



# ФИЗИКА и ЭКОНОМИКА КЛИМАТА

Академик Р.И. Нигматулин

[nigmar@ocean.ru](mailto:nigmar@ocean.ru)

*Московский Государственный  
университет  
им. М.В. Ломоносова*

*Механико-математический  
факультет  
Заведующий кафедрой*

*РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК*

*Институт океанологии  
им. П.П. Ширшова  
Научный руководитель*

**ПЕРВАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
«Новый путь декарбонизации экономики»**

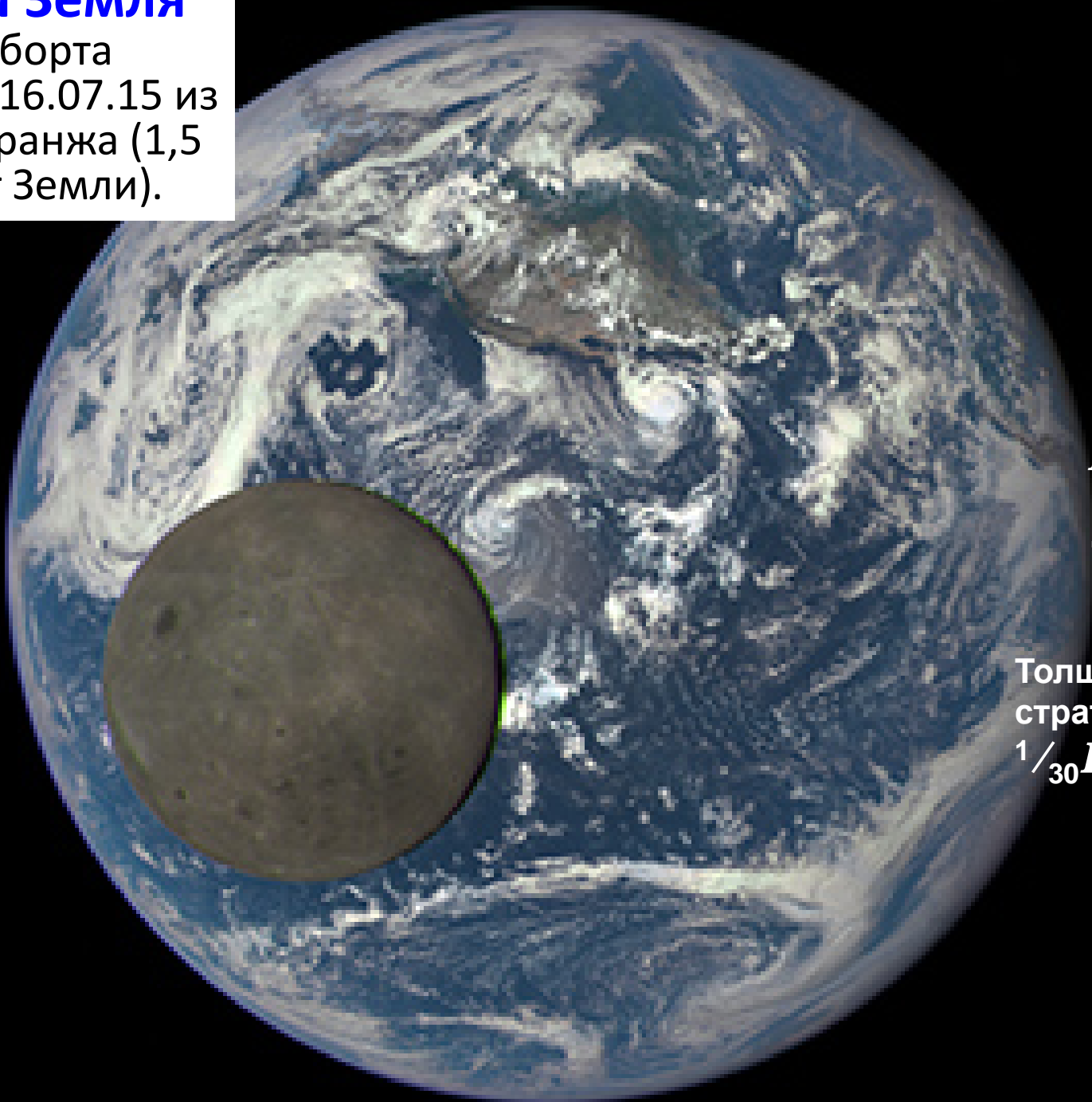
Казахский национальный исследовательский университет им. Аль - Фараби

# ГЛОБАЛЬНЫЕ КРИЗИСЫ

- РОСТ НАСЕЛЕНИЯ И ПОТРЕБЛЕНИЯ
- ДЕГРАДАЦИЯ ПОЧВ
- ДЕФИЦИТ ПРЕСНОЙ ВОДЫ
- ИСТОЩЕНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ
  - нефть, газ, руды
- ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ТЕХНОГЕННЫЕ КАТАСТРОФЫ
  - Ураганы,
  - Землетрясения, цунами
  - Крупномасштабные аварии атомных станций,
  - Аварии нефтяных производств
- ЭКОНОМИЧЕСКИЕ КРИЗИСЫ
- ВИРУСНЫЕ ПАНДЕМИИ
- КЛИМАТ – ГЛОБАЛЬНОЕ ПОТЕПЛЕНИЕ

# Луна и Земля

Снимок с борта  
Discovery 16.07.15 из  
точки Лагранжа (1,5  
млн км от Земли).

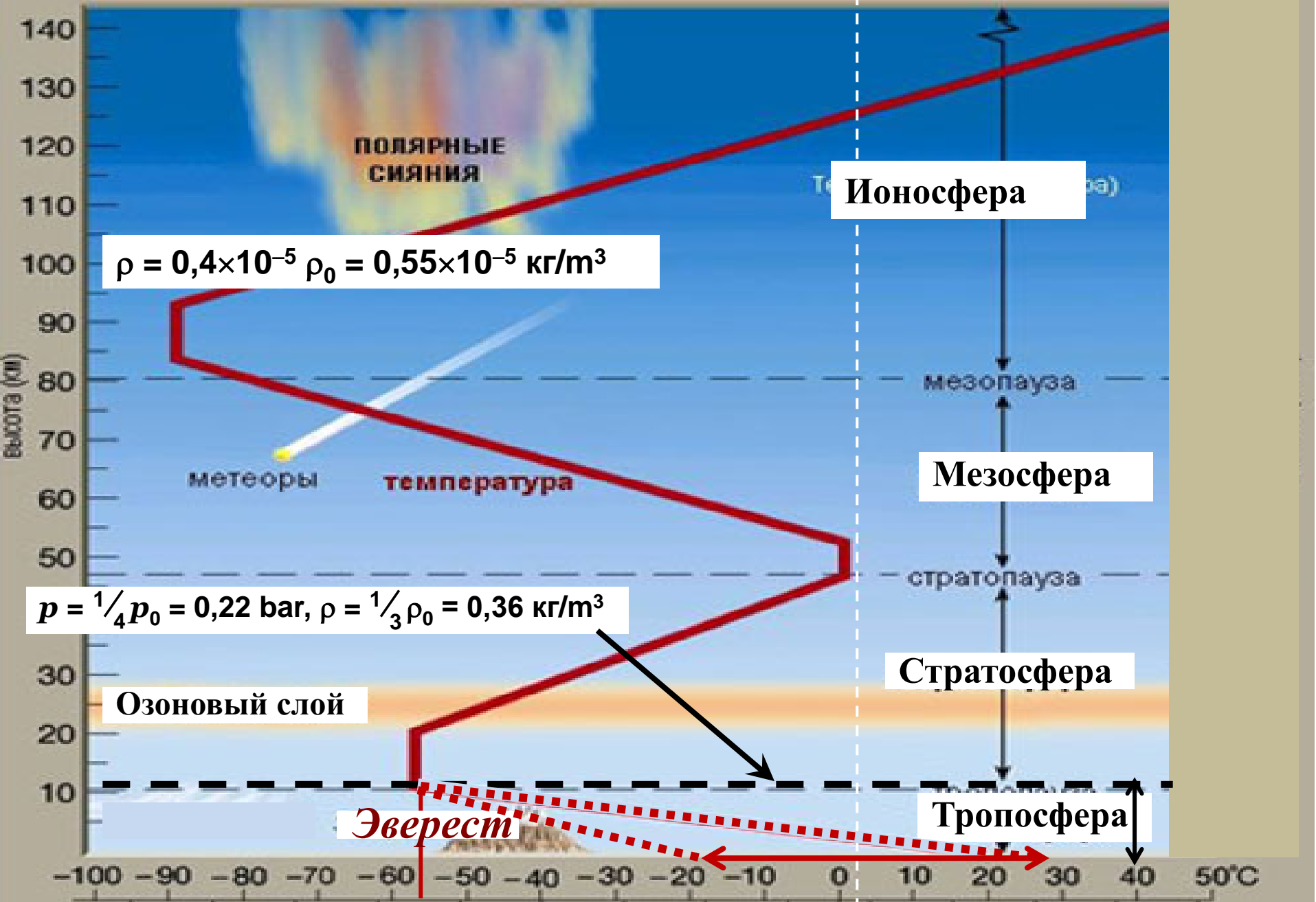


$H = 300$  км



Толщина  
стратосферы

$\frac{1}{30}H$





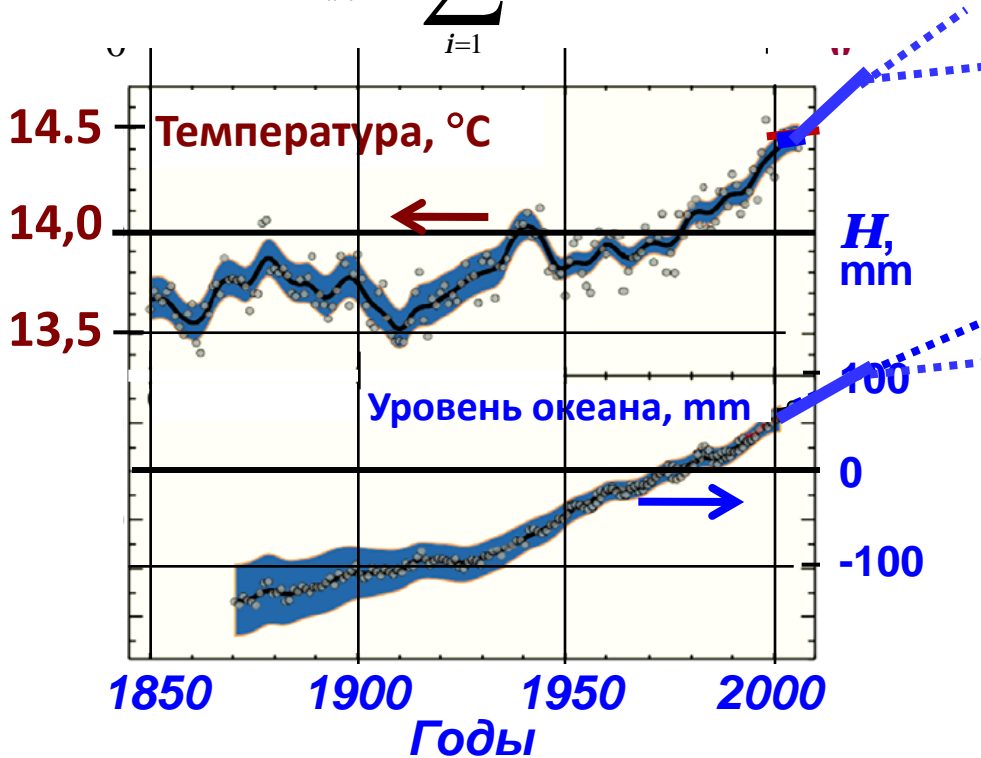
# Глобальное потепление

- Рост глобальной температуры воздуха на **1.0°C** за **60 лет**
- Подъем уровня океана на **3 мм/год** за **60 лет**
- Сокращение площади льда в **2 раза** за **60 лет**

## Глобальная Температура

$$\bar{T} \equiv \frac{1}{S_{\text{Earth}}} \int_{\text{Earth}} T ds = \frac{1}{S_{\text{Earth}}} \sum_{i=1}^N T_i \Delta s_i \neq \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_i$$

$$S_{\text{Earth}} = \sum_{i=1}^N \Delta s_i$$



C(CH<sub>4</sub>), ppm

1,6

1,2

0,8

0,4

0

1965

1975

1985

1995

2005

2015

2025

5

300

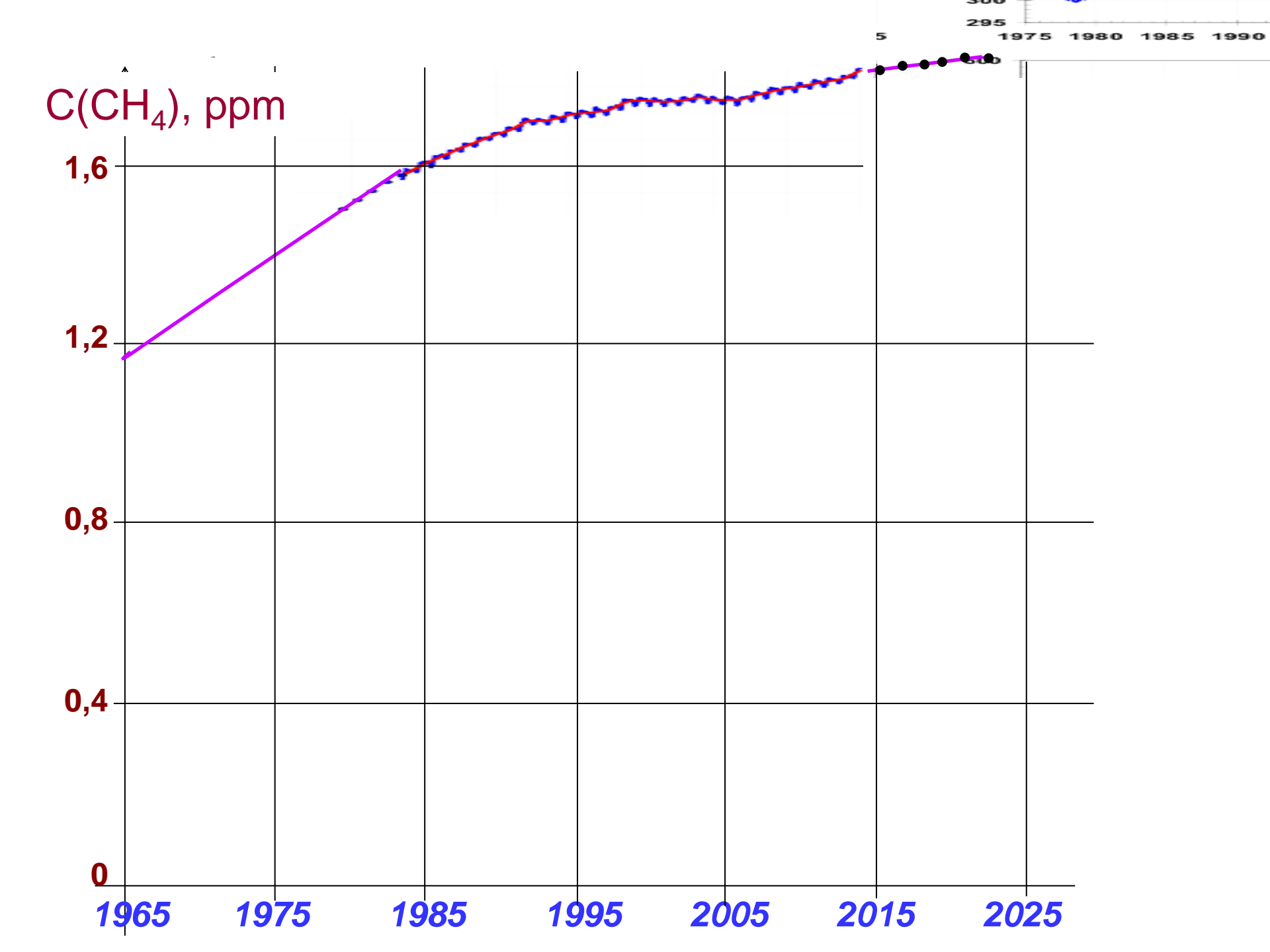
295

1975

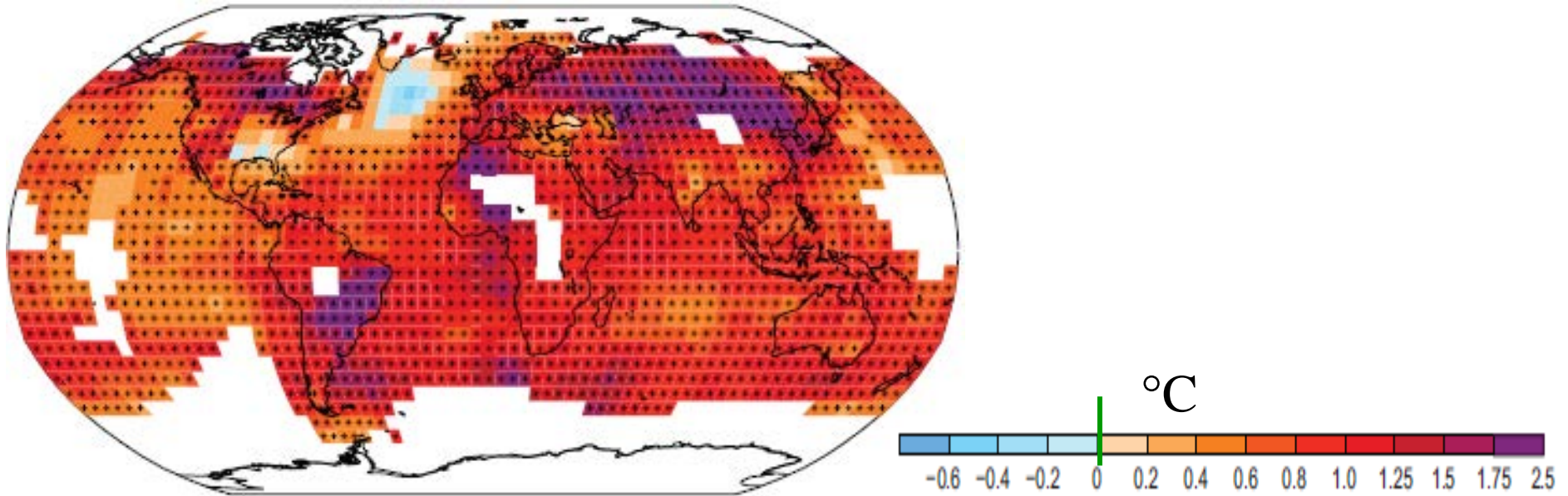
1980

1985

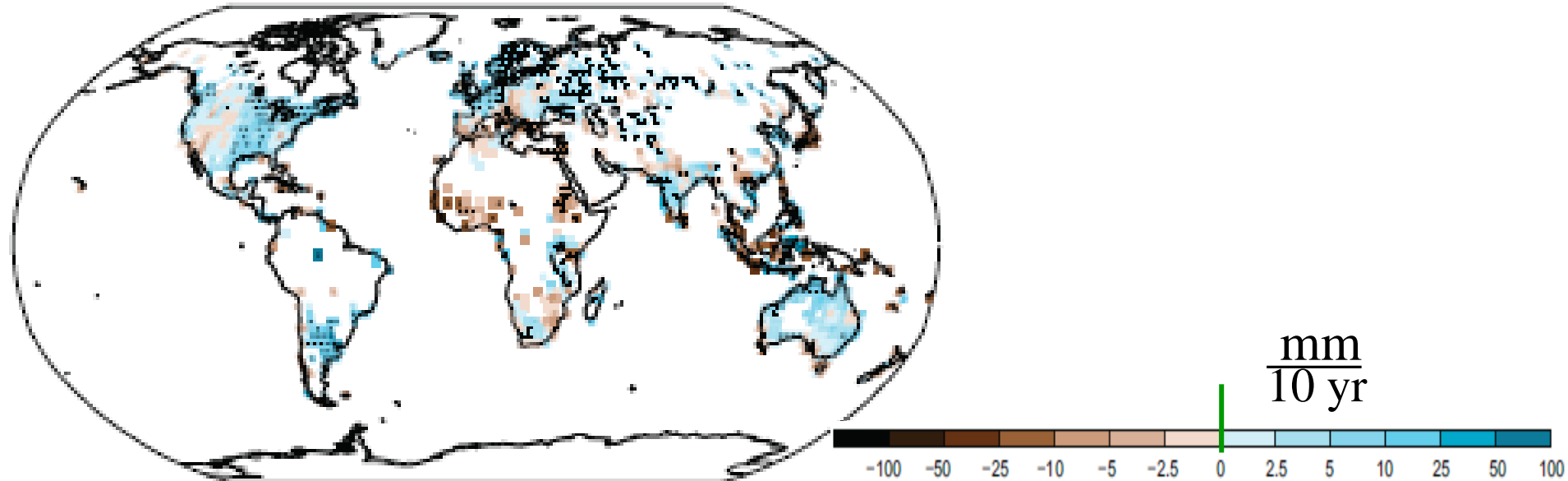
1990

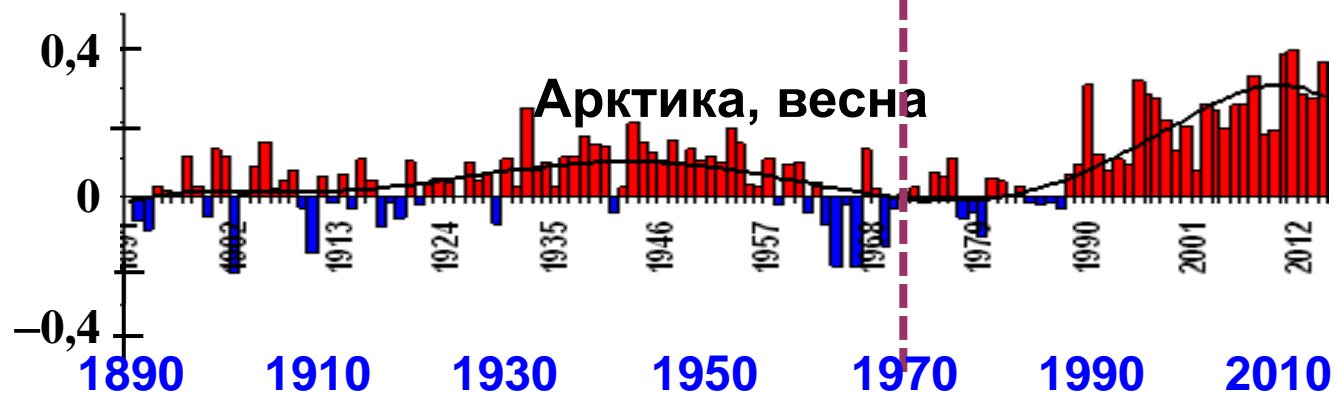
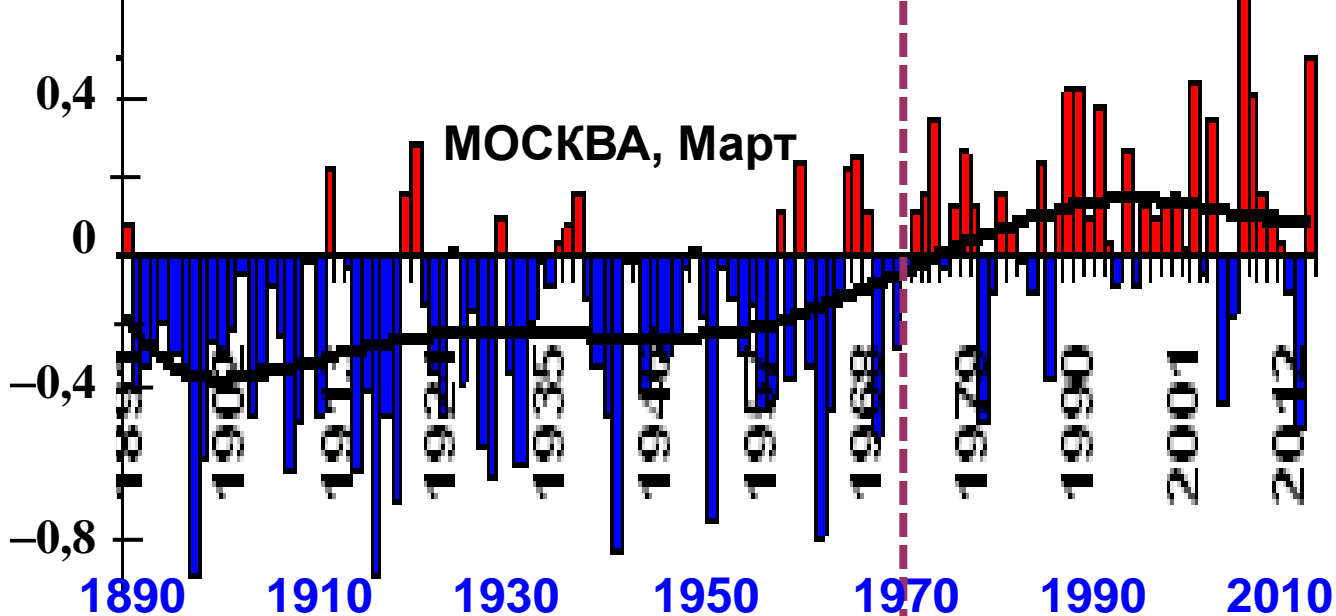
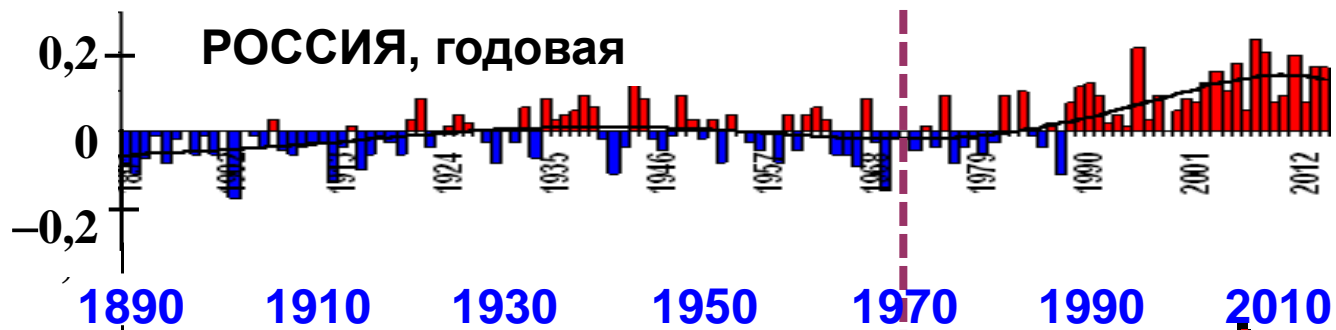


## Observed Change in Surface Temperature for 1901 - 2012



## Observed Change in Annual Precipitation for 1901 - 2010





**Аномалии  
температуры,  
1891-2014 гг.,  
(Росгидромет)**



# Концепция антропогенного глобального потепления



Russian Academy of Sciences  
P.P. Shirshov Institute  
of Oceanology

Парниковый газ

Рост концентрации  $c(\text{CO}_2)$   $\rightarrow$  малый рост  $T_{\text{(поверхности)}}$   
с 300 до 400 ppm за 60 лет

Рост содержания паров  $\text{H}_2\text{O}$  - Парниковый газ

Дополнительный рост  $T_{\text{(поверхности)}}$



Природные циклы:  
солнечная активность,  
инерция тепловых полей океана,  
влияние больших планет,  
прецессия оси вращения и т.д.



# ДРАМА ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ:

Термодинамически ничтожные изменения температуры

$$\Delta T \sim 1 \text{ K} \ll 300 \text{ K}$$

могут привести к изменениям:

- 1) режима осадков;
- 2) кинетической энергии атмосферы (ураганы, торнадо, волны-убийцы и т.д.);
- 3) биосферы (вирусы, бактерии и т.д.)

# Концентрация CO<sub>2</sub> в пузырьках в ледовых ядрах из скважины "Восток"

Антропогенный фактор



Климат – Многомасштабный !!!



# Эллиптичность траектории Земли вокруг Солнца

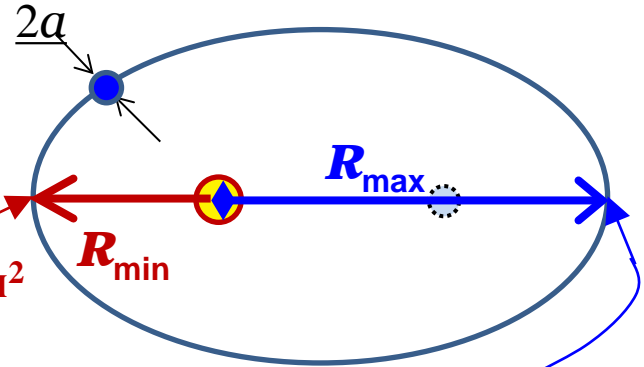
$$\bar{R} = 152 \text{ ГМ}, \quad R_{\max} = 152 \text{ ГМ}, \quad R_{\min} = 147 \text{ ГМ}, \quad a = 6400 \text{ км}$$

$$\delta \bar{R} \equiv \frac{R_{\max} - R_{\min}}{\langle R \rangle} = 3,5 \times 10^{-2}$$

$$\frac{\delta I^*}{I^*} \equiv \delta \bar{I}^* = 2 \delta \bar{R} \approx 7\%$$

$$I^* = 1412 \text{ Вт/м}^2$$

ЯНВАРЬ



$$I^* = 1322 \text{ Вт/м}^2$$

ИЮЛЬ

$$\text{if } \frac{\delta T}{\Delta T} = \frac{\delta I^*}{I^*},$$

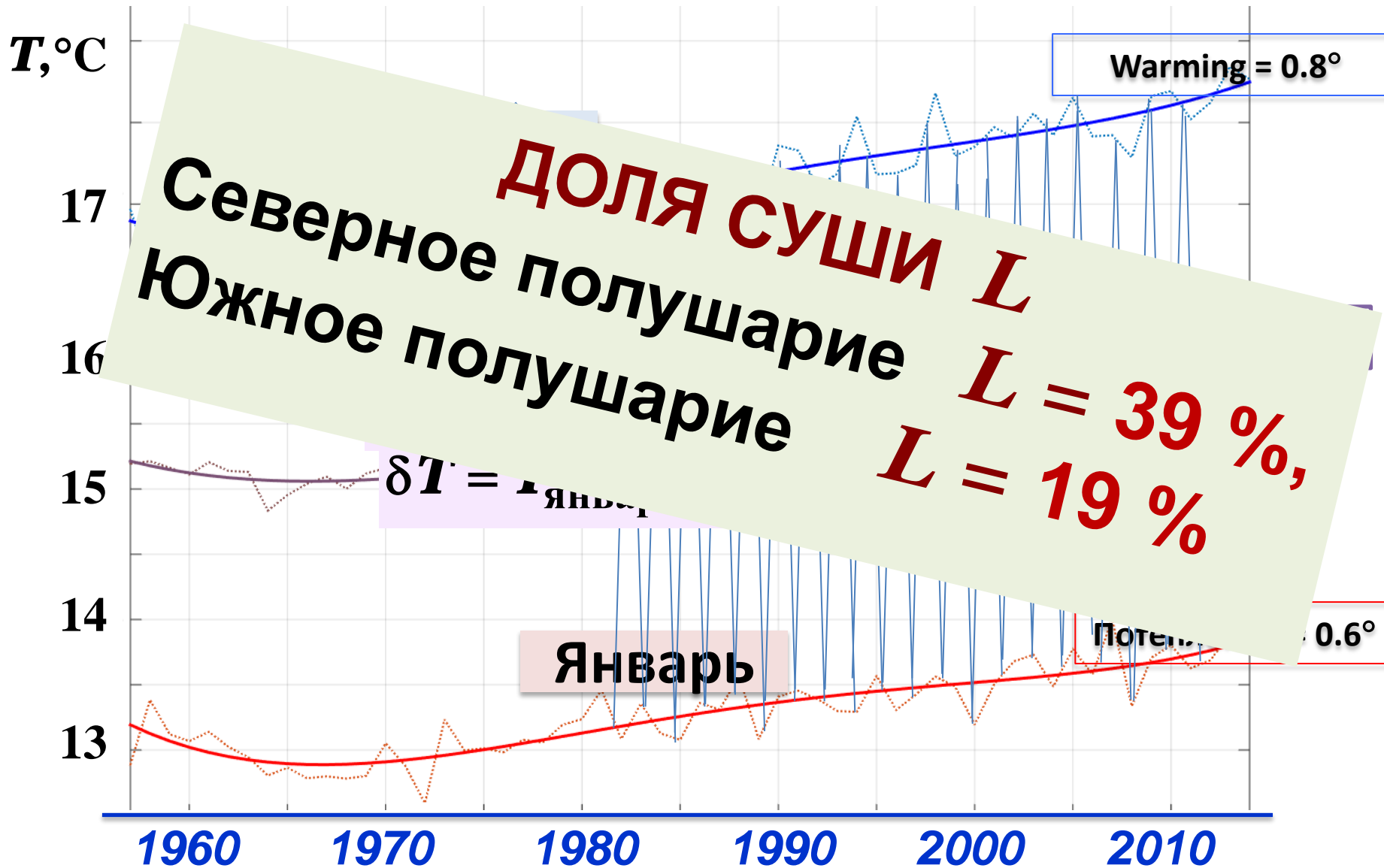
$$\Delta T_{\text{season}} \approx (+20 - (-20)) = 40 \text{ К},$$

$$\Delta T_{\text{space}} \approx (+30 - (-40)) = 70 \text{ К}$$

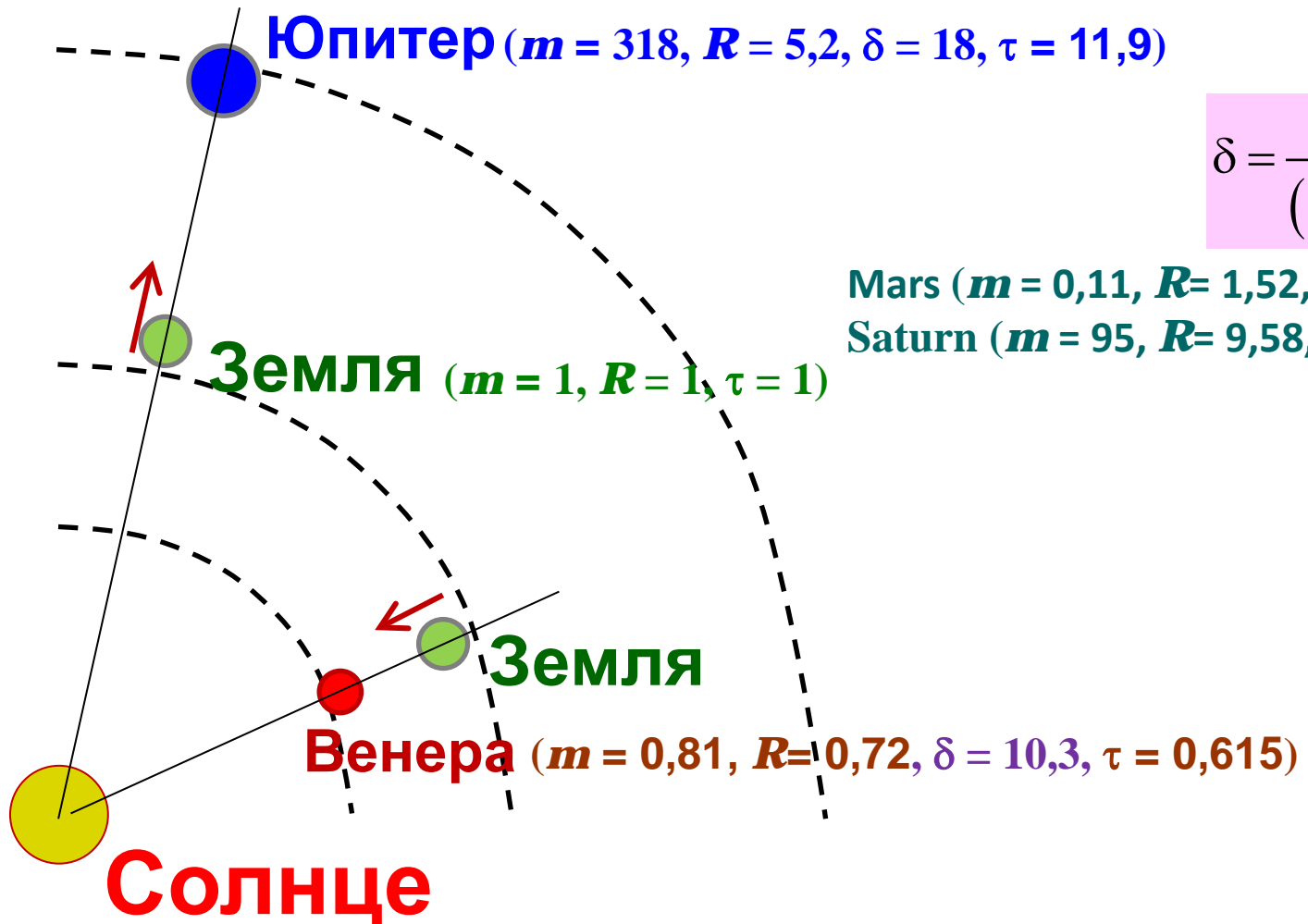
Тогда должно быть  $\delta T = T_{\text{январь}} - T_{\text{июль}} \approx 4 \text{ К}$



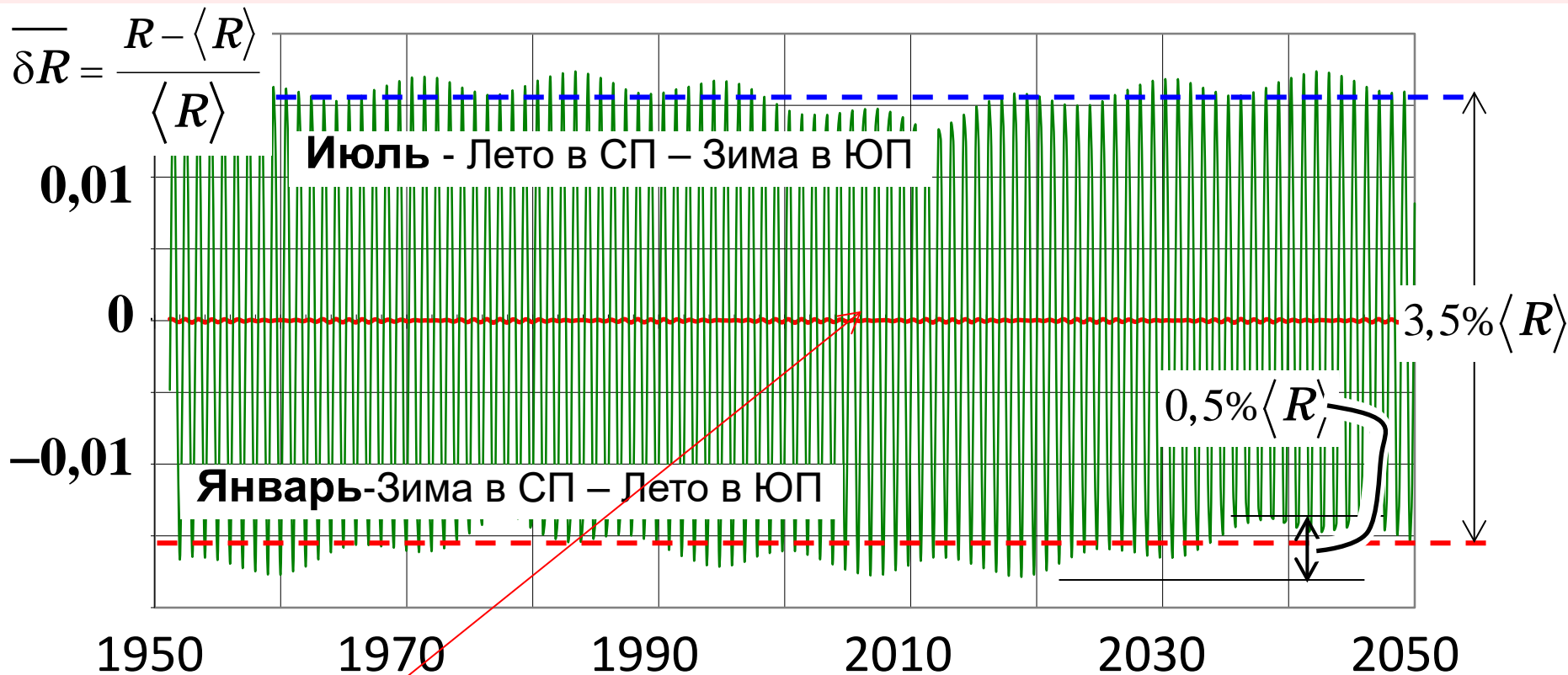
# Глобальная температура



# Возмущения орбиты **Земли** под действием гравитации **Юпитера** и **Венеры**



# Изменение расстояния Земли от Солнца



$$\langle \delta \bar{R} \rangle_{\text{year}} = \left\langle \frac{R - \langle R \rangle}{\langle R \rangle} \right\rangle_{\text{year}} \leq 10^{-4} = 0,01\%$$

$$\tau_* \approx 12 \text{ лет}; \quad \tau^* \approx 60 \text{ лет};$$

$$\delta \bar{I}_{\text{season}}^* = 2 \delta \bar{R} \approx 1\%$$

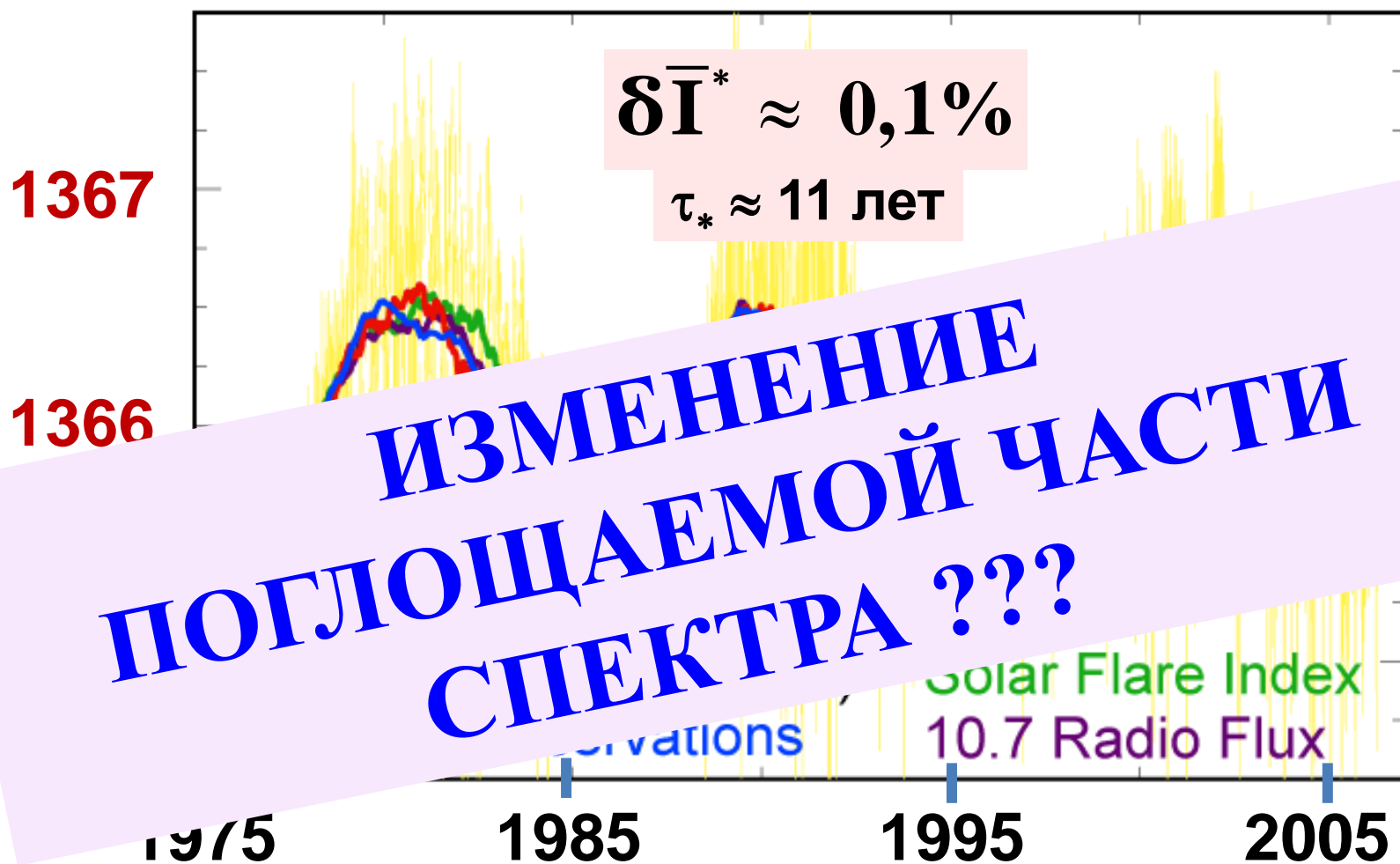
$$\delta \bar{R}(\text{планетарное}) \approx 0,5\%,$$

$$\delta T(\text{планетарное}) \approx 1\% \times (+20 - (-20)) \approx 0,4 \text{ К}$$





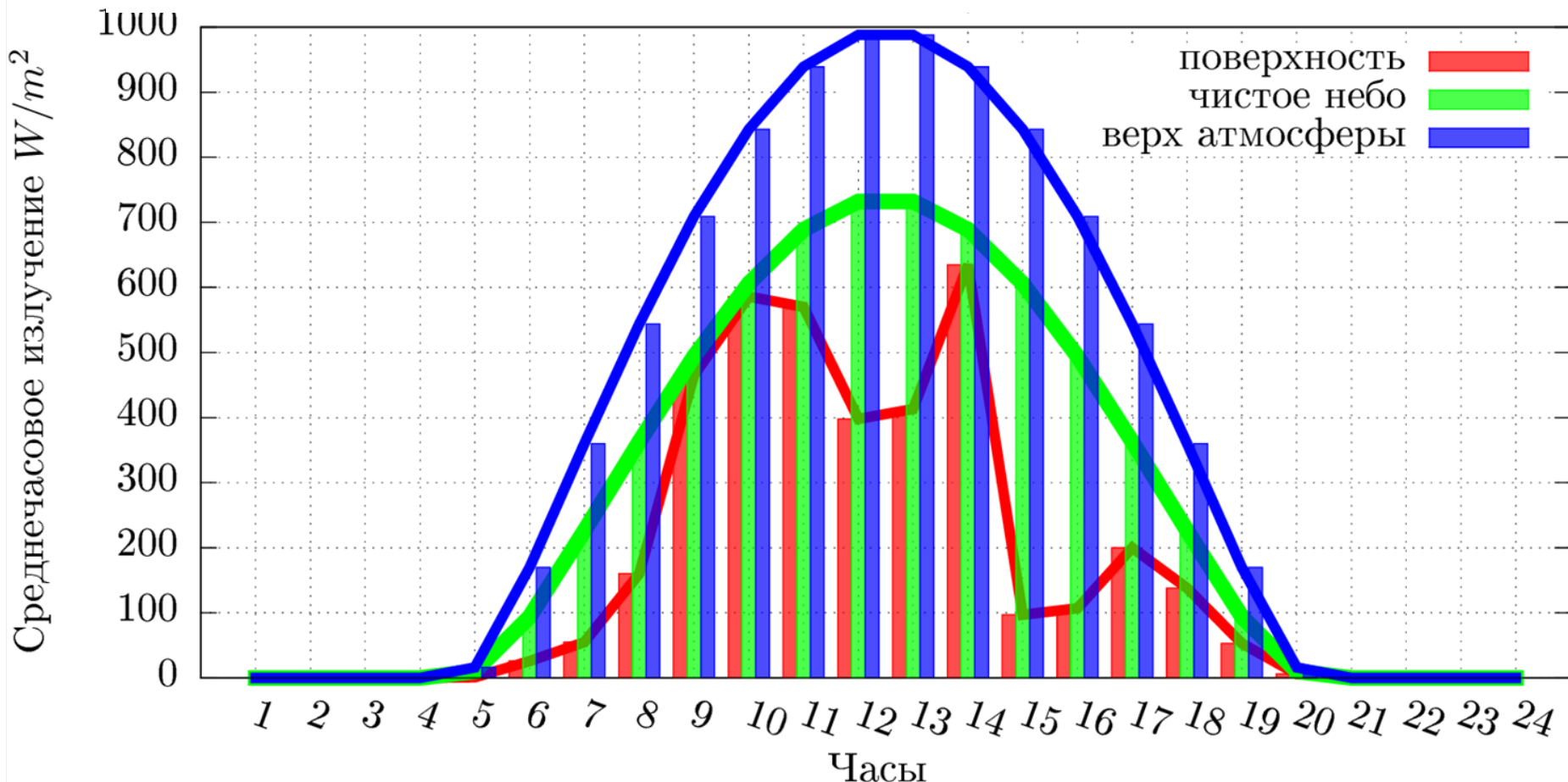
## 6. Изменение солнечной радиации, $W/m^2$





# Поток солнечной радиации по часам

## Москва, 15.08.14





# ОБЛАЧНОСТЬ



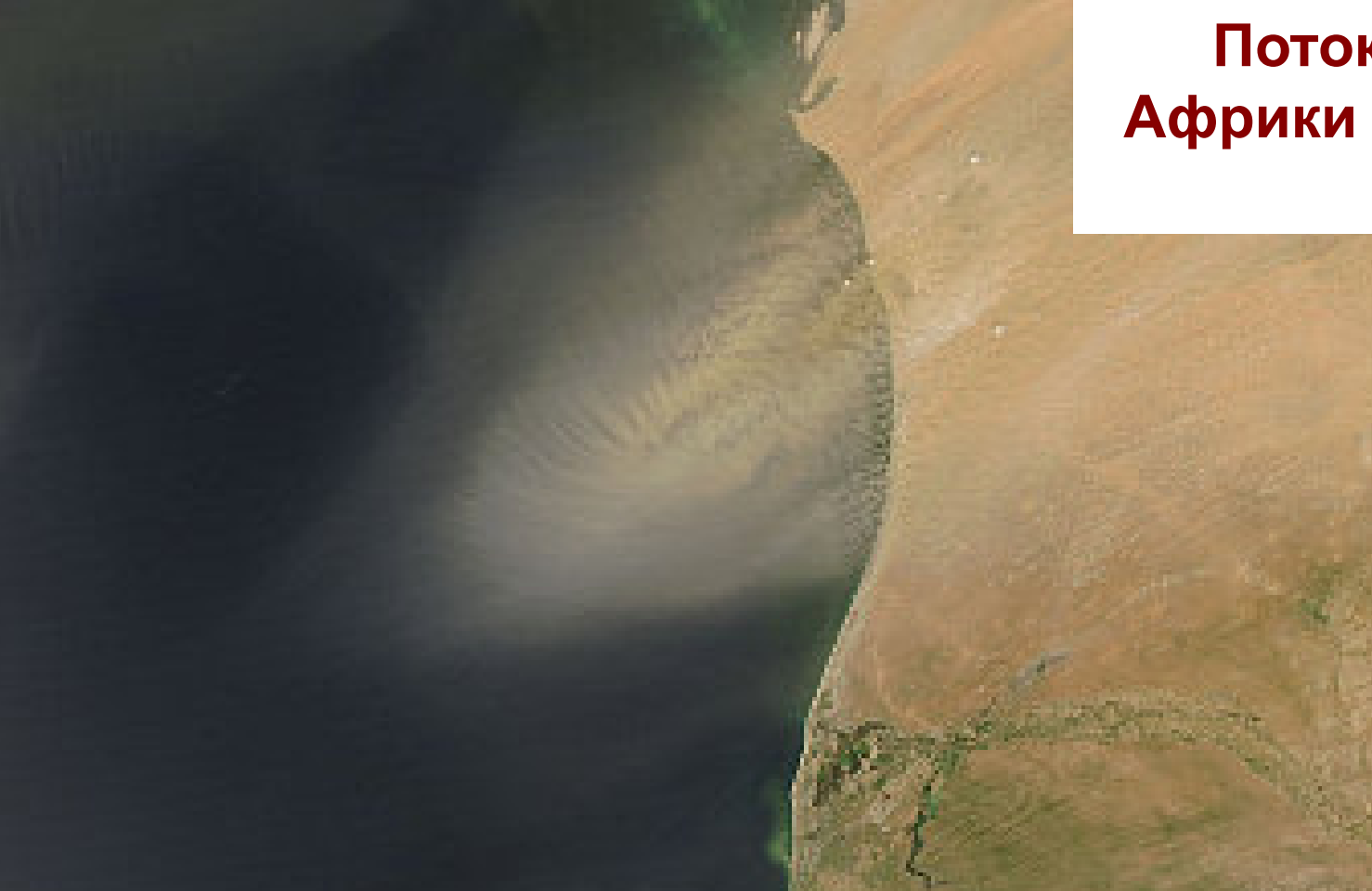
# Капли



Панама Сити (Флорида, США). Фото с вертолета

## Поток пыли из Африки в Атлантику

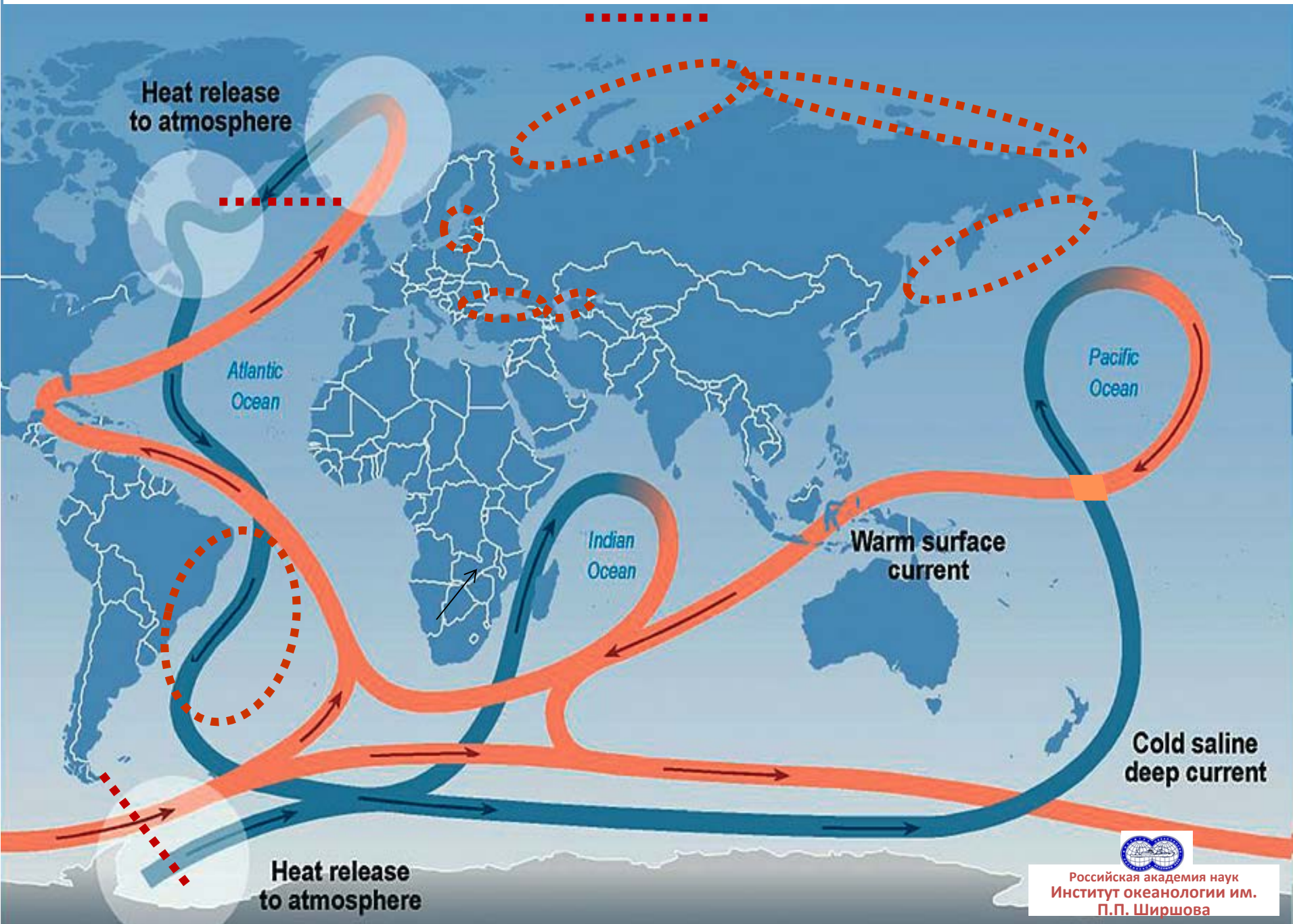
Фото: NASA



$\frac{2}{3}$  Уменьшение концентрации пыли ответственно за  
роста температуры воды ( $0,25^{\circ}\text{C}$  за 10 лет) в Атлантике

Это потепление ответственно  
за усиление тайфунов в Атлантике

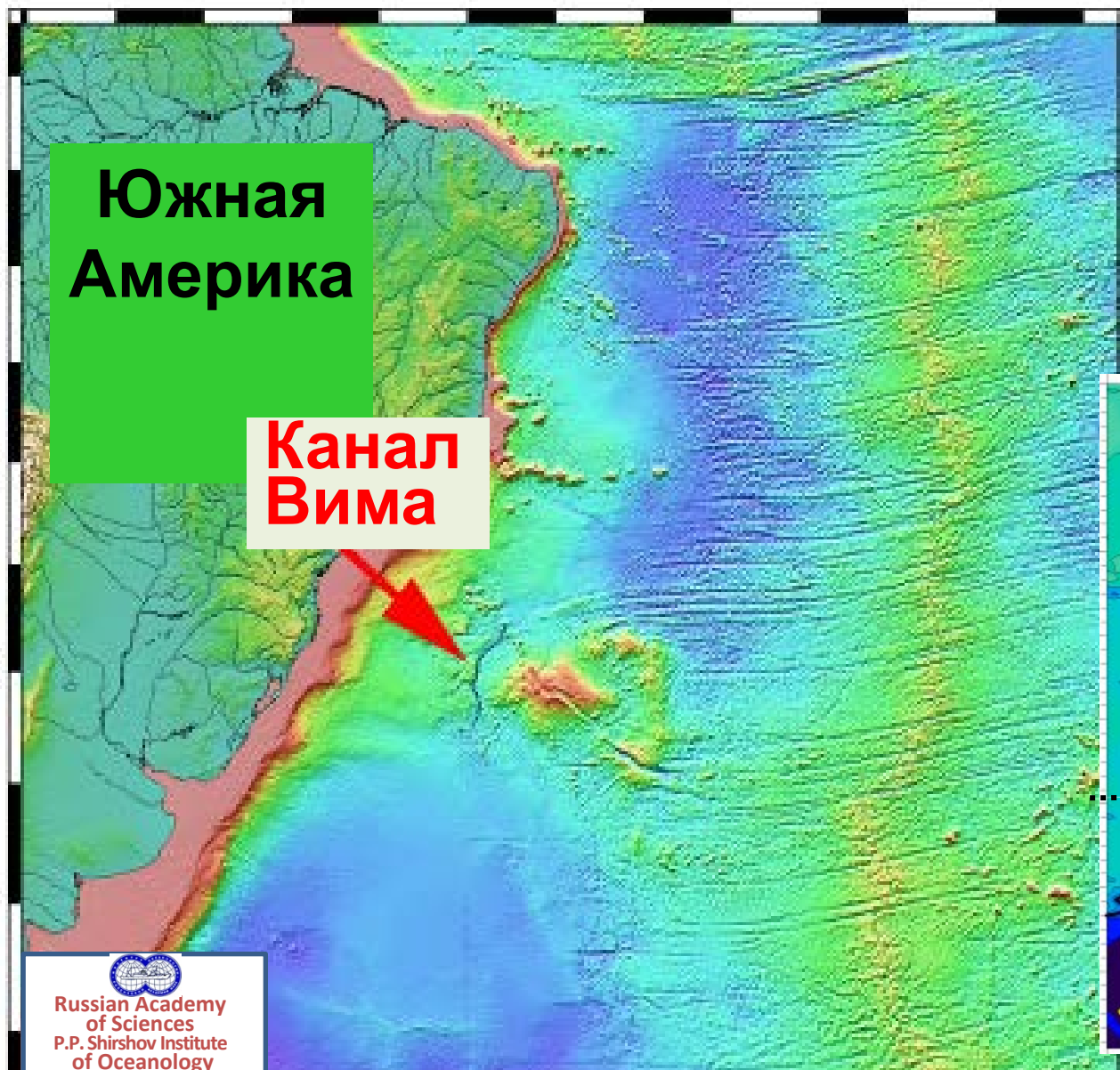
# Ежегодные экспедиции Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН



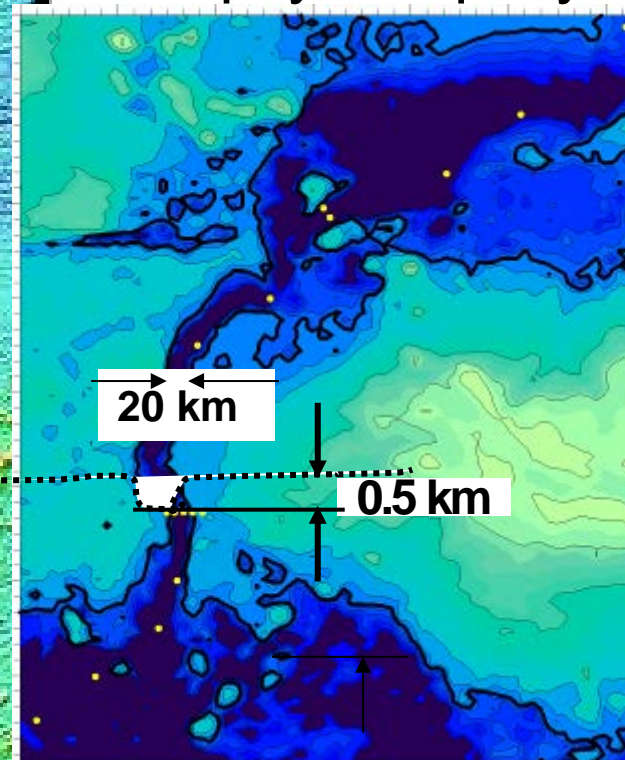
# Атлантический придонный поток воды в канале Вима

(Подводная возвышенность,  $H = 4200$  m).

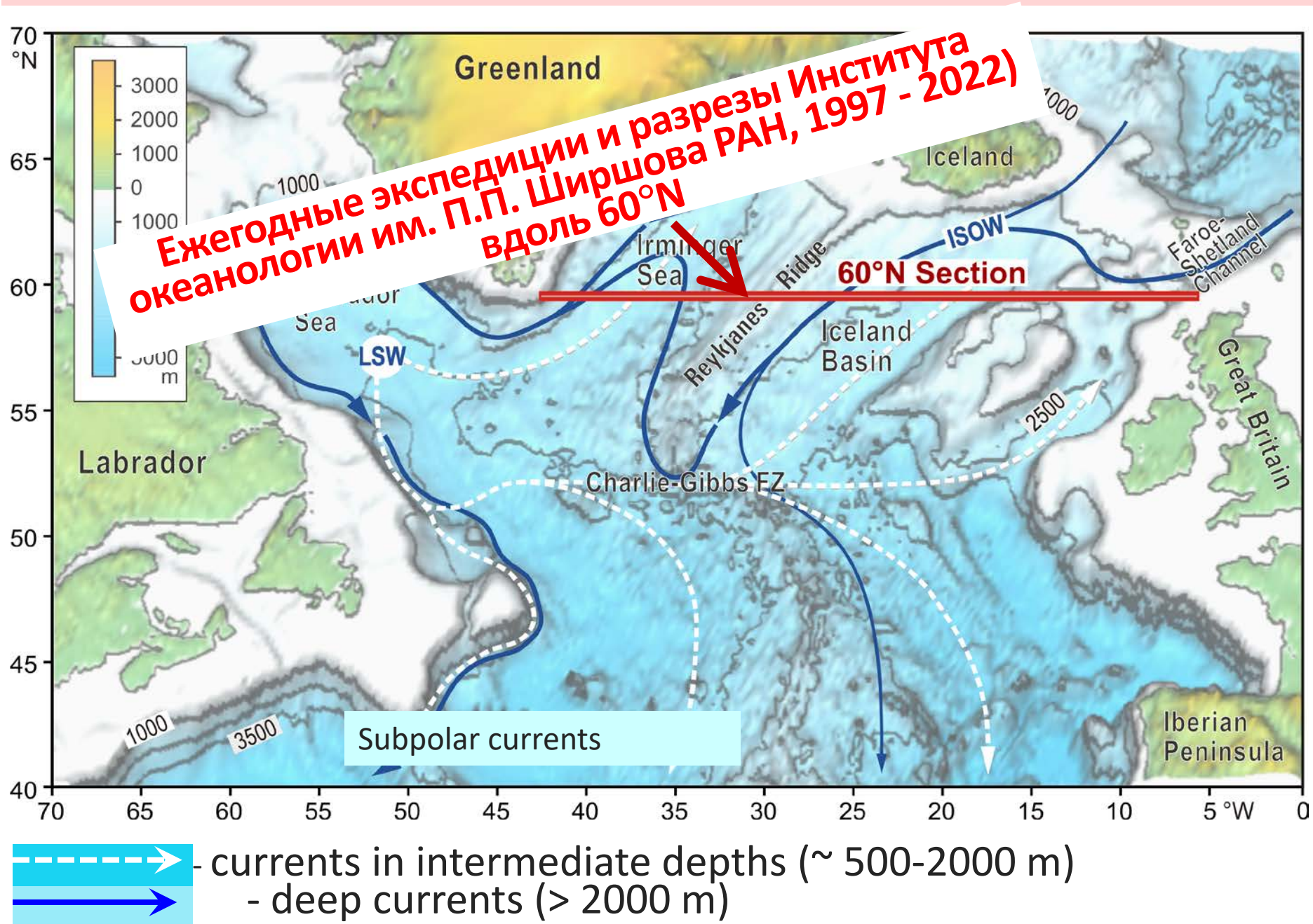
Длина = 700 km, Ширина = 20 km, Глубина =  $4200 + 500 = 4700$  m



Через канал  
холодная донная  
вода поступает в  
Западную и  
Северную Европу



# Subpolar North Antarctic (Gulf Stream ends its warm current)

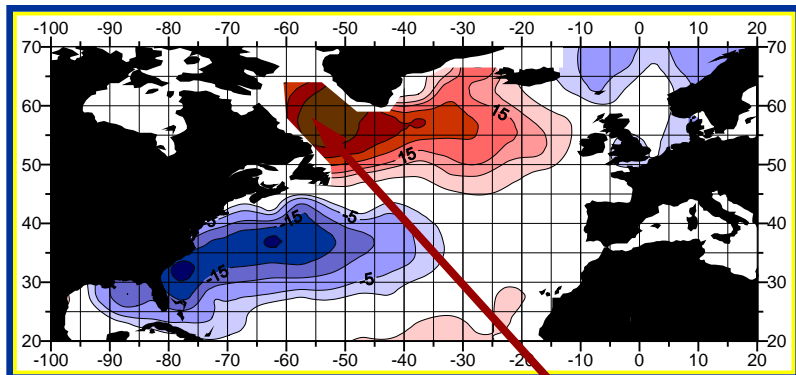




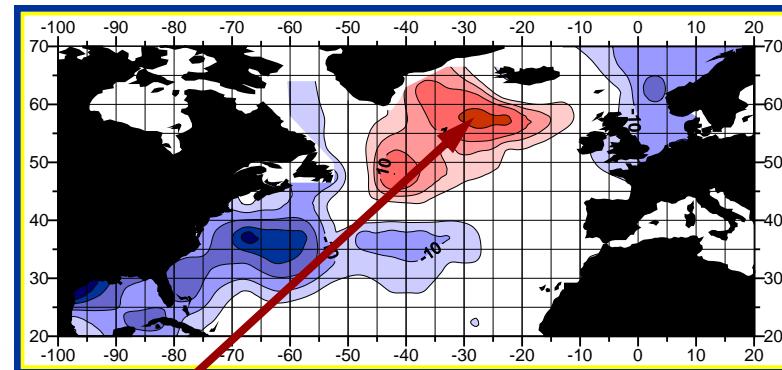
# Thermohaline Circulation Reverse Flux in the Atlantic Ocean

(research vessels "Akademik Ioffe", "Akademik Vavilov", "Shtockman", 1997-2004)

1990-1995

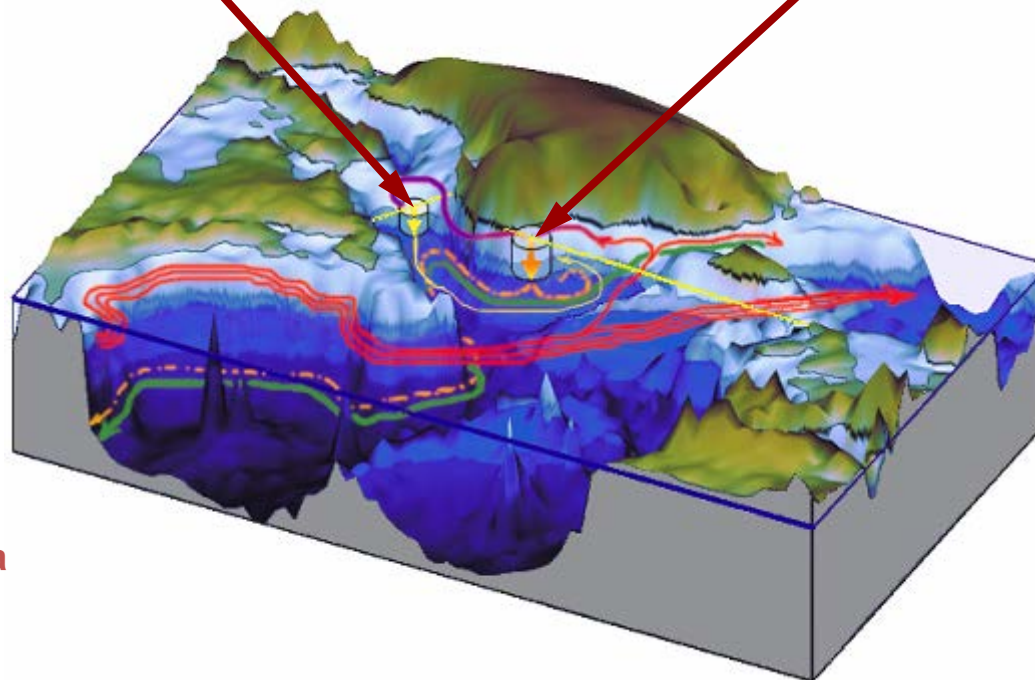


1996-2000



Deep-Sea section

Deep-Sea section



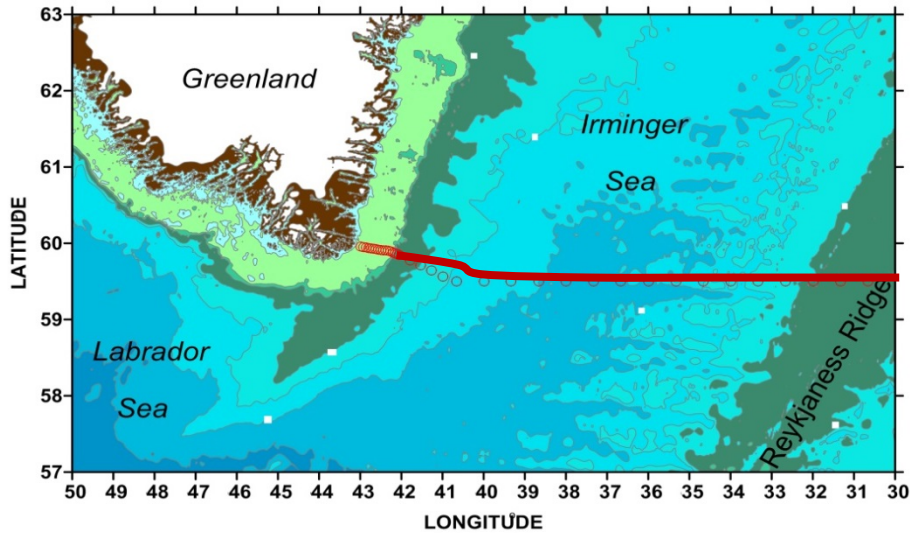
Labrador Sea

Irminger Sea

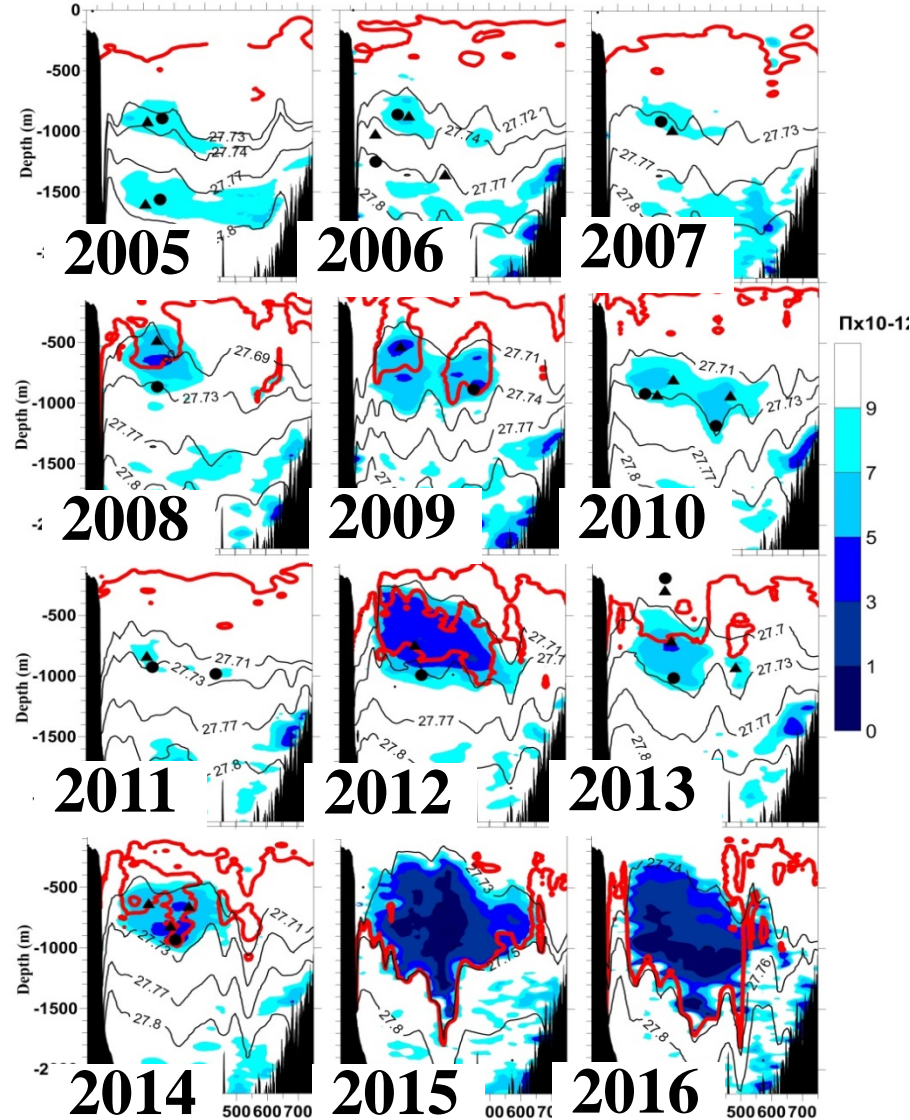
Anomalous Ocean-Atmosphere Heat Fluxes



TRANSATLANTIC SECTION ALONG 59.5 N

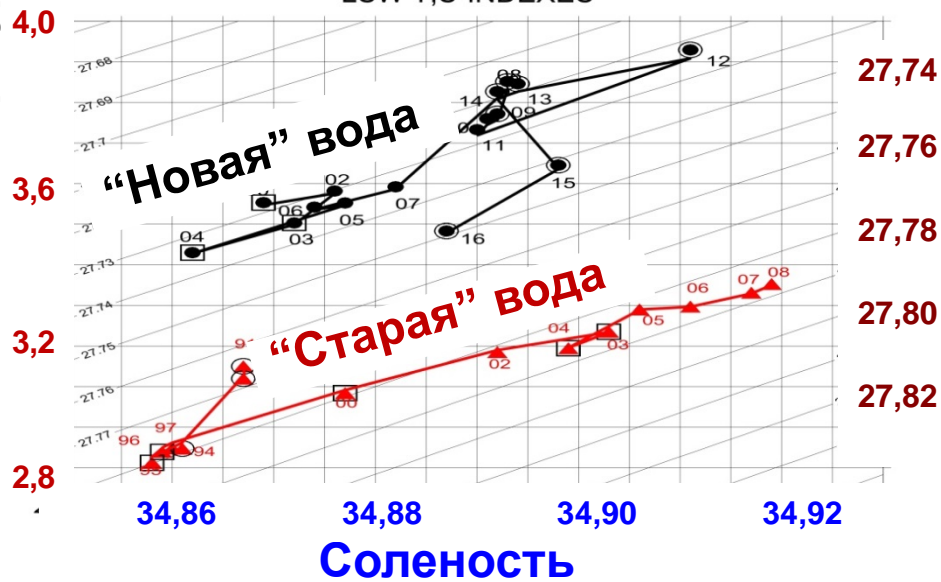


LSW CORE LOCATION IN THE IRMINGER SEA IN 2005-2016



Потенциальная температура, °С

LSW T,S-INDEXES



$V_z \approx 0,4 \text{ мм/с} = 1,5 \text{ км/час!!!}$

# ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ УРАВНЕНИЯ ДЛЯ КЛИМАТА

## Уравнения Навье-Стокса

для двухфазной среды в атмосфере и океане  
с гравитацией, центробежными и силами Кориолиса

## Уравнения для радиации:

солнечной, тепловой и выделения радиационного тепла  
(в воздухе, воде и суше)

## Граничные условия

на межфазной границе Океан-Атмосфера

(теплота парообразования, поверхностное натяжение, ...)

(Рельеф дна и волны на поверхности)

Турбулентная вязкость

Турбулентная теплопроводность

Турбулентная диффузия солености, CO<sub>2</sub> и влаги

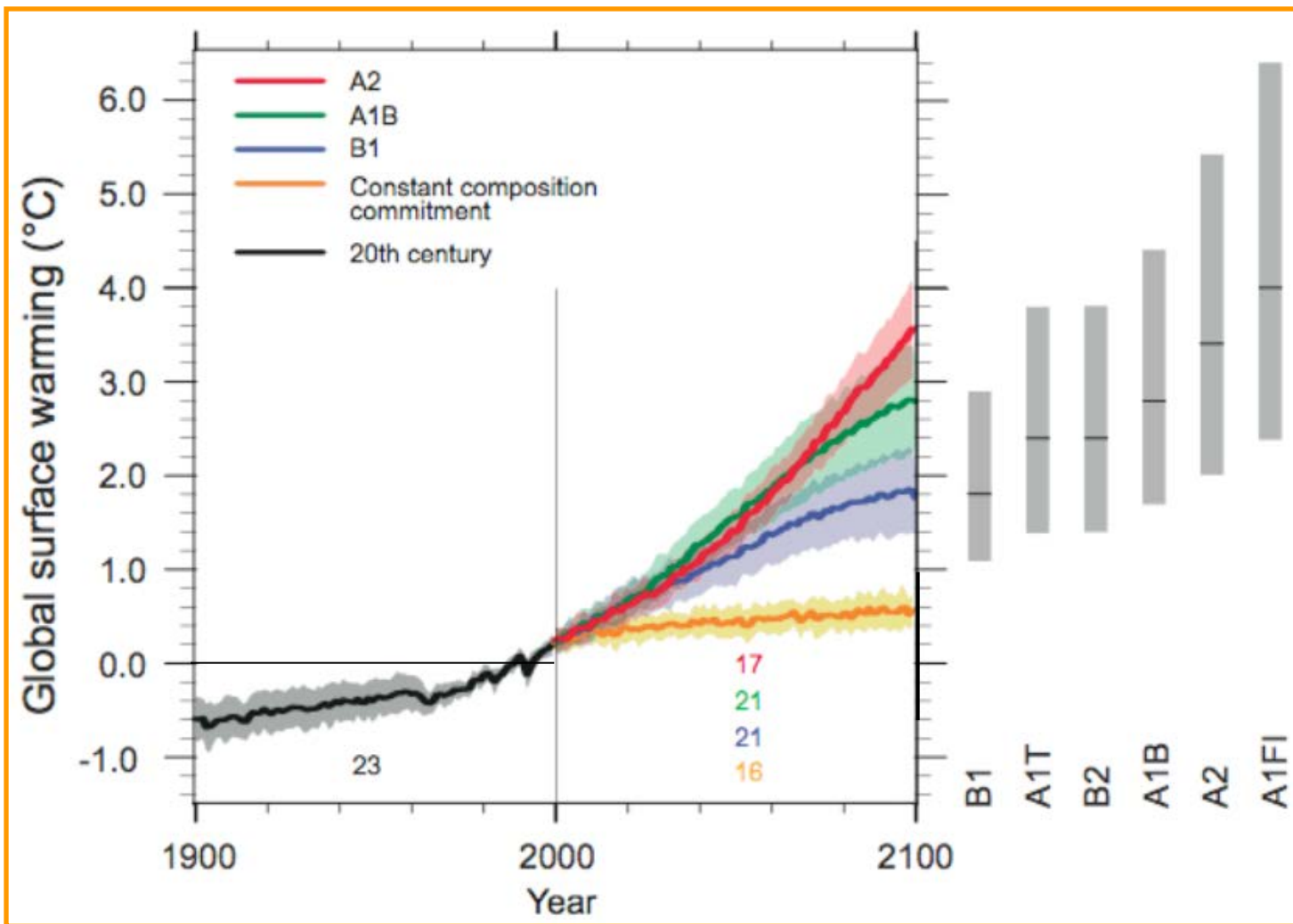
Уравнения состояния для воды и воздуха

$$\rho_{\text{water}} = \rho_{\text{water}}(p, T, S), \quad \rho_{\text{air}} = \frac{p}{R_{\text{air}} T}$$

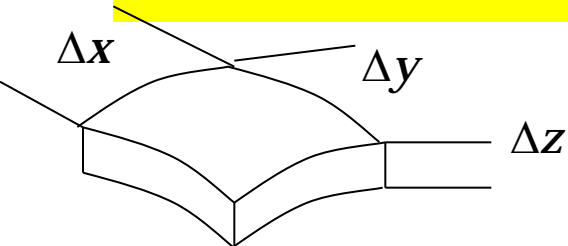
Термодиффузионная конвекция



# Различные расчетные сценарии климата



# Ячейки для конечно-разностного моделирования



Сегодняшние численные коды:

$$\Delta x \approx \Delta y \approx 10 - 100 \text{ km}, \Delta z \sim 1 \text{ km}$$

$$N_{\text{cell}} \approx 500 \times 500 \times 50 \approx 10^7 \text{ ячеек}$$

*Кинетическая энергия*

$$L_{\text{mesoscale}} \sim 10 - 30 \text{ km}, h_{\text{mesoscale}} \sim 0,1$$

Для разрешения мезомасштабных вихрей необходимо:

$$\Delta x \approx \Delta y \sim 1 \text{ km}, \Delta z \sim 0.01 \text{ km}$$

$$N_{\text{cell}} \approx 40\,000 \times 40\,000 \times 1000 \approx 10^{14} \text{ cells (???!!!)}.$$

- Сингулярность - обострение
- Многомасштабность
- Быстрые и медленные переменные



# Эмиссия С в виде CO<sub>2</sub> в разных странах

	$\frac{\text{Гт}}{\text{год}}$	$\frac{\text{Т}}{\text{год} \times \text{чел}}$	Население, млн.
<b>Saudi Arabia</b> <i>из добыт (потр)</i>	0.5	<b>14 (5)</b>	36
<b>Canada</b>	0.5	<b>13,5</b>	
<b>USA</b>	4.4		
<b>S. Korea</b>			52
<b>Russia</b> <i>из добыт (потр)</i>			146
		<b>7,9</b>	126
	0.6	<b>7.1</b>	84
<b>Iran</b> <i>из добыт (потр)</i>	0.6	7,0 (...)	82
<b>China</b>	9.7	<b>6,5</b>	1400
<b>Indonesia</b>	0.6	<b>2,2</b>	279
<b>Казахстан</b> <i>из добыт (потр)</i>	0,2 <b>(0,12)</b>	<b>8 (5,7)</b>	19
<b>МИР</b>	<b>32</b>	<b>4,0</b>	<b>8000</b>

**Богатые страны должны вносить БОЛЬШОЙ вклад в уменьшение эмиссии CO<sub>2</sub>**

444 + 534 + 700, Мт/год  
 - 211 - 380 - 250  
 Уголь Нефть Газ  
 0,9 0,75

110 + 84 + 35, Мт/год  
 - 32 - 70 - 17 + 16  
 Уголь Нефть Газ

**25%** населения Земли потребляют **90%** индустриальной энергии

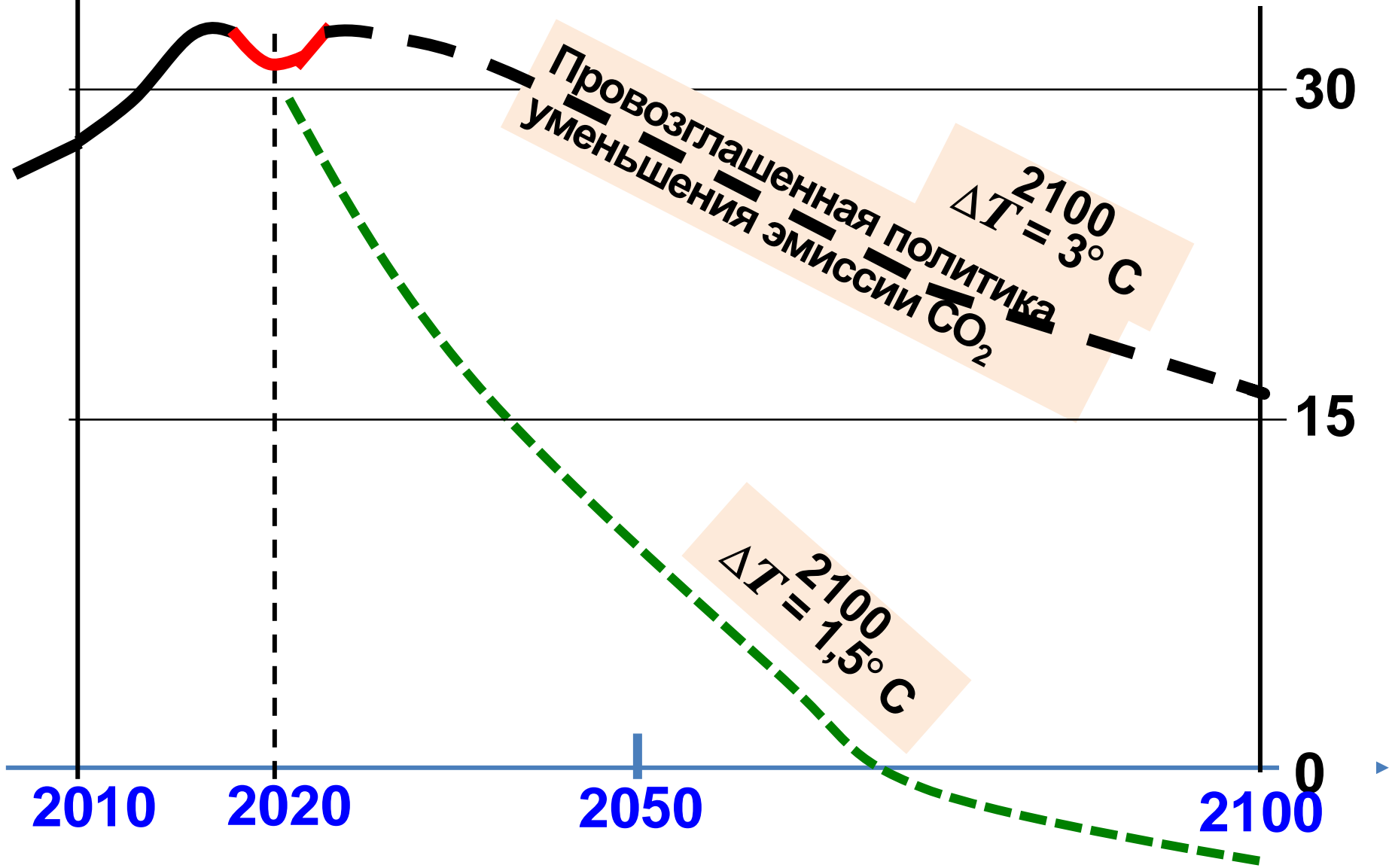
	% CO <sub>2</sub> emission	Efficiency	% Energy
<b>COAL</b>	44%	1	<b>29%</b>
<b>OIL</b>	<b>31%</b>	<b>1,6</b>	<b>33%</b>
<b>GAS</b>	<b>24%</b>	<b>2,4</b>	<b>38%</b>

Замена угля на газ (метан) уменьшит эмиссию CO<sub>2</sub> на **25%**



Российская академия наук  
Институт океанологии им.  
П.П. Ширшова

Млрд. т (CO<sub>2</sub>)/год



# ВЫВОДЫ



1. Наряду с антропогенным фактором роста  $C_{CO_2}$  и  $C_{CH_4}$  действуют **компенсирующие механизмы**, ограничивающие глобальное потепление:
  - **двухфазность** атмосферы (облачность, капли, пыль)
  - **интенсификация теплоотдачи** из-за увеличения кинетической энергии атмосферы.
2. При математическом моделировании следует обратить внимание на расчет **вертикальной скорости** в атмосфере
3. Нынешние модели климата пока **нельзя** принять для принятия **экономических решений**
4. Через 30 - 40 лет кратно **уменьшится** эмиссия  $CO_2$   
(Энергетика: **Атомная**, Солнечная, Ветряная, Гидротермальная и др.)



**Климат в России рассчитан, чтобы  
уничтожать неприятеля.**

**Климат в центральной России будет  
благоприятнее чем в США и Европе.  
Климат в России тогда хорош,  
когда губернатор соответствует.**

*М.Е. Салтыков-Щедрин*

# ПИФАГОР (?):

Человечеству угрожают три опасности:

1. **Материализм священников**
2. **Невежество ученых**
3. **Неистовство демократов**
4. ....

# **МИРУ УГРОЖАЮТ ИДИОТЫ !**

**Неквалифицированные и  
безответственные деятели на  
ответственных постах:**

**президенты, министры, депутаты, академики,  
профессора, генералы, адмиралы, капитаны,  
директора и т.д.**



**Для Отчизны наибольшая опасность не во внешнем враге  
таится, а в собственных ее идиотах. А.В. Суворов**