Белокопытов В.Н., МГИ РАН, Севастополь

ОБЩАЯ ОКЕАНОЛОГИЯ

Общая циркуляция вод океана

Отечественные названия течений

Северное пассатное	North Equatorial
Южное пассатное	South Equatorial
Гвианское	North Brazil
Курильское	Oyashio

Отечественные названия течений

Ю.М. Шокальский		*А.Д. Добровольский*	
Северное экваториальное	→	Северное пассатное	
Южное экваториальное	→	Южное пассатное	… пассатное (экваториальное)

	Н.Н. Зубов	*В.Н. Степанов*
Экваториальное противотечение	→ Межпассатное противотечение	→ 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***

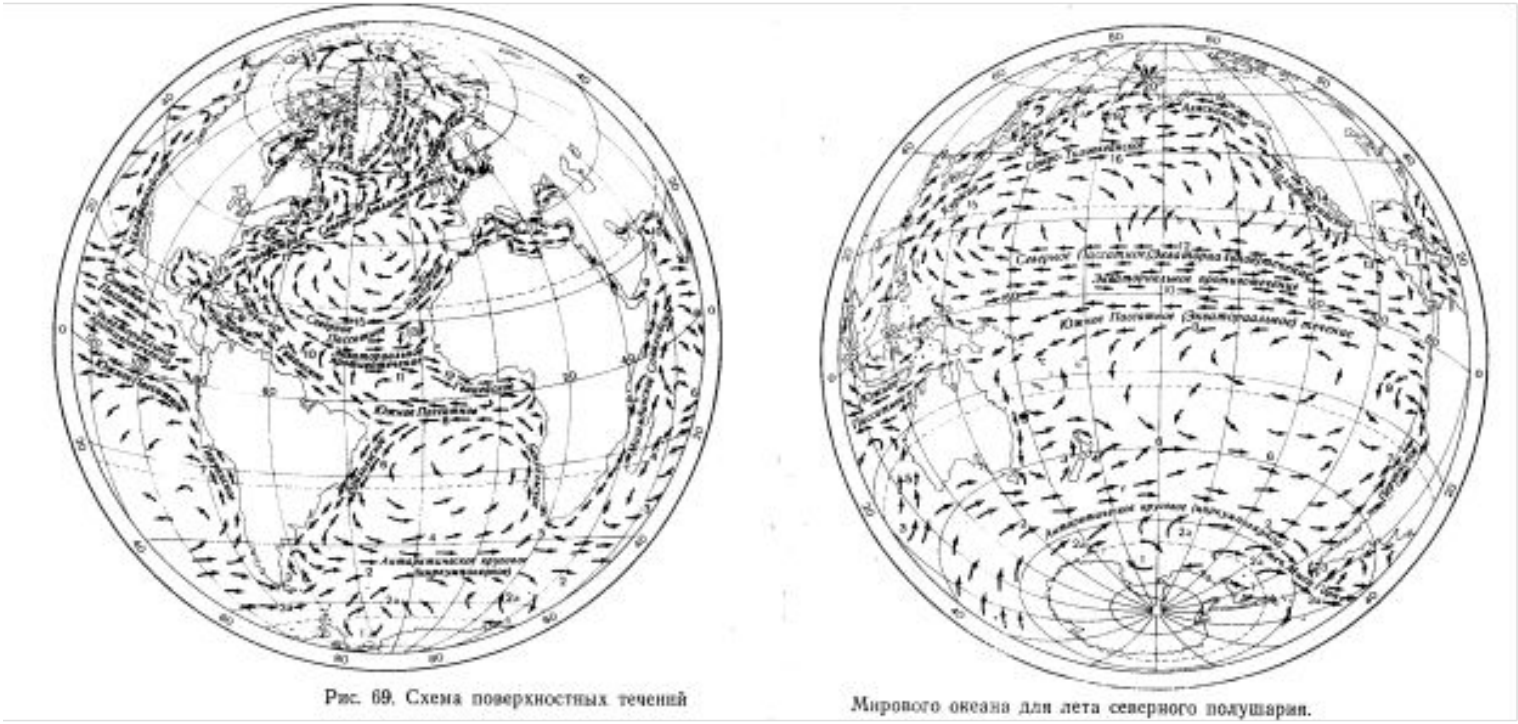


Рис. 69. Схема поверхностных течений Мирового океана для лета северного полушария.

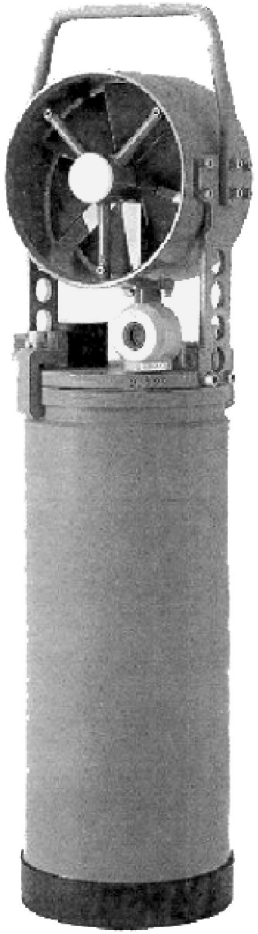
Основные поверхностные течения Мирового океана
(по В. Н. Степанову. Мировой океан. М., «Знание», 1974. 255 с.)

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

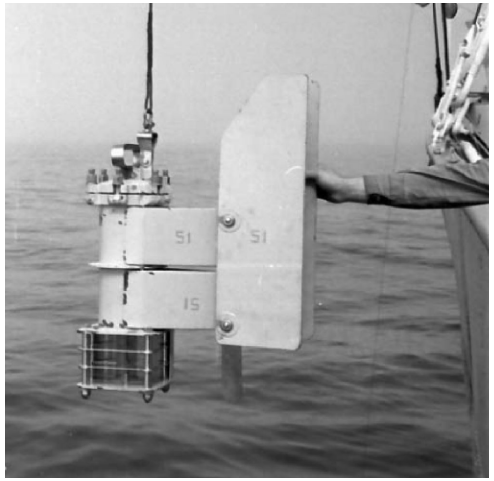
Как измеряют течения в океанах и морях?

Измерение течений в океане

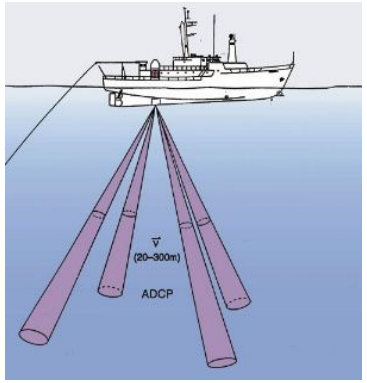
Эйлеревы характеристики течений $\boldsymbol{V}(x,y,z,t)$



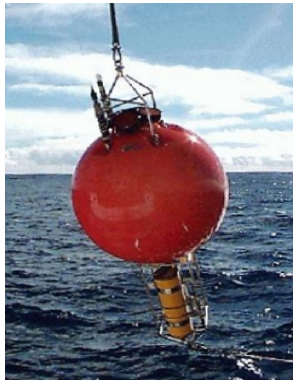
Механические вертушки



Акустические измерители



ADCP



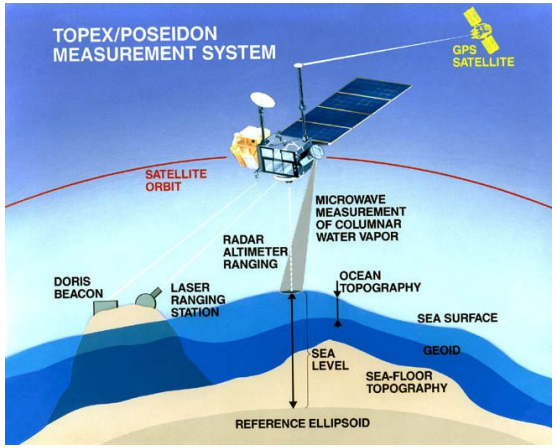
Электромагнитные измерители

ЭМИТ

Подводные электрические кабели

Индукционные измерители скорости потока

Спутниковая альтиметрия

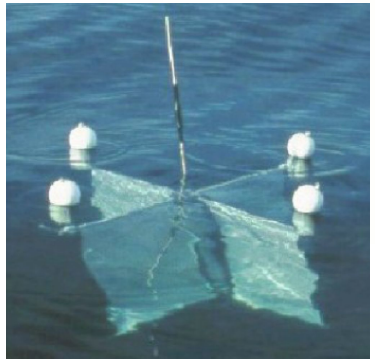


Измерение течений в океане

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

Плавающие объекты

Бутылочная почта
Дрейфующие поплавки
Дрейфующие вехи
Снос судов



Поверхностные дрифтеры

Подповерхностные дрифтеры

SOFAR

RAFOS

Всплывающие буи

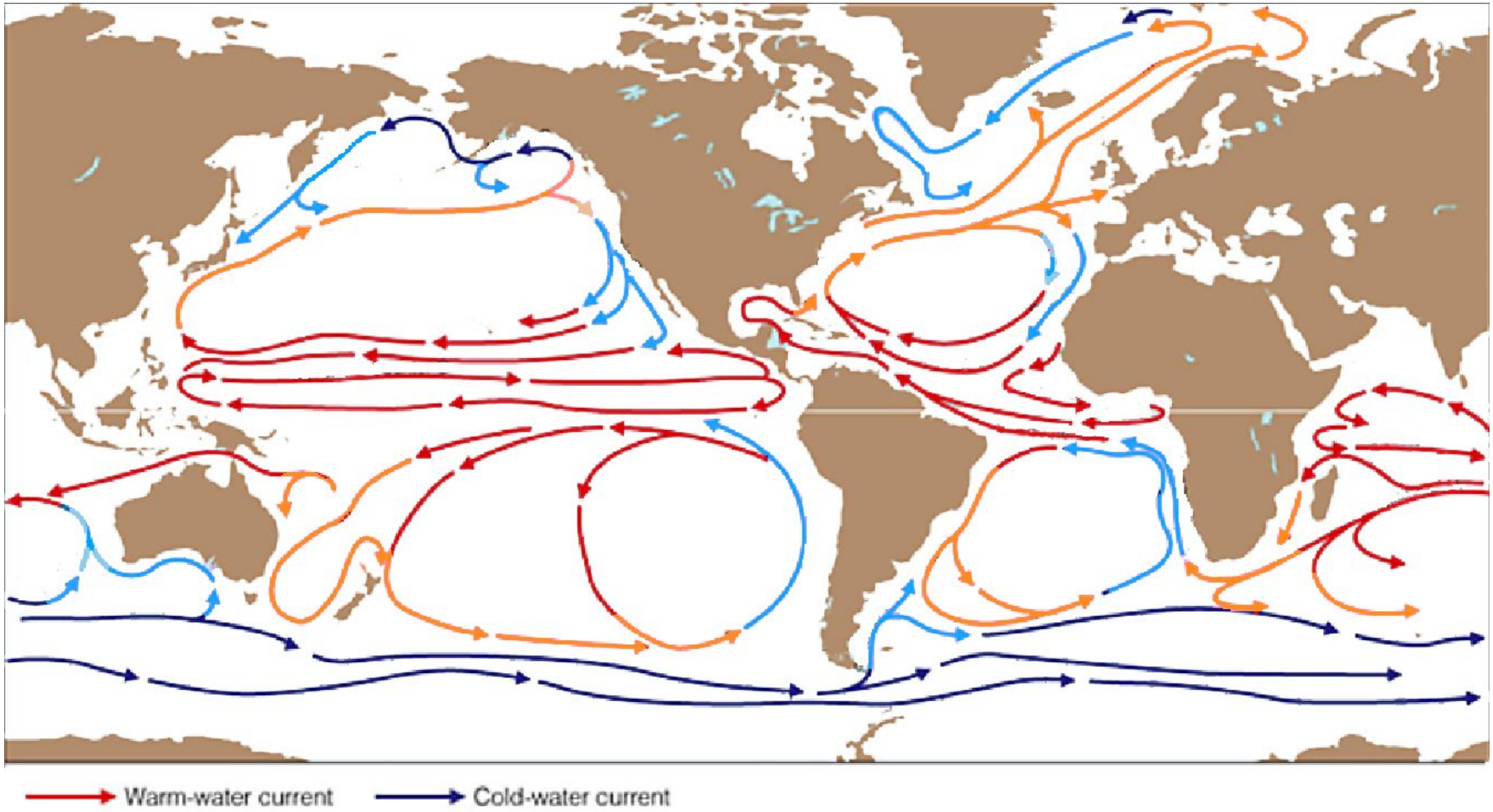
ALACE
ARGO

Трассеры

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

Циркуляция океана как одна из составляющих теплового и водного баланса

Перенос тепла течениями



Меридиональные потоки тепла

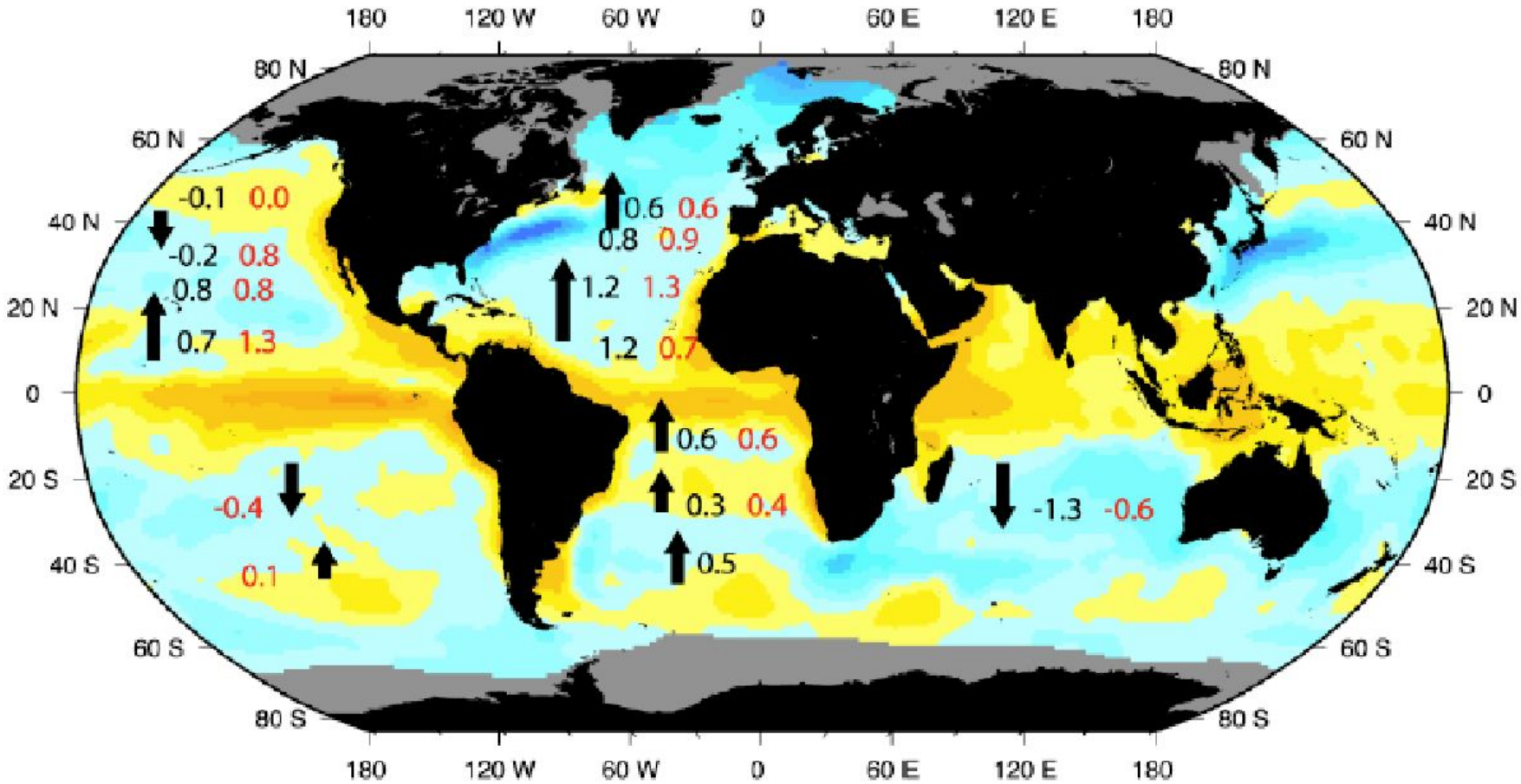
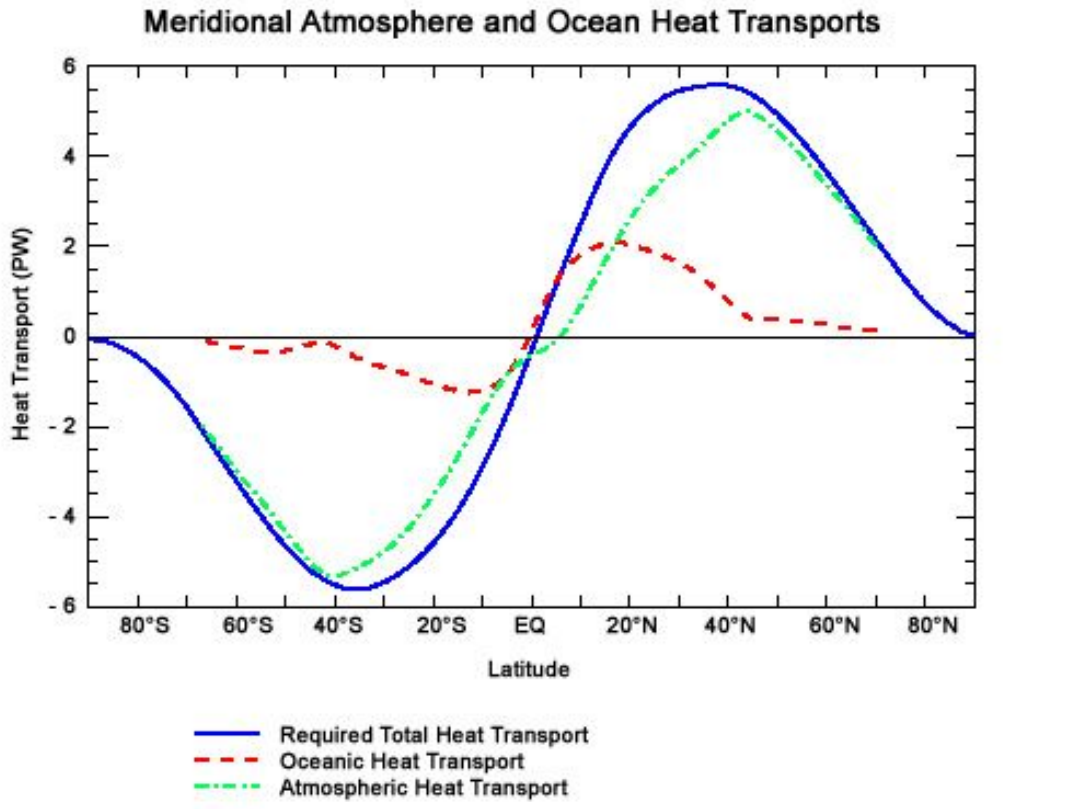
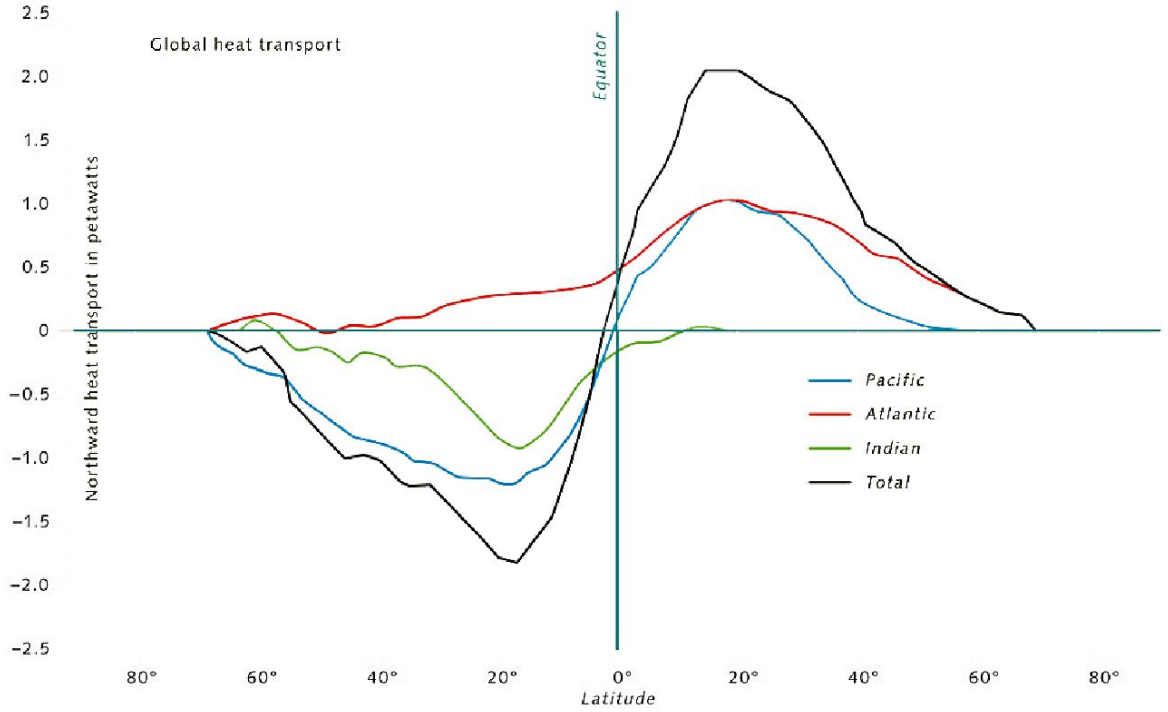


Fig. 5.23. Net south-north heat transports (PW) from direct estimates, superimposed on the map of annual average heat flux (Fig. 5.10). Black: estimates from "inverse models" from many sources (summaries in Bryden and Imawaki, 2001; Talley, 2003). Red: Talley (2003). Positive transports are northward.

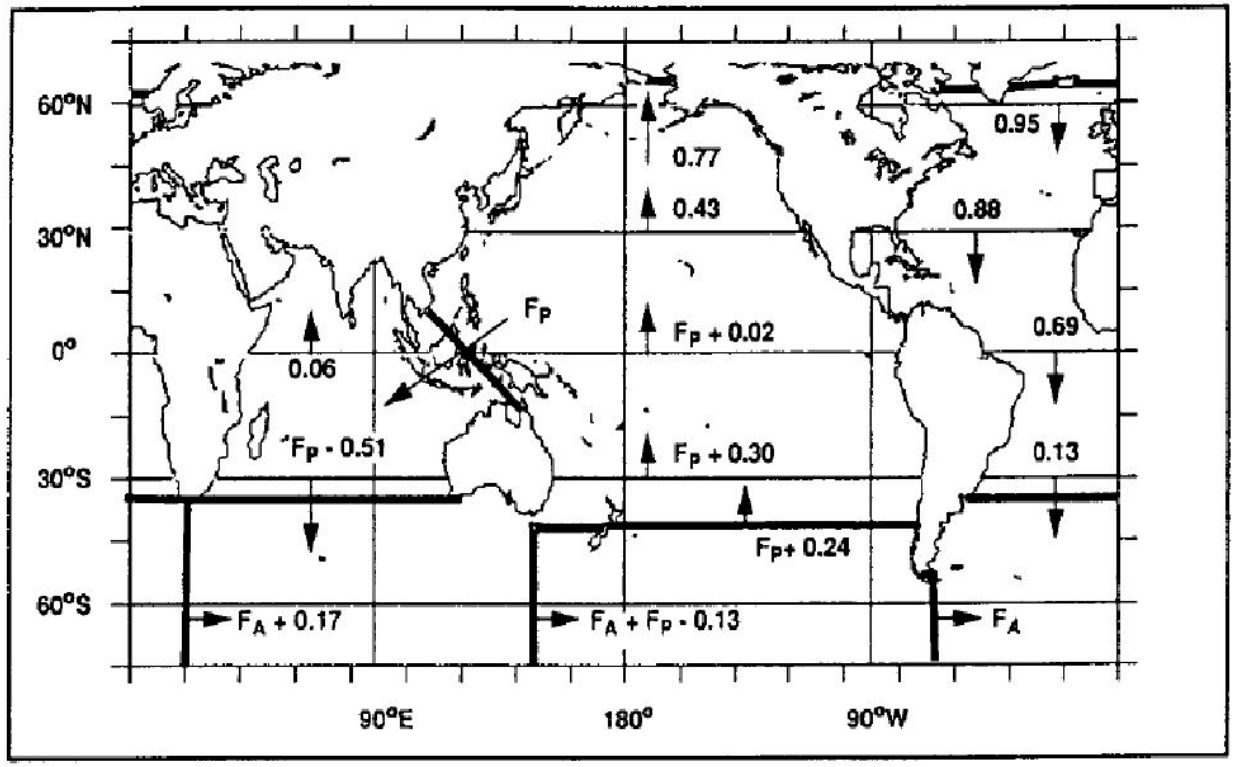
Меридиональные потоки тепла



Trenberth and Caron 2001



Меридиональные потоки пресных вод



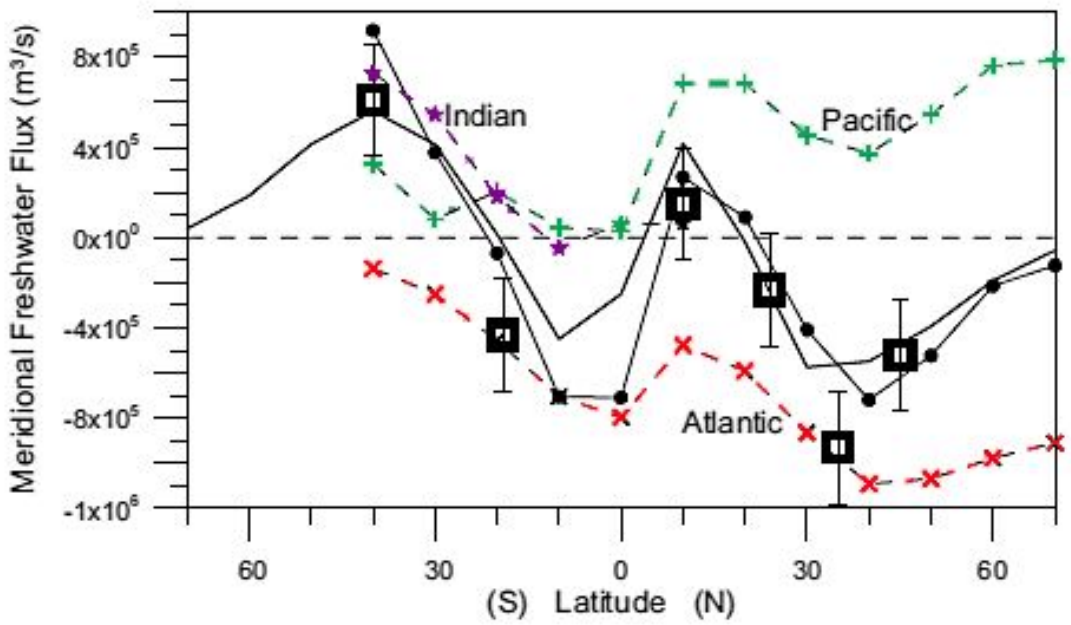


Figure 2.7. Meridional freshwater transport (in 10^9 kg/s) in the ocean, with the quantities F_P and F_A referring to the freshwater transport of the Pacific-Indian through flow and that of the Antarctic Circumpolar Current at Drake Passage, respectively (Wijffels et al., 1992).

Типы морских течений

Ветровые
Дрейфовые
Градиентные
Плотностные
Приливные
Стоковые
Волновые

Формирование глобальной циркуляции океана

Ветровая циркуляция
Термохалинная циркуляция

Важные понятия в геофизической гидродинамике

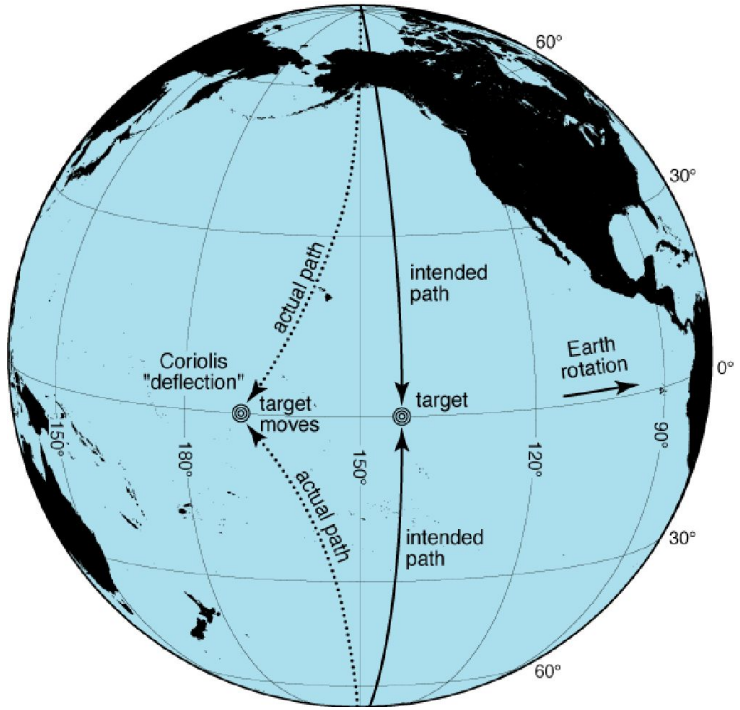
Кориолисово ускорение (x) = $\Omega \times$ v

Кориолисово ускорение (x) = fv

Кориолисово ускорение (y) = -fu

Параметр Кориолиса f = -2 Ω sin(ϕ) $\beta = \frac{\partial f}{\partial y}$

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



Геострофические соотношения

$$\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x} = fv$$

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

Сохранение абсолютной завихренности

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

H – толщина слоя океана

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

$\nabla \cdot \mathbf{V}$

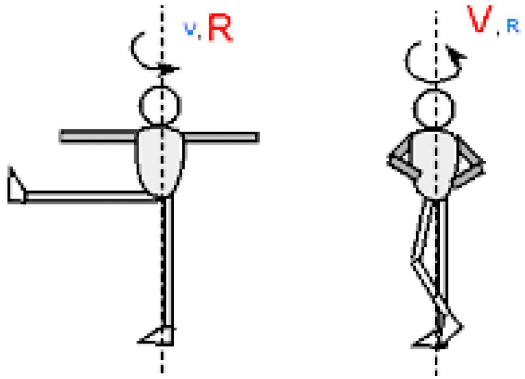
Конвергенция $\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} < 0$

Относительная завихренность

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

Абсолютная завихренность $f + \xi$

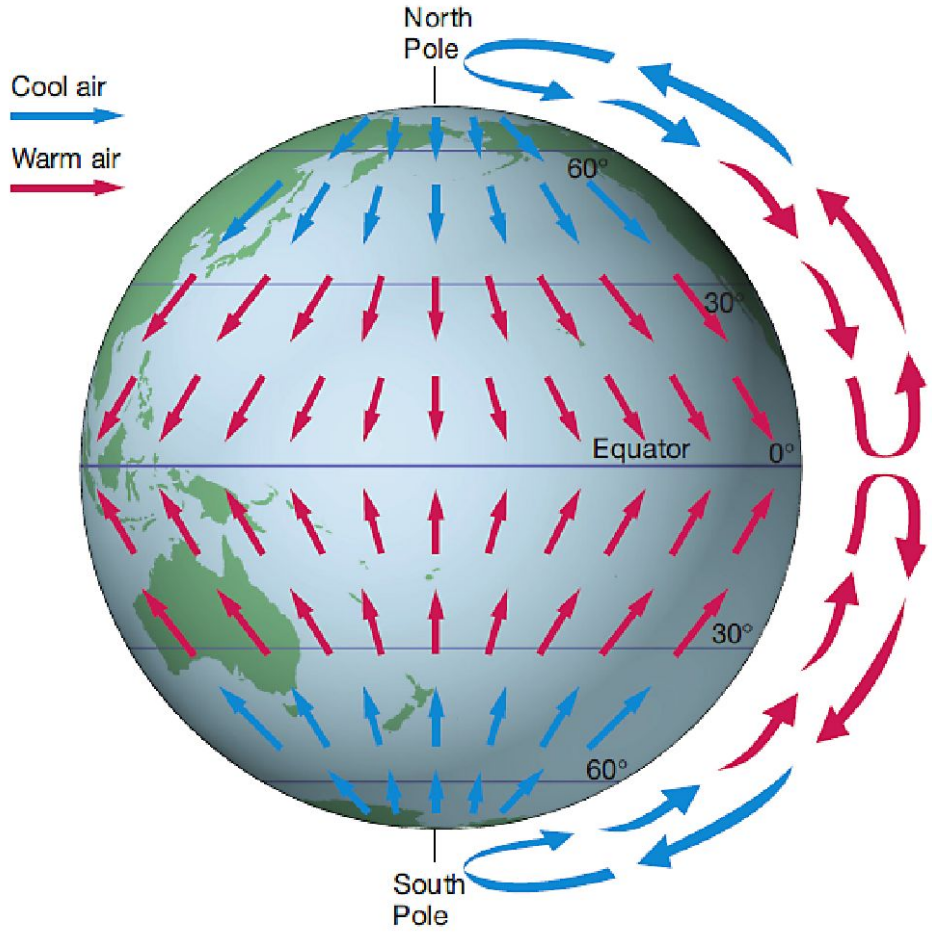
→ Аналог сохранения момента импульса (углового момента)



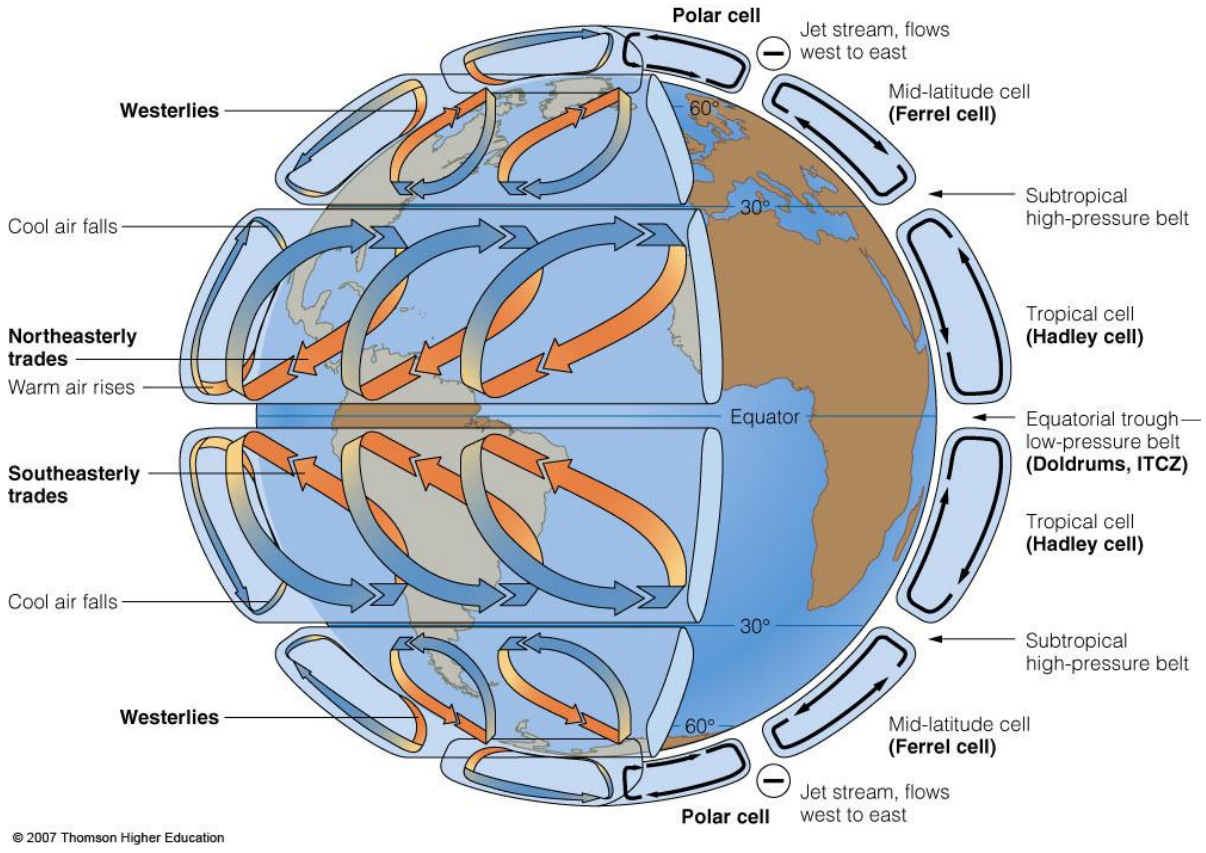
Глобальная атмосферная циркуляция

Ячейки глобальной циркуляции

Без вращения Земли

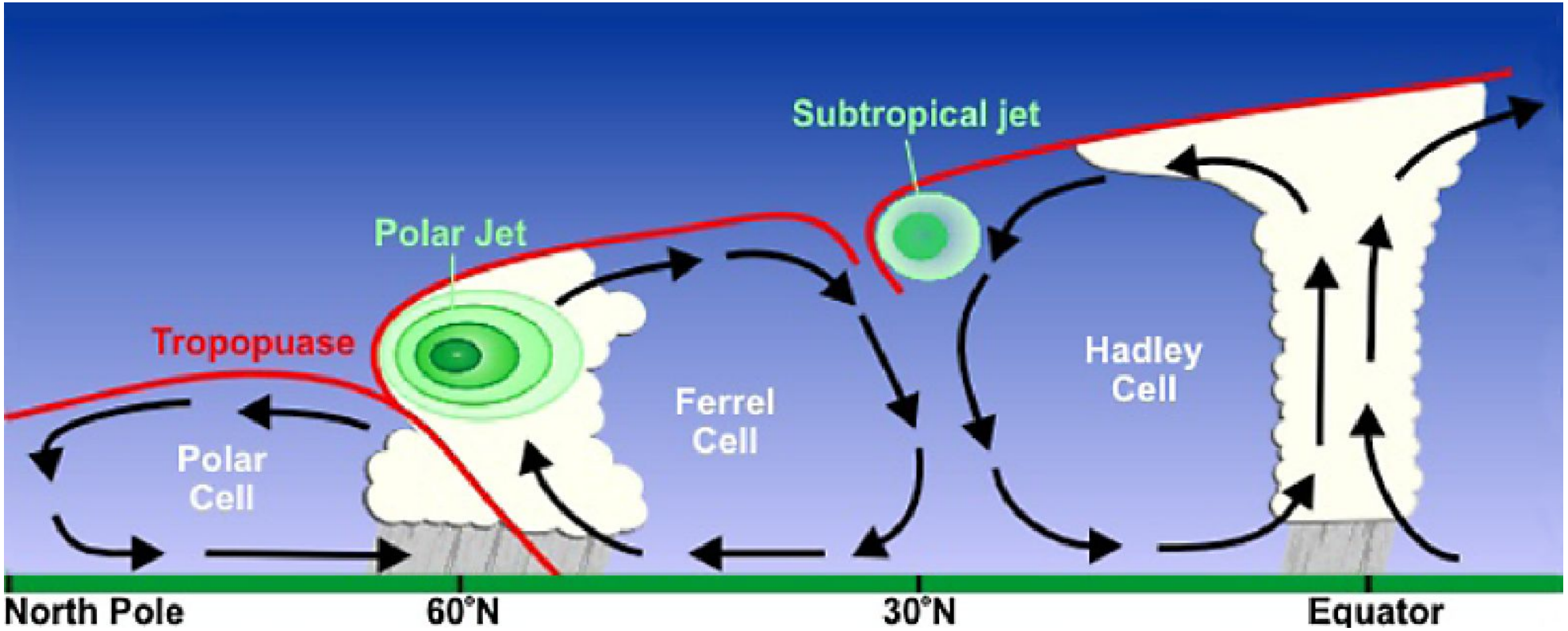


С вращением Земли



Глобальная атмосферная циркуляция

Ячейки глобальной циркуляции



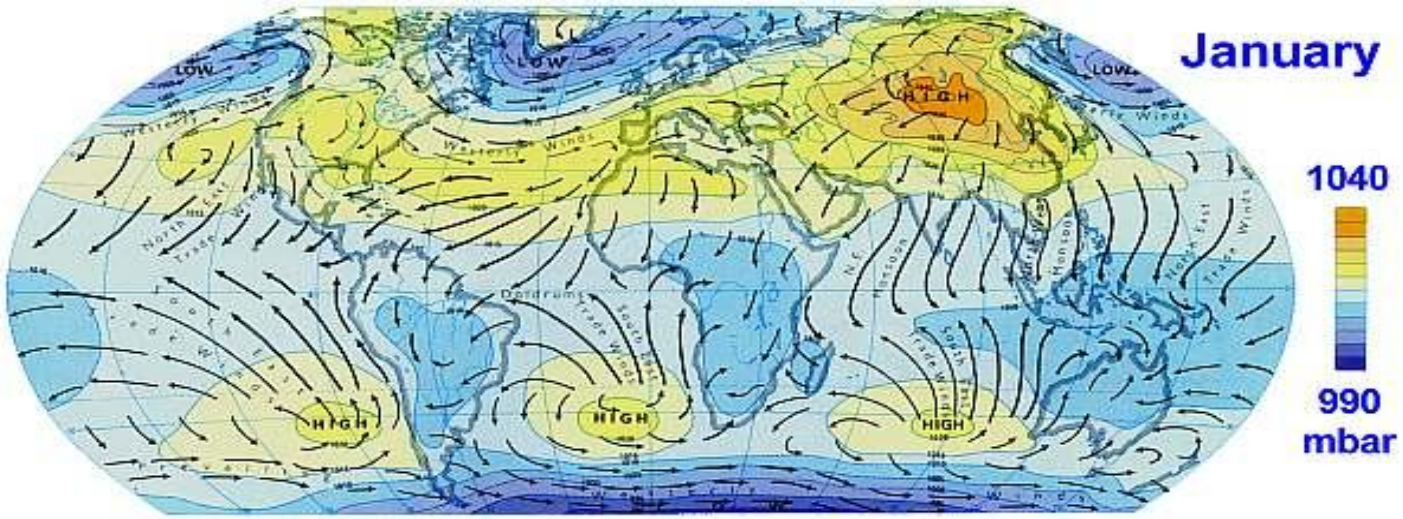
Polar easterlies

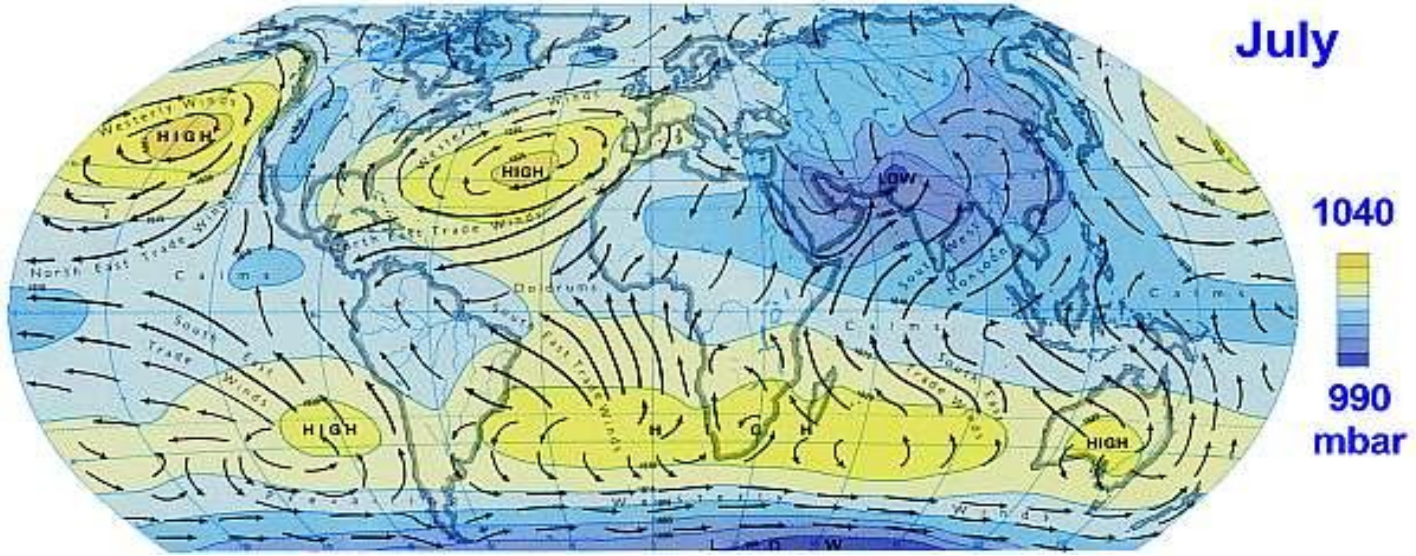
Westerlies

Trades

Глобальная атмосферная циркуляция

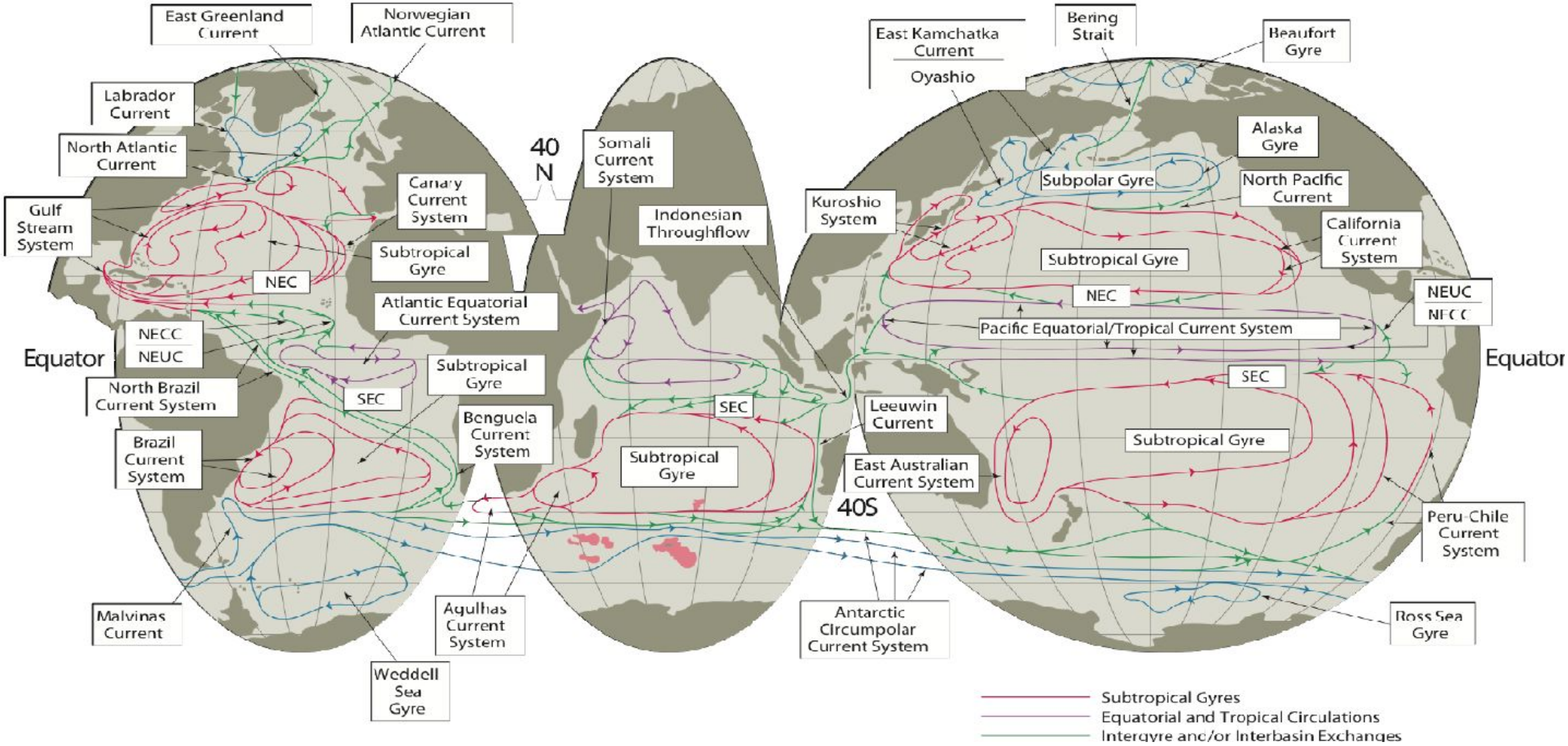
Приземный ветер





Ветровая циркуляция

Системы поверхностных течений

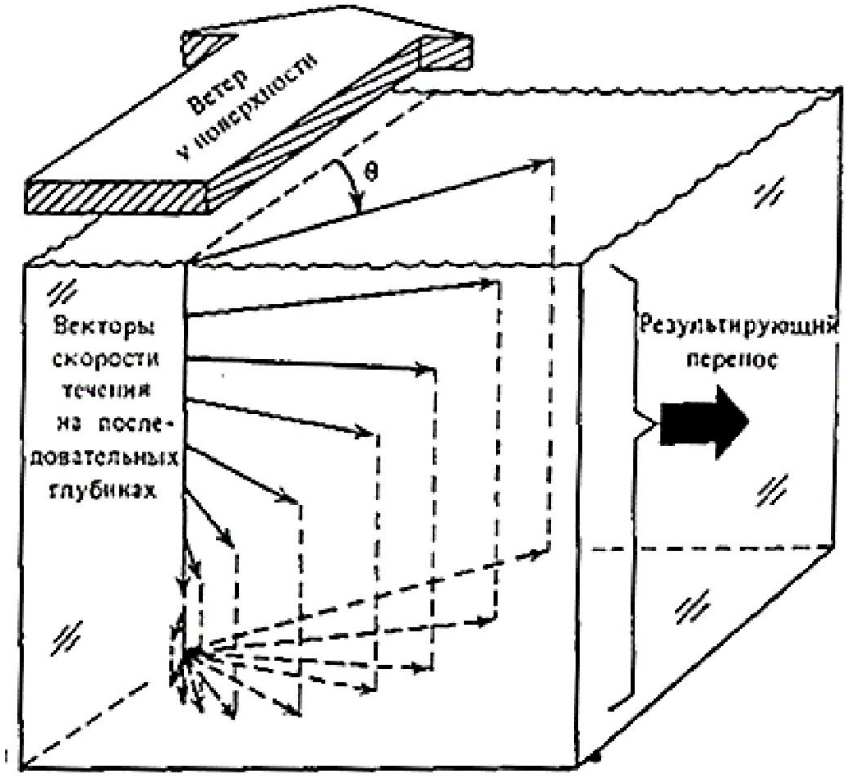


Ветровая циркуляция

Дрейфовые течения, теория Экмана

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

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



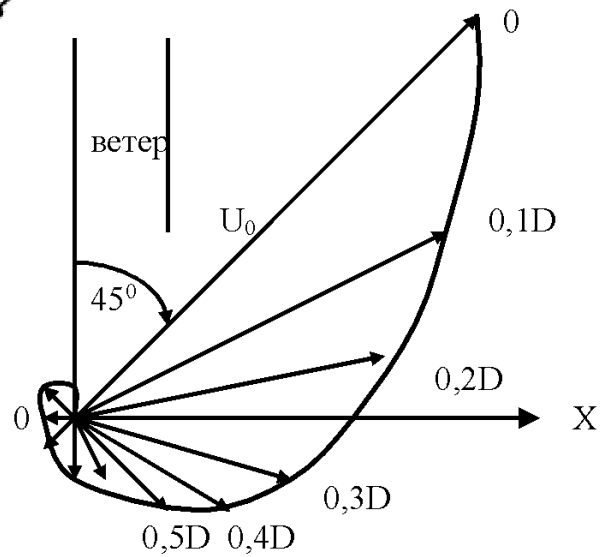
F.W. Ekman *(1905)*

$$u=U_0e^{-az}\cos(45^0-az)$$

$$v=U_0e^{-az}\sin(45^0-az)$$

$$\Phi_x=\frac{U_0D}{\pi\sqrt{2}},$$

$$\Phi_y=0.$$

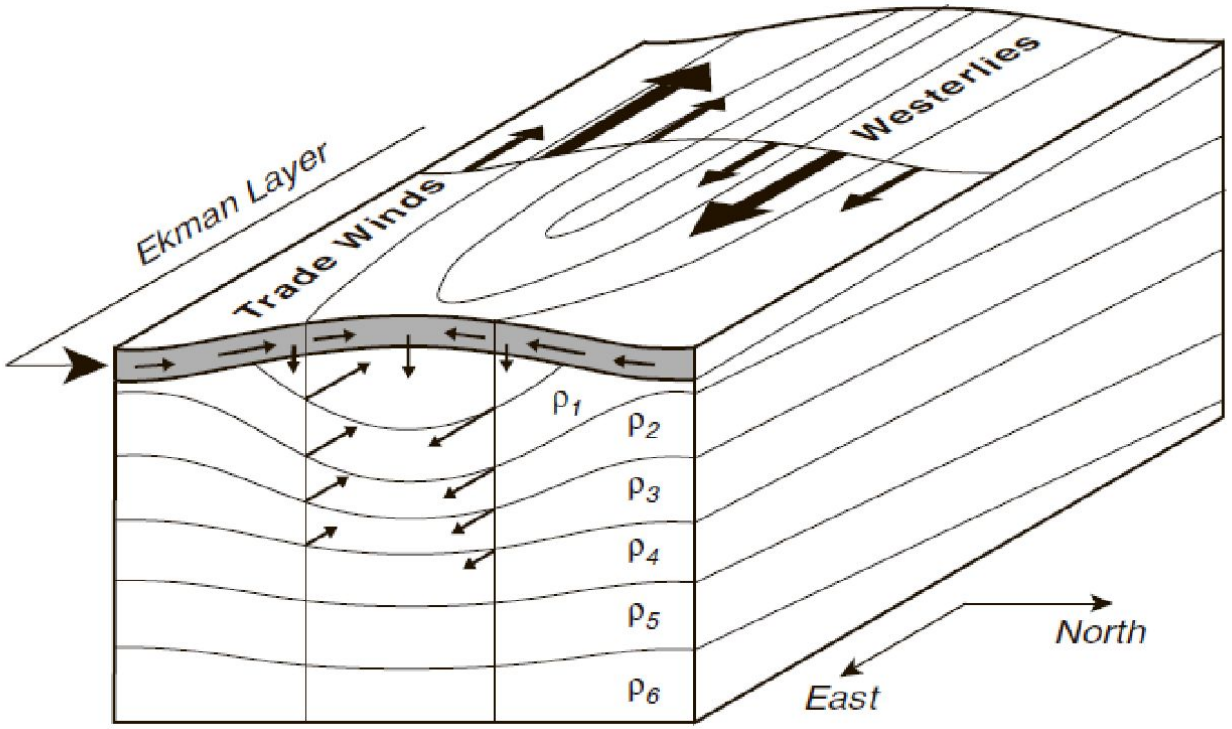


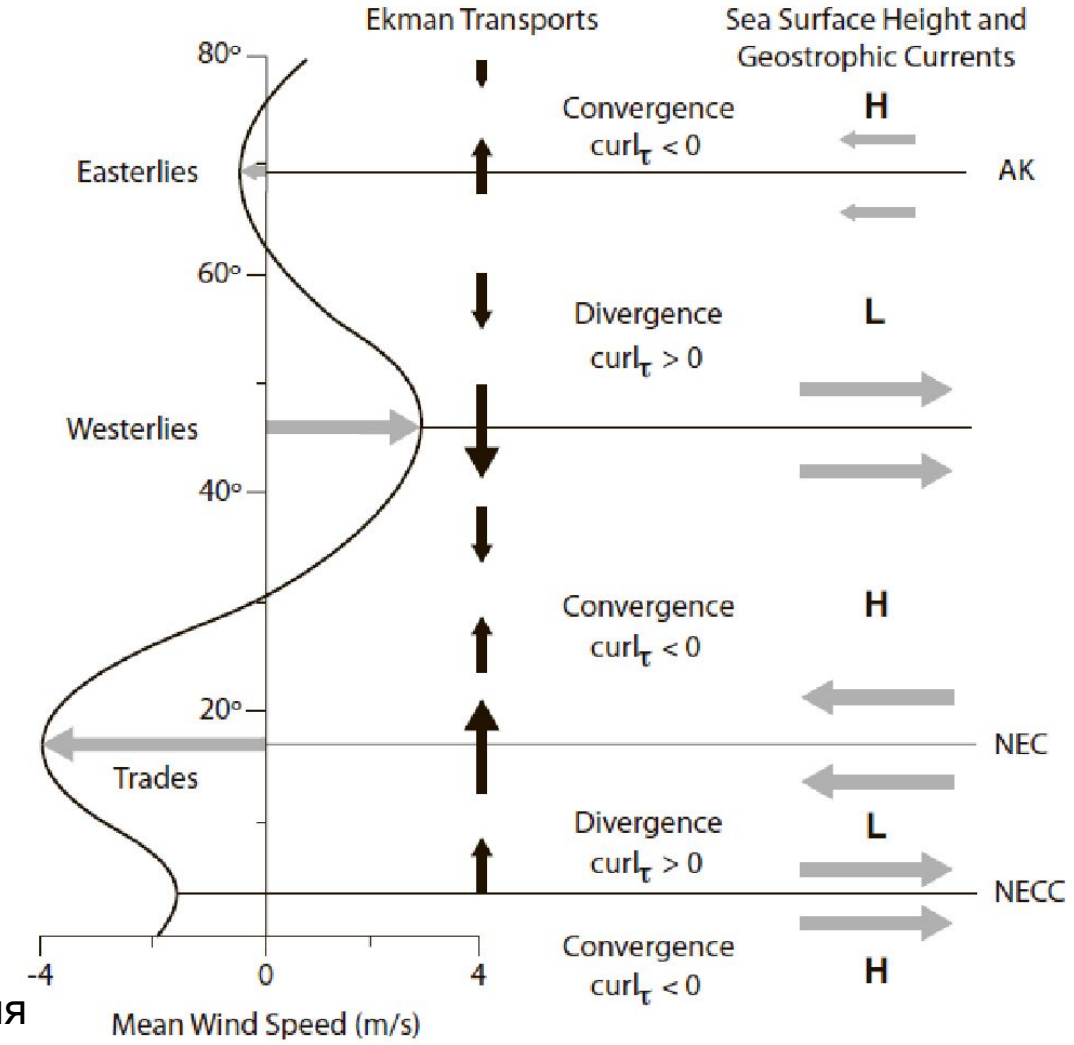
α – удельный объем; g – ускорение силы тяжести;
φ – широта места; μ – коэффициент турбулентного трения

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

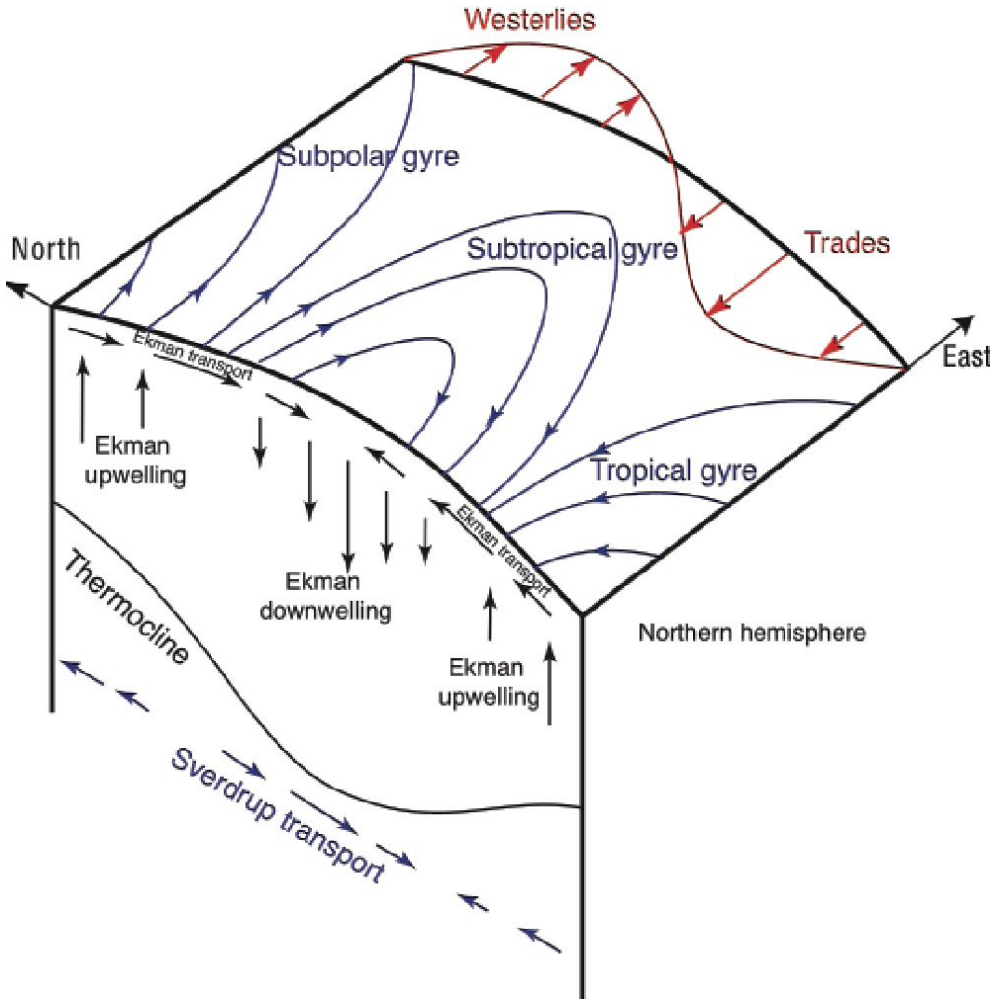
$$w_E = \frac{1}{\rho}\hat{k} \cdot \nabla \times \left(\frac{\vec{T}}{f}\right)$$

Сохранение потенциальной завихренности

$(f + \zeta)/H$

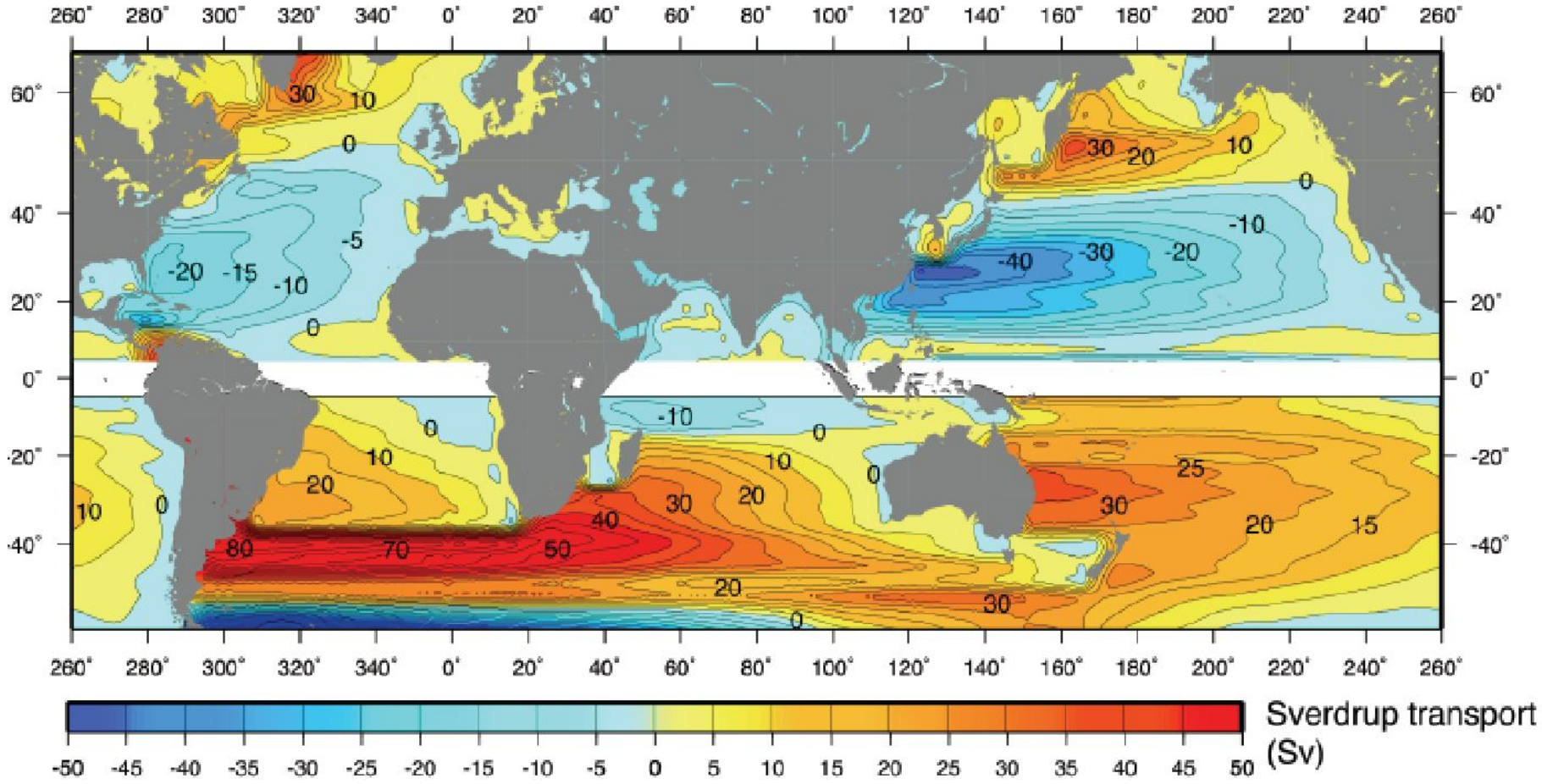
H. Sverdrup *(1947)*

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



Ветровая циркуляция

Свердруповский поток

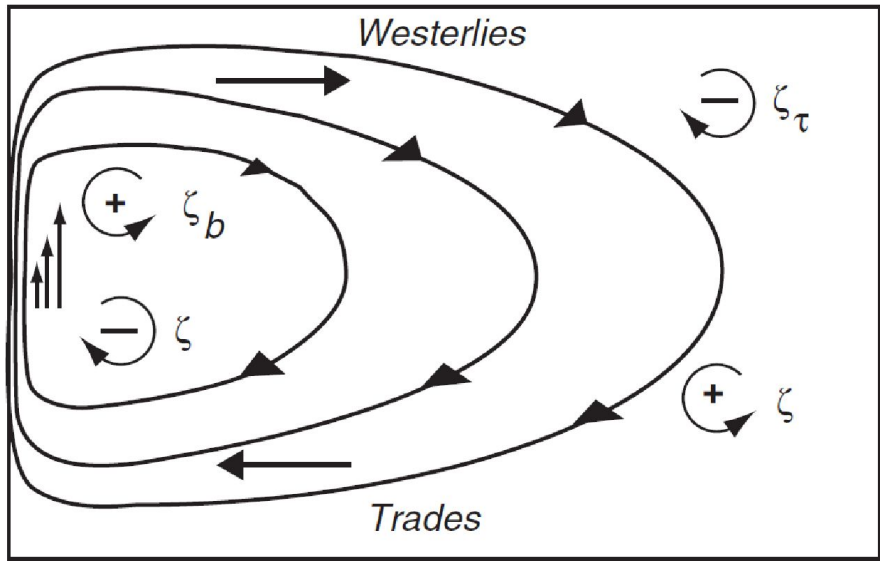


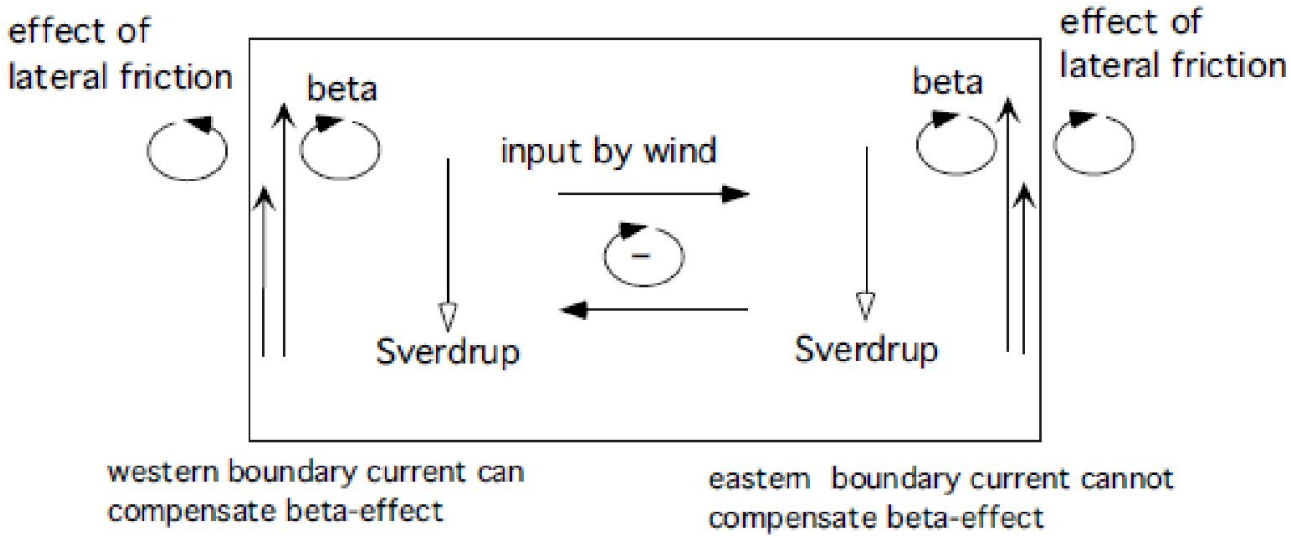
Субдкуция

Свердруповский поток + Конвекция

Ветровая циркуляция

Западные пограничные течения

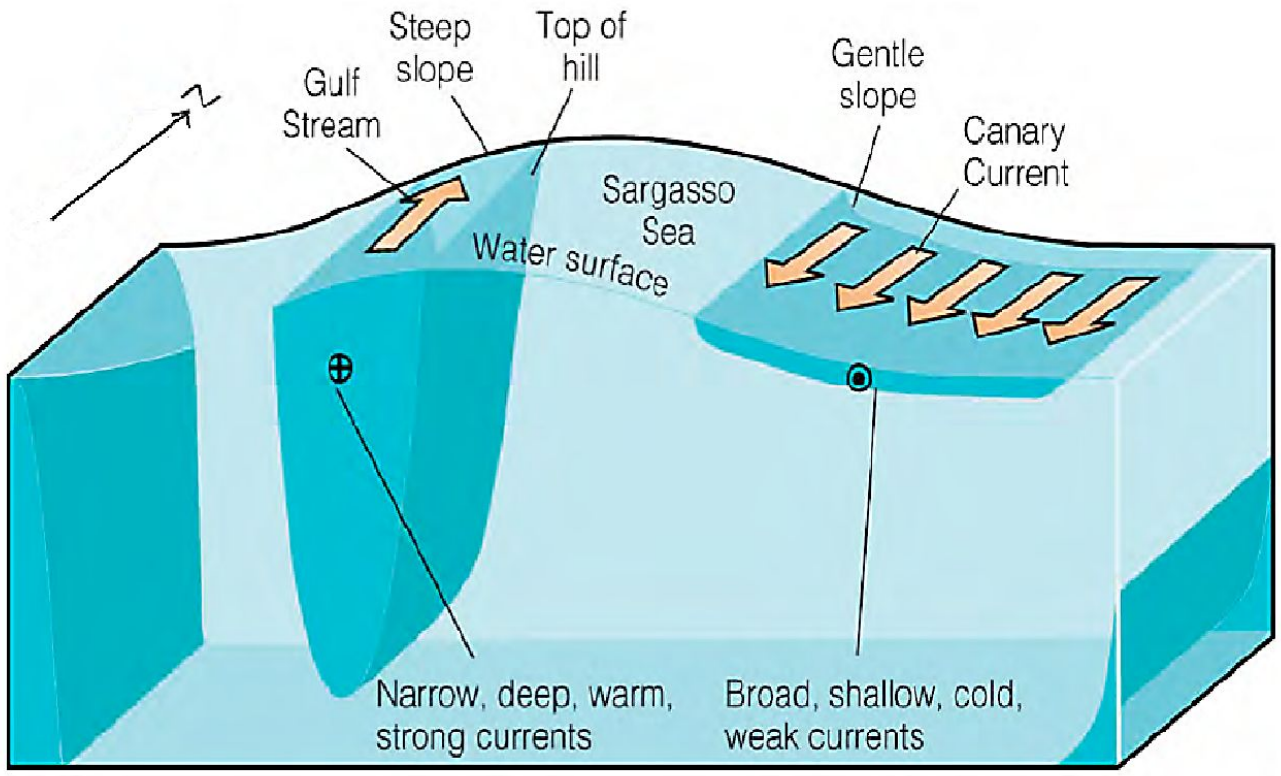




Stommel, Munk *(1948, 1950)*

Ветровая циркуляция

Пограничные течения



Западные пограничные течения

Гольфстрим (*30-150 Sv*)
Куросио (*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

$1\ Sv = 1 \times 10^6\ м^3\ с^{-1}$

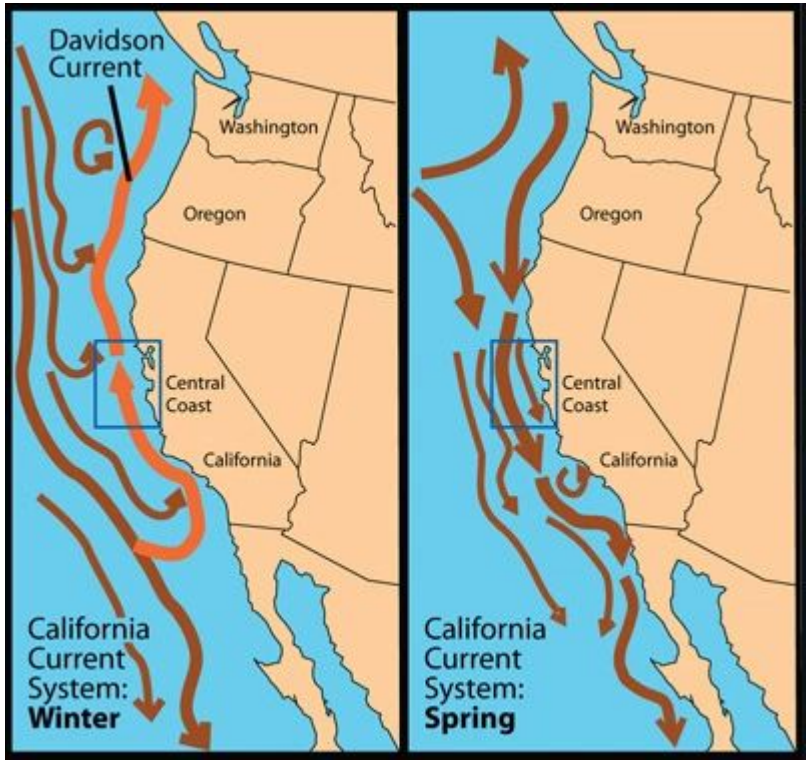
Восточные пограничные течения

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



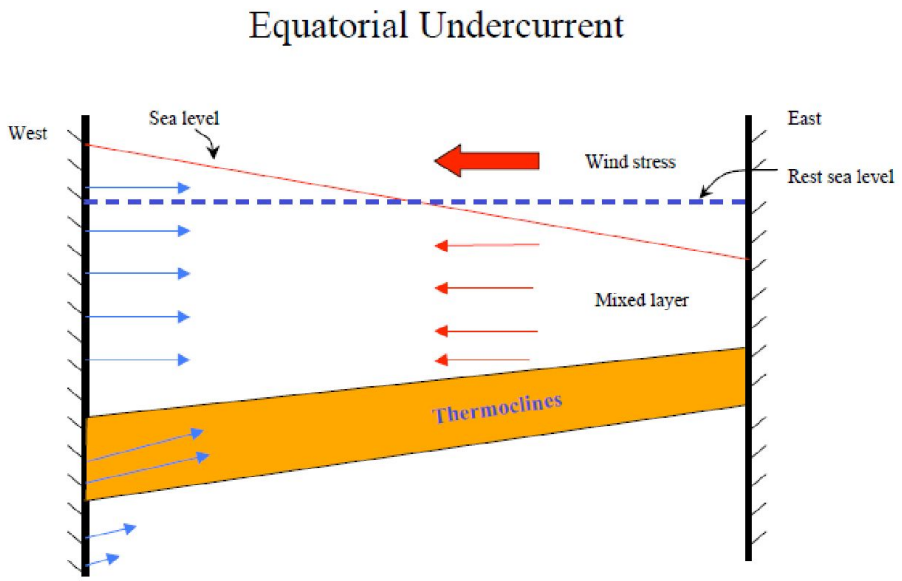
Калифорнийское течение

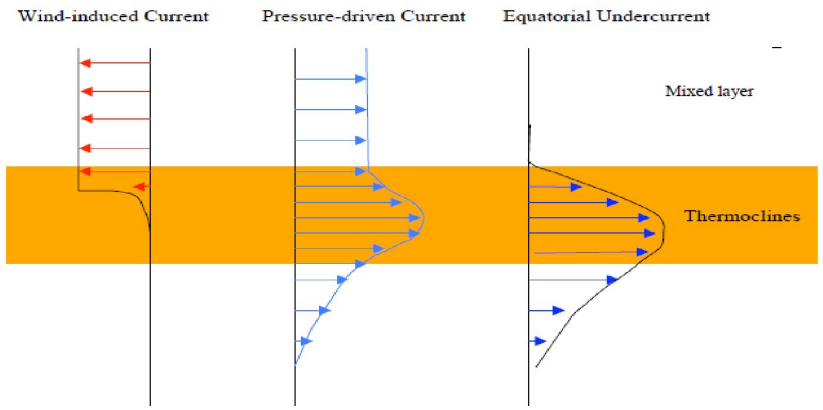
В отличие от западных пограничных течений баланс потенциальной завихренности не играет определяющей роли.

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

Ветровая циркуляция

Экваториальные течения

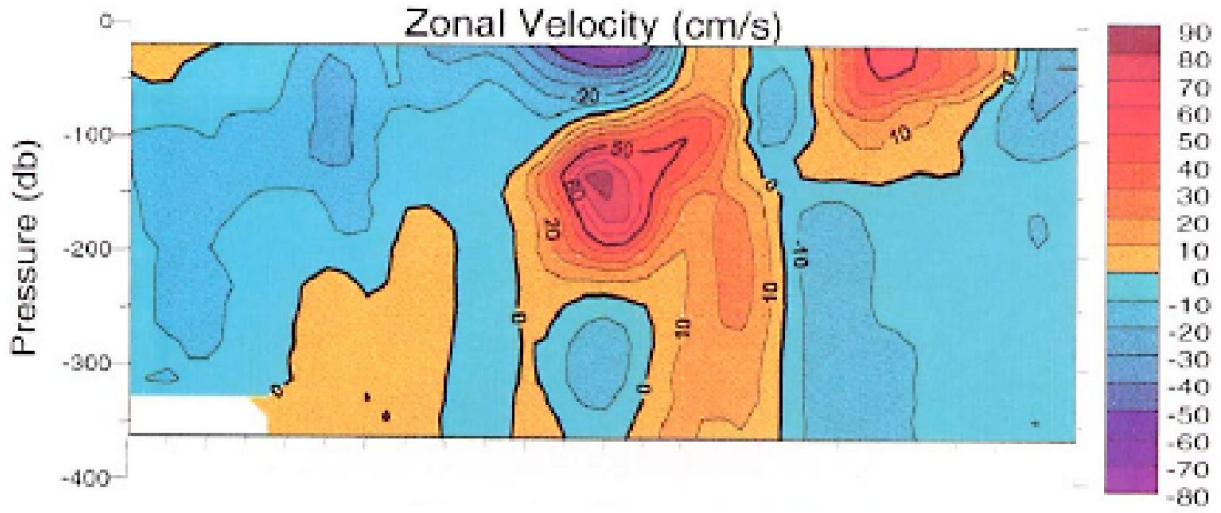




Главная причина отличительных особенностей экваториальной системы течений заключается в стремлении силы Кориолиса на экваторе к нулю.

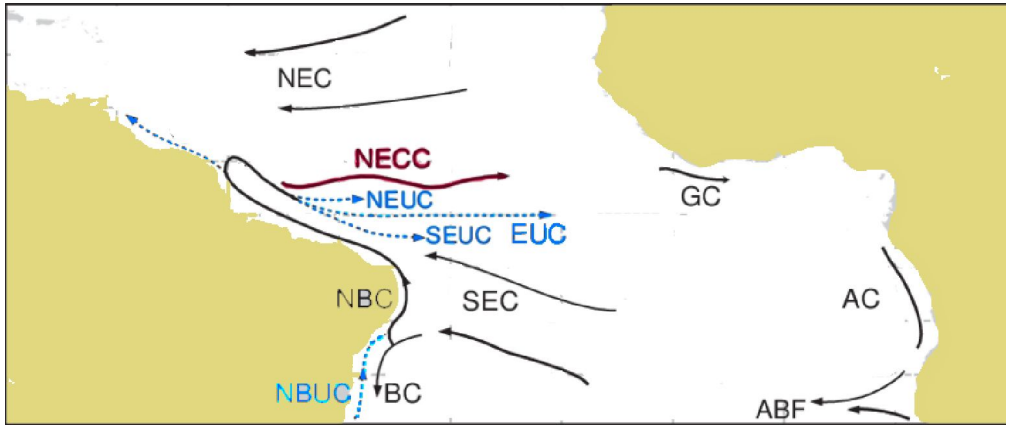
Экваториальные течения формируются пассатными ветрами, которые создают повышение уровня океана у западных берегов континентов.

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



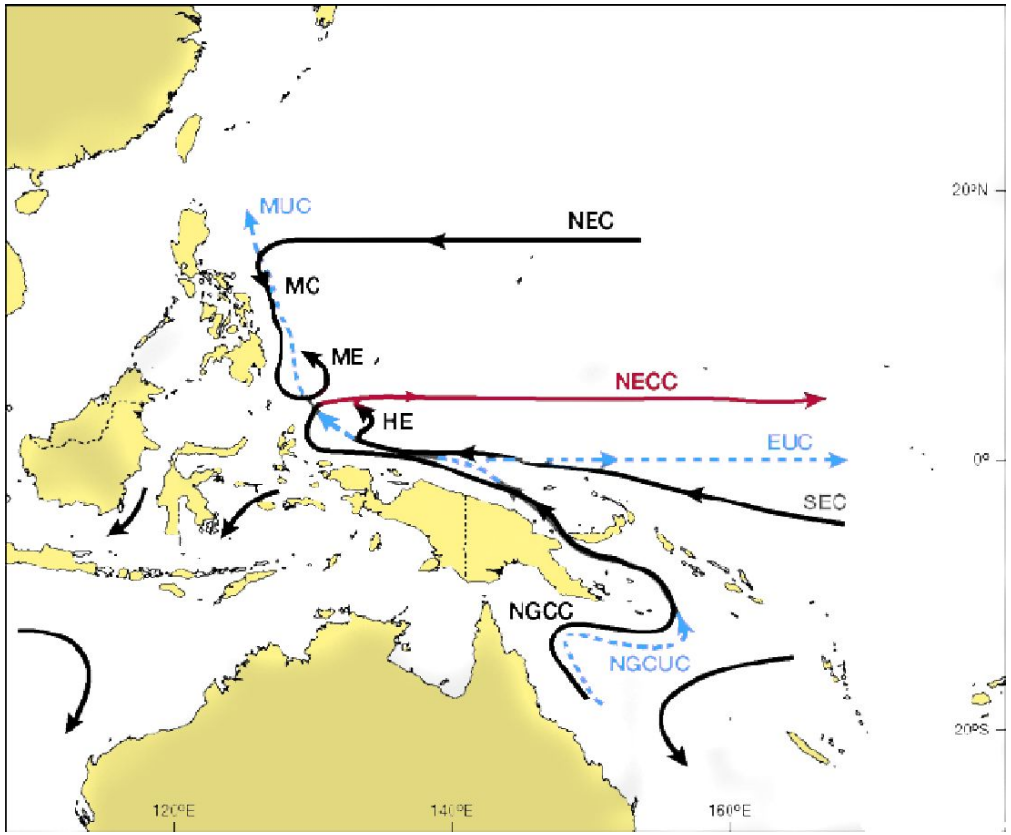
Ветровая циркуляция

Экваториальные течения



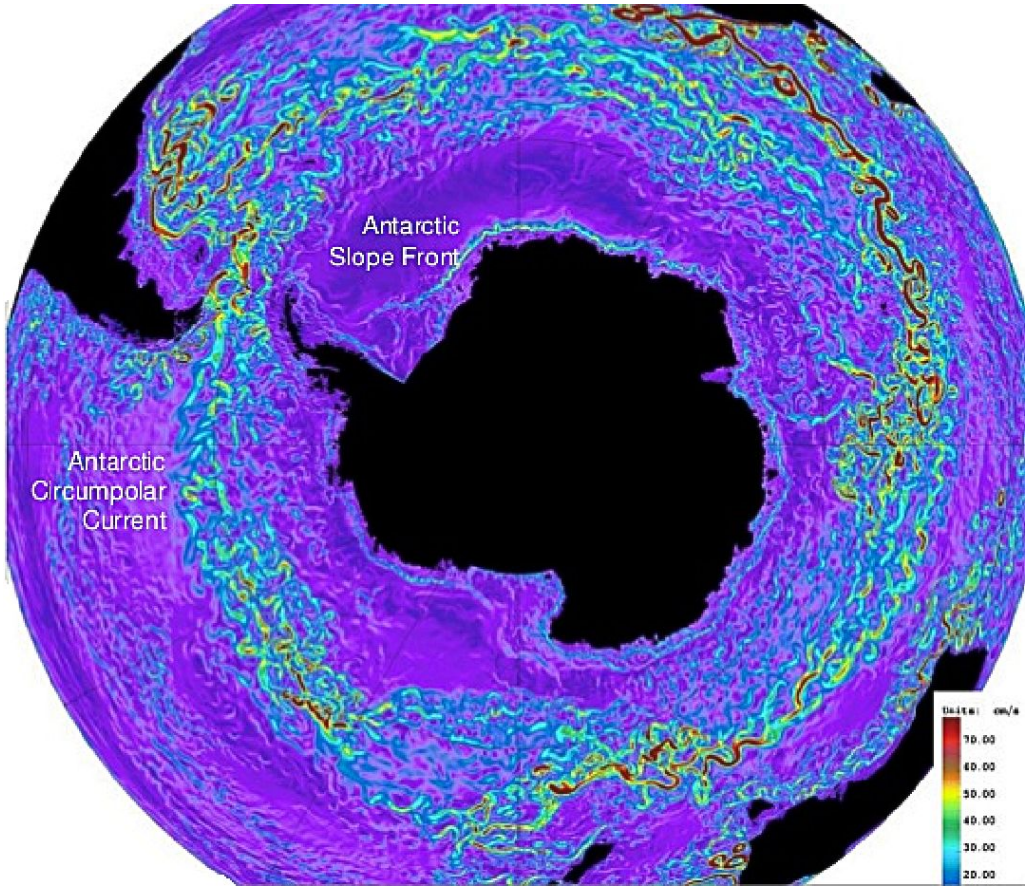
К северу от экватора пассатное противотечение в поверхностном слое направлено против господствующих ветров.

Основной механизм формирования пассатного противотечения – конвергенция свердруповского потока субторопических 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.

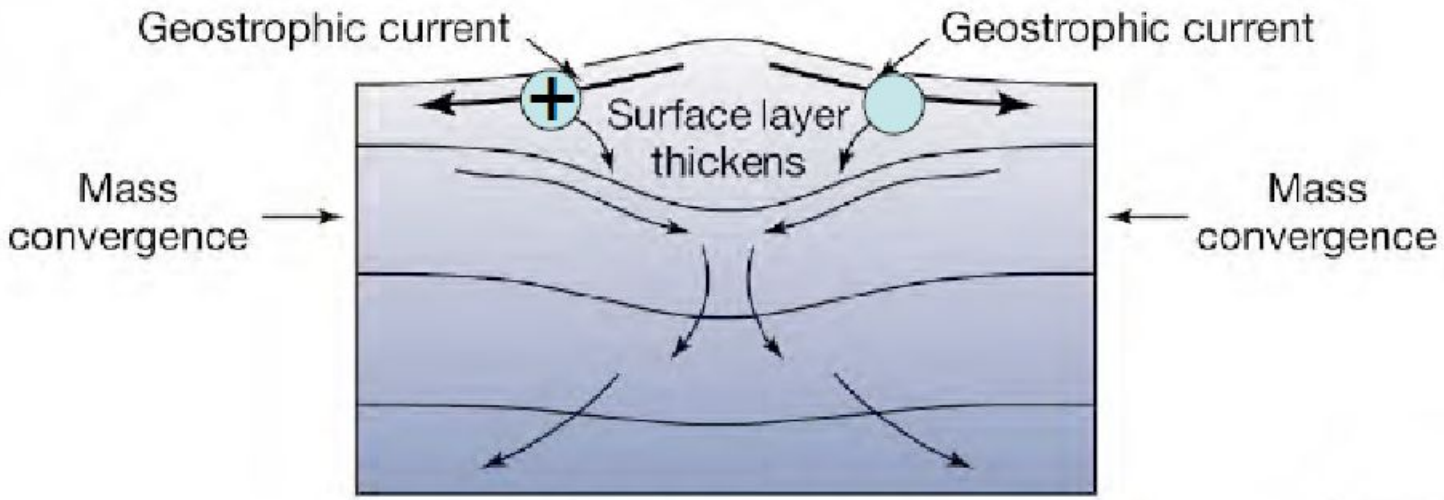
Слабое развитие в южном (океаническом) полушарии отдельных макроциркуляционных атмосферных систем приводит к слабому влиянию свердруповского потока.

Общая динамика АЦТ во многом схожа с атмосферными струйными течениями.

Умеренное (~ 0.7 м/с)
Глубокое (2 - 4 км)
Широкое (до 2000 км)

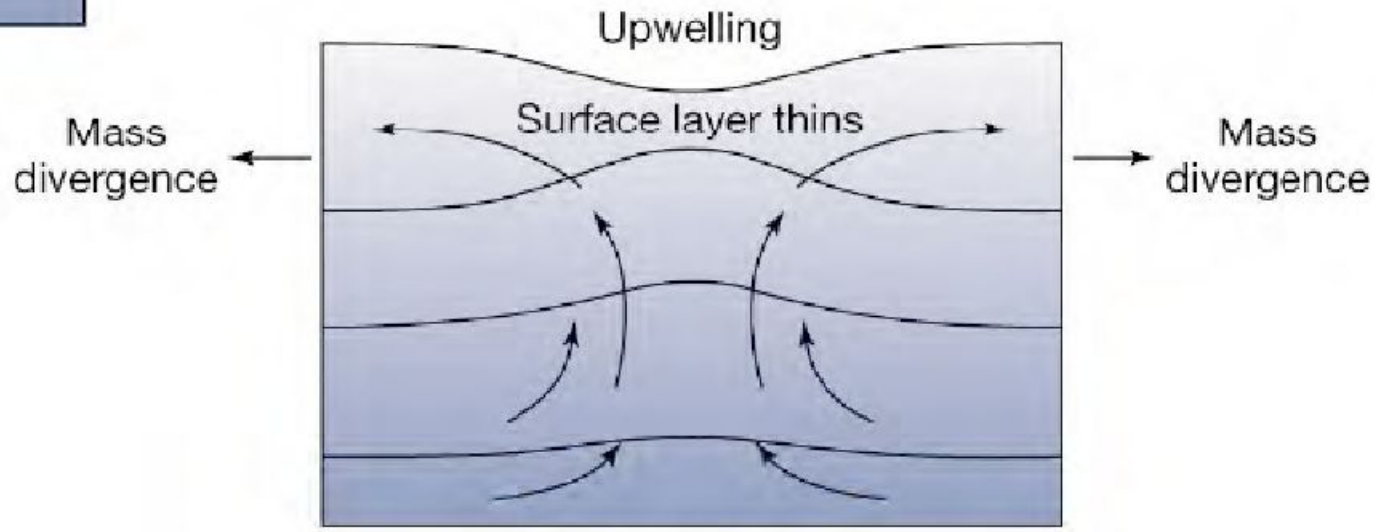
Ветровая циркуляция

Конвергенции и дивергенции



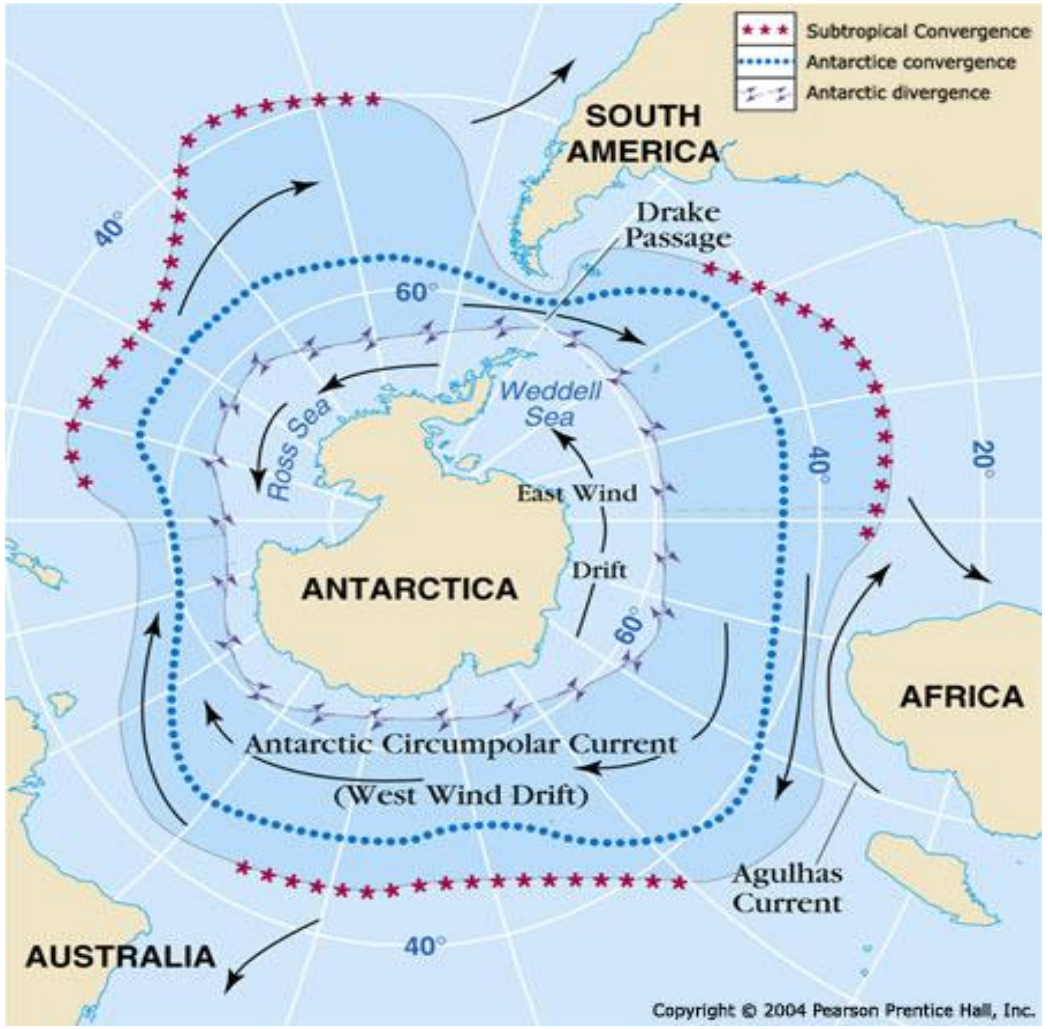
Конвергенция вод в субтропических аниклонических круговоротах приводит к нисходящим движениям

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



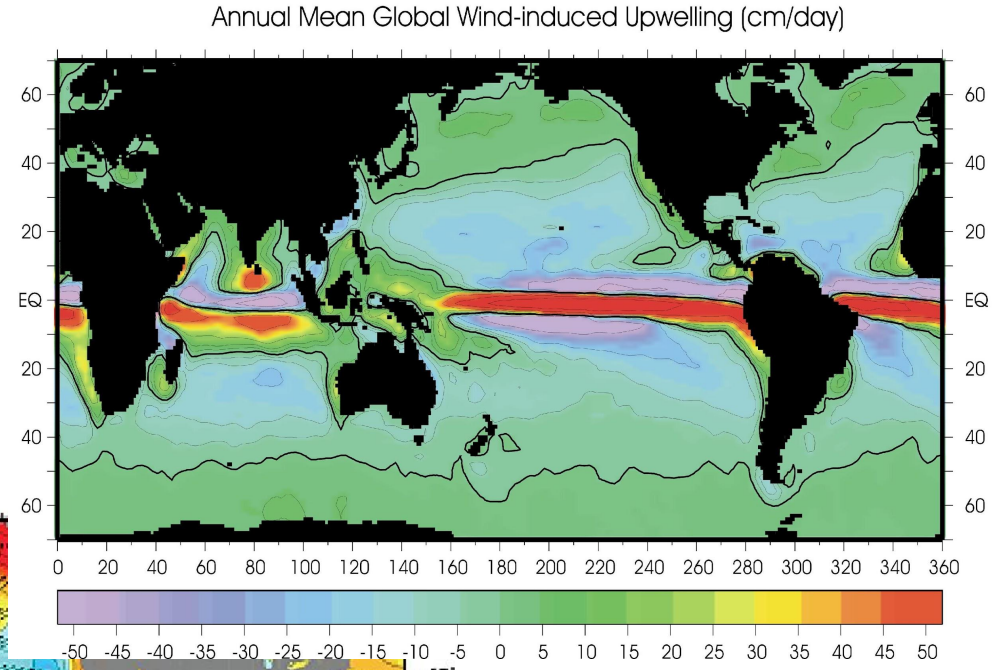
Ветровая циркуляция

Конвергенции и дивергенции

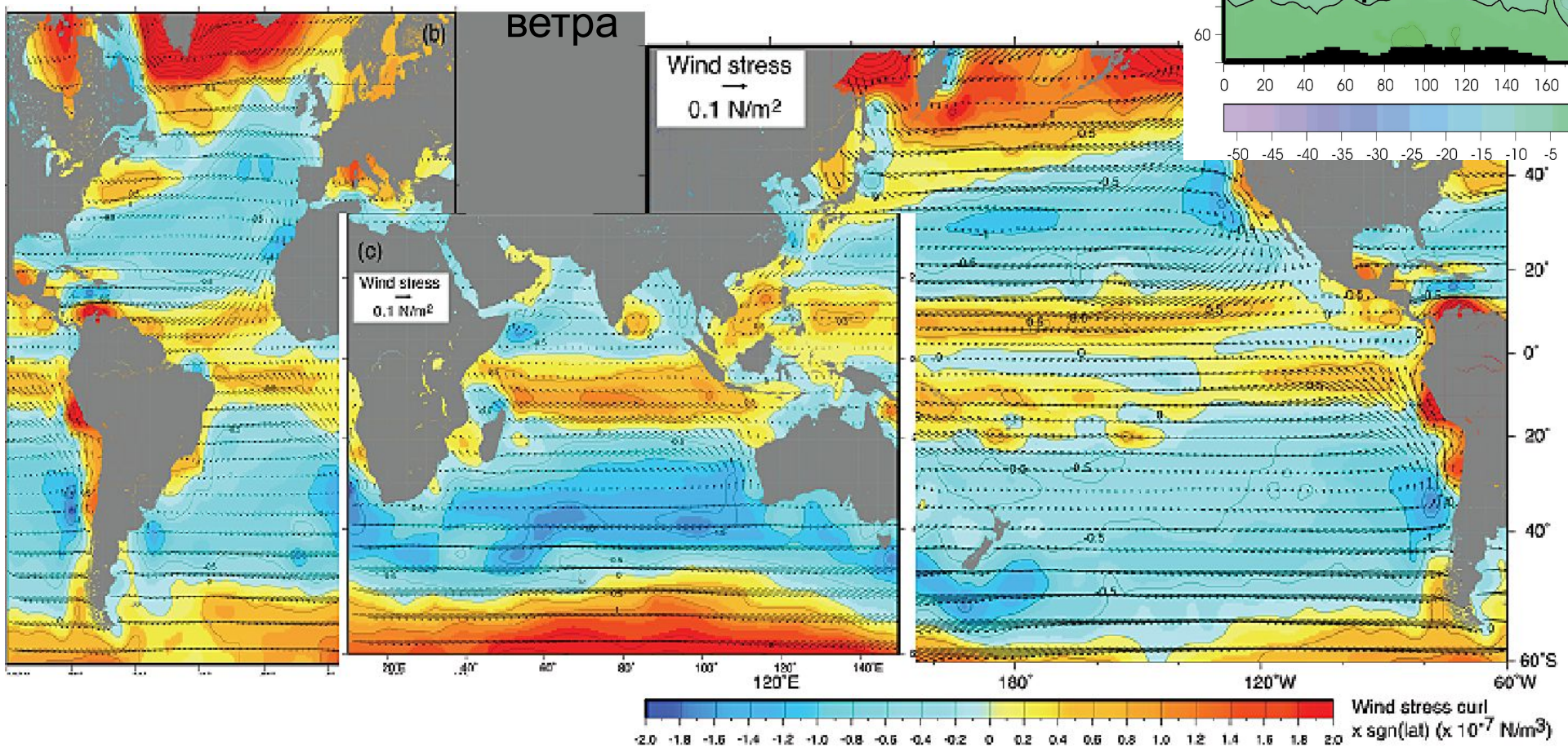


Ветровая циркуляция

Апвеллинг и даунвеллинг

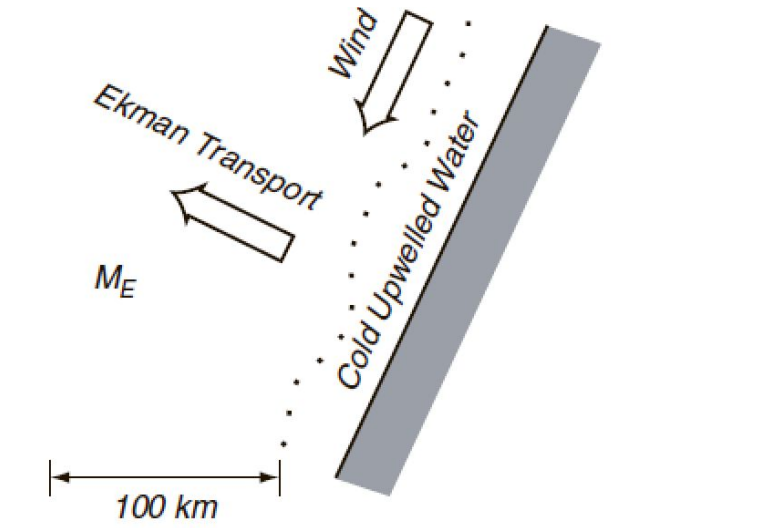


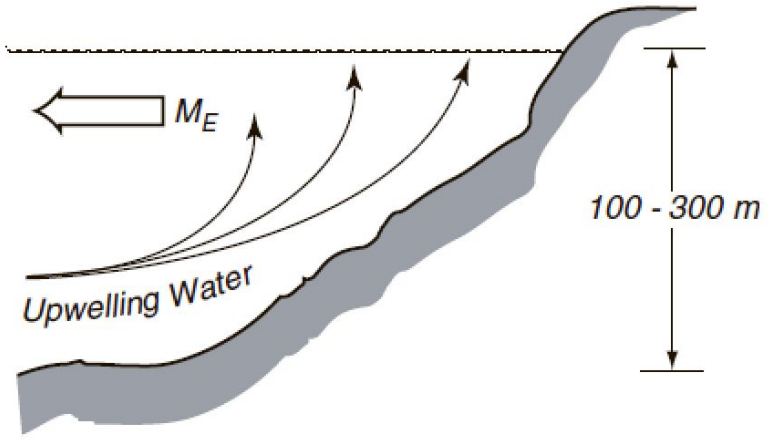
Завихренность ветра

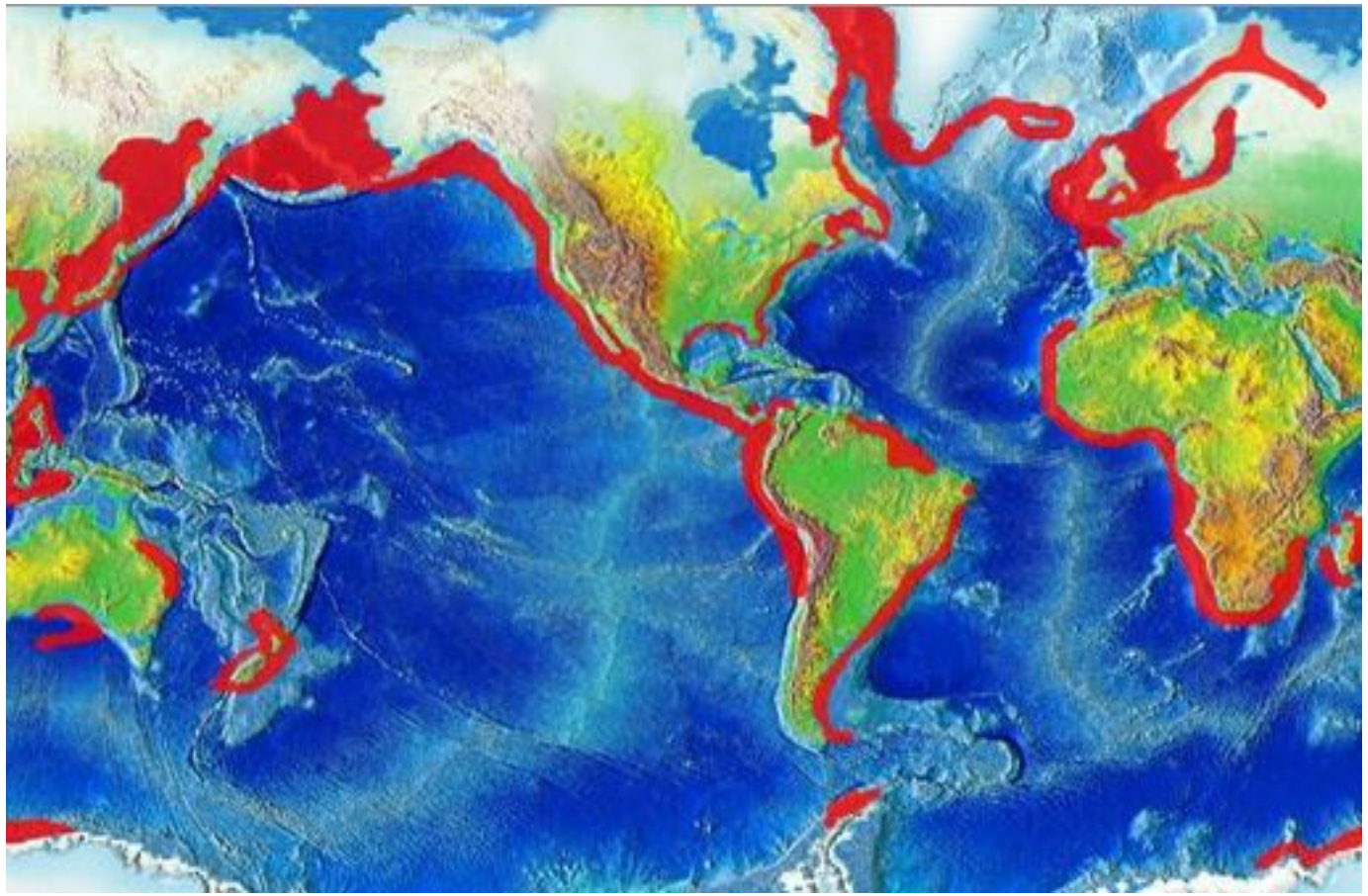


Ветровая циркуляция

Прибрежный апвеллинг

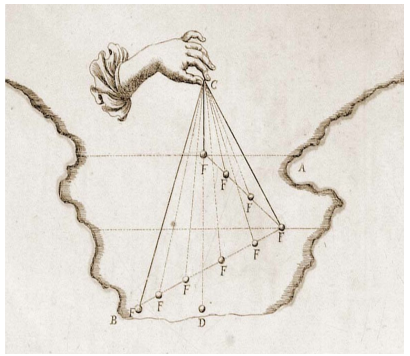






Термохалинная циркуляция

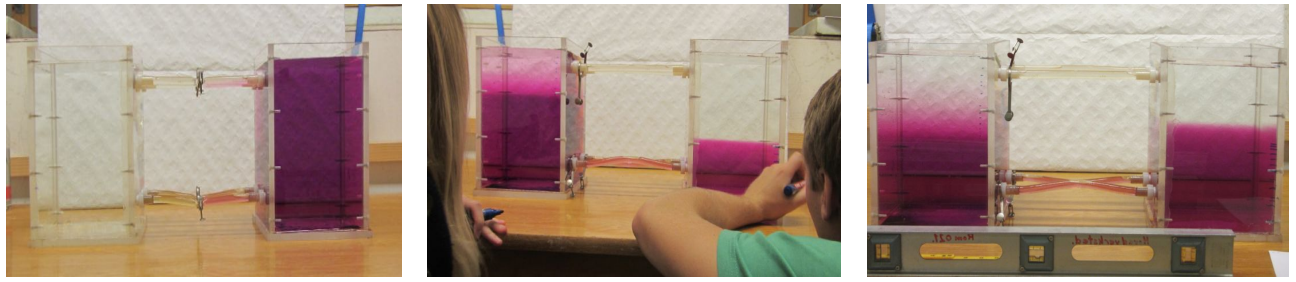
Луиджи Марсильи (1681-1725)



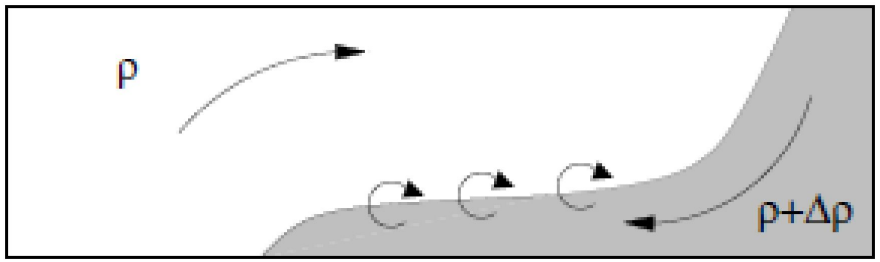
“Osservazioni intorno al Bosforo”, 1681

“Histoire physique de la mer”, 1725

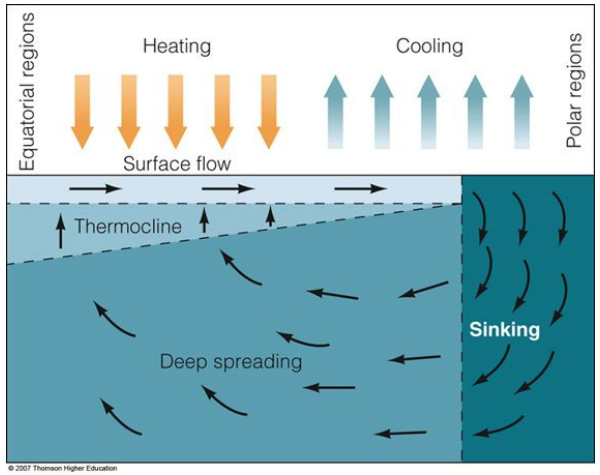
«Ящик Марсильи»



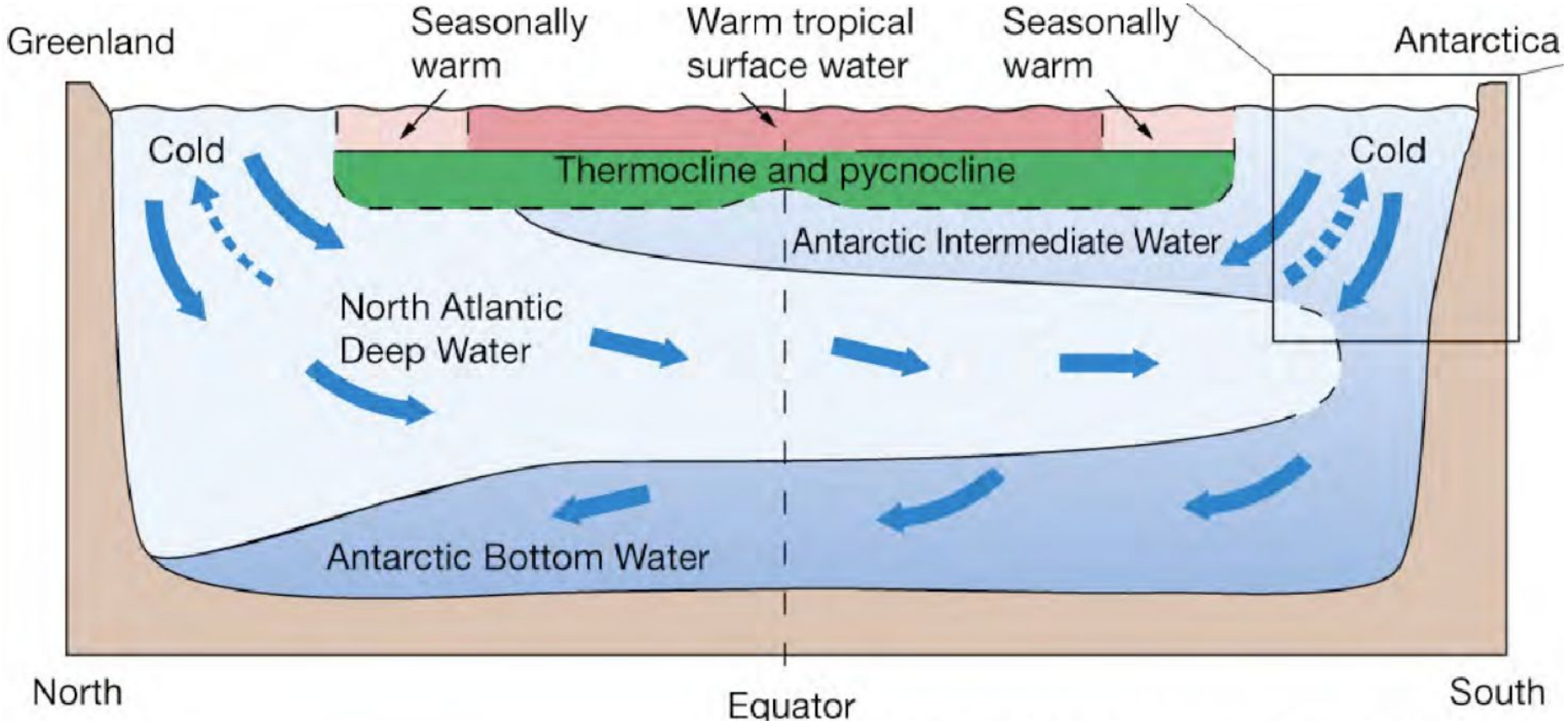
Плотностное течение



Термохалинная циркуляция

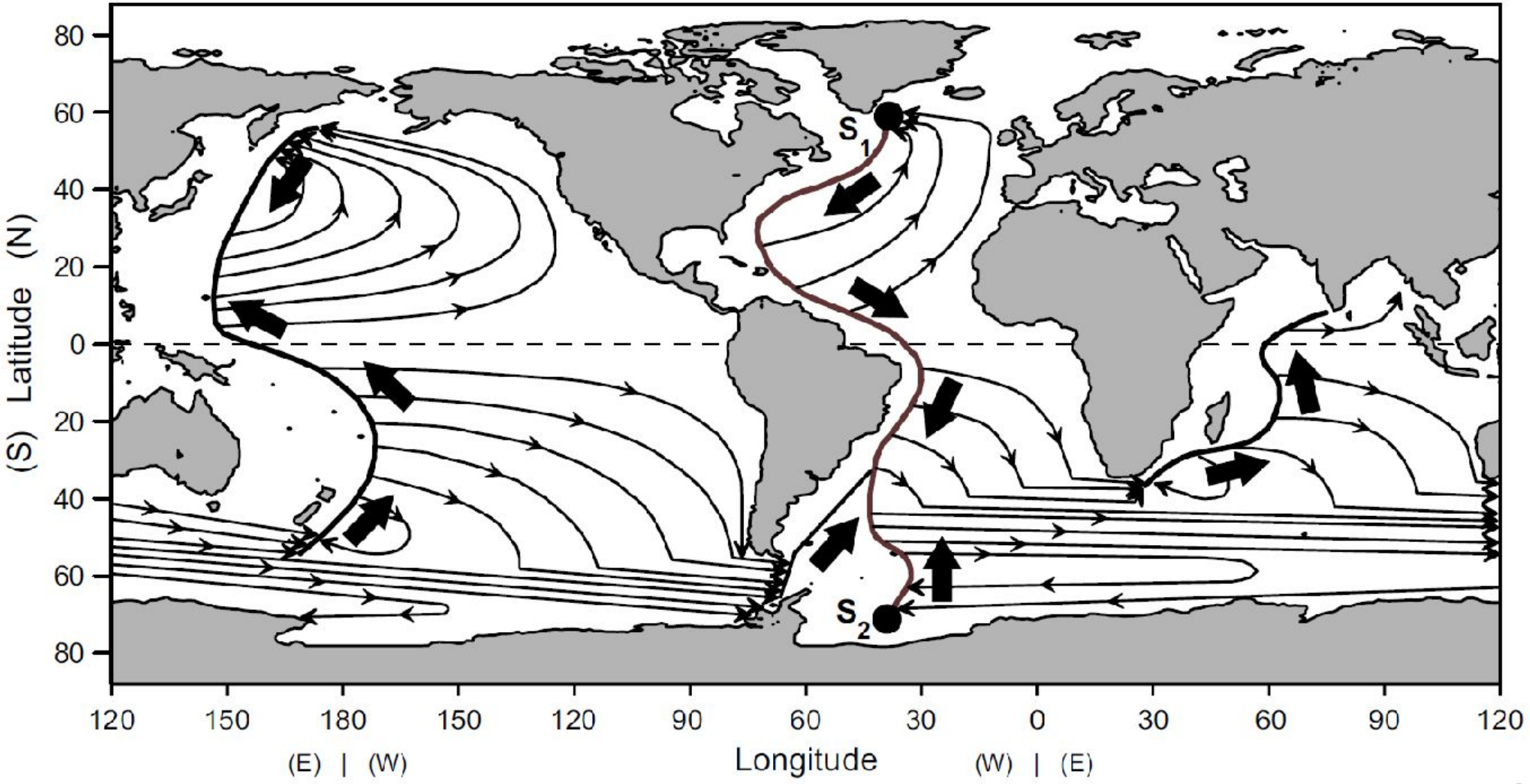


Wyrtki *(1961)*



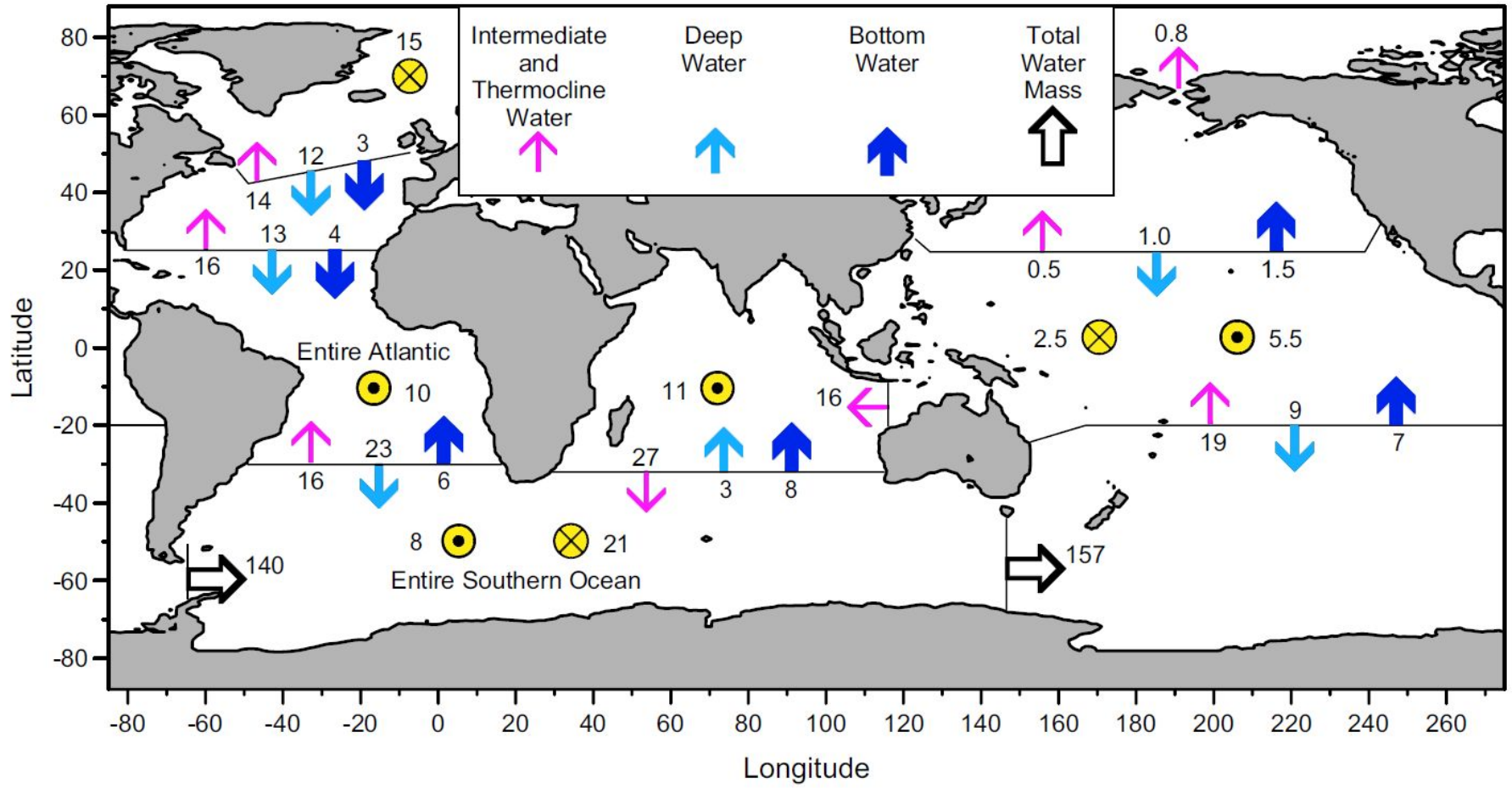
Термохалинная циркуляция

Модель глубинной циркуляции Аарона-Стоммела



Aaron, Stommel *(1960)*

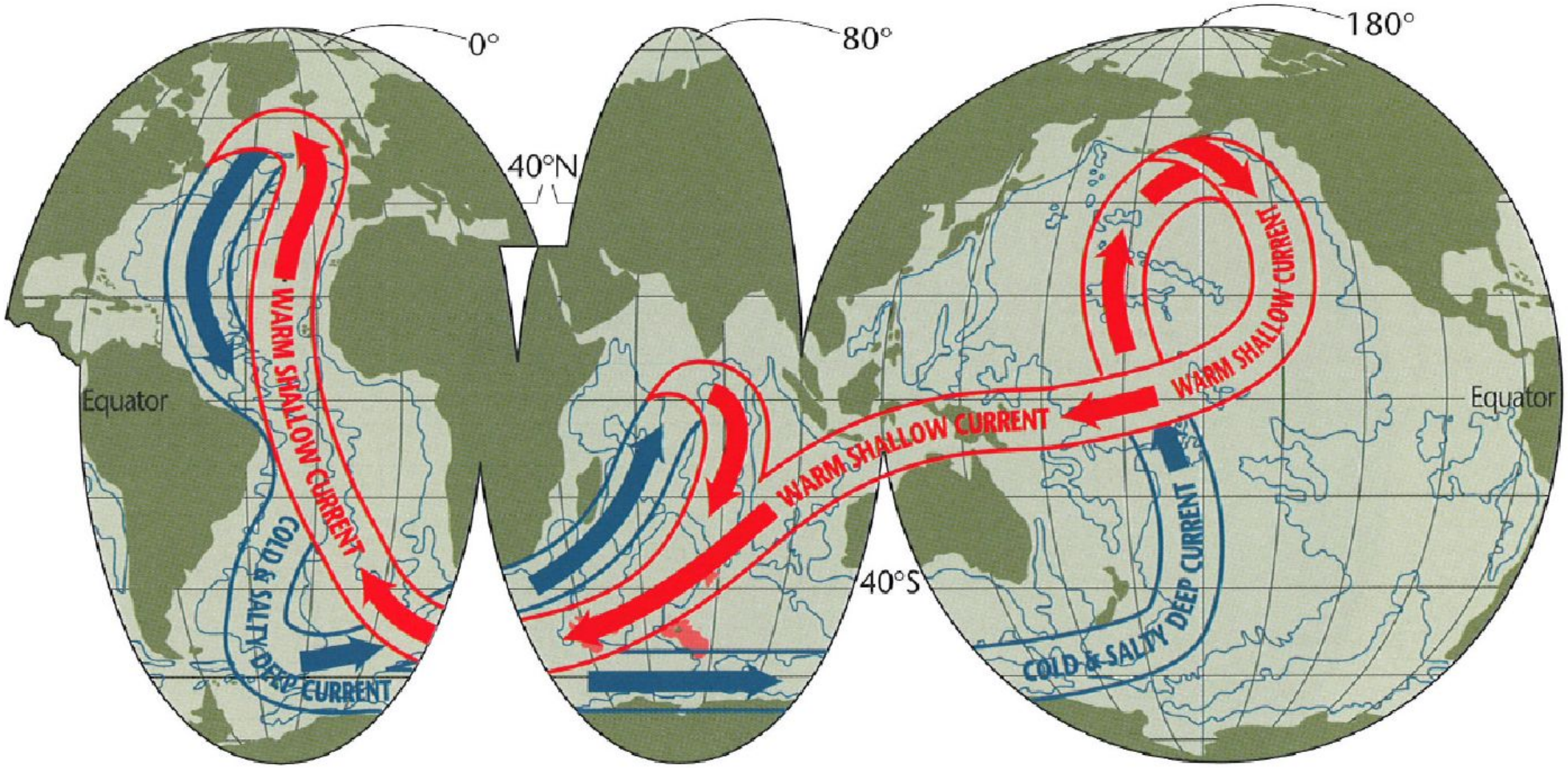
Меридиональные потоки воды



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

Термохалинная циркуляция

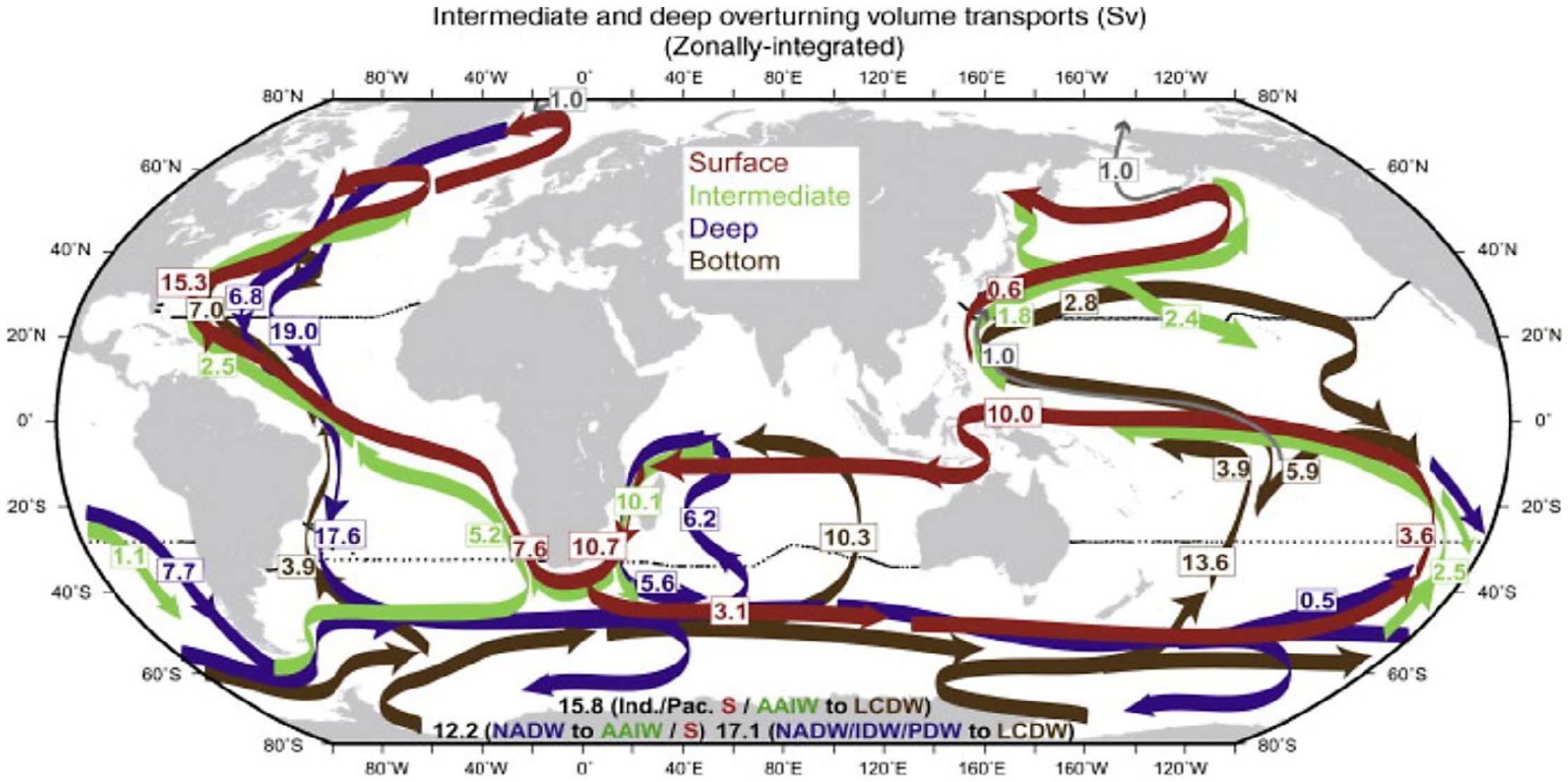
Глобальный конвейер



Wallace Broecker *(1987, 1991)*

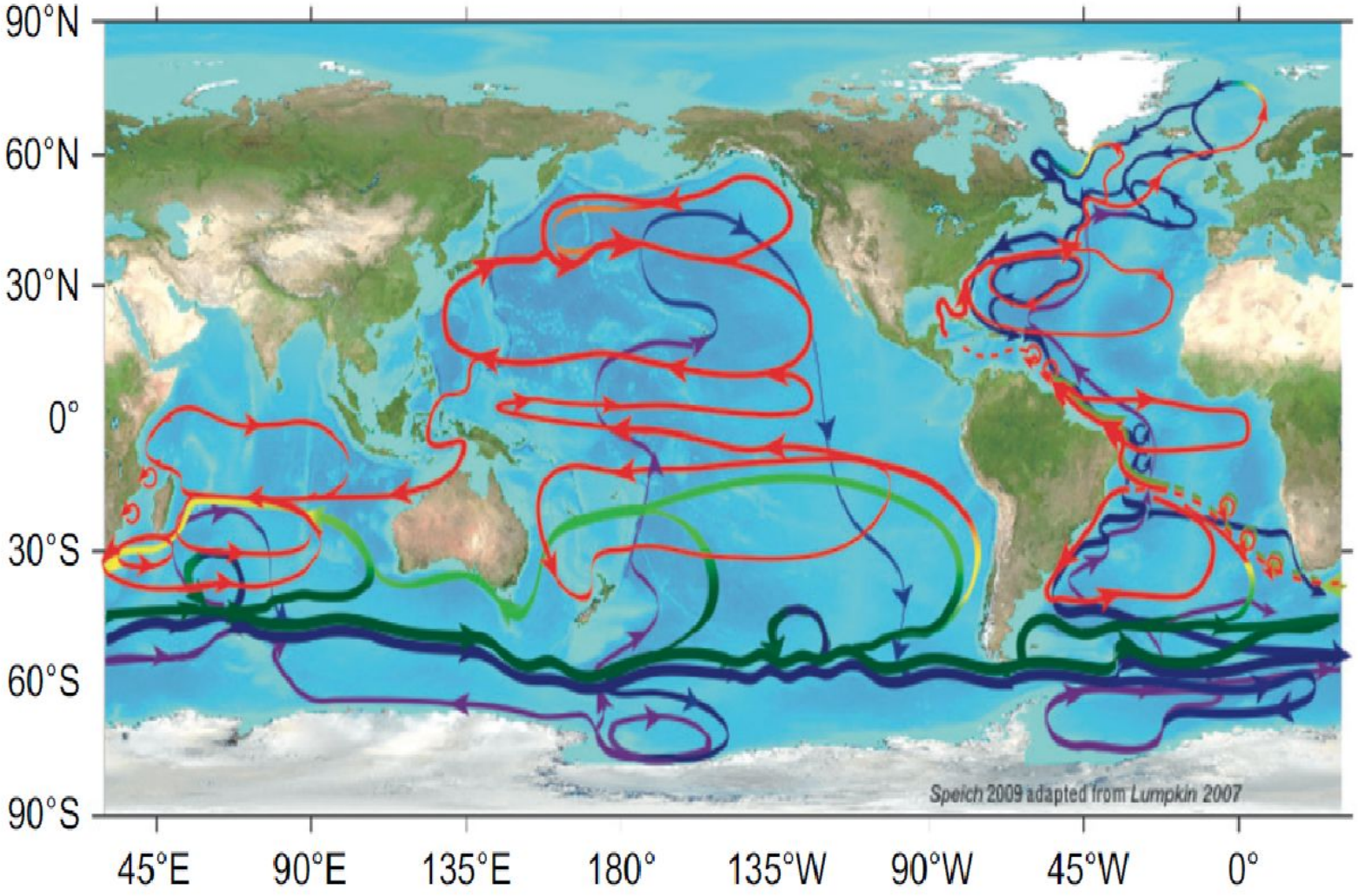
Термохалинная циркуляция

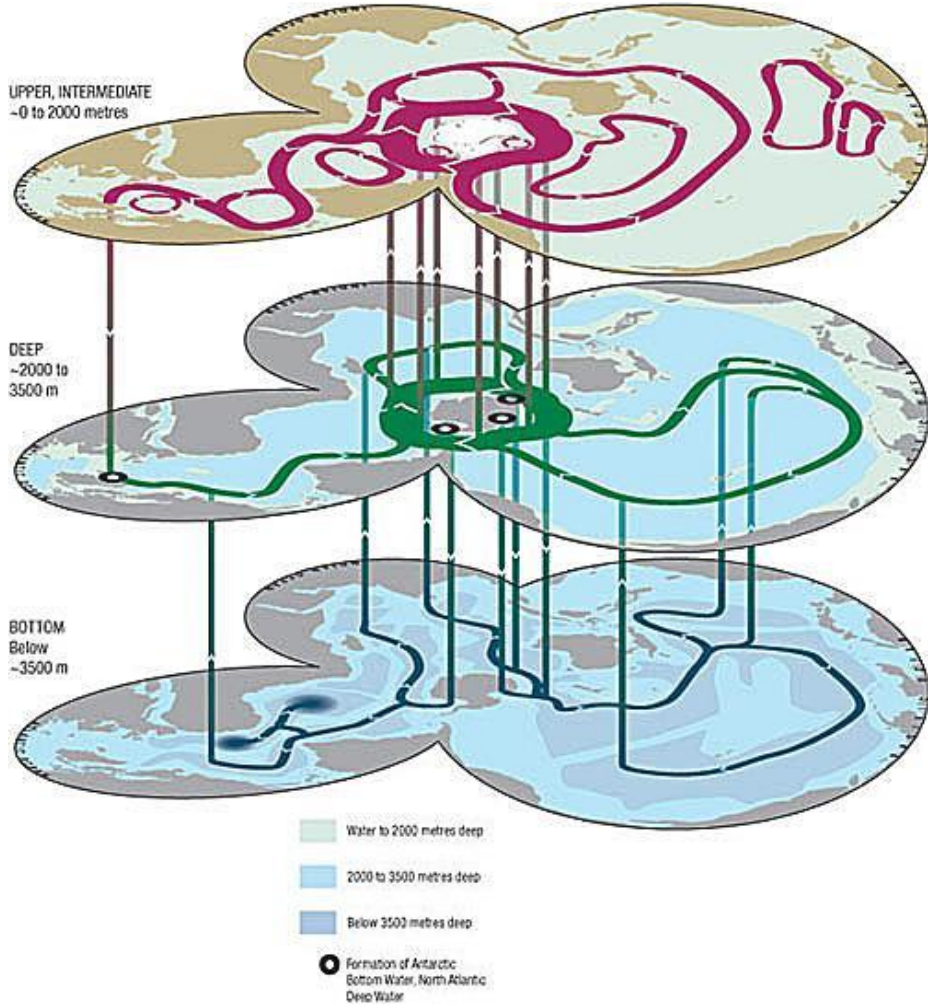
Глобальный конвейер



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;