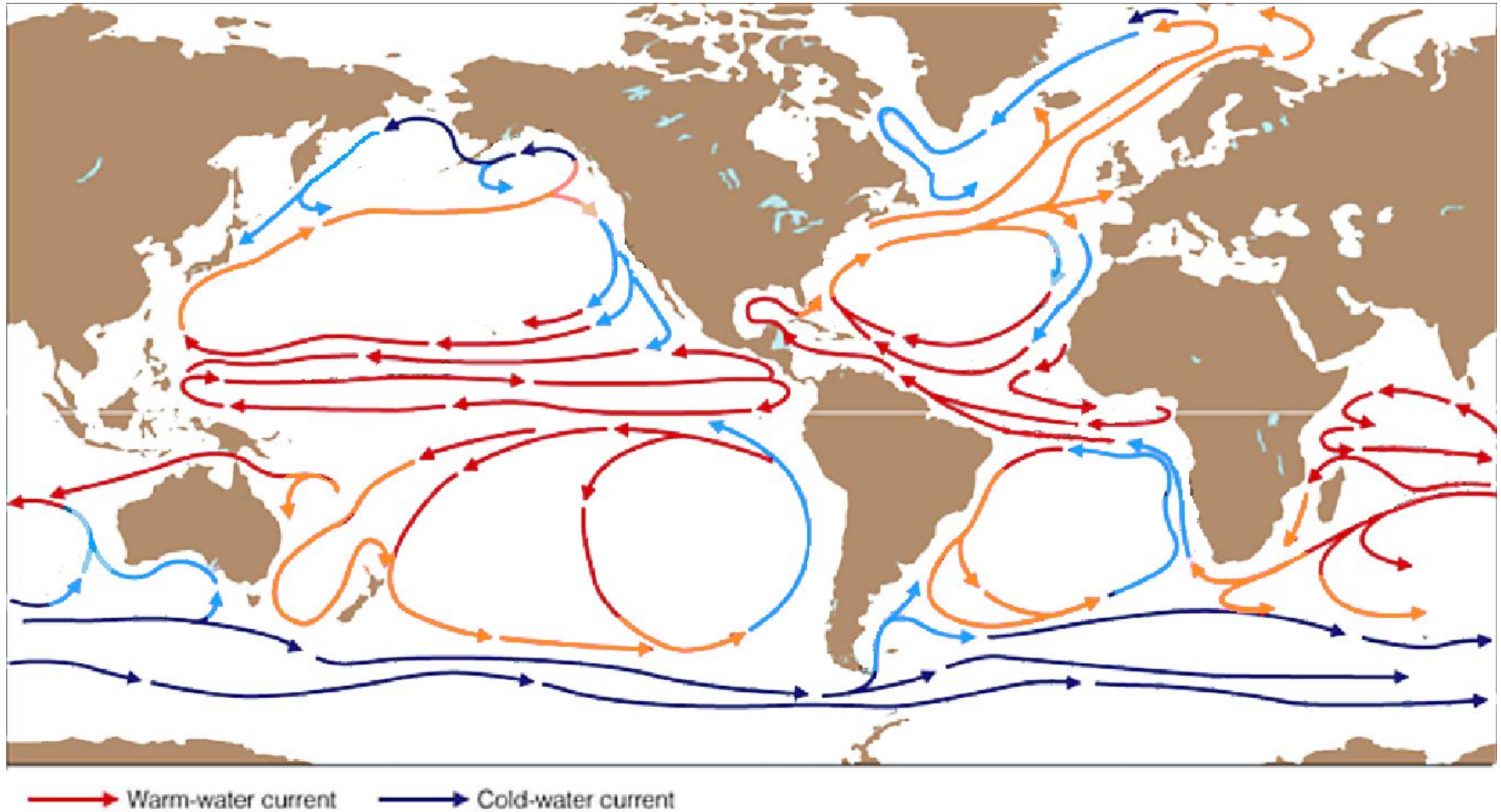
ALACE
ARGO

Трассеры

Температура
Соленость
Кислород
Красители
Тритий
 $\Delta^{14}\text{C}$
 ^{129}I
CFC
 CCl_4

Циркуляция океана как одна из составляющих
теплового и водного баланса

Перенос тепла течениями



Меридиональные потоки тепла

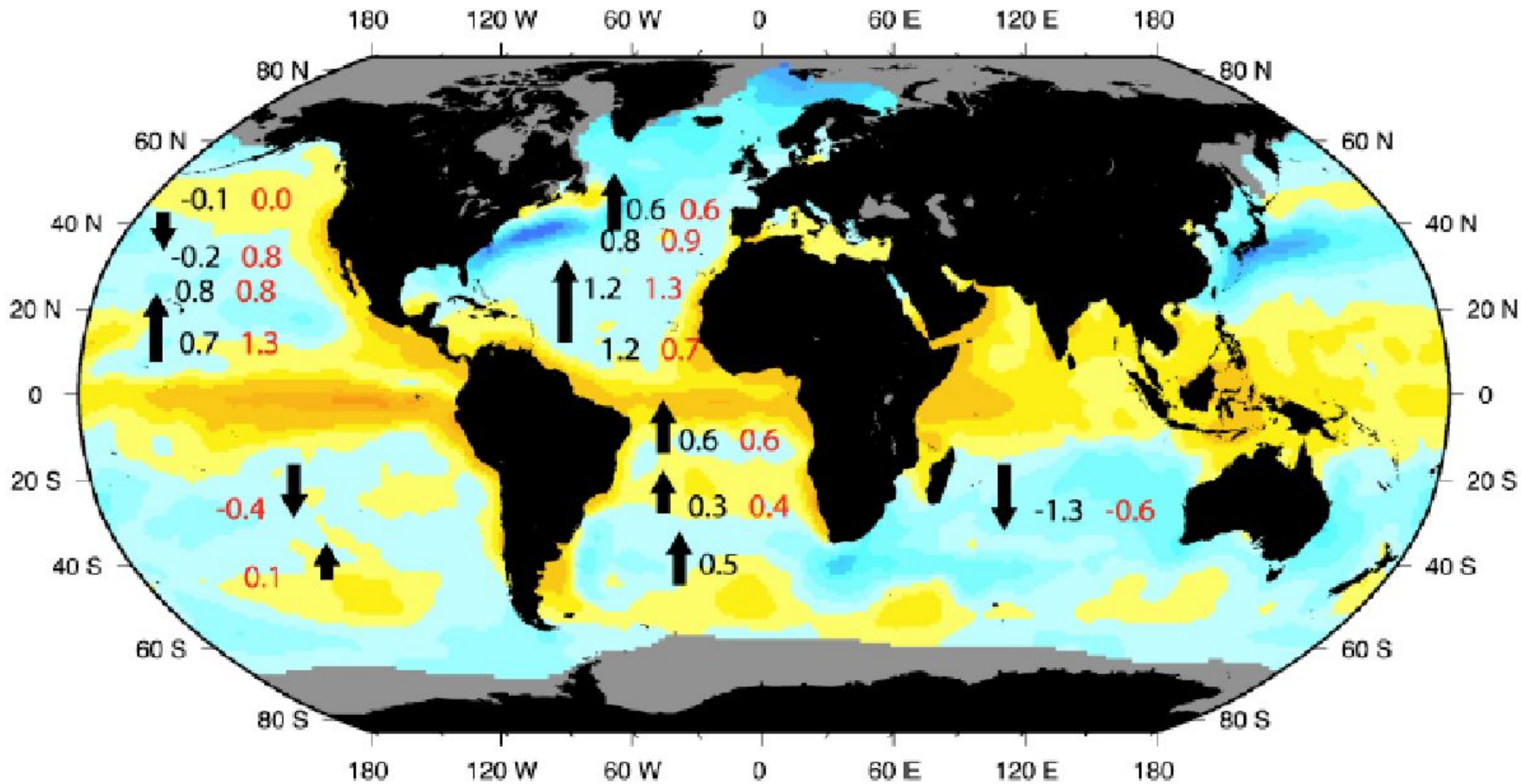
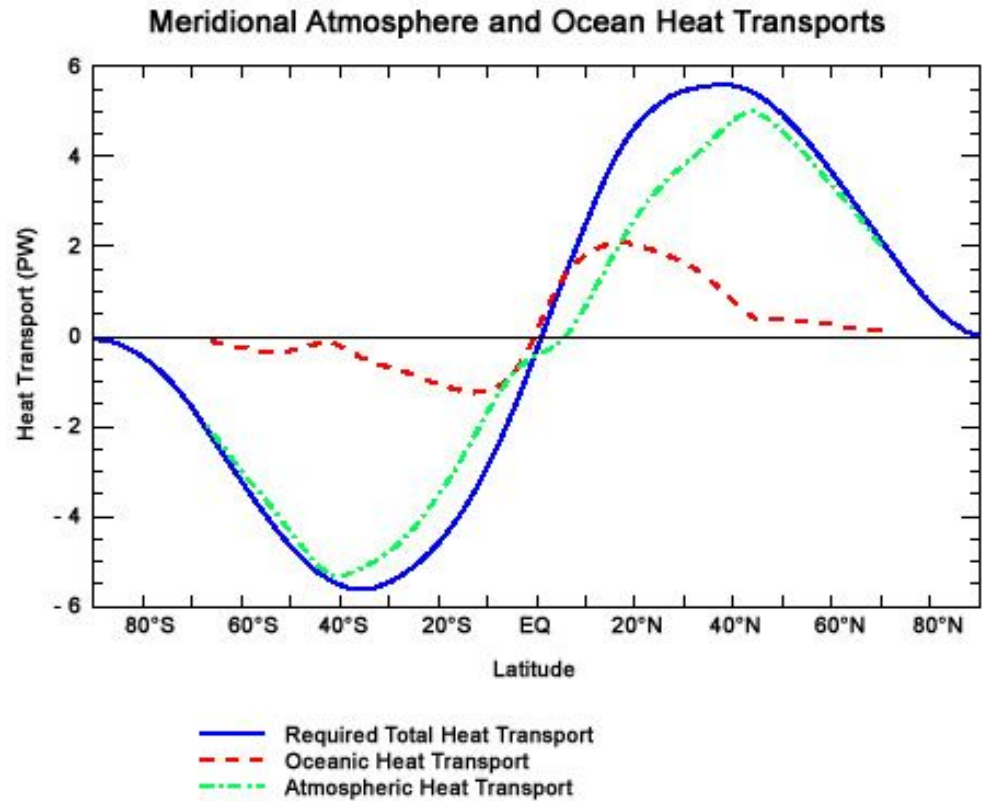
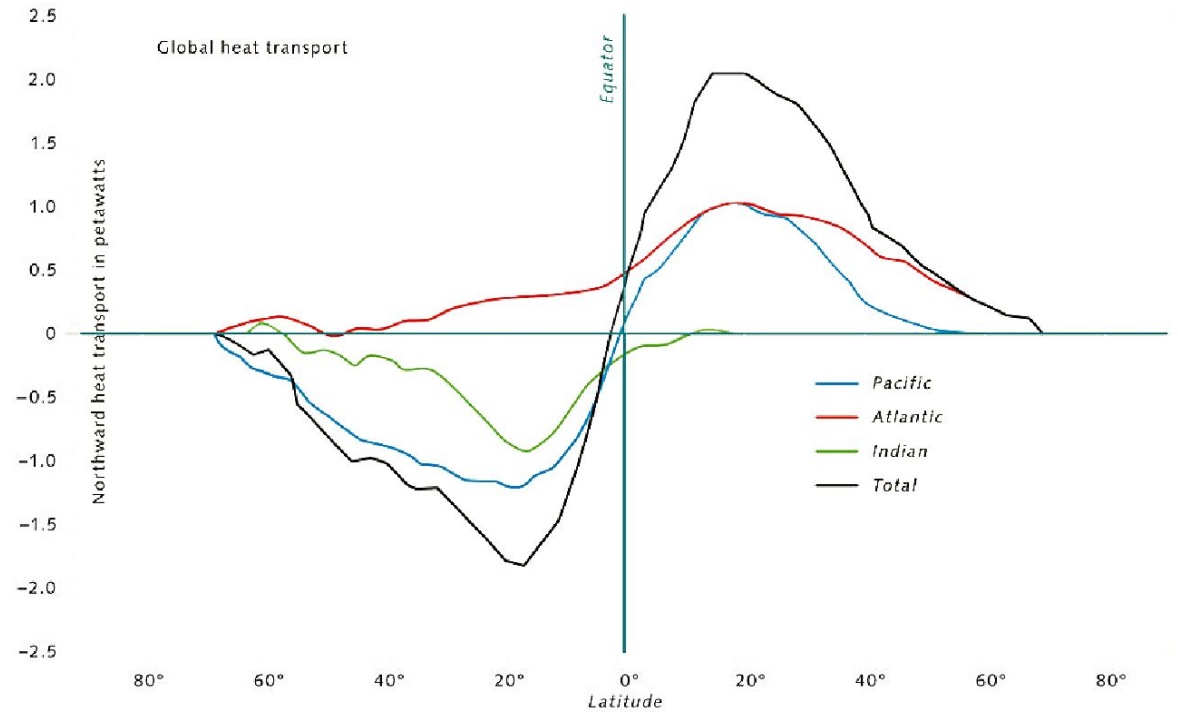


Fig. 5.23. Net south-north heat transports (PW) from direct estimates, superimposed on the map of annual average heat flux (Fig. 5.10). Black: estimates from "inverse models" from many sources (summaries in Bryden and Imawaki, 2001; Talley, 2003). Red: Talley (2003). Positive transports are northward.

Меридиональные потоки тепла



Trenberth and Caron 2001



Меридиональные потоки пресных вод

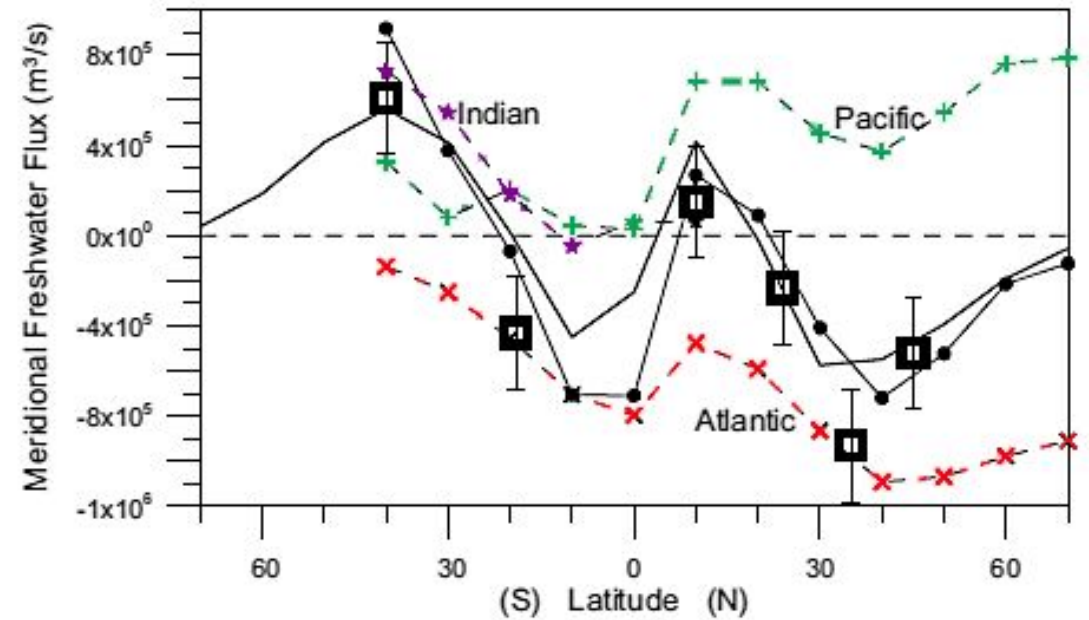
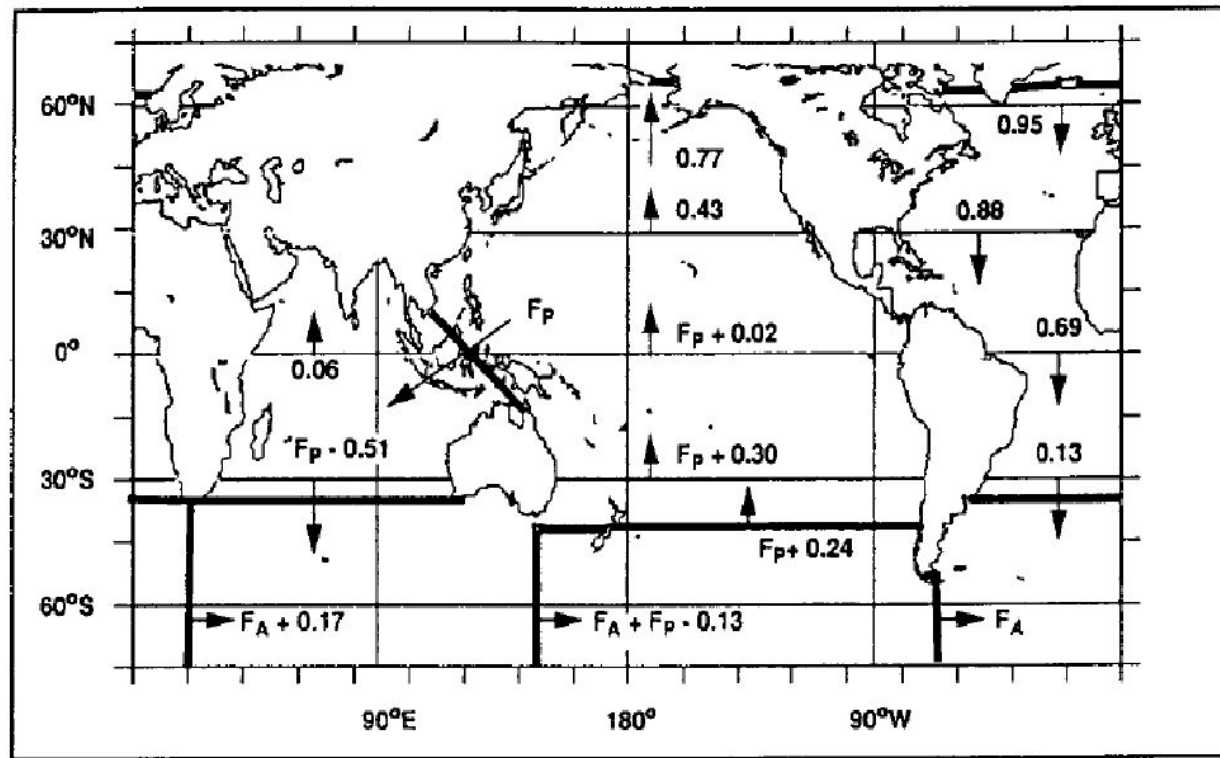


Figure 2.7. Meridional freshwater transport (in 10^9 kg/s) in the ocean, with the quantities F_P and F_A referring to the freshwater transport of the Pacific-Indian through flow and that of the Antarctic Circumpolar Current at Drake Passage, respectively (Wijffels et al., 1992).

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

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

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

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

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

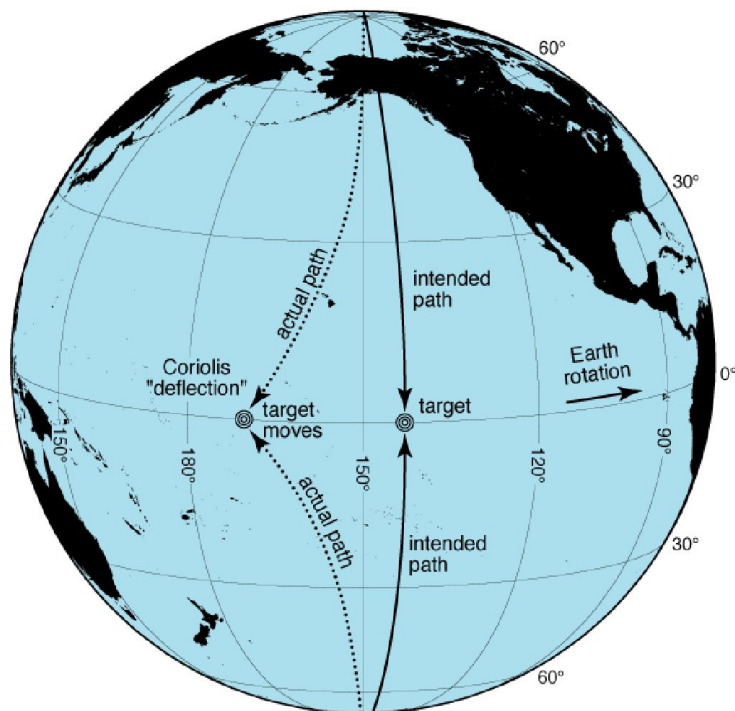
Абсолютная завихренность

$$f + \xi$$

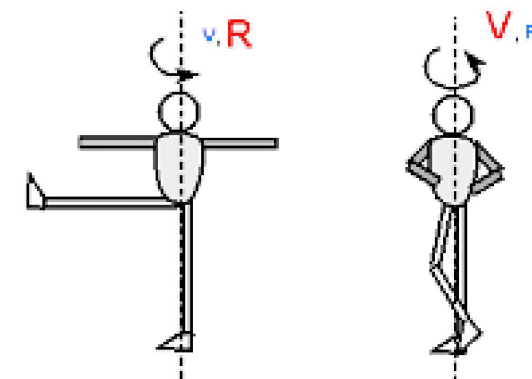
Сохранение абсолютной завихренности

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

H – толщина слоя океана

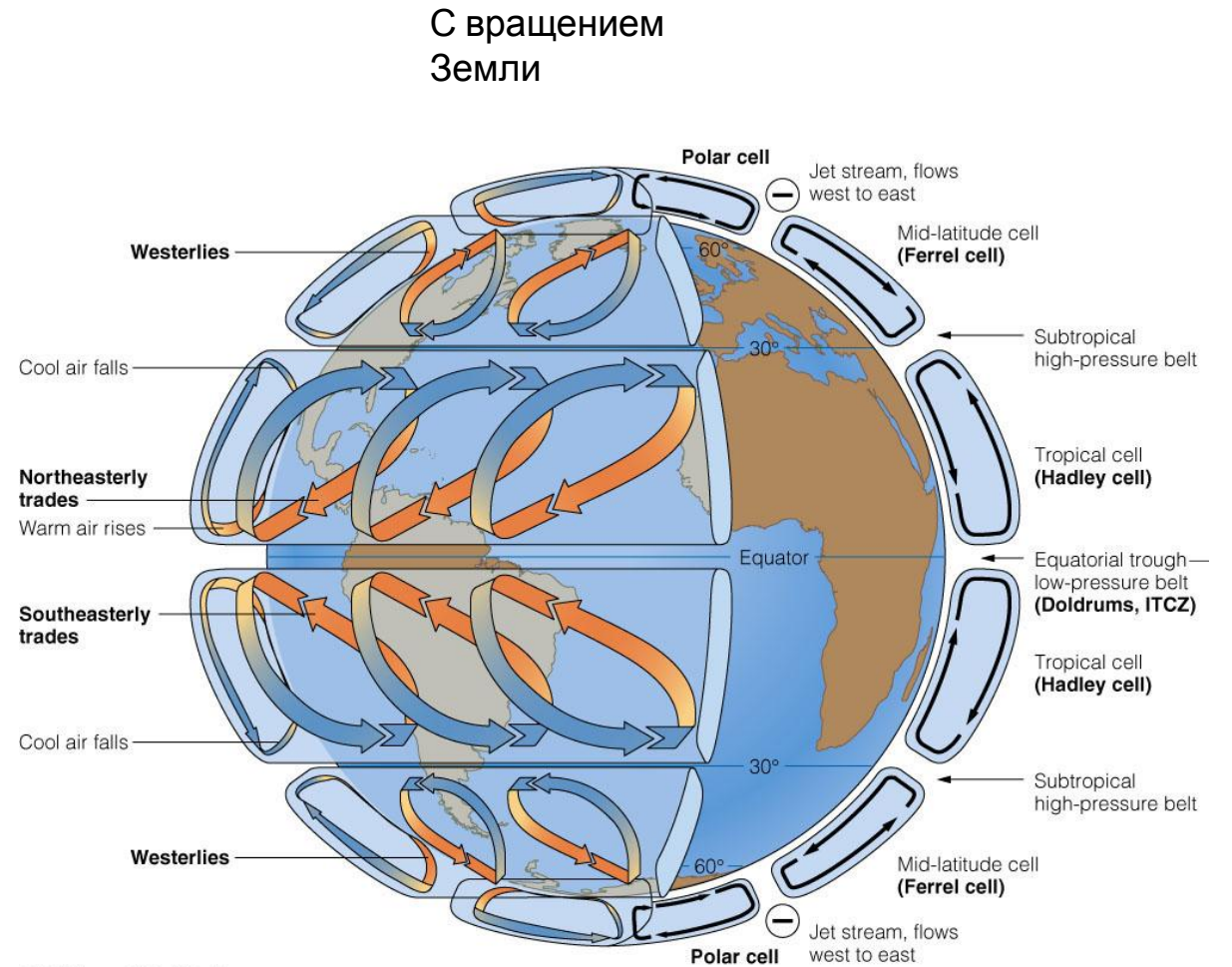
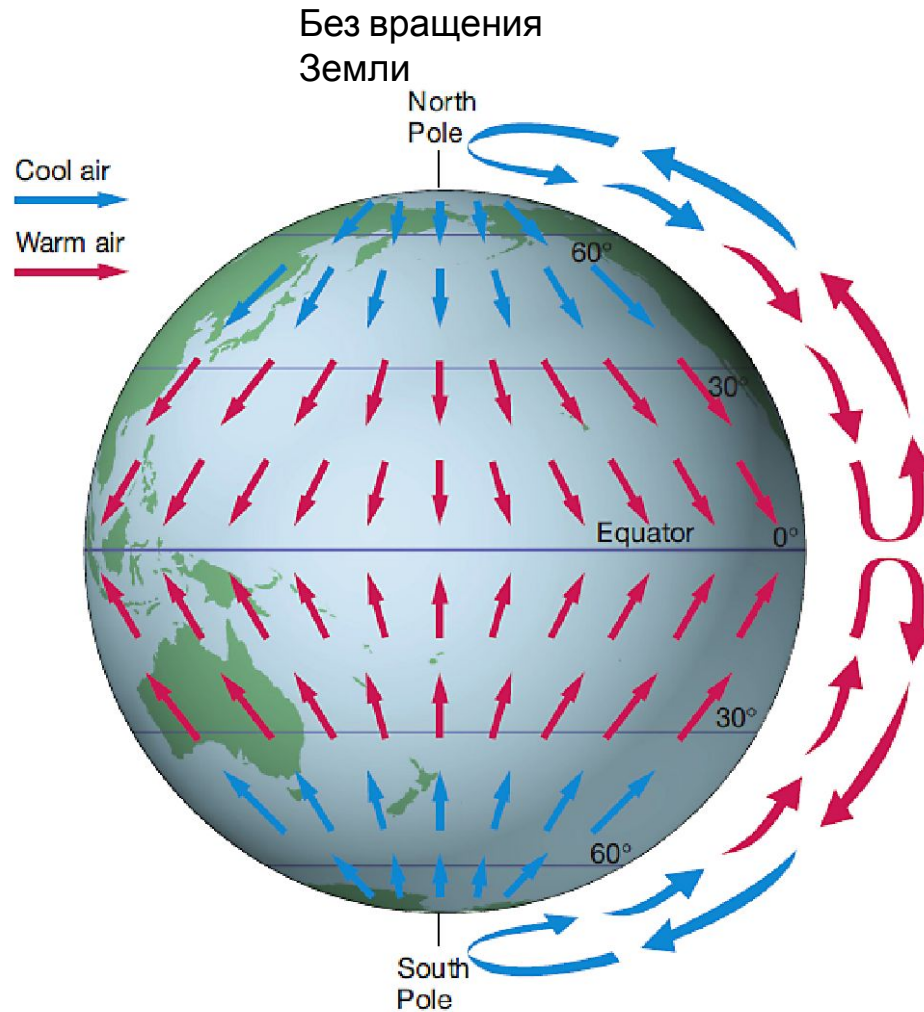


➔ Аналог сохранения момента импульса (углового момента)



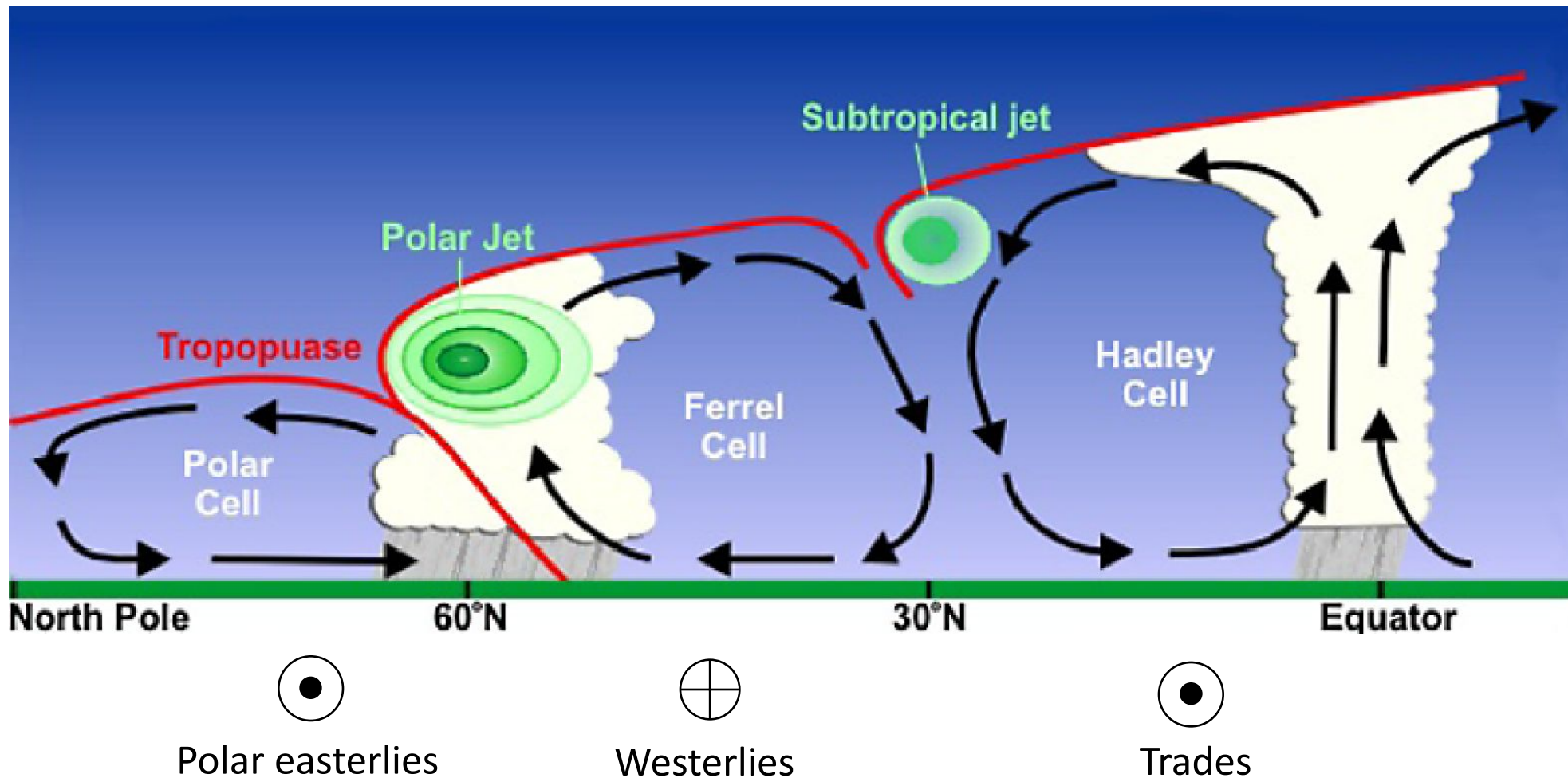
Глобальная атмосферная циркуляция

Ячейки глобальной циркуляции



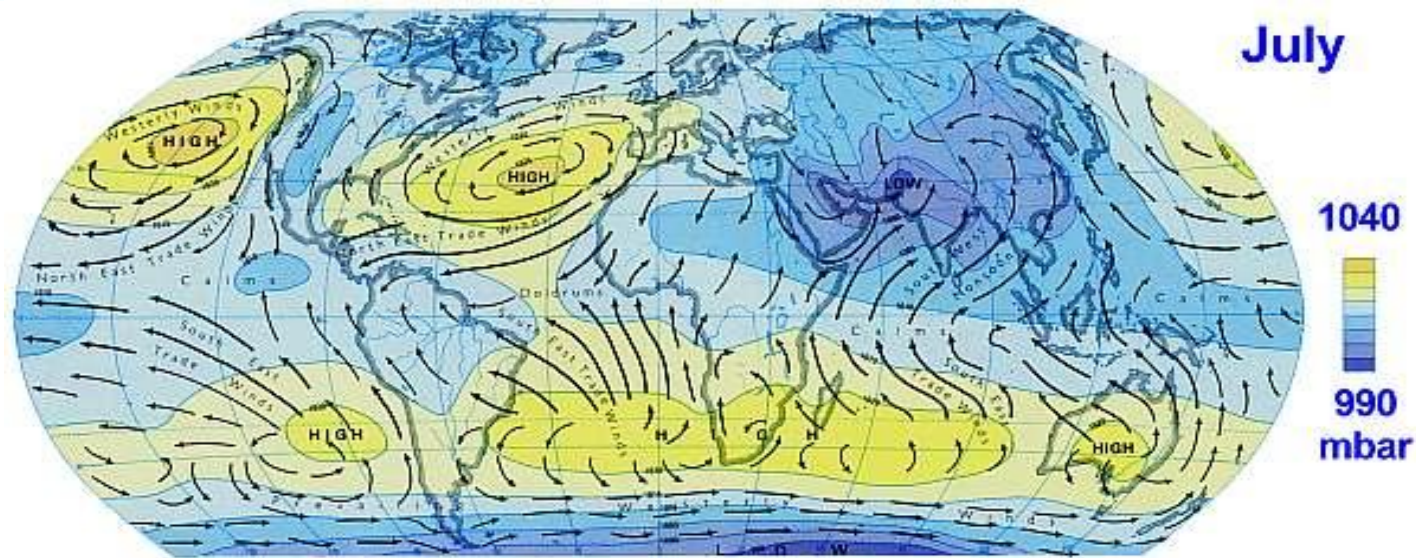
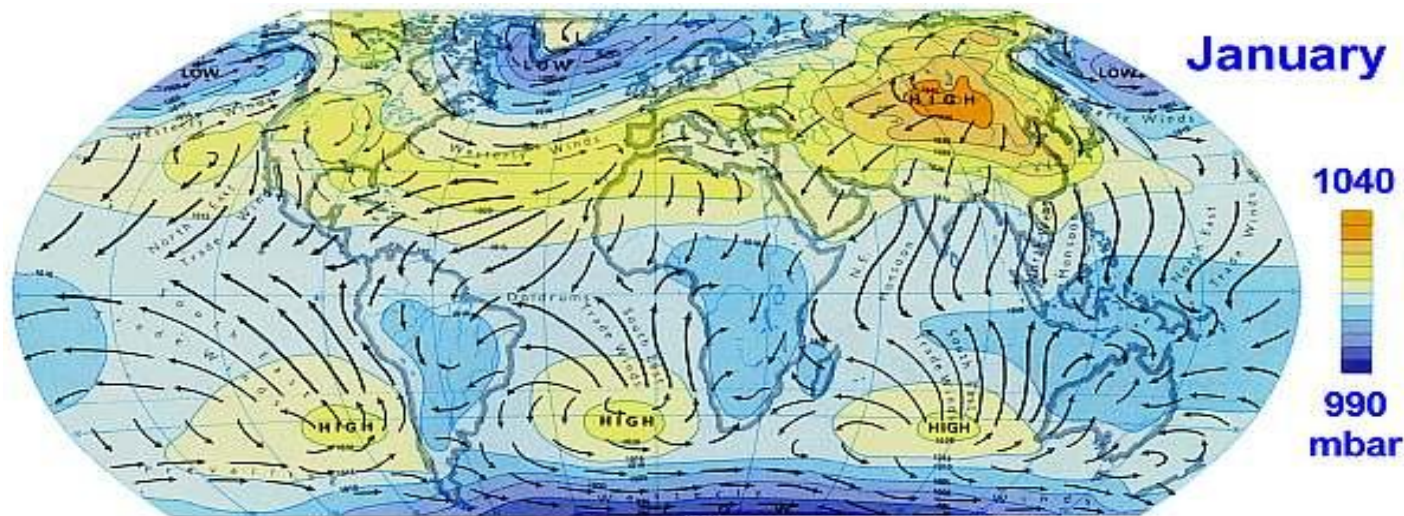
Глобальная атмосферная циркуляция

Ячейки глобальной циркуляции



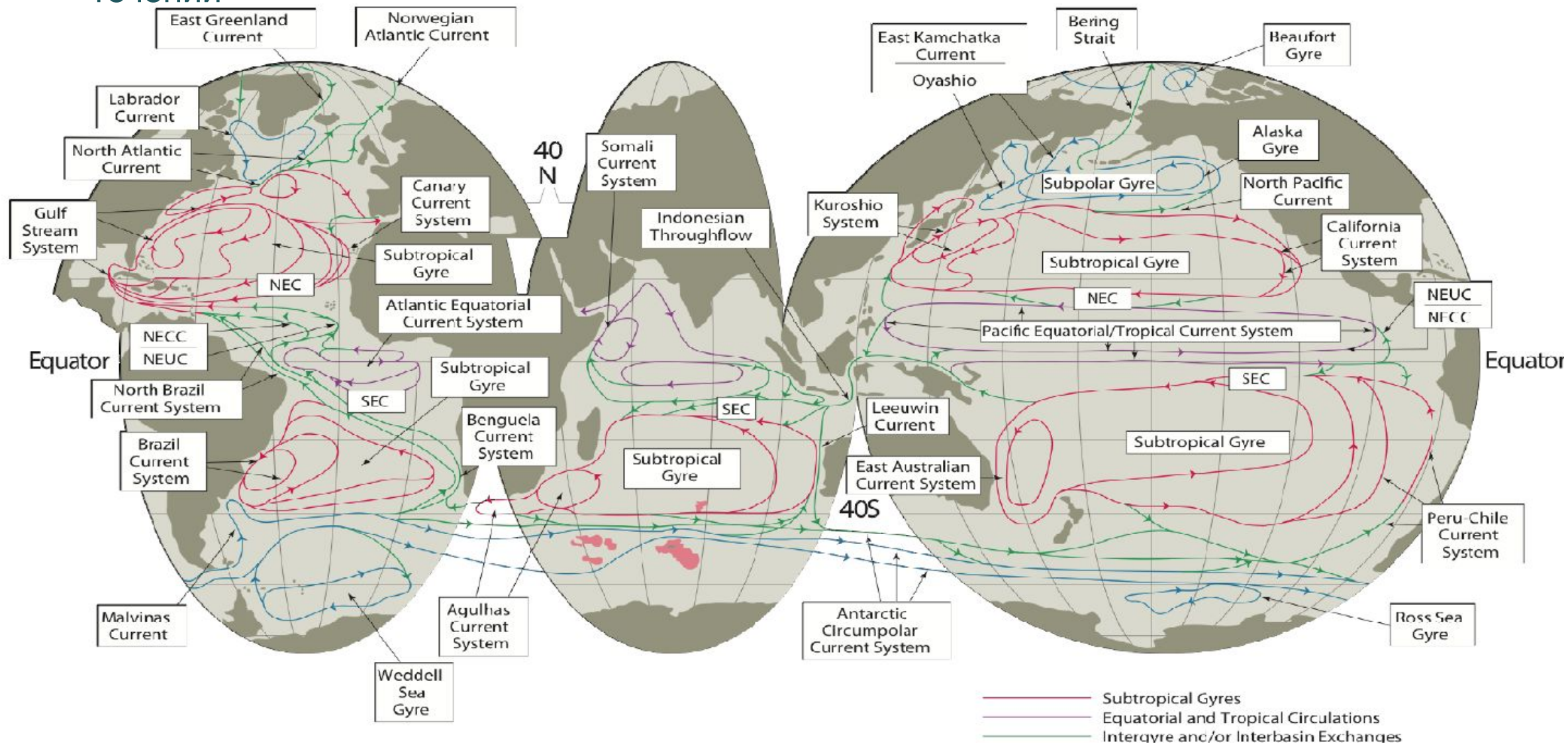
Глобальная атмосферная циркуляция

Приземный ветер



Ветровая циркуляция

Системы поверхностных течений



Ветровая циркуляция

Дрейфовые течения, теория Экмана

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

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

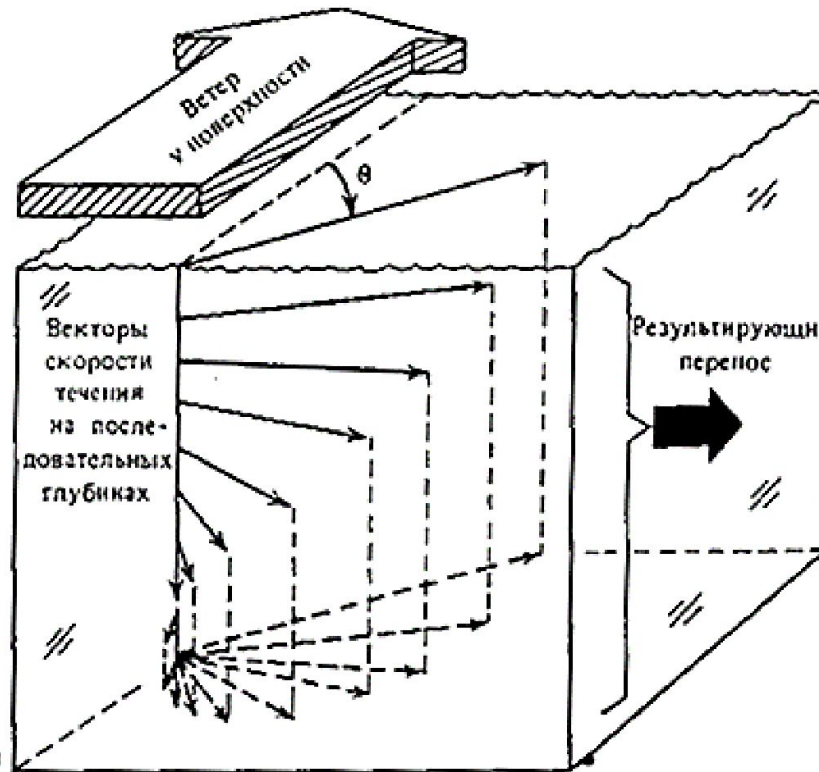


$$u = U_0 e^{-az} \cos(45^\circ - az)$$

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

α – удельный объем; g – ускорение силы тяжести;
 φ – широта места; μ – коэффициент турбулентного трения

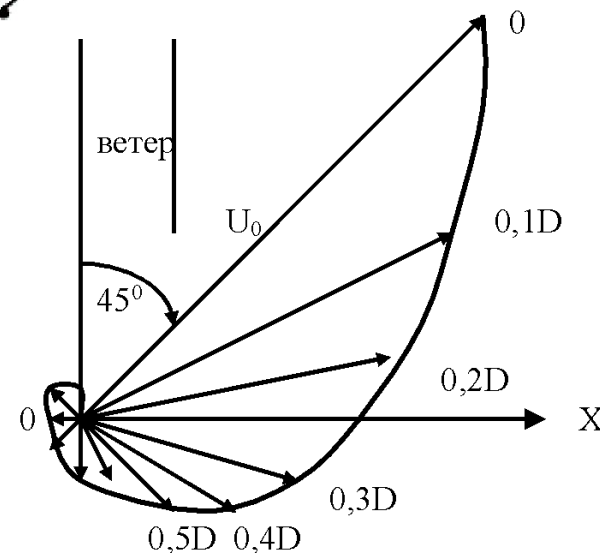
F.W. Ekman (1905)



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

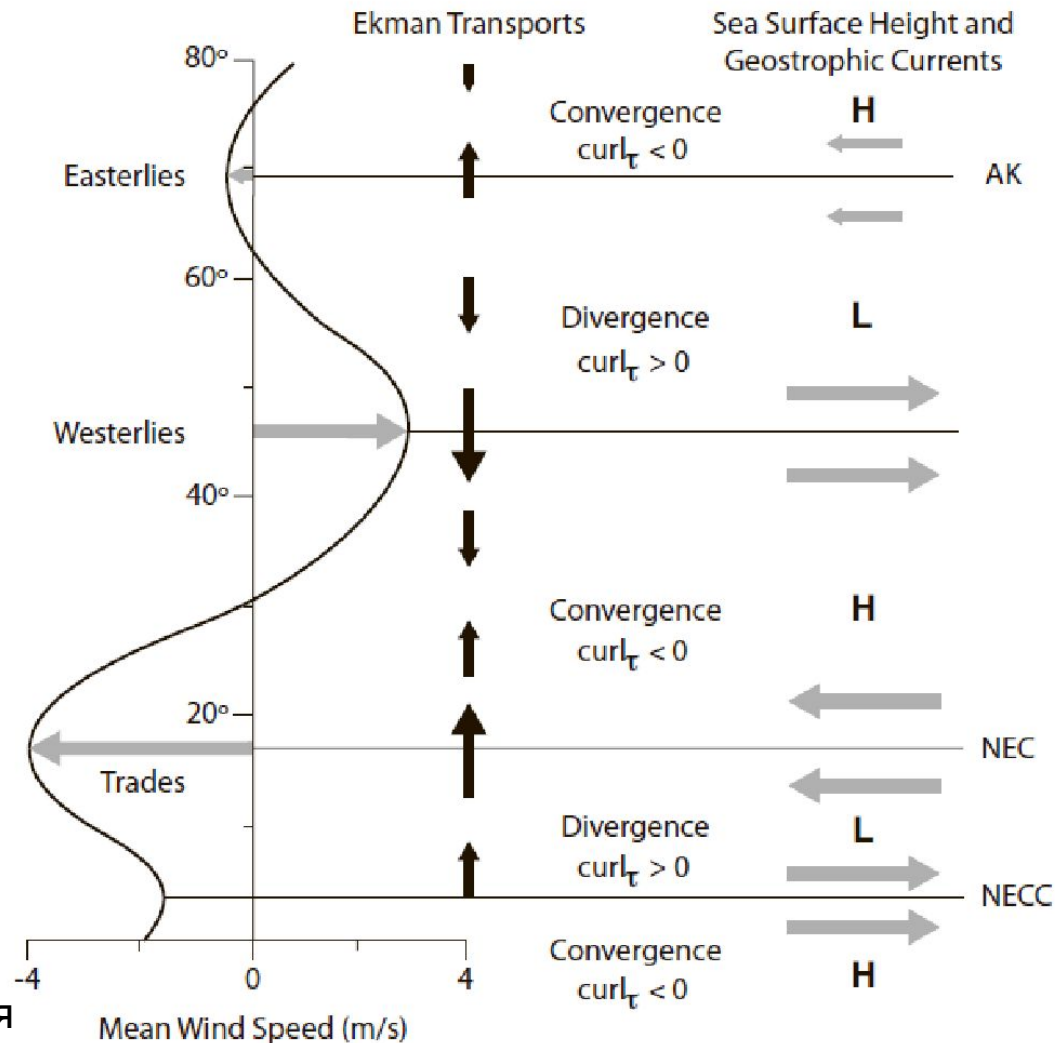
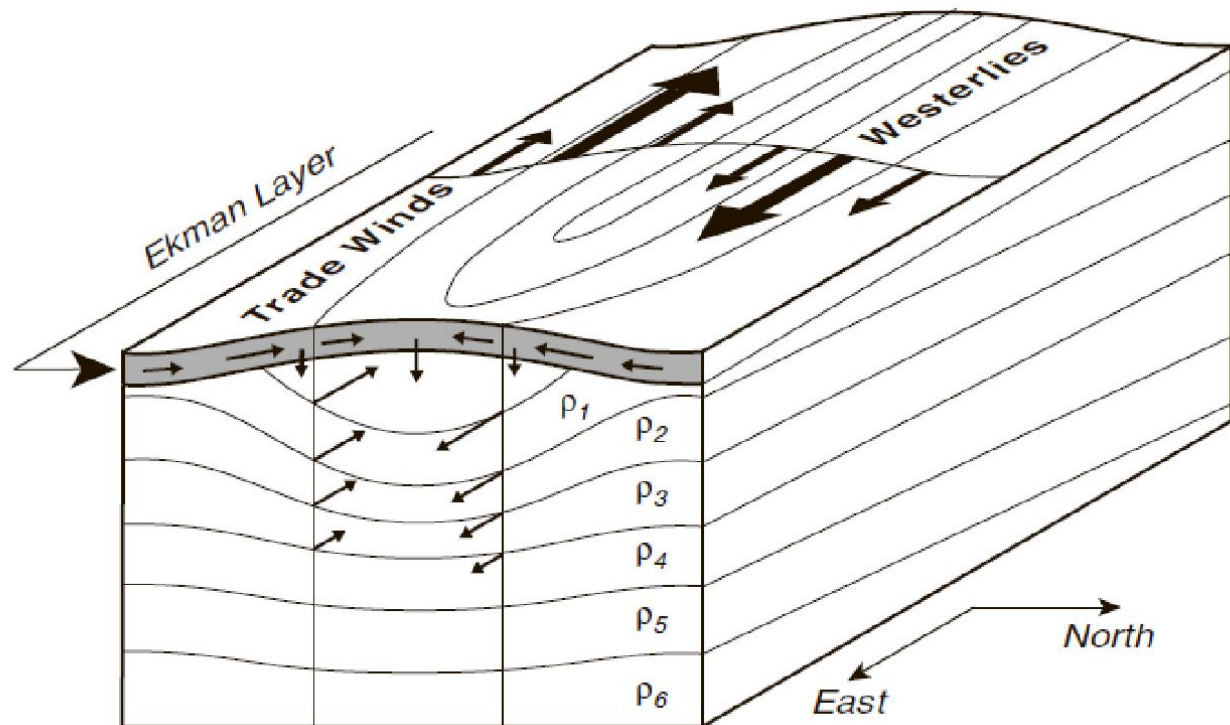
$$\Phi_y = 0.$$

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

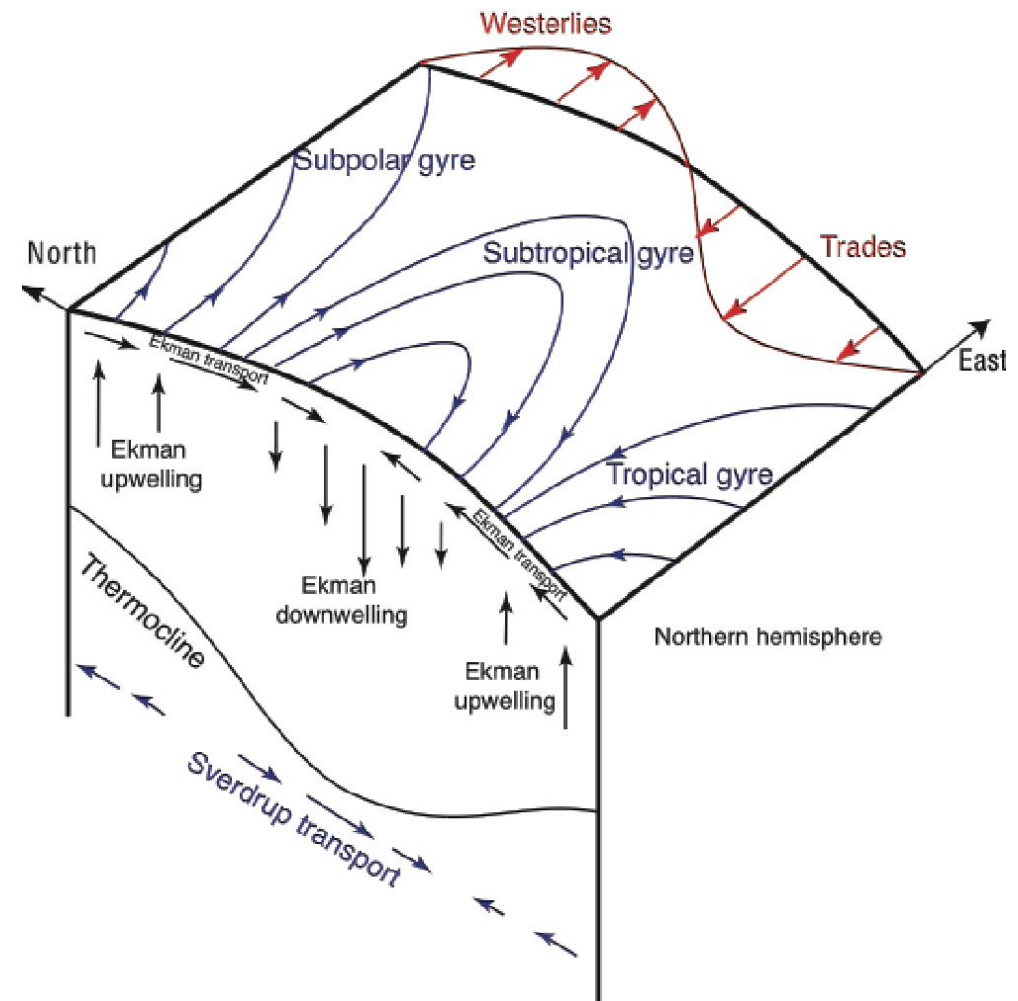
$$w_E = \frac{1}{\rho} \hat{k} \cdot \nabla \times \begin{pmatrix} \bar{T} \\ \bar{f} \end{pmatrix}$$

Сохранение потенциальной завихренности

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

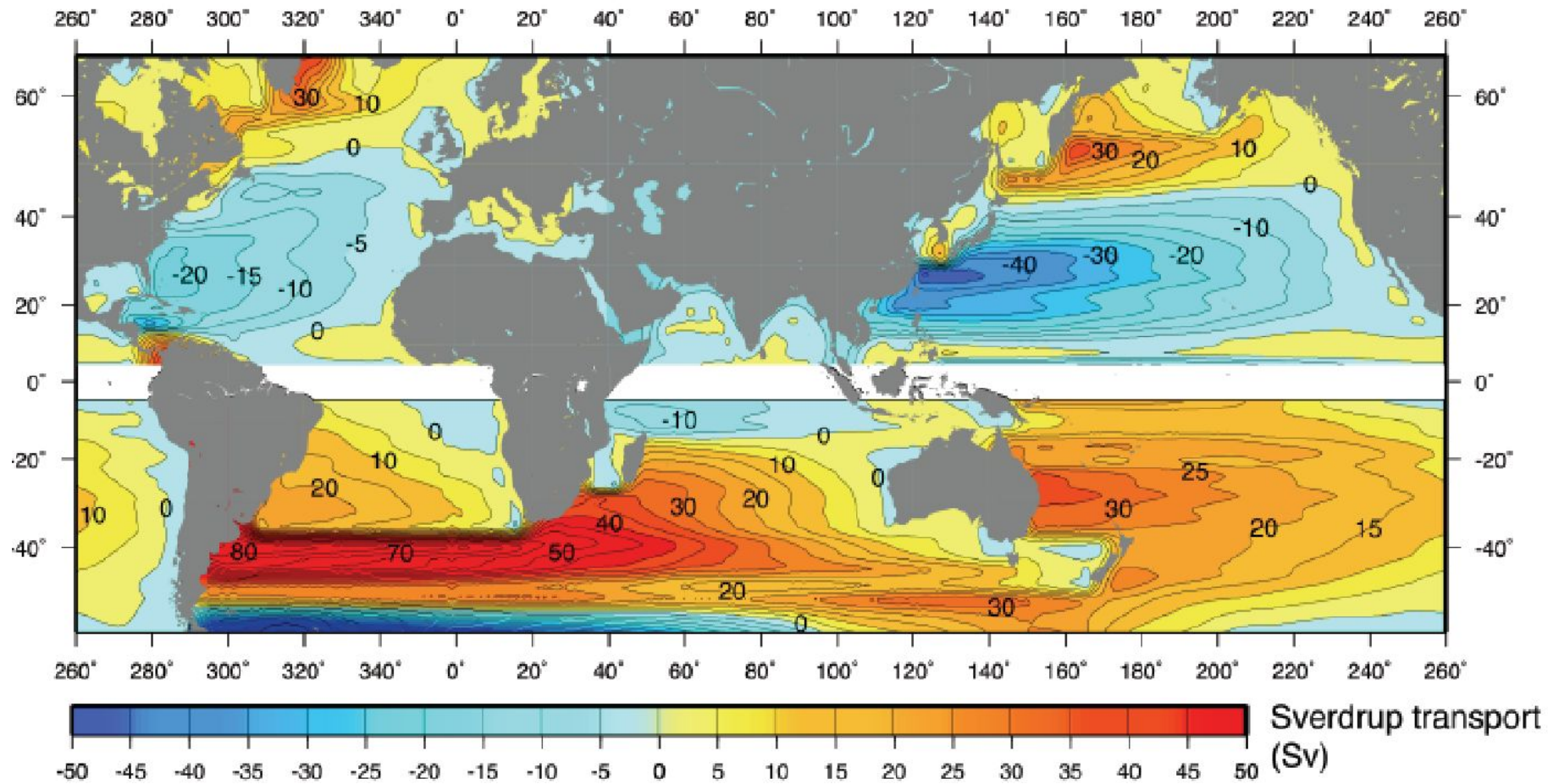
H. Sverdrup (1947)

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



Ветровая циркуляция

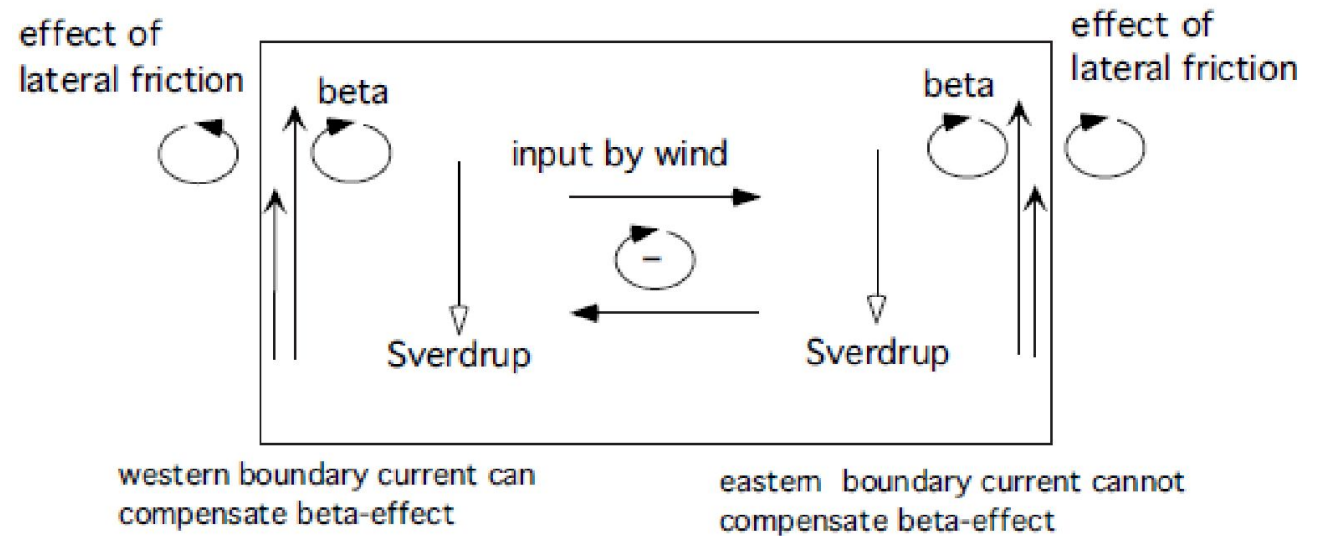
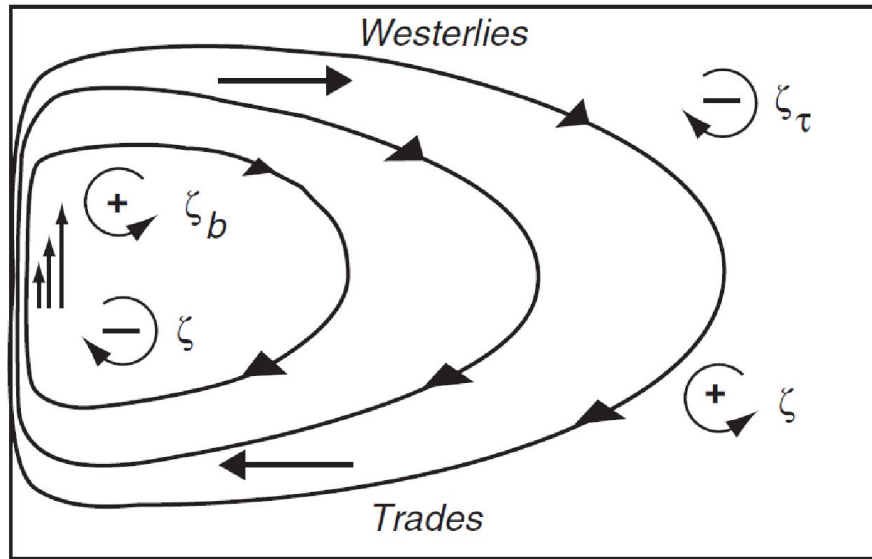
Свердруповский поток



Субдукция
Свердруповский поток + Конвекция

Ветровая циркуляция

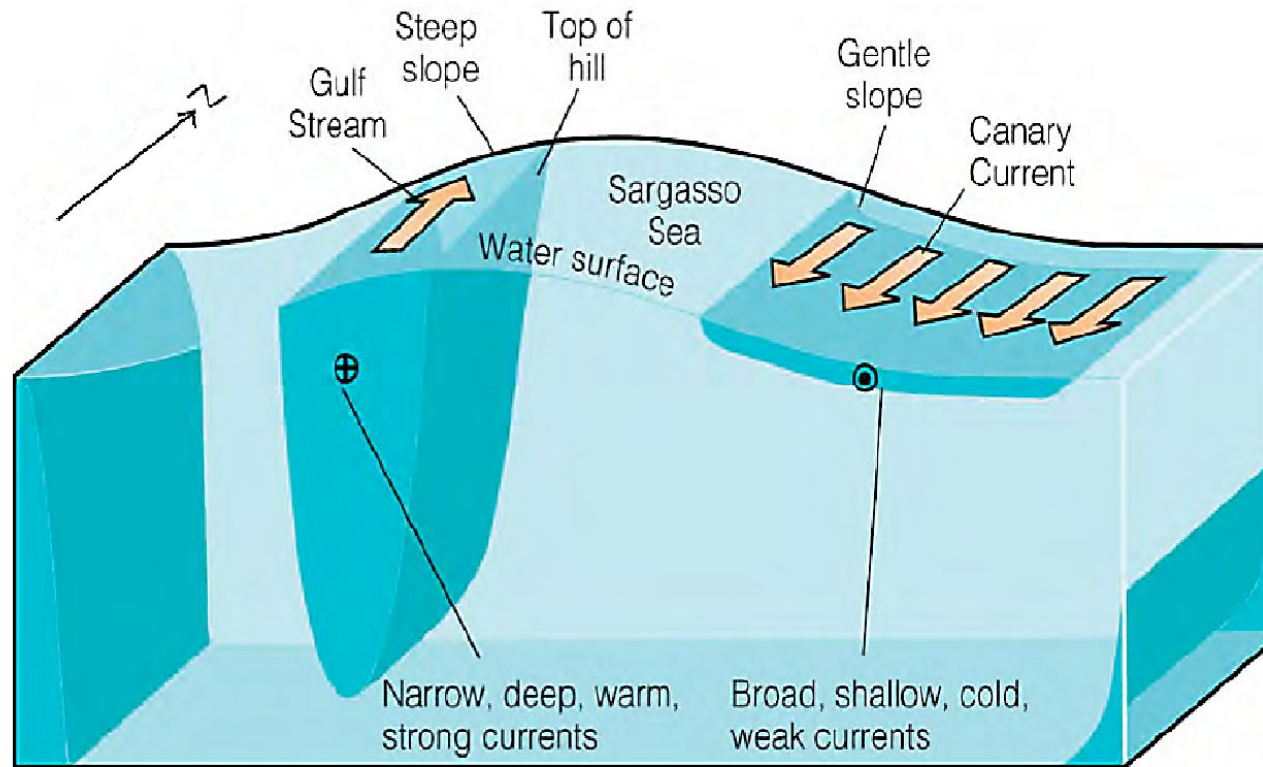
Западные пограничные течения



Stommel, Munk (1948, 1950)

Ветровая циркуляция

Пограничные течения



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

Западные пограничные течения

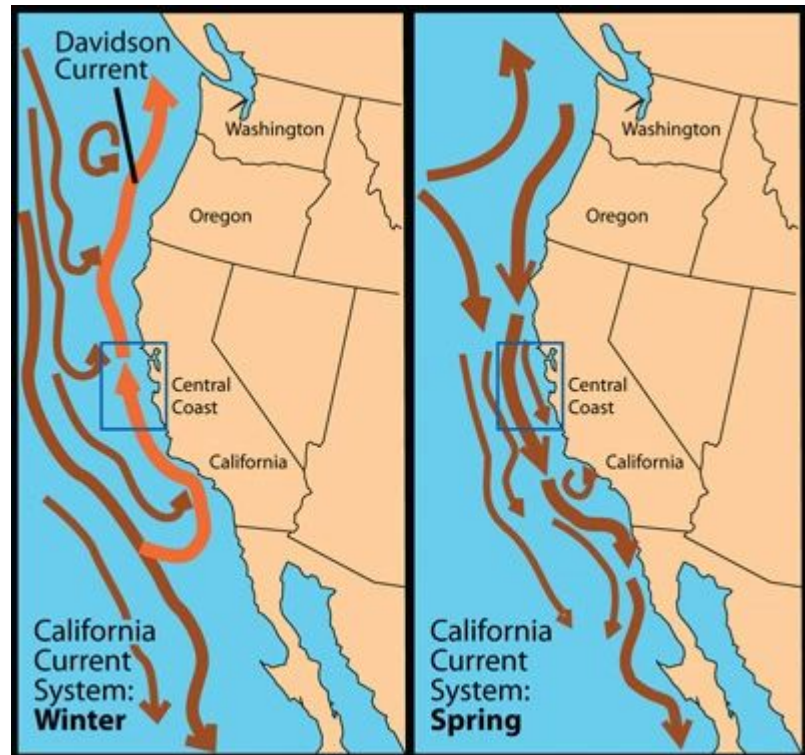
Гольфстрим (30-150 Sv)
Курисио (20-30 Sv)
Сомалийское (10-90 Sv)
Восточно-Австралийское (20-40 Sv)
Бразильское (10-20 Sv)
Агульяс (10-20 Sv)
Быстрые (до 2 м/с)
Глубокие (~ 1 км)
Узкие (~ 100 км)
Теплые

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

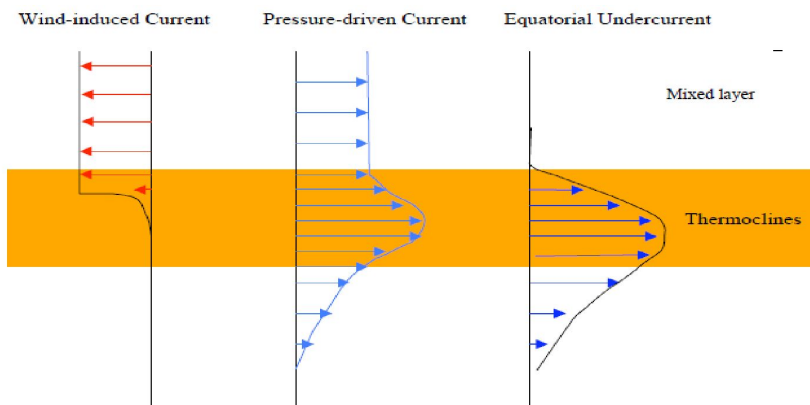
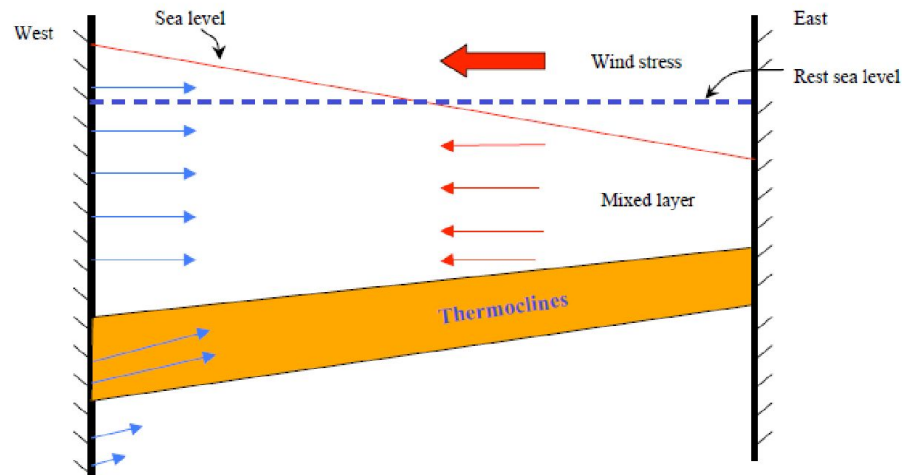
В отличие от западных пограничных течений баланс потенциальной завихренности не играет определяющей роли.

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

Ветровая циркуляция

Экваториальные течения

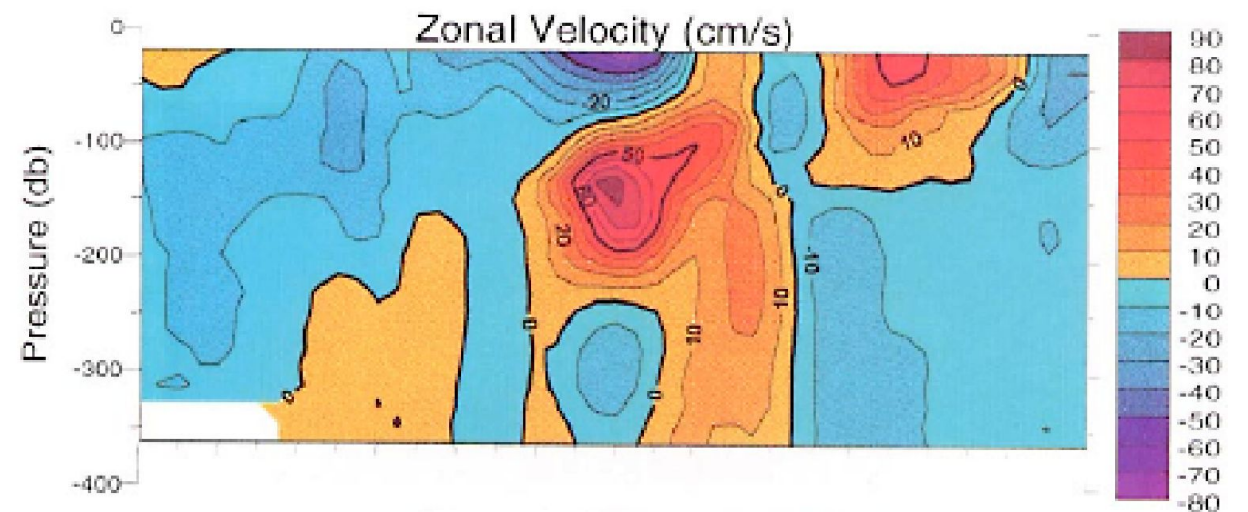
Equatorial Undercurrent



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.

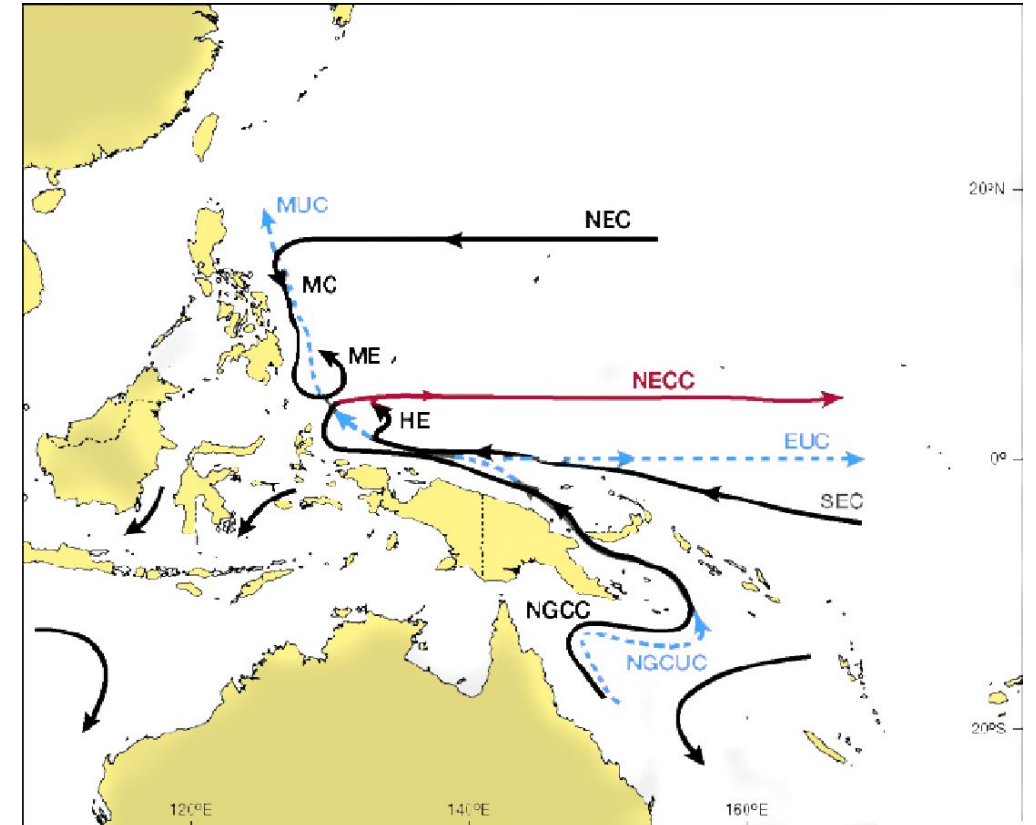
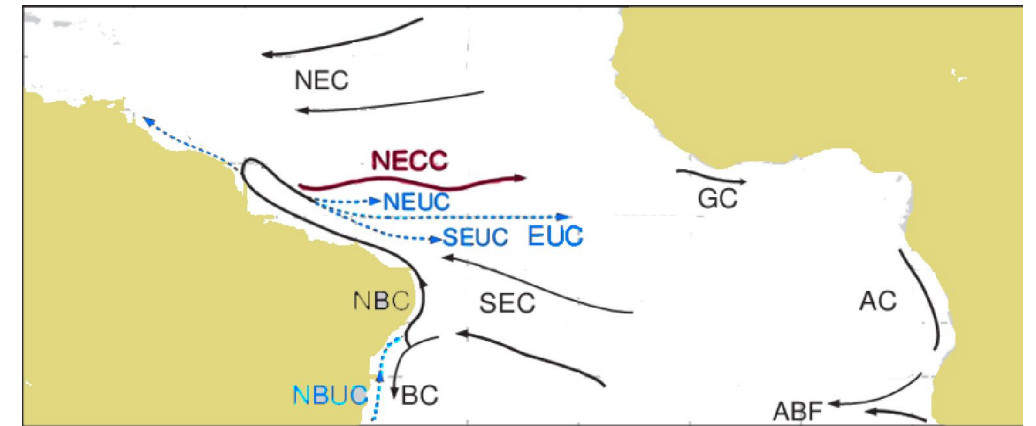


Ветровая циркуляция

Экваториальные течения

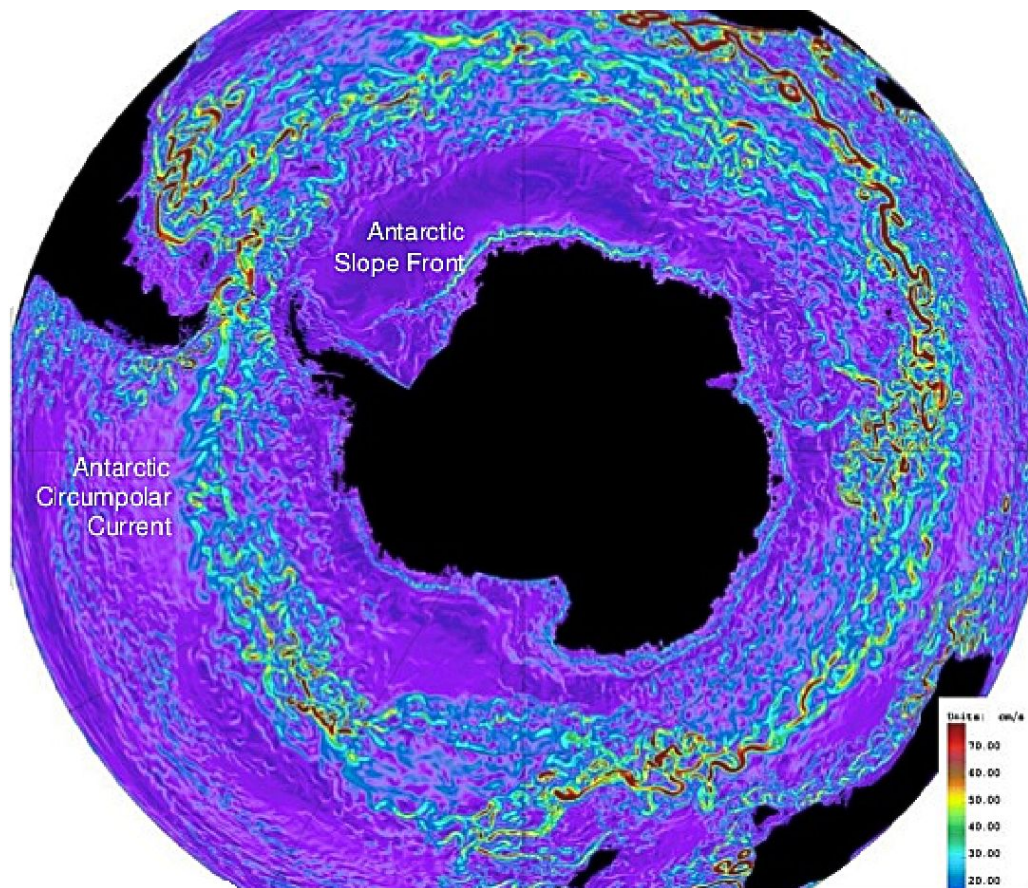
К северу от экватора пассатное противотечение в поверхностном слое направлено против господствующих ветров.

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.

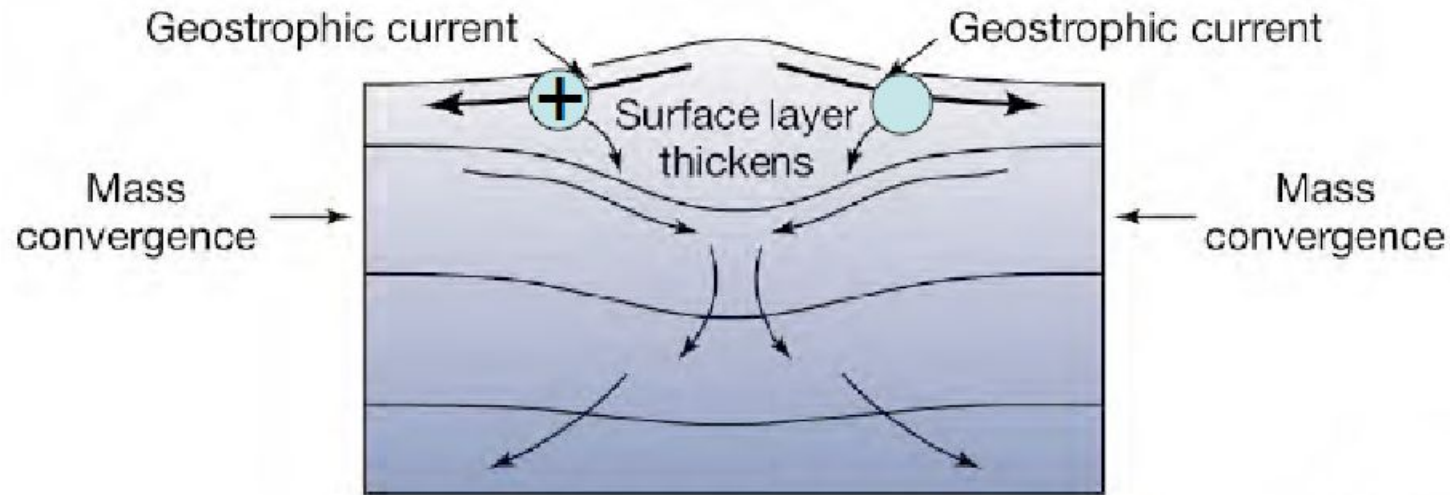
Умеренное (~ 0.7 м/с)

Глубокое (2 - 4 км)

Широкое (до 2000 км)

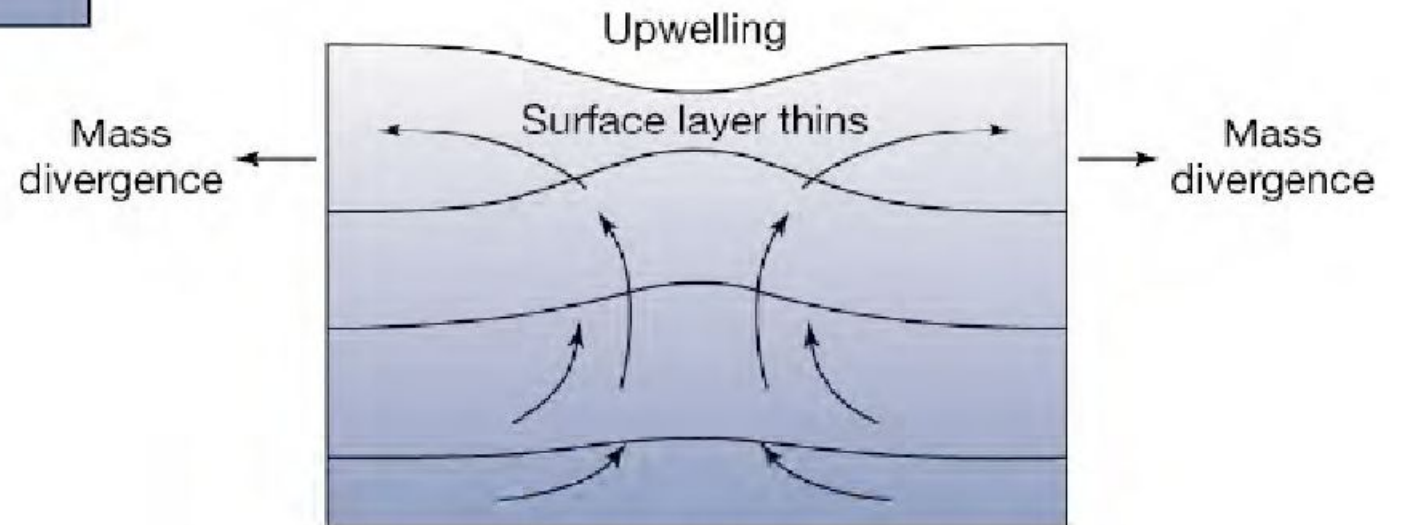
Ветровая циркуляция

Конвергенции и дивергенции



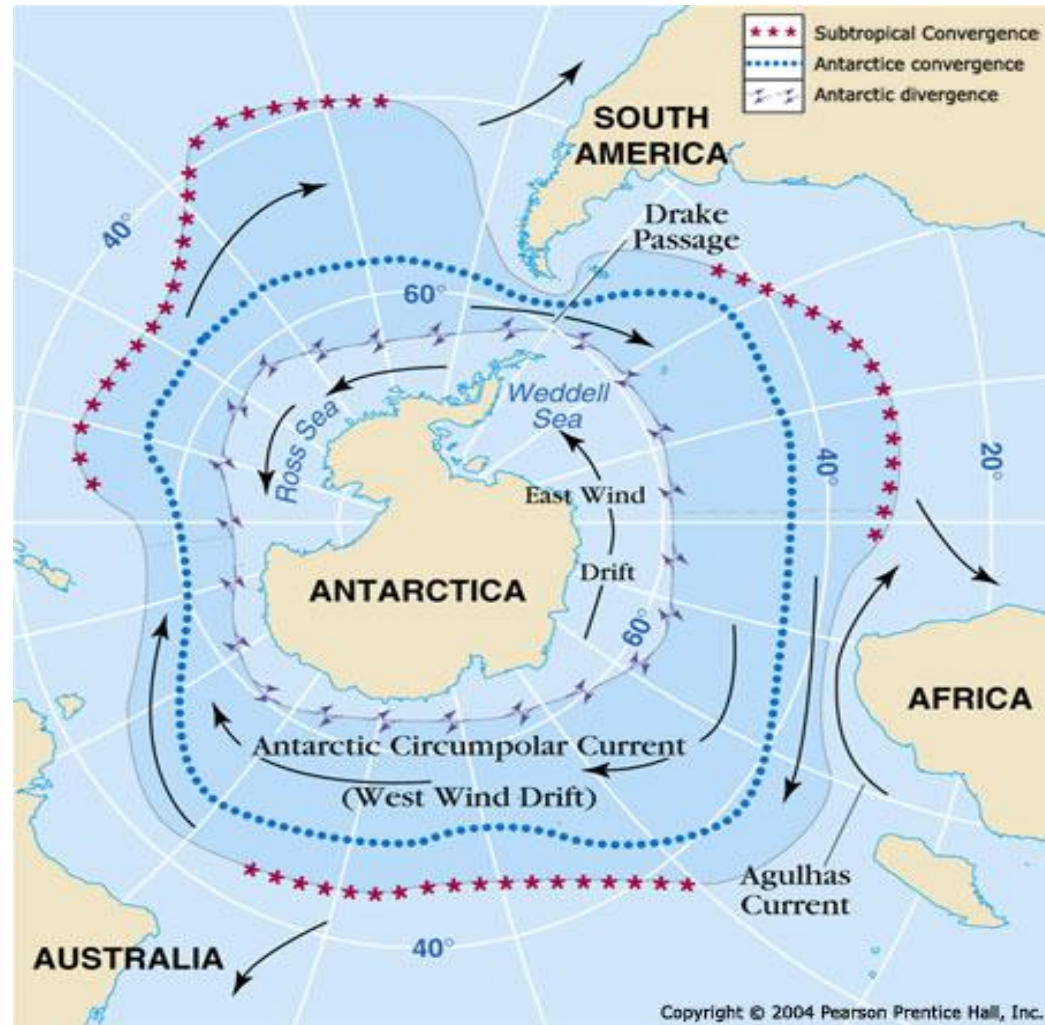
Конвергенция вод в субтропических антициклонических круговоротах приводит к нисходящим движениям

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



Ветровая циркуляция

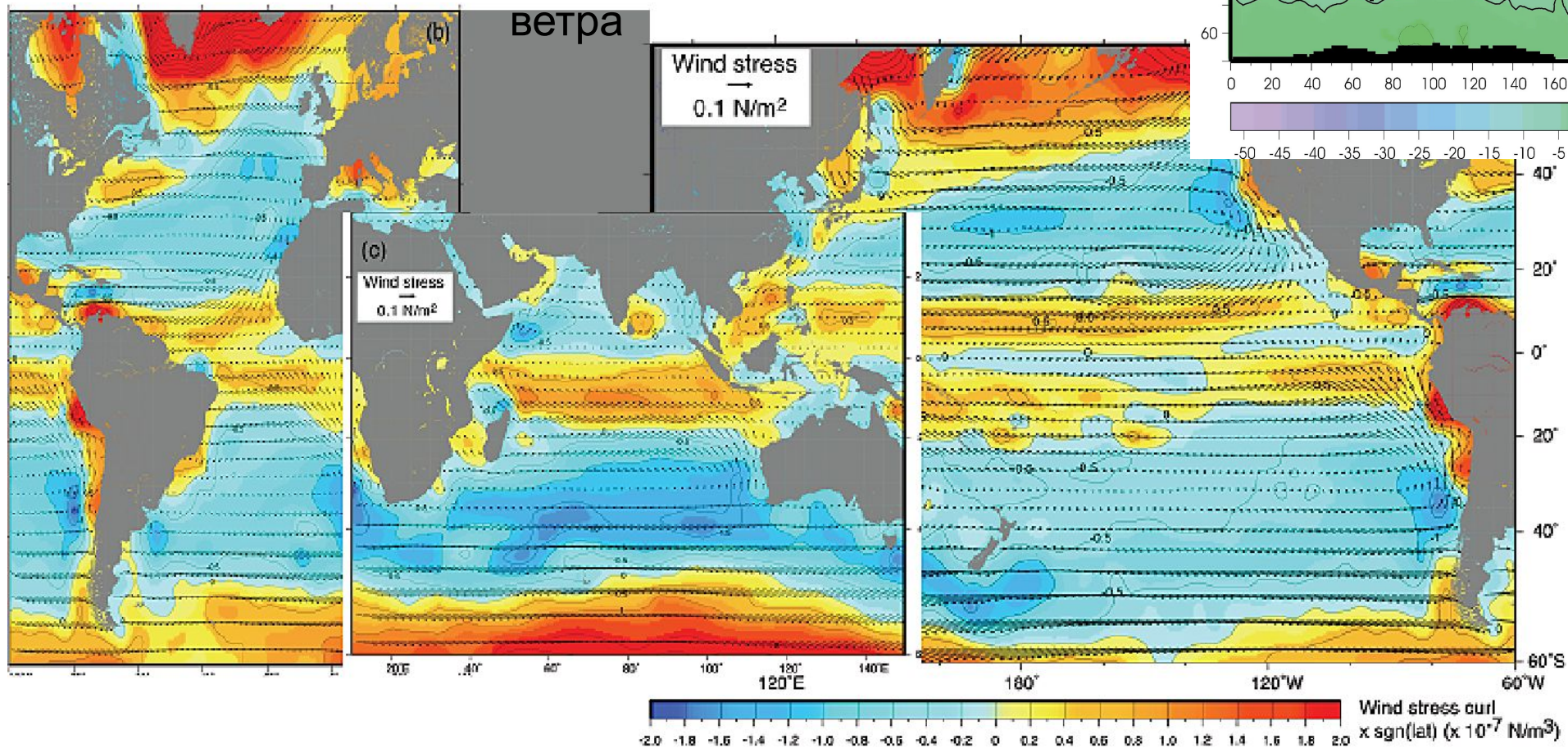
Конвергенции и дивергенции



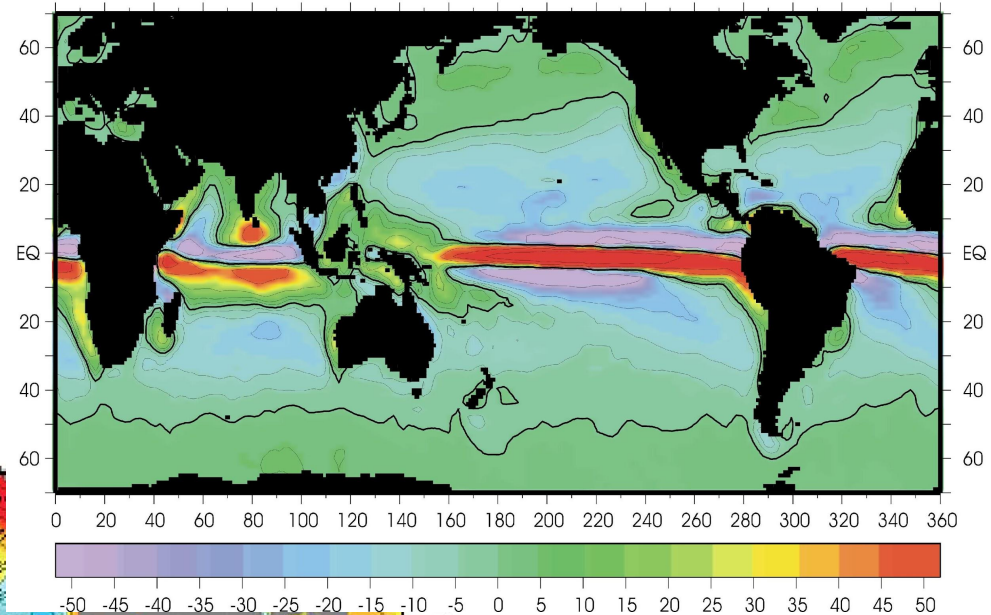
Ветровая циркуляция

Апвеллинг и даунвеллинг

Завихренность
ветра

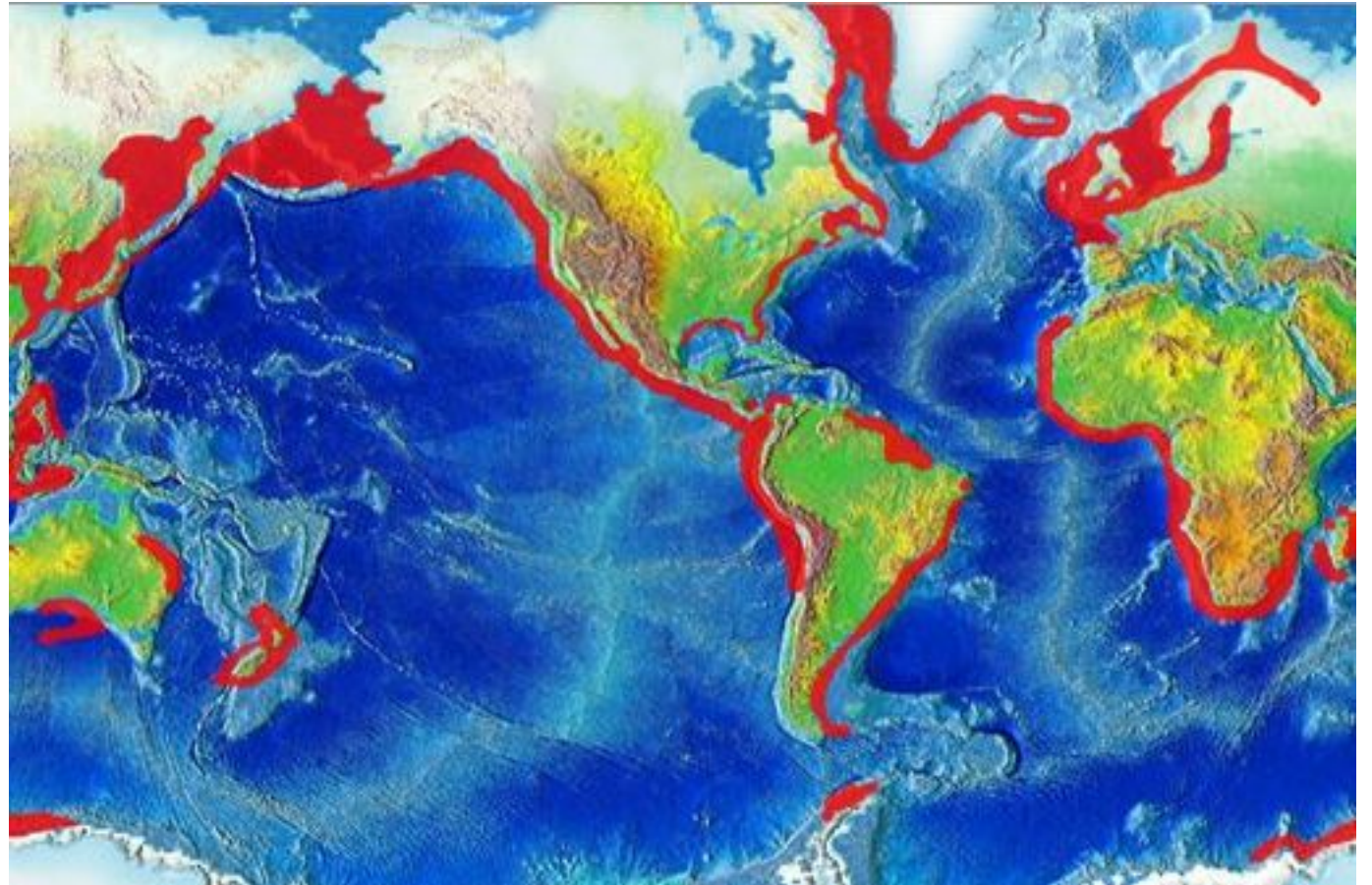
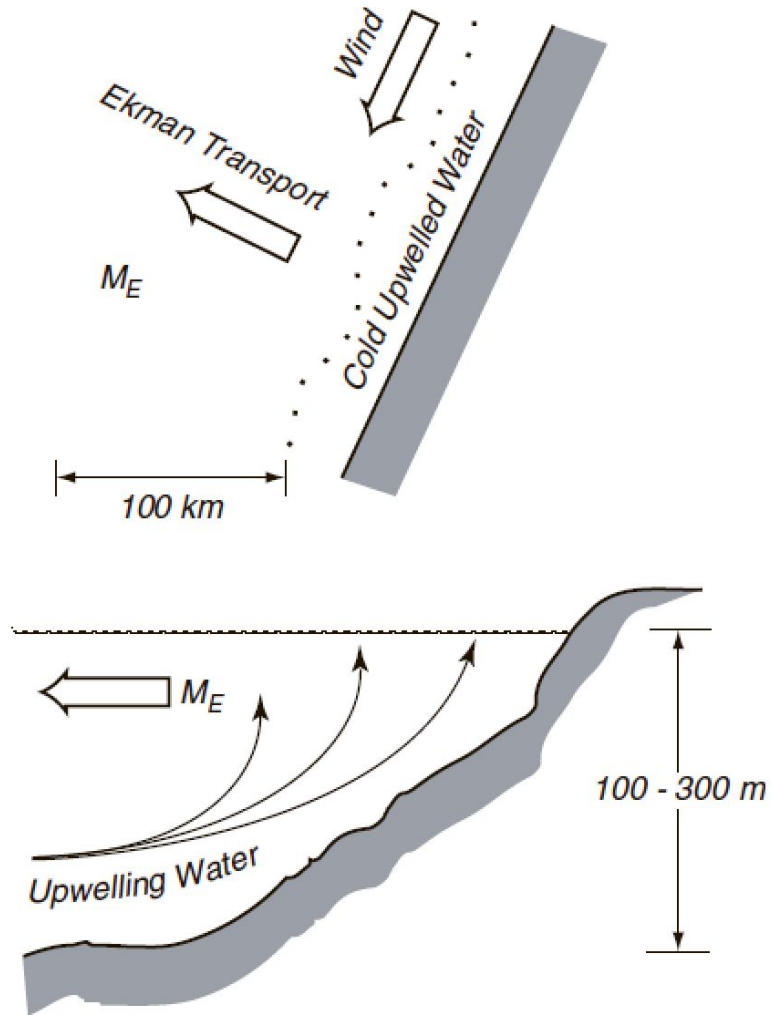


Annual Mean Global Wind-induced Upwelling (cm/day)



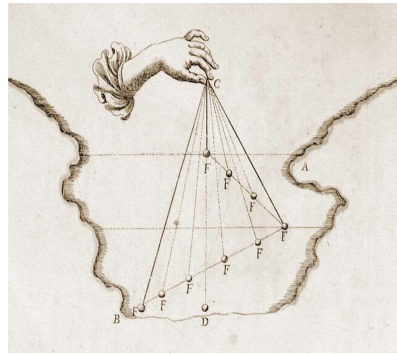
Ветровая циркуляция

Прибрежный апвеллинг



Термохалинная циркуляция

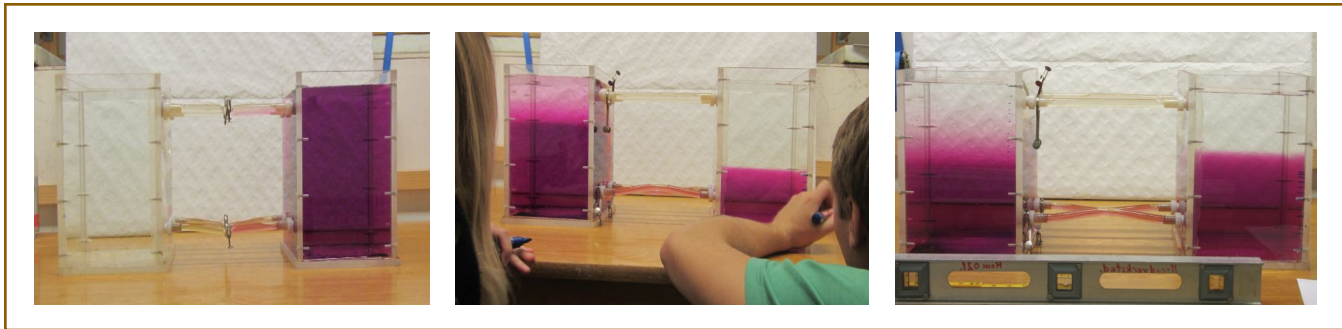
Луиджи Марсильи (1681-1725)



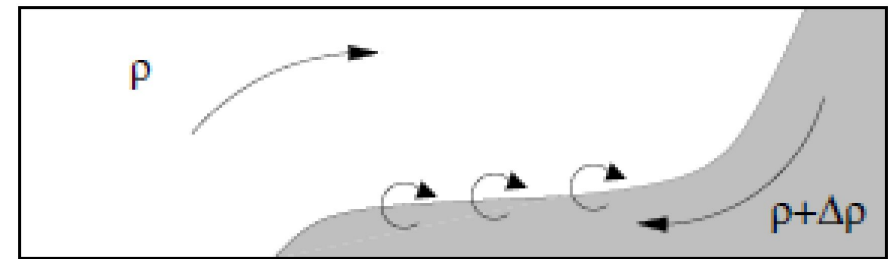
“Osservazioni intorno al Bosforo”, 1681

“Histoire physique de la mer”, 1725

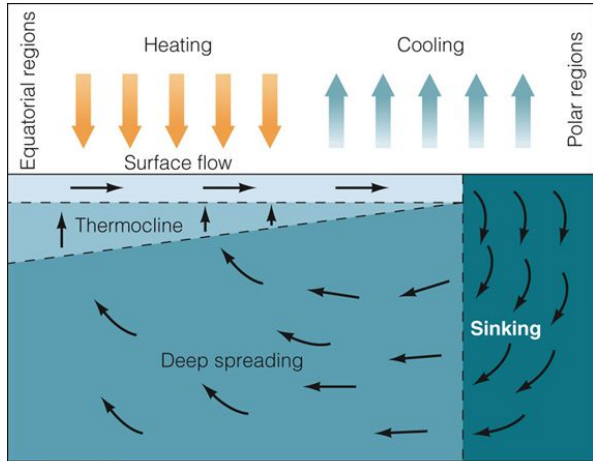
«Ящик Марсильи»



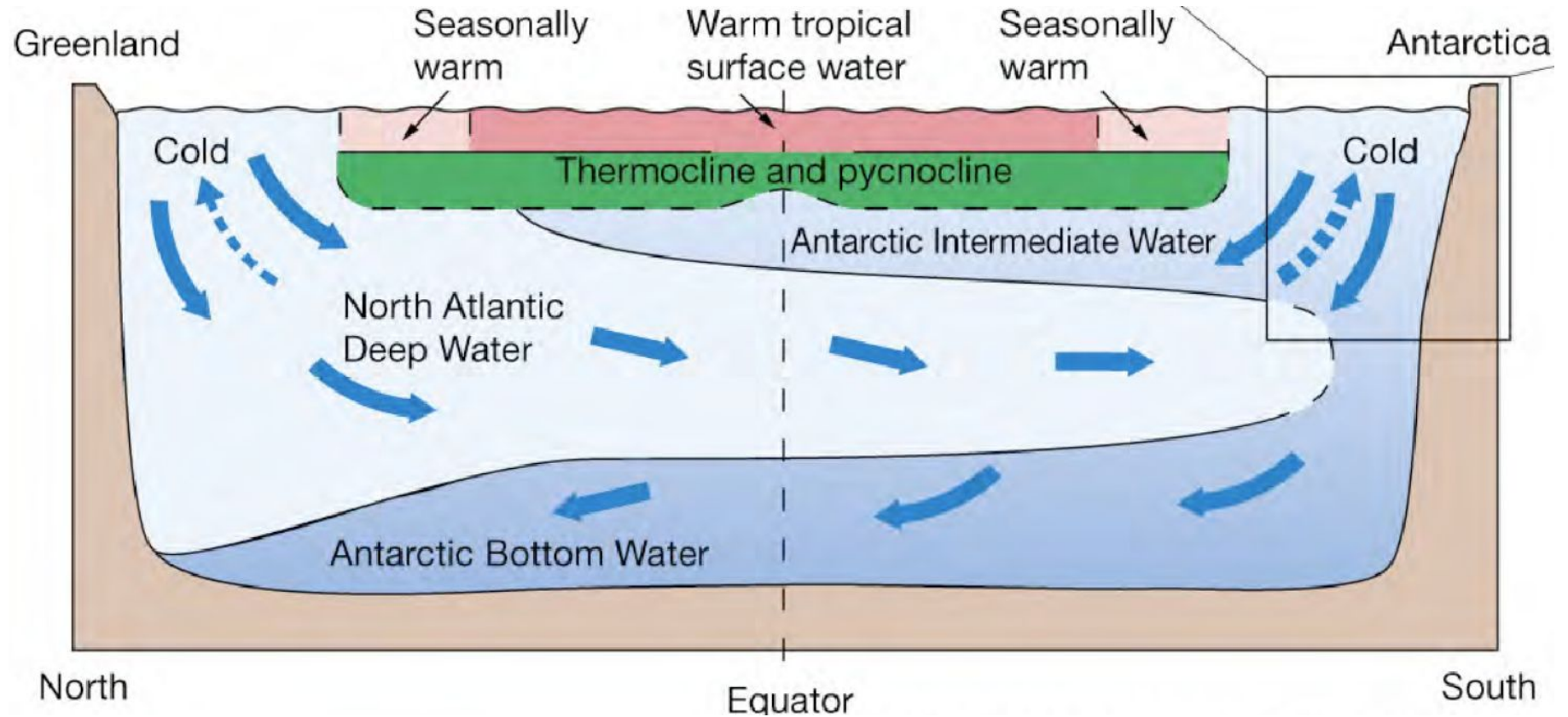
Плотностное течение



Термохалинная циркуляция

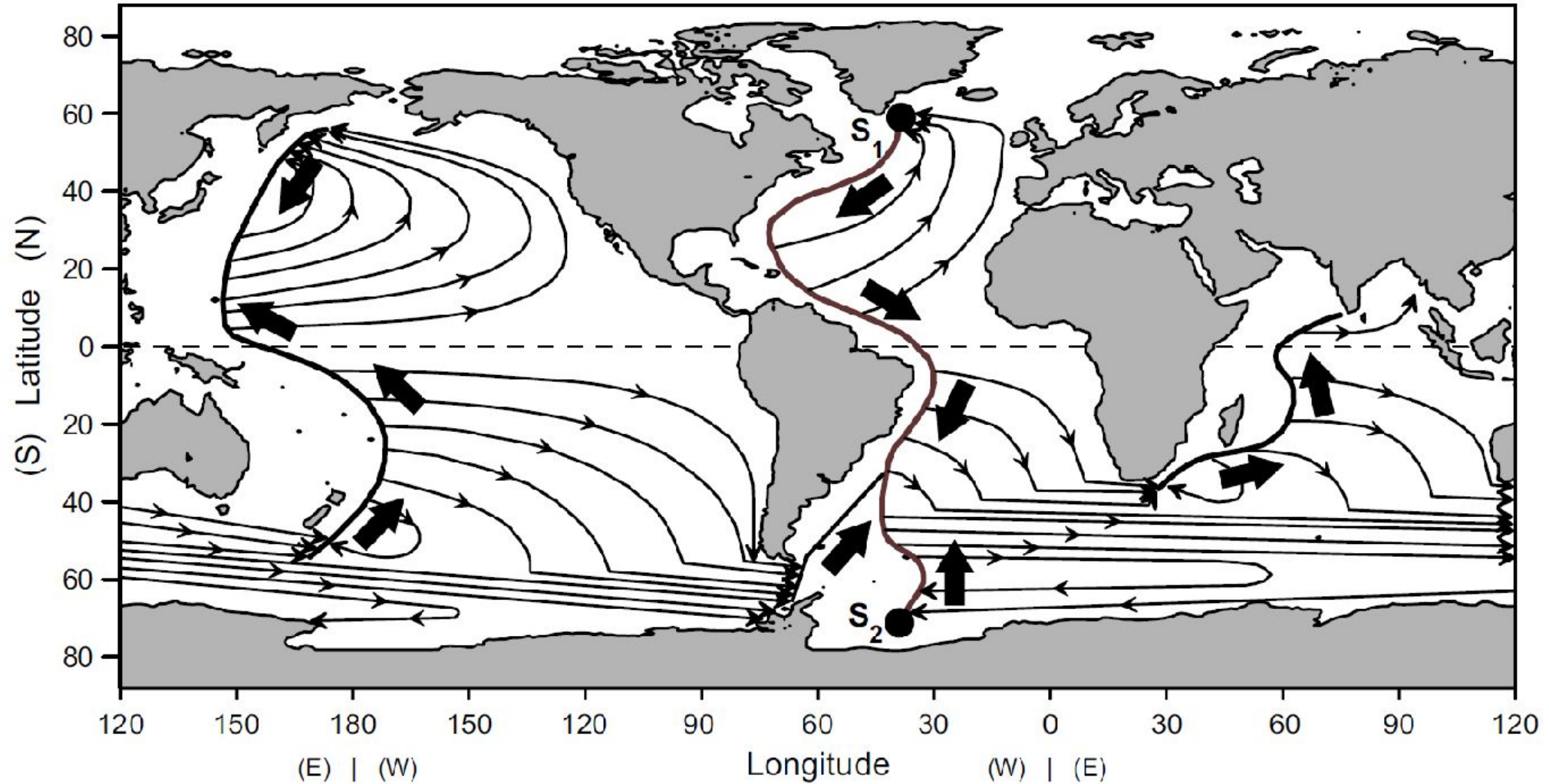


Wyrтки (1961)



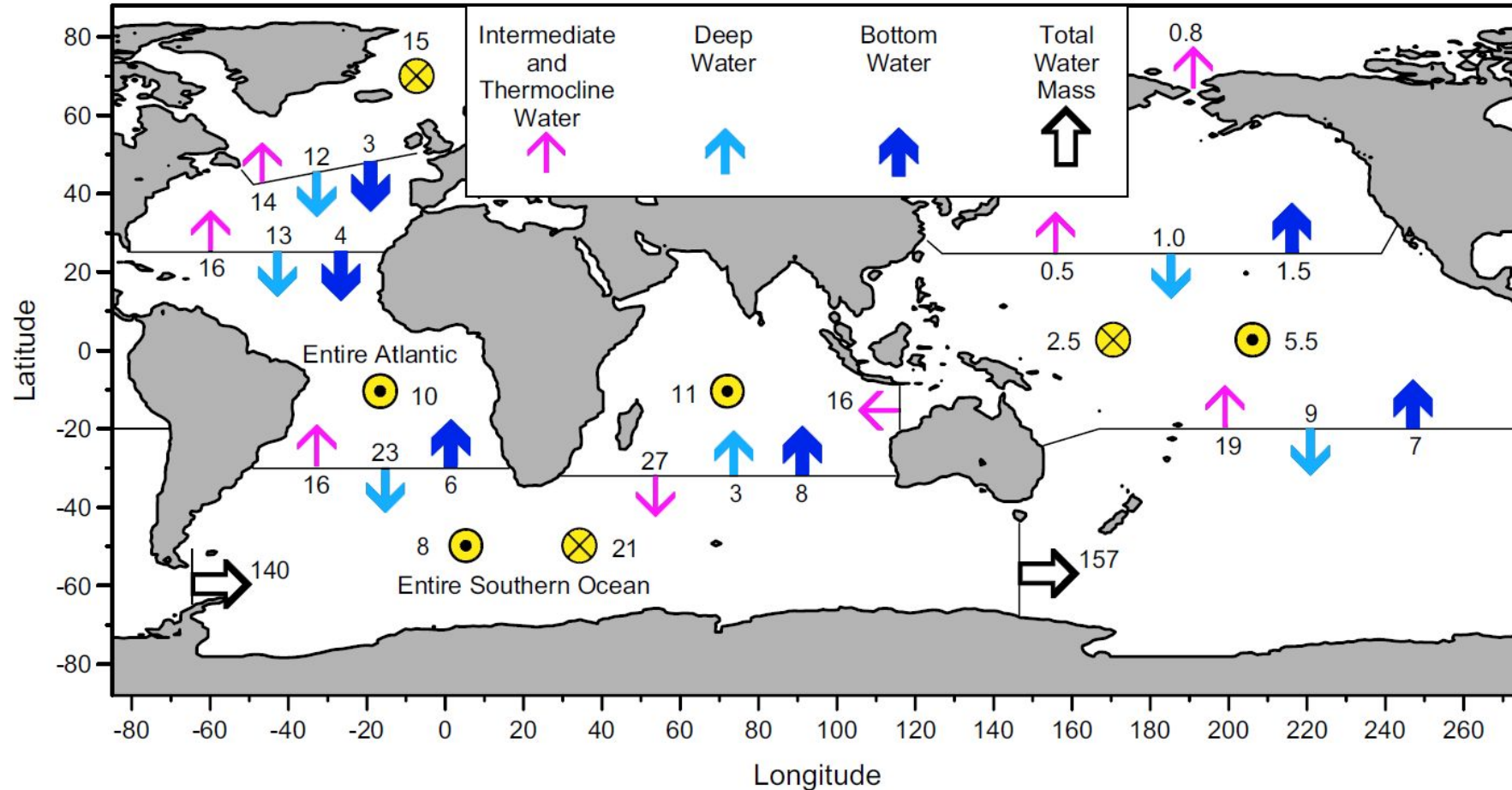
Термохалинная циркуляция

Модель глубинной циркуляции Аарона-Стоммела



Aaron, Stommel (1960)

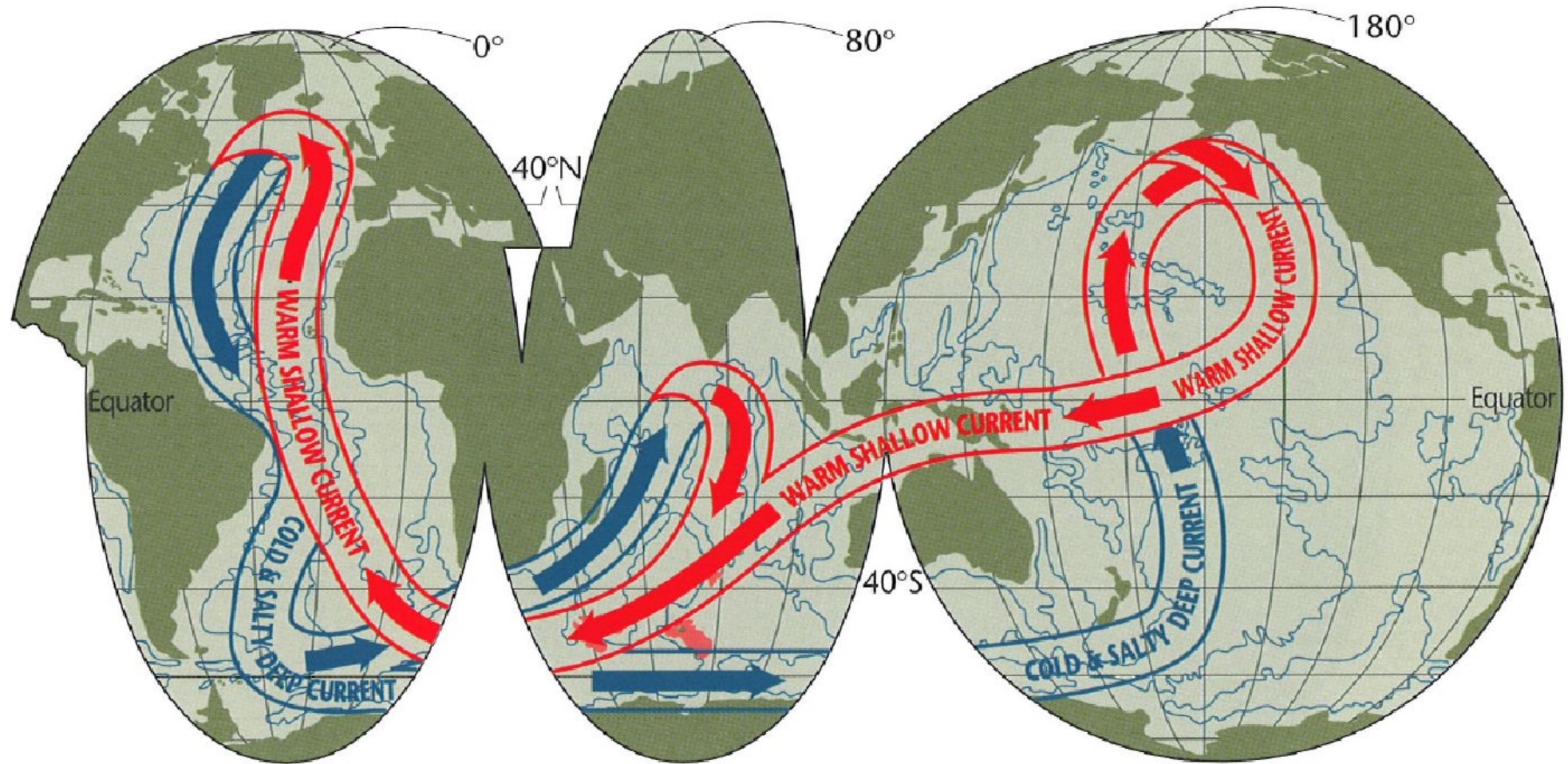
Меридиональные потоки воды



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

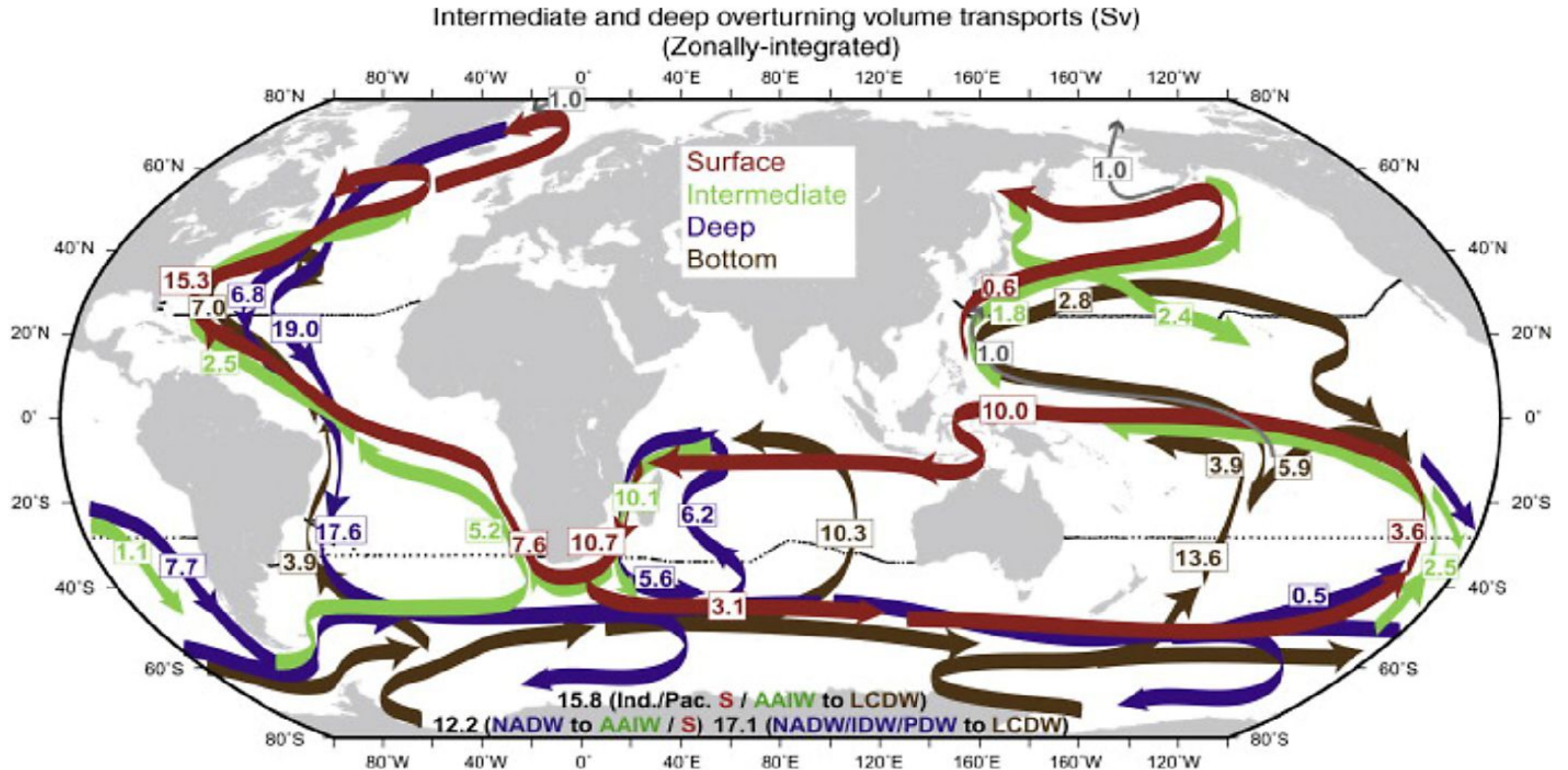
Глобальный конвейер



Wallace Broecker (1987, 1991)

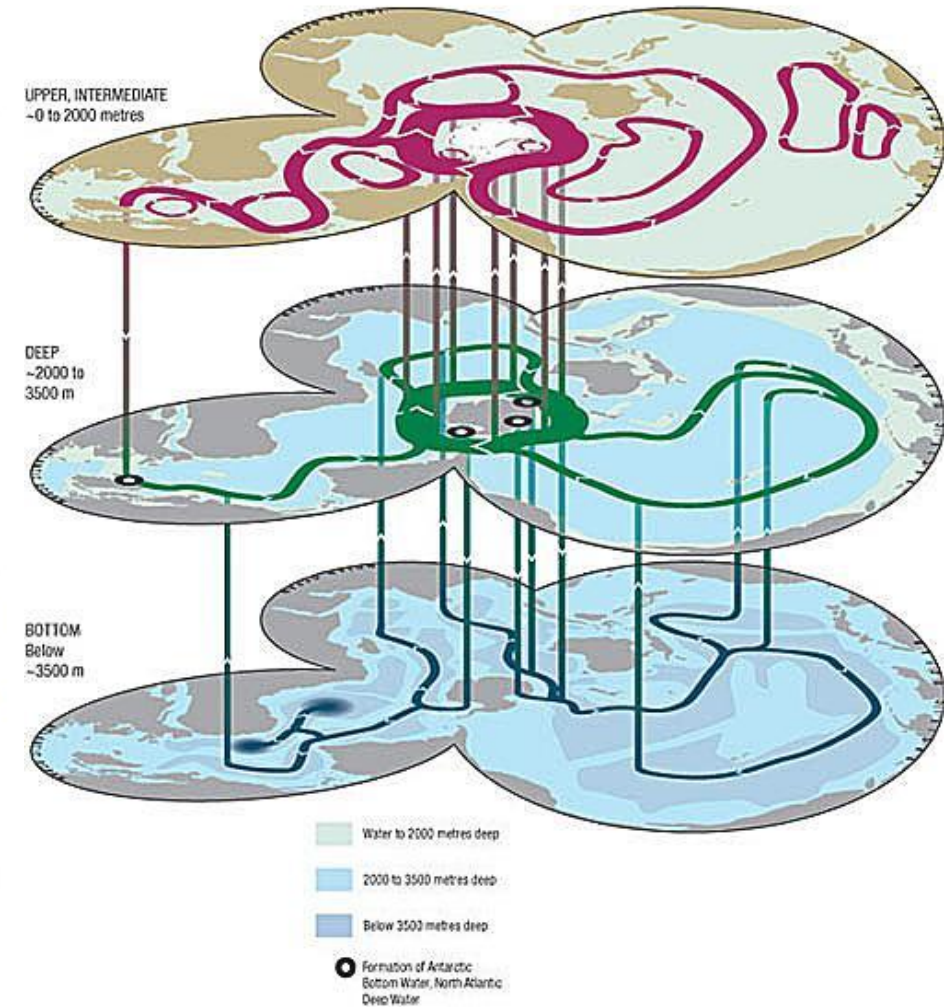
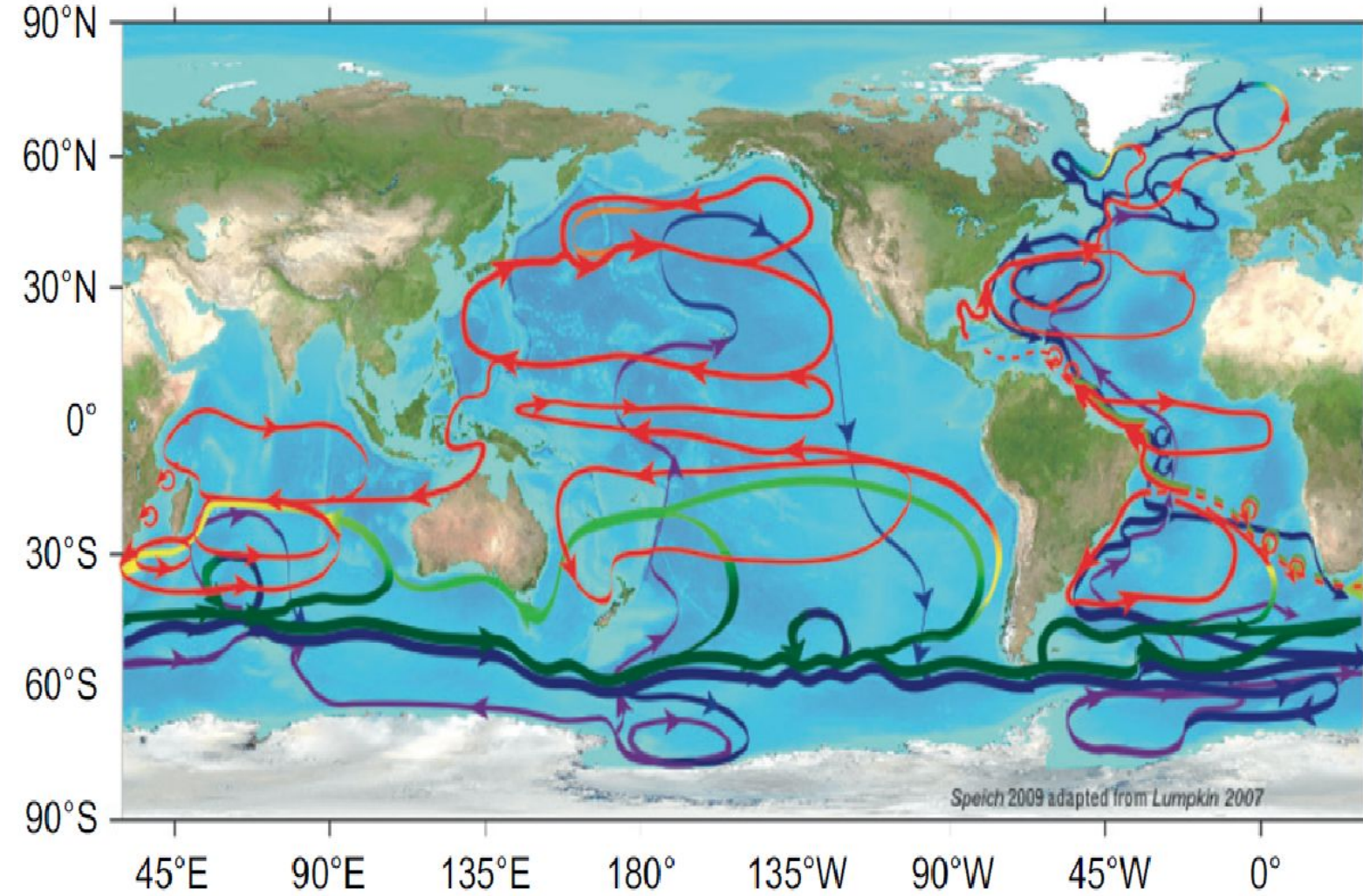
Термохалинная циркуляция

Глобальный конвейер



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;