

Как работает океан

**Добролюбов Сергей Анатольевич, академик РАН,
декан географического факультета МГУ,
профессор, зав. кафедрой океанологии**

- **Роль океана в глобальном тепло-влажнообороте**
- **Характеристики вод океана**
- **Динамика океана (волны, приливы, течения)**
- **Природные колебания в системе океан-атмосфера**
- **Современные глобальные изменения в океане**

Роль океана в глобальном тепло- влажнообороте

Морская вода и атмосферный воздух

параметр	Морская вода	Воздух
Плотность	1025 кг/м ³	1.2 кг/м ³
Удельная теплоемкость	4.2×10 ³ Дж/(кг К)	1×10 ³ Дж/(кг К)

Отношение масс Атм:Океан 1: 262

Отношение теплоемкостей – 1:1096.

При средней глубине океана 3700 м
теплоемкость всей атмосферы равна
теплоемкости трехметрового слоя океана!

Баланс тепла на поверхности океана

Коротковолновая
радиация

Длинноволновая
радиация

Контактный
теплообмен
Явное тепло

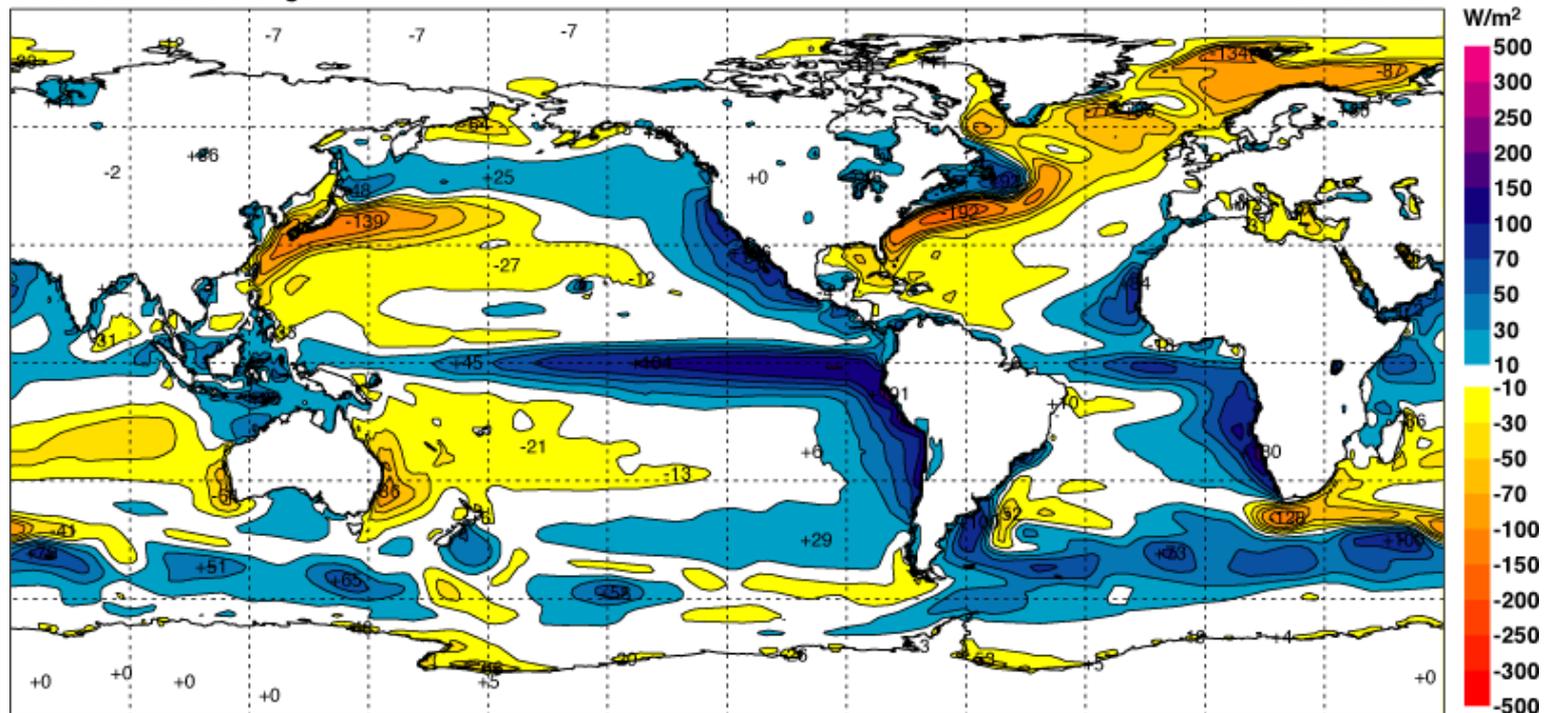
Испарение,
Скрытое тепло

$$H = SW\downarrow - LW\uparrow - Qh\uparrow - Qe\uparrow$$

100% 65% 8% 27%

Net surface heat exchange

Annual mean



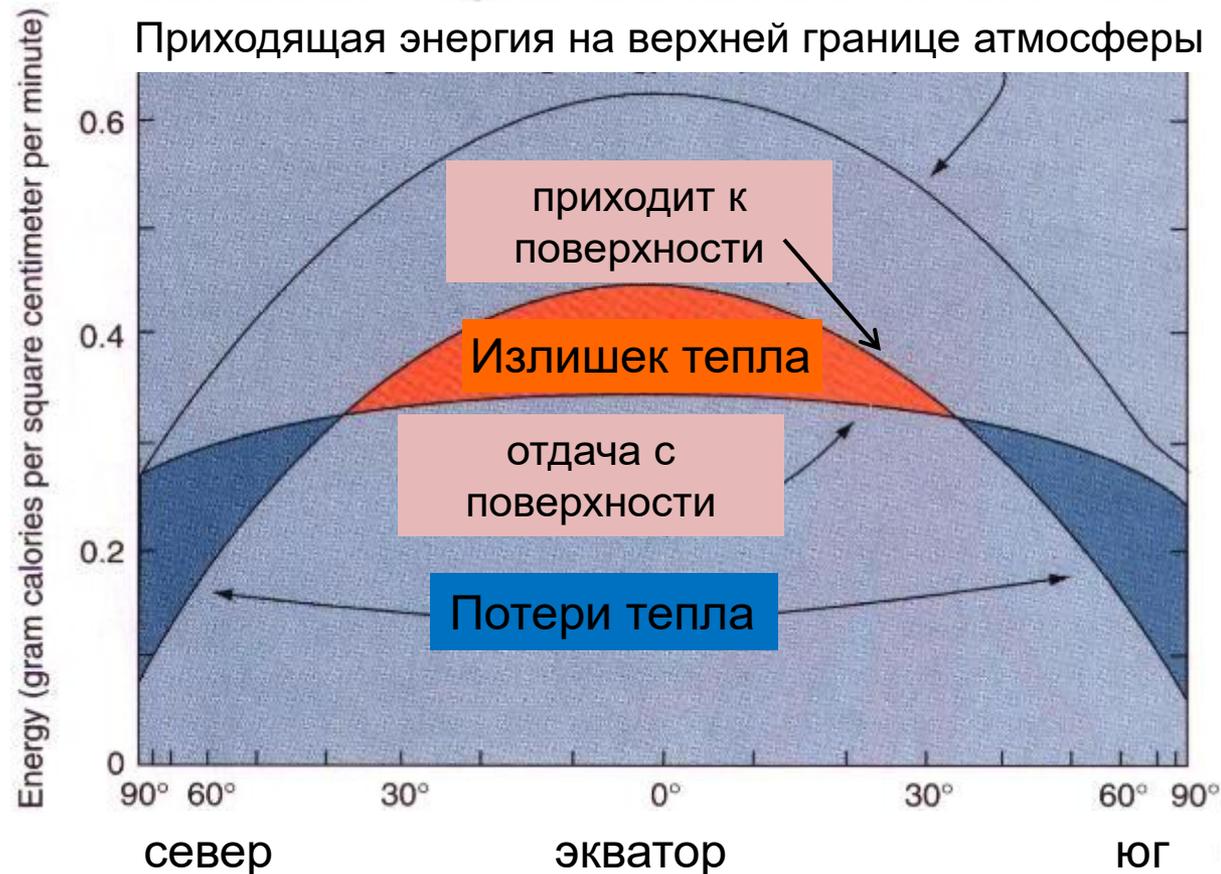
Kallberg et al 2005

Причины меридионального переноса тепла в океане

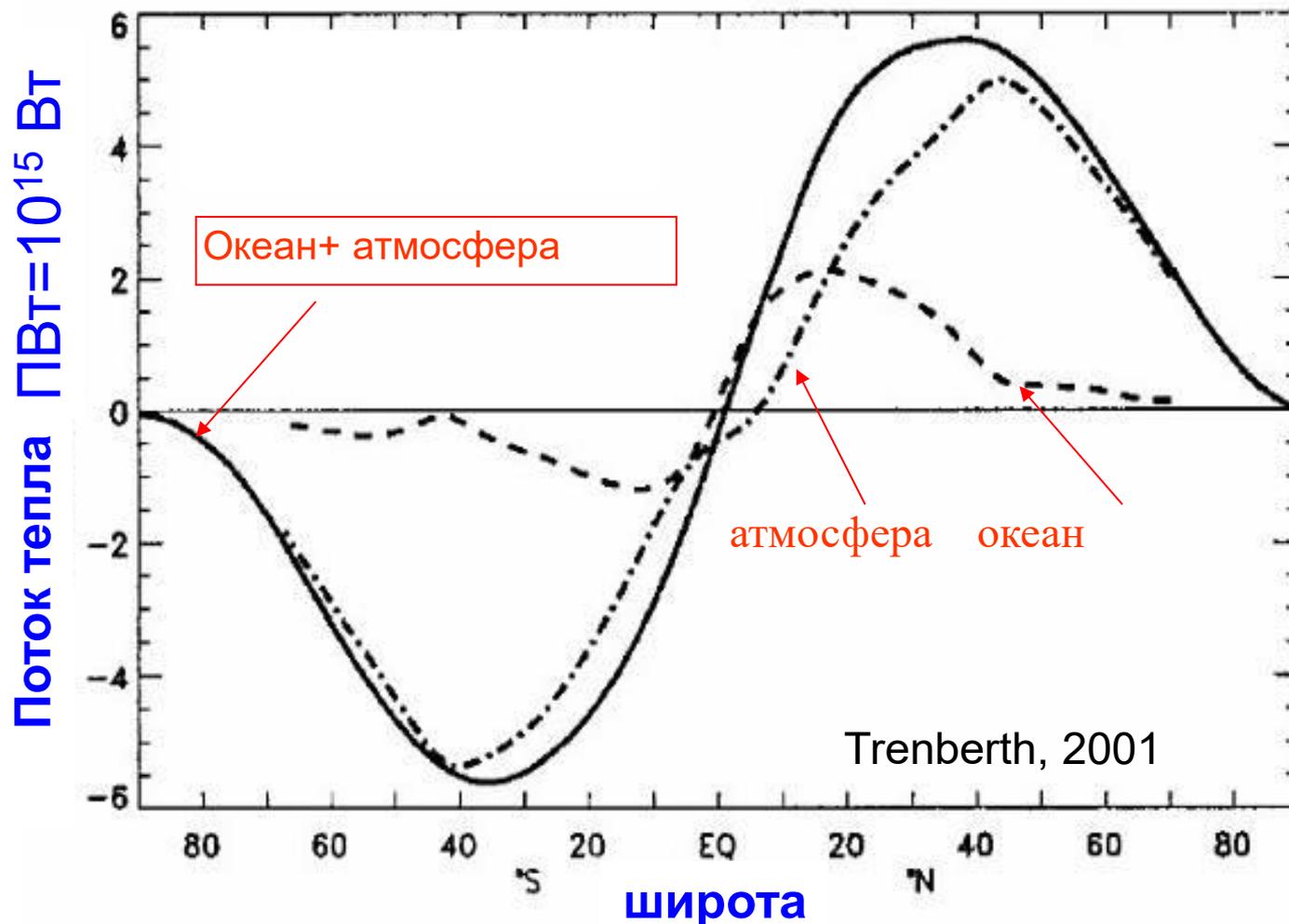
Широтные различия теплового баланса

Температурный контраст между высокими и низкими широтами

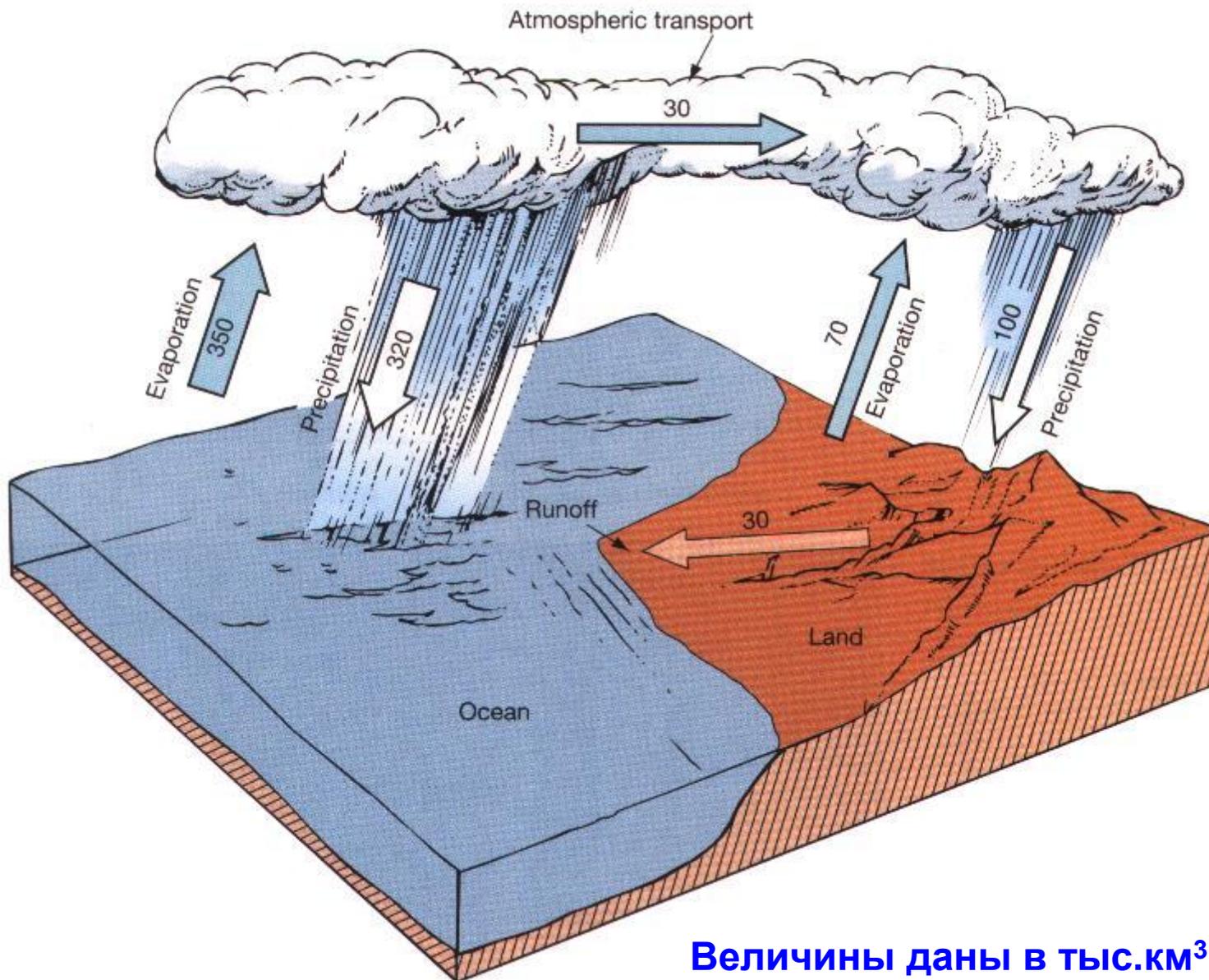
Для поддержания баланса необходимо межширотное перераспределение получаемой энергии в атмосфере и в океане.



Меридиональный перенос энергии в океане и атмосфере (положительное направление – на север)

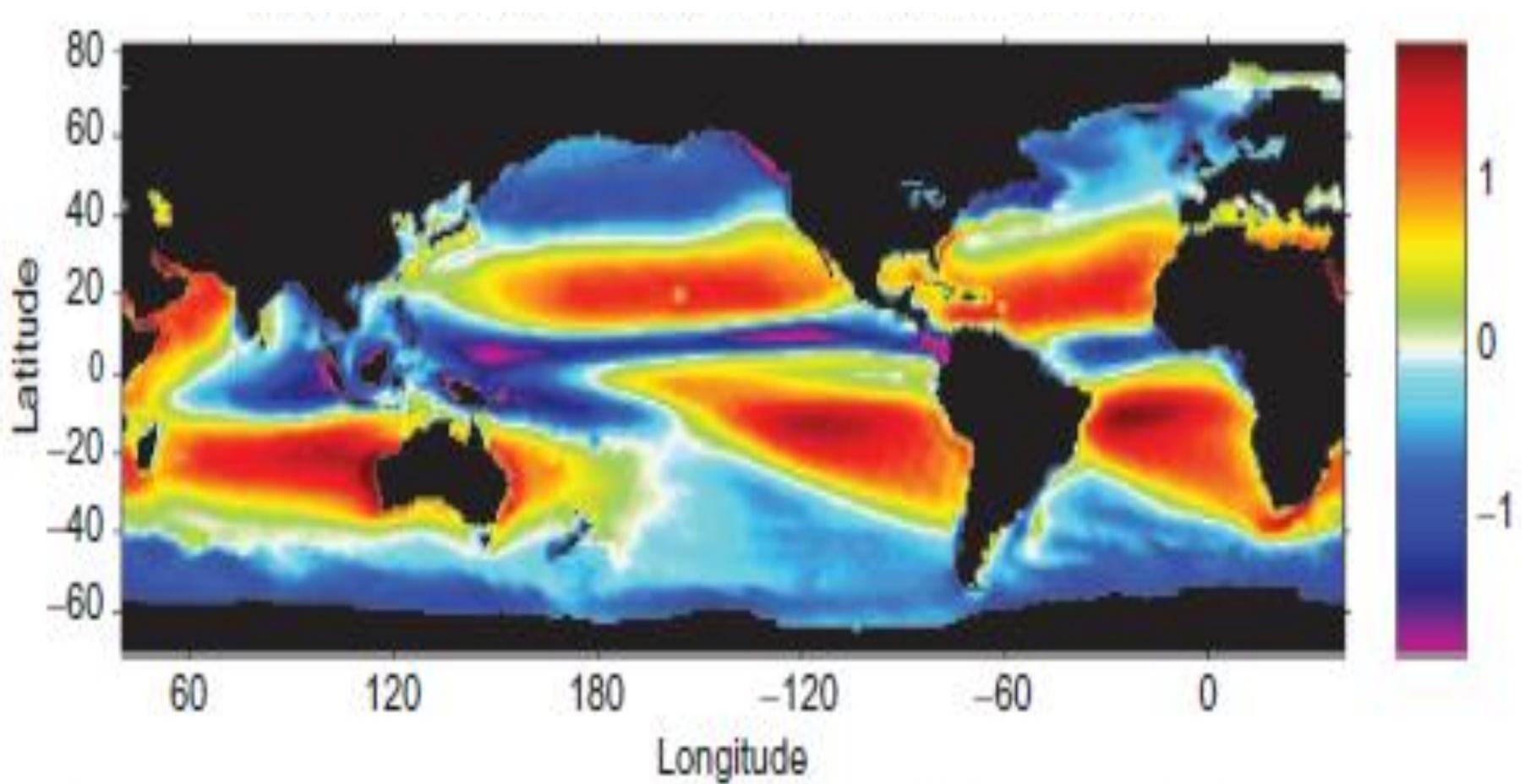


Глобальный гидрологический цикл

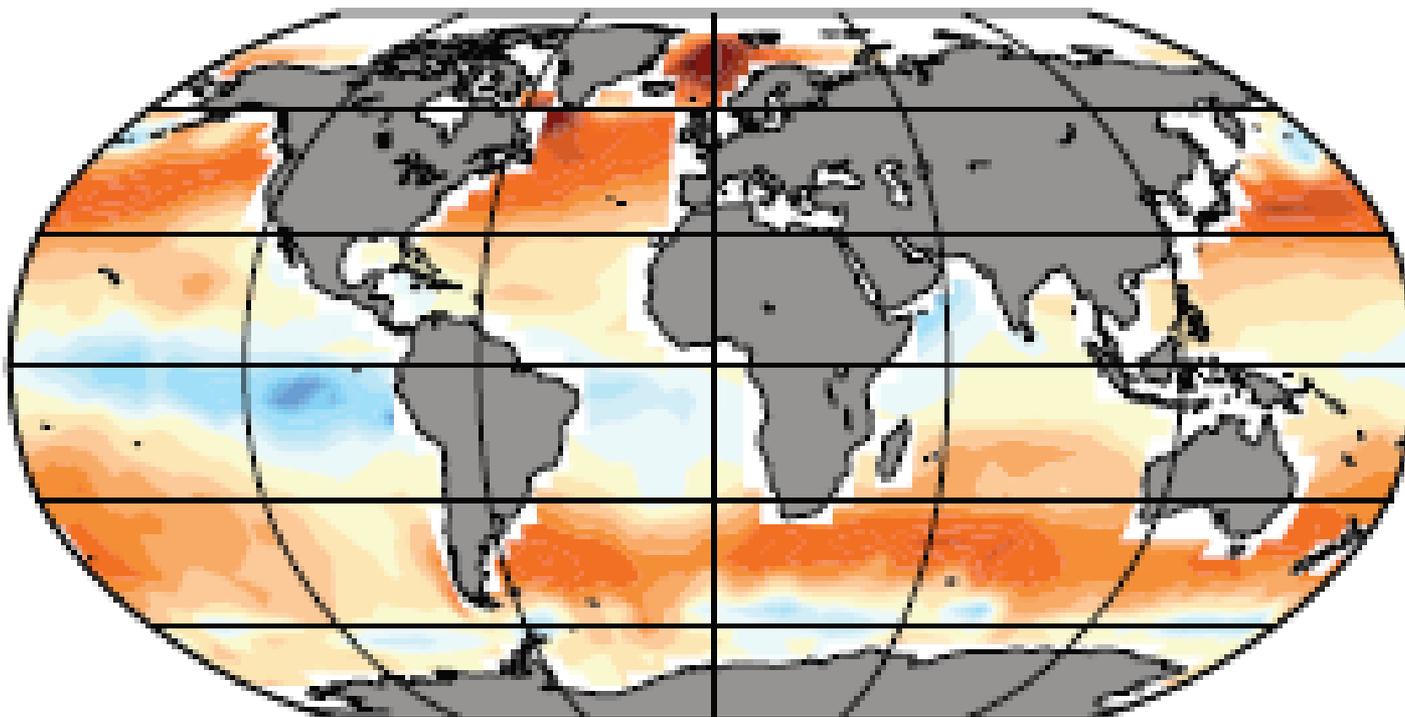


Величины даны в тыс.км³ в год.

Разница испарение – осадки, м/год



Поток CO₂ из атмосферы в океан (г С/ (м² год))



-50 -40 -30 -20 -10 0 10 20 30 40 50

из океана в атмосферу

из атмосферы в океан

Takahashi, 2009

Характеристики вод океана

Температура

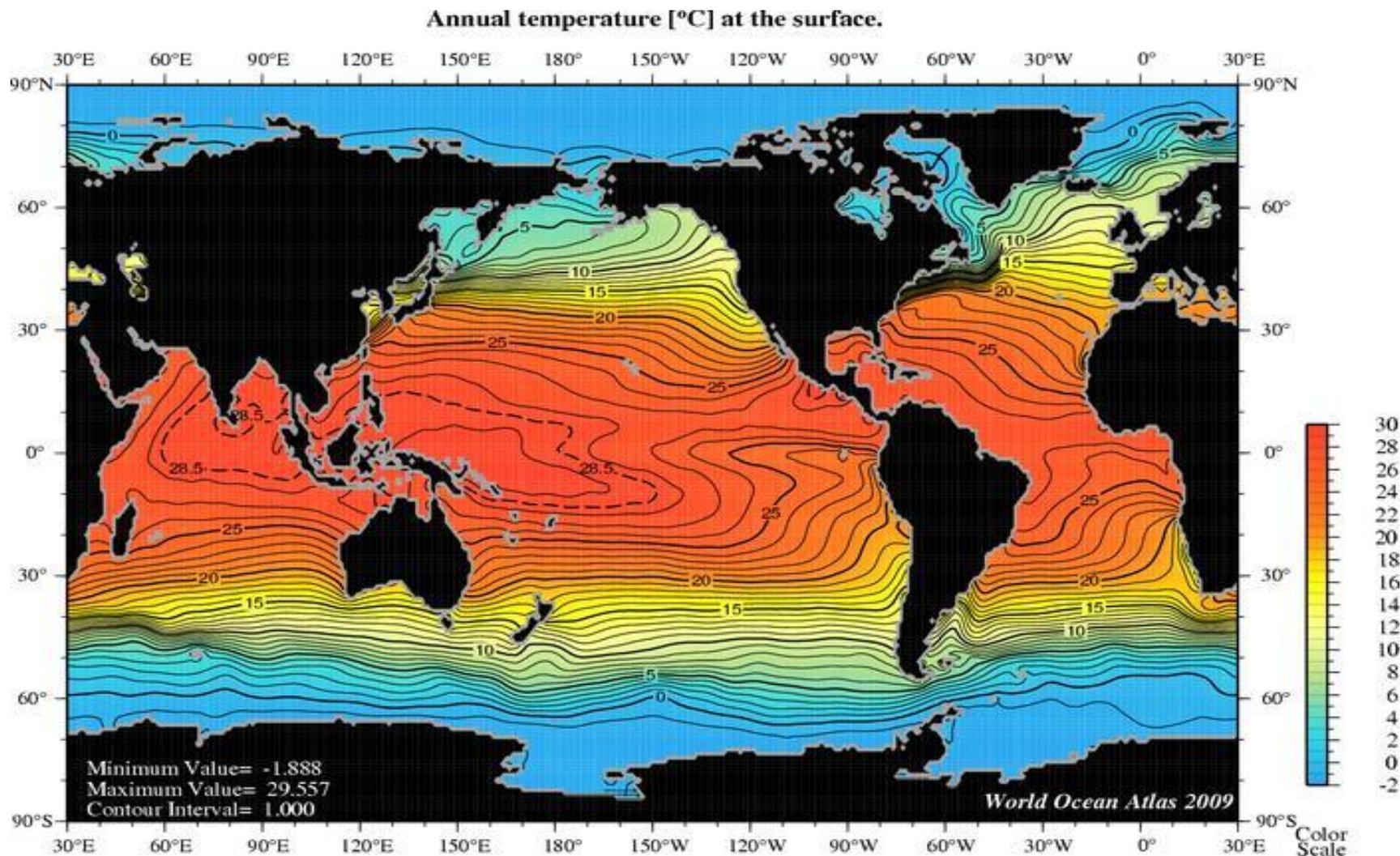
Соленость

Плотность

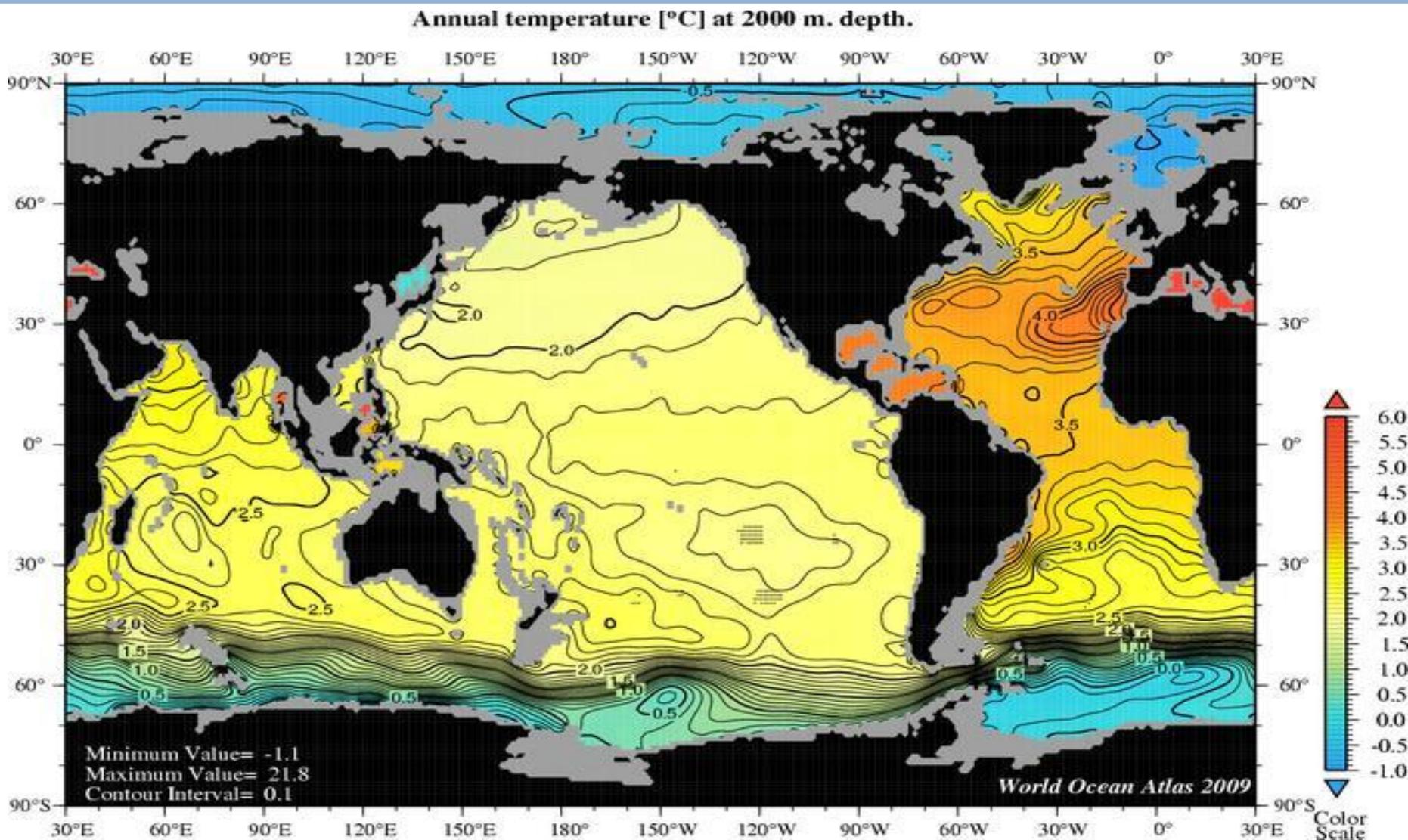
Растворенный кислород

Биогенные вещества

Распределение температуры на поверхности Мирового океана



Распределение температуры на глубине 2000 м в Мировом океане



Соленость – содержание [г/кг, ‰ (промилле)]
минеральных веществ в 1 кг морской воды

Состав растворенных веществ в морской воде

- макроэлементы – определяют соленость воды
- микроэлементы
- биогенные вещества – характеризуют условия питания организмов (азот, фосфор, кремний)
- растворенные газы

Солевой состав вод океана (в %)

масса солей
100

хлориды
88,7

сульфаты
10,8

карбонаты
0,30

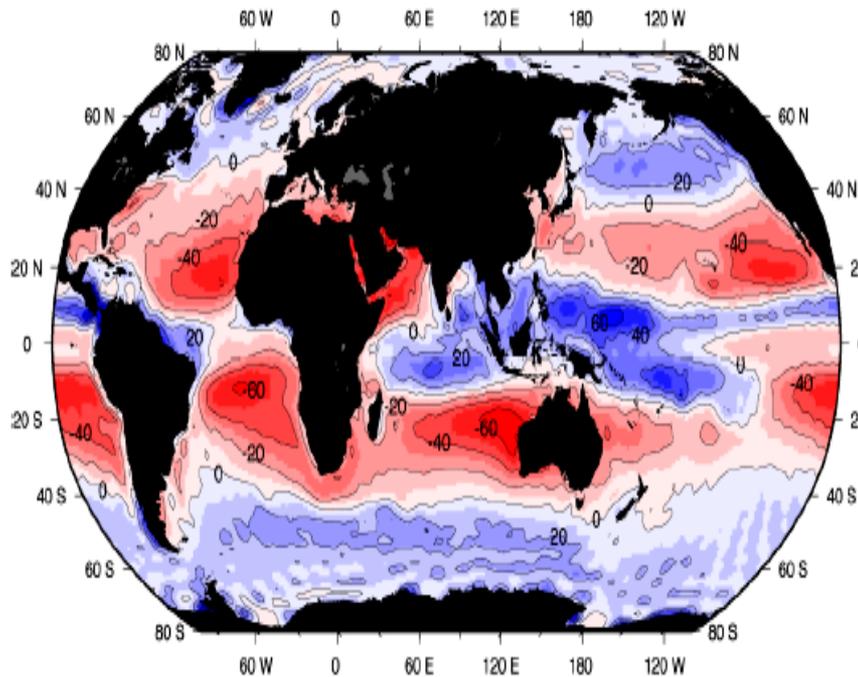
прочие
0,20

- Солевой состав морских вод одинаков во всех частях Мирового океана (при любой солёности) – закон постоянства солевого состава морской воды

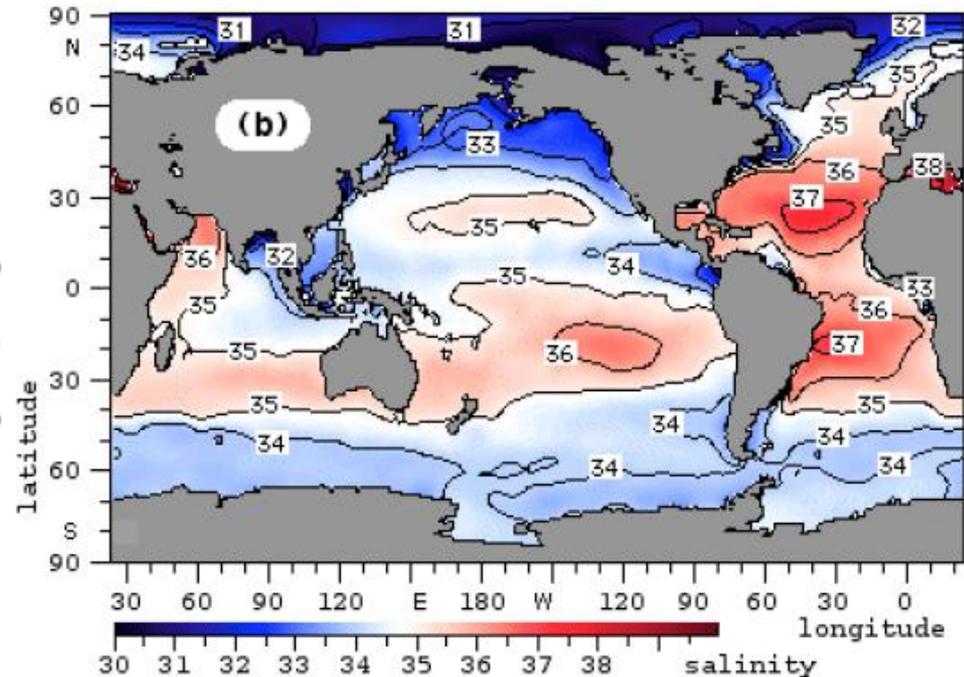
Факторы изменения солёности

- разность между слоем осадков и испарения
- изменение материкового стока
- региональное влияние процессов таяния и образования льда
- влияние морских течений

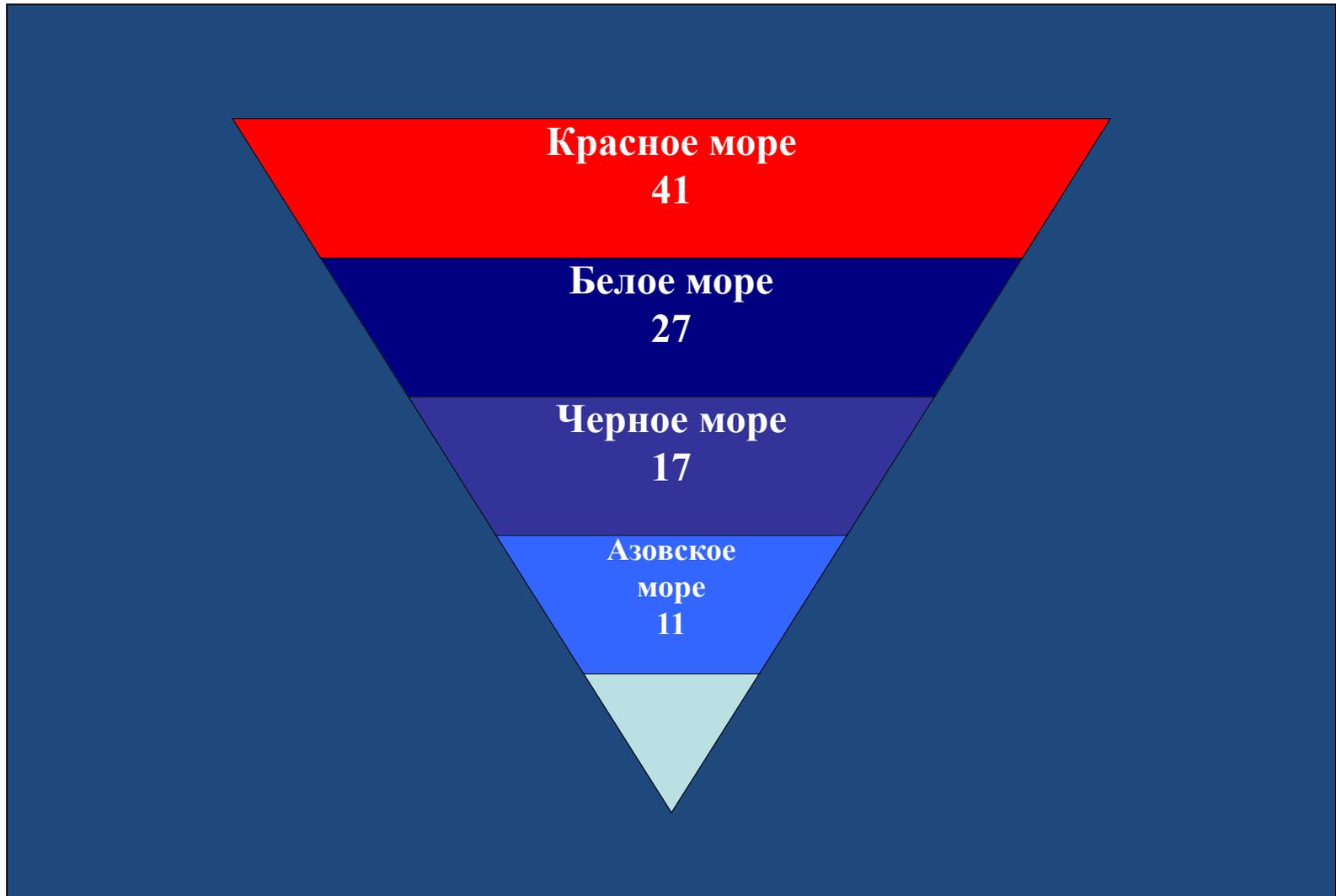
Разность испарения и осадков на поверхности океанов (см/год)



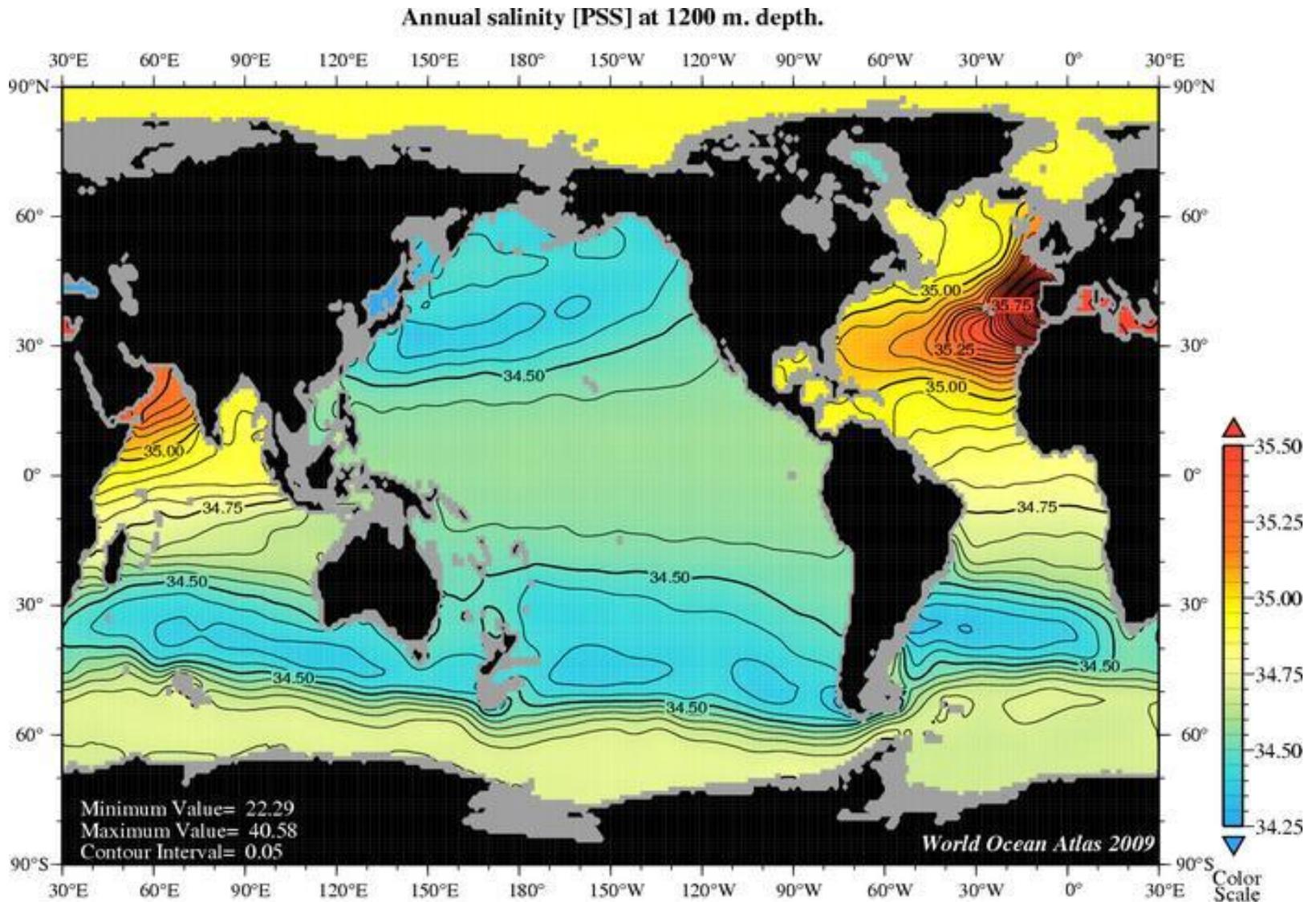
Распределение солёности на поверхности Мирового океана



Соленость (‰) поверхностного слоя некоторых внутренних морей



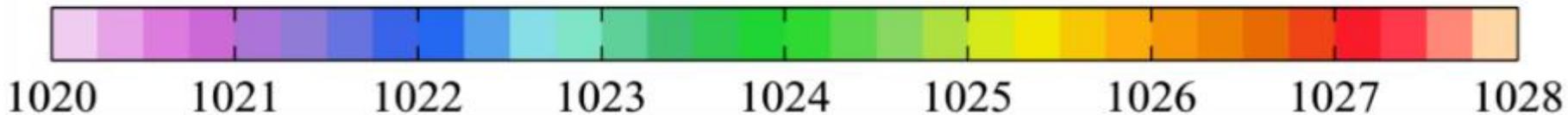
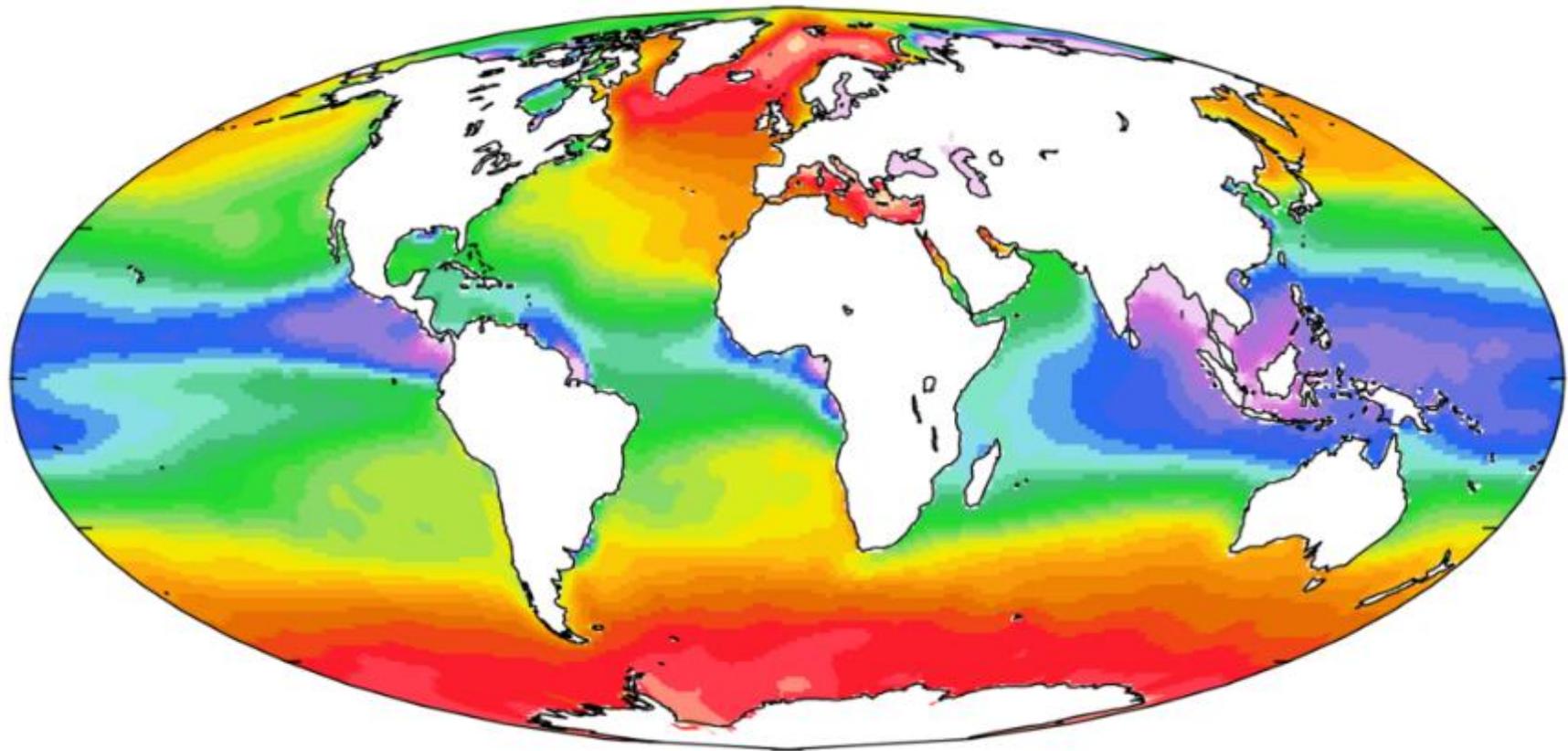
Распределение солености (‰) на глубине 1200 м



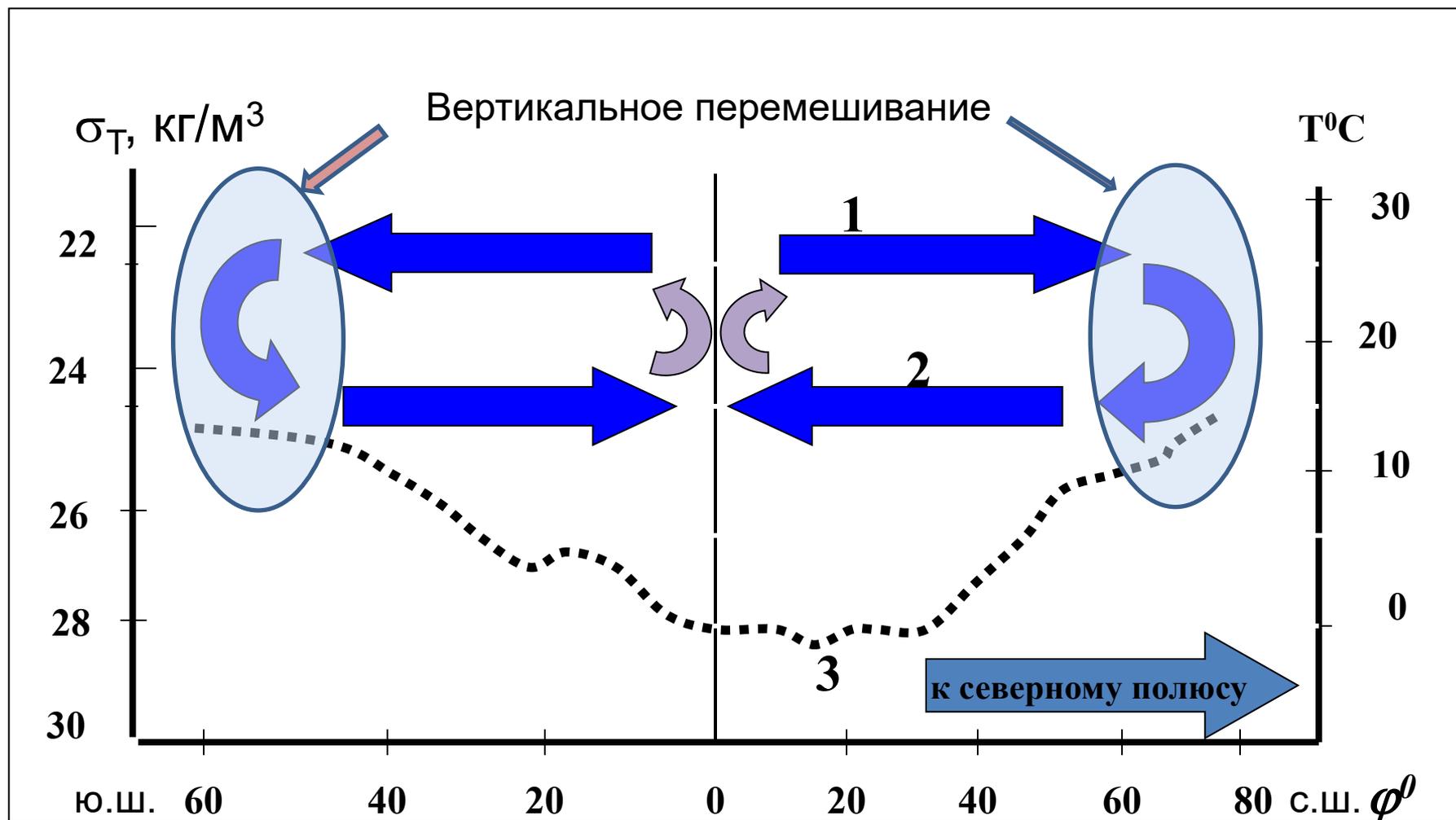
Плотность морской воды

- плотность воды ρ [кг/м³],
- условная плотность [кг/м³] $\sigma_T = \rho - 1000$
- при атмосферном давлении величина $\rho = 1025-1033$ кг/м³, а $\sigma_T = 25-33$ кг/м³
 - Зависимость плотности ρ от давления, температуры и солёности
 - $\rho = f(T, S, p)$ – уравнение состояния
- увеличение глубины на 1 км приводит к увеличению ρ на 5 кг/м³
- увеличение солёности на 1‰ приводит к увеличению ρ на 0,8 кг/м³
- увеличение температуры на 1°C приводит к уменьшению ρ на 0,05-0,35 кг/м³

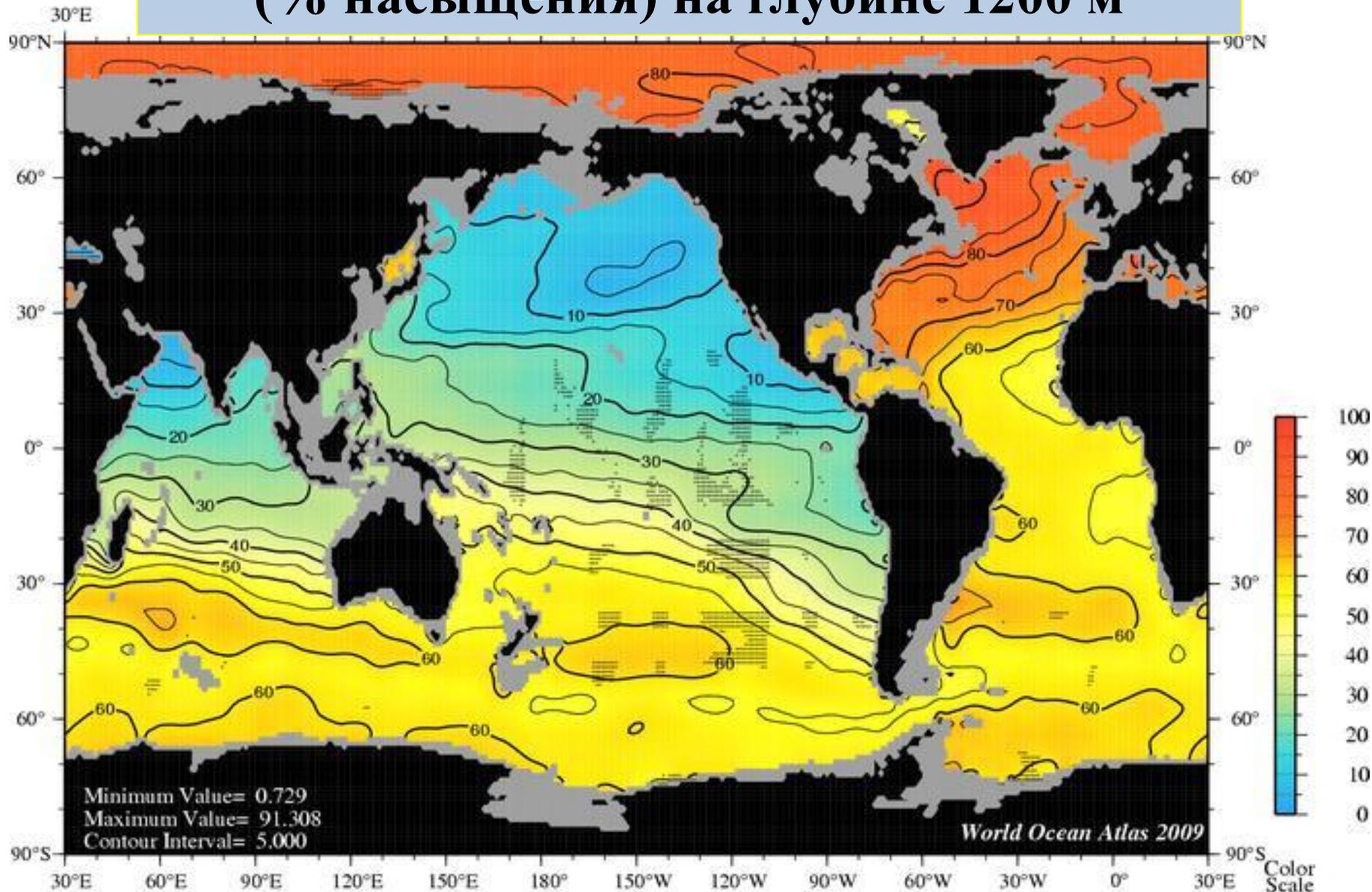
Распределение плотности на поверхности океана (кг/м³)



Циркуляция вод в поверхностных (1) и придонных (2) слоях океана, обусловленная различиями условной плотности на поверхности (3)

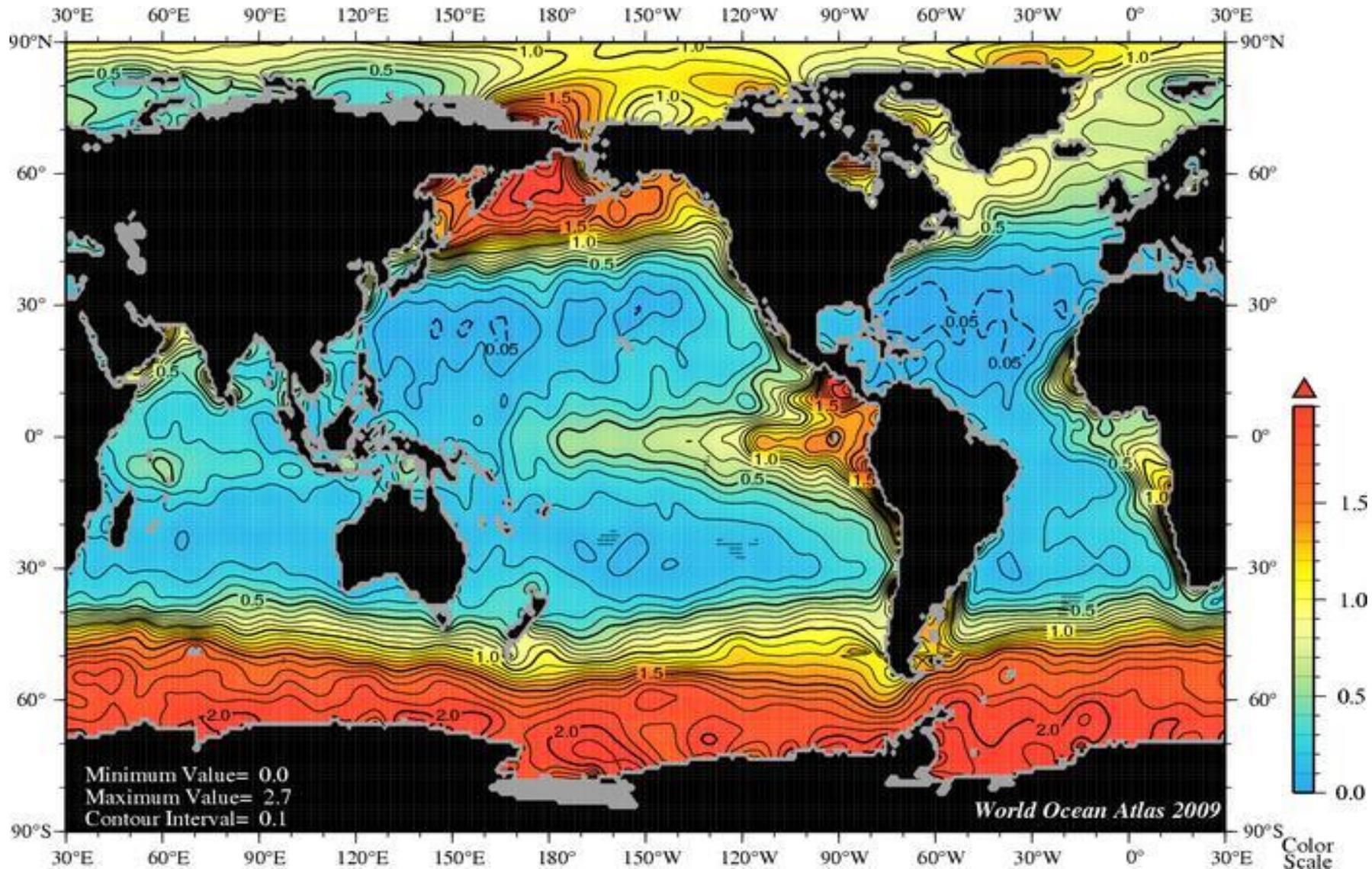


Распределение растворенного кислорода (% насыщения) на глубине 1200 м

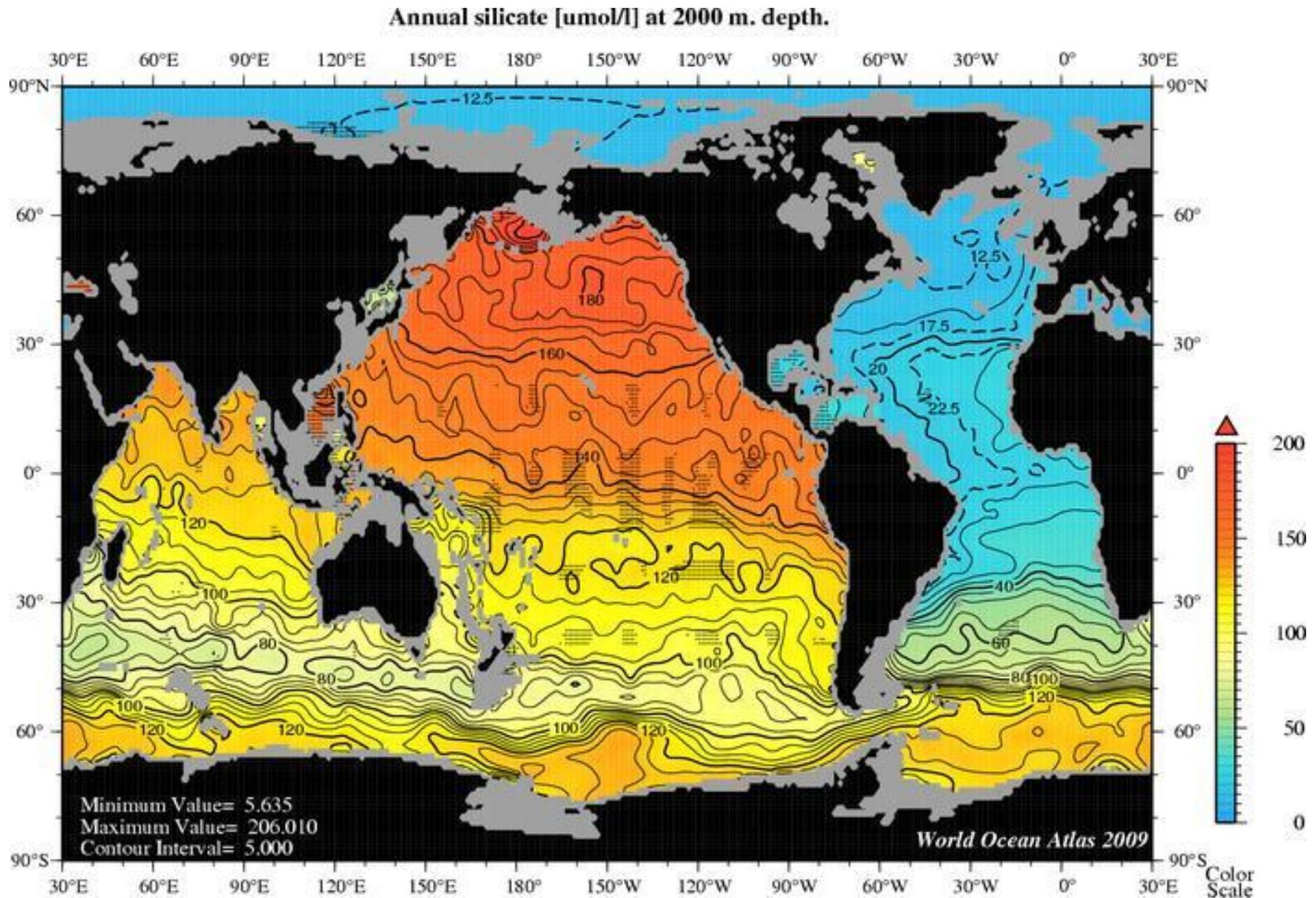


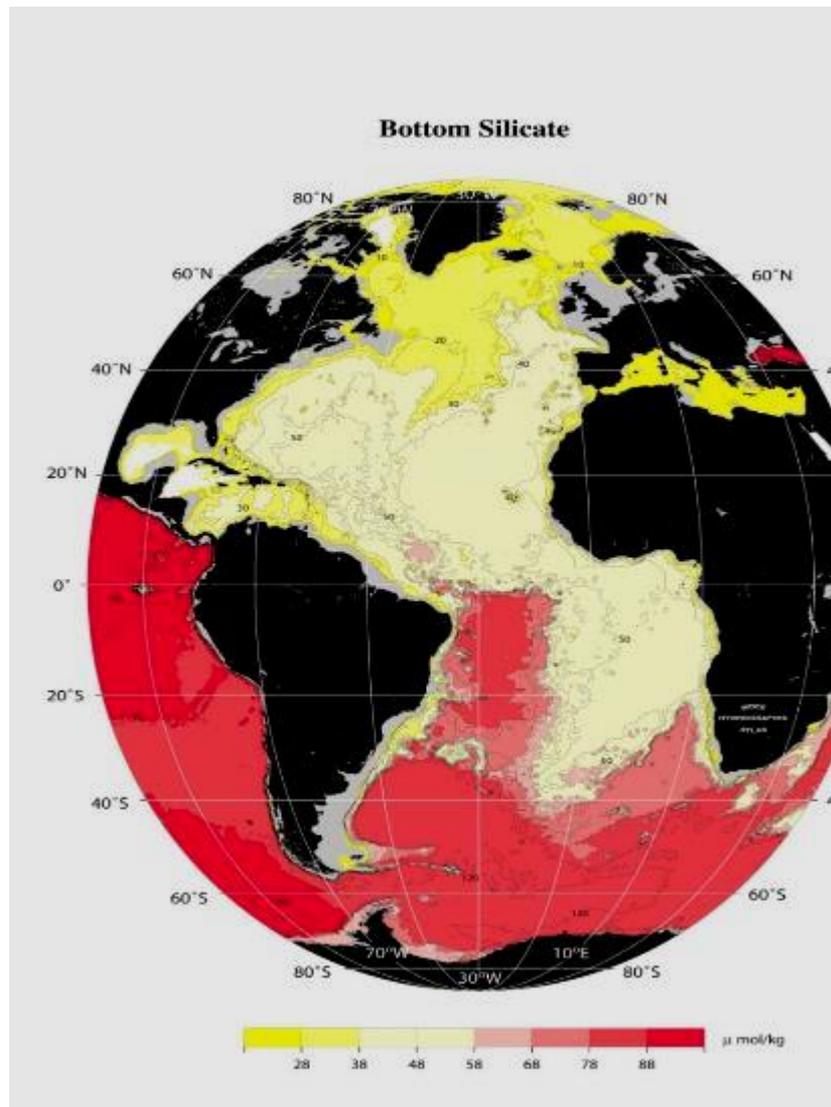
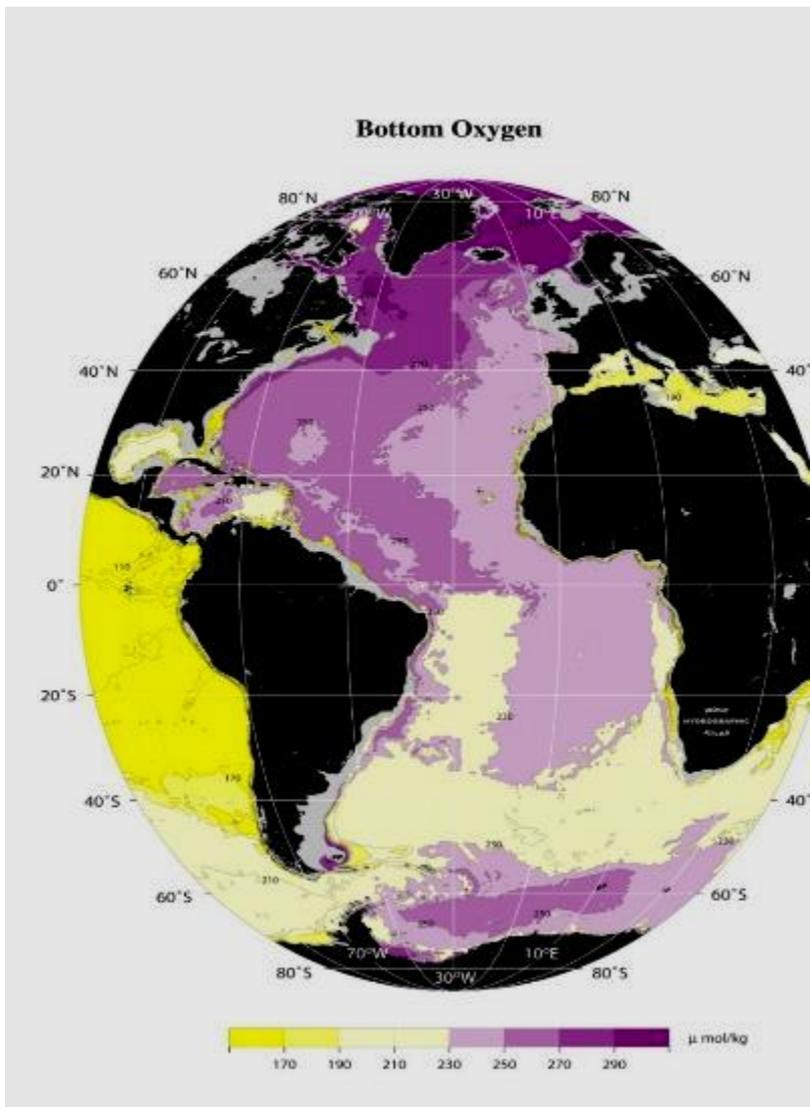
Распределение фосфатов (мкмоль/л) на 50 м

Annual phosphate [$\mu\text{mol/l}$] at 50 m. depth.



Распределение кремнекислоты (мкмоль/л) на глубине 2000 м





Придонные значения растворенного кислорода и силикатов

Сравнение средних по объему характеристик океанов

Параметры	Северная Атлантика + Сев. Ледовитый	Сев. Часть Тихого	Различия
Температура, °	4,95	3,69	+ 1,3°
Соленость, ‰	35,06	34,58	+ 0,5 ‰
Кислород, мл/л	5,3	2,5	Больше в 2 раза
Кремний, микромоль/кг	23	123	Меньше в 5,5 раз
Фосфор, микромоль/кг	1.2	2.6	Меньше в 2 раза

Динамика океана

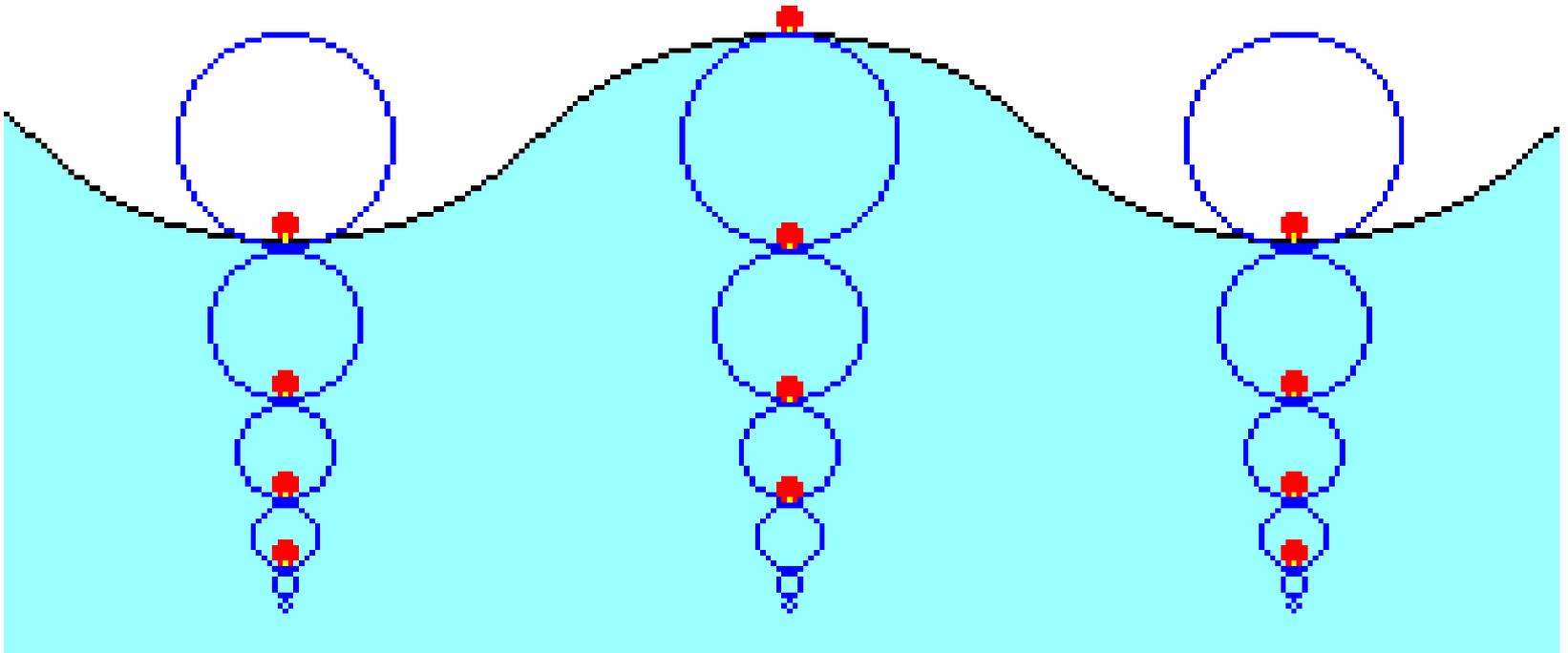
Волны в океане



Классификация волн по происхождению

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

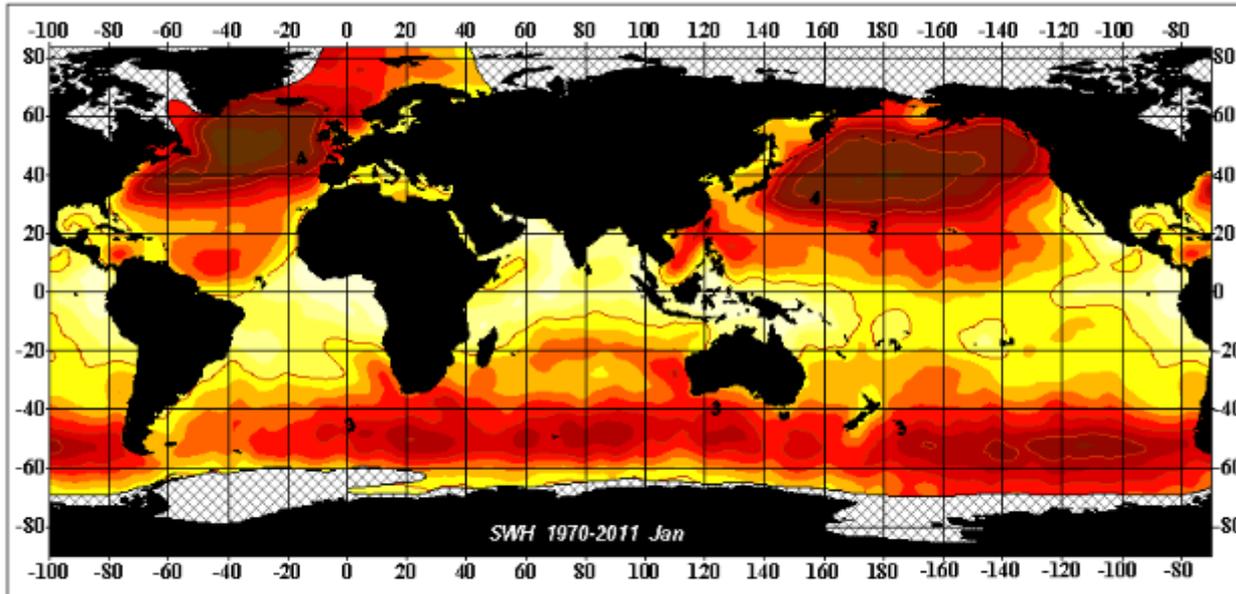
Траектории частиц в волне



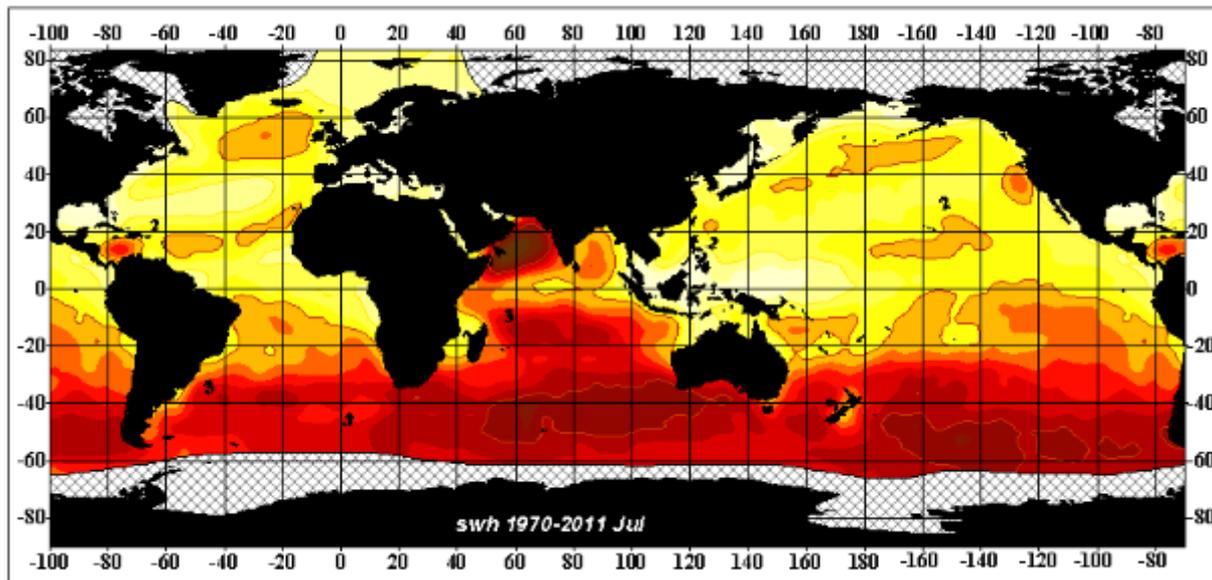
Классификация волн по их длине

- длинные ($\lambda/h > 2$) – приливные, сейсмические, их скорость $c = \sqrt{gh}$
где g – ускорение свободного падения, h – глубина места
- короткие ($\lambda/h < 2$) - ветровые, их длина и высота зависят от скорости и продолжительности действия ветра, длины пути разгона

Средняя высота ветровых волн (м)

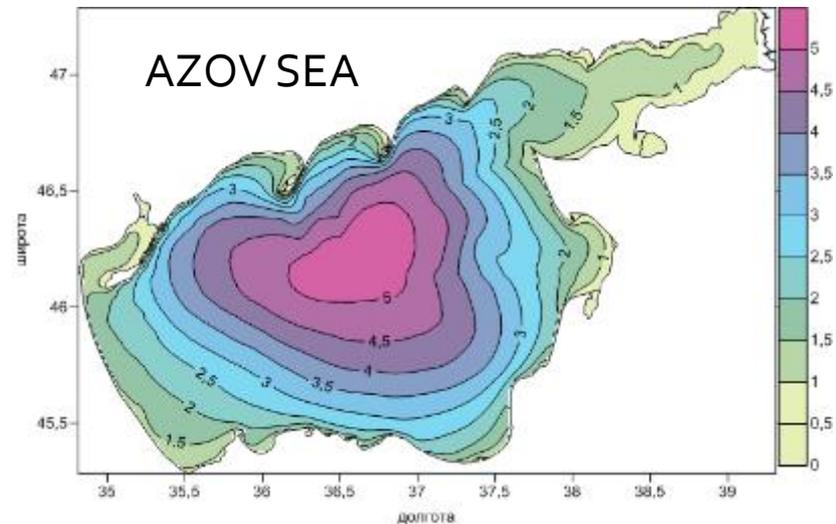
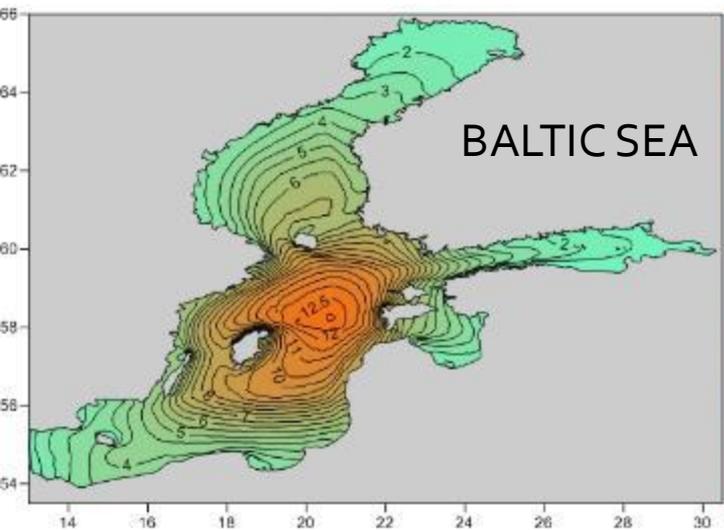
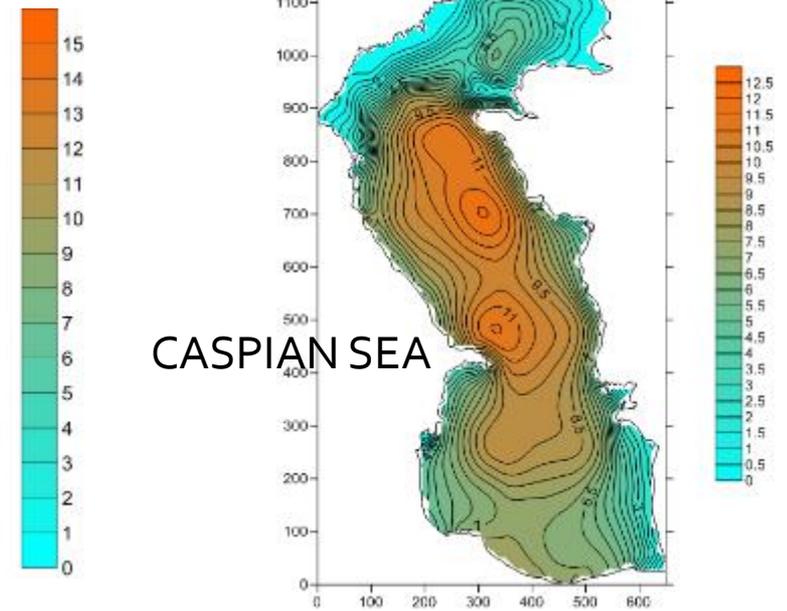
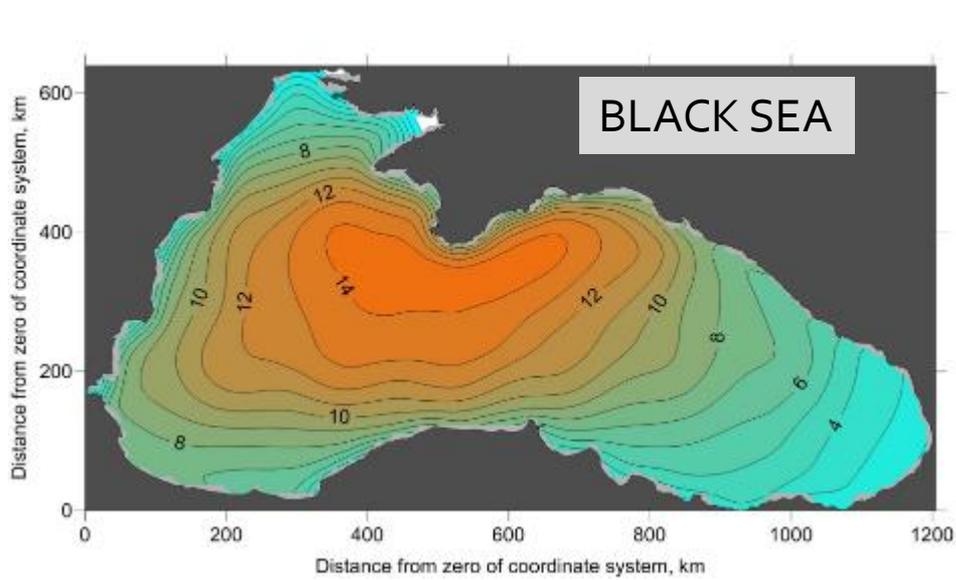


Январь

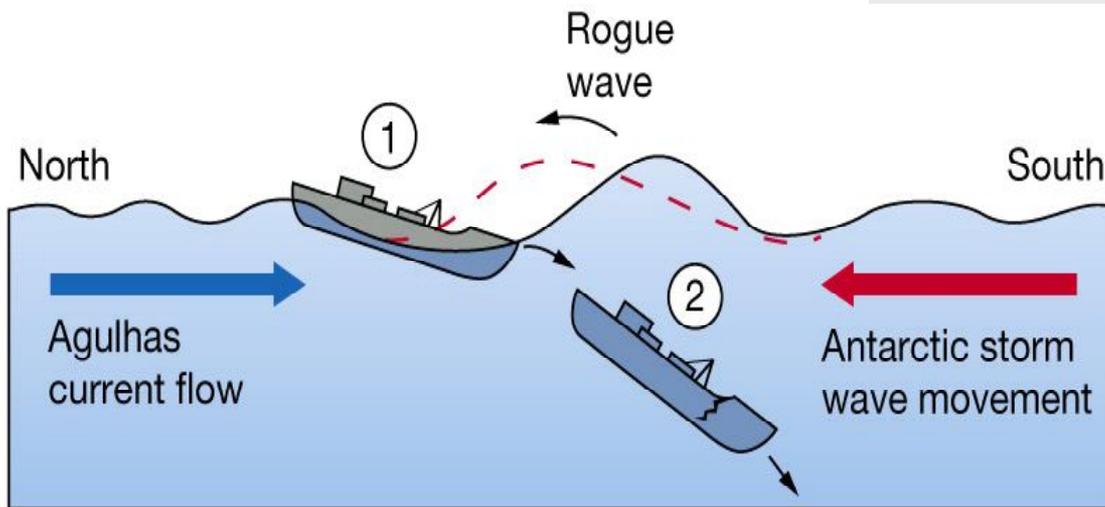
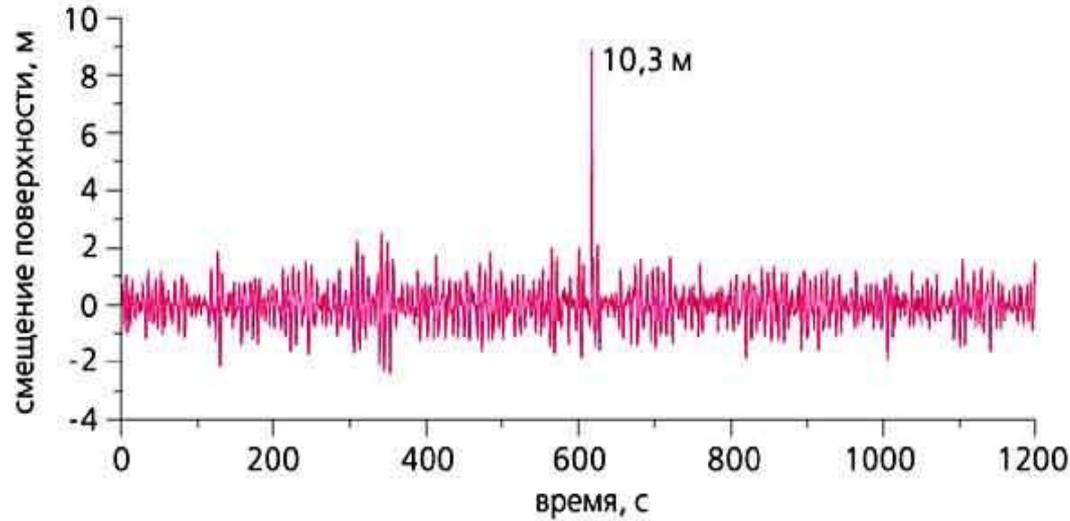


Июль

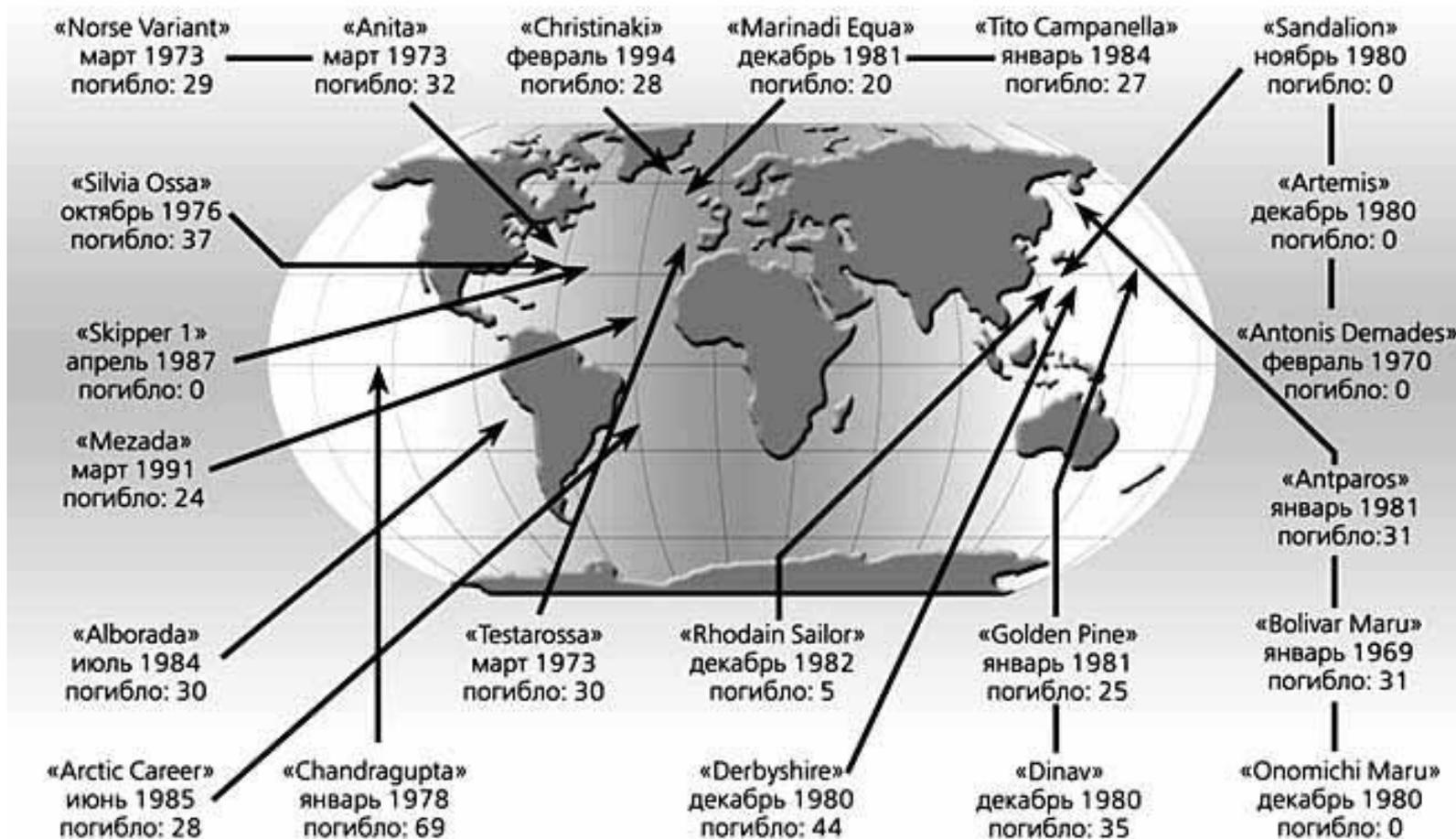
Максимально возможные высоты волн: 1 раз в 100 лет, м



Волны-убийцы



Волны-убийцы в Мировом океане



Штормовые нагоны



Штормовой нагон - поднятие уровня моря, вызванное перераспределением масс воды под воздействием градиента атмосферного давления и напряжения ветра

Нагон усиливается в устьях рек, под действием приливов, при наложении стоячей волны, падении атмосферного давления

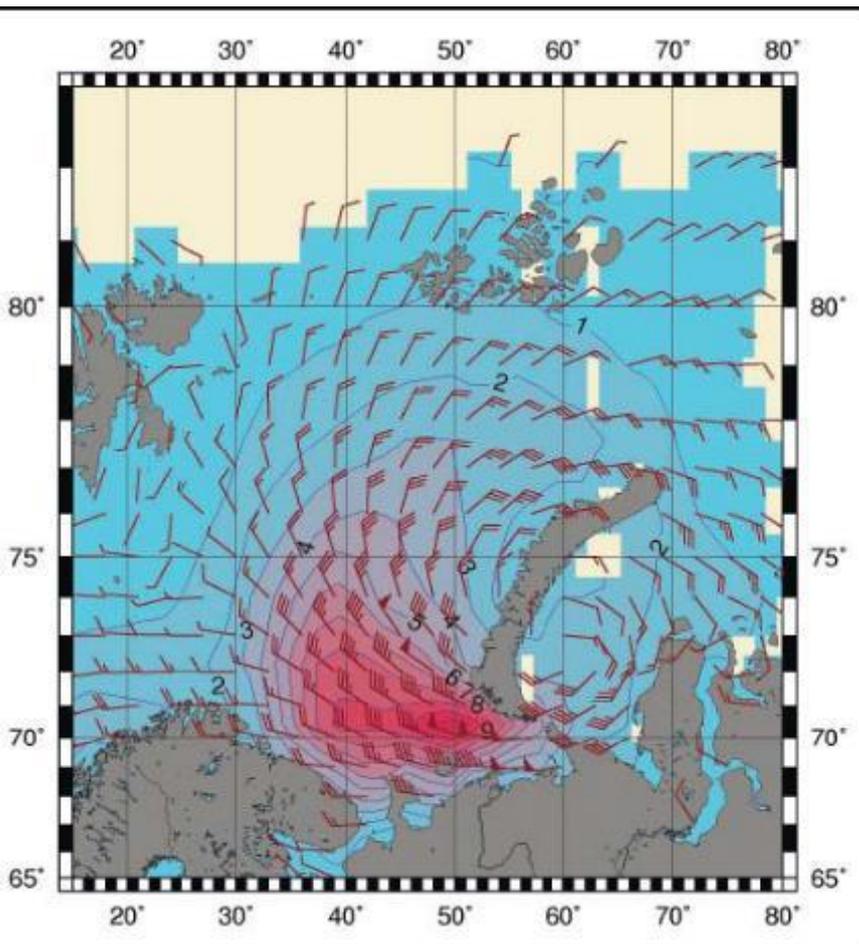


Сгон в Азовском море 28.11.2019 г.

Нагон в Венеции
Ноябрь 2019 г.



Нагон 24.07.2010 в Печорском море

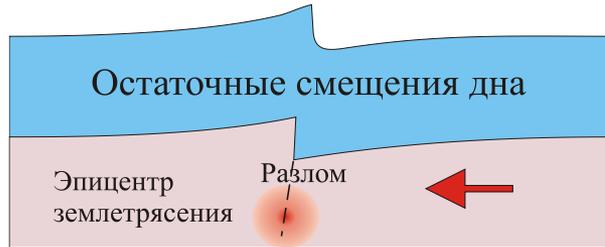


Цунами в Мировом океане

СЕЙСМИЧЕСКИЕ

82%

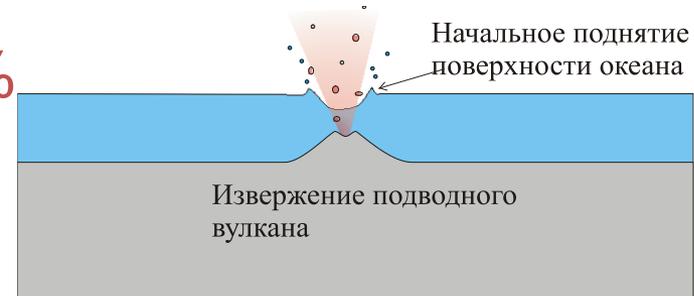
Начальное поднятие
поверхности океана



ВУЛКАНИЧЕСКИЕ

5%

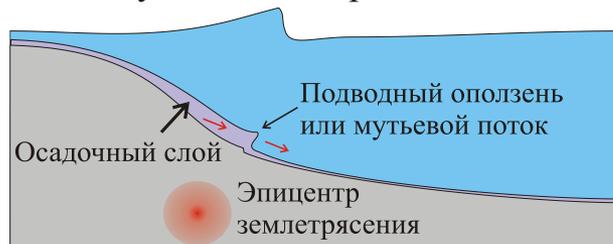
Начальное поднятие
поверхности океана



ОПОЛЗНЕВЫЕ

6%

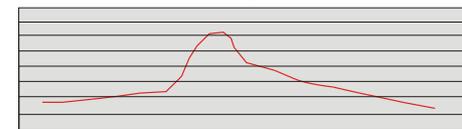
Возмущение поверхности океана



МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ

3%

Изменение атмосферного давления



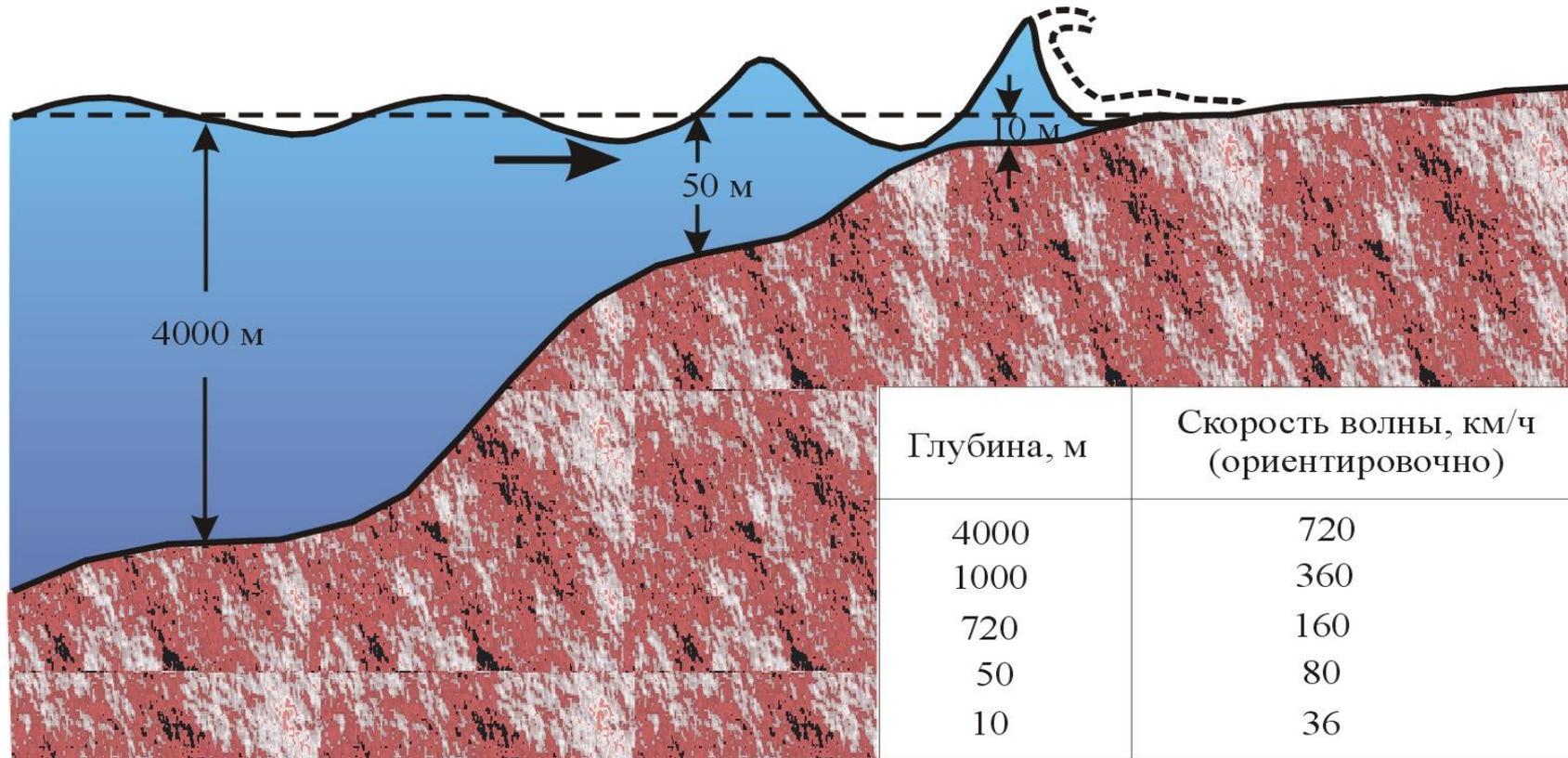
Быстро движущийся грозовой фронт



РАЗЛИЧНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ВОЗБУЖДЕНИЯ ВОЛН ЦУНАМИ

Сейсмические цунами

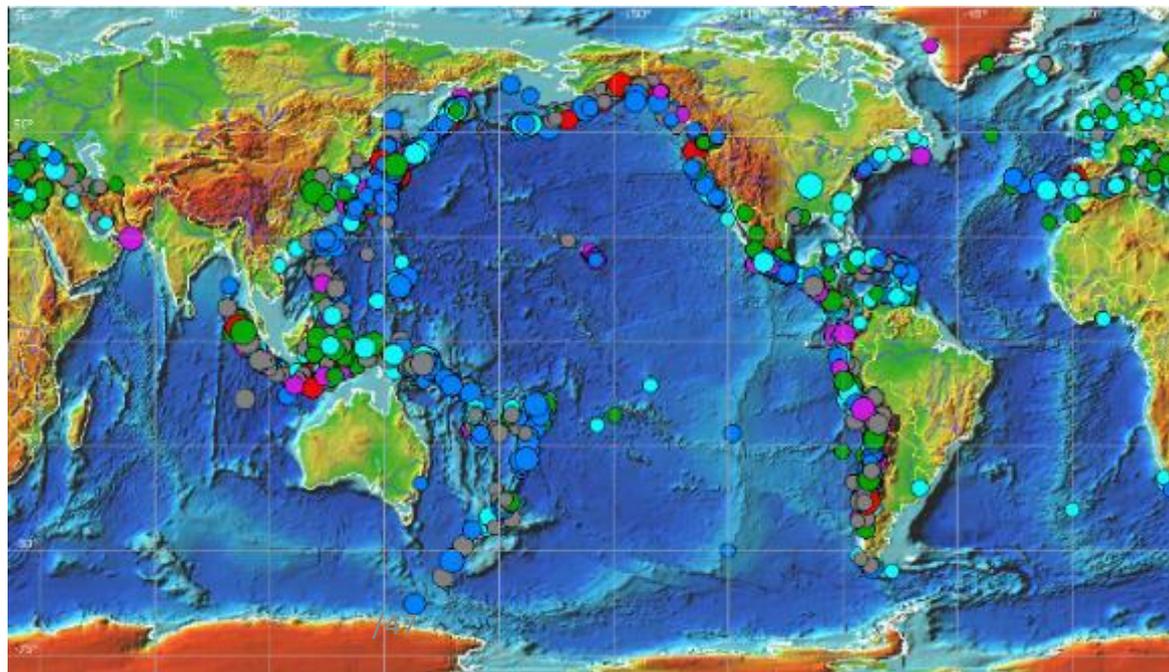
- высота - 0,1- 35 м, длина – 20 – 600 км
- период – 0,03 – 3,3 ч
- в месте зарождения $h_b < 2$ м
- максимума волна достигает у берега



Цунами в Мировом океане

Число жертв	Места возникновения	Год
230 000	Индийский океан (Индонезия, Индия, Шри-Ланка, Таиланд, Сомали, и др.)	2004
100 000	Лиссабонское землетрясение: Португалия и Марокко	1755
100 000	Ава, Япония	1703
70 000	Мессинский пролив, Италия	1908

Источники
цунами

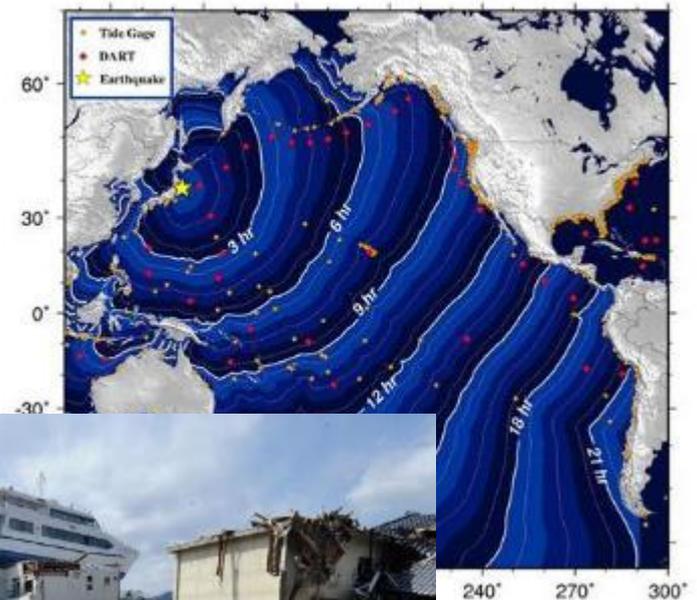


Цунами в Японии 11 марта 2011 г.

Более 18 тыс. погибших и пропавших без вести

Ущерб – более 200 млрд.долл.

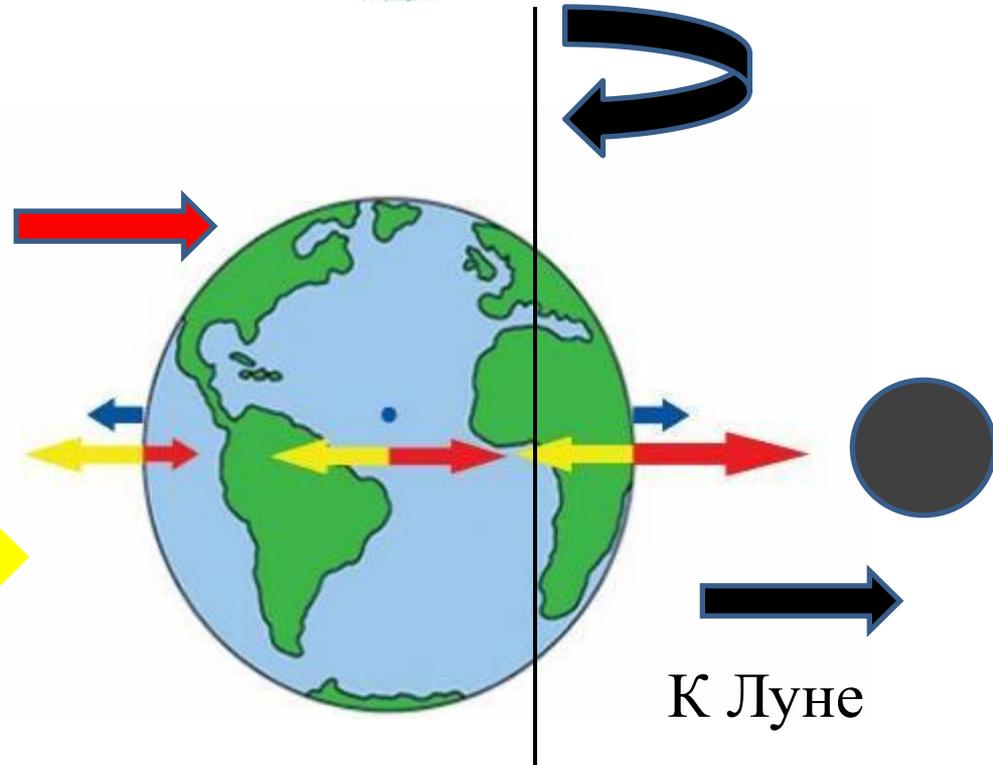
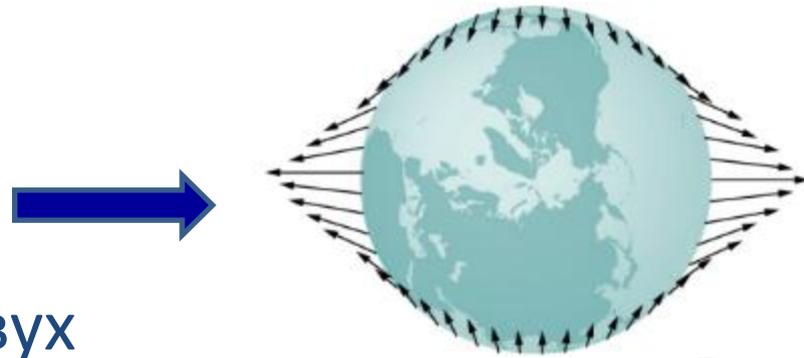
Tsunami Travel Times



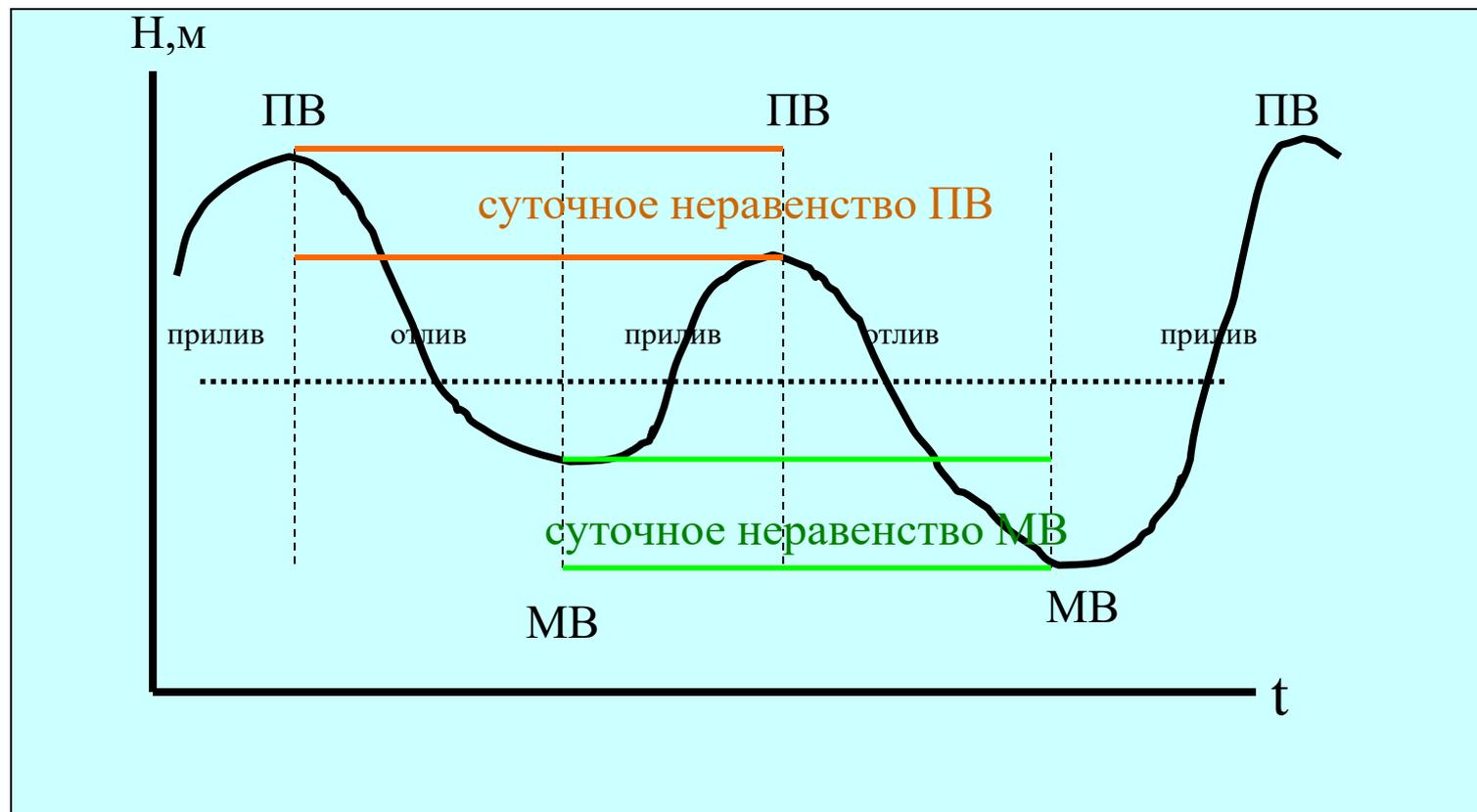
Приливы в океанах и морях

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

- Приливный уровень определяется равнодействующей двух сил:
 - Силой притяжения к Луне
 - Центробежной силой вращения системы Земля-Луна вокруг общего центра масс (он находится внутри Земли на расстоянии 0,73 ее радиуса от центра Земли ближе к Луне)



Реальная схема суточных колебаний уровня воды у берега в период прилива

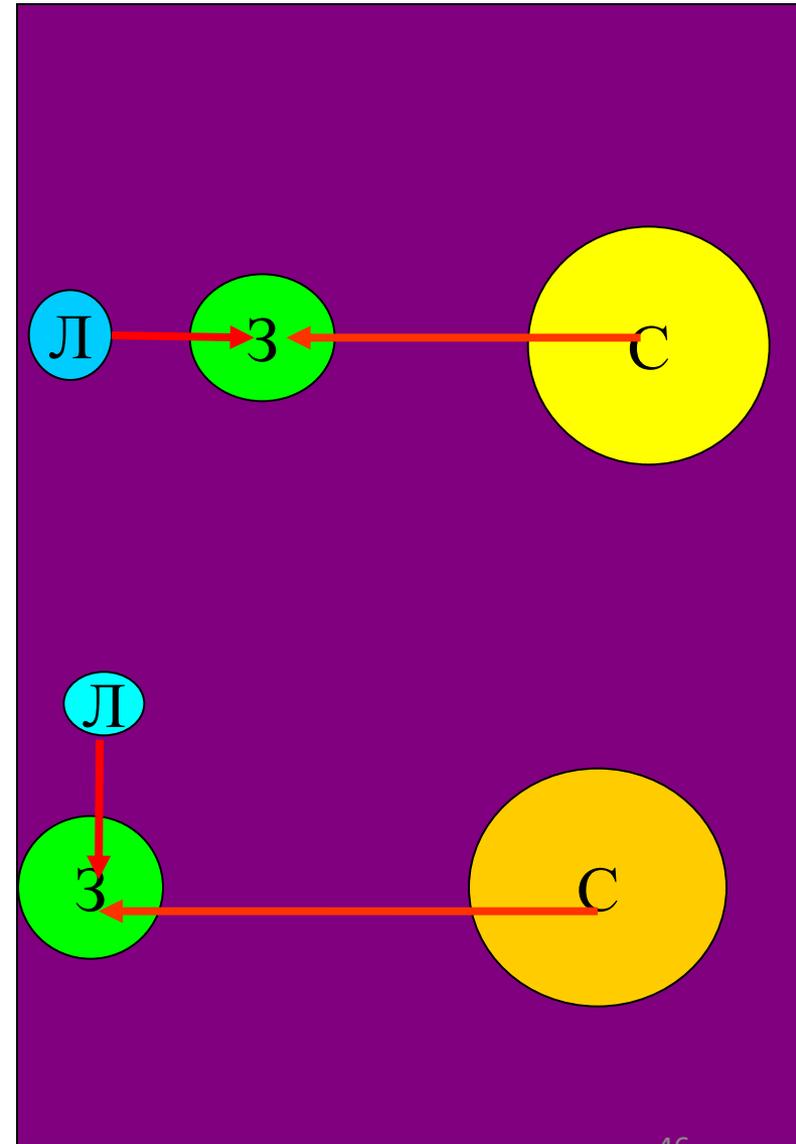
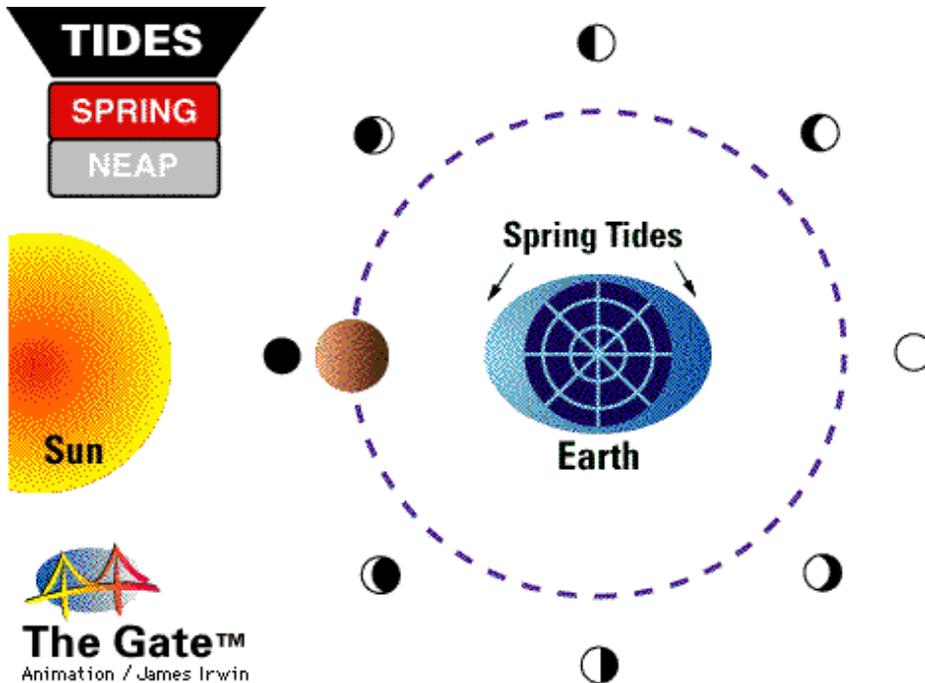


Причины неравенства уровней воды в период Полной и Малой воды

- суточное изменение - наклоном земной оси к плоскости эклиптики
- полумесячное изменение - вращение Луны и влияние Солнца
- ежемесячные изменения - вращение Луны вокруг Земли по эллипсоидной орбите

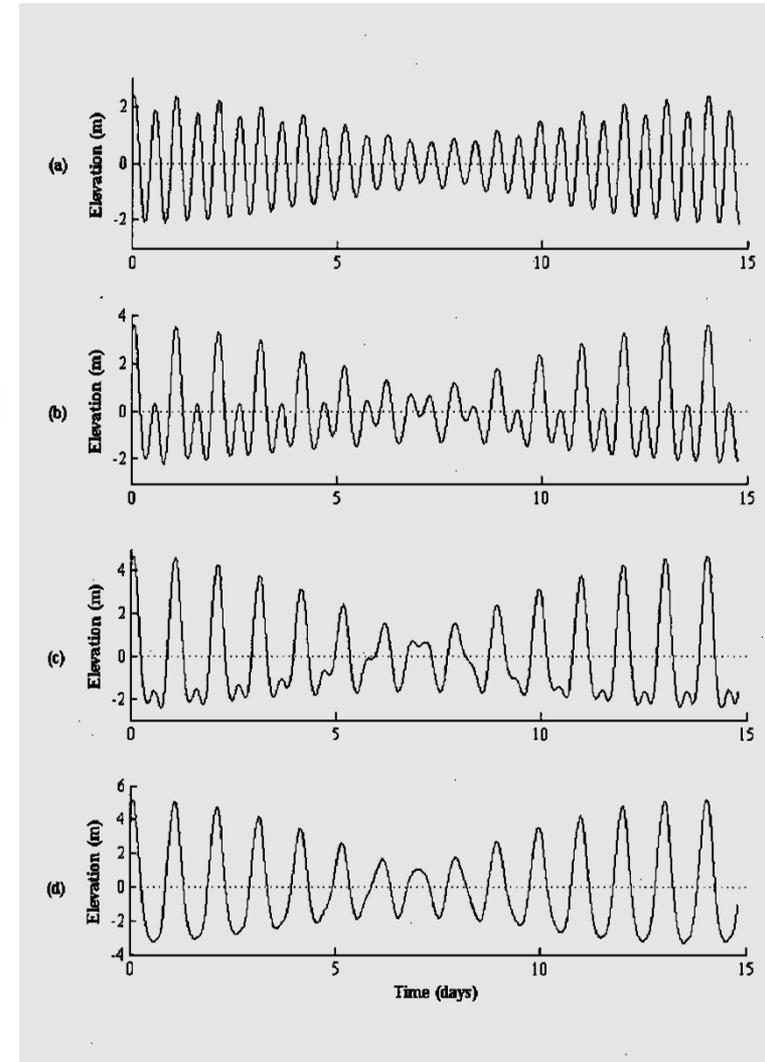
Типы смешанных приливов

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



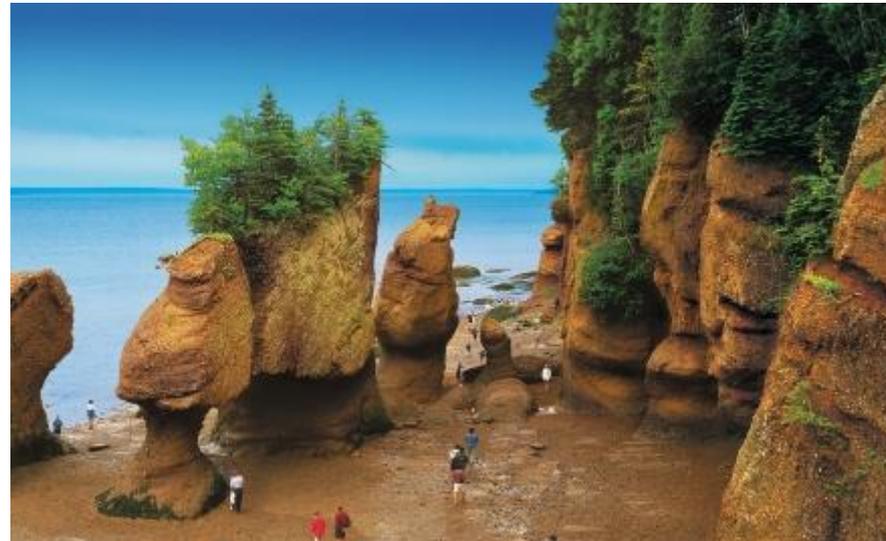
Типизация приливов по характеру изменения уровня

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



Величина прилива в различных природных условиях

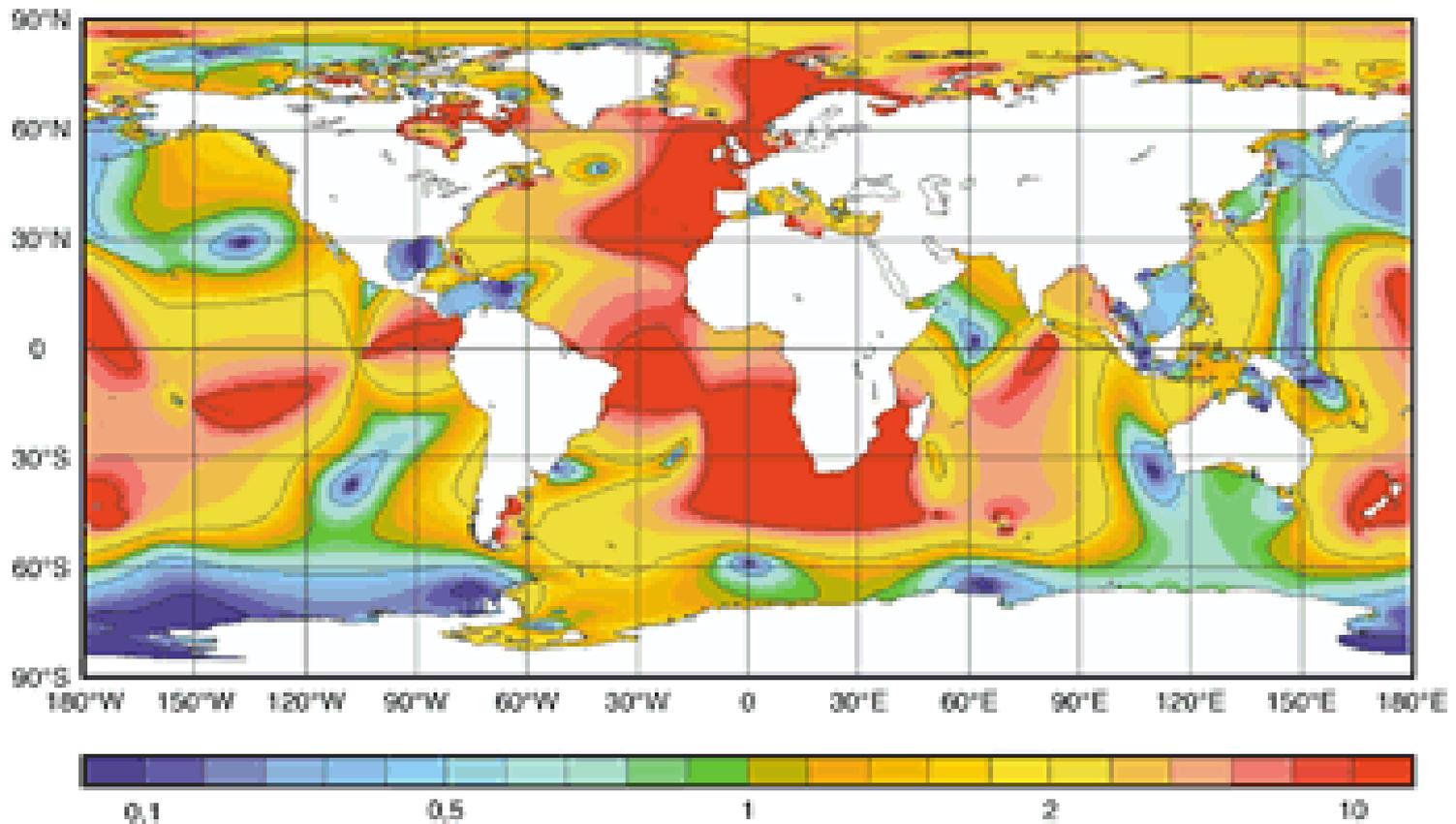
Величина прилива, м	Регион
18	Северная Америка, залив Фанди
10-12	Патагония, Баффинова Земля, залив Аляска, Камбейский залив Индийского океана
13	Пенжинская губа Охотского моря
10	Мезенский залив Белого моря



залив Фанди

Характер приливов

Синий – правильный суточный
Зеленый – неправильный суточный
Желтый – неправильный полусуточный
Красный – правильный полусуточный



Морские течения

Морское течение – продолжительное перемещение больших объемов воды в горизонтальном направлении под действием различных вынуждающих сил

Силы, влияющие на возникновение течений:

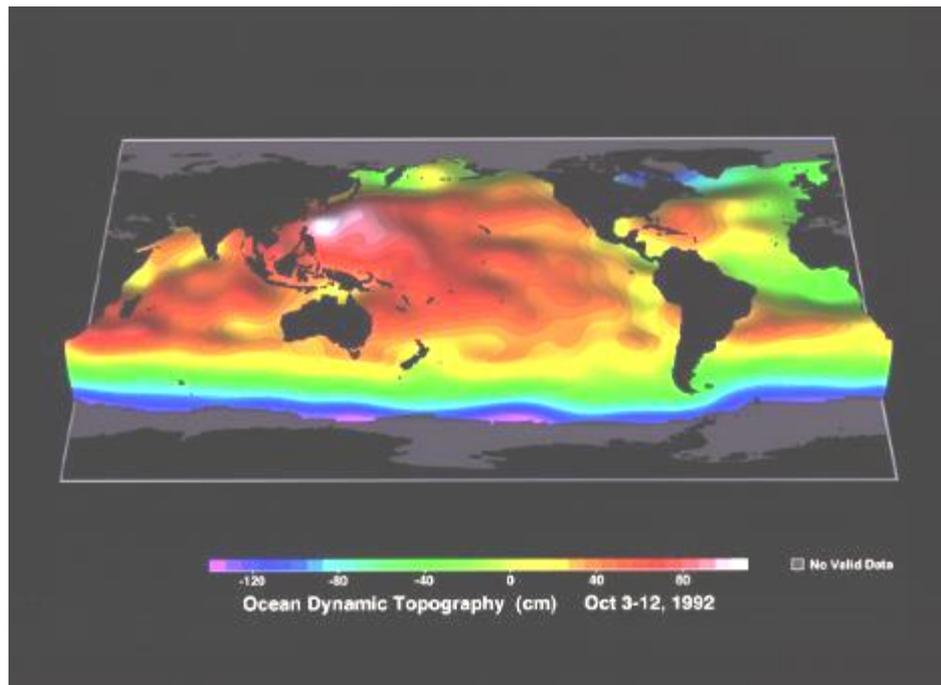
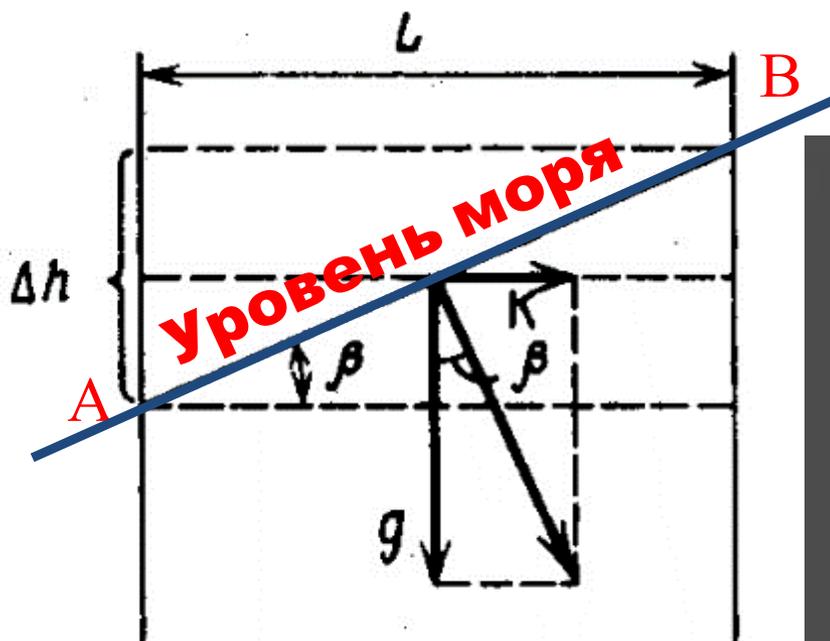
- сила трения на границе раздела воздух-вода и вода-дно
- сила тяжести
- сила давления
- сила Кориолиса

Большая часть постоянных течений в океане – за счет градиентов плотности воды, они формируют различия в давлении столба воды

Геострофические течения – течения при наличии силы Кориолиса

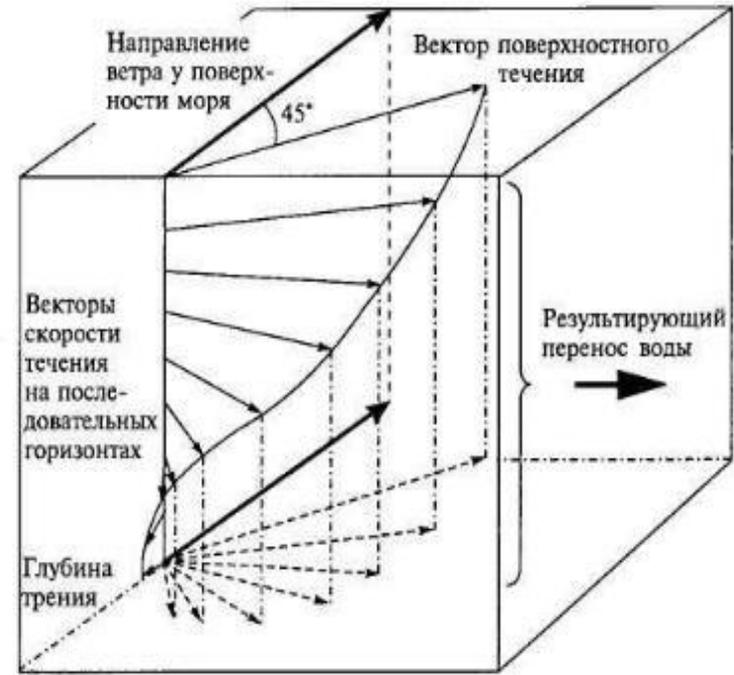
Сечение потока в Северном полушарии, который идет “в чертеж”

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

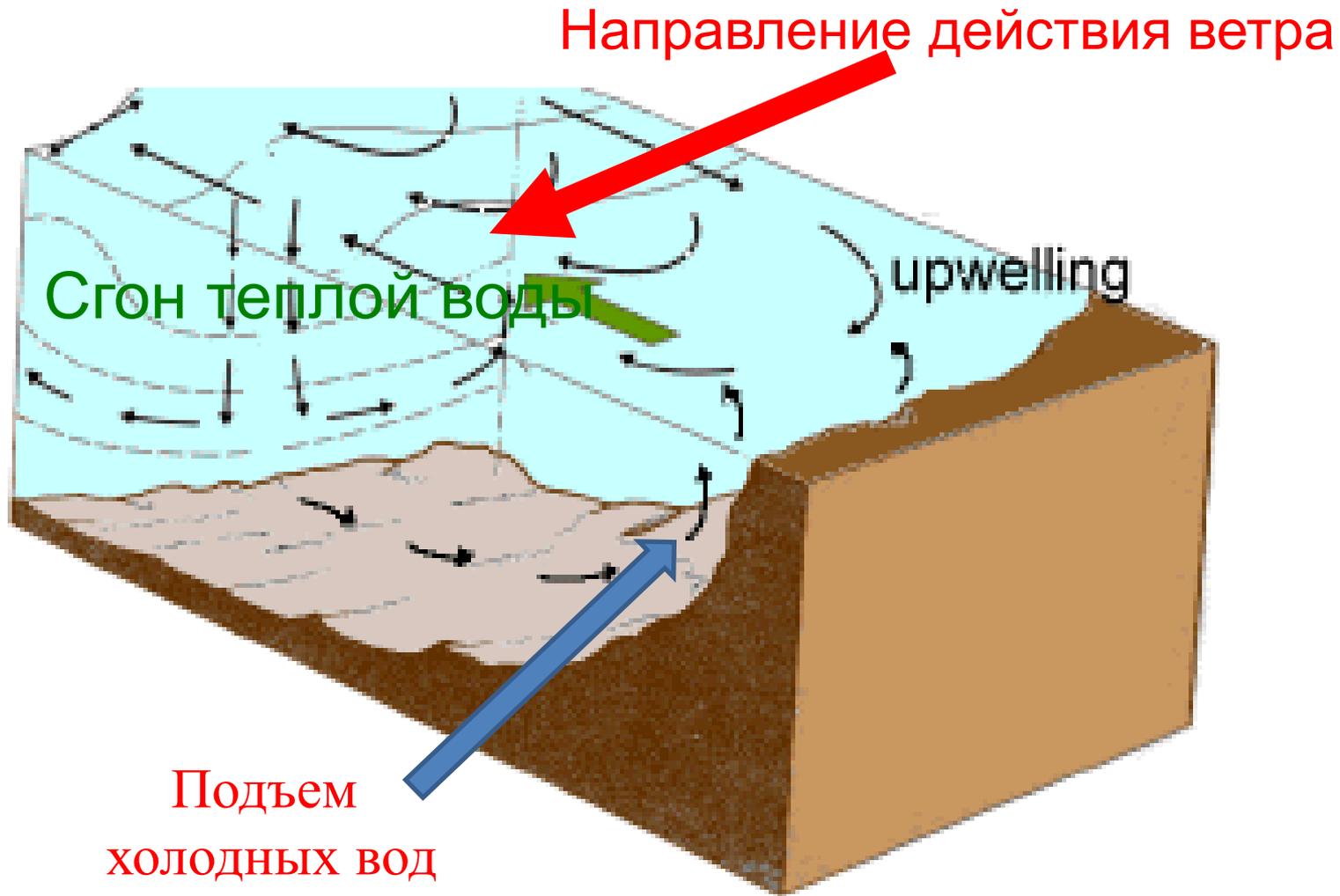


Дрейфовые течения

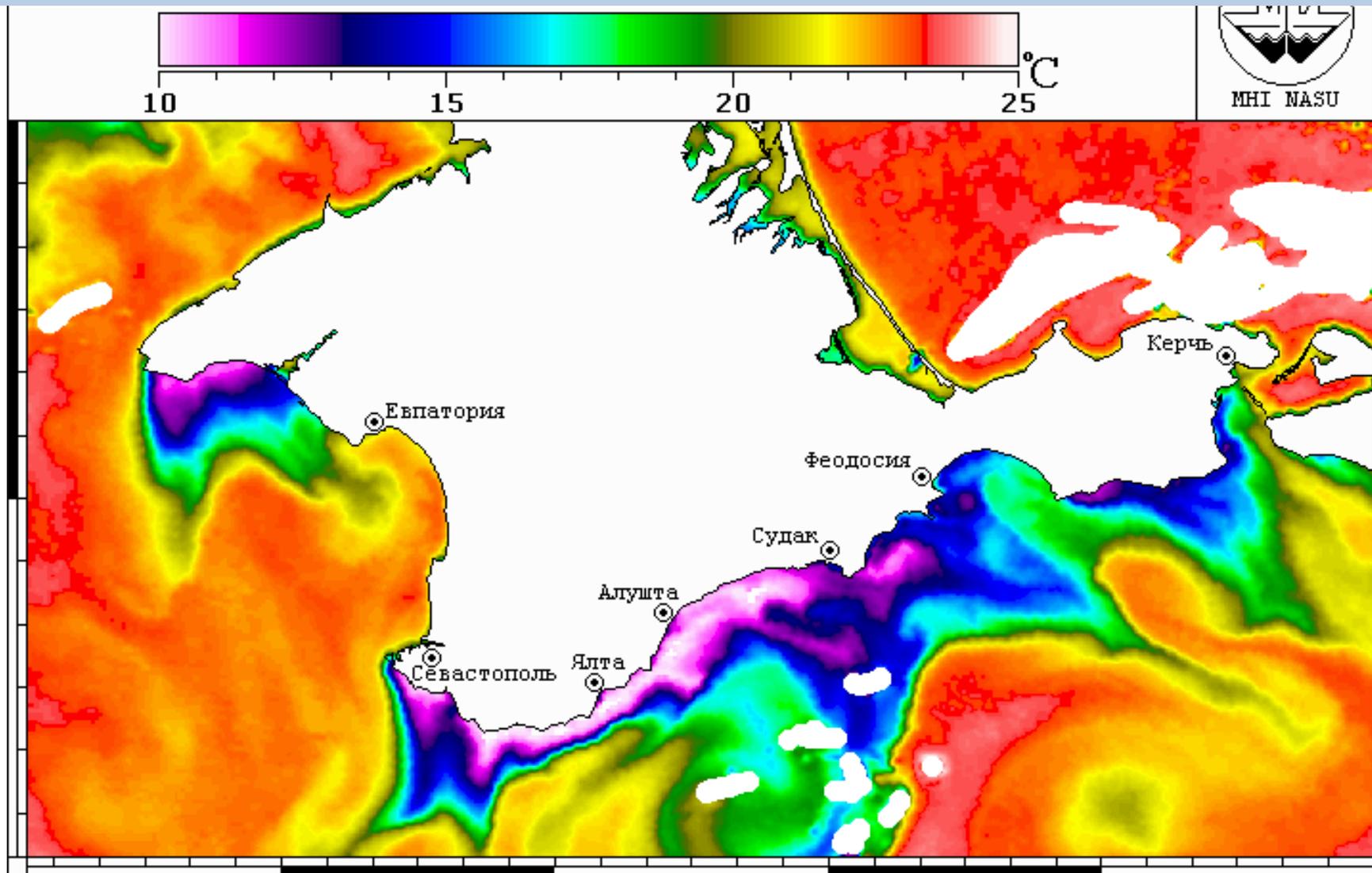
- направление ветра W и направление поверхностной скорости течения морской воды V образуют угол 45°
- изменение скорости ветрового течения по глубине моря $V = f(h)$ описывается уравнением **спирали Экмана**
- На некоторой глубине скорость течения противоположна поверхностной скорости, ее величина равна $0,04V_{h=0}$
- эта глубина называется **глубиной трения**, обычно она составляет 20-50 м



Апвеллинг – следствие отклонения дрейфового течения и результирующего переноса

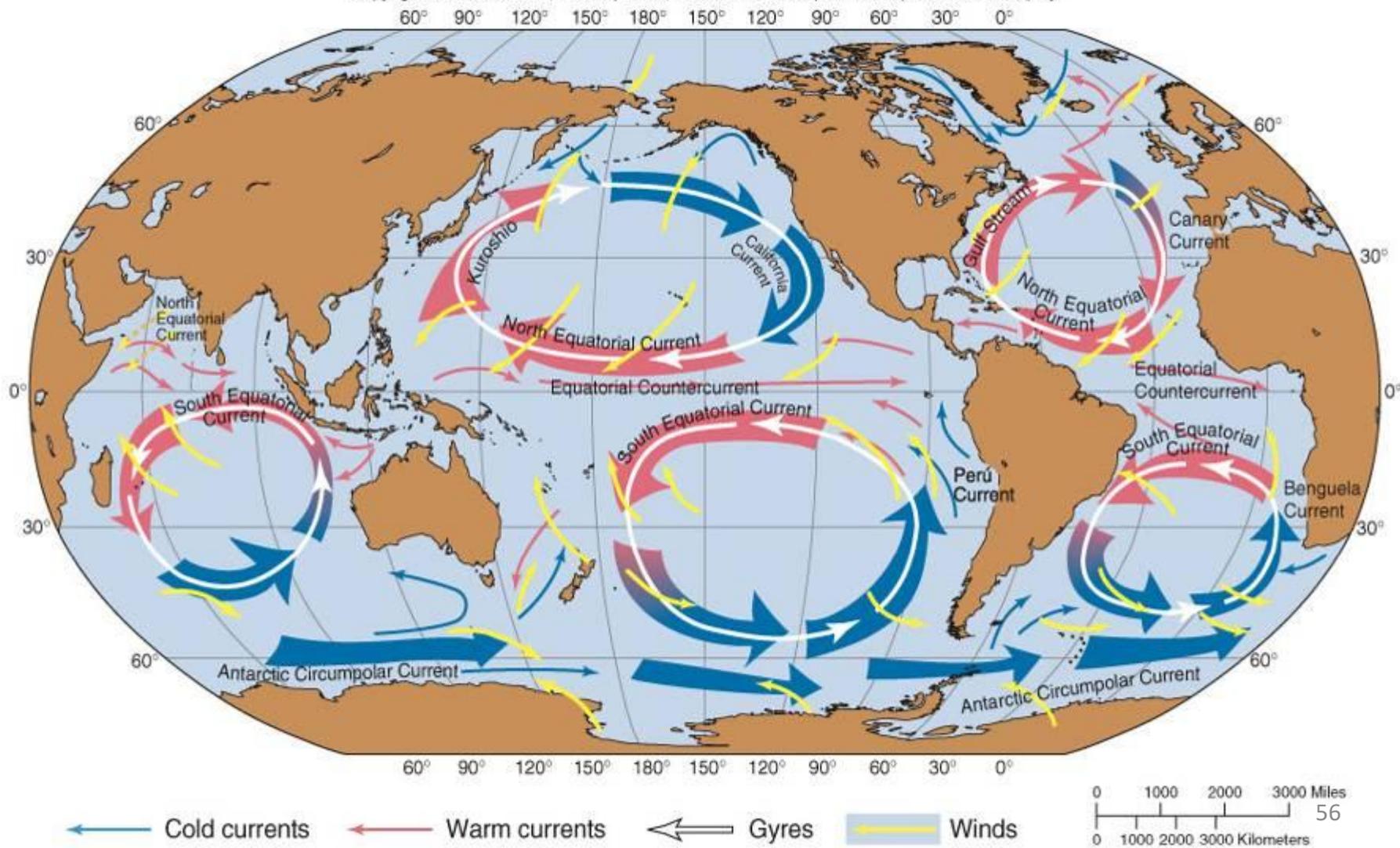


Апвеллинг у берегов Крыма по спутниковым данным 10.07.2003



Упрощенная схема основных течений на поверхности Мирового океана

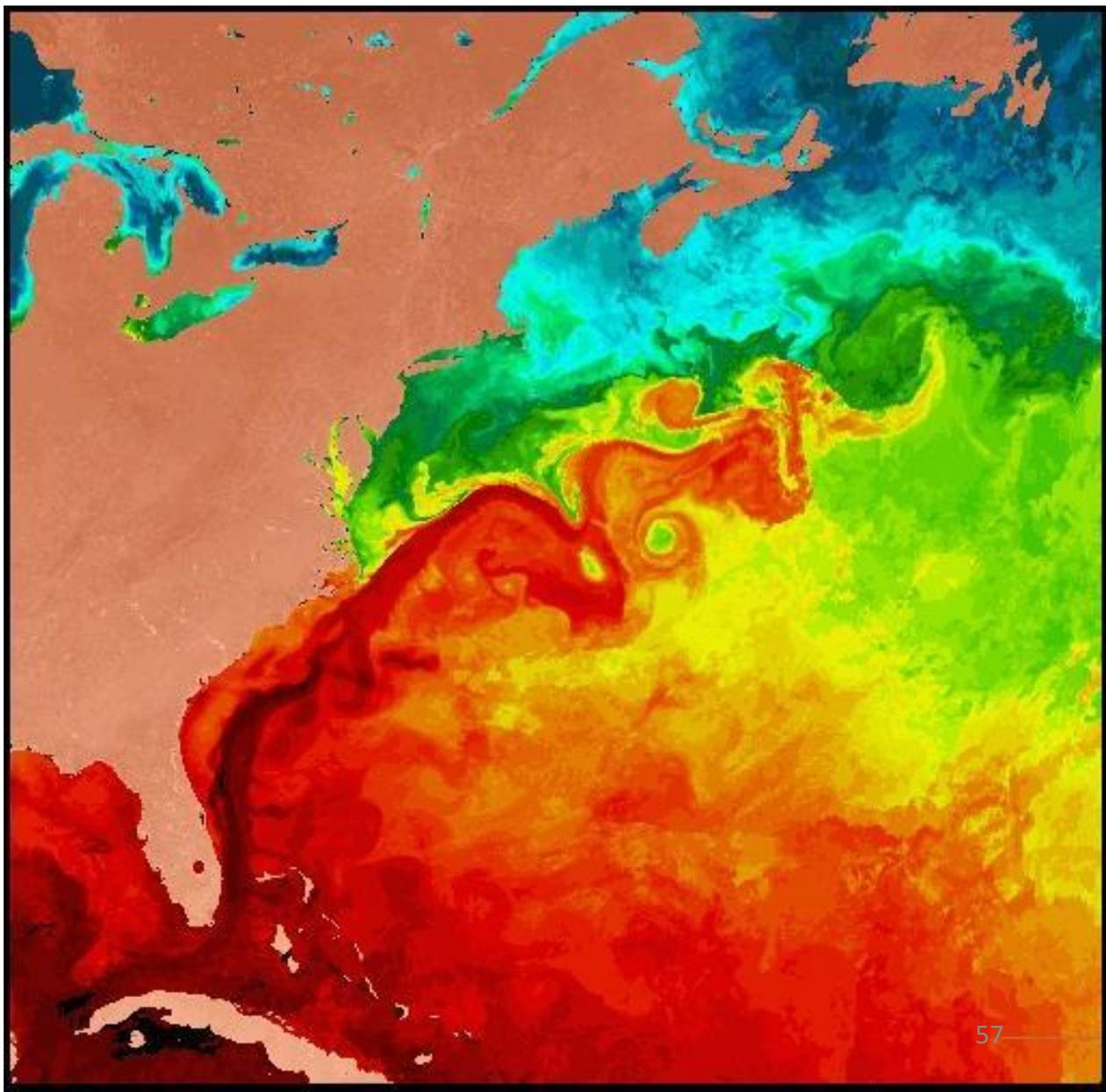
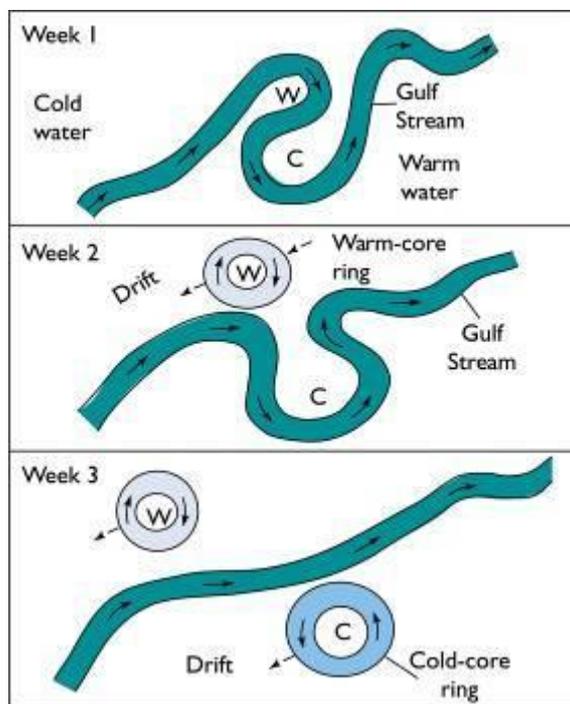
Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.



Спутниковая карта Гольфстрима в поле температуры

Реальные течения в океане имеют вихревую структуру, размеры вихрей

100 – 300 км.



Отрыв вихрей

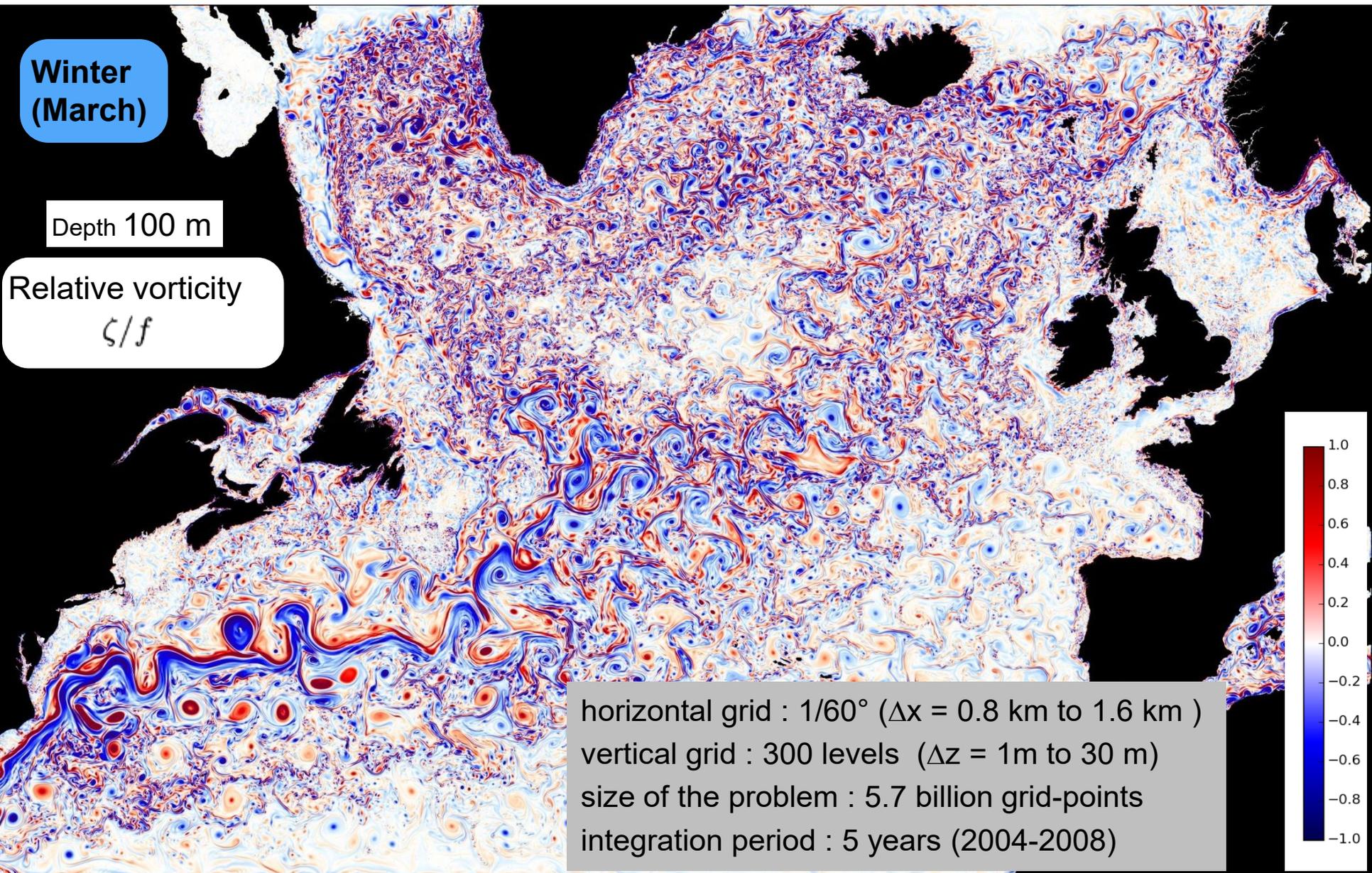
Вихреразрешающая модель 1/60° : NATL60 (Барнье, 2019)

Winter
(March)

Depth 100 m

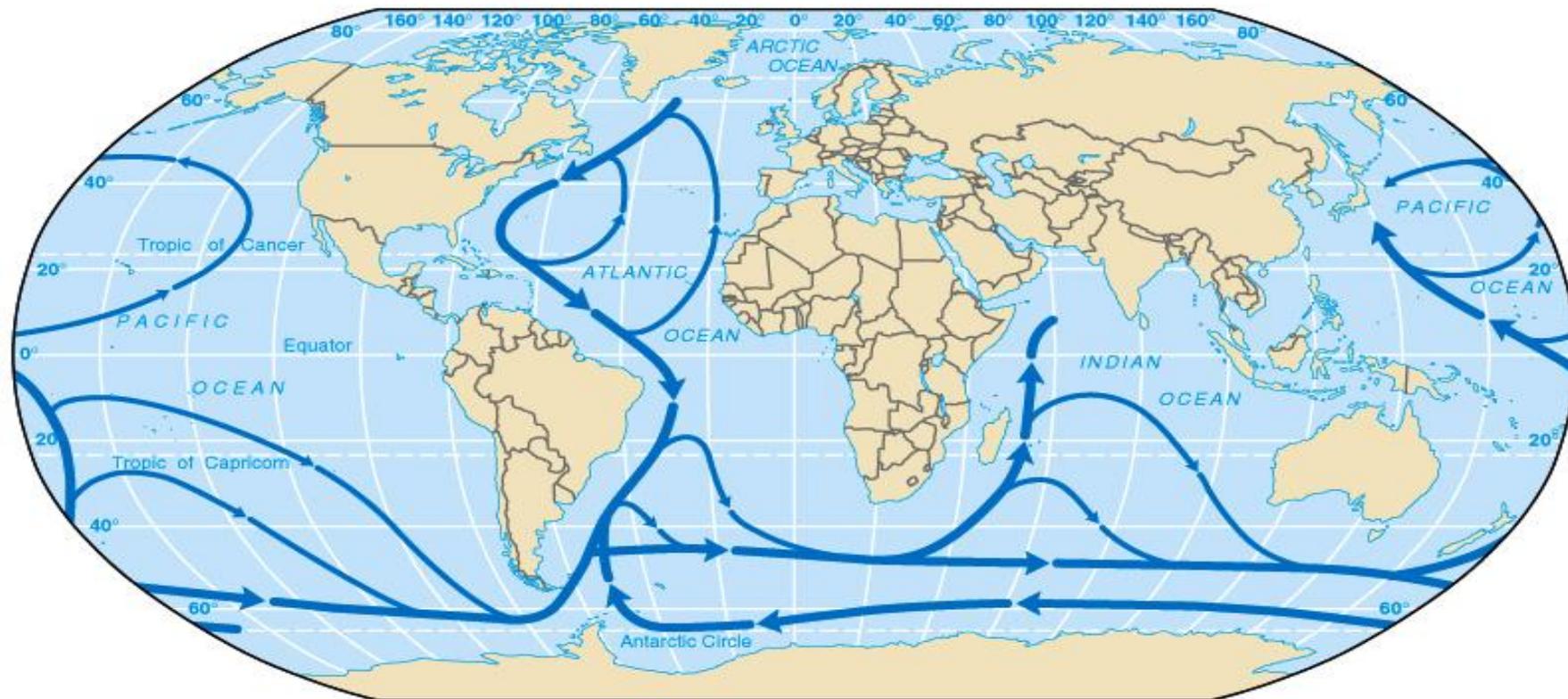
Relative vorticity

ζ/f



horizontal grid : 1/60° ($\Delta x = 0.8$ km to 1.6 km)
vertical grid : 300 levels ($\Delta z = 1$ m to 30 m)
size of the problem : 5.7 billion grid-points
integration period : 5 years (2004-2008)

Глубинная циркуляция

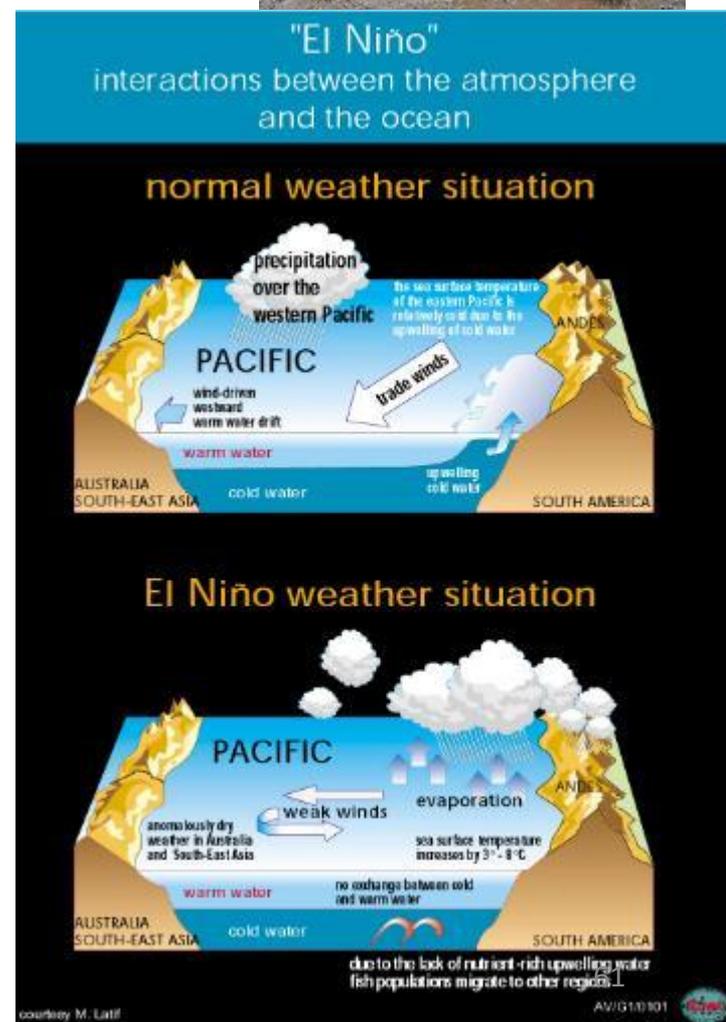
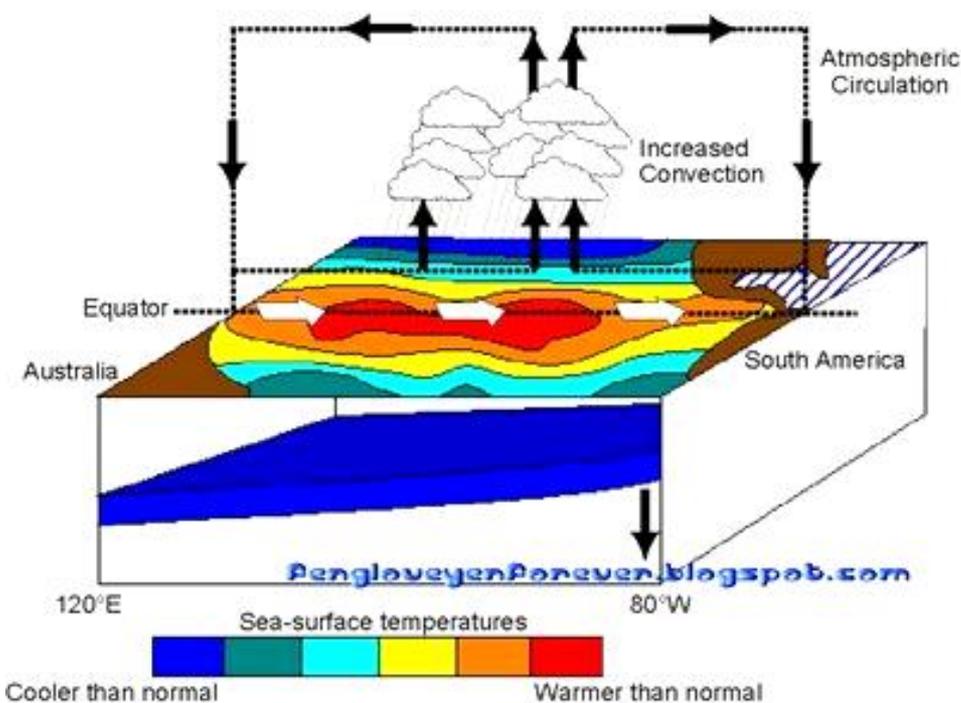


Система западных пограничных течений

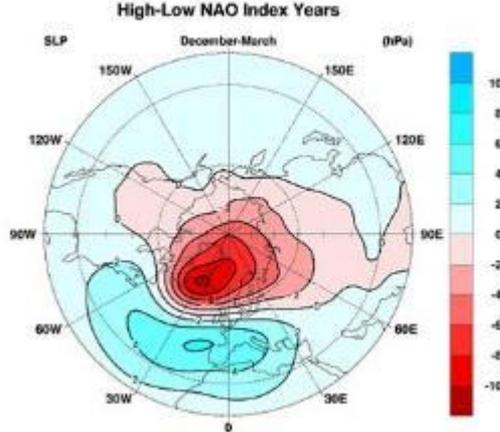
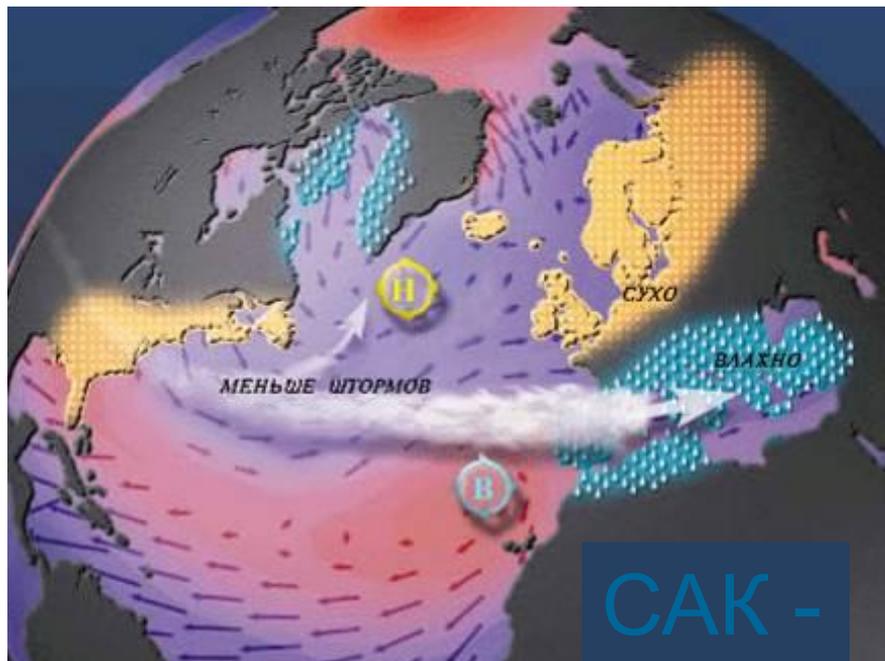
Природные колебания в системе океан-атмосфера

Роль океана в колебаниях климата: примеры

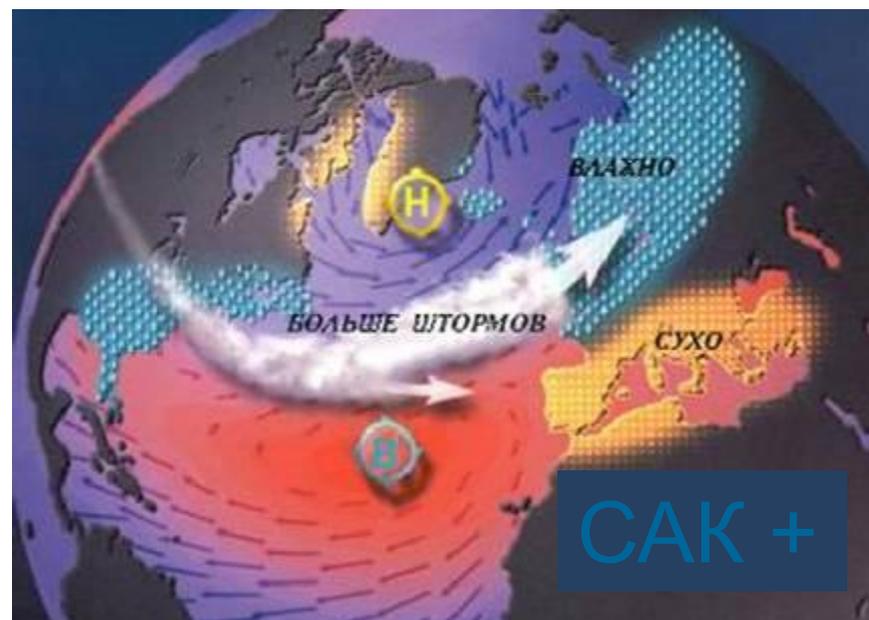
Эль-Ниньо и муссоны → возникновение контролируется аномалиями температуры поверхности воды (а следовательно, их влиянием на испарение) в Тропической части Тихого океана (месяцы, сезоны)



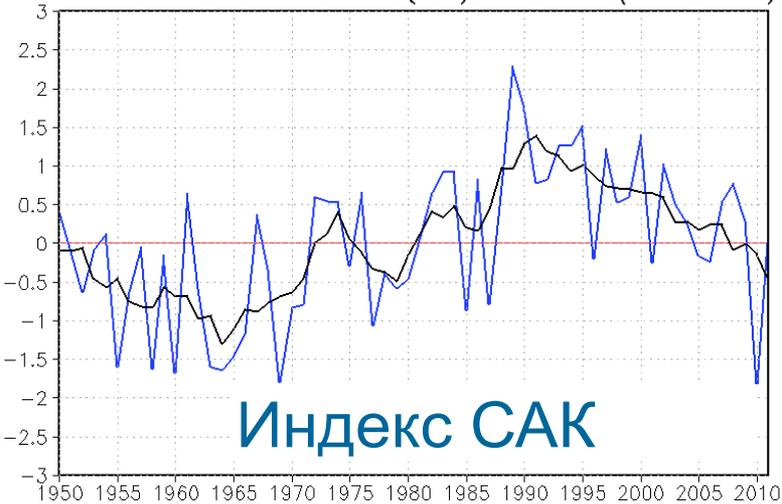
Роль океана в колебаниях климата – проблема масштабов: примеры (годы, десятилетия)



Северо-Атлантическое колебание (САК) – условия конвекции в Субполярной Атлантике

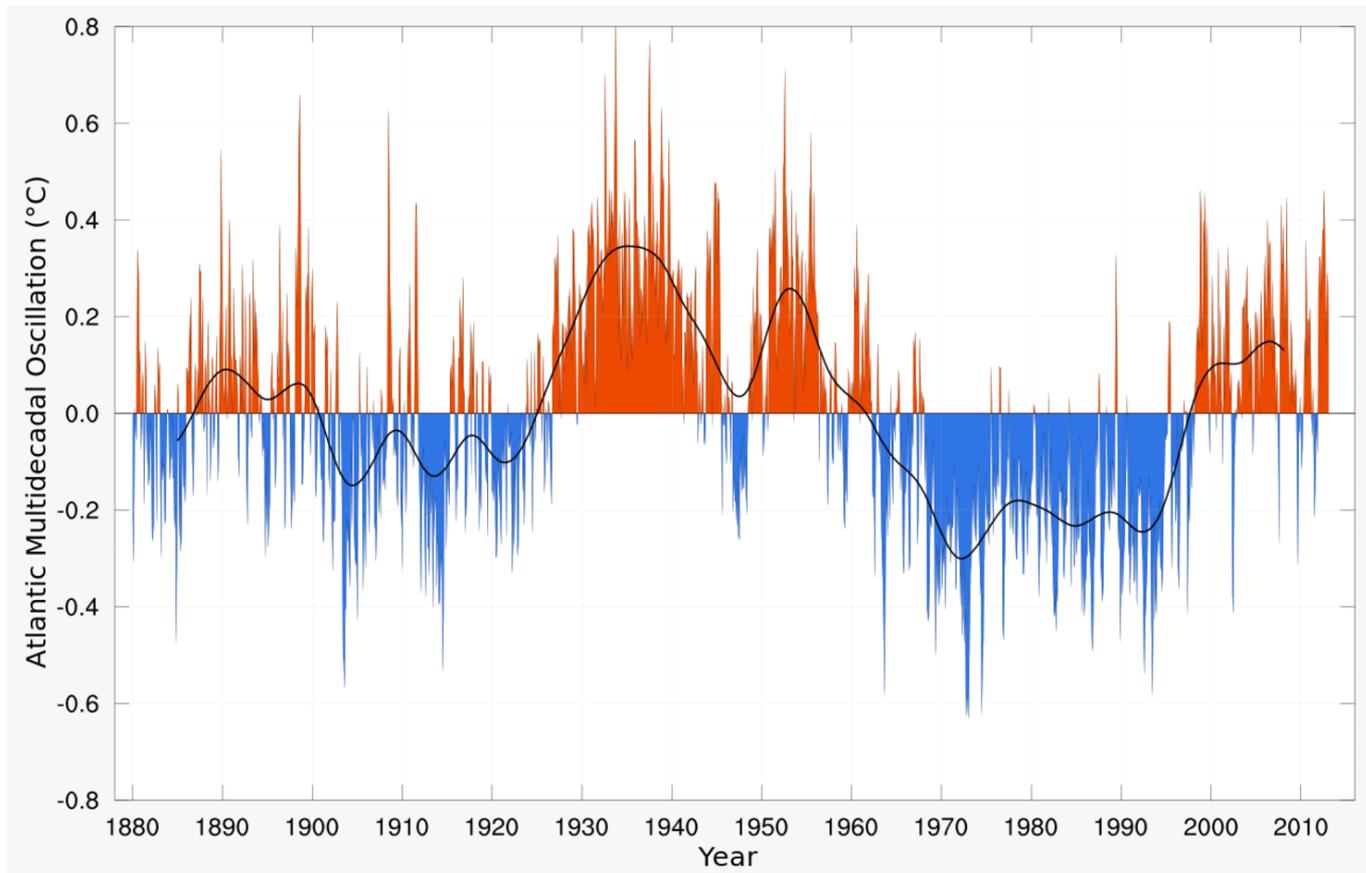


Standardized Seasonal Mean (JFM) NAO index (1950–2011)

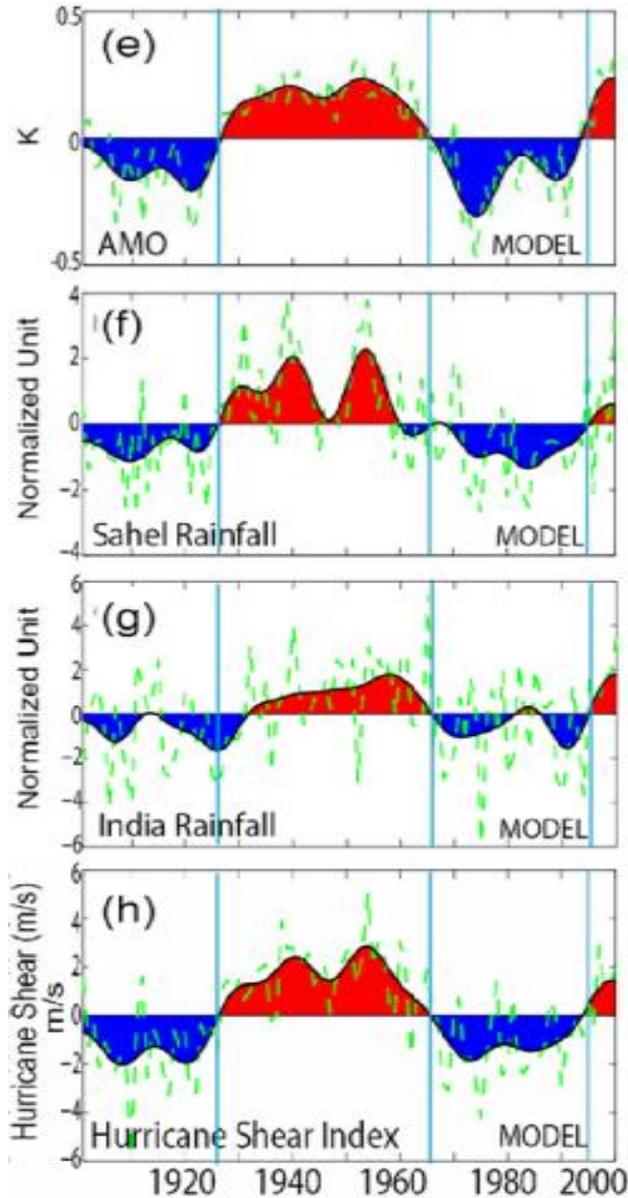


**Роль океана в колебаниях климата
– проблема масштабов: примеры
(десятилетия)**

**Атлантическая мультидекадная осцилляция –
аномалия температуры воздуха в
атлантическом секторе Северного полушария**



Атлантическая мультидекадная осцилляция и изменения климата



Индекс АМО

Осадки к югу от Сахары

Осадки в Индии

Интенсивность ураганов
в США

Роль океана в колебаниях климата

Глобальная меж океанская циркуляция →
аномалии температуры поверхности
воды в Атлантике и Тихом океане
(десятилетия, столетия)



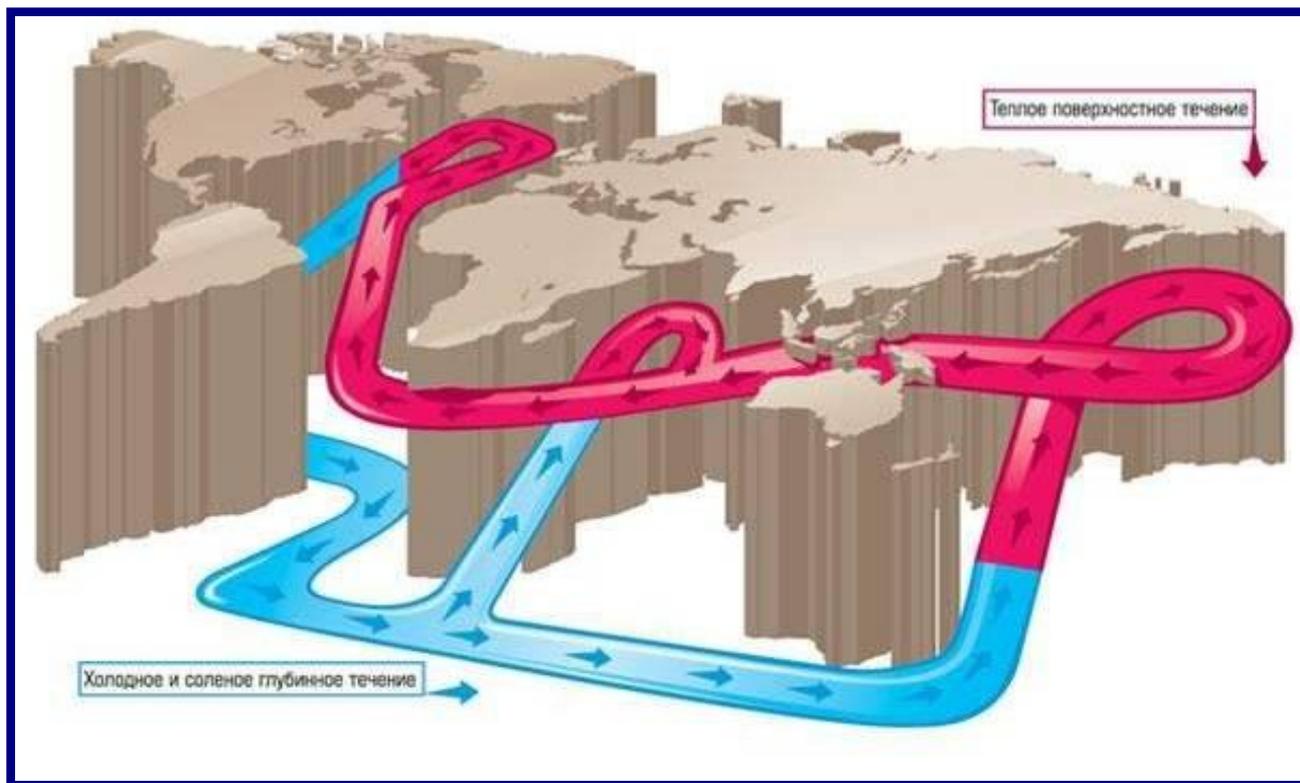
Э.Х.Ленц (1804-1865)



С.С.Лаппо (1938-2006)



У. Броккер (1931-2019)



Северная Атлантика:

- ✓ Меридиональное простирание и относительная узость по широте
- ✓ Свободный водообмен с Арктическим бассейном
- ✓ Наличие Средиземного моря – бассейна испарения
- ✓ Отсутствие орографических барьеров для воздушных масс у западного берега в умеренных широтах



Баланс тепла поверхности

Водный баланс

Северная Атлантика

-1 ПВт (10^{15} Вт)

-0,4 Св ($1\text{Св}=10^6\text{м}^3/\text{с}$)

Сев. часть Тихого океана

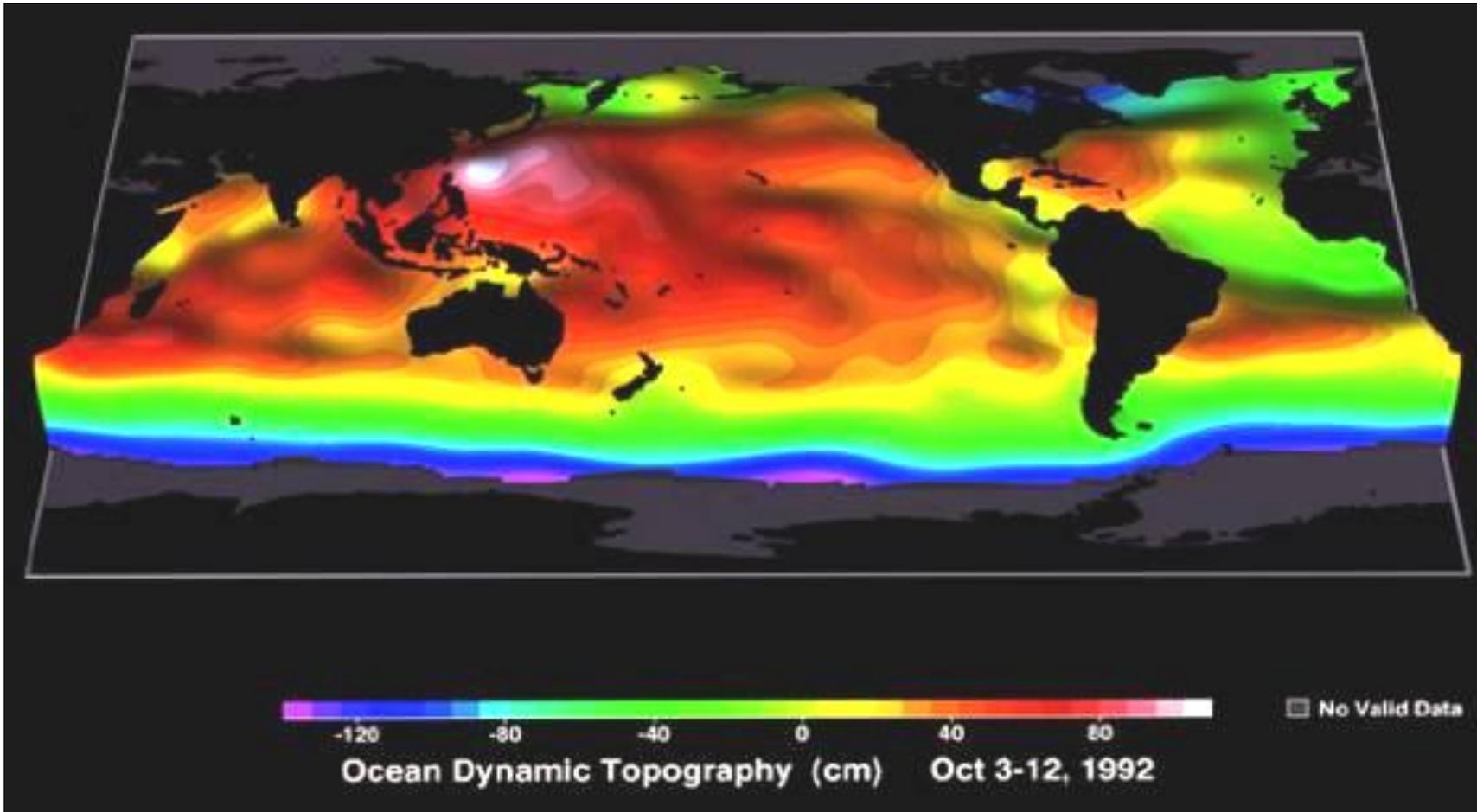
+ 0.5 ПВт

+0,5 Св

- Атлантика теплее и солонее, чем Тихий океан, причем роль солёности важнее, отсюда средняя плотность в Атлантике выше, чем в Тихом океане.
- Чем больше средняя плотность столба воды, тем ниже будет положение уровня

Разность уровня поверхности океанов

Наблюдаемая топография по данным спутниковых наблюдений

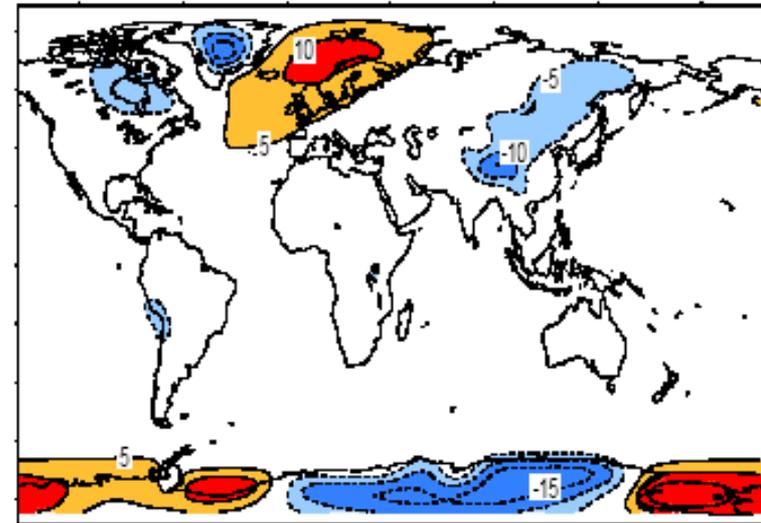


В Тихом плотность ниже из-за меньшей солёности, а значит, уровень выше!

Разность уровня поверхности определяет поток теплых вод по его наклону из Тихого океана в Атлантику, составляя верхнюю ветвь «глобального океанского конвейера»



Движущиеся на север в Атлантическом океане теплые воды компенсируют отток холодной глубинной водной массы и формируют дополнительный поток тепла в Северное полушарие, приводящий к смягчению климата Европы

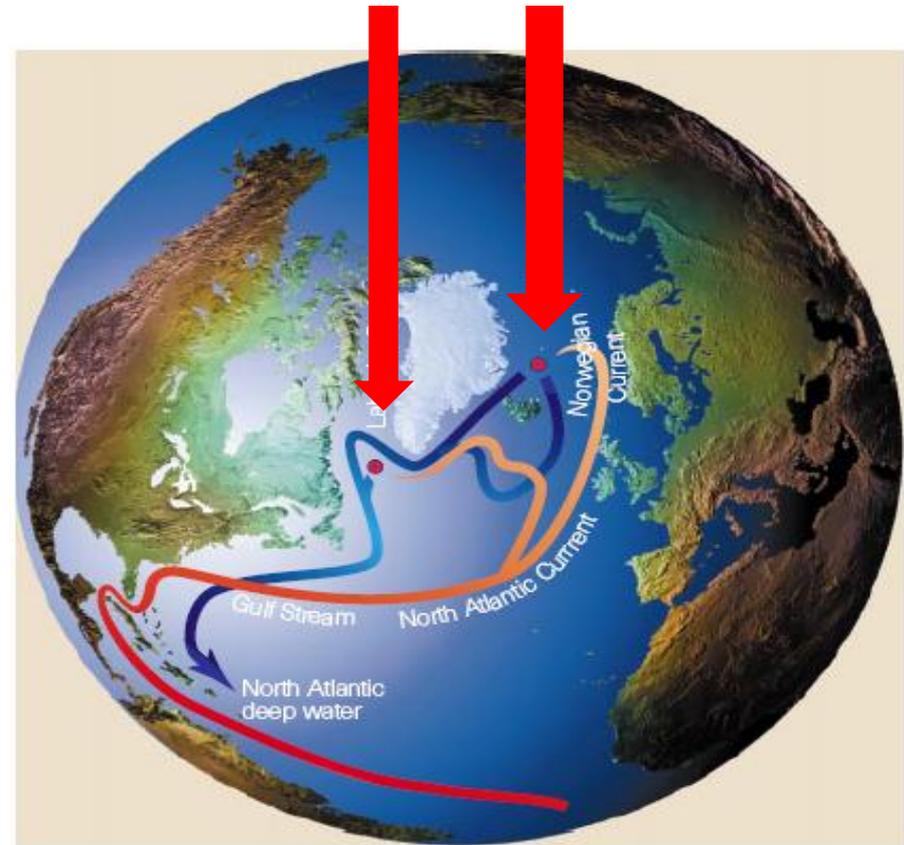


Аномалии температуры воздуха относительно среднезональных (Rahmstorf, 2000)

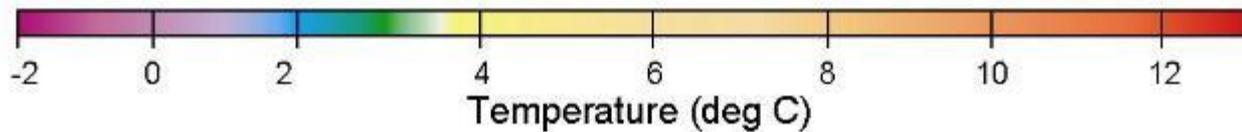
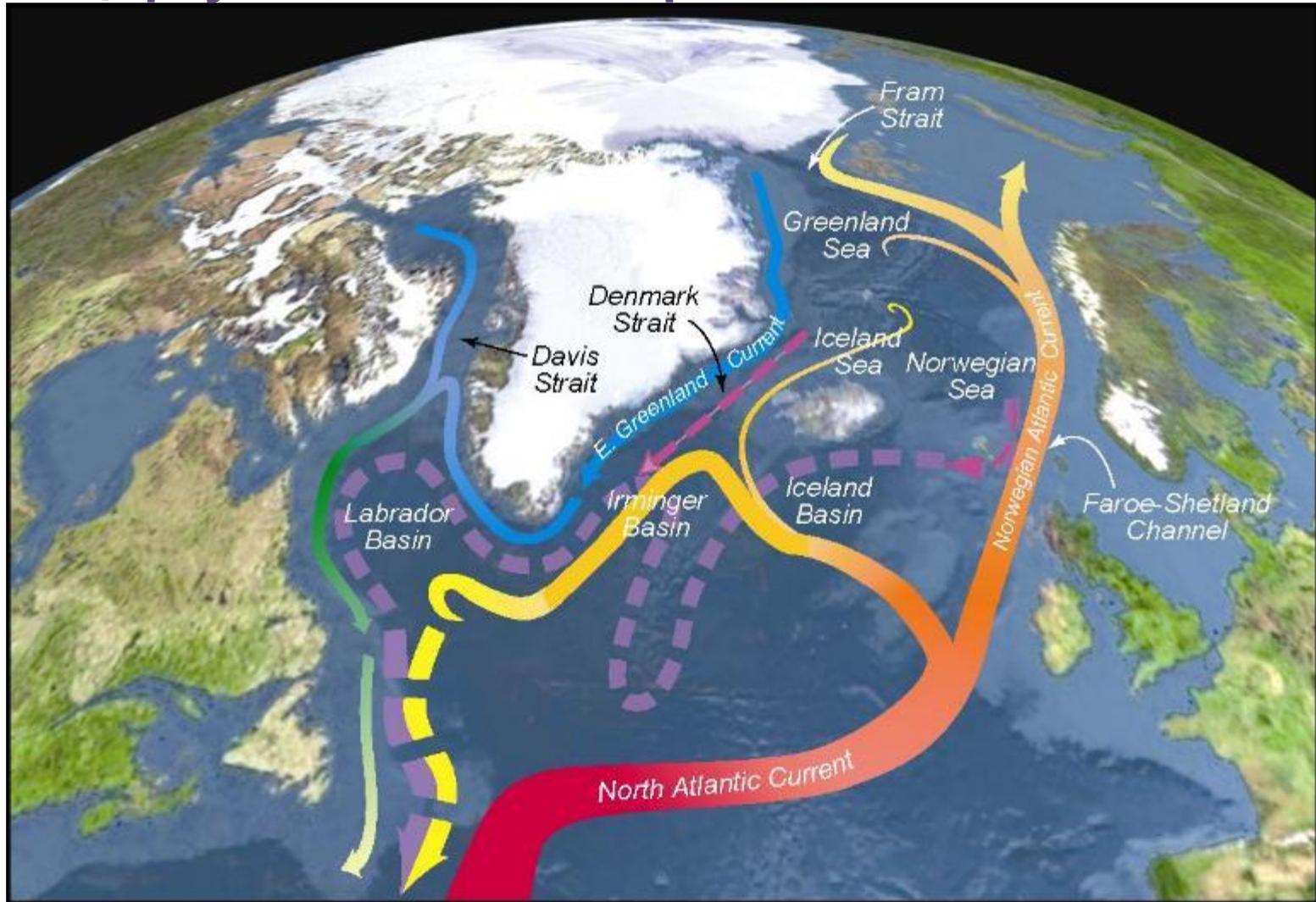
Устойчивая работа «глобального конвейера» может давать сбои, когда в области образования глубинных вод в Северной Атлантике плотность вод на поверхности уменьшается:

- **уменьшение испарения** за счет ослабления ветра,
- **распреснение** за счет таяния Гренландского щита или дополнительного выноса морского льда из Арктики

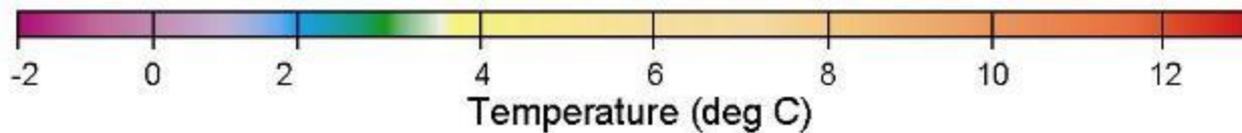
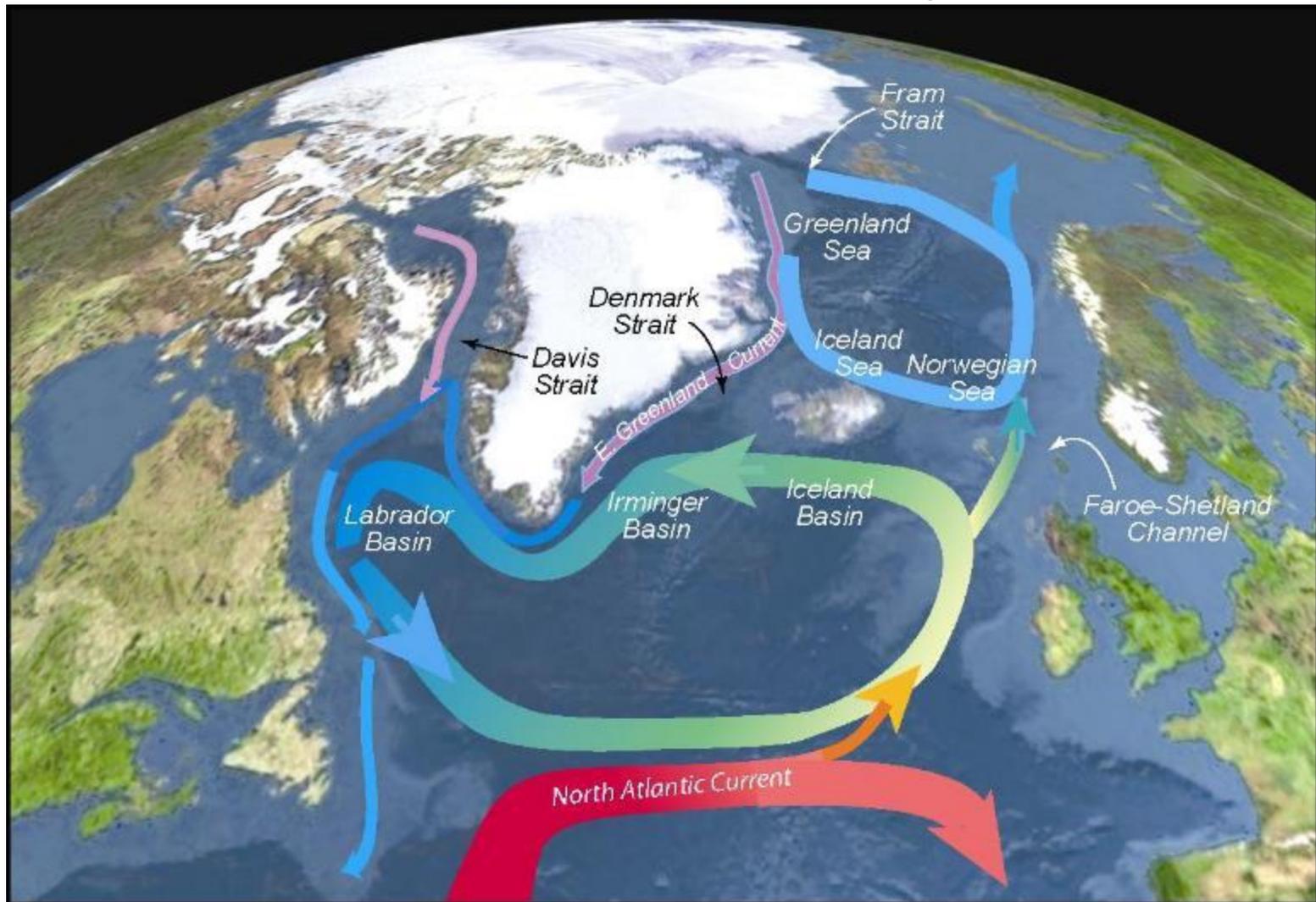
Формирование глубинных вод



Циркуляция вод Северной Атлантики



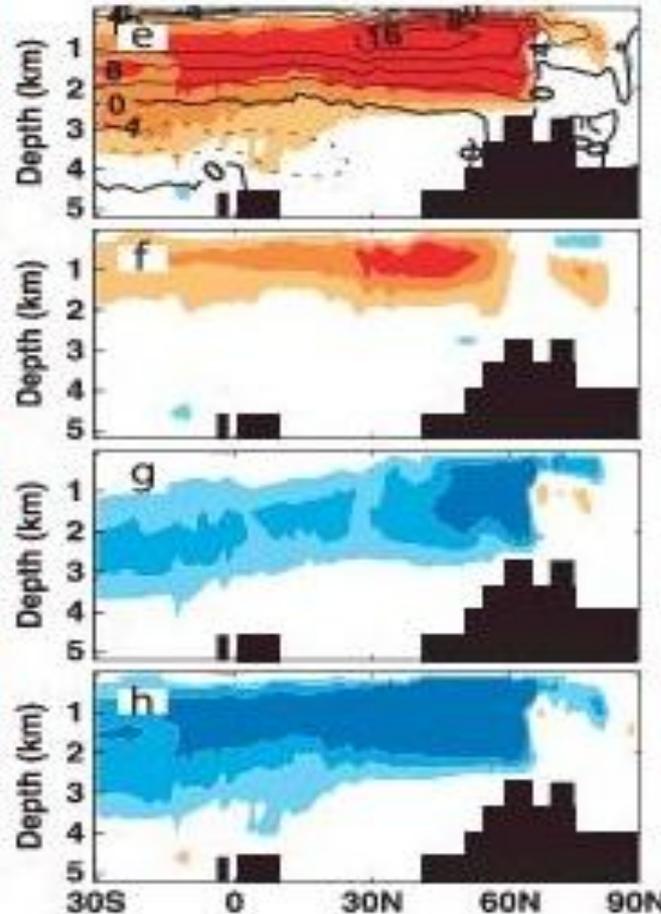
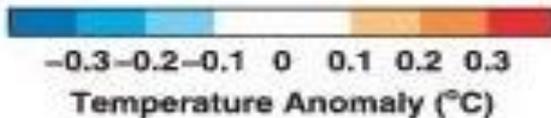
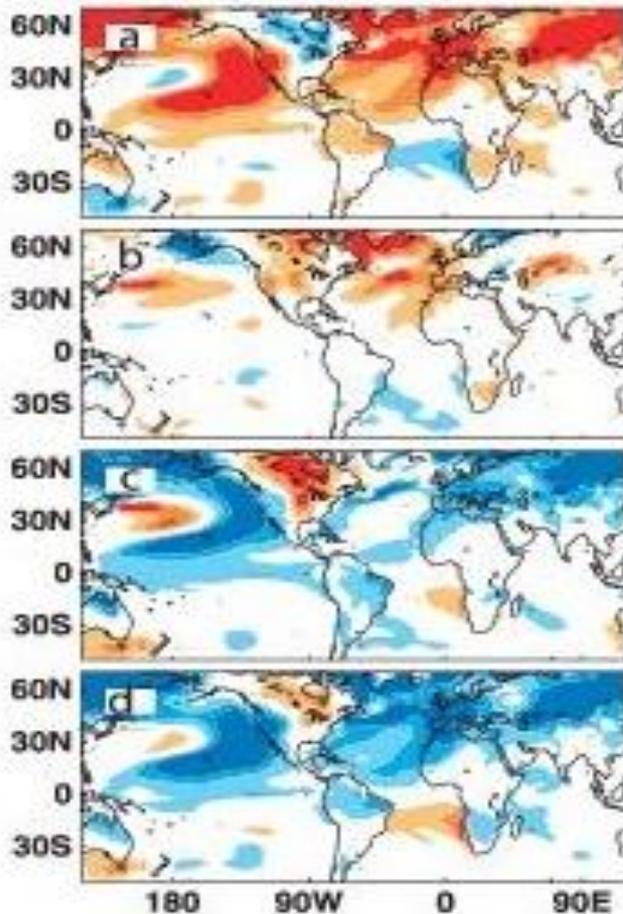
Нет «Глобального конвейера»



Атлантическая меридиональная циркуляция (АМЦ) и температура поверхности океана (ТПО)

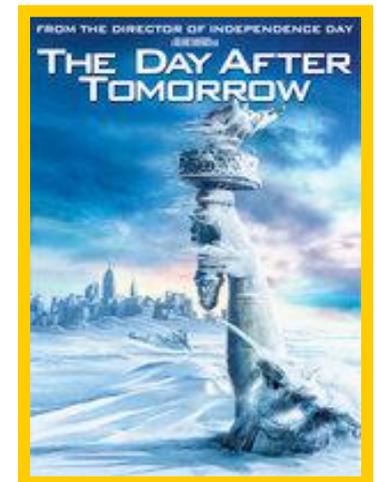
ТПО

АМЦ



Интенсивнее АМЦ –
теплее Северная
Атлантика

и наоборот

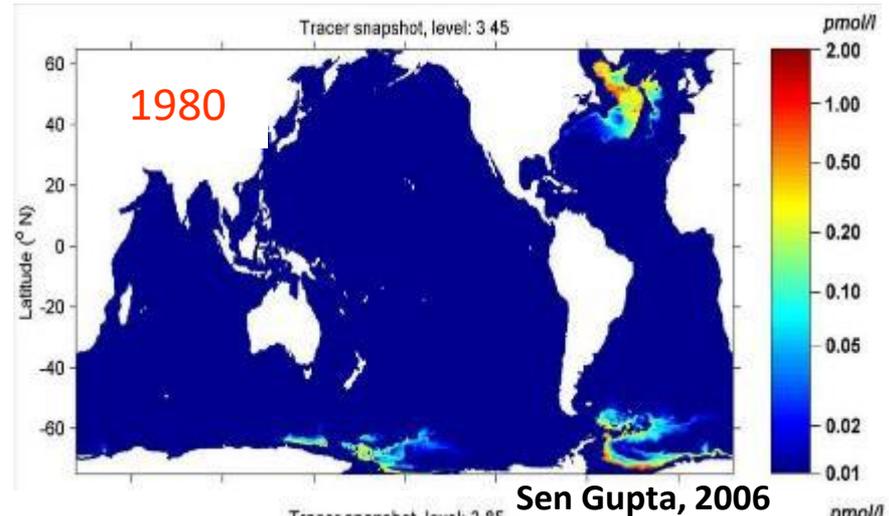
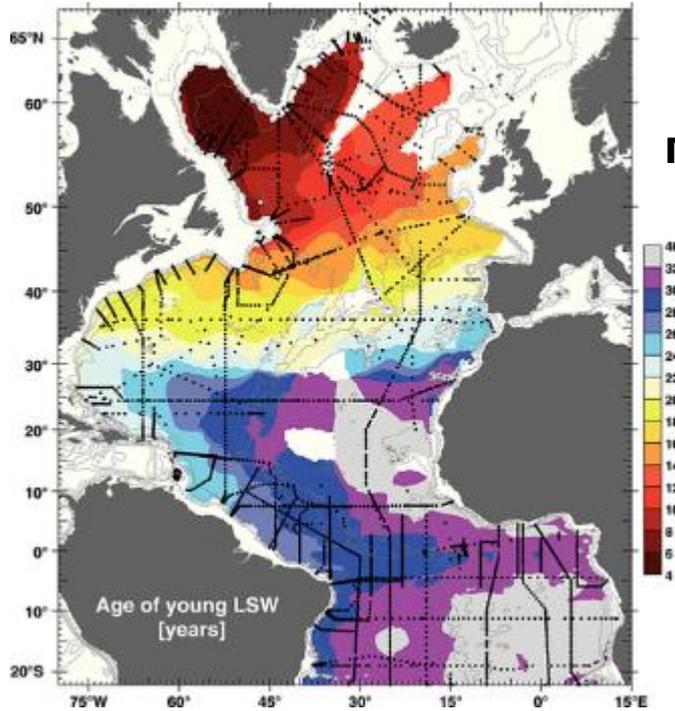


Скорость передачи сигнала в глубинном слое

Интегральная

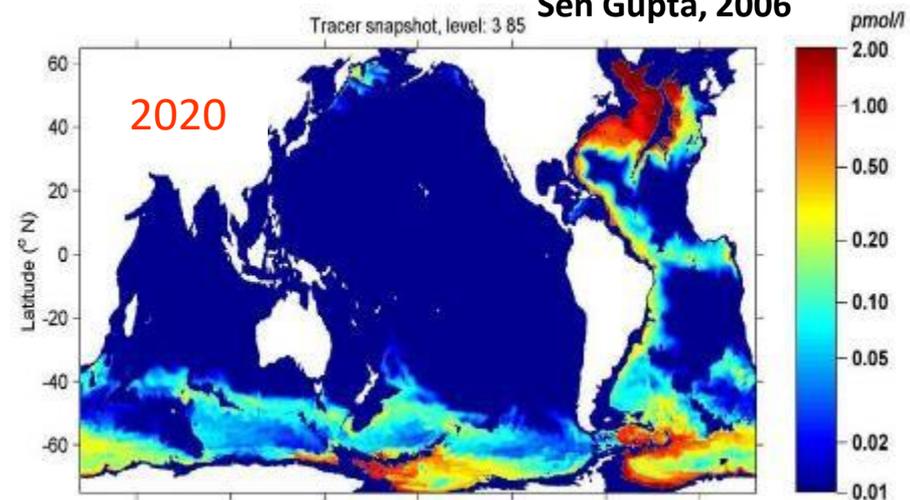
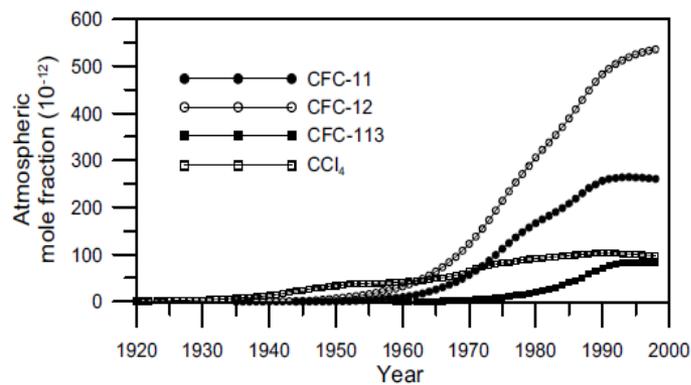
концентрация фреонов в слое ниже 2 км

Возраст
Лабрадорской
глубинной водной
массы



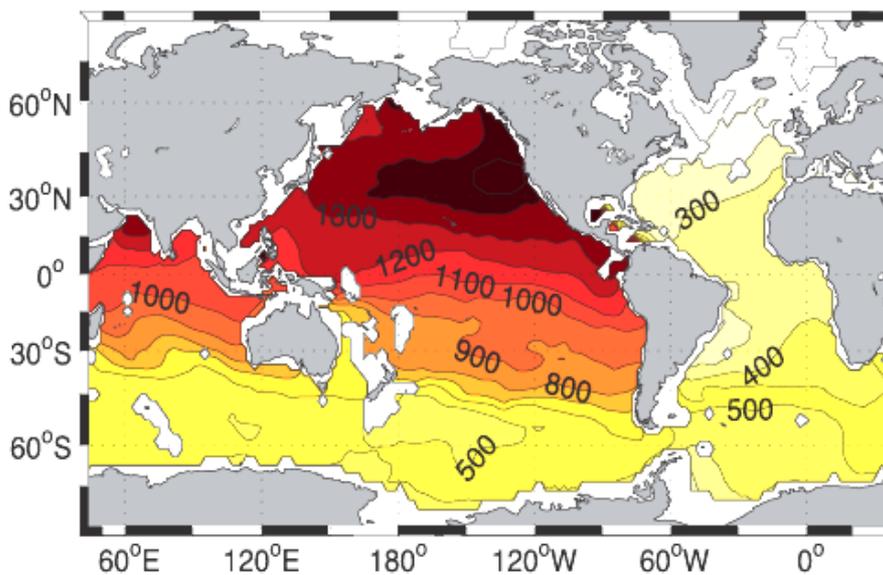
Sen Gupta, 2006

Концентрация
фреонов в воздухе



Возраст водных масс по радиоуглероду

Gebbie, Huybers, 2012



горизонт 2500 м

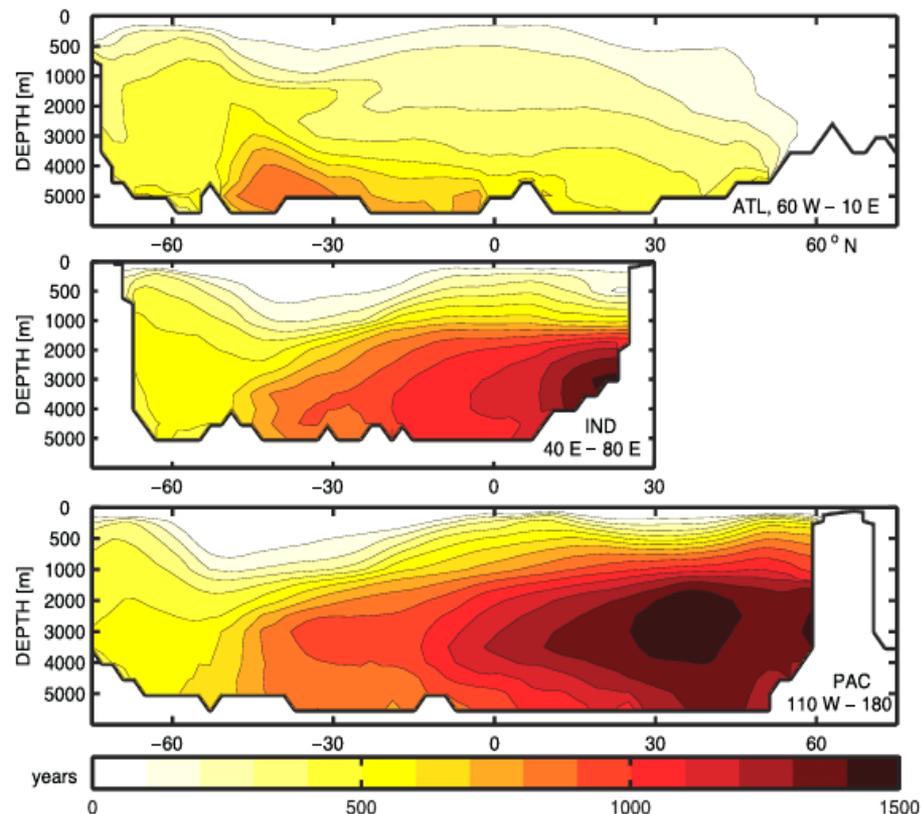
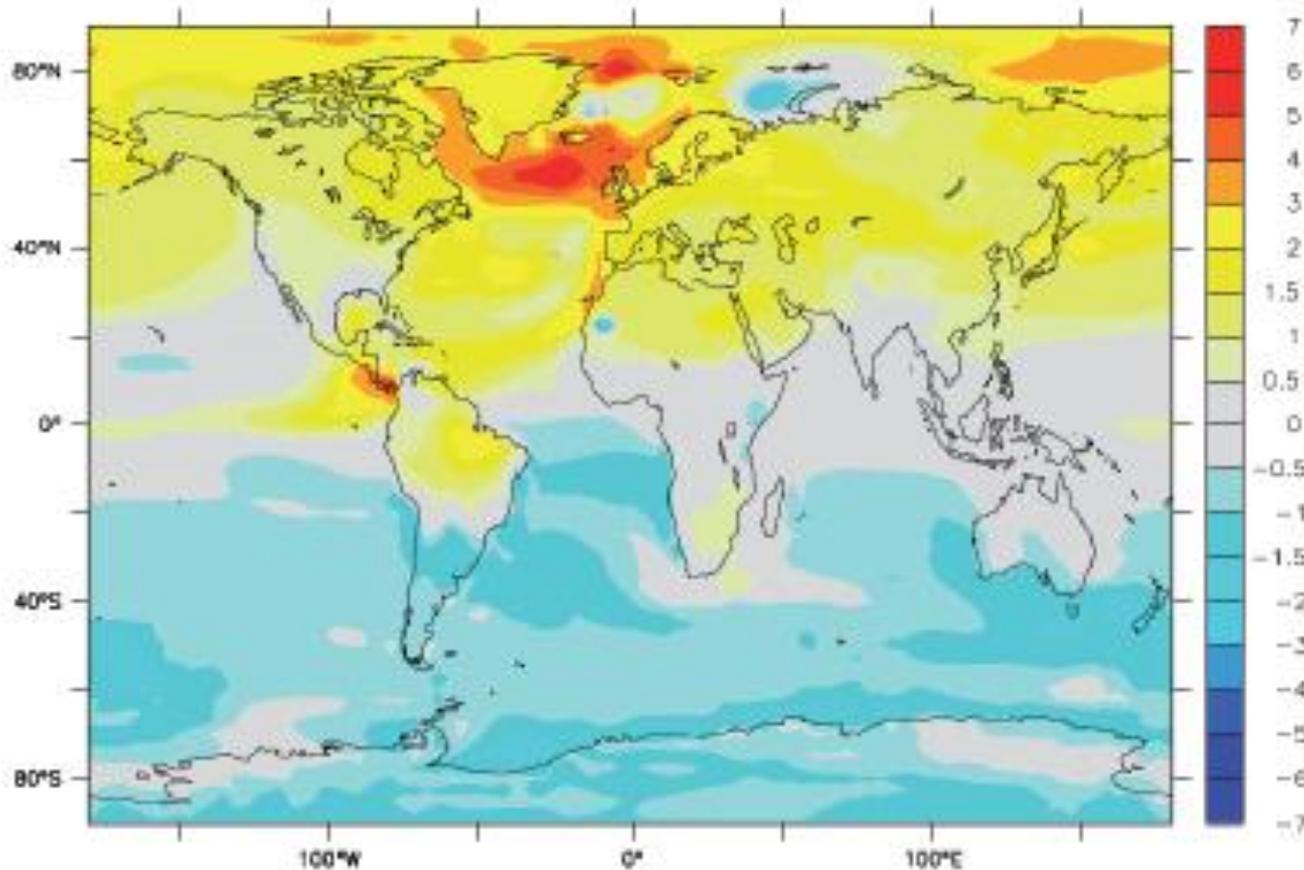


FIG. 8. Latitude–depth sections of mean age: (top) the Atlantic averaged between 60°W and 10°E, (middle) the Indian Ocean between 40° and 80°E, and (bottom) the Pacific between the date line and 110°W. The contour interval is 100 years in all panels.

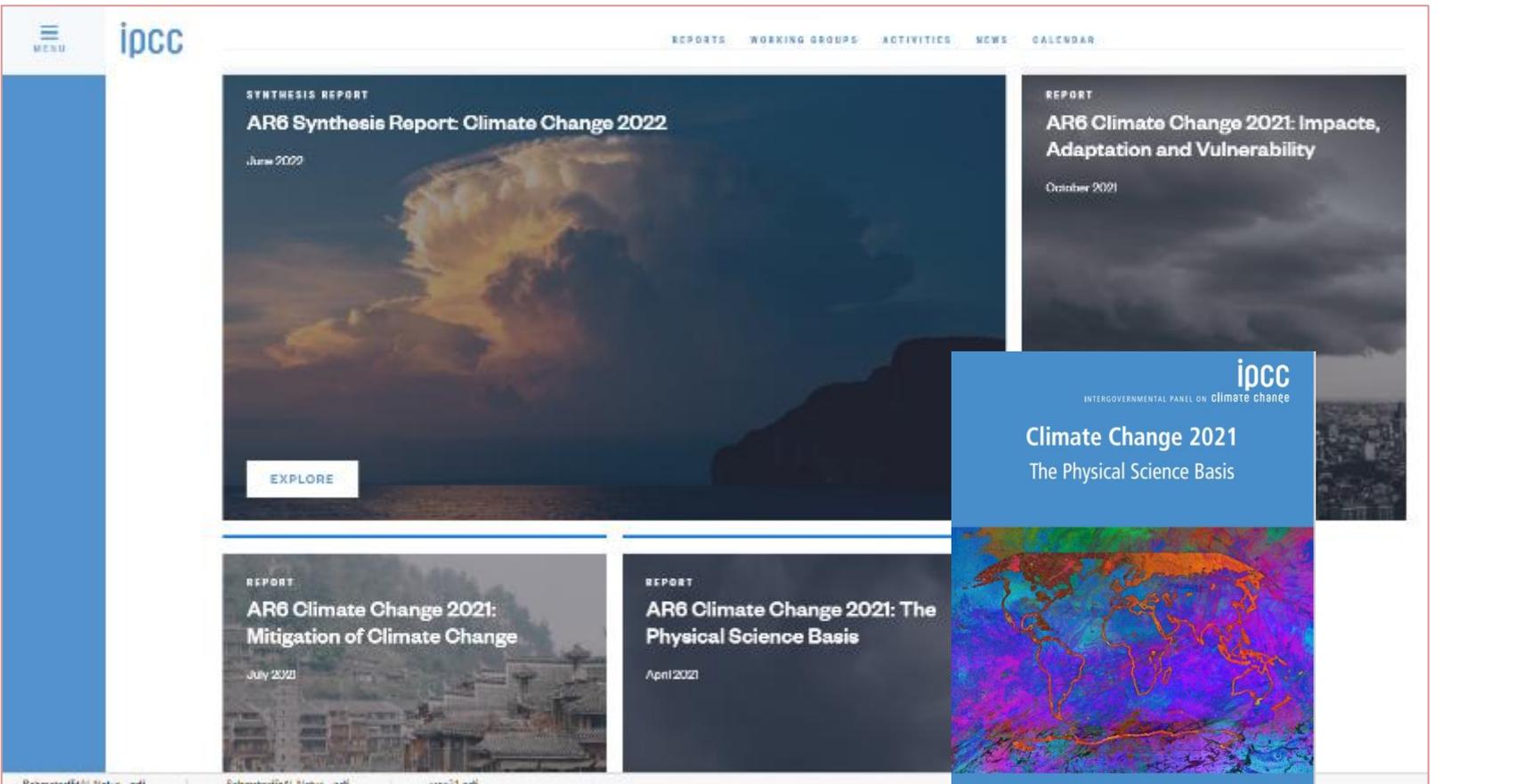
Закрытие Панамского перешейка 3 млн. лет назад – возникновение конвейера

(a) Surface temperature change, Closed Seaway - Open Seaway (K)



Изменения температуры после возникновения перешейка
(Lunt et al., 2007)

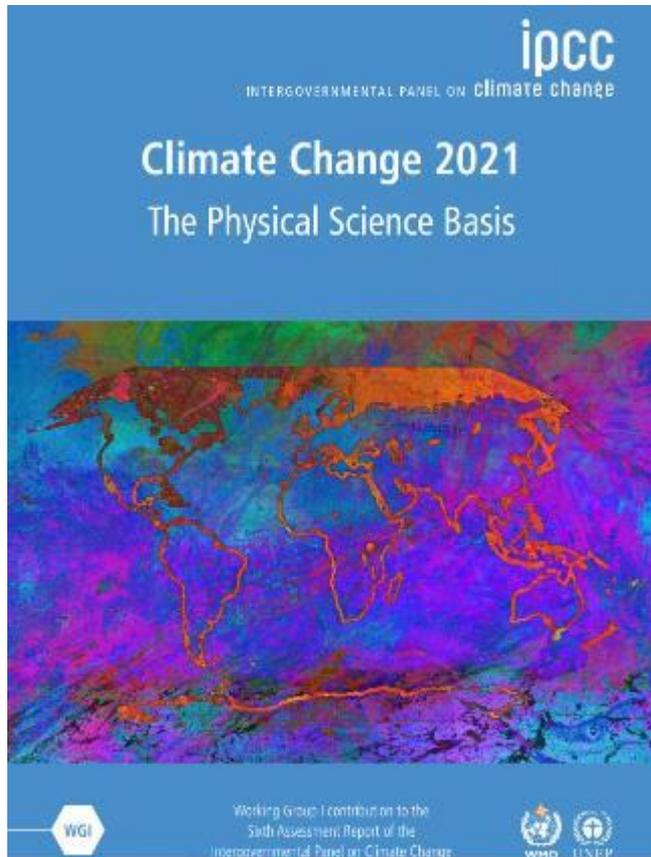
6-ой доклад МГЭИК 2021-22



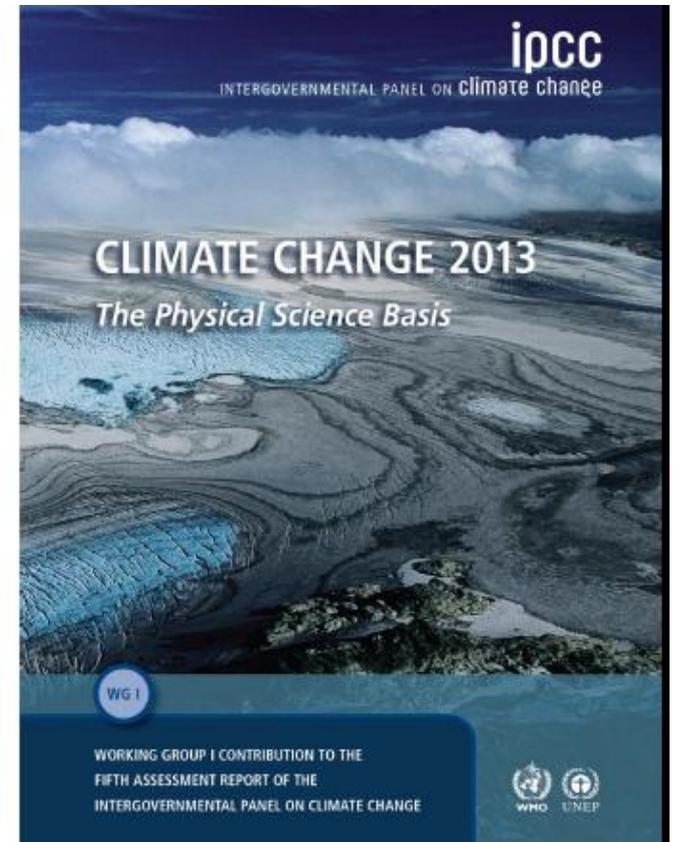
Chapter 2: Changing state of the climate system

	Last Name	First Name	Role	Gender	Country	Citizenship	Current Affiliation
1	GULEV	Sergey	CLA	M	Russia	Russia	P.P. Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences
2	THORNE	Peter	CLA	M	Ireland	UK	Maynooth University
3	AHN	Jinho	LA	M	Republic of Korea	Republic of Korea	Seoul National University
4	DENTENER	Frank	LA	M	Italy	Netherlands	European Commission Joint Research Centre
5	DOMINGUES	Catia M.	LA	F	Australia	Australia	University of Tasmania, Institute for Marine and Antarctic Studies (IMAS) and .
6	GERLAND	Sebastian	LA	M	Norway	Germany	Norwegian Polar Institute
7	GONG	Daoyi	LA	M	China	China	Beijing Normal University
8	KAUFMAN	Darrell	LA	M	USA	USA	Northern Arizona University

Наблюдения



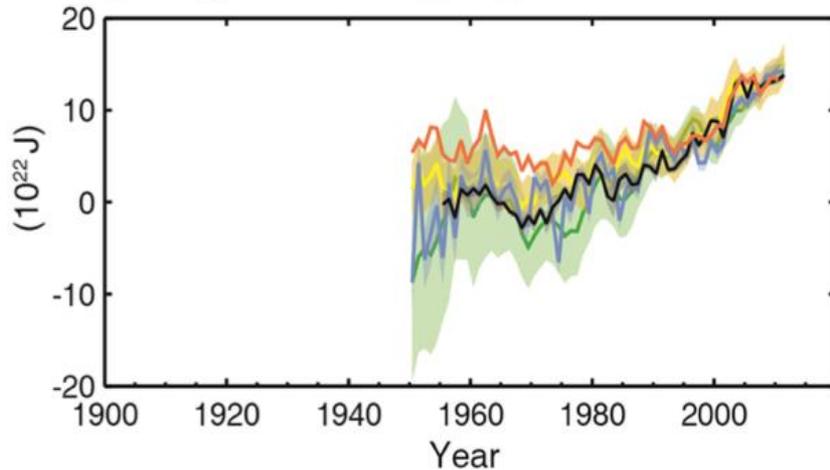
Observations



ОКЕАН

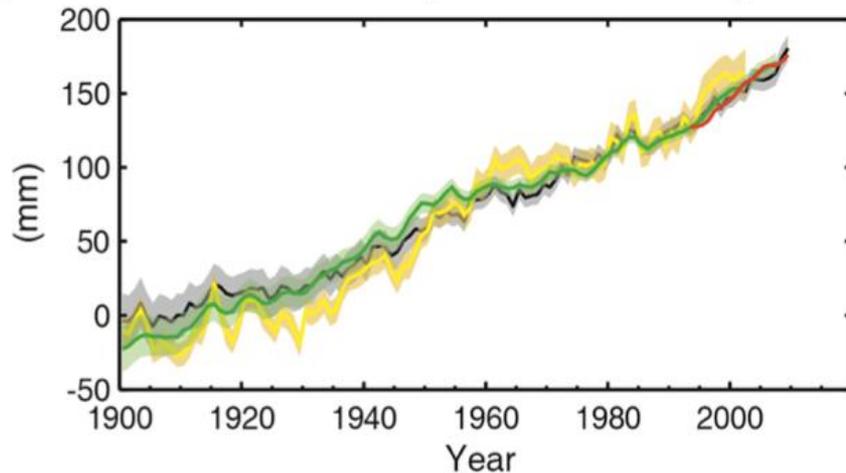
60% прироста энергии климатической системы последних 40 лет депонируется в верхний слой океана (0-700 м), еще 30% - в глубинные слои

(c) Change in global average upper ocean heat content

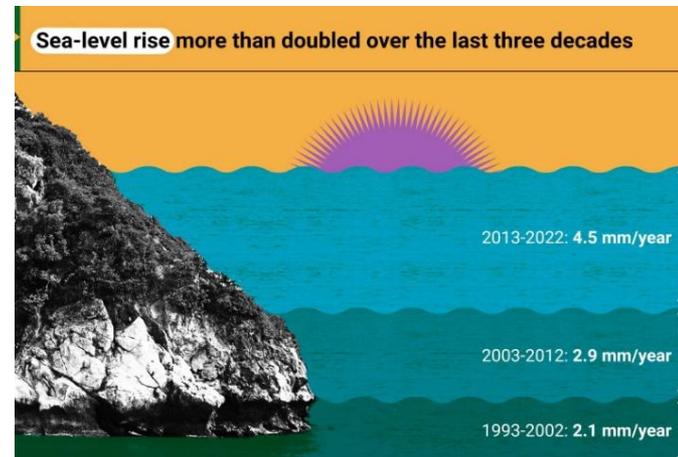


с) Изменения в глобальном среднем теплосодержании верхнего слоя океана (0-700 м), 2006-2010 гг. сведены воедино по всем базам данных

(d) Global average sea level change



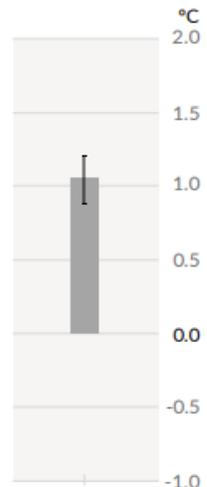
d) Глобальные среднее изменения уровня моря по отношению к среднему за 1900-1905. Все базы сведены воедино в 1993 г. (первый год спутниковых данных)



Observed warming is driven by emissions from human activities, with greenhouse gas warming partly masked by aerosol cooling

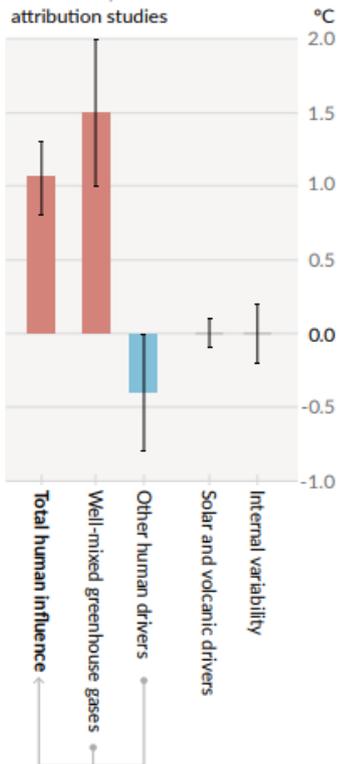
Observed warming

a) Observed warming 2010-2019 relative to 1850-1900

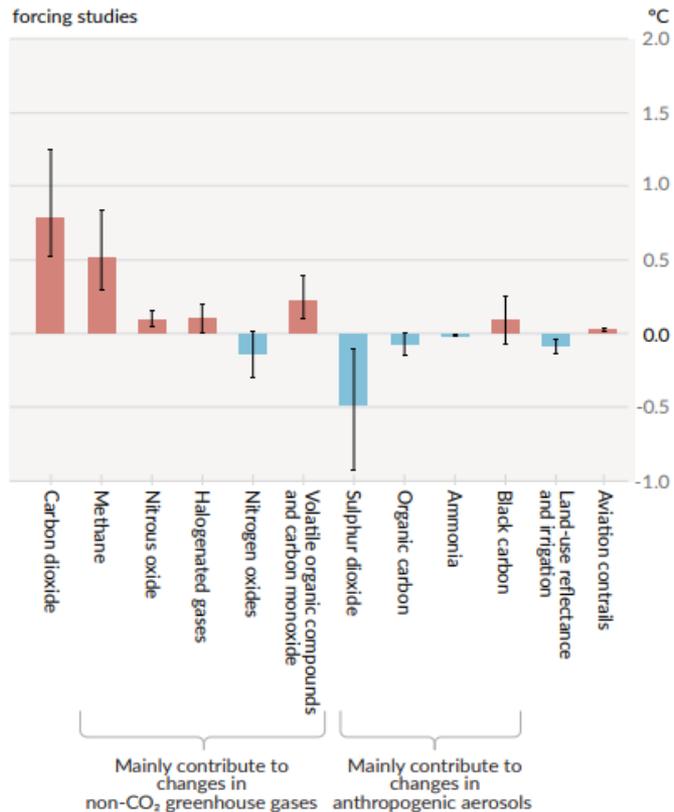


Contributions to warming based on two complementary approaches

b) Aggregated contributions to 2010-2019 warming relative to 1850-1900, assessed from attribution studies



c) Contributions to 2010-2019 warming relative to 1850-1900, assessed from radiative forcing studies



IPCC, 2021

в 2001 – 2020 гг. глобальная температура была выше на 1,09°C по сравнению с 1850 – 1900 гг. При этом, по оценкам, около 1,07°C роста температуры вызвано антропогенным фактором (основной из которых — рост выбросов парниковых газов), а 0,02°C роста приходится на естественные факторы.

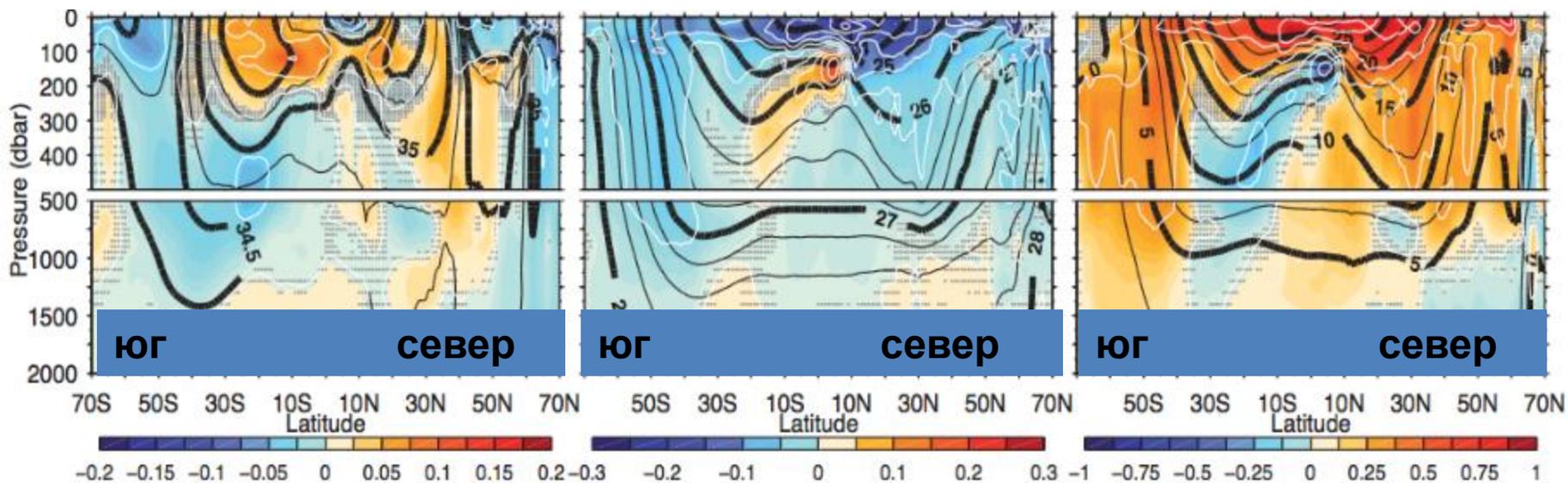
Зонально осредненные тренды в верхних 2000 м в Мировом океане

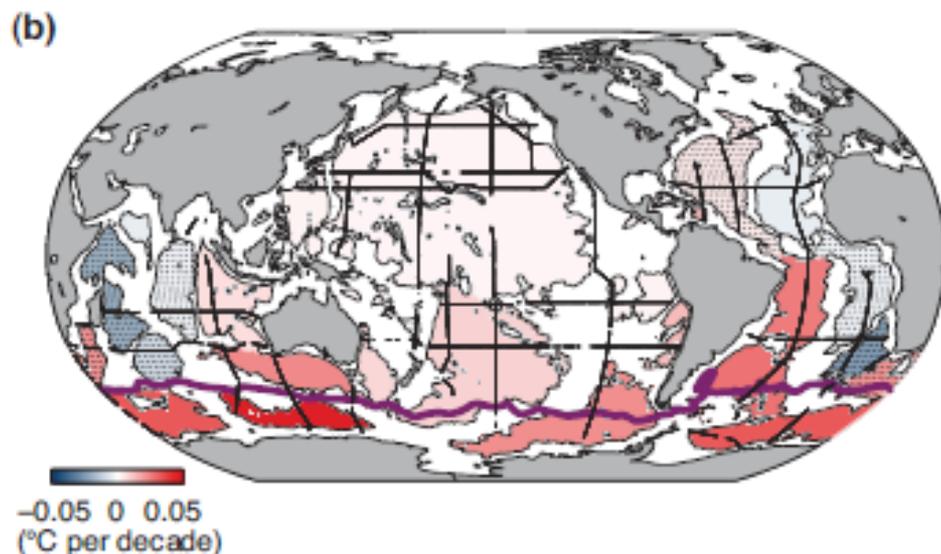
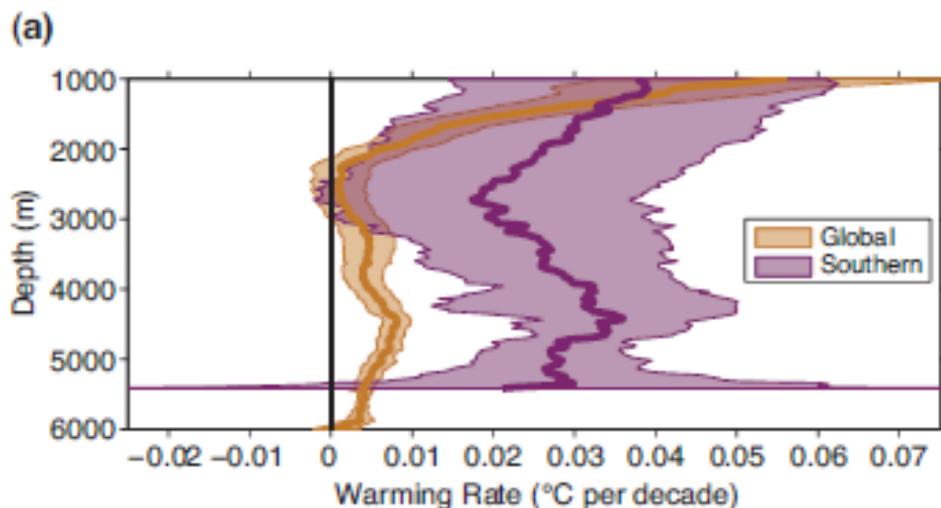
(2000 г. относительно 1950 г)

Соленость

Плотность

Температура

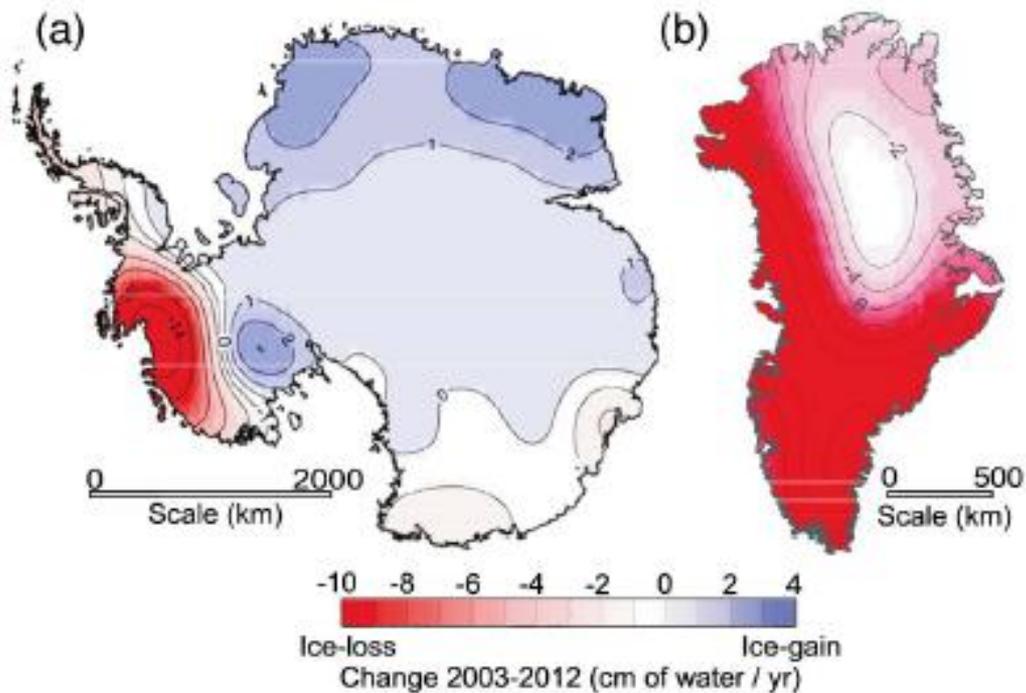




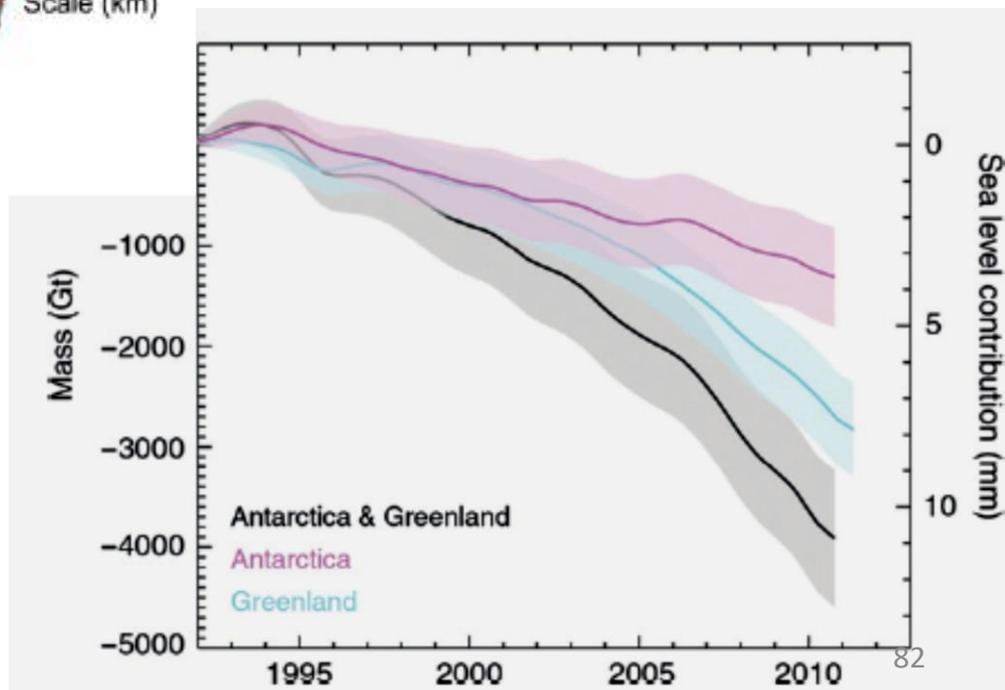
Потепление в глубинных слоях

Figure 3.3: a) Areal mean warming rates ($^{\circ}\text{C}$ per decade) versus depth (thick lines) with 5 to 95% confidence limits (shading), both global (orange) and south of the Sub-Antarctic Front (purple), centred on 1992–2005. b) Mean warming rates ($^{\circ}\text{C}$ per decade) below 4000 m (colorbar) estimated for deep ocean basins (thin black outlines), centred on 1992–2005. Stippled basin warming rates are not significantly different from zero at 95% confidence. The positions of the Sub-Antarctic Front (purple line) and the repeat oceanographic transects from which these warming rates are estimated (thick black lines) also shown. Data from Purkey and Johnson (2010).

Уменьшение массы льда и увеличение уровня океана



IPCC 2013



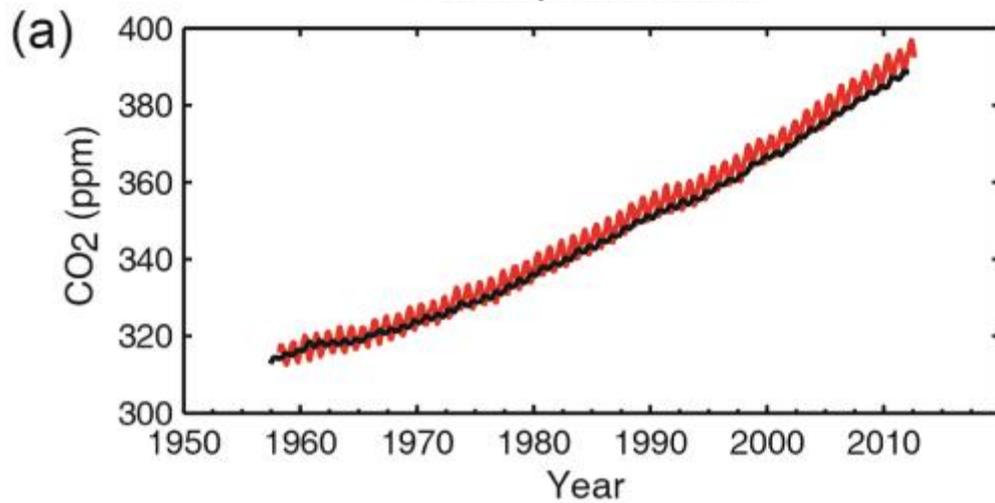
Венеция: ступени церкви Иоанна и Павла

Картина Б.Белотто (1741)



Изменения уровня за 261 год: 77 ± 10 см (Camuffo, Sturaro, 2003)

Концентрации CO_2 на Гавайях (красн.) и на Южном полюсе (черн.)



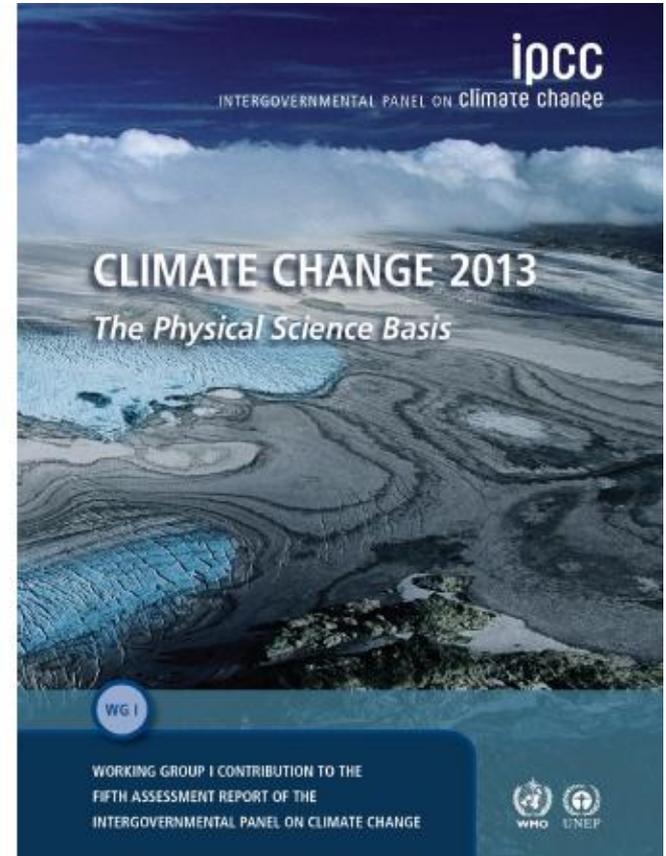
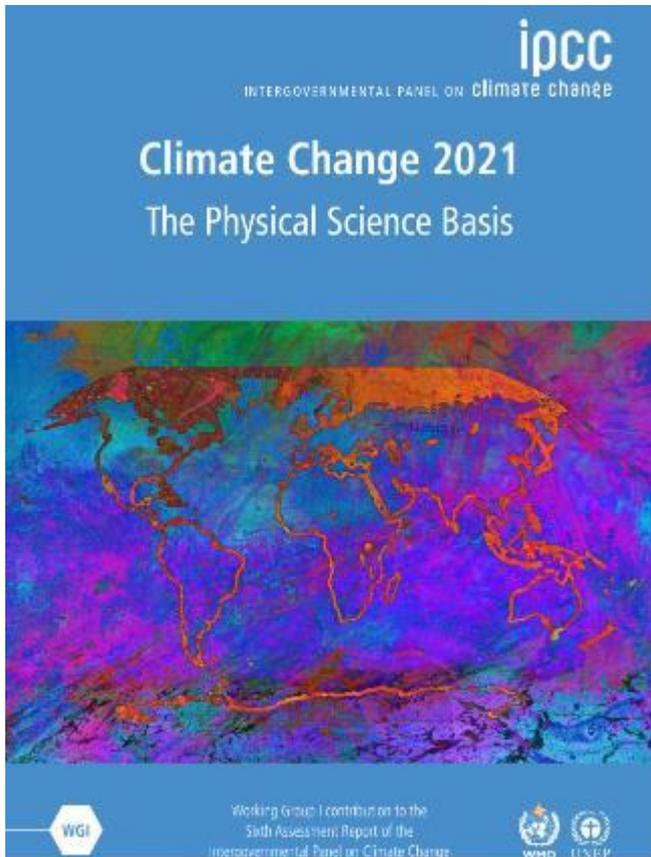
Парциальное давление растворенного углекислого газа на поверхности океана (син.) и pH (зелен.) океанской воды



IPCC, 2013

Сценарии

Options



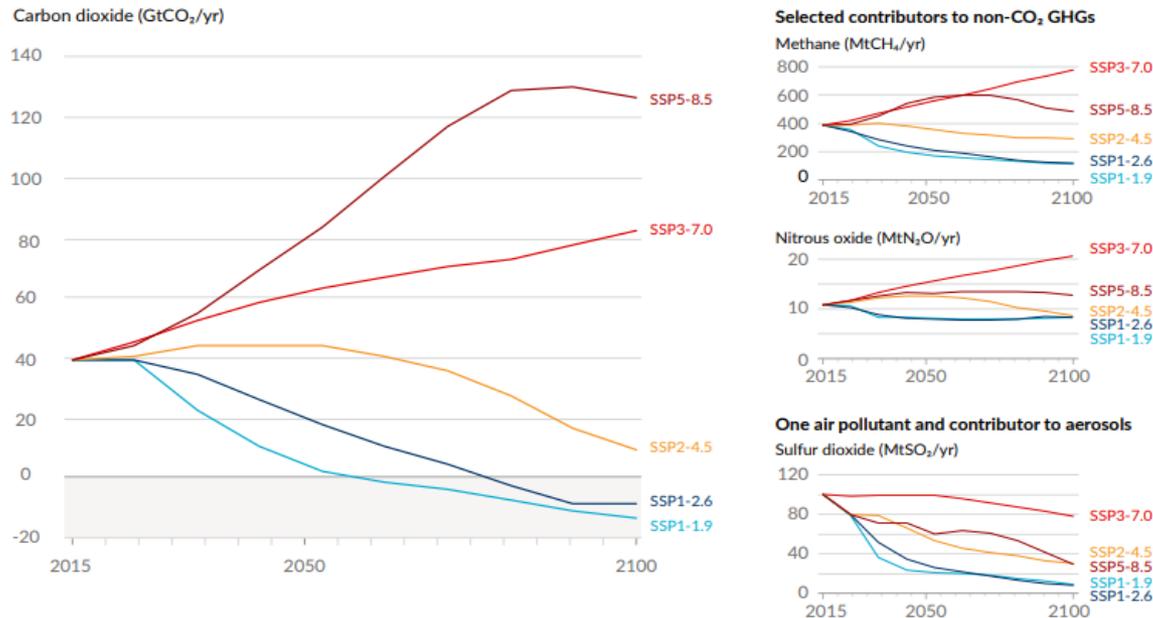
5 моделируемых сценария выбросов

- Очень высокие выбросы парниковых газов, которые к 2050 году увеличатся в два раза (сценарий SSP5-8.5);
- Высокие выбросы парниковых газов, которые к 2100 году увеличатся в два раза (сценарий SSP3-7.0);
- Промежуточный уровень выбросов парниковых газов, в соответствии с которым выбросы останутся на текущем уровне до 2050 года, а затем начнут снижаться (сценарий SSP2-4.5);
- Низкие выбросы парниковых газов, которые будут снижаться медленно и достигнут нуля к 2075 году (сценарий SSP1-2,6);
- Очень низкие выбросы парниковых газов, которые начнут снижаться сейчас и достигнут нуля вскоре после 2050 года (сценарий SSP1-1.9).

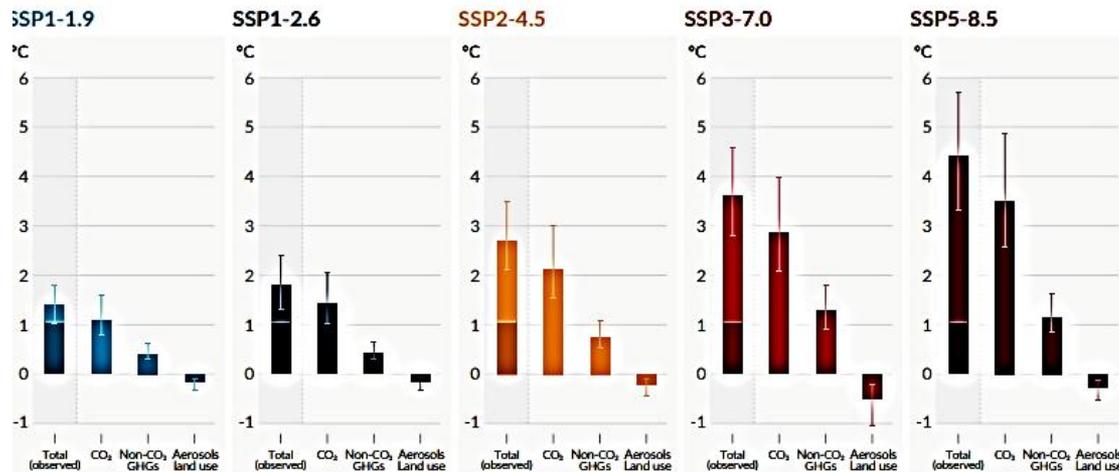
IPCC, 2021

Future emissions cause future additional warming, with total warming dominated by past and future CO₂ emissions

a) Future annual emissions of CO₂ (left) and of a subset of key non-CO₂ drivers (right), across five illustrative scenarios

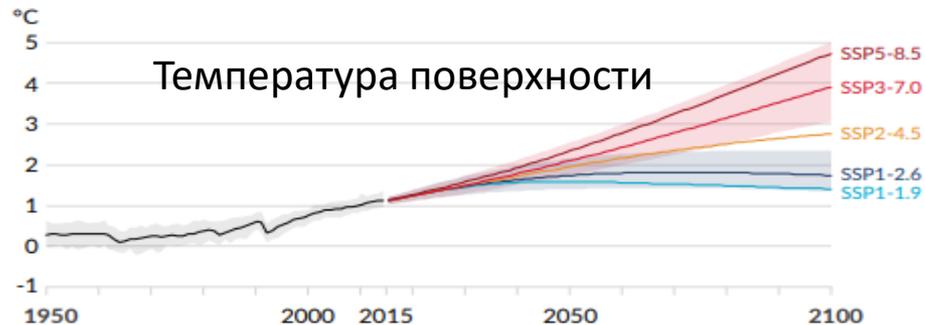


Change in global surface temperature in 2081-2100 relative to 1850-1900 (°C)

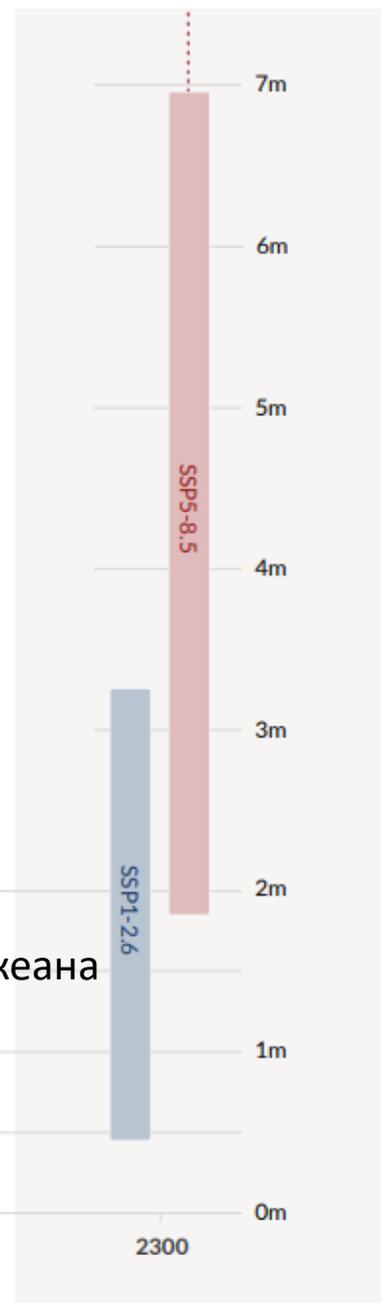
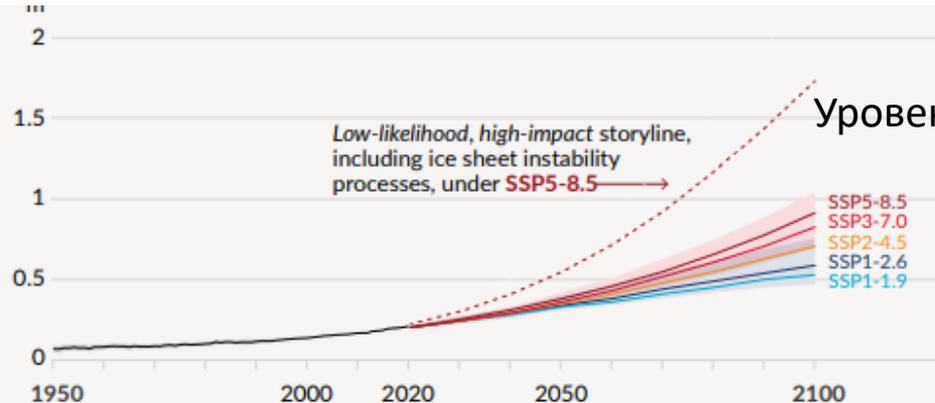
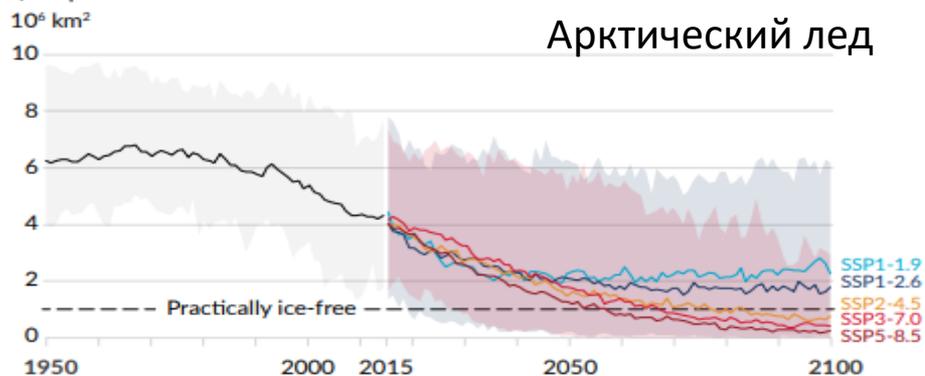


Влияние роста выбросов различных видов парниковых газов на рост глобальной температуры по пяти сценариям.

a) Global surface temperature change relative to 1850-1900



b) September Arctic sea ice area



Изменения при заданном уровне потепления

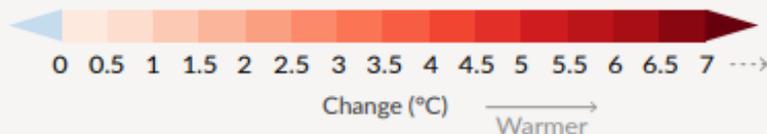
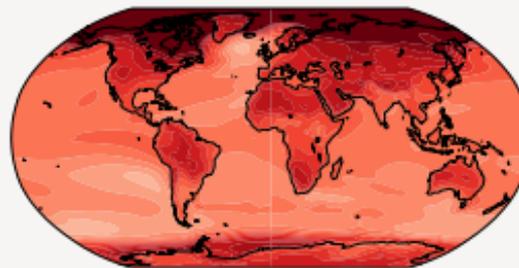
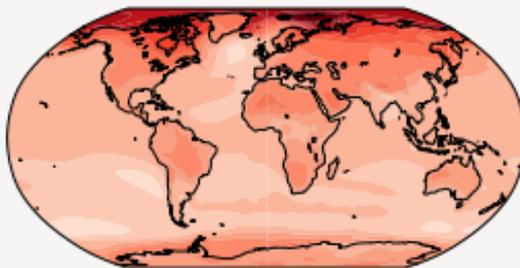
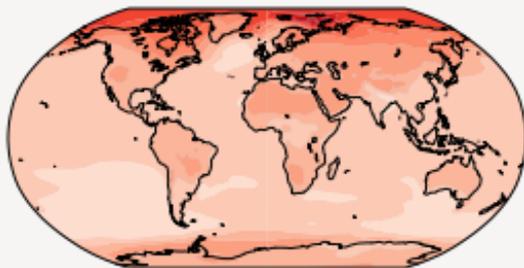
b) Annual mean temperature change (°C) relative to 1850-1900

Across warming levels, land areas warm more than oceans, and the Arctic and Antarctica warm more than the tropics.

Simulated change at 1.5 °C global warming

Simulated change at 2 °C global warming

Simulated change at 4 °C global warming



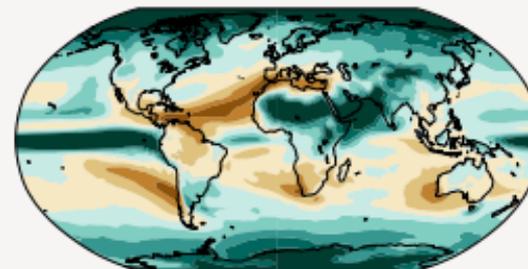
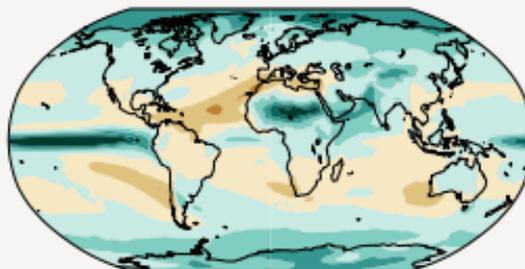
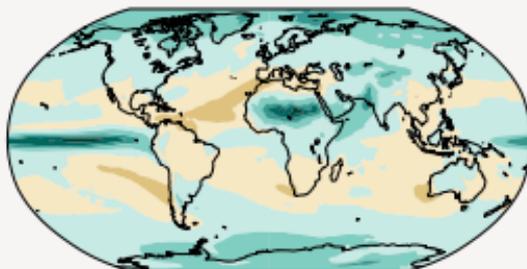
c) Annual mean precipitation change (%) relative to 1850-1900

Precipitation is projected to increase over high latitudes, the equatorial Pacific and parts of the monsoon regions, but decrease over parts of the subtropics and in limited areas of the tropics.

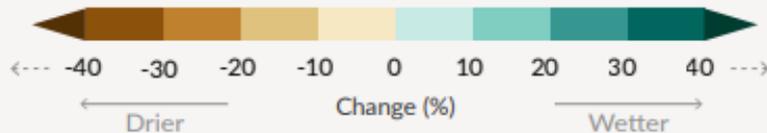
Simulated change at 1.5 °C global warming

Simulated change at 2 °C global warming

Simulated change at 4 °C global warming



Relatively small absolute changes may appear as large % changes in regions with dry baseline conditions

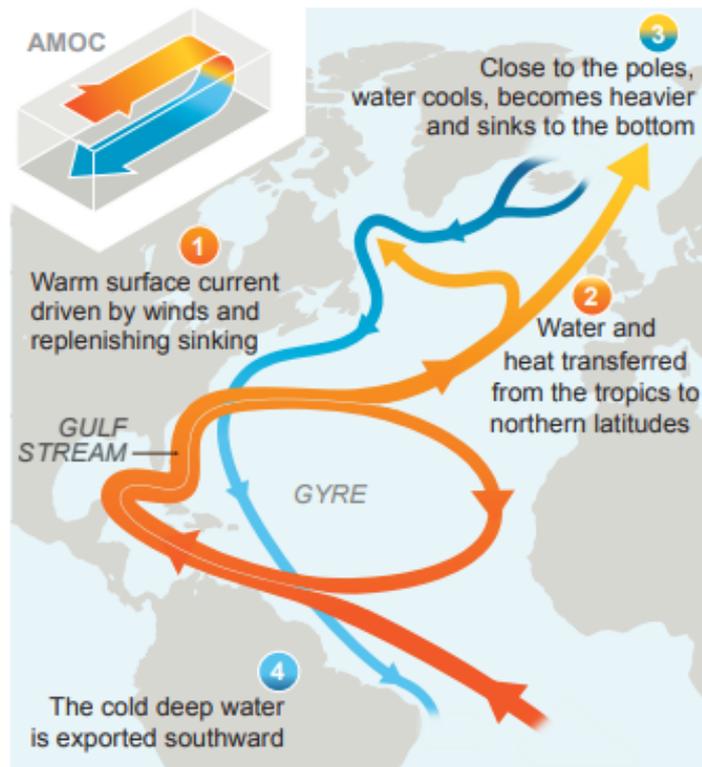


Замедление Атлантической меридиональной циркуляции (АМЦ)

The Gulf Stream, a warm current, is expected to weaken but not cease. This slowdown will affect regional weather and sea level.

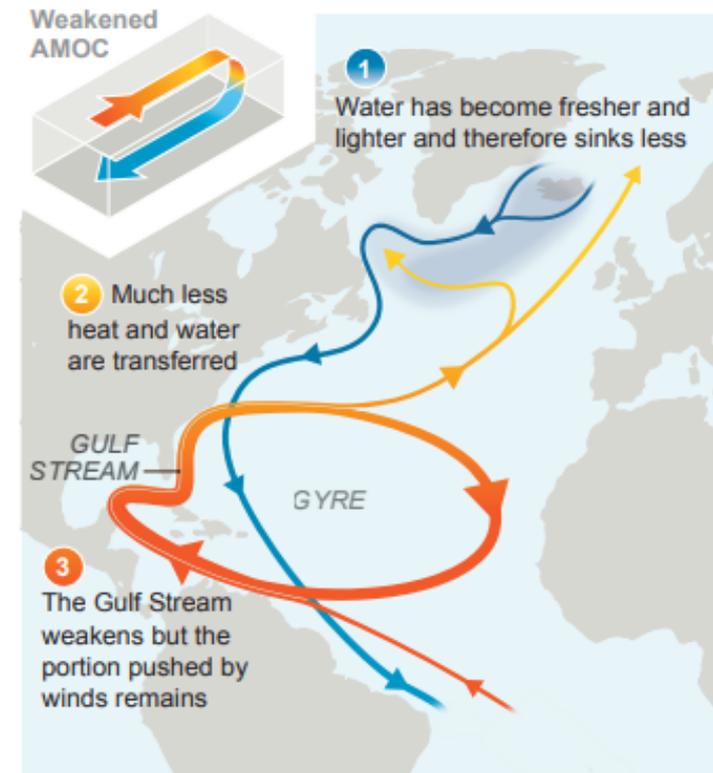
Today

The Gulf Stream is part of both the horizontal, subtropical gyre and the vertical, Atlantic Meridional Overturning Circulation (AMOC)



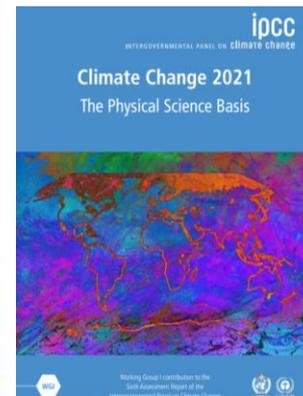
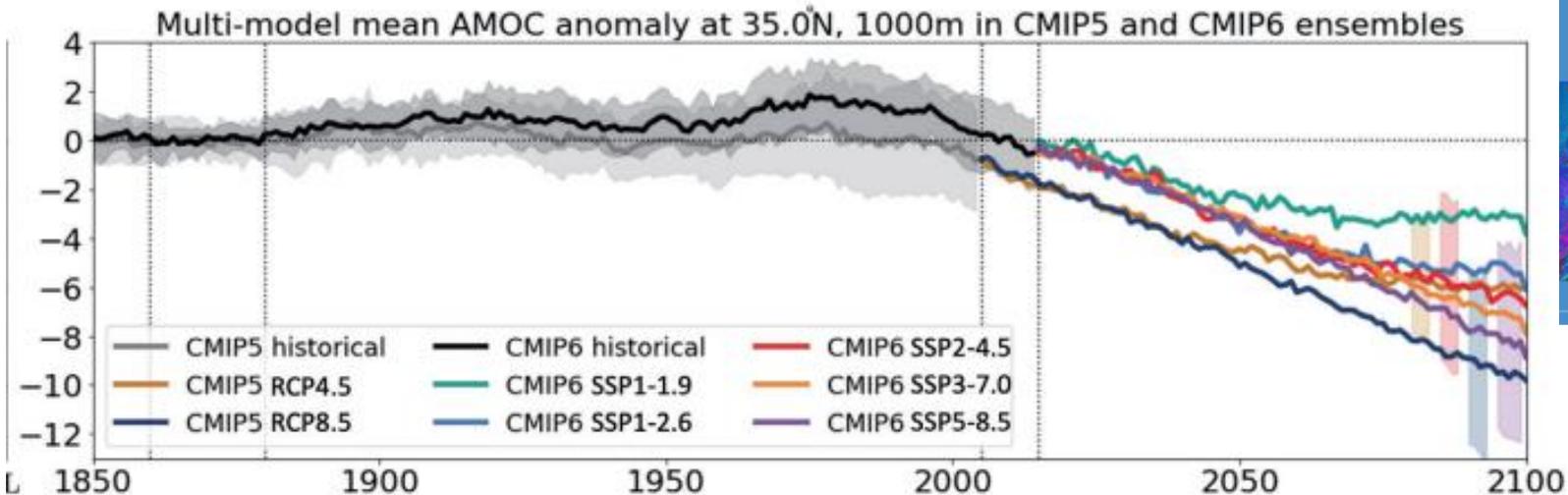
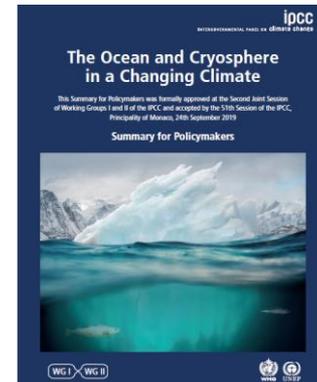
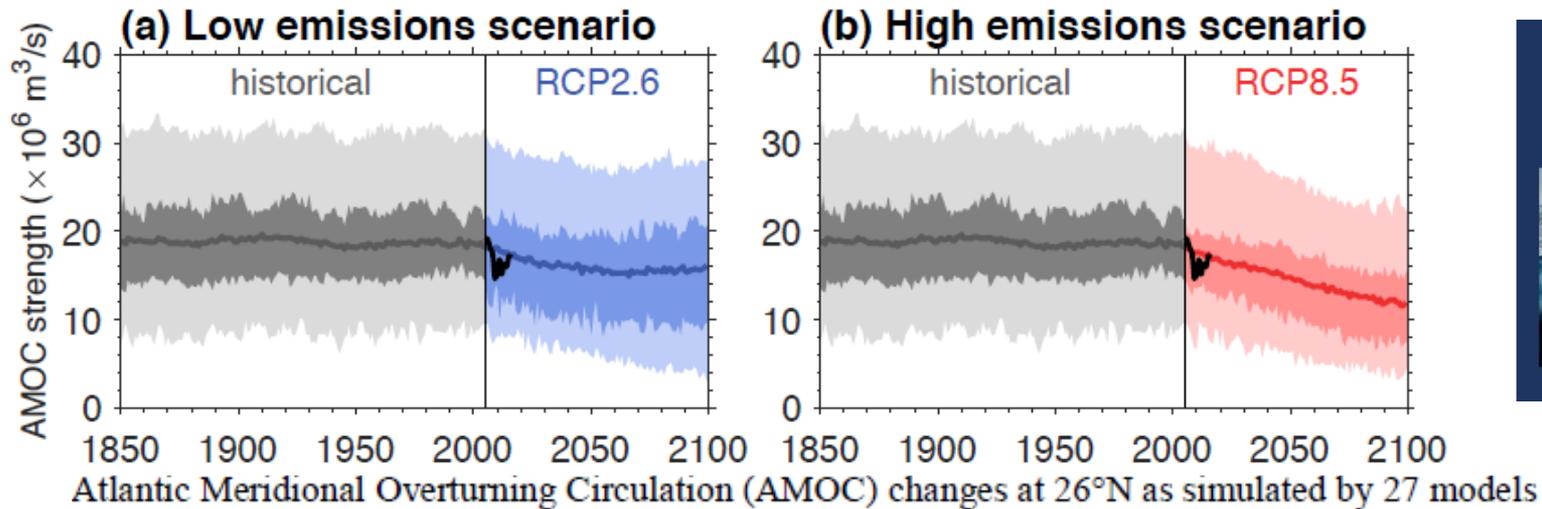
In a warmer world

Climate change weakens the AMOC, which slows the Gulf Stream down

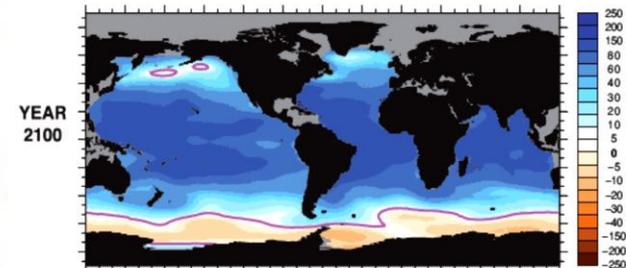
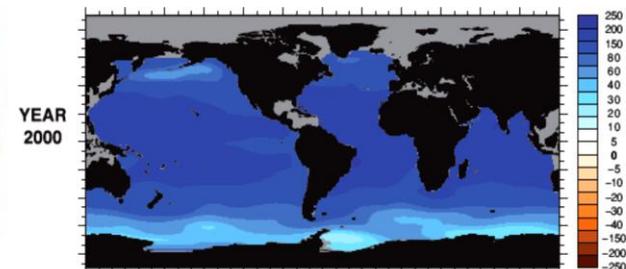
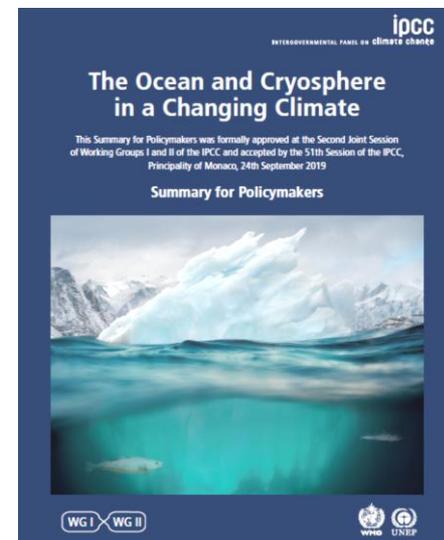
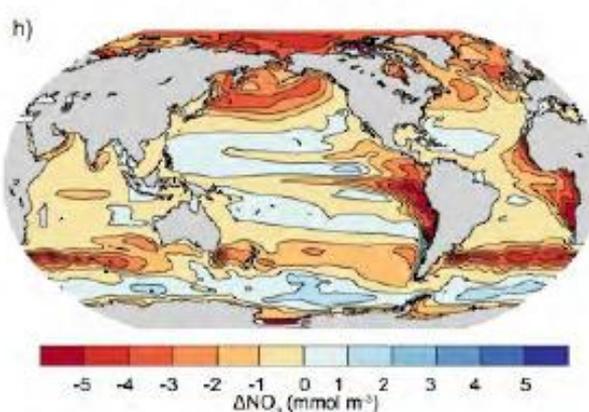
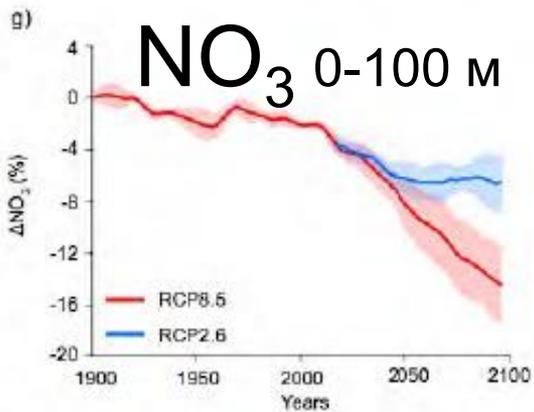
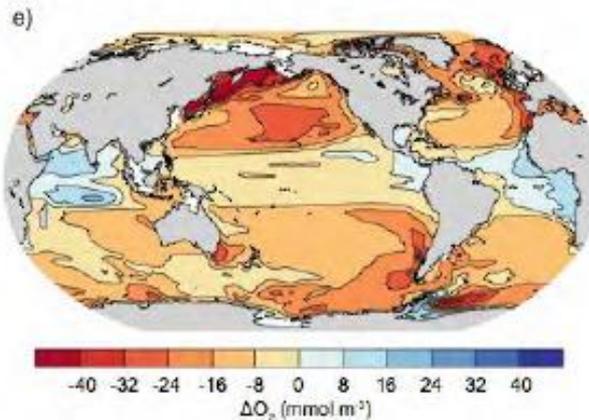
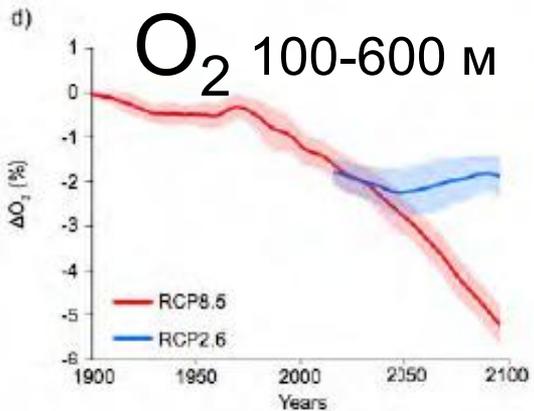
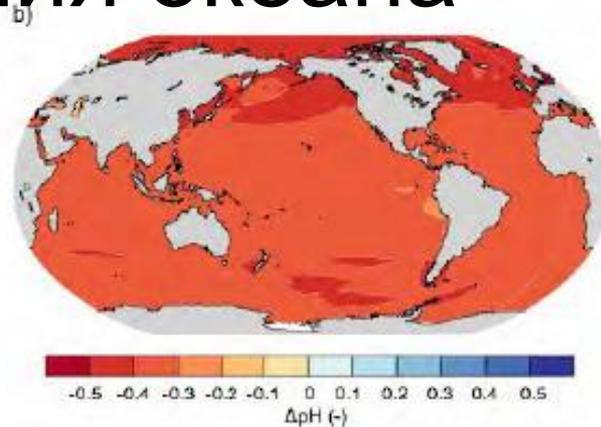
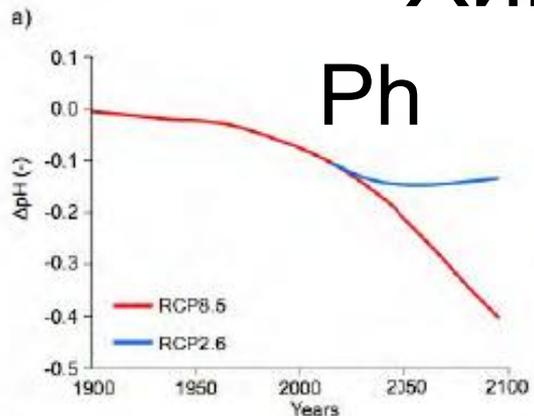


9.3, Figure 1 | Horizontal (gyre) and vertical (Atlantic Meridional Overturning Circulation, AMOC) circulations in the Atlantic today and in a warmer world (right). The Gulf Stream is a warm current composed of both circulations.

Замедление Атлантической меридиональной циркуляции (АМЦ)

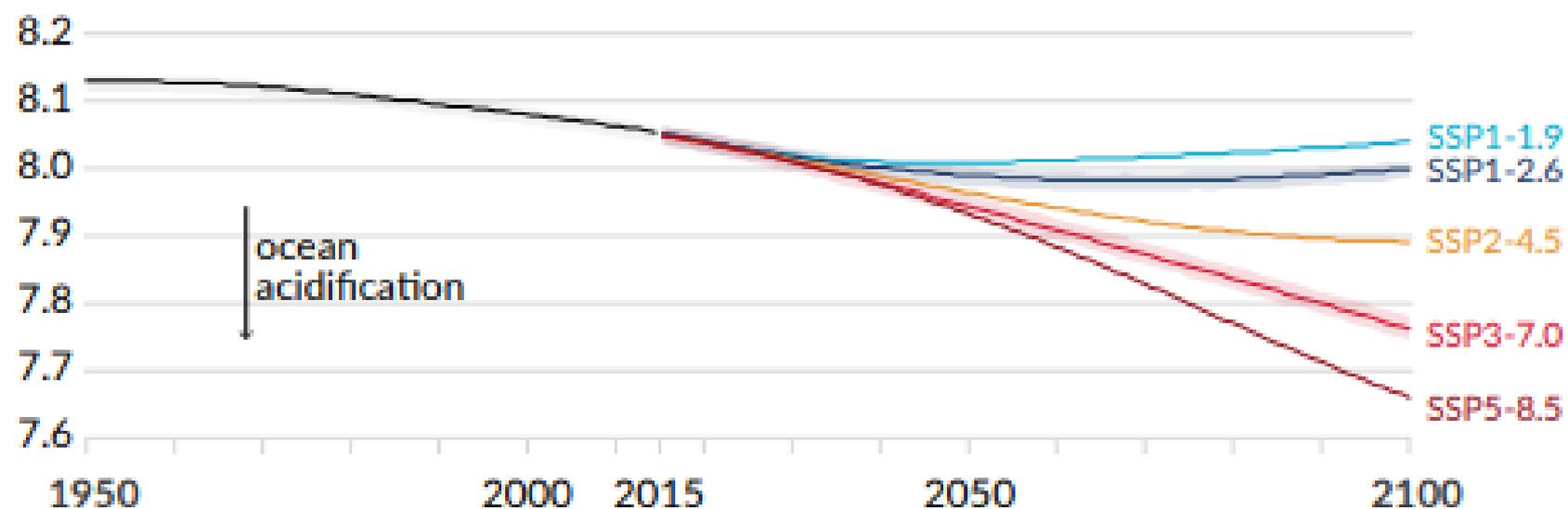


Химия океана



Коррозия и растворение карбонатов на поверхности океана

c) Global ocean surface pH (a measure of acidity)



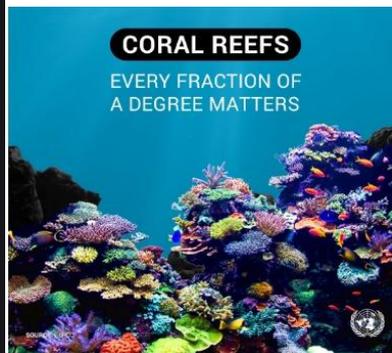
Обесцвечивание кораллов



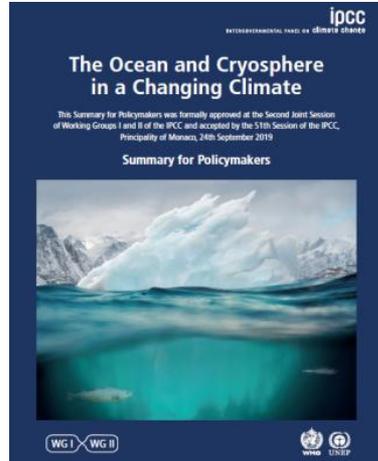
Carbon dioxide and heat are both absorbed by the ocean as greenhouse gas levels increase. When carbon dioxide is dissolved in the ocean, the water becomes more acidic. This makes it harder for corals and some other marine life to grow shells and protect themselves. Marine heat waves are complicating the matter by making it too warm for many corals to survive. Satellites are providing important data to scientists measuring such changes in ocean environments.

When corals are stressed from changes in their environment, they turn white, or "bleach." Sometimes the coral is able to recover, but other times the bleaching event leads to its death. This image shows the decay of a healthy coral reef to a reef between 2014 and 2015 in the National Marine Sanctuary of American Samoa.

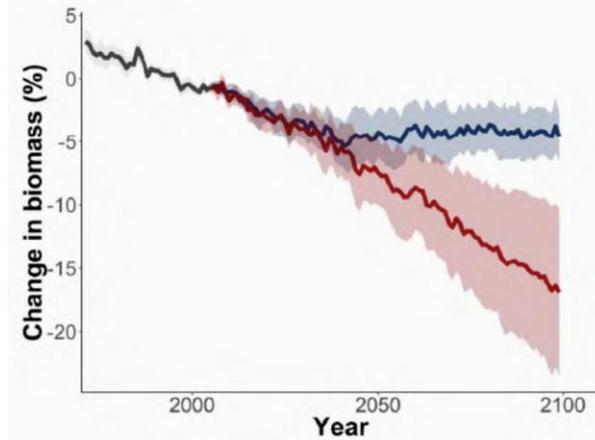
Credit: NOAA/ XL Catlin Seaview Survey



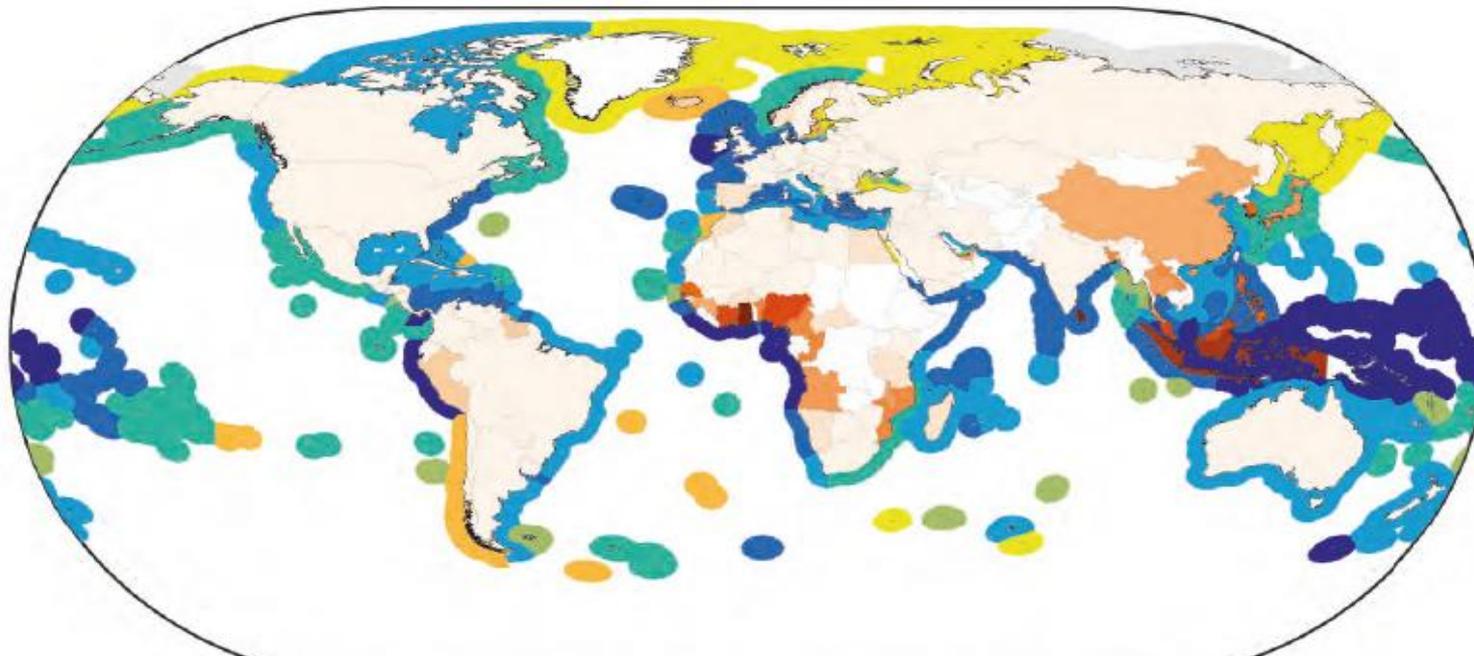
Потепление на 1,5°C угрожает уничтожить [от 70 до 90 процентов коралловых рифов](#), а повышение температуры на 2°C означает почти 100-процентную потерю



Продуктивность океана



Биомасса



Изменение потенциала улова (%) к 2100 г. по RCP 8.5



Доля рыбы в животной пище в настоящее время, %



Благодарю за внимание!

