

Введение в физику гидросферы

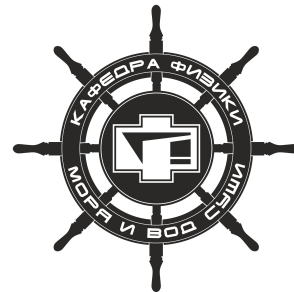
2024 Лекция №6

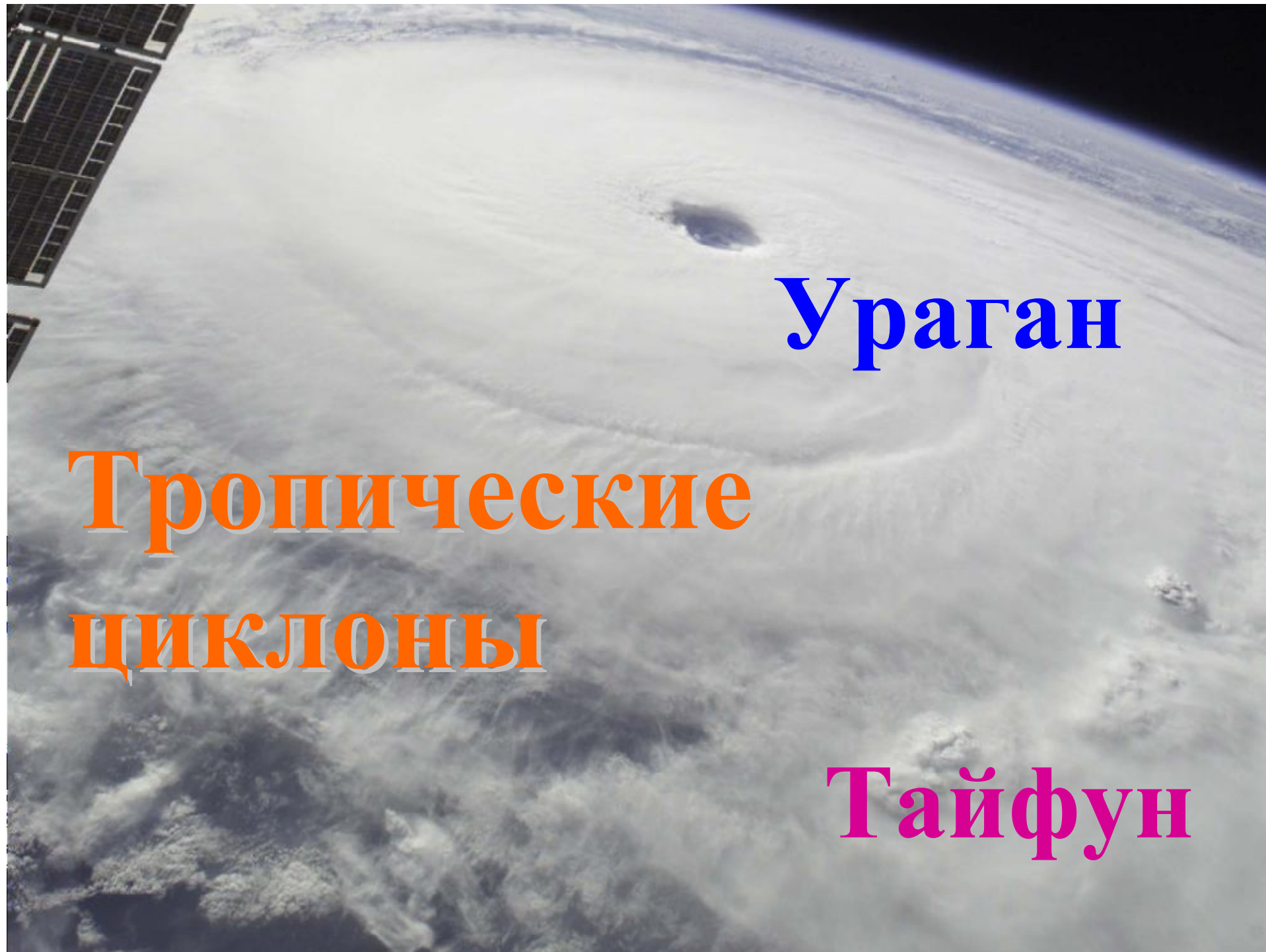
Носов Михаил Александрович

кафедра физики моря и вод суши

отделение геофизики

физический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова





Ураган

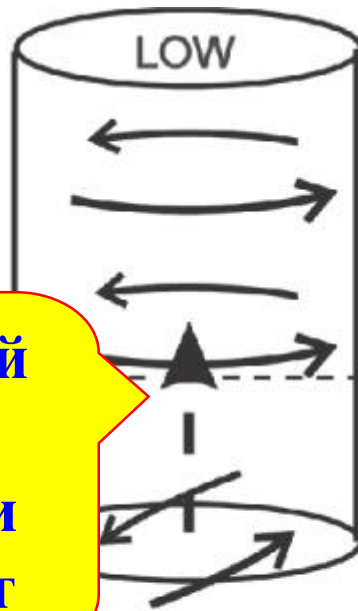
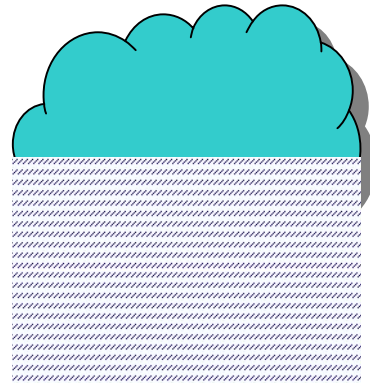
Тропические
ЦИКЛОНЫ

Тайфун

Синоптические вихри

ЦИКЛОН

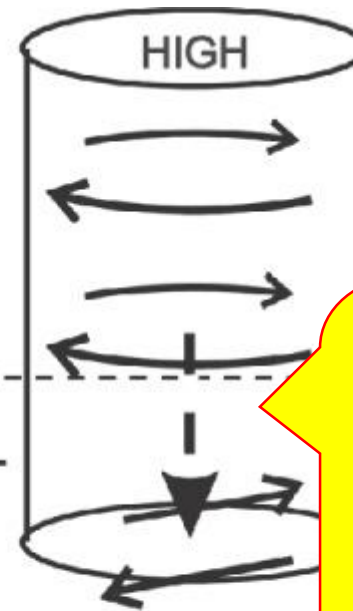
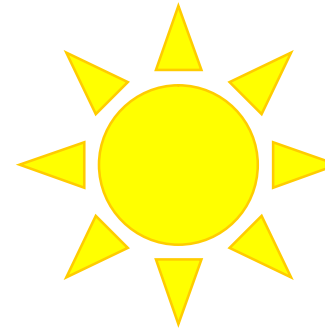
вращение
против
часовой
стрелки
(Сев.
полушарие)



Восходящий
поток со
скоростями
сотни м/сут

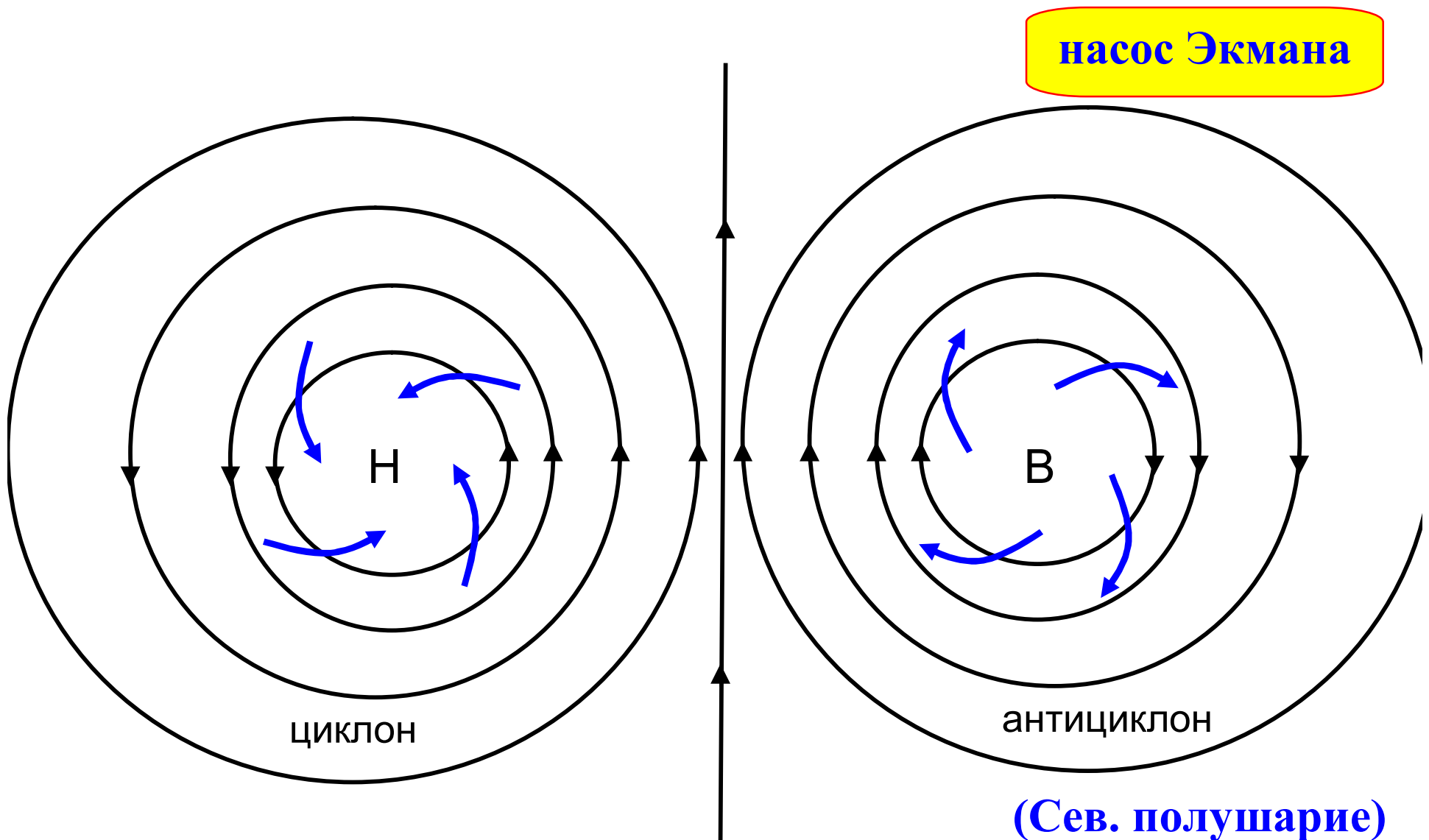
АНТИЦИКЛОН

вращение по
часовой
стрелке
(Сев.
полушарие)



Нисходящий
поток со
скоростями от
десятков до
сотен м/сут

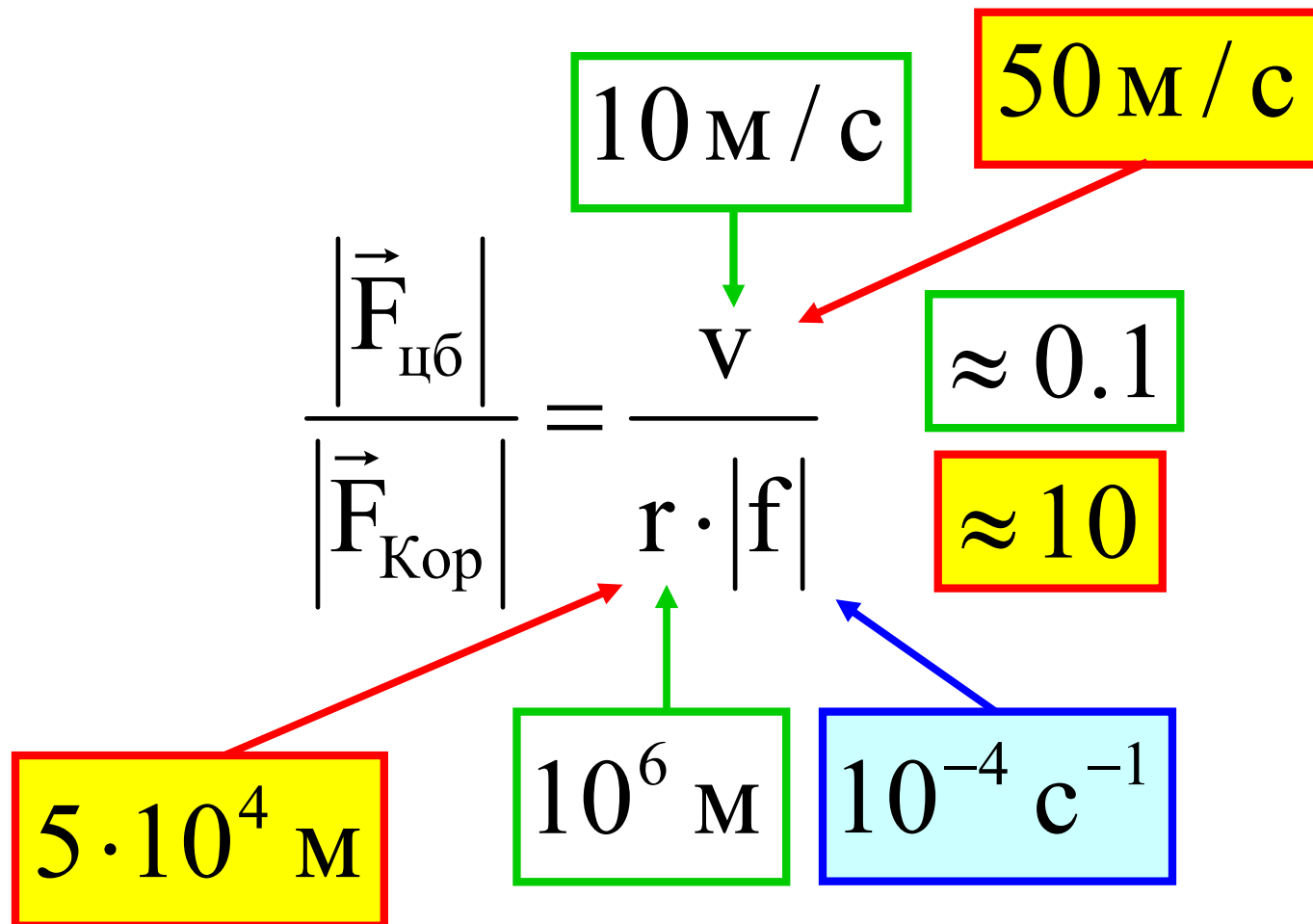
**У поверхности земли, где сила трения велика,
происходит заток воздуха в область низкого давления
и отток воздуха из области высокого давления**



Роль и значимость центробежной силы

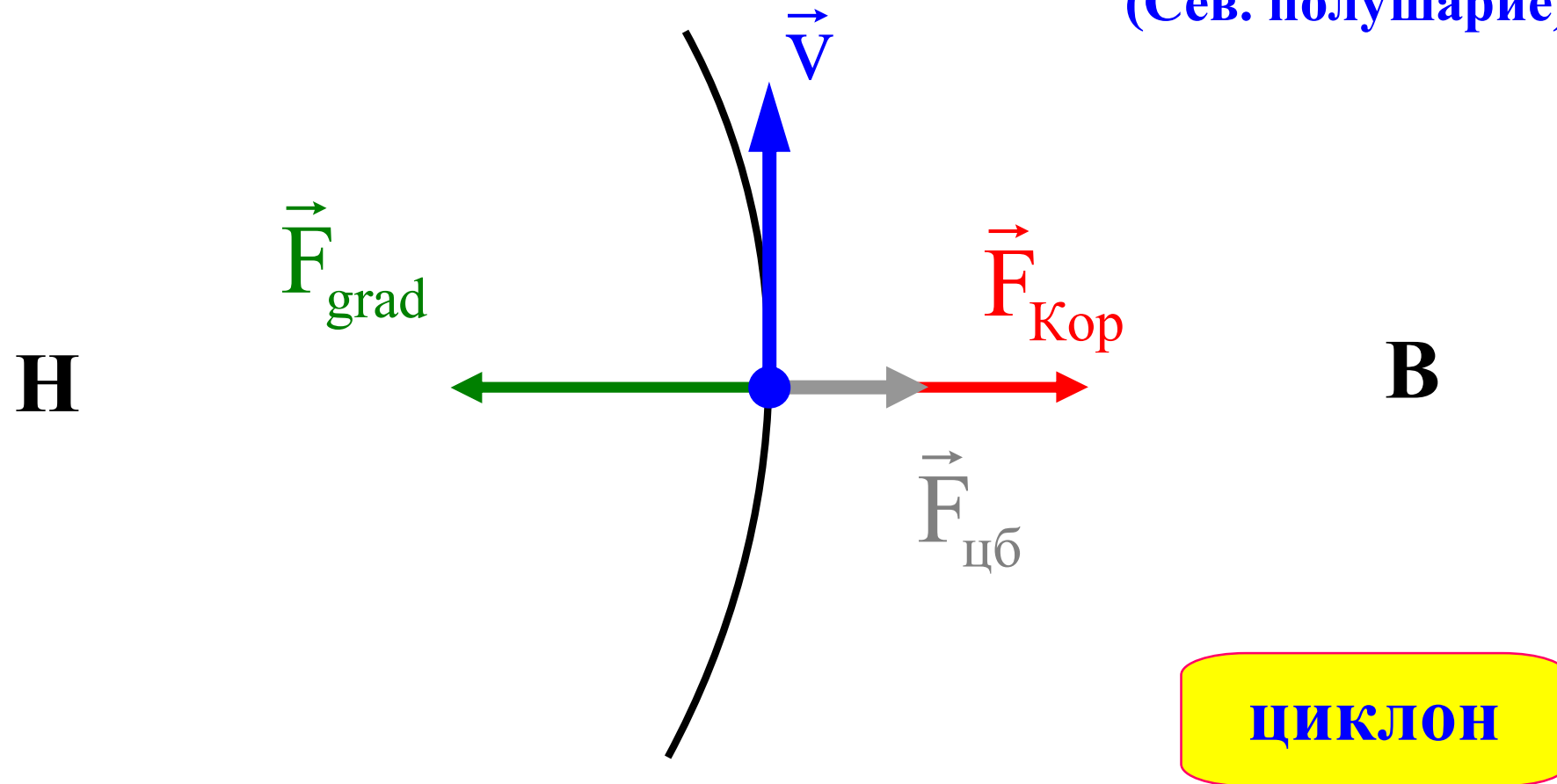
$$\left| \vec{F}_{\text{цб}} \right| = \frac{v^2}{r}$$

$$\left| \vec{F}_{\text{Кор}} \right| = |\mathbf{f} \cdot \mathbf{v}|$$



Роль и значимость центробежной силы

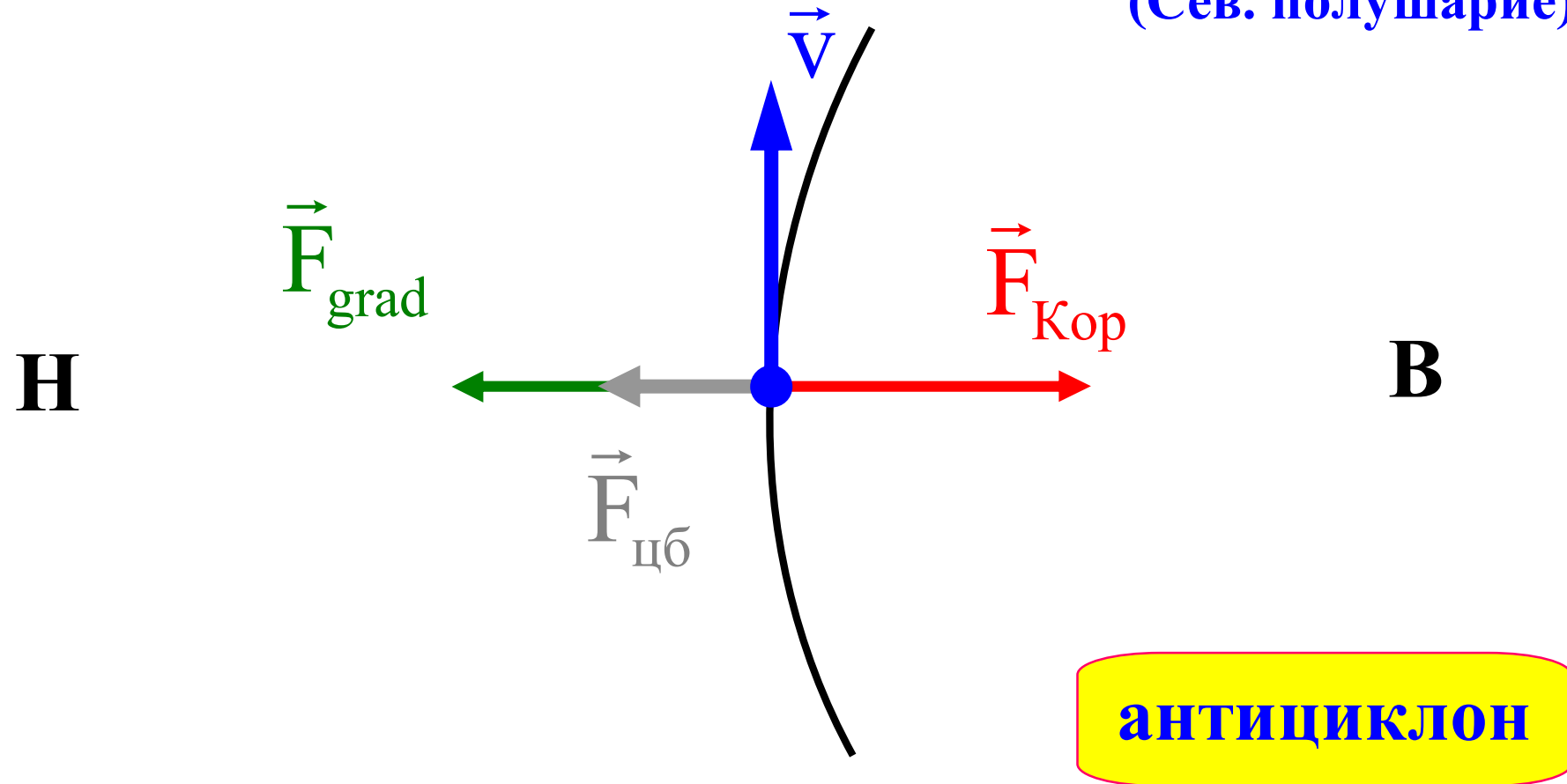
(Сев. полушарие)



$$\left| \vec{F}_{\text{grad}} \right| = \left| \vec{F}_{\text{Кор}} \right| + \left| \vec{F}_{\text{цб}} \right|$$

Роль и значимость центробежной силы

(Сев. полушарие)



$$\left| \vec{F}_{\text{grad}} \right| = \left| \vec{F}_{\text{Кор}} \right| - \left| \vec{F}_{\text{цб}} \right|$$

Роль и значимость центробежной силы

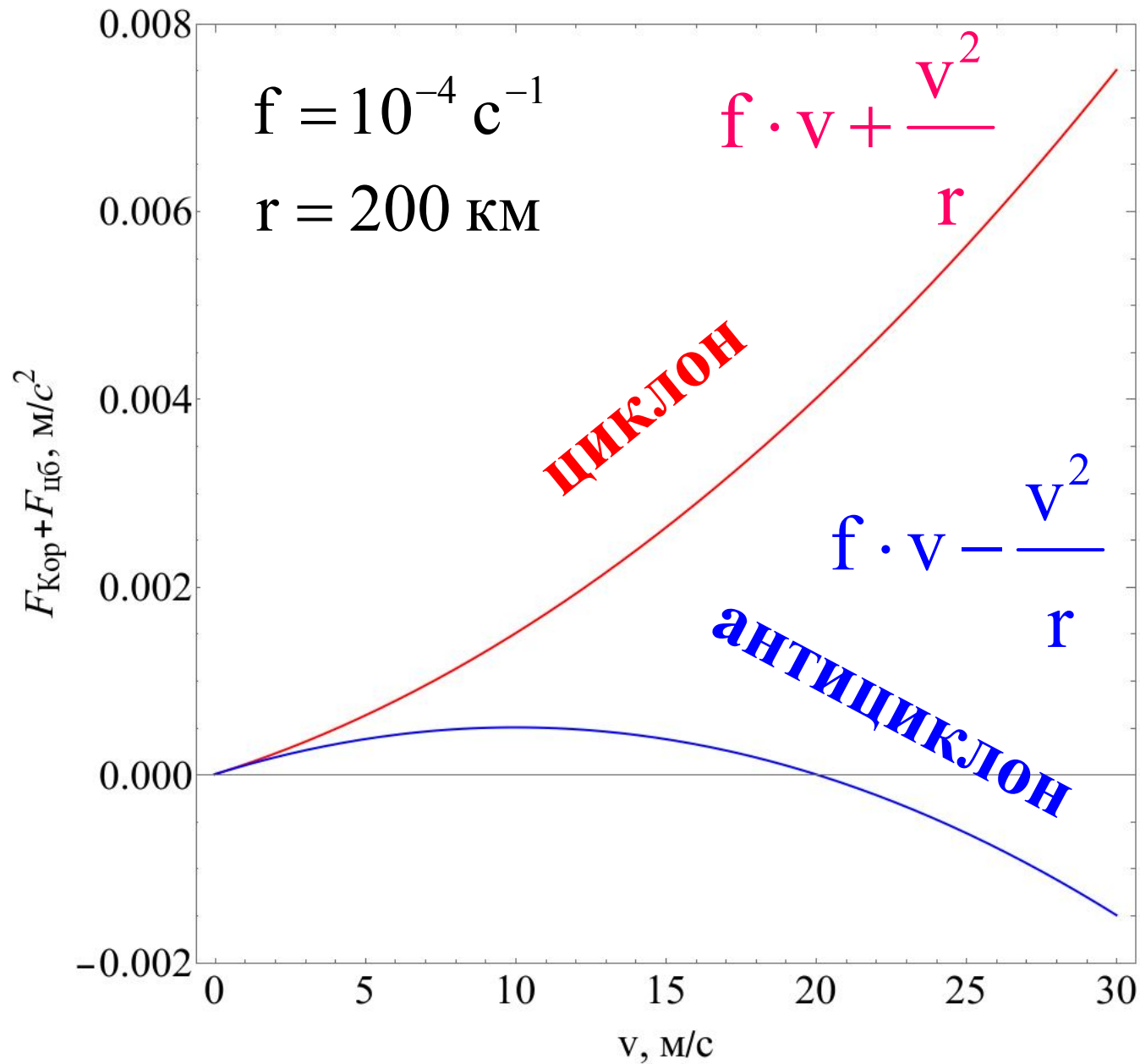
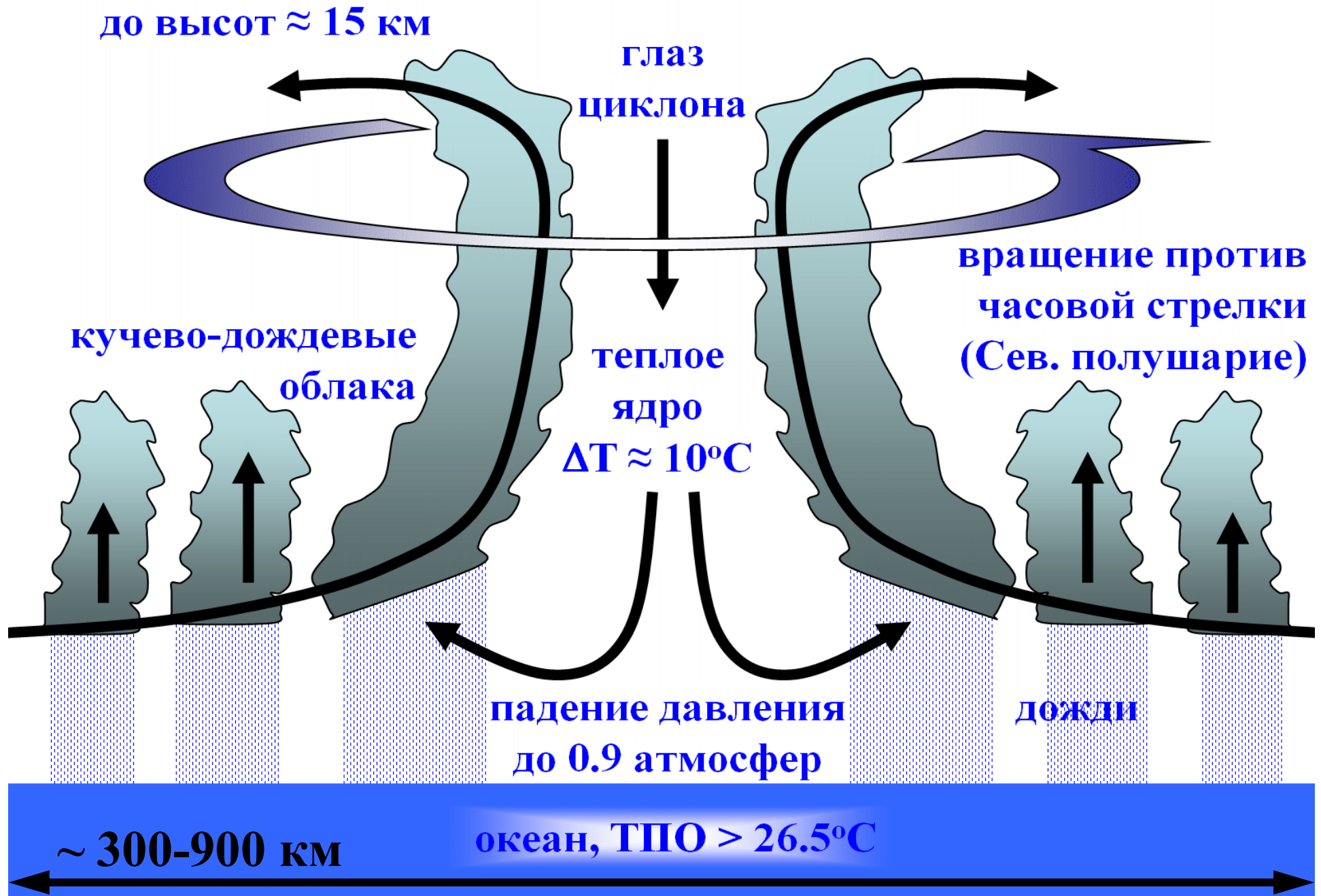
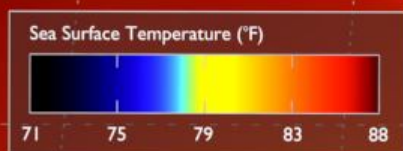
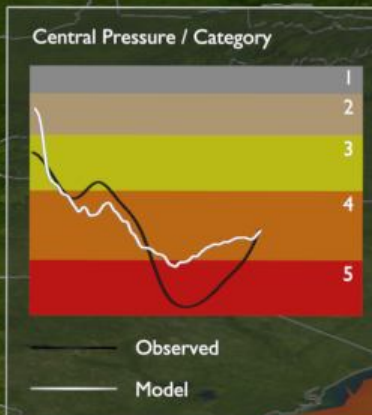


Схема тропического циклона



Hurricane Katrina Coupled Model Forecast

Aug 29 19:00 UTC (67h)



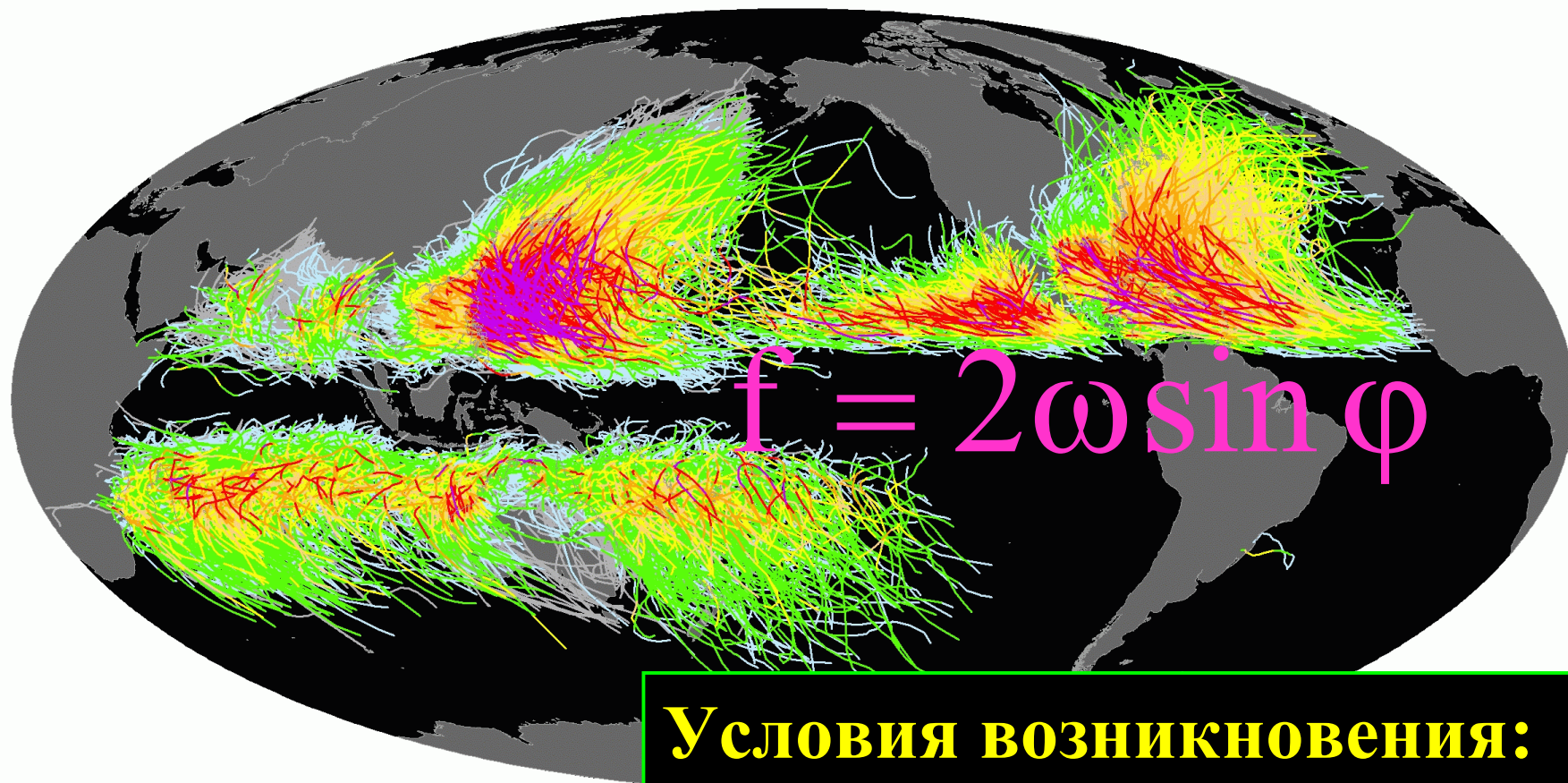
положительная обратная связь:

«скорость ветра –

поток явного и скрытого тепла с пов-ти океана»

Треки всех известных к 2010 г. тропических циклонов

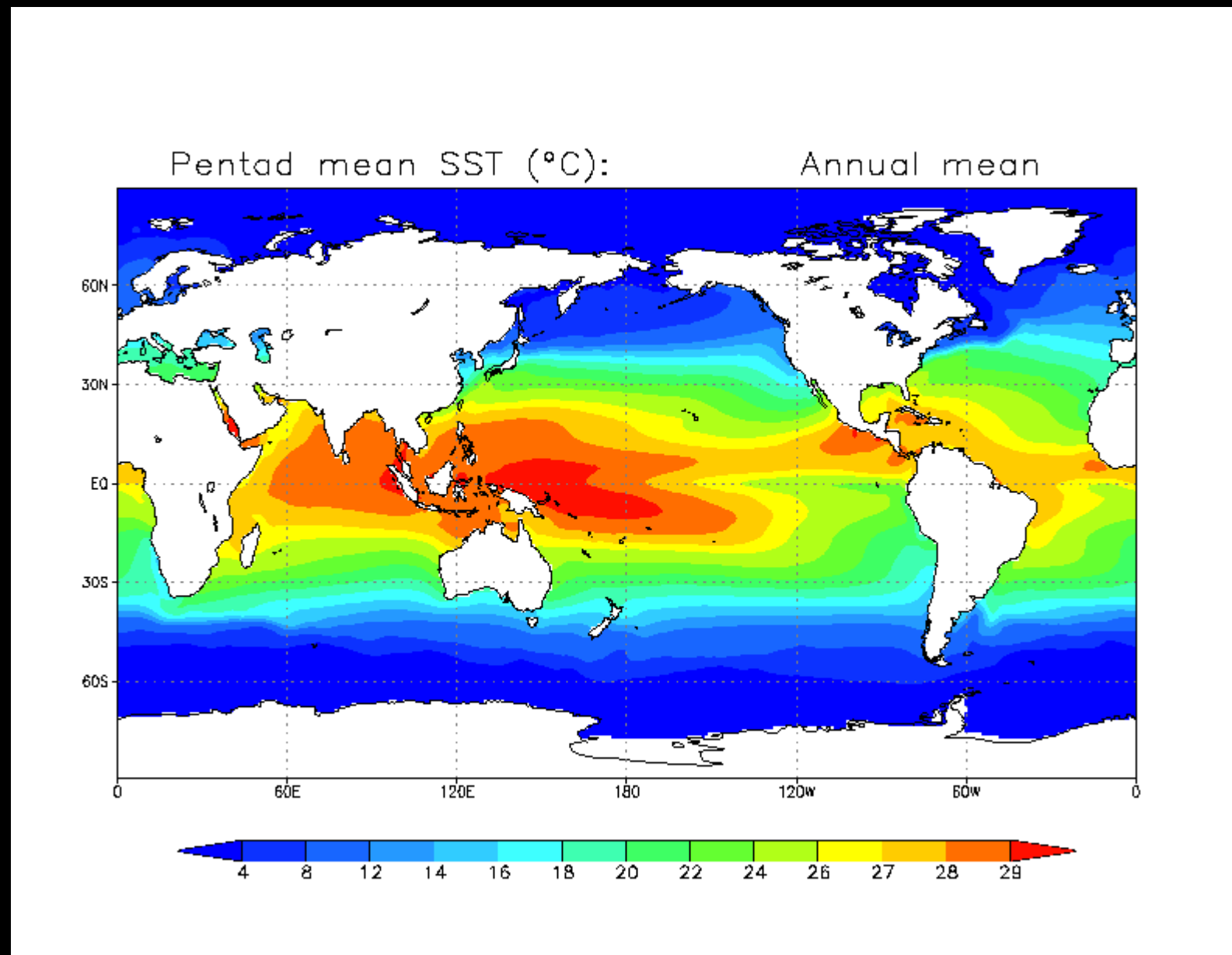
<http://www.climatewatch.noaa.gov/>



Условия возникновения:

- ❑ широты выше $5-10^\circ$
- ❑ ТПО $> 26.5^\circ\text{C}$

Температура поверхности океана (ТПО)



Шкала ураганов Саффира — Симпсона

Категория	Скорость ветра, км/ч (м/с)	Штормовой нагон (м)
1	119- 153 (33-43)	1.2 - 1.5
2	154-177 (43-49)	1.8 – 2.4
3	178-208 (49-58)	2.7 – 3.7
4	209-251 (58-70)	4.0 – 5.5
5	≥ 251 (70)	> 5.5

«Оружие» тропического циклона:

- Ветер («...сделан из металла...»)
- Дожди (0.5 м за сутки и более)
- Волны (до 30 м)
- Штормовые нагоны





Общая циркуляция атмосферы и океана

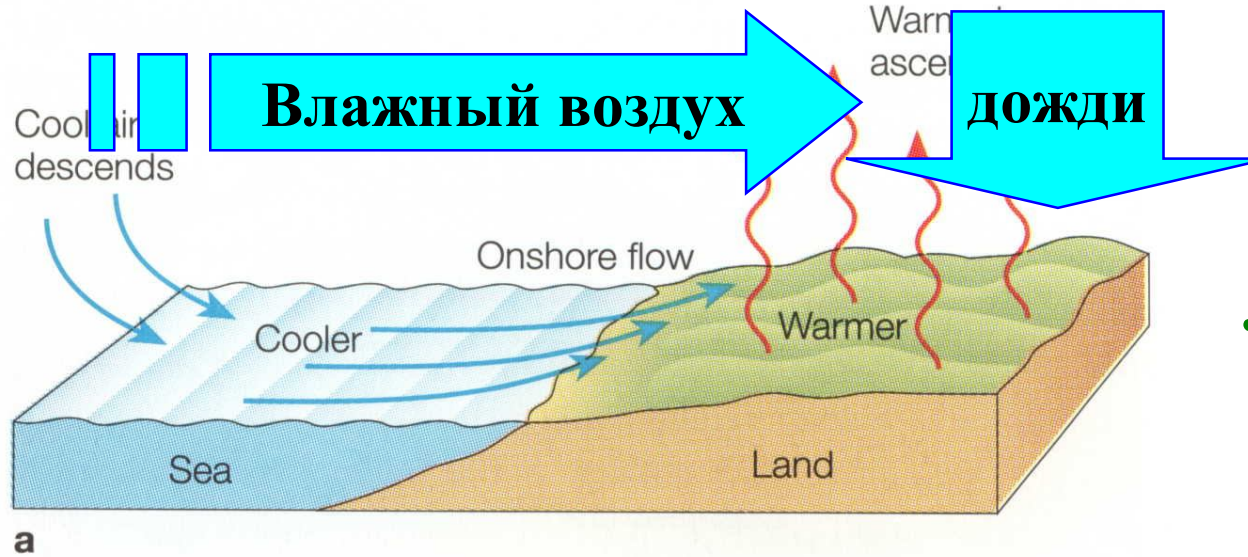


Местные ветры

Бриз

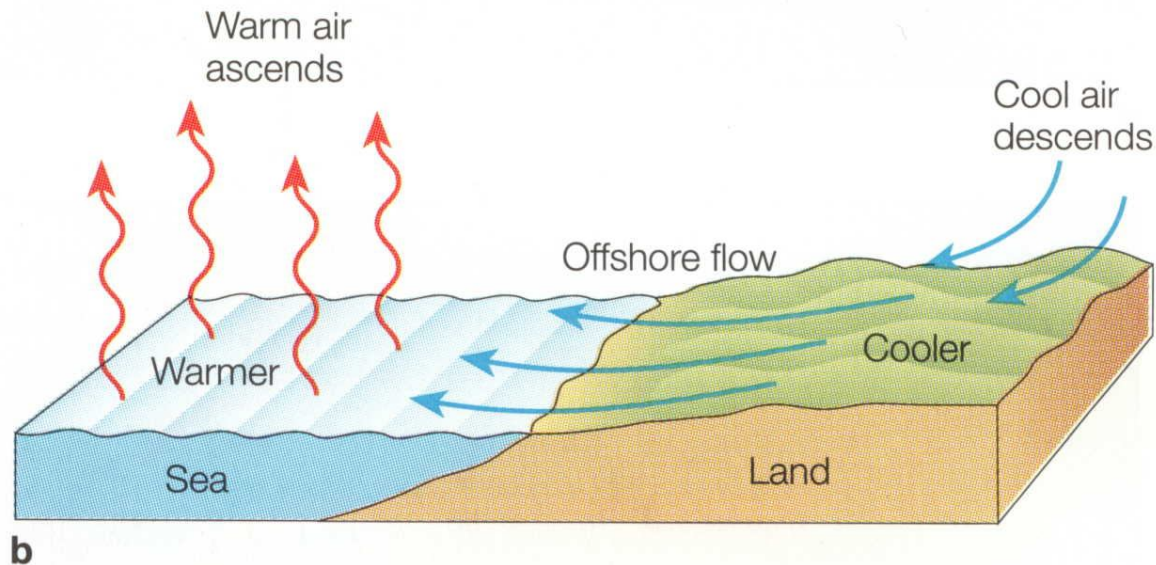
Муссон

ДЕНЬ



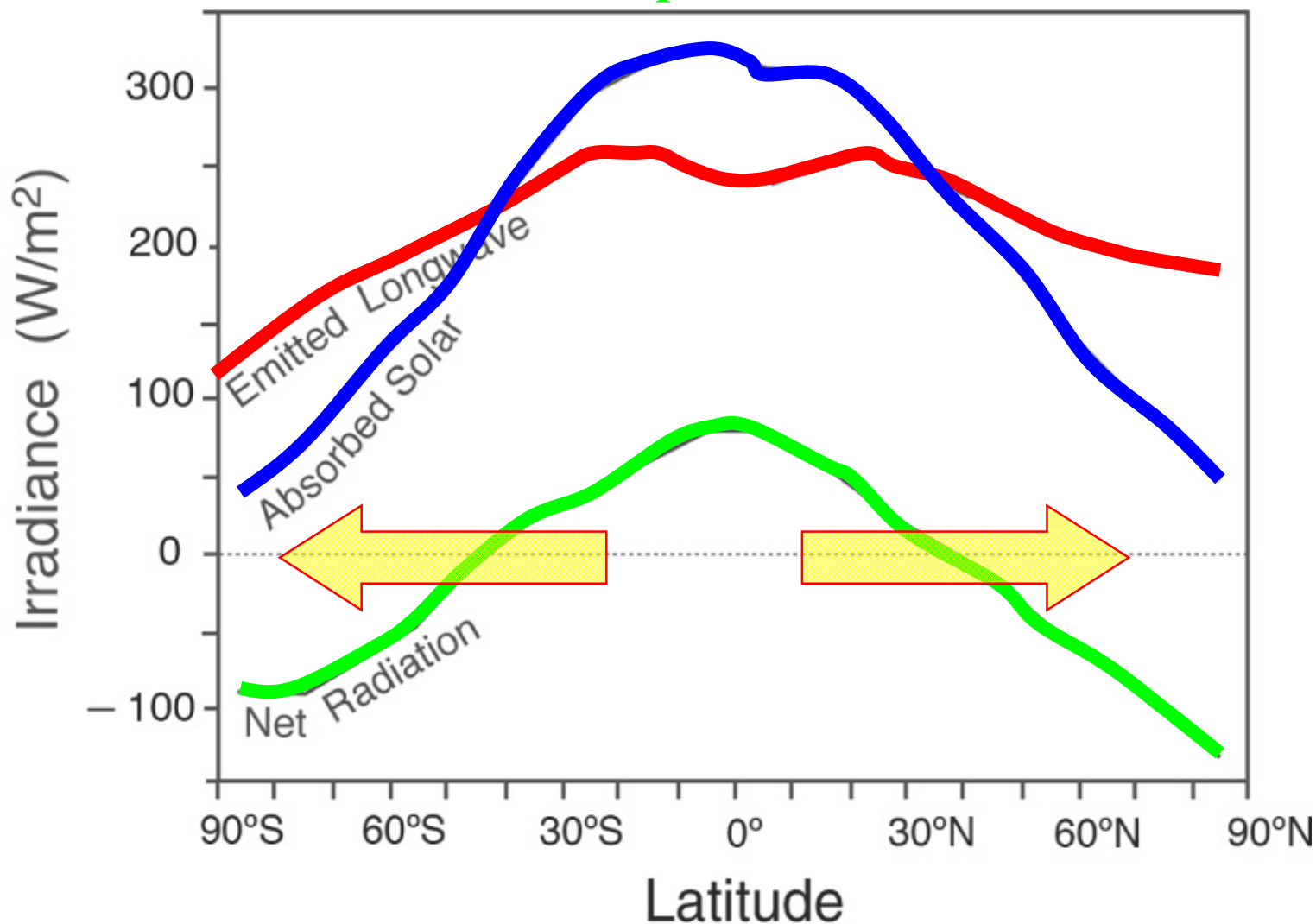
ЛЕТО

НОЧЬ



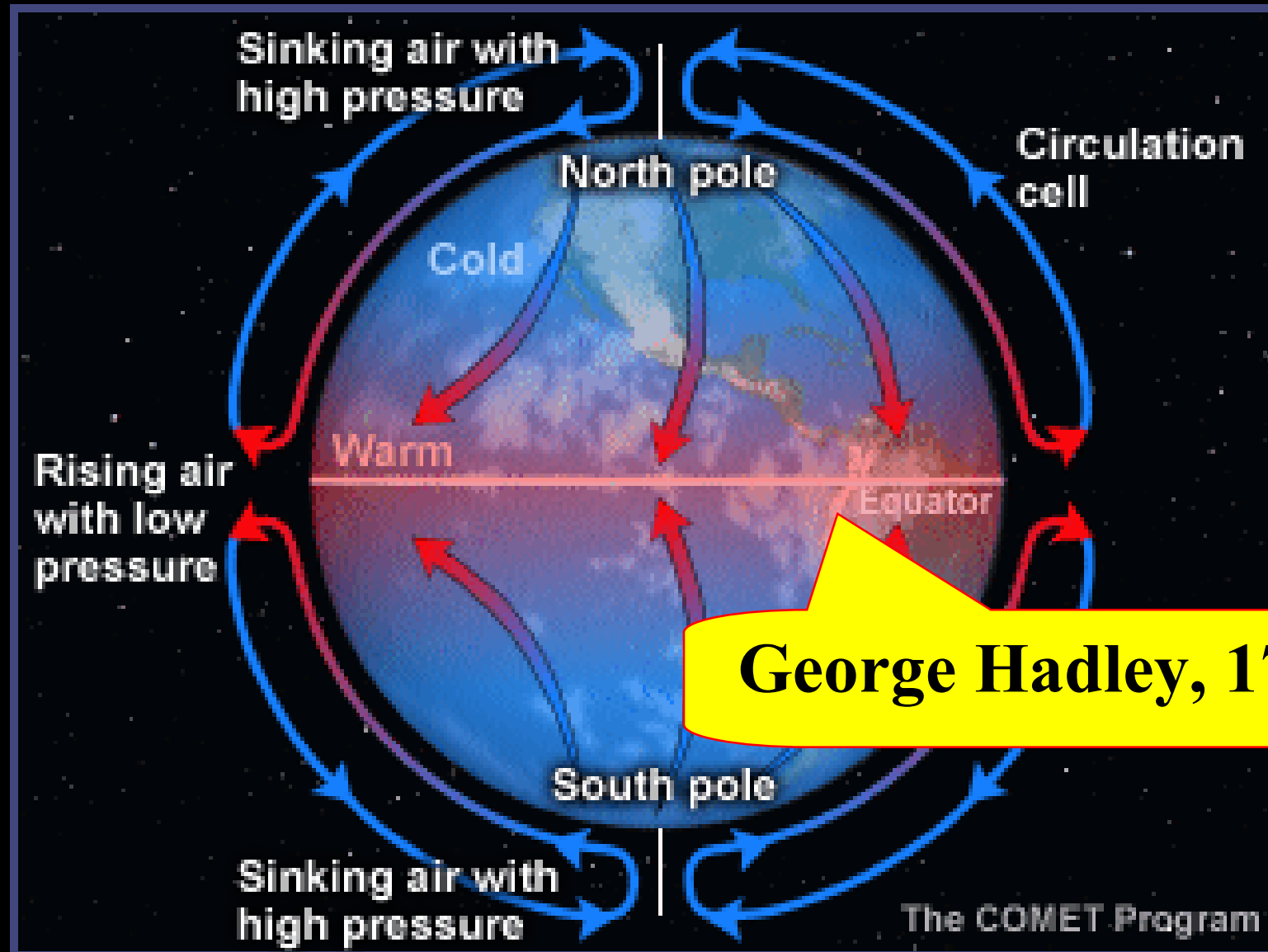
ЗИМА

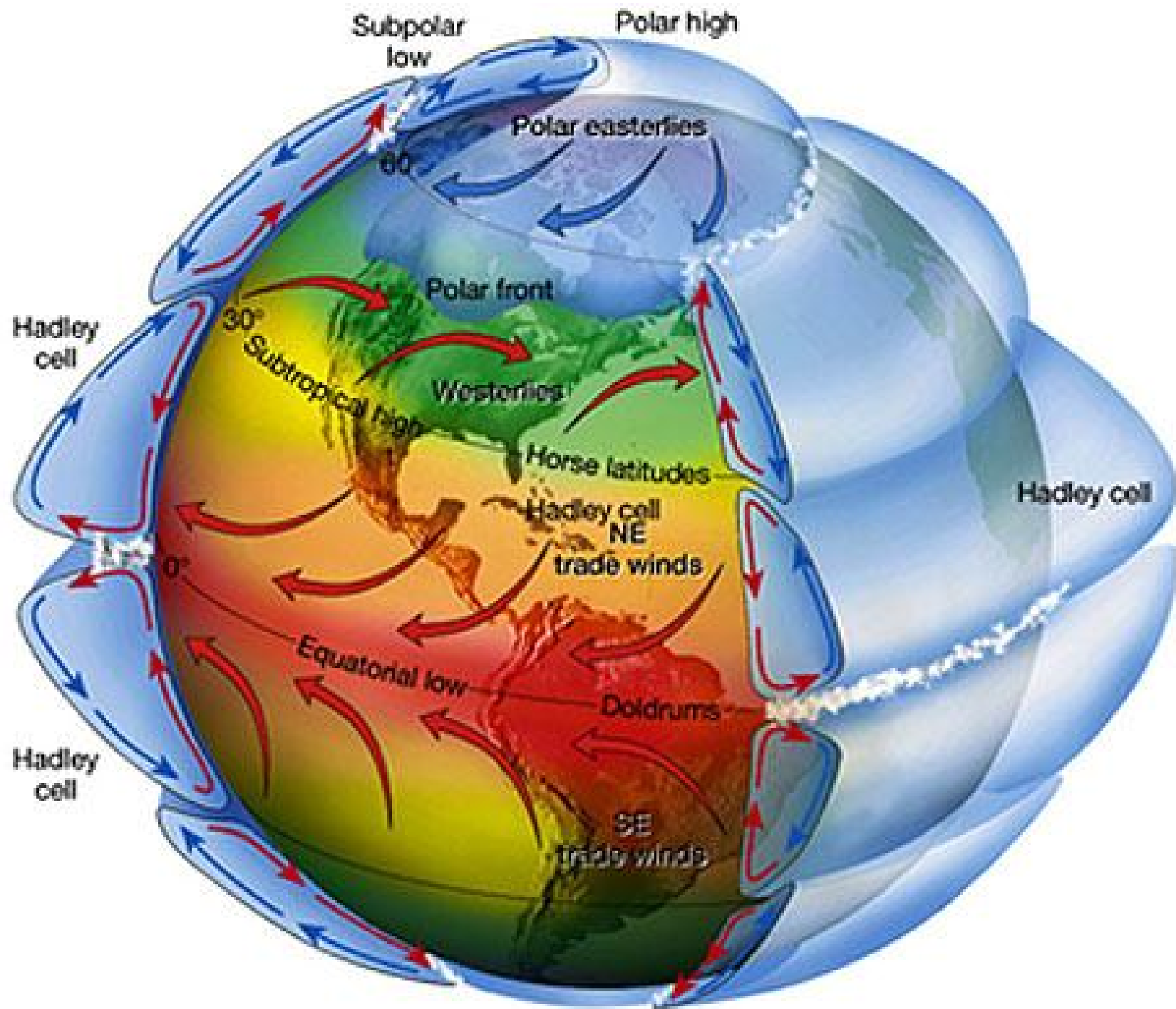
Среднегодовые широтные распределения радиации ($\text{Вт}/\text{м}^2$):
поглощенной солнечной, излученной длинноволновой
и их разница



Существует поток тепла от экватора к полюсам

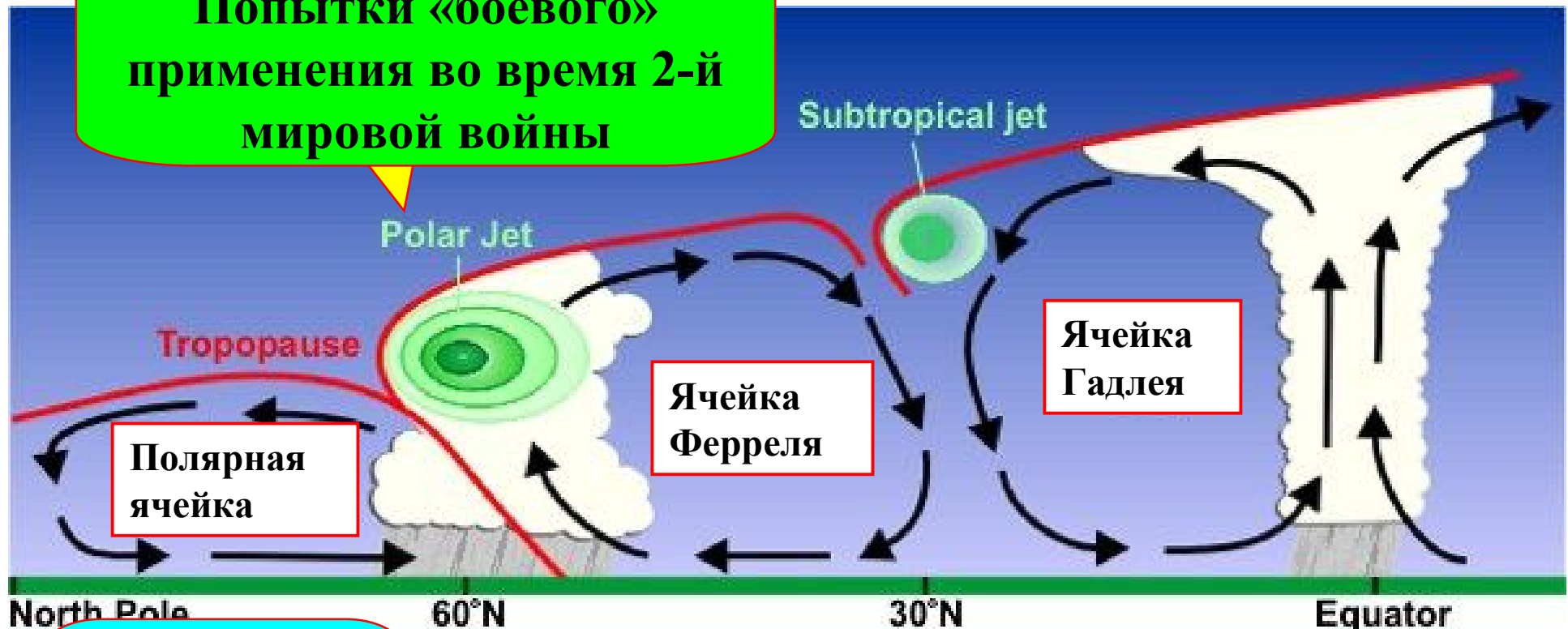
Упрощенная модель циркуляции атмосферы





Струйное течение (до 100 м/с)

**Попытки «боевого»
применения во время 2-й
мировой войны**



**Слабый
восточный
перенос**

**Западный
перенос**

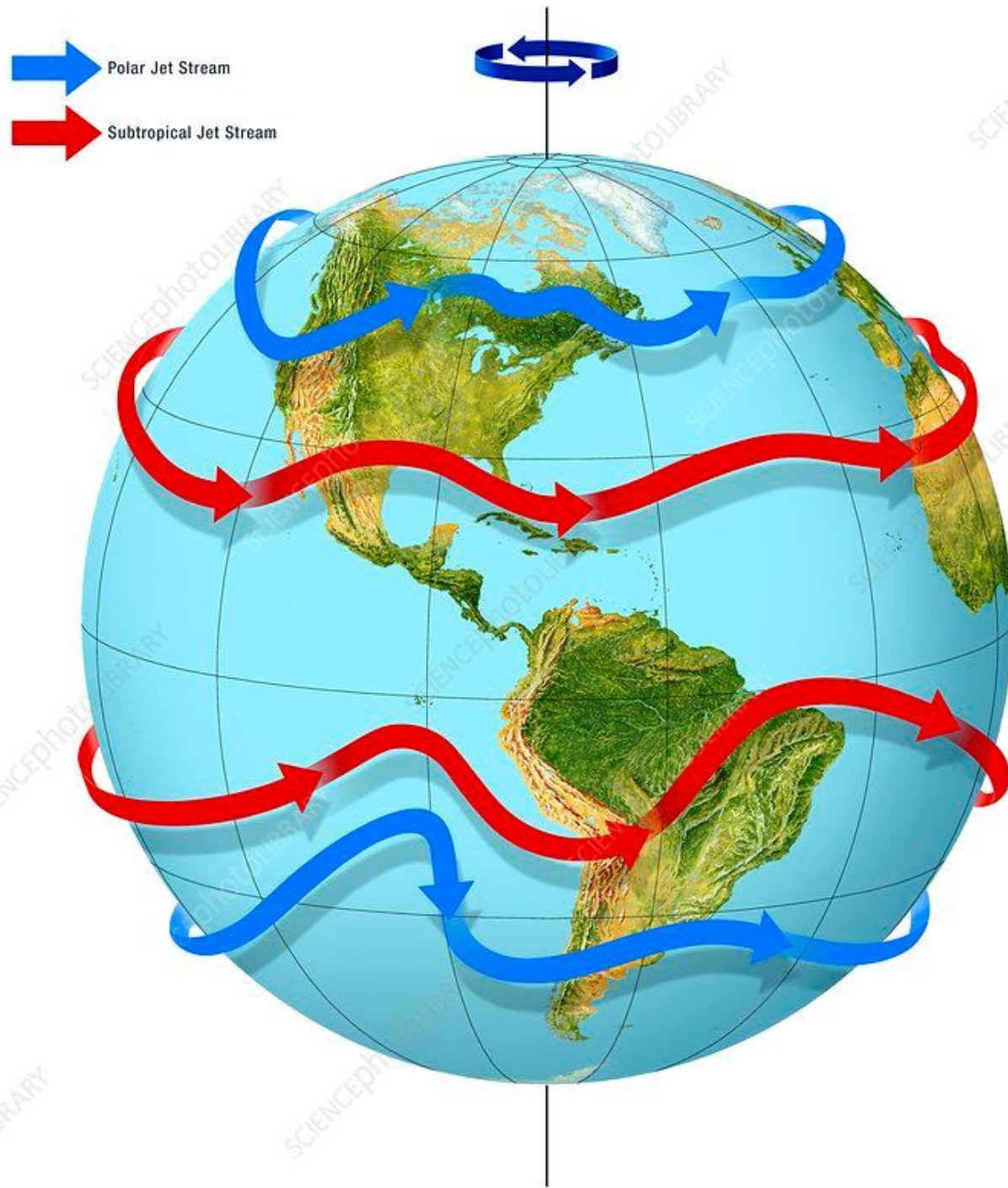
**Зона
пассатов**

**Пояс низкого
давления**

**Конские
широты**

**Внутритропическая
зона конвергенции**

Струйные течения (jets)

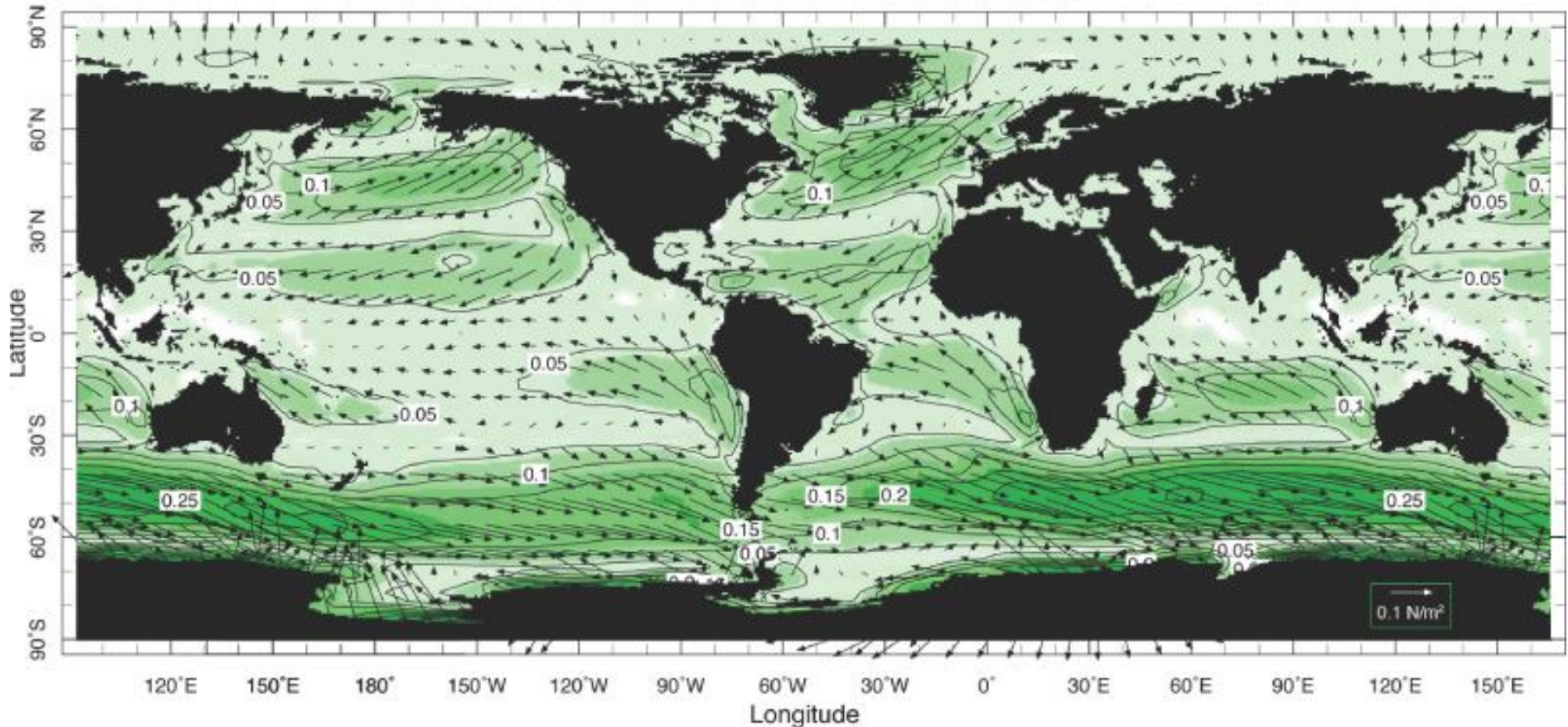


Напряжения трения ветра, действующее на поверхность океана

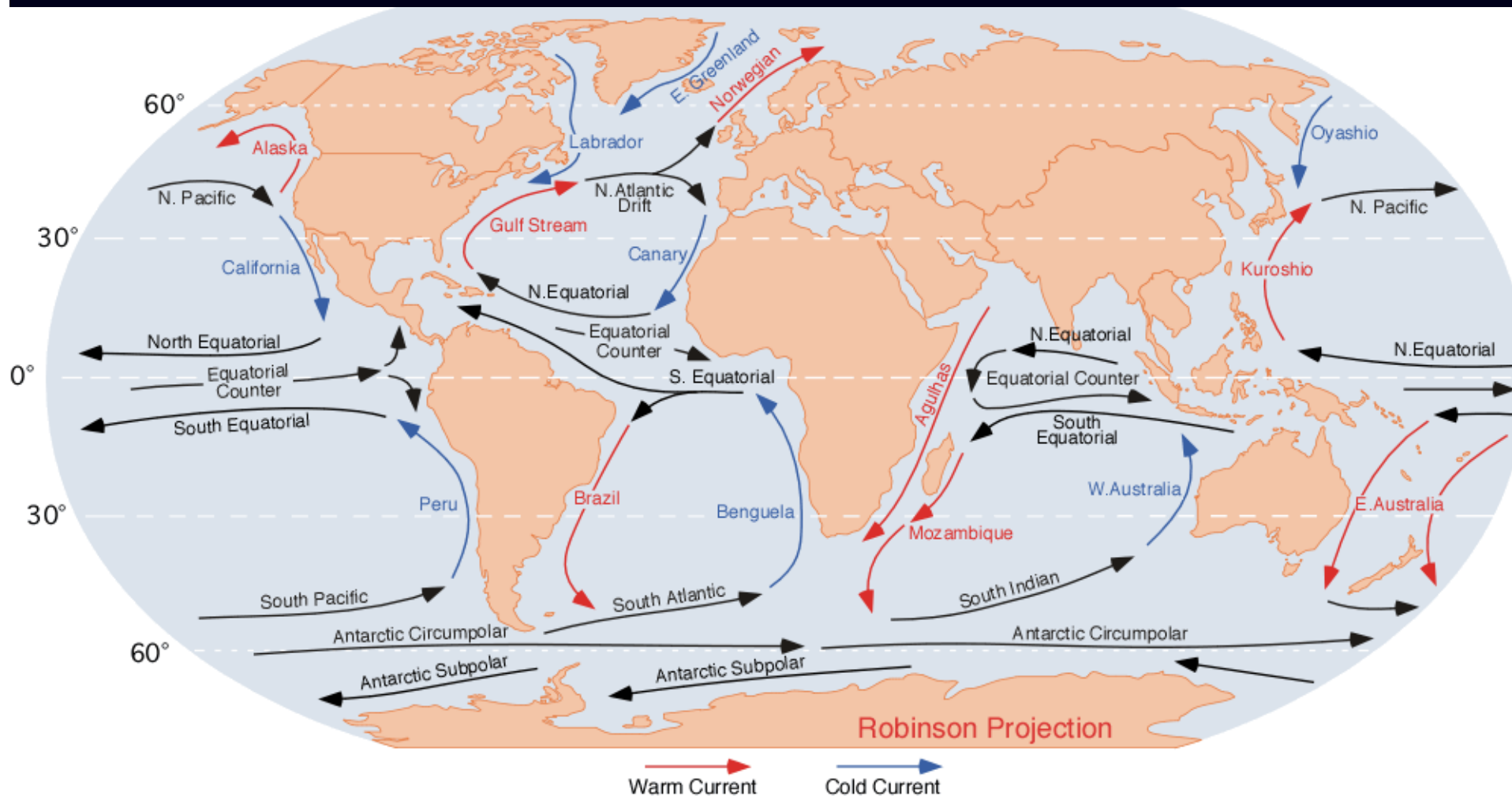
$$\vec{\tau} = C \rho_{\text{атм}} \left| \vec{V} \right| \vec{V}, \quad C \approx 0.0025$$

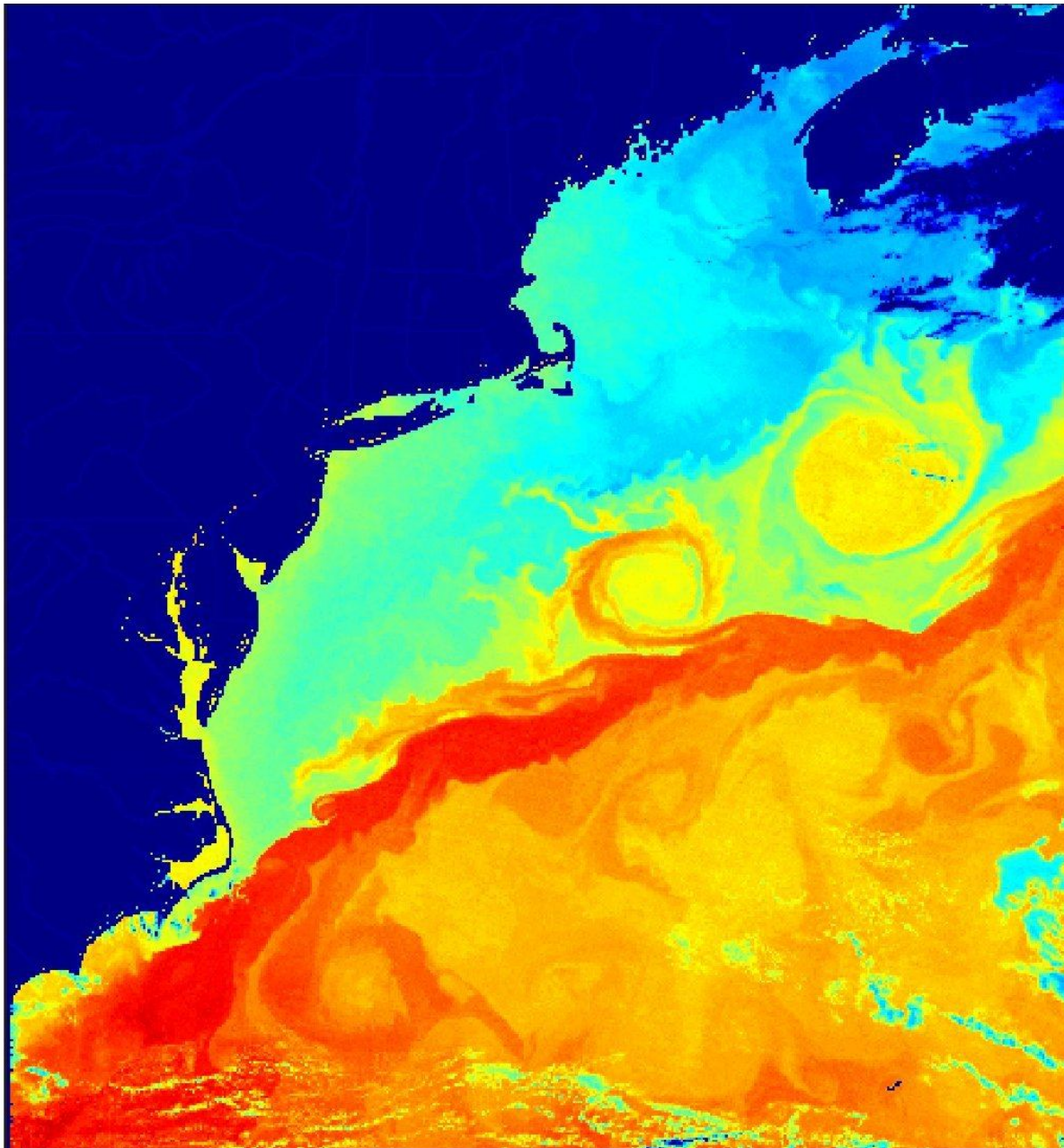
Среднегодовое распределение напряжения трения ветра (Н/м²)

Surface Wind Stress (N/m²)



Течения на поверхности Мирового океана





CoastWatch

AVHRR Temperature

Filename: E9716211.ND7

IMGMAP Image

NOAA 12 Orbit: 31555

6/11/97 JD 162 11:27 GMT

Pixel Size: 4.17 km

Lat Range: 29.94N to 45.82N

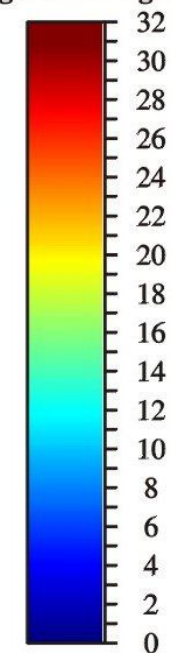
Lon Range: 79.08W to 58.81W

Horiz. Offset: -1994 2

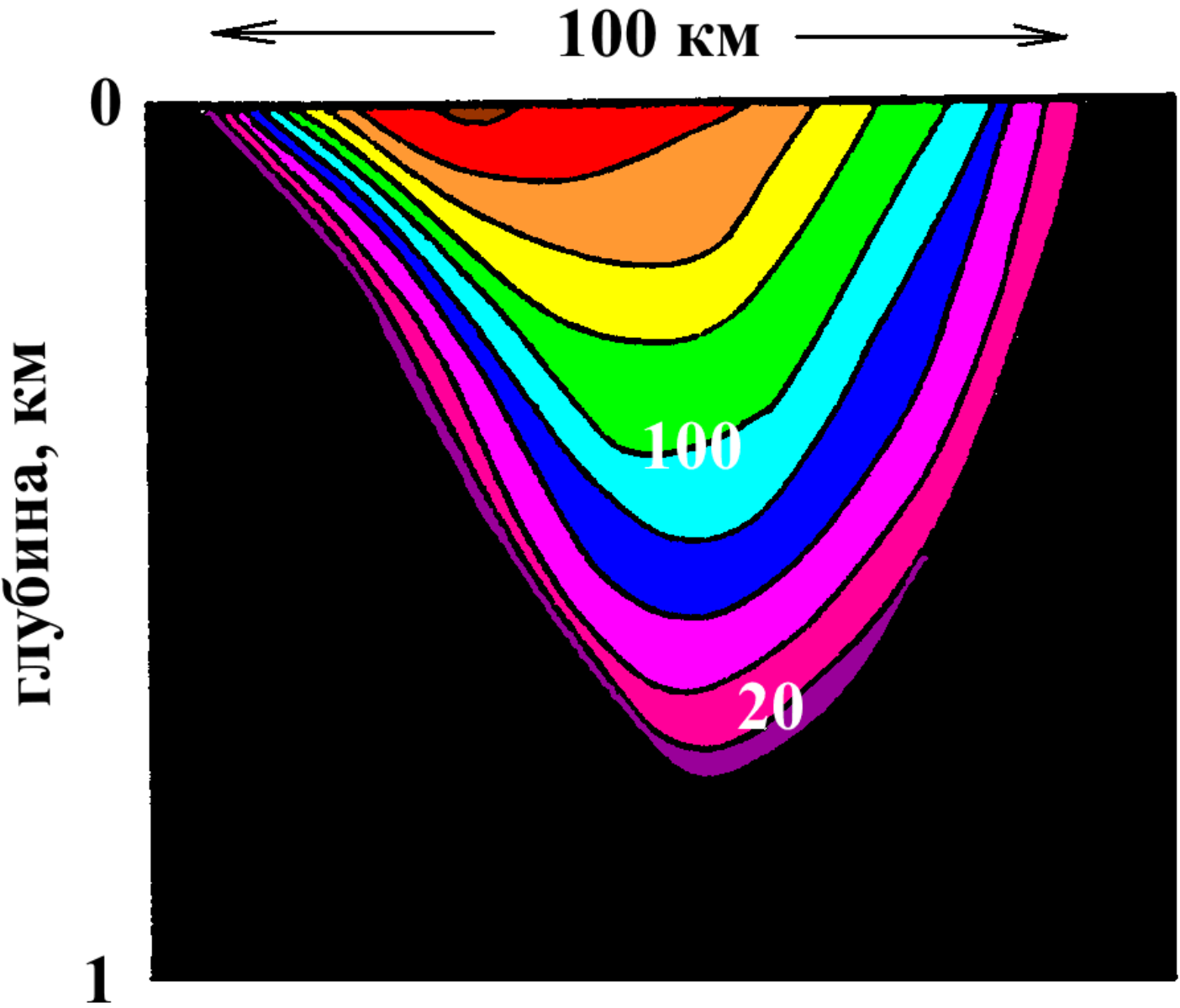
Vert. Offset: 4681 0

SST - Split Window

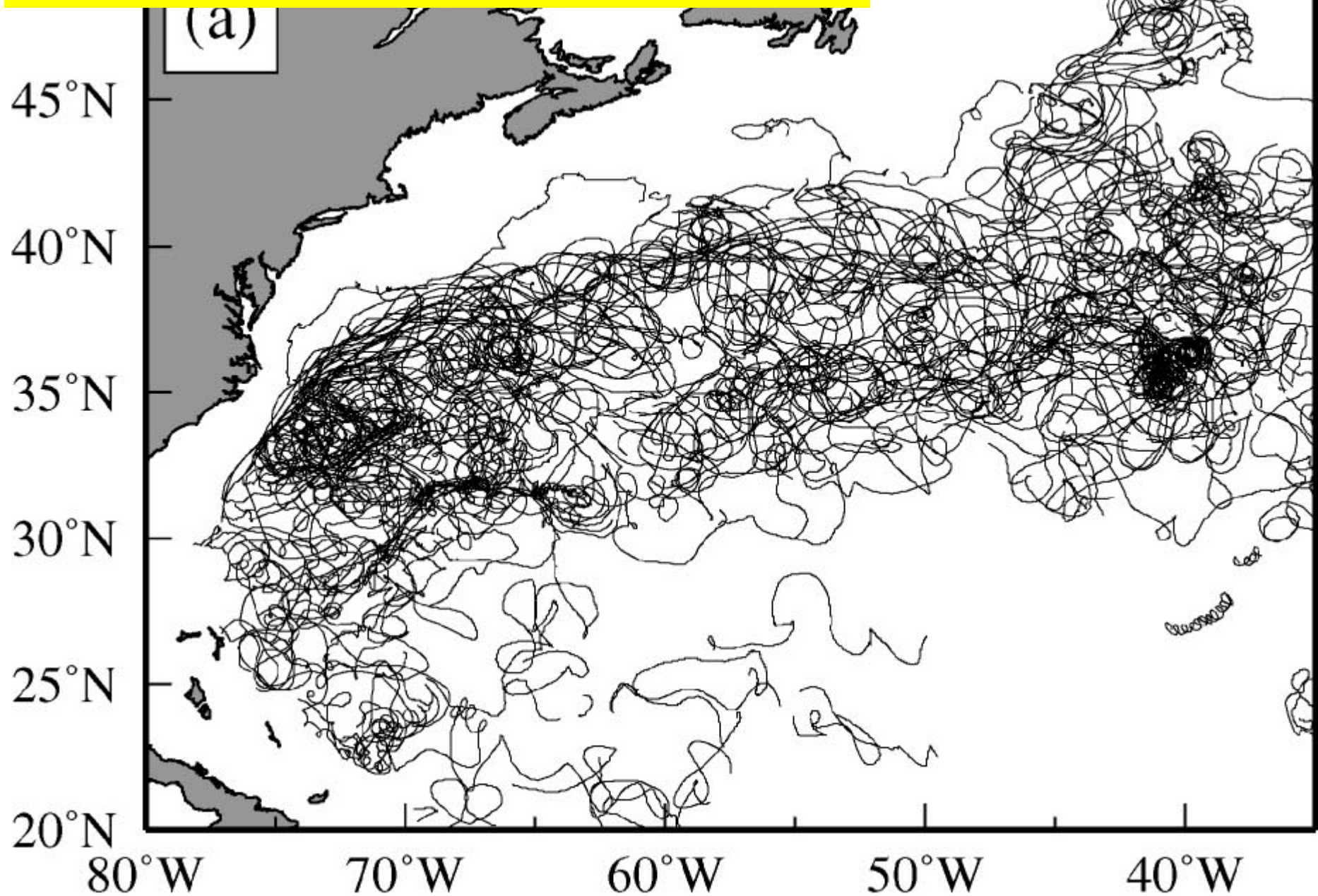
Surface Temperature (Degrees Centigrade)



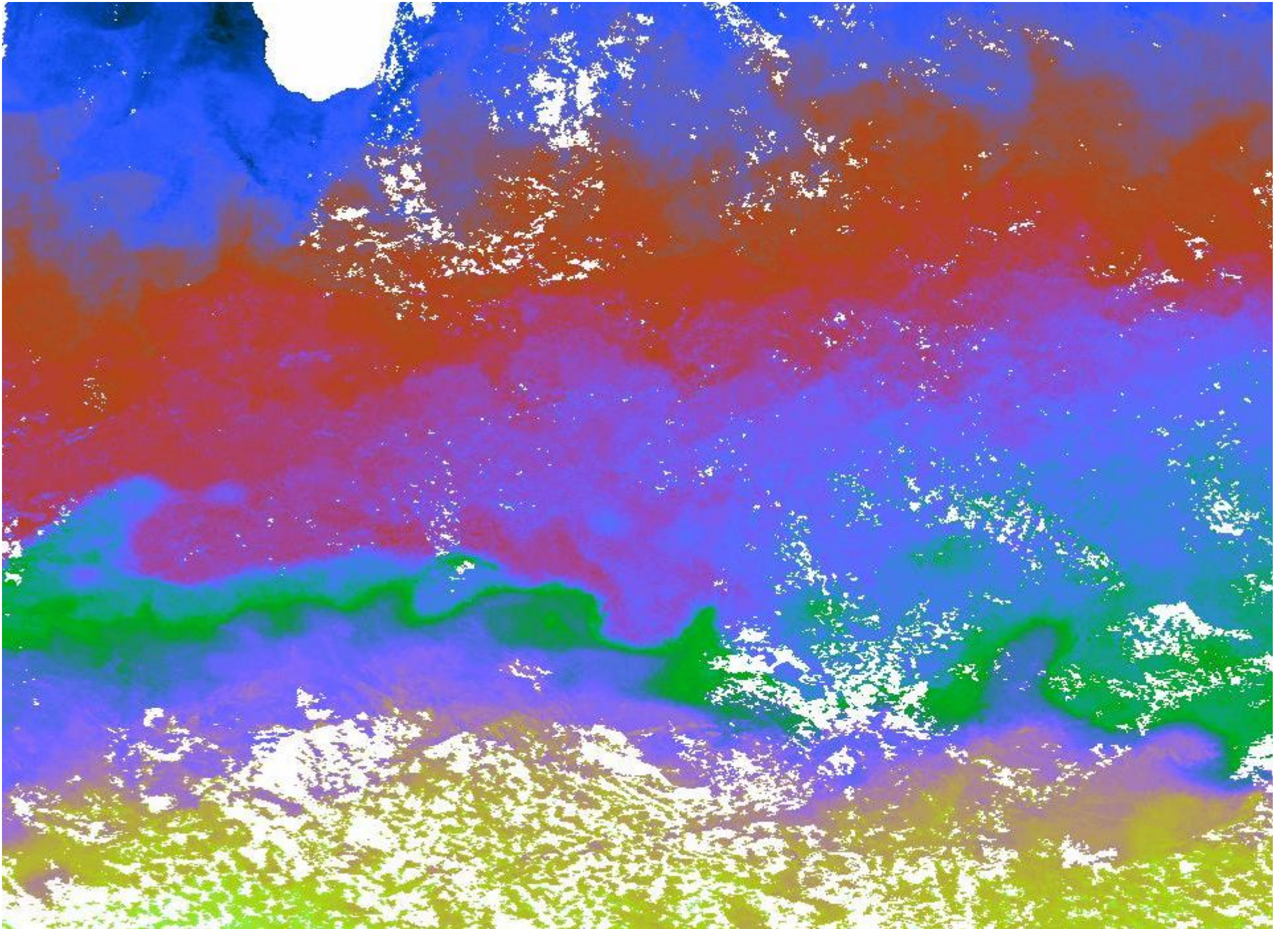
Вертикальная структура течения Гольфстрим



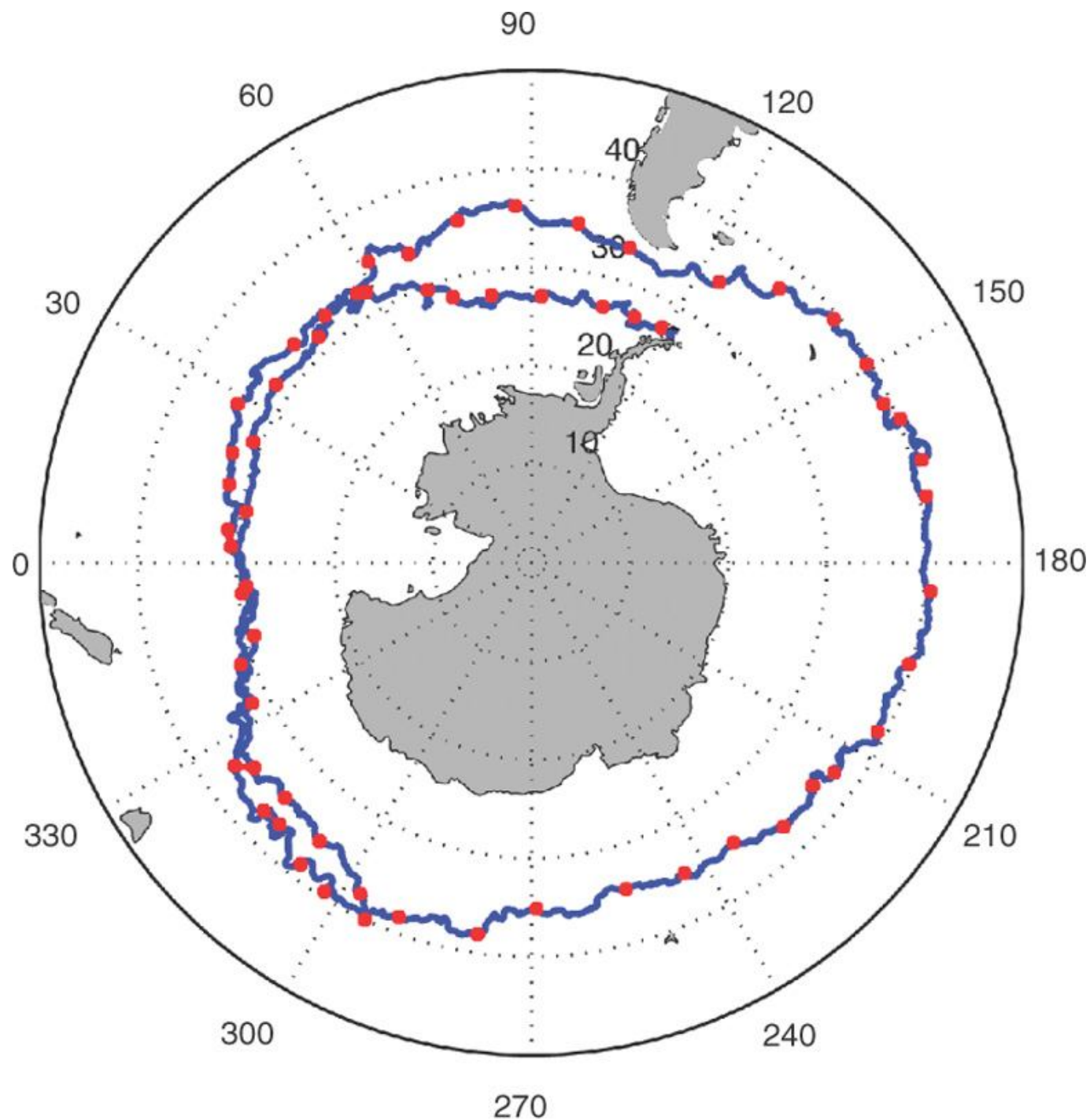
Isobaric floats at 700-m depth



[Veneziani et al., 2004]



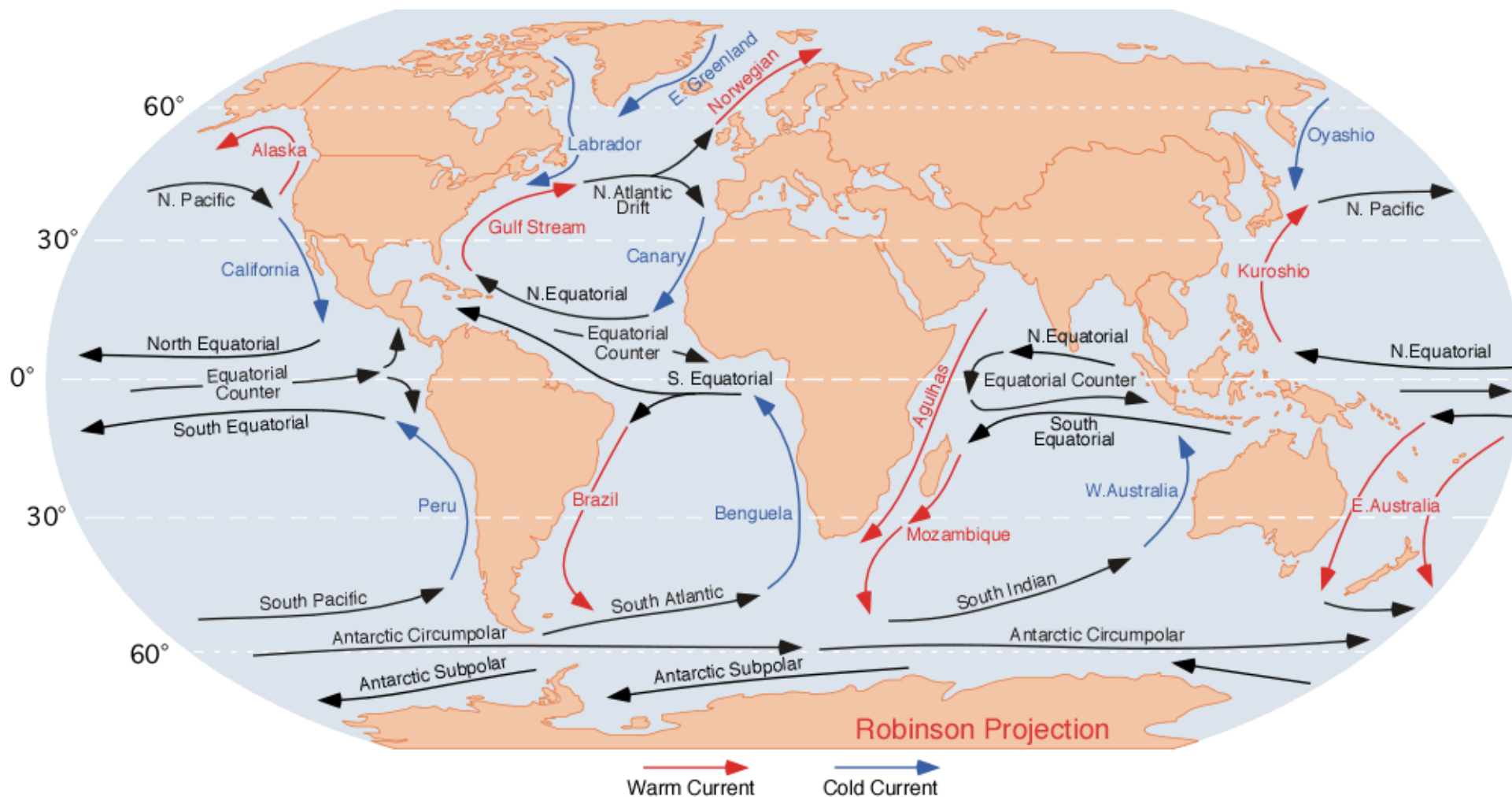
**Траектория
поверхностного
дрифтера за
период с марта
1995 г. по март
2000 г. Красные
точки – 30 сут.
интервал**



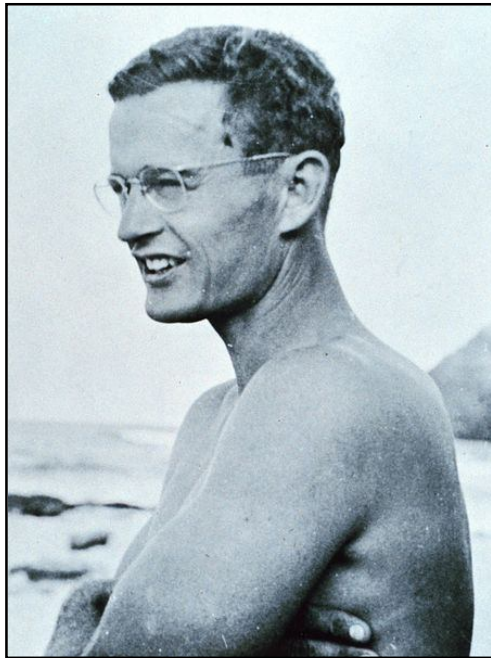
(Courtesy of Nikolai Maximenko.)

Течения на поверхности Мирового океана

Структура поверхностных течений была описана в основном к середине XX века. Но было ясно, что целостная картина движения вод в толще океана является более сложной.



**Глубинное течение
обнаружено в 1951 г.
рыбаками под Южным
Пассатным течением
(случайно!)**



***Таунсенд Кромвелл*
(1922–1958)
американский
океанограф**

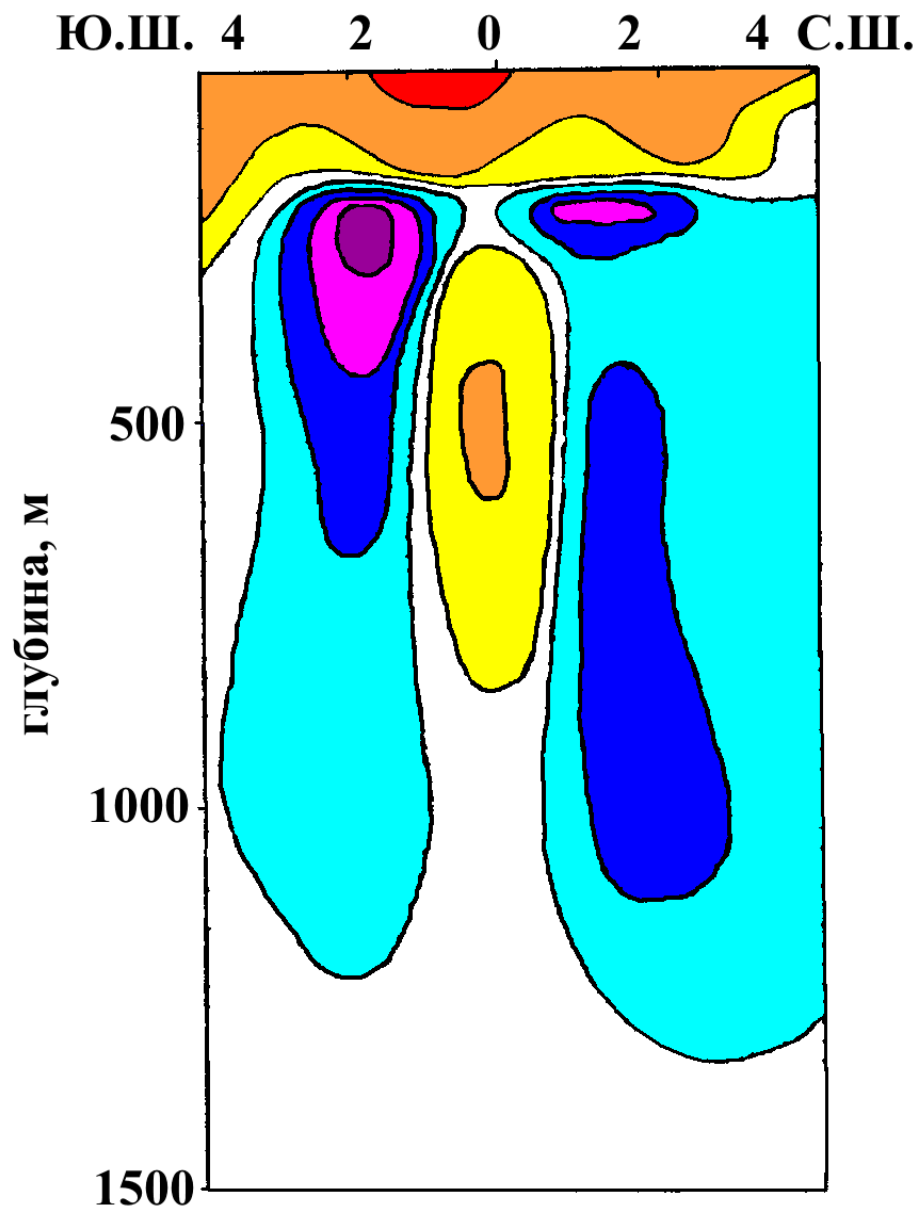
- ❑ *Таунсенд Кромвелл:*
«...подводная река вдоль
Экватора от Соломоновых
до Галапагосских о-вов
(8000 миль), ширина 150-200
миль, скорость до 1.5 м/с»**
- ❑ Вначале названо
Экваториальным
противотечением, после
гибели Т.Кромвелла в 1958г.
в авиакатастрофе
переименовано в течение
Кромвелла**
- ❑ В дальнейшем исследовано
экспедицией на НИС
«Витязь»**

**Вертикальная структура
течения Кромвелла в
плоскости 176° З.Д.
(НИС «Витязь»)**



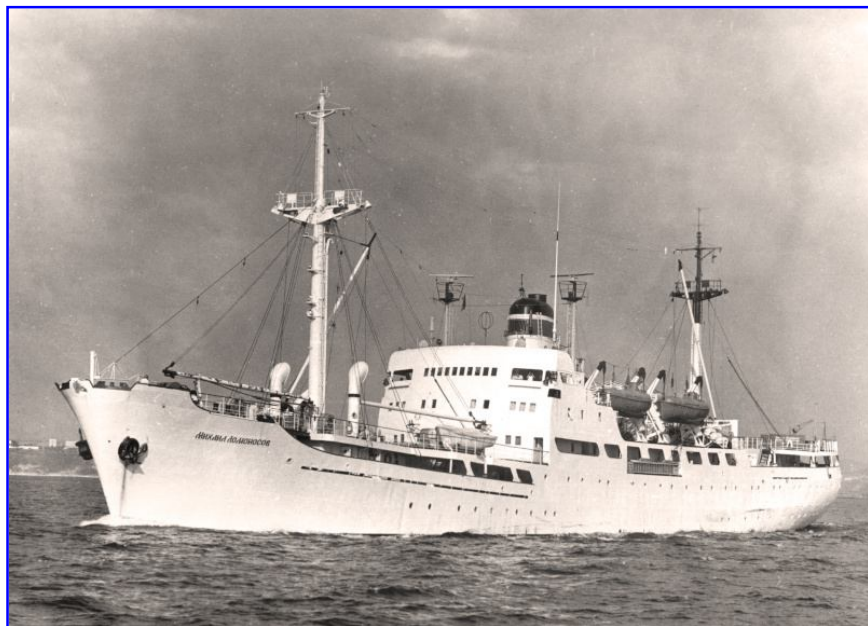
Особенности:

- 1. Устойчивая П-образная структура**
- 2. В центре «П» - обратный поток**



1959 г. с борта НИС «Михаил Ломоносов» обнаружено экваториальное подповерхностное противотечение в Атлантическом океане (течение Ломоносова)

Глубины 75 – 400 м, скорости до 1.2 м/с, ширина 200-250 миль.



**НИС «Михаил Ломоносов»
- первое в СССР
крупнотоннажное судно,
специально построенное
для комплексного изучения
Мирового океана (по
инициативе
В.В.Шулейкина).**

1959-1960 гг. с борта НИС «Витязь» обнаружено экваториальное подповерхностное противотечение в Индийском океане (течение Тареева, названо в 1974 г.)

Глубины 100-400 м, скорость до 1 м/с, ширина 200-300 миль



**Тареев Борис
Александрович
(1931-1972)**

Океанолог, специалист по гидродинамике океана, доктор физико-математических наук (1970). Участвовал в 7 морских и океанских экспедициях в Черном море, Индийском и Тихом океанах.

По предложению ИО АН СССР открытое в 1960 году в Индийском океане подповерхностное экваториальное противотечение было названо в 1974 году именем Б.А.Тареева.

**1969 г. с борта НИС «Академик Курчатов» обнаружено
Гвиано-Антильское подповерхностное противотечение
в Атлантическом океане**

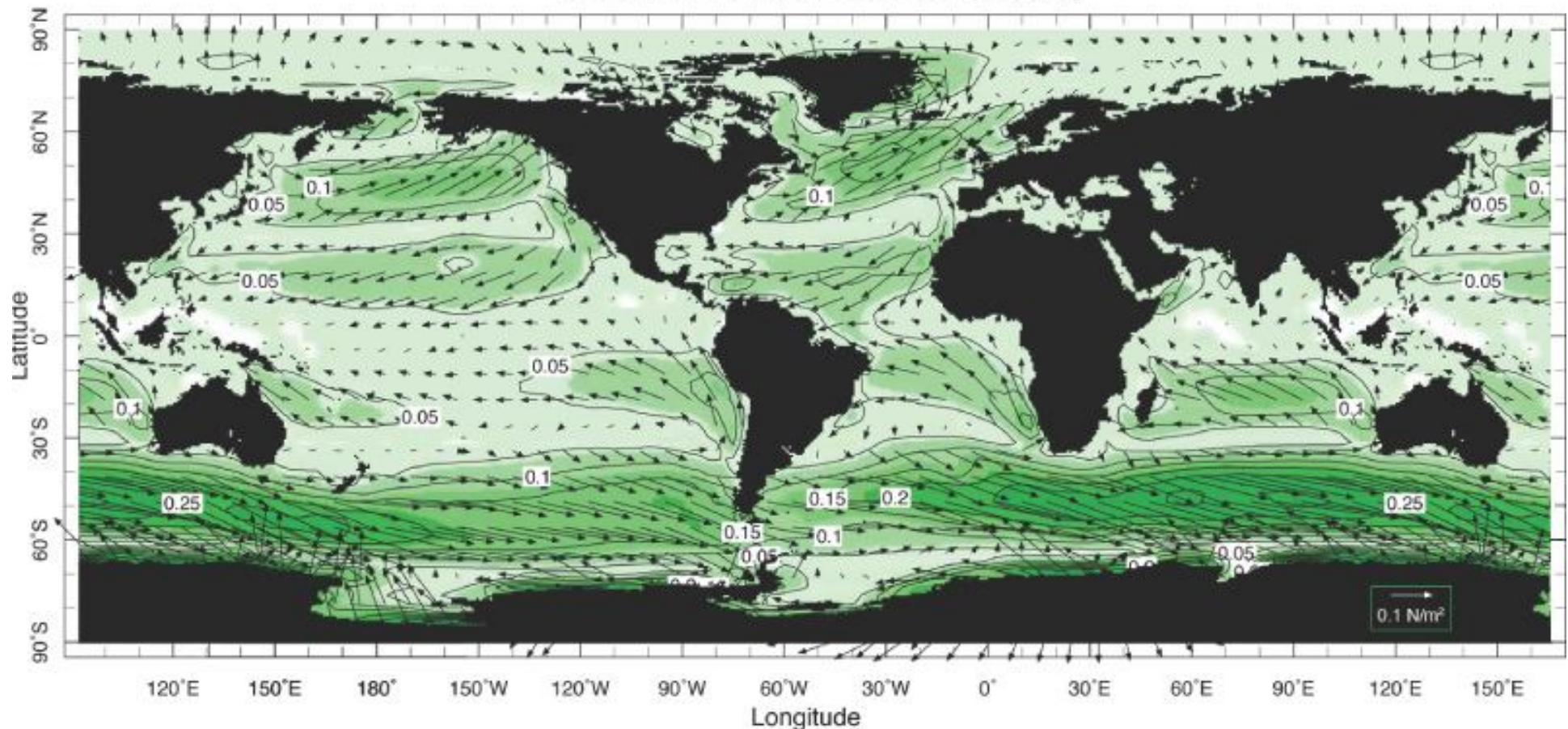
Глубины 600 – 800 м, ширина 80-150 миль.



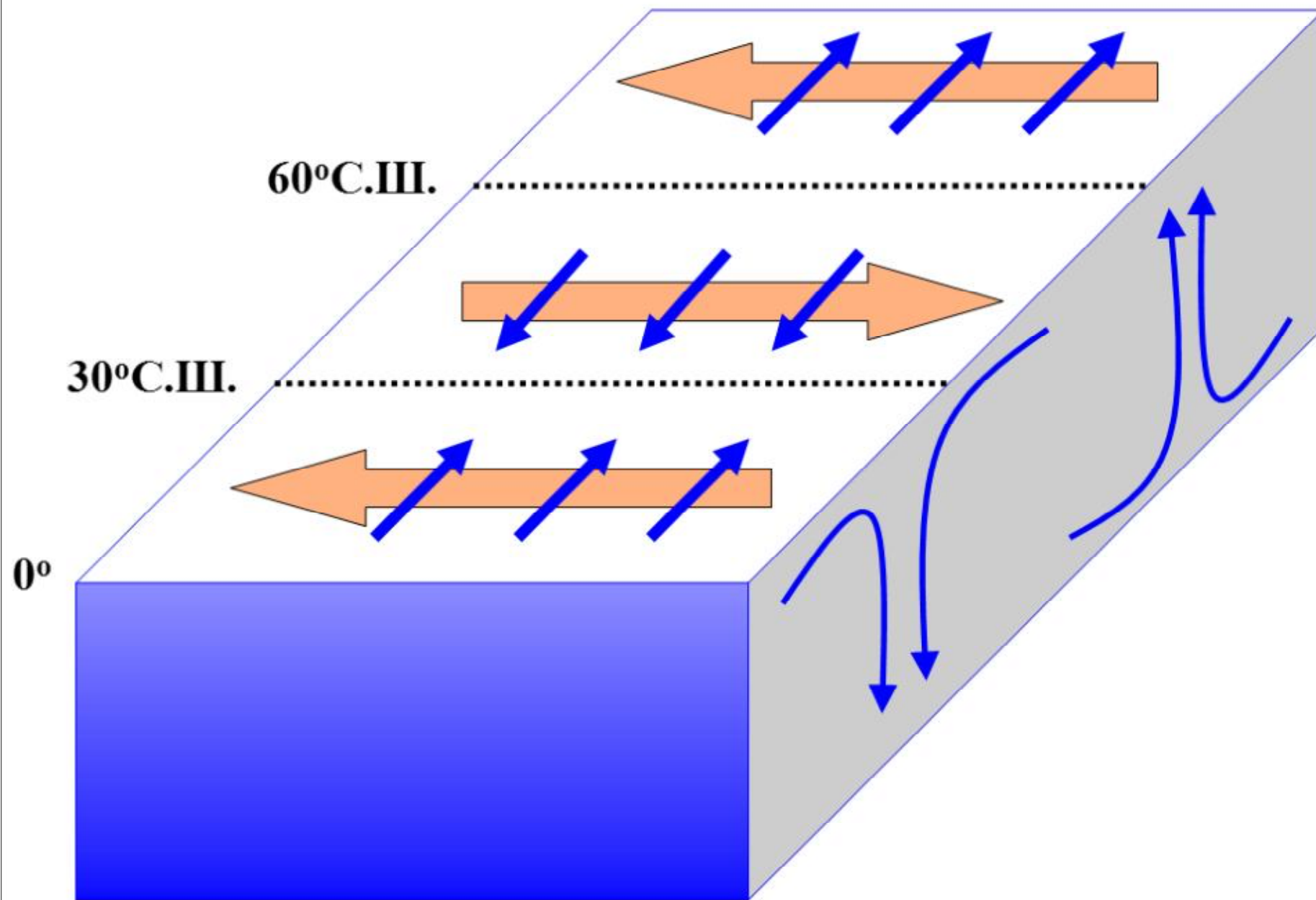
Среднегодовое напряжение трения ветра на поверхности океана

$$\vec{\tau} = C \rho_{\text{атм}} \vec{v} |\vec{v}|, \quad C \approx 0.0015$$

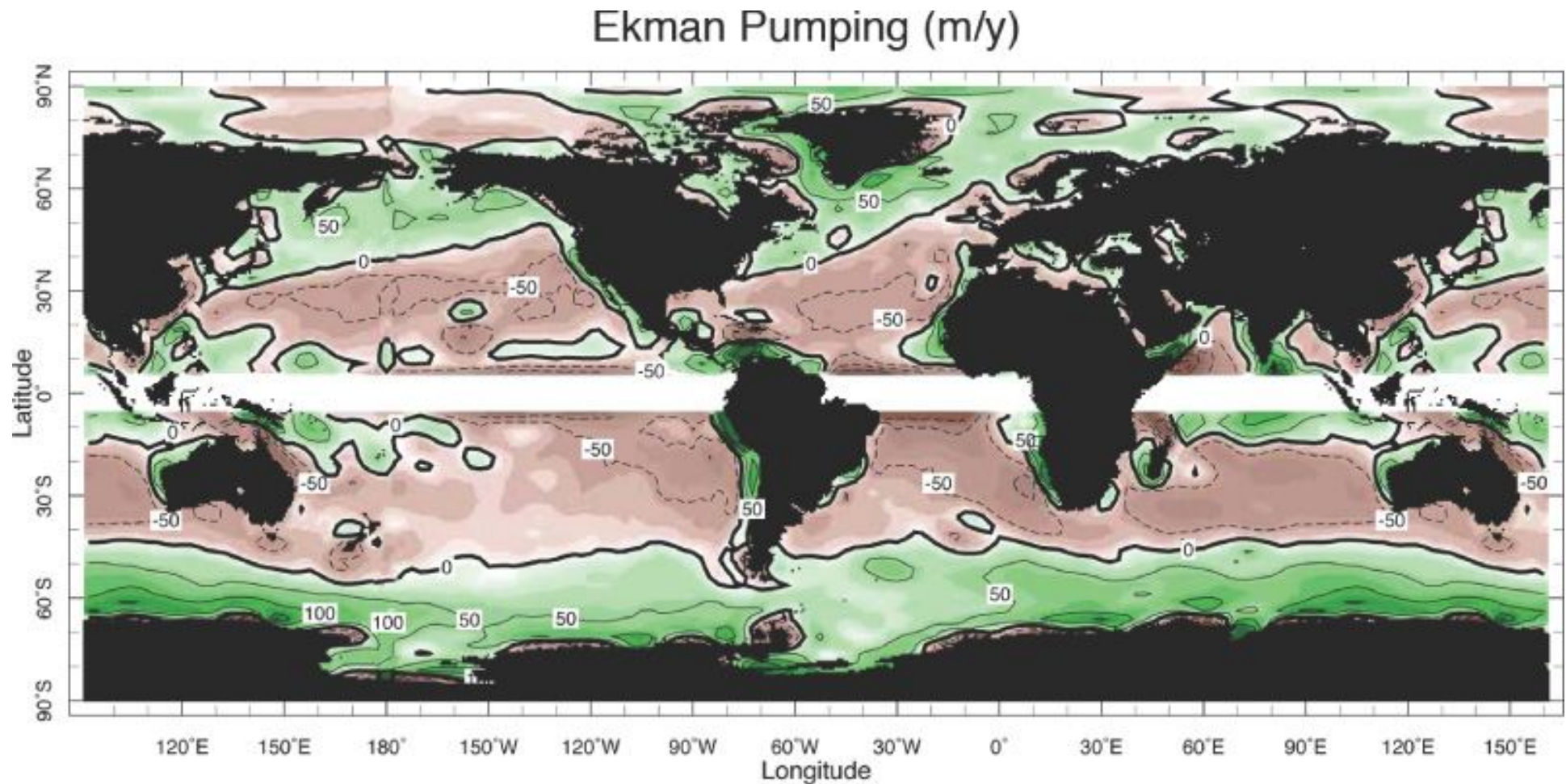
Surface Wind Stress (N/m²)



Экмановский «насос»



Вертикальная компонента скорости [м/год] - результат действия «насоса» Экмана (**поднятие**, **опускание**)



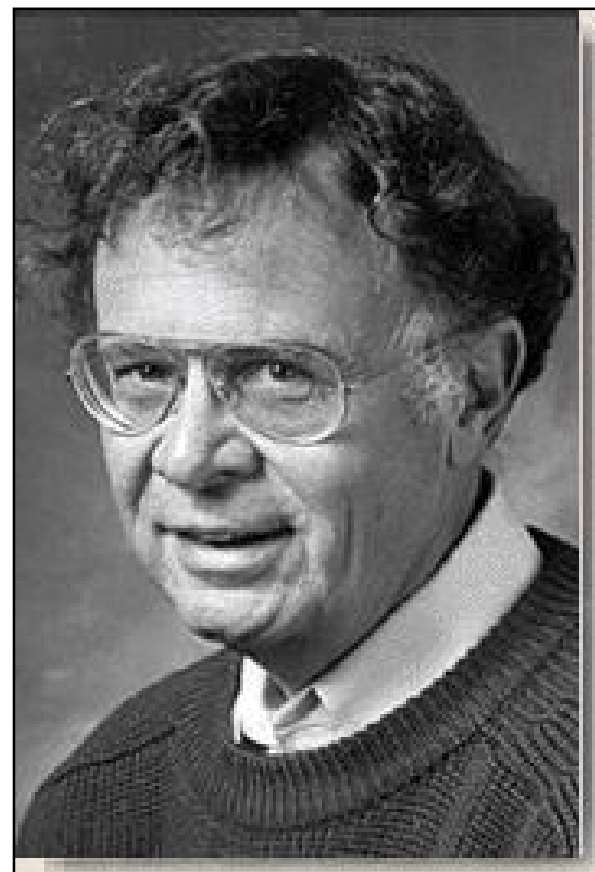
Глобальная межокеанская циркуляция вод («глобальный тепловой конвейер»)



Сергей Сергеевич Лаппо

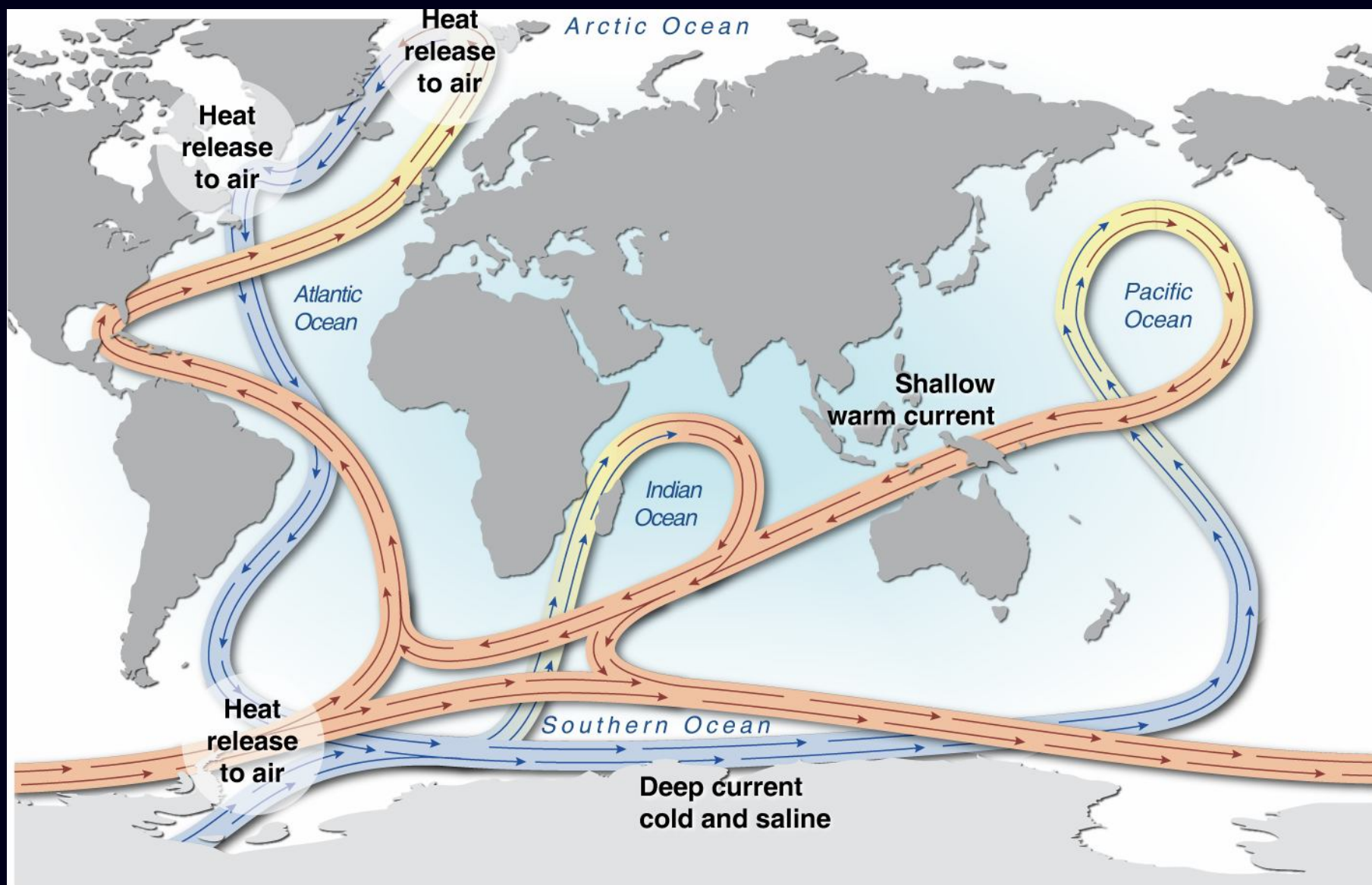
1938-2006

российский океанолог,
член-корр. РАН,
Директор Института
океанологии РАН
(1995—2006)

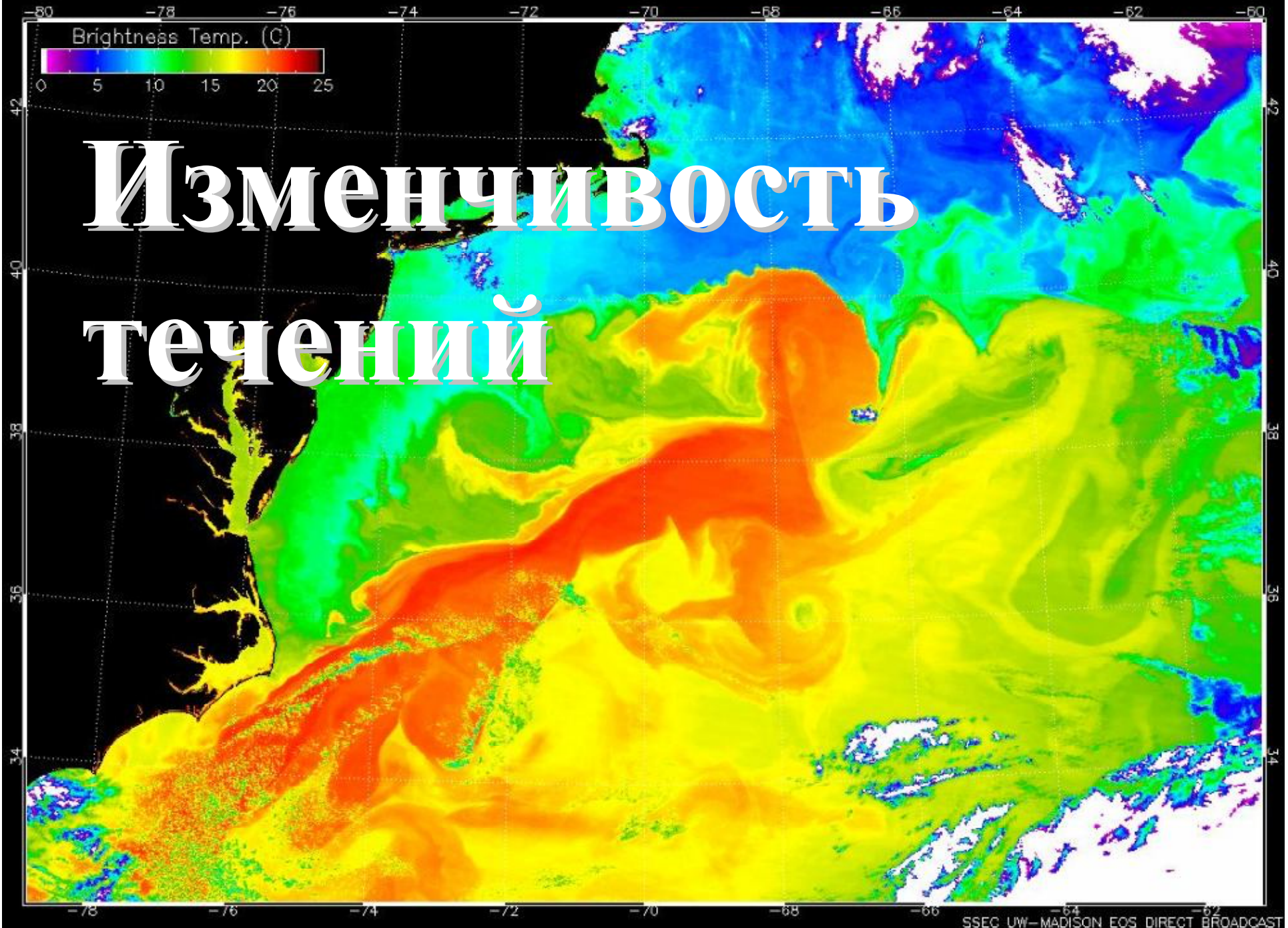


Wallace Smith Broecker
developed the idea of a «global
conveyor belt»

Глобальная меж океанская циркуляция вод («глобальный тепловой конвейер»)



TERRA MODIS 2001-05-02 1543-1553 UTC Band 31 1KM: Gulf Stream

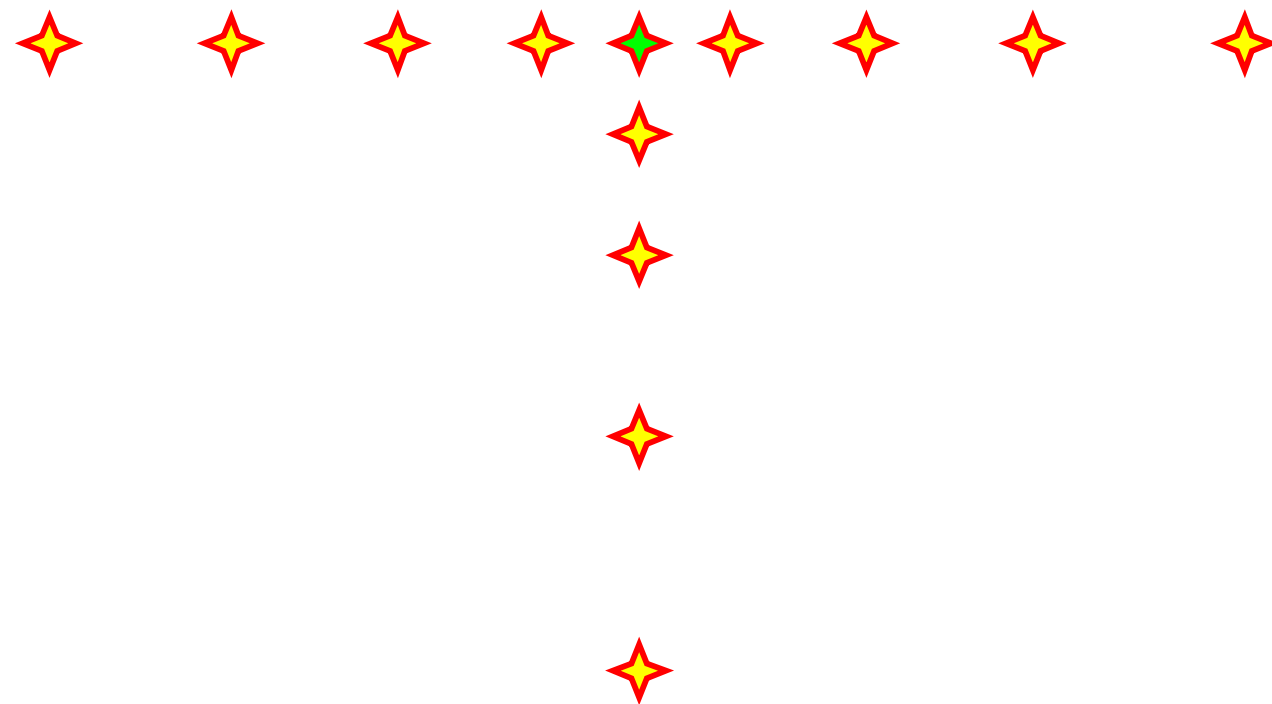


Измeнчивость течений

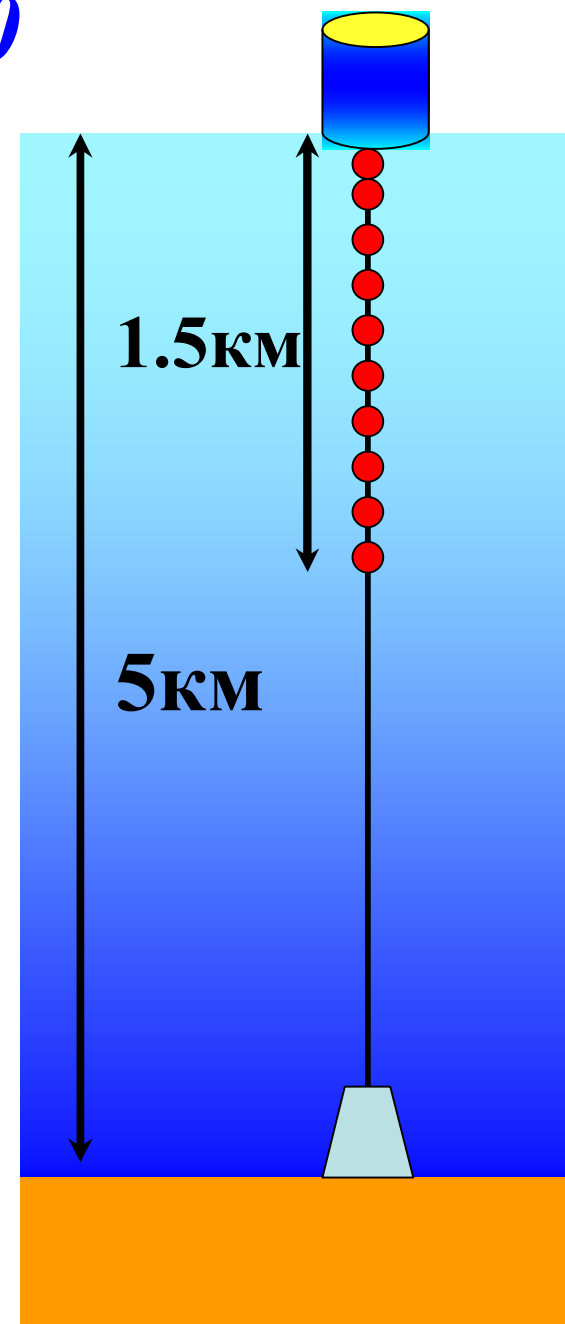
Синоптические вихри

- ❑ Впервые обнаружены в 1970 г. в районе Северного пассатного течения в Атлантическом океане (эксперимент Полигон-70, НИС «Академик Курчатов», «Дмитрий Менделеев», «Андрей Вилькицкий»)
- ❑ Диаметр 100-150 км, скорость 10-20 см/с, скорость перемещения центра 5 см/с
- ❑ В 1973 г. существование синоптических вихрей подтверждено американскими океанологами (MODE – Mid Ocean Dynamical Experiment)
- ❑ 1977-1978 эксперимент ПОЛИМОДЕ
 - Обнаружено 20 крупных (200-300 км) и несколько десятков мелких вихрей
 - Установлено, вихрям принадлежит не менее 90% кинетической энергии океана
 - Причина образования – неустойчивость течений

ПОЛИГОН-70



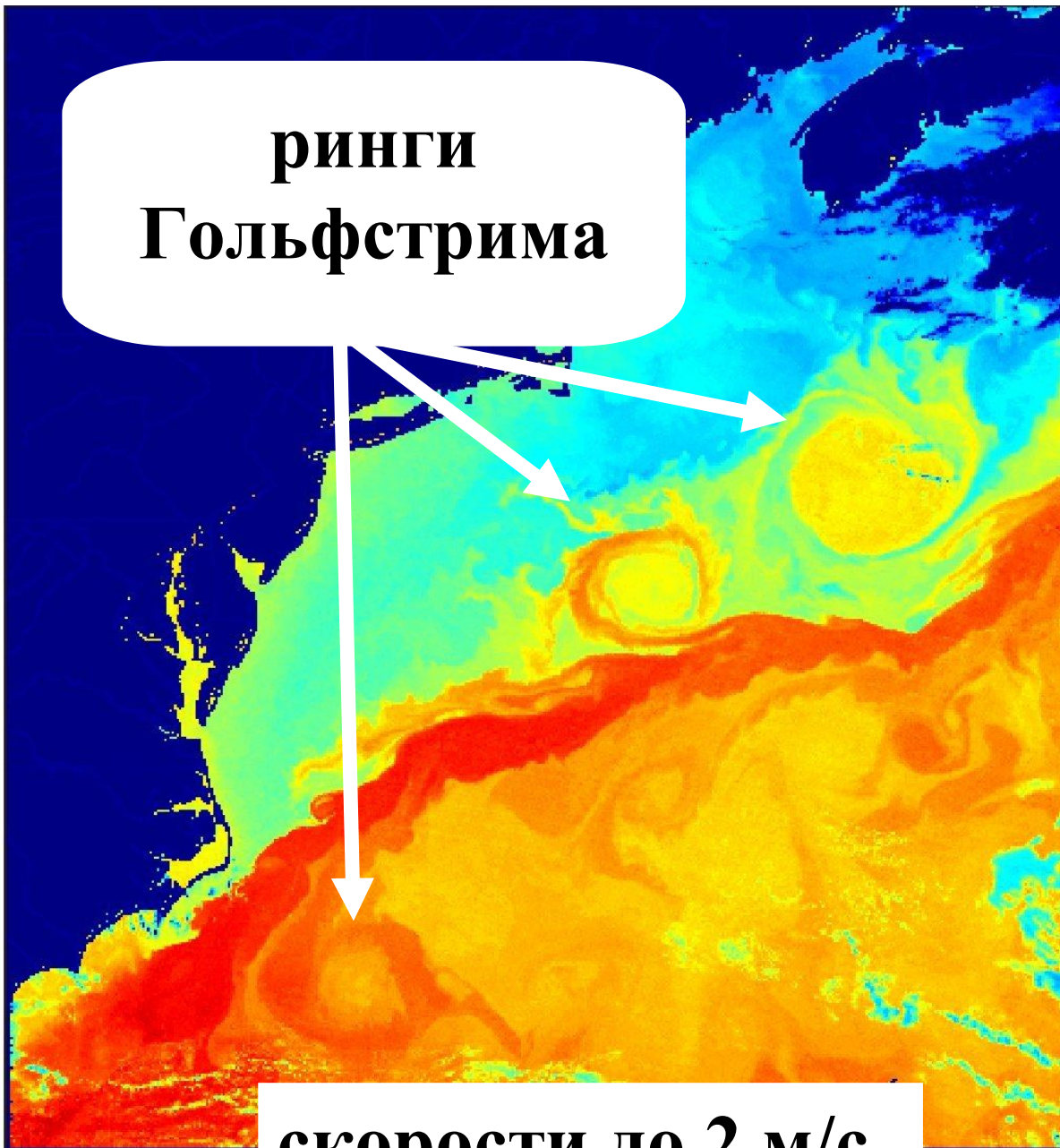
120x120 миль



Мгновенная картина поверхностных течений (вихреразрешающая численная модель)



ринги
Гольфстрима



скорости до 2 м/с



CoastWatch

AVHRR Temperature

Filename: E9716211.ND7

IMGMAP Image

NOAA 12 Orbit: 31555

6/11/97 JD 162 11:27 GMT

Pixel Size: 4.17 km

Lat Range: 29.94N to 45.82N

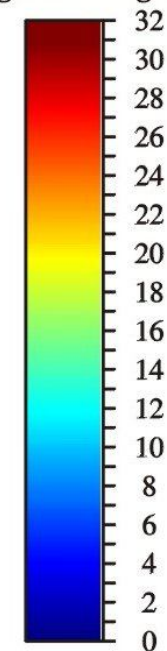
Lon Range: 79.08W to 58.81W

Horiz. Offset: -1994 2

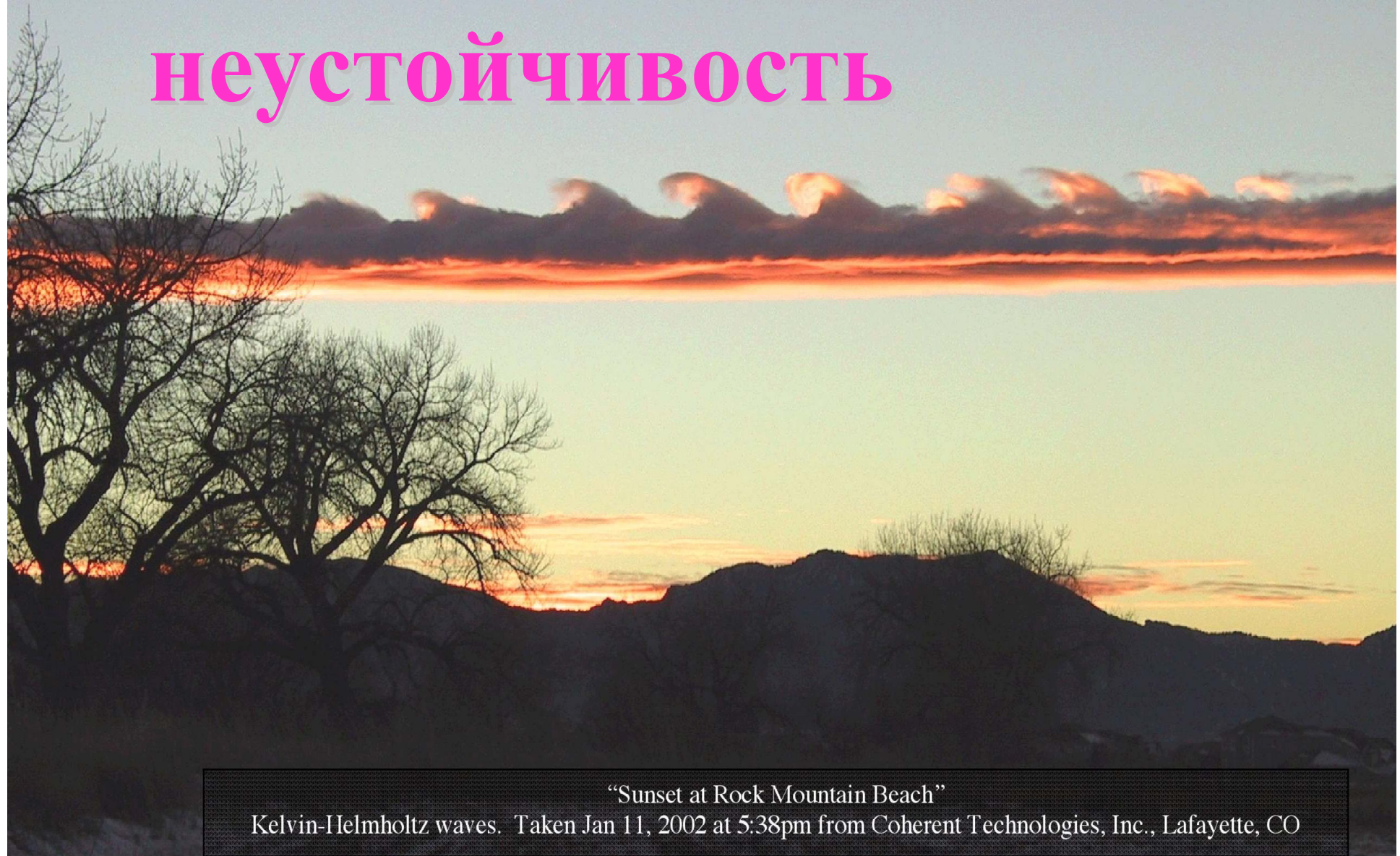
Vert. Offset: 4681 0

SST - Split Window

**Surface Temperature
(Degrees Centigrade)**



Сдвиговая неустойчивость

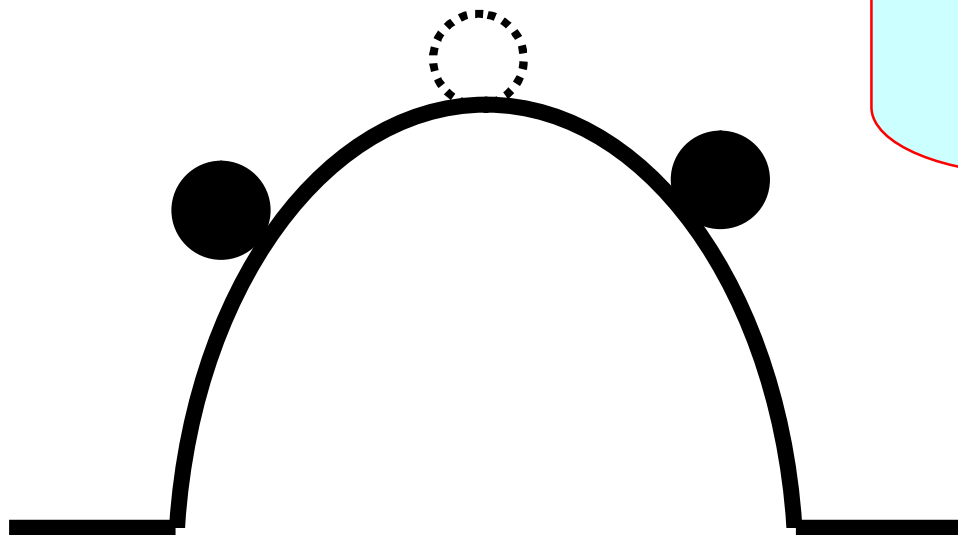


“Sunset at Rock Mountain Beach”

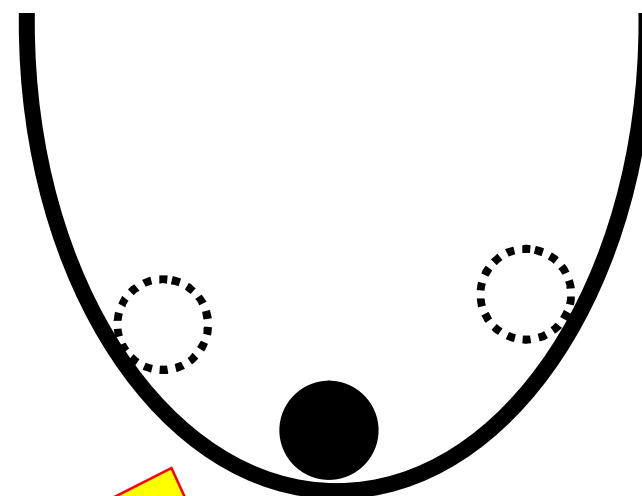
Kelvin-Helmholtz waves. Taken Jan 11, 2002 at 5:38pm from Coherent Technologies, Inc., Lafayette, CO

Устойчивость

Понятие «устойчивость» применимо к положению равновесия и к режиму движения

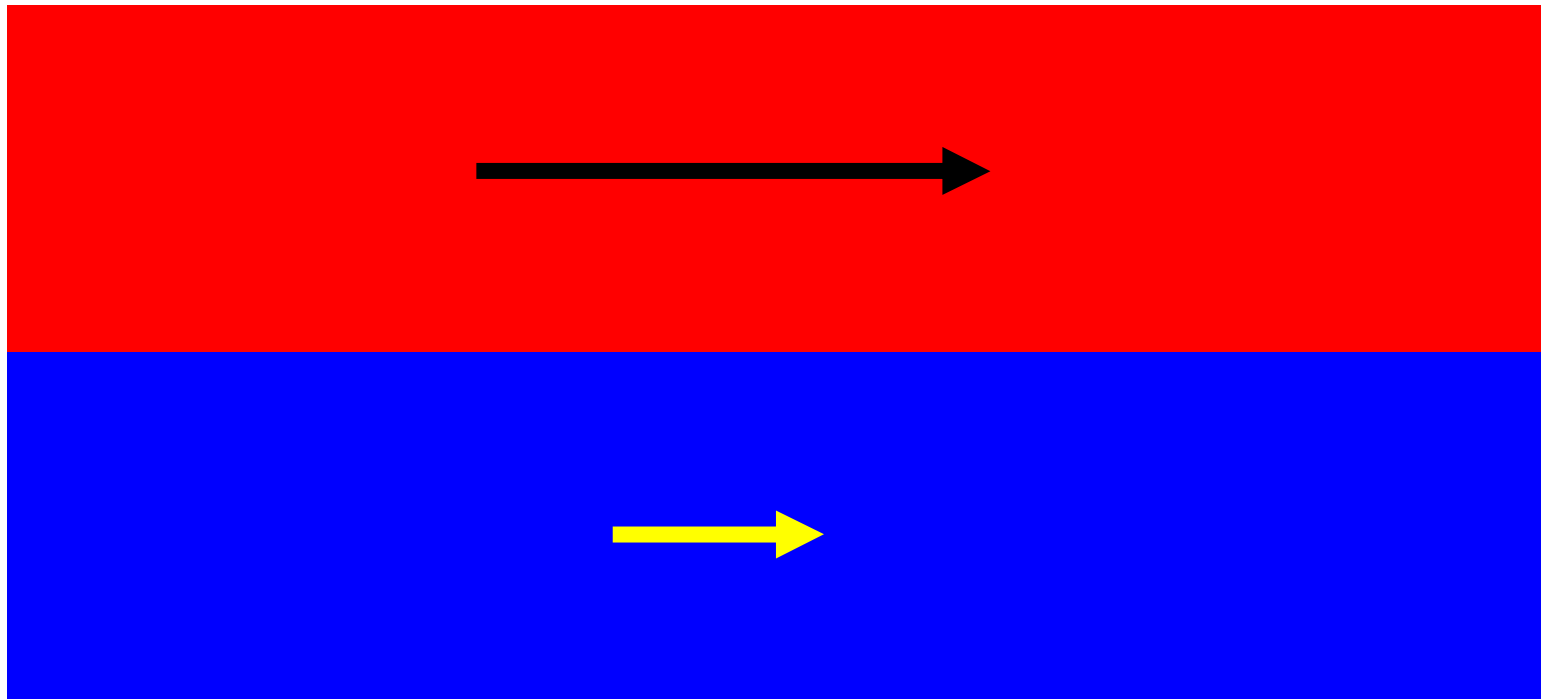


Малые возмущения нарастают со временем



Малые возмущения затухают

Сдвиговая неустойчивость



Волны Кельвина-Гельмгольца

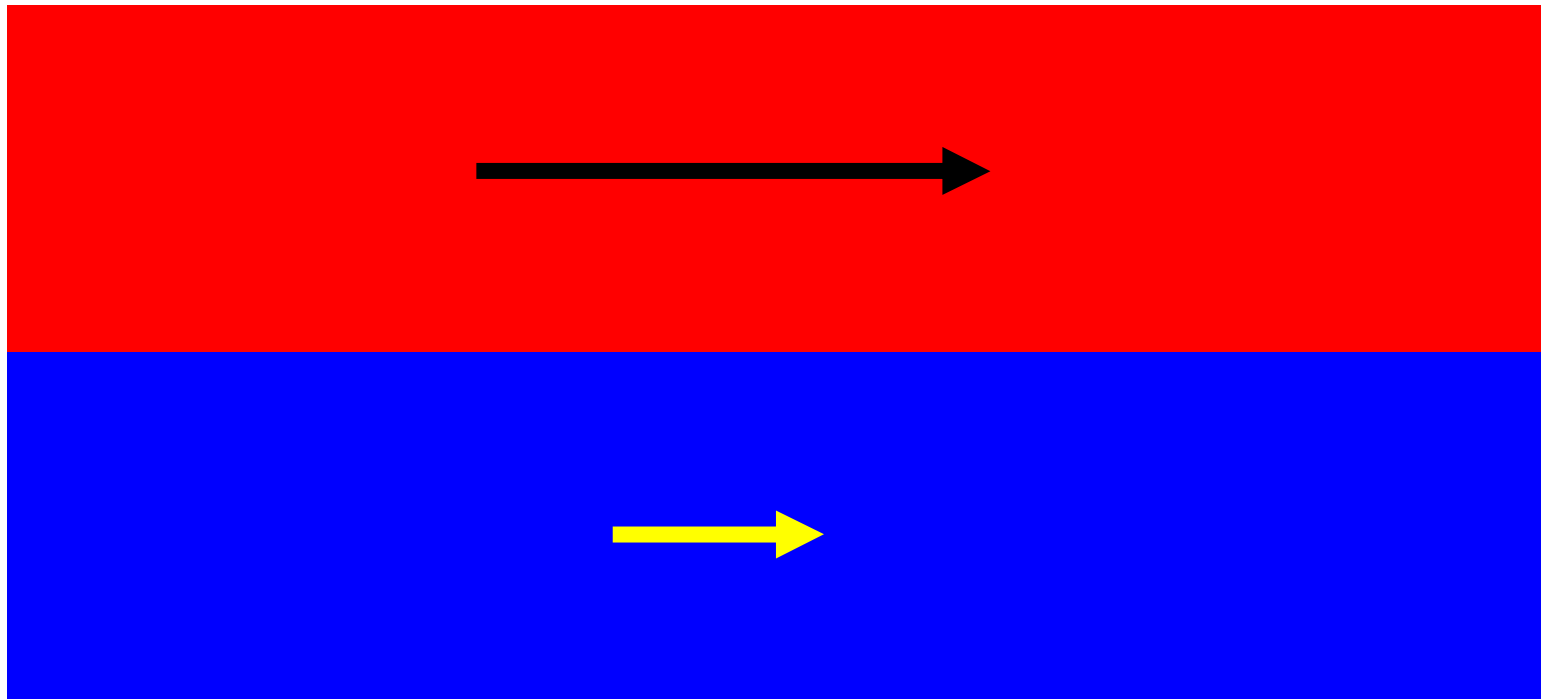


“Sunset at Rock Mountain Beach”

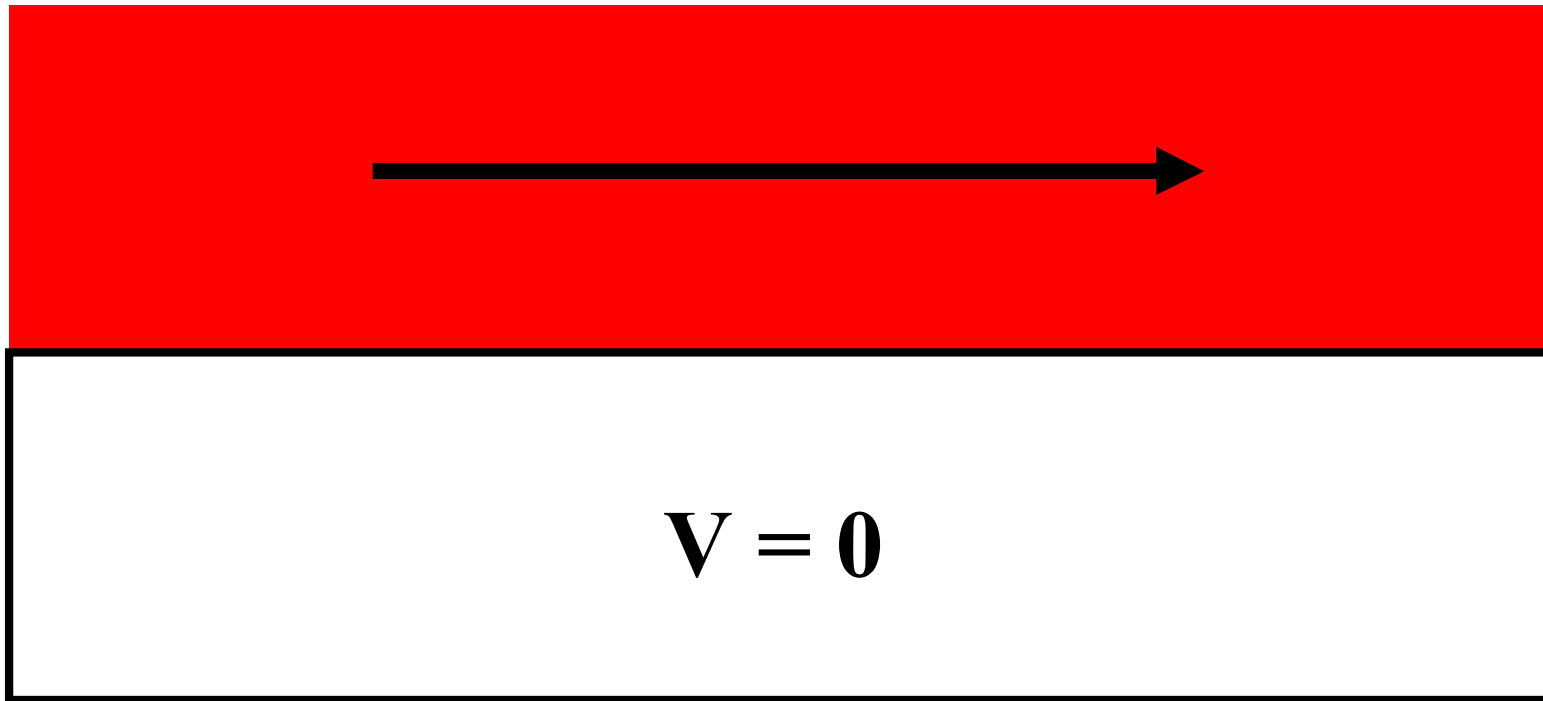
Kelvin-Helmholtz waves. Taken Jan 11, 2002 at 5:38pm from Coherent Technologies, Inc., Lafayette, CO



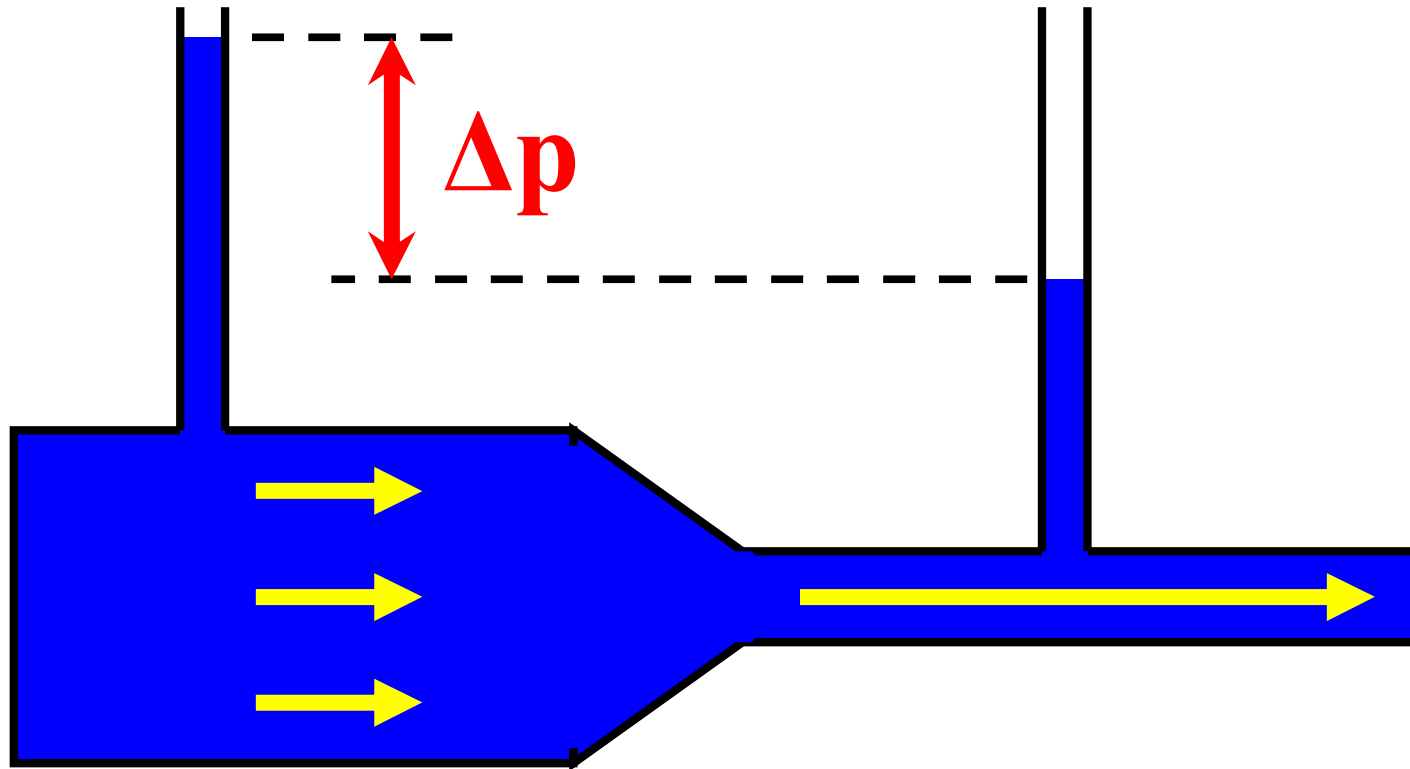
Сдвиговая неустойчивость



Сдвиговая неустойчивость



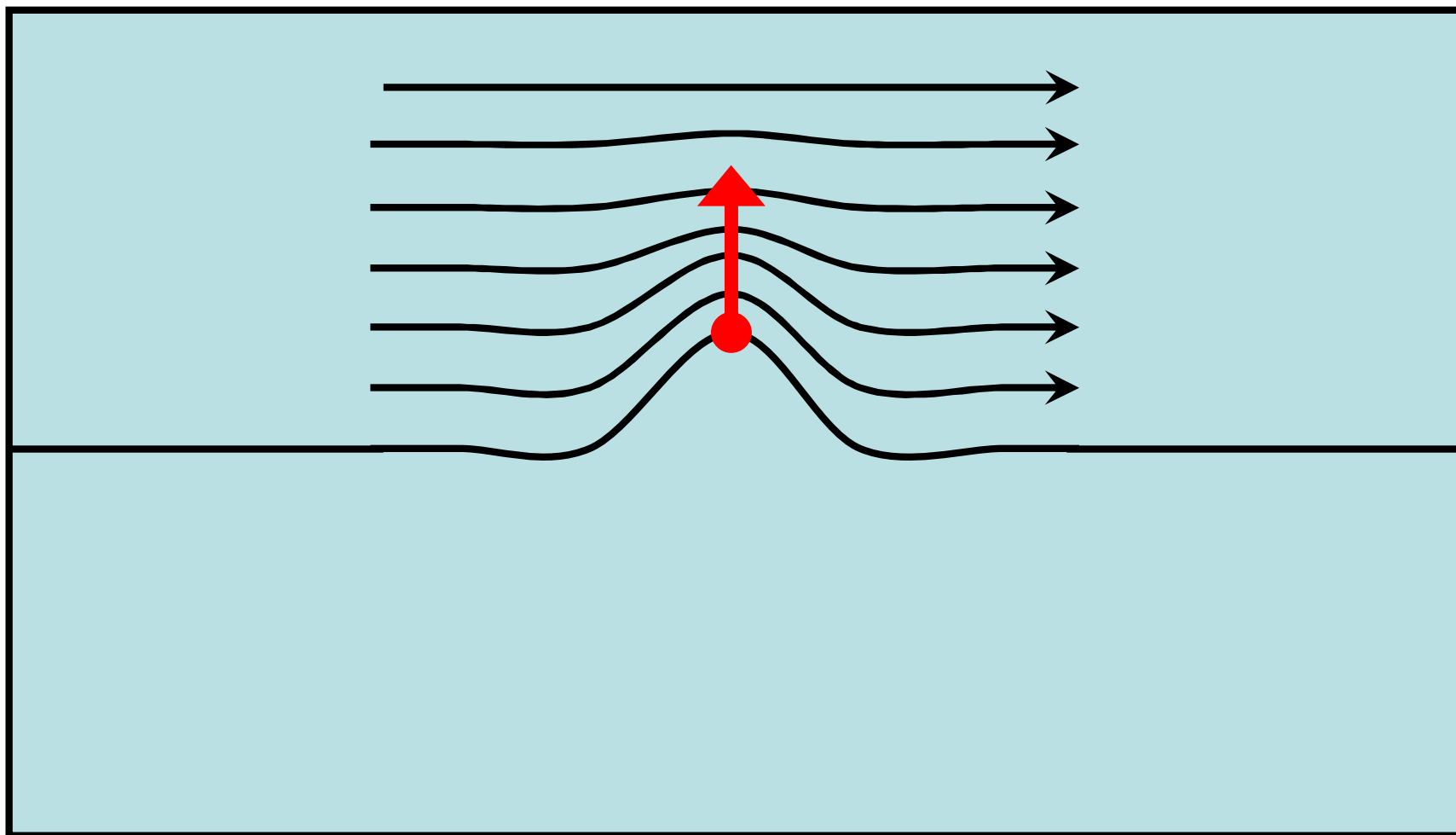
Парадокс гидромеханики



$$\frac{U^2}{2} + \frac{p}{\rho} = \text{const}$$

уравнение Бернулли

Сдвиговая неустойчивость



Сдвиговая неустойчивость

