

Любая концепция о природе - постольку
научная, поскольку в ней представлена
математика (МЕХАНИКА).

Иммануил Кант

МЕХАНИКА КЛИМАТА

Р.И. Нигматулин

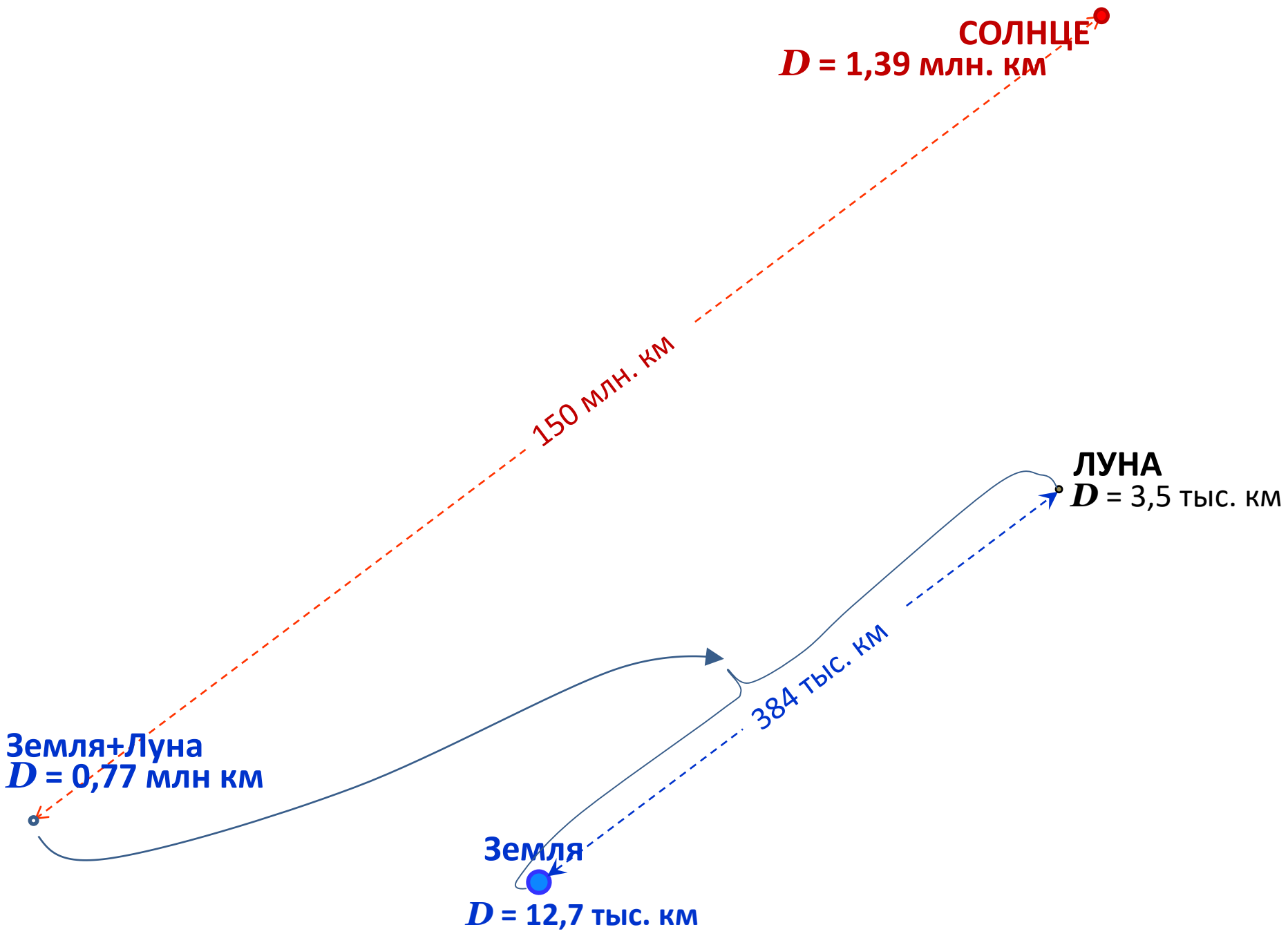
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН

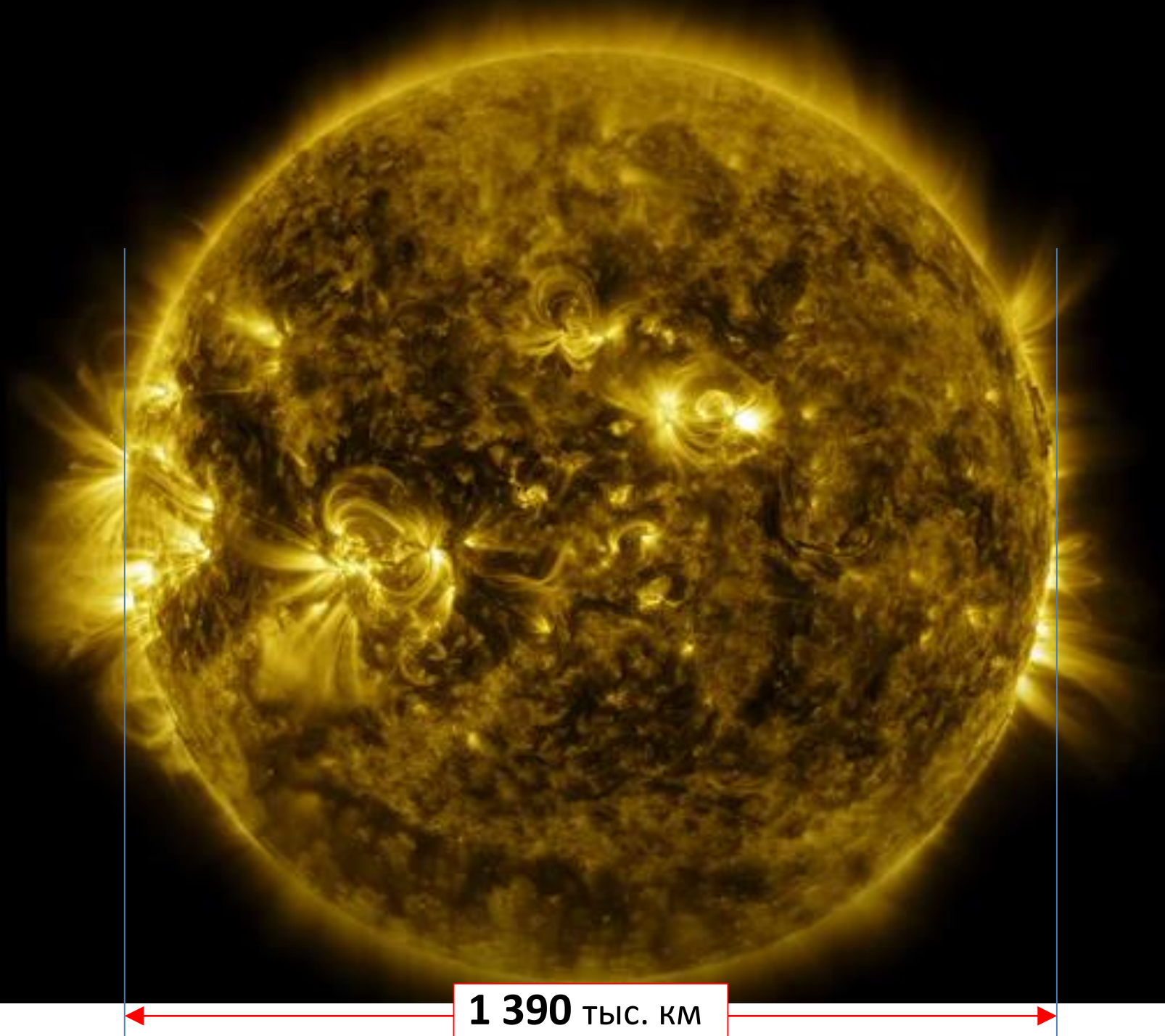
Механико-математический факультет МГУ

им. М.В. Ломоносова

ГЛОБАЛЬНЫЕ КРИЗИСЫ

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



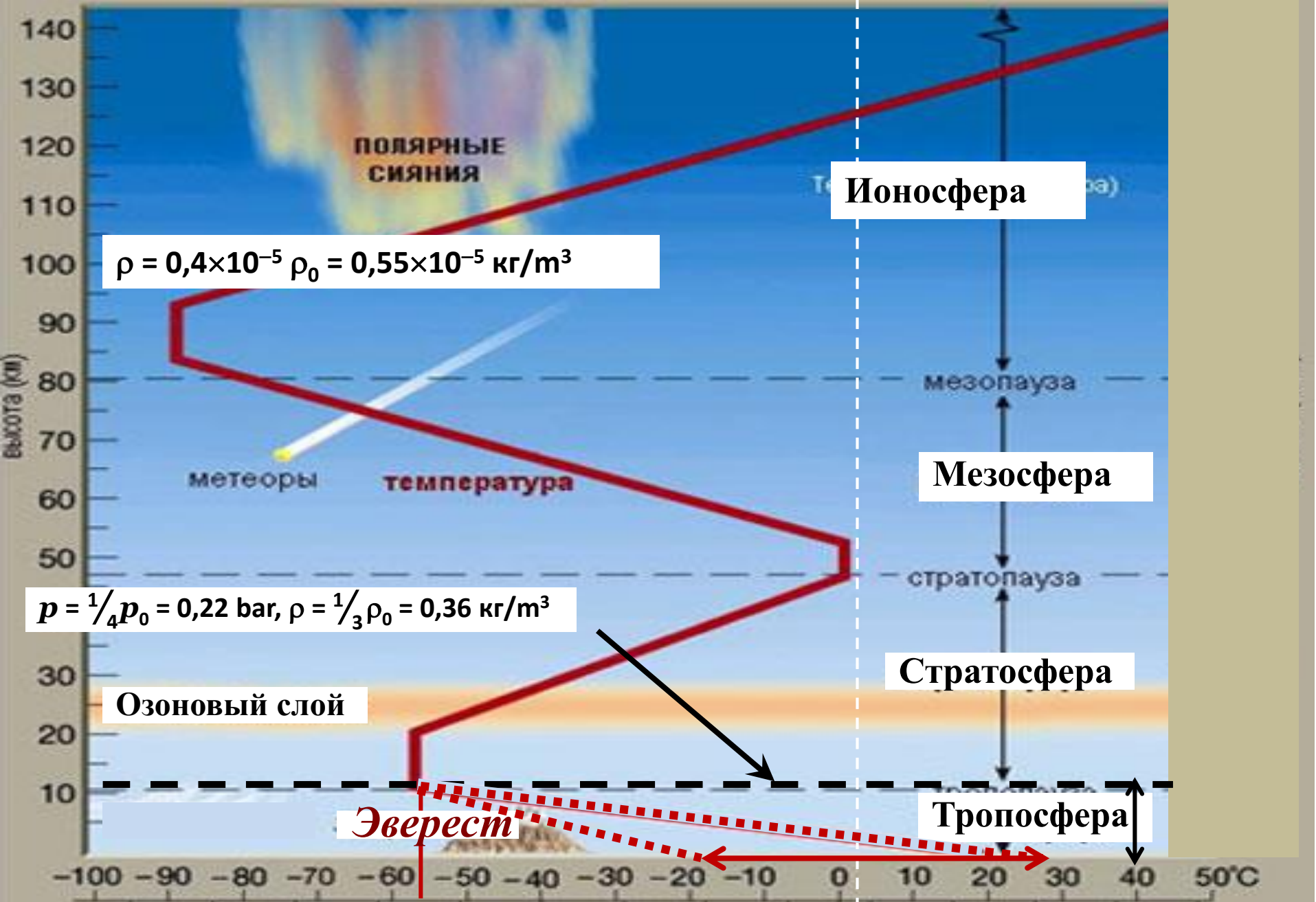


1 390 тыс. км

Луна и Земля

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

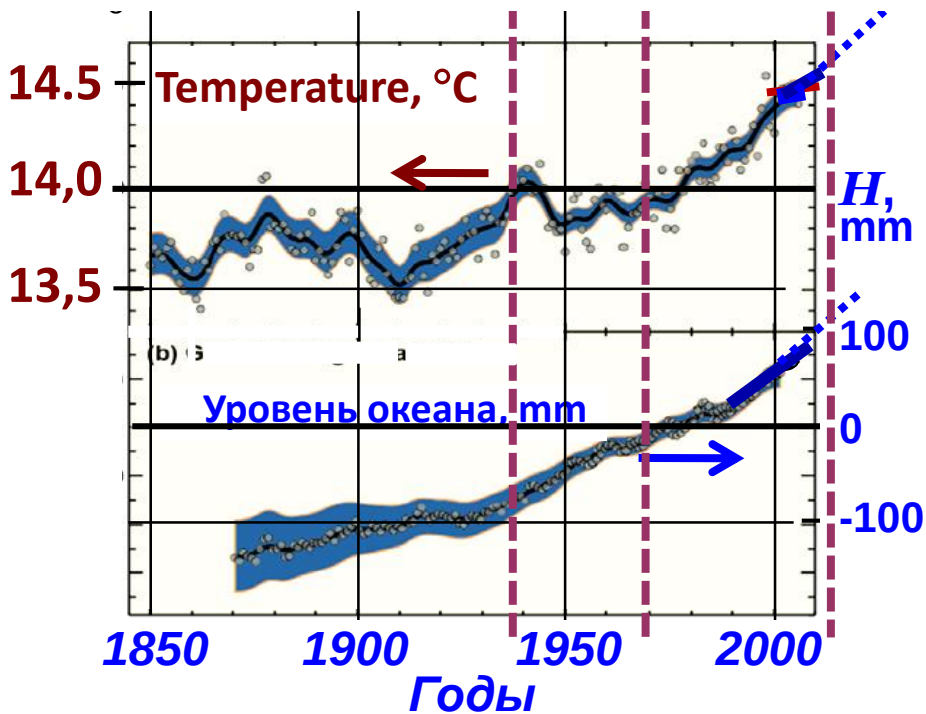




Глобальная Температура

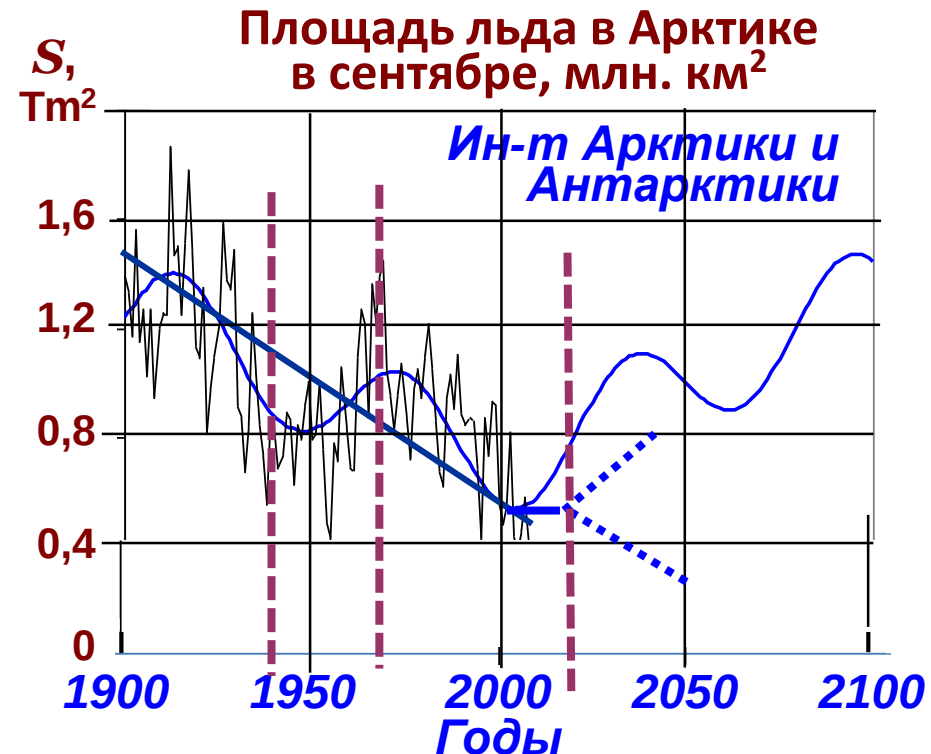
$$\bar{T} \equiv \frac{1}{S_{\text{Earth}}} \int_{\text{Earth}} T \, ds = \frac{1}{S_{\text{Earth}}} \sum_{i=1}^N T_i \Delta s_i$$

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



Climate Warming

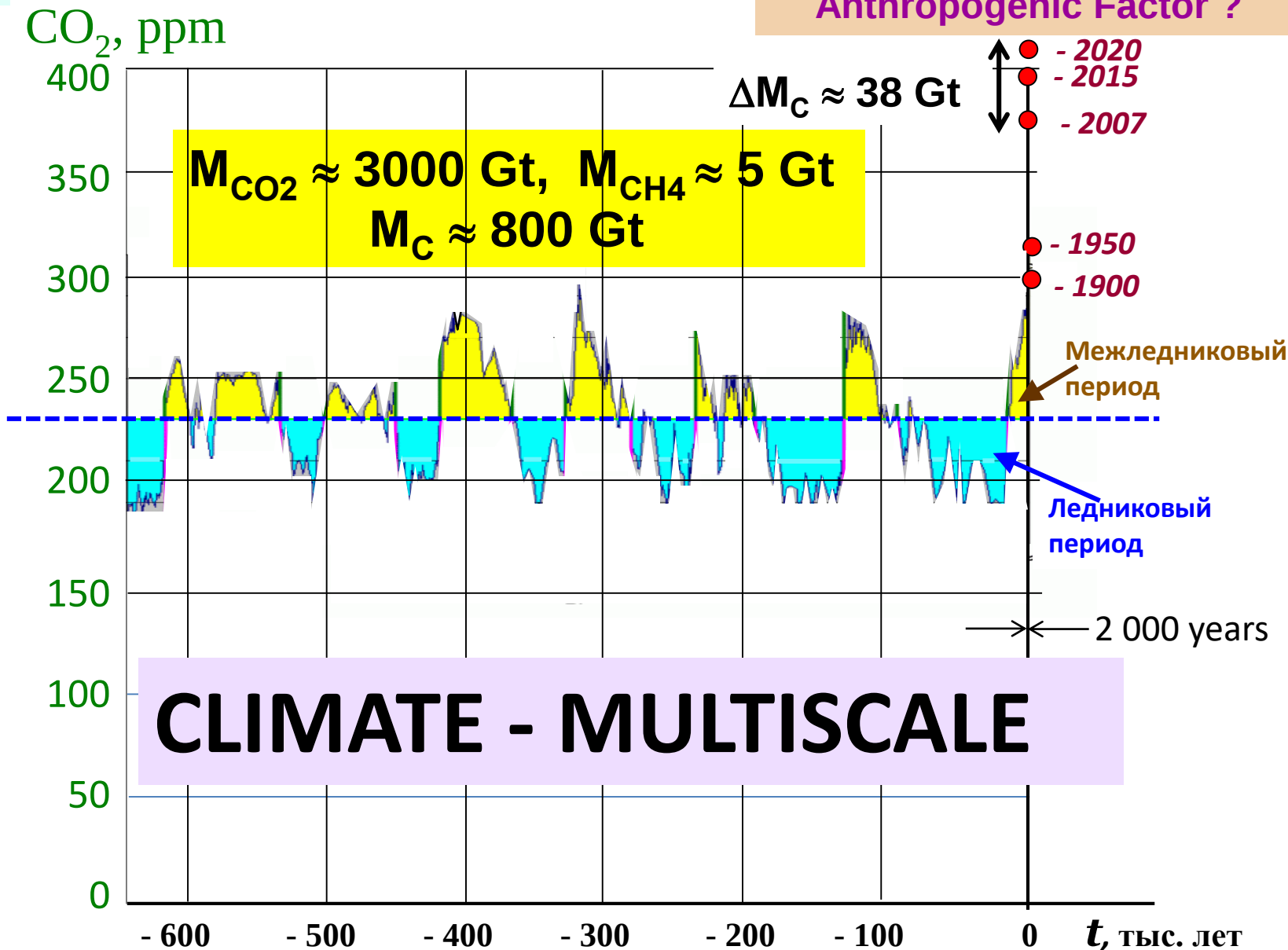
- Growth of global temperature of air by **1.0°C** during last 60 year
- Rise of sea level by **3 mm/year** during last 25 year
- Decrease of Arctic Ocean Surface covered by Ice in Summer **2 times** for the last **30 year**

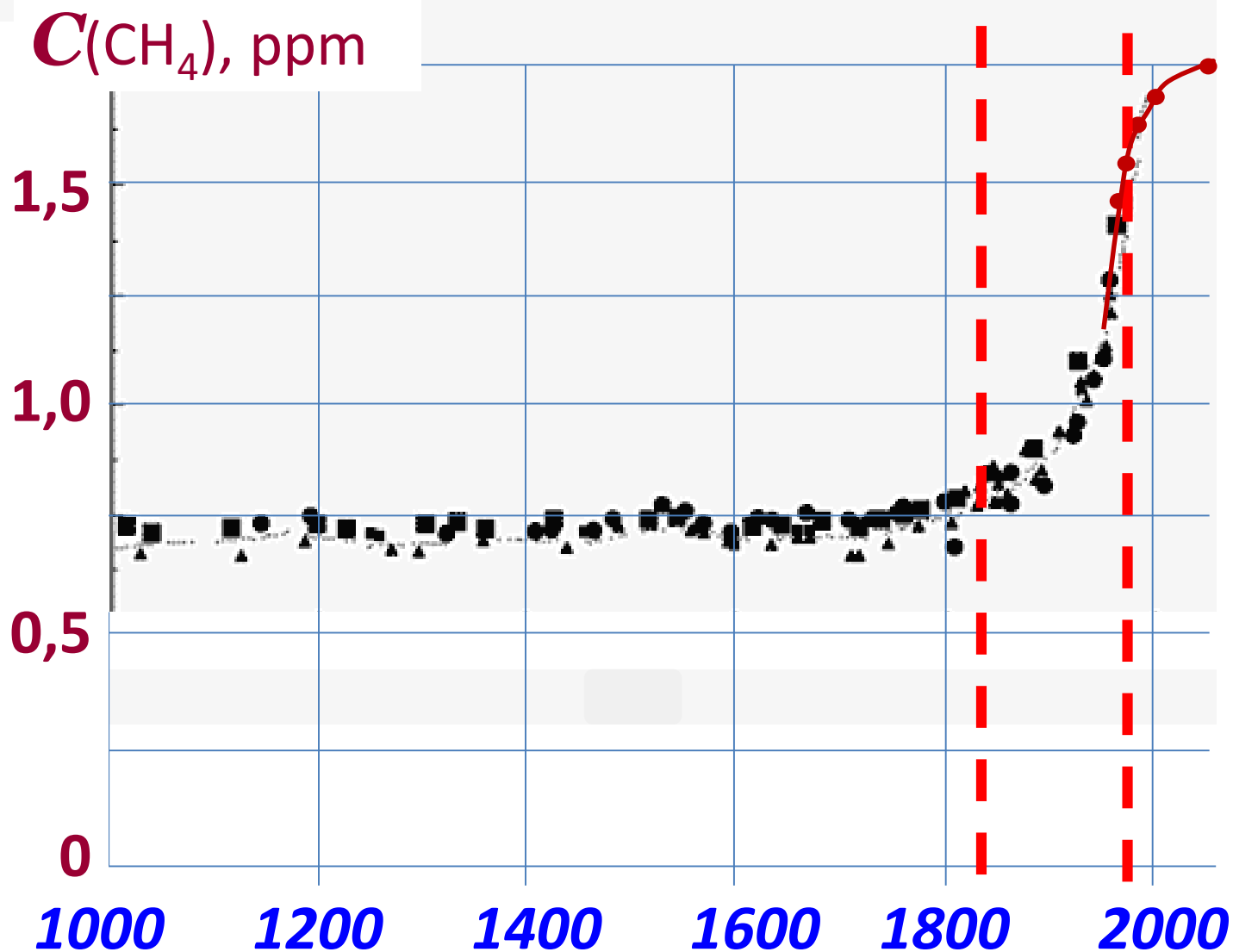




Concentration of CO_2 in the bubbles in the ice cores from “Vostok” well

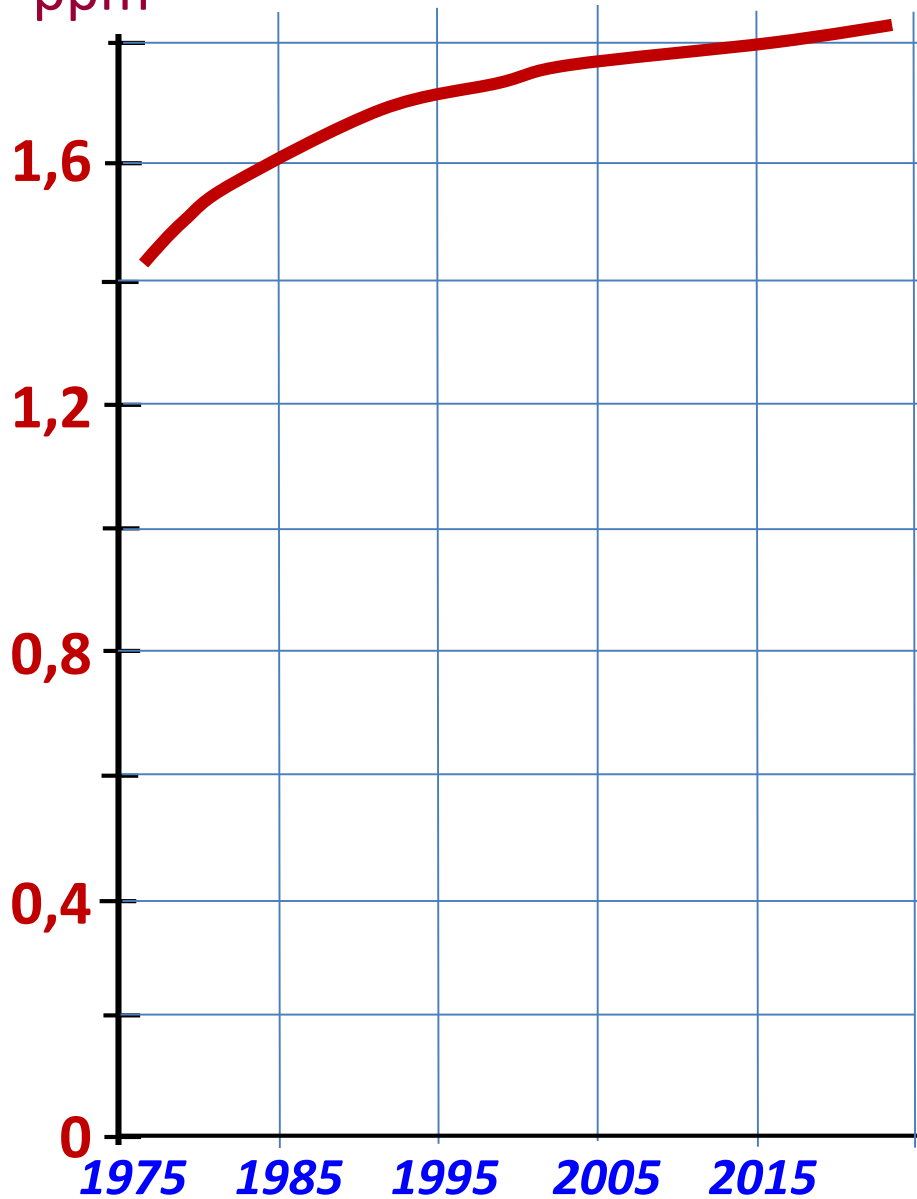
Anthropogenic Factor ?





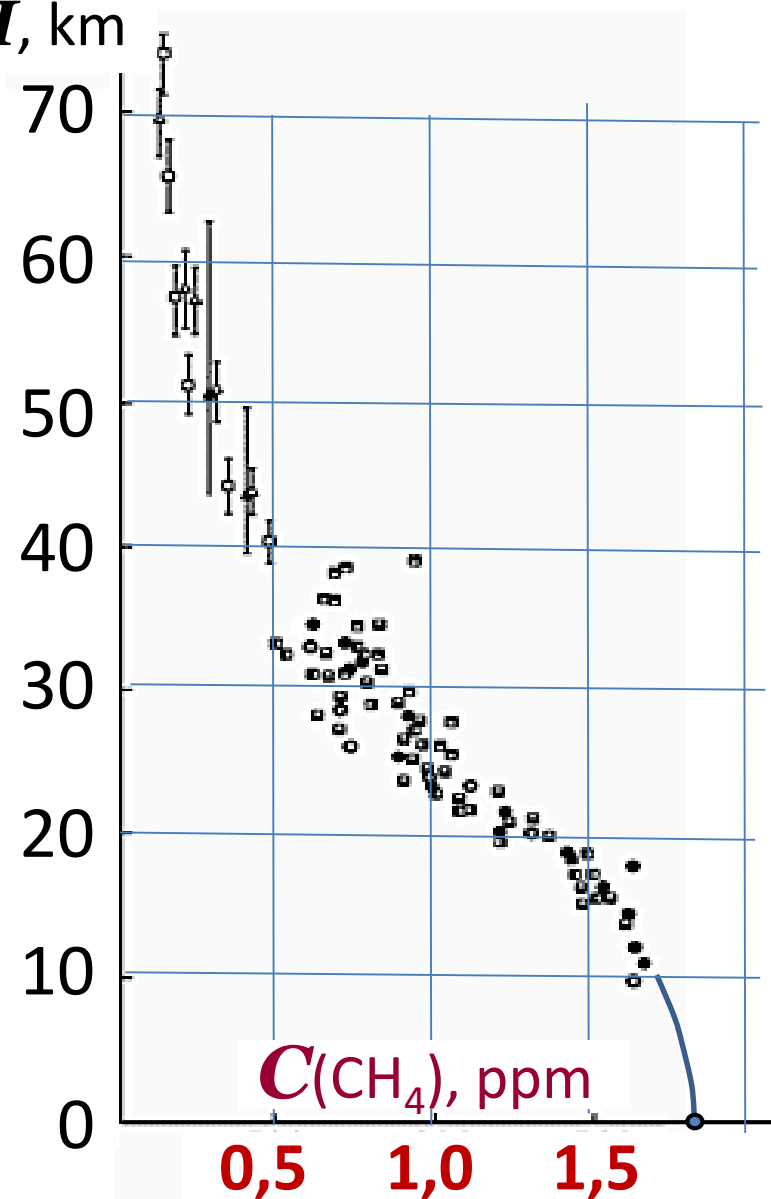
И.Л. Кароль, А.А. Киселев, **Атмосферный метан и глобальный климат**, *Природа*, 7, 2004, Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова.

$C(\text{CH}_4)$,
ppm



Концентрация метана
по высоте H

Высота
 H , km



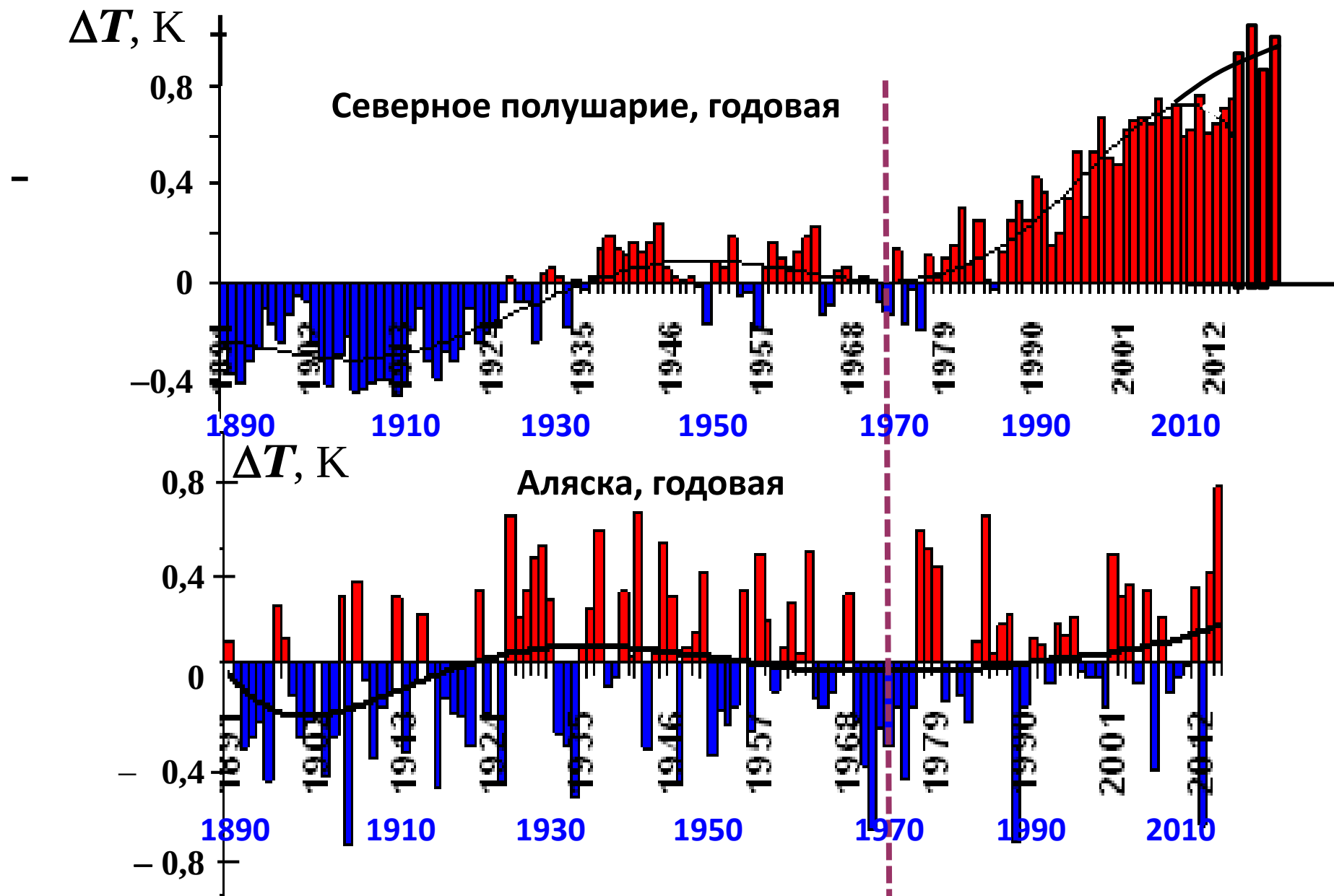
ЭМИССИЯ МЕТАНА В АТМОСФЕРУ 500 Мт/год

ЕСТЕСТВЕННАЯ ЭМИССИЯ 150 Мт/год

- Болота
- Озера
- Реки
- Пожары (саванны, тропические леса, тайга)
- Океан 20 Мт/год,
из них из Арктики 10 Мт/год

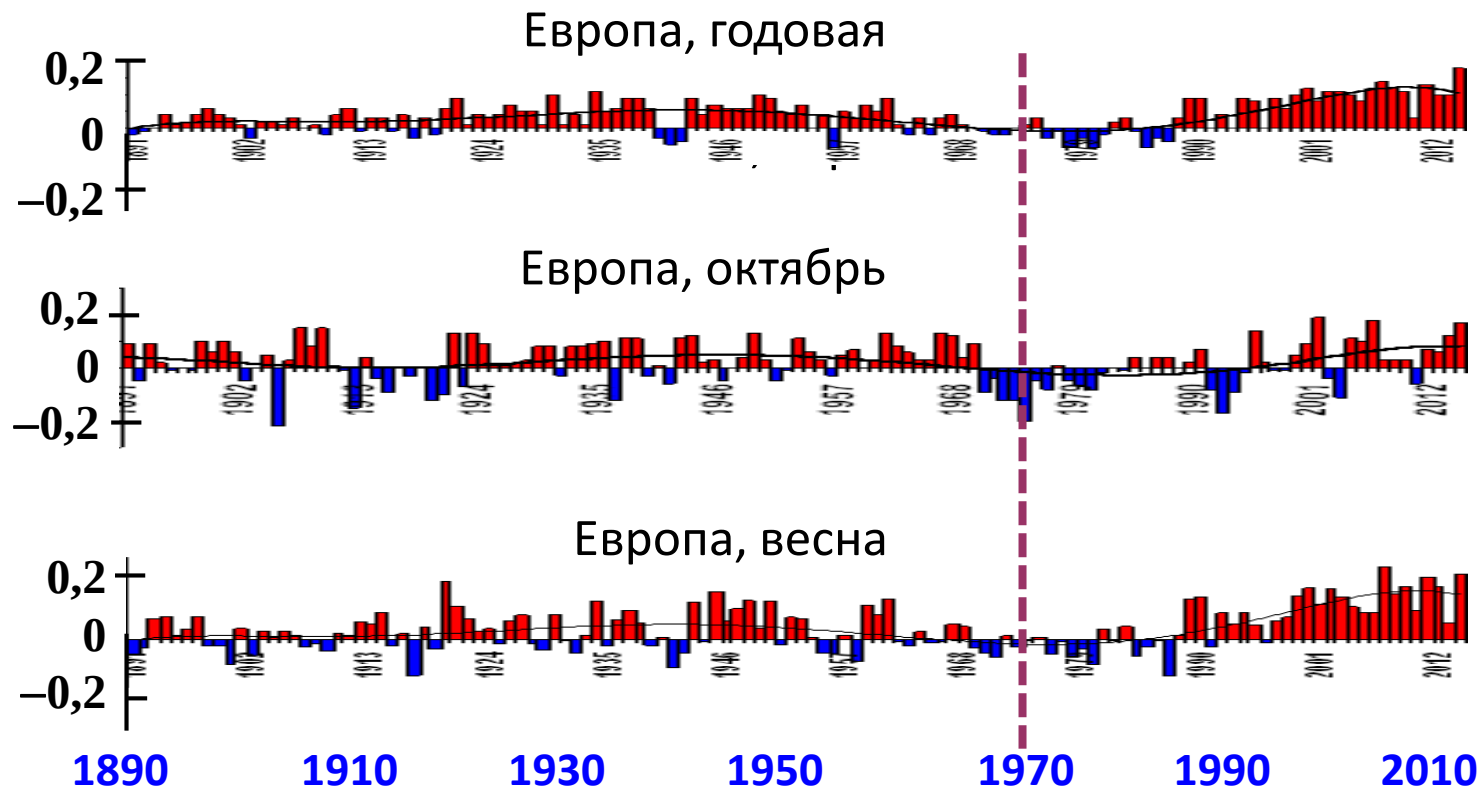
АНТРОПОГЕННАЯ ЭМИССИЯ 350 Мт/год

- Сельское хозяйство (жвачные животные, рисоводство)
- Энергетика (добыча и переработка нефти и газа)
- Мусорные свалки



Аномалии температуры, 1891-2014 гг.

(Росгидромет)



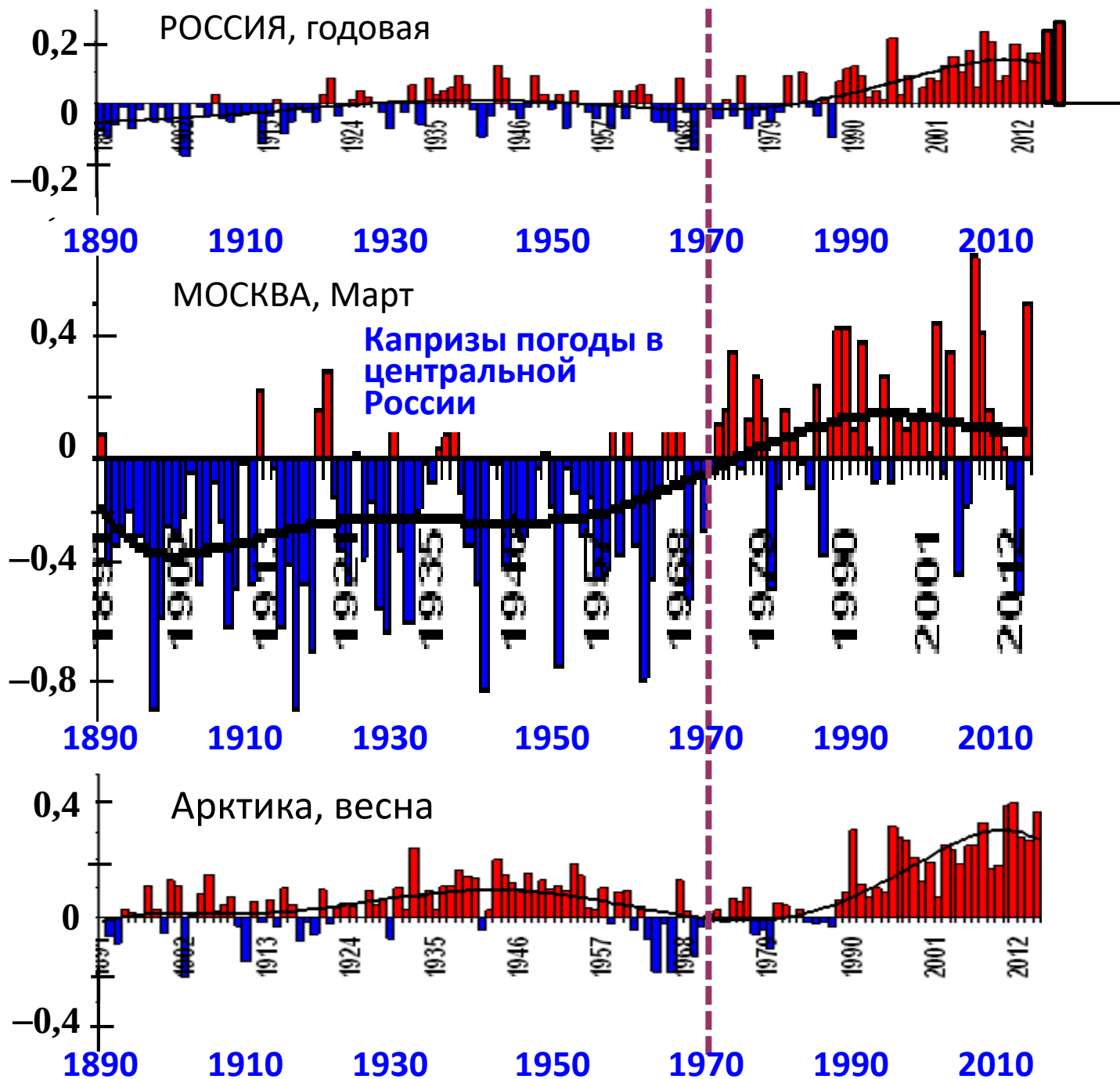
2014 г.

В среднем течении Гольфстрима: $\Delta T = +2$ К,

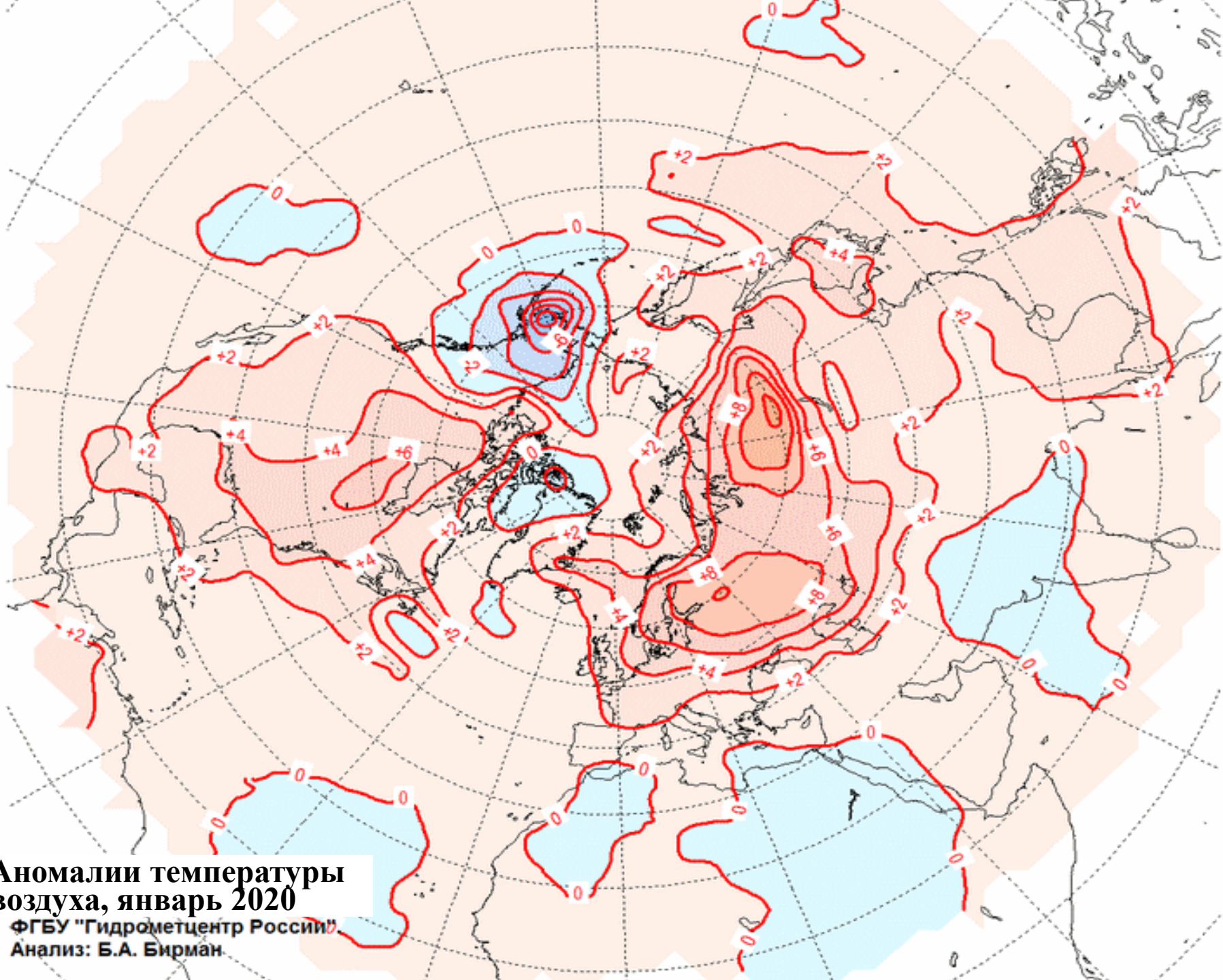
Над Гольфстримом воздух: крупные положительные ΔT

Аномалии температуры, 1891-2014 гг.

(Росгидромет)



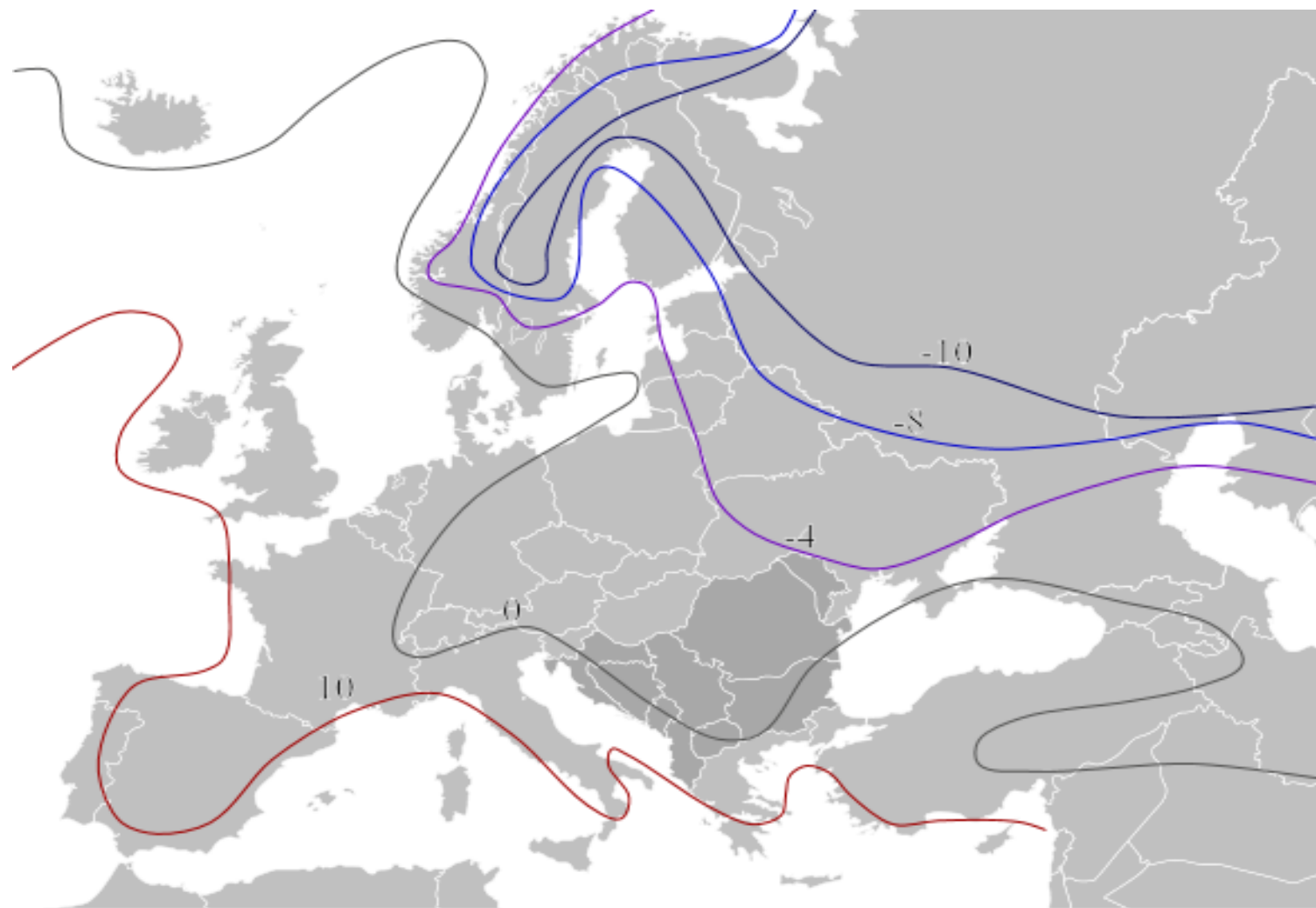
Аномалии
температуры,
1891-2014 гг.,
(Росгидромет)



**Аномалии температуры
воздуха, январь 2020**

ФГБУ "Гидрометцентр России"
Анализ: Б.А. Бирман

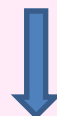
ИЗОТЕРМЫ ЯНВАРЯ



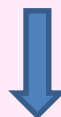


Концепция антропогенного усиления глобального потепления

Рост концентрации $c(\text{CO}_2)$ $\Rightarrow$ малый рост $T_{\text{(поверхности)}}$



рост содержания паров H_2O



более сильный рост $T_{\text{(поверхности)}}$ и т.д.



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.)

БАЛАНС УГЛЕРОДА (C) В АТМОСФЕРЕ

$M(\text{CO}_2)$ в атмосфере ≈ 3000 Гт $\rightarrow M(\text{C}) = 800$ Гт ,

$$J_{\text{естественная эмиссия}} \sim J_{\text{естественная абсорбция}} \sim 10^2 \frac{\text{Гт}}{\text{год}}$$

$$\dot{M}_{\text{ест}} = J_{\text{естеств эмиссия}} - J_{\text{естеств абсорбция}} \sim \frac{10 \text{ Гт}}{100 \text{ лет}} \sim 10^{-1} \frac{\text{Гт}}{\text{год}}$$

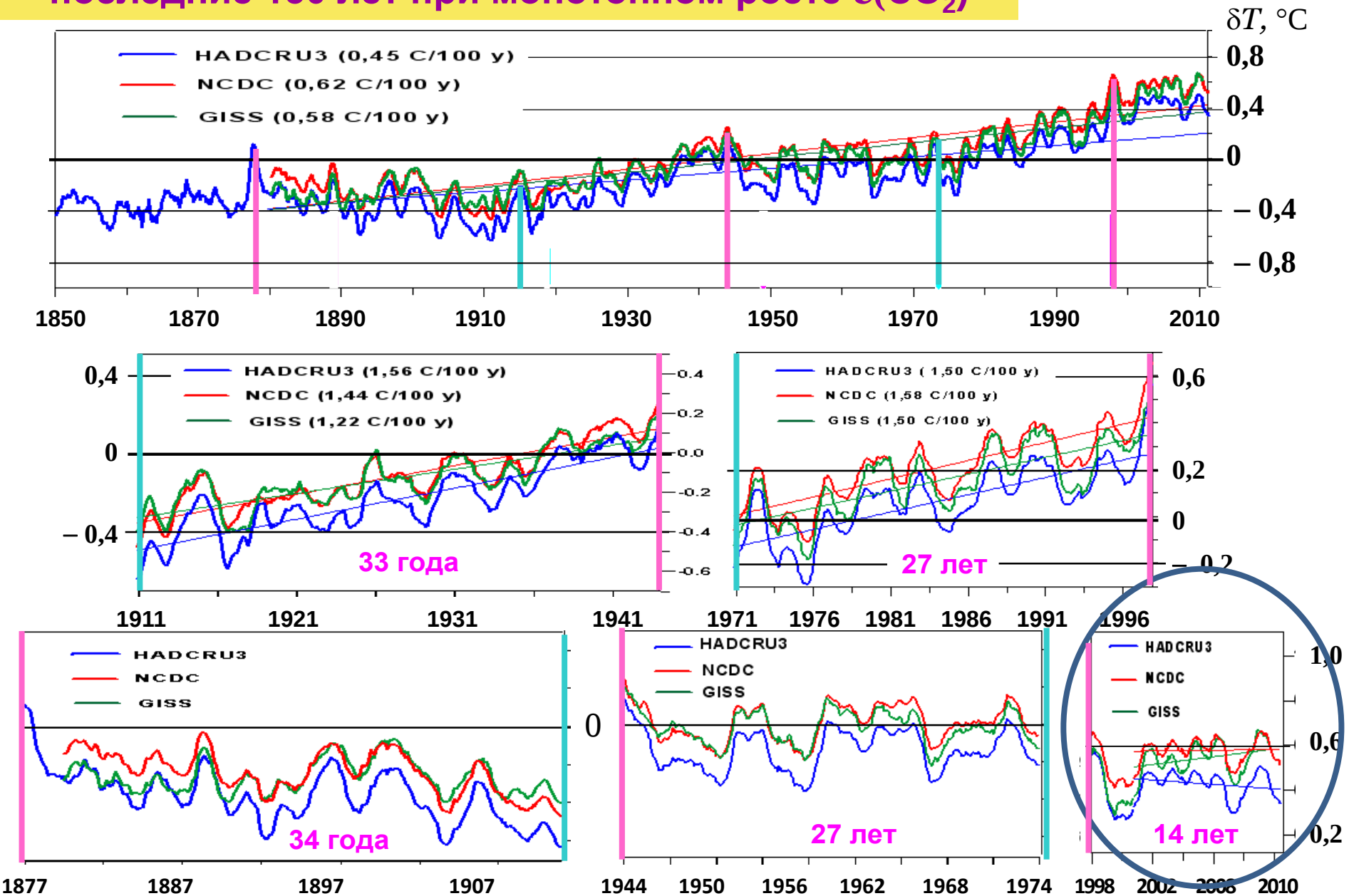
$$\dot{M}_{\text{антропогенный}} = J_{\text{антропогенный}} \sim 10 \frac{\text{Гт}}{\text{год}}$$

$$\dot{M}_{\text{антропогенный}} \gg \dot{M}_{\text{естественная}}$$

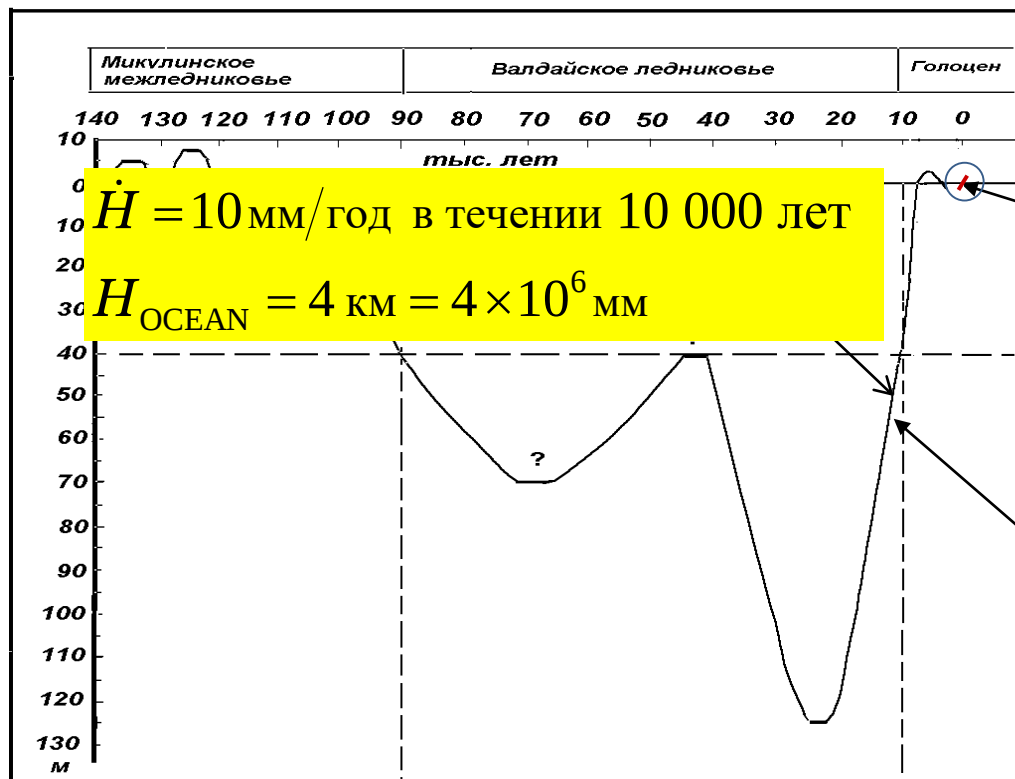




Ход средней глобальной температуры за последние 150 лет при монотонном росте $c(\text{CO}_2)$



1. Эволюция уровня океана За 140 тысяч лет



Антропогенный ?

$\dot{H} = 10 \text{ мм/год}$ в течении 10 000 лет

$H_{\text{OCEAN}} = 4 \text{ км} = 4 \times 10^6 \text{ мм}$

$\dot{H} = 3 \text{ мм/год}$ в течении 20 лет

$H_{\text{OCEAN}} = 4 \text{ км} = 4 \times 10^6 \text{ мм}$

Неантропогенный

50 - 70 млн лет назад

Концентрация $\text{CO}_2 = c = 700 \text{ ppm}$

(Сейчас $c = 390 \text{ ppm}$)

Температура на дне океана $t = 10^\circ\text{C}$

(Сейчас $t = -2^\circ \div 1^\circ\text{C}$)



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

3. ТЕРМОДИНАМИКА

$$M_{\text{Океан}} = 300 M_{\text{Атмосфера}}$$

ТЕПЛОЕМКОСТЬ ОКЕАНА ~ 1000 $\times$ ТЕПЛОЕМКОСТЬ АТМОСФЕРЫ

$$c_{\text{Вода}} M_{\text{Океан}} = 1000 c_{\text{Воздух}} M_{\text{Атмосфера}}$$

$$M(\text{CO}_2)_{\text{Океан}} = 50 M(\text{CO}_2)_{\text{Атмосфера}}$$



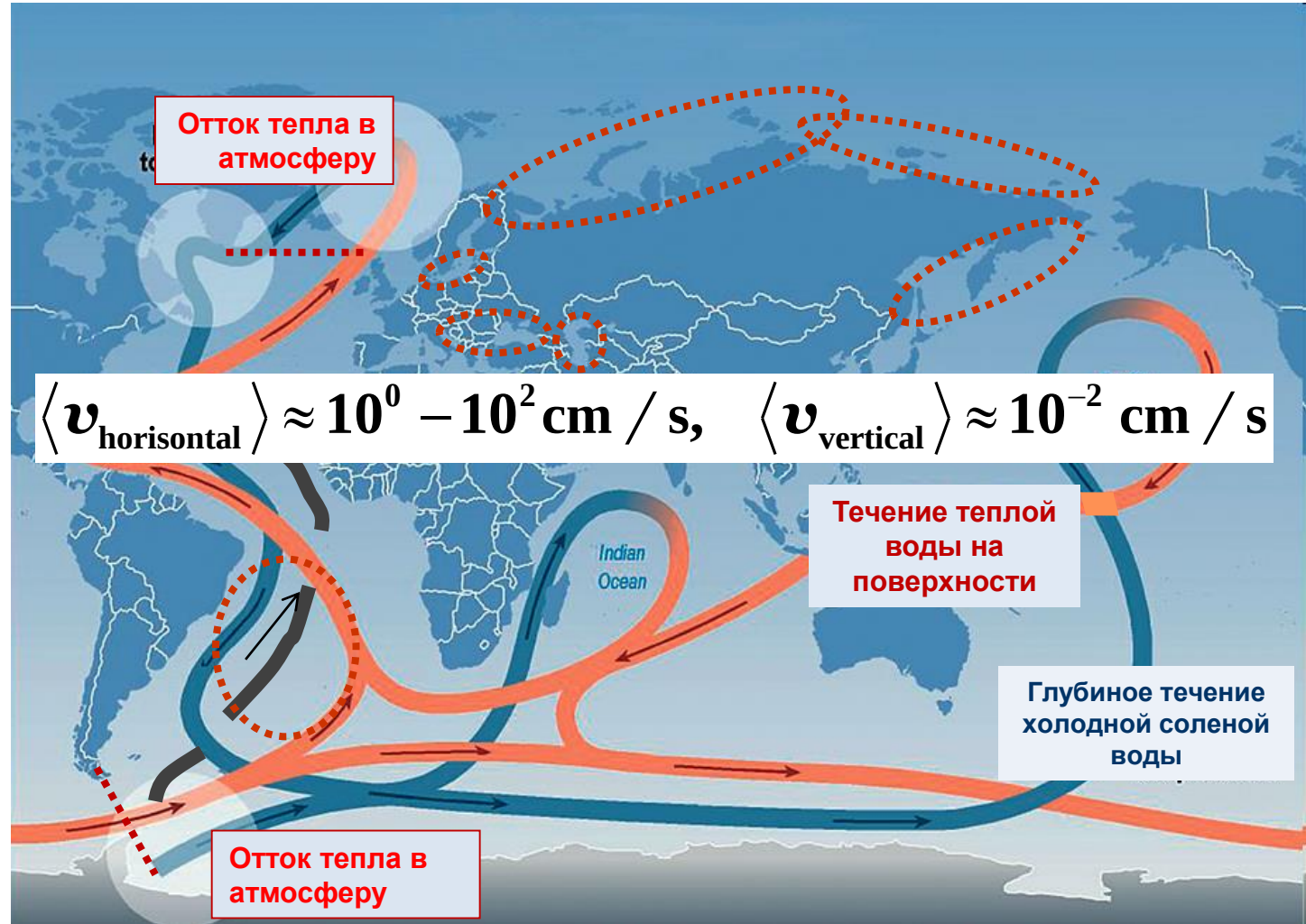
Глобальная циркуляция = термохалинная конвекция:

- $\rho(p, T, S)$ + сила тяжести + сила Кориолиса,
- рельеф дна, ветер)

ГЛОБАЛЬНОЕ ПОТЕПЛЕНИЕ:

**Рост $T^{\circ}\text{C}$
в атмосфере
и в верхних
слоях океана**

**Окисление
вод океана**



**Затронули ли изменения климата глубинные
слои океана и межширотную циркуляцию???**

Влияние потока солнечной радиации

$$R_E = 152 \text{ ГМ}, \quad (R_E)_{\max} = 152 \text{ ГМ}, \quad (R_E)_{\min} = 147 \text{ ГМ}, \quad a = 6400 \text{ км}$$

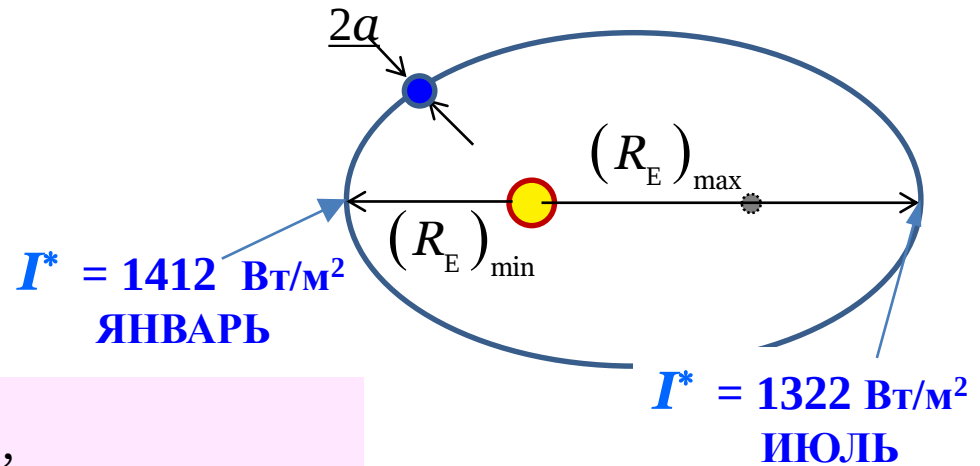
$$\delta \bar{R} \equiv \frac{R_{\max} - R_{\min}}{\langle R \rangle} = 3,5 \times 10^{-2}$$

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

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

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

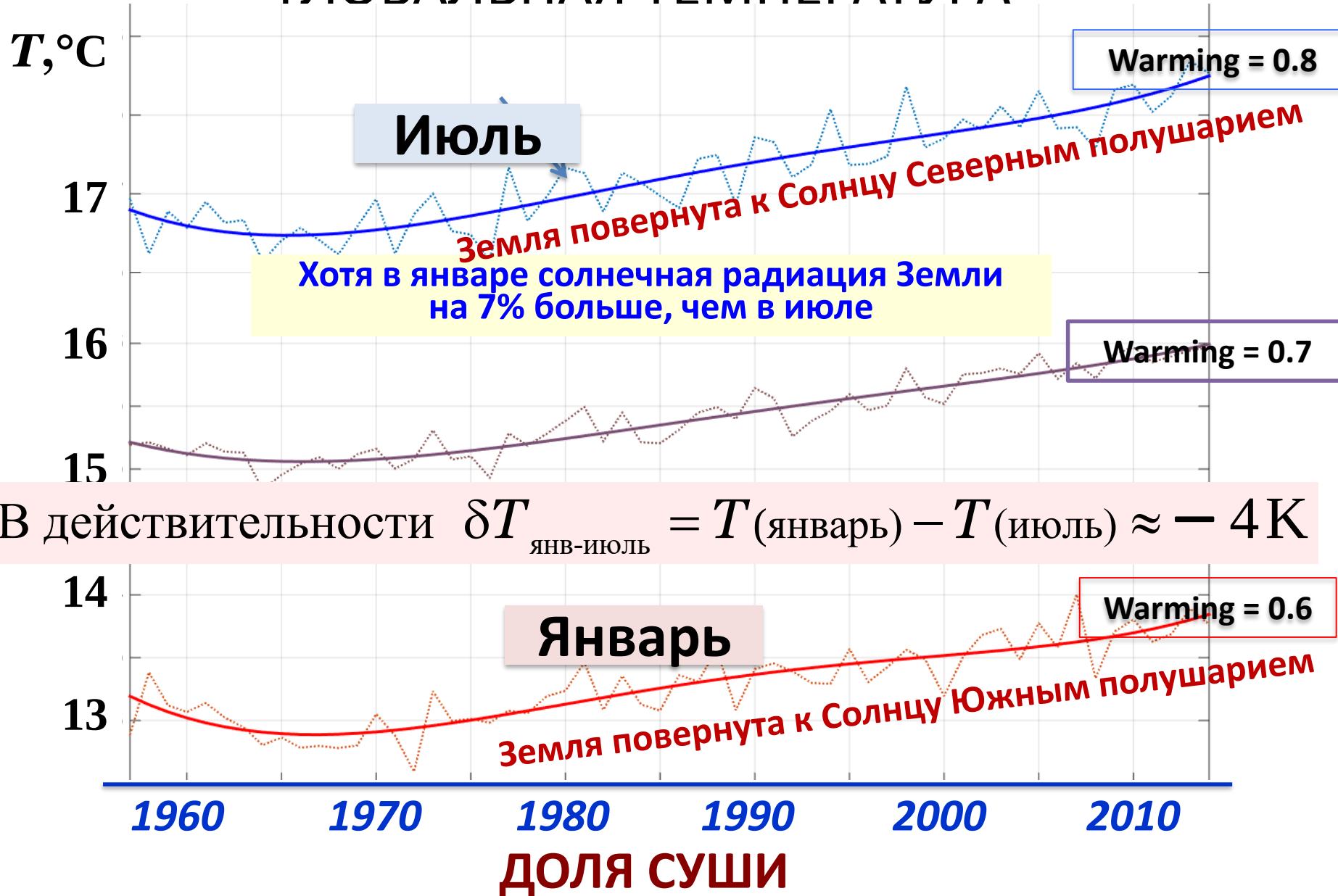
$$\Delta T_{\text{space}} \approx (+30 - (-40)) = 70 \text{ K}$$



$$\text{тогда д.б. } \delta T_{\text{ЯНВ-ИЮЛЬ}} = 3 \text{ K} - 5 \text{ K} \quad ???$$



ГЛОБАЛЬНАЯ ТЕМПЕРАТУРА



в Северном полушарии **39 %**, в Южном полушарии **19 %**.

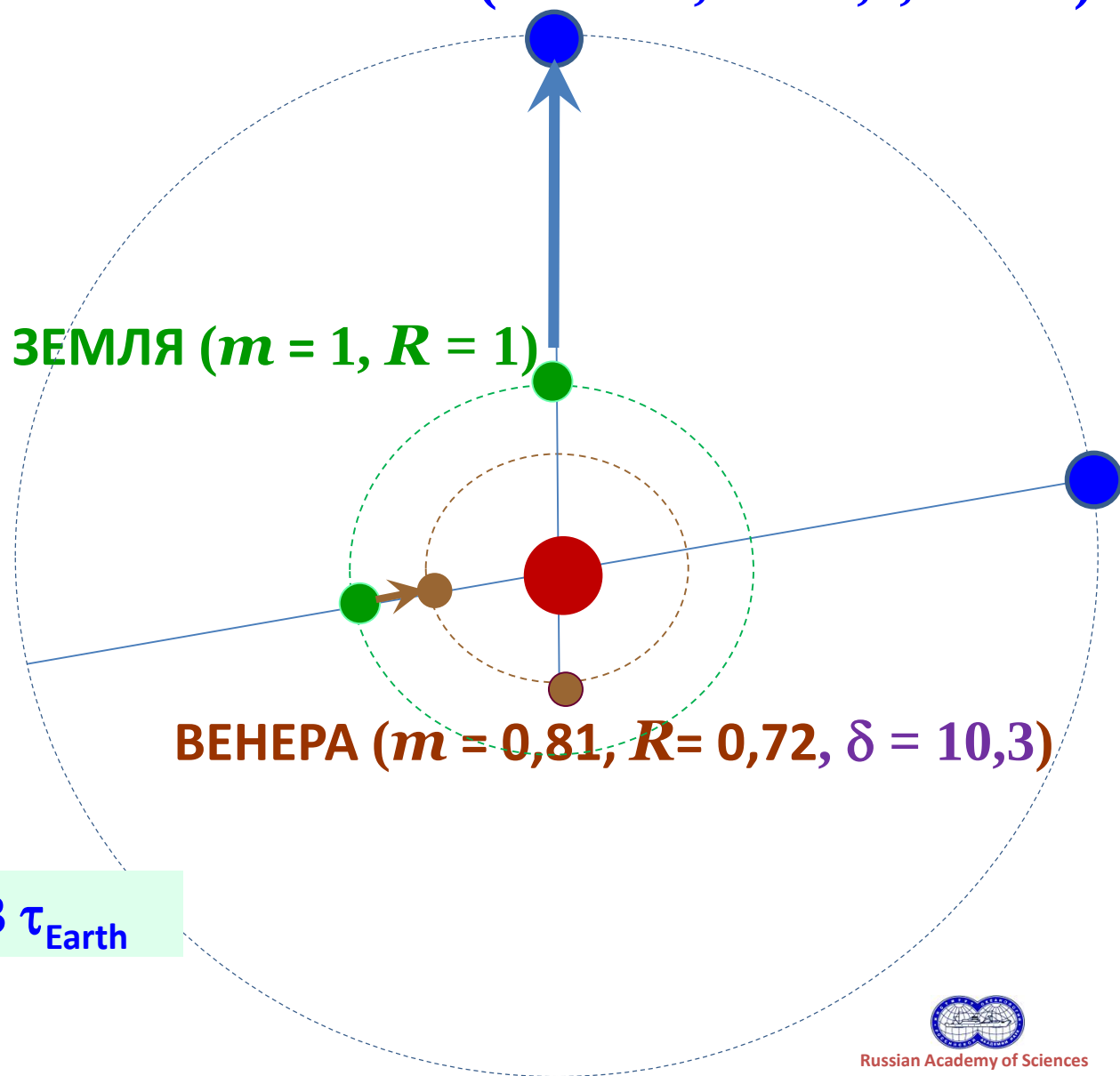
5. ВОЗДЕЙСТВИЕ ЮПИТЕРА И ВЕНЕРЫ НА ОРБИТУ ЗЕМЛИ

$$\delta = \frac{m}{(R-1)^2}$$

ЮПИТЕР ($m = 318, R = 5,2, \delta = 18$)

ЗЕМЛЯ ($m = 1, R = 1$)

ВЕНЕРА ($m = 0,81, R = 0,72, \delta = 10,3$)

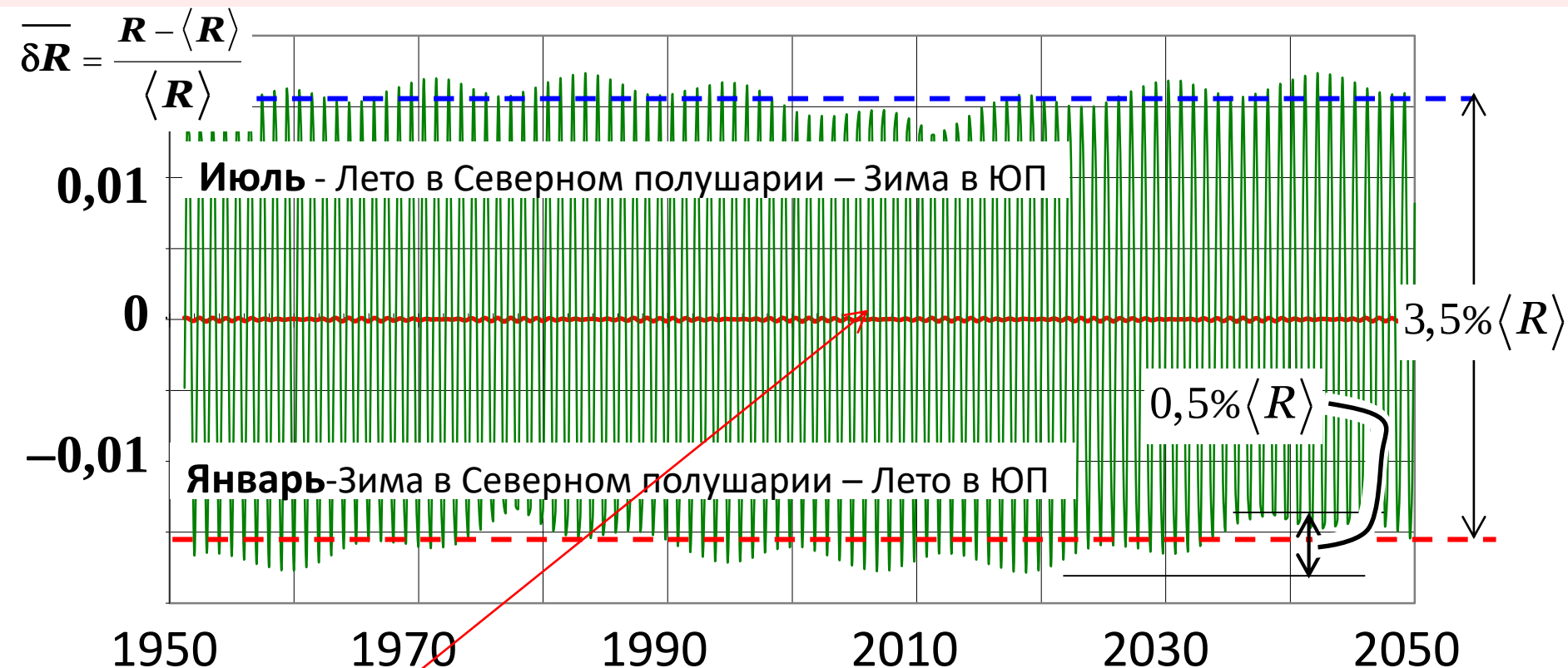


$\tau_{\text{Earth}} = 1$ год
 $\tau_{\text{Jupiter}} = 11,7$ год
 $\tau_{\text{Venus}} = 0,61$ год

$7\tau_{\text{Jupiter}} = 135 \tau_{\text{Venus}} = 83 \tau_{\text{Earth}}$



Изменение расстояния Земли от Солнца



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

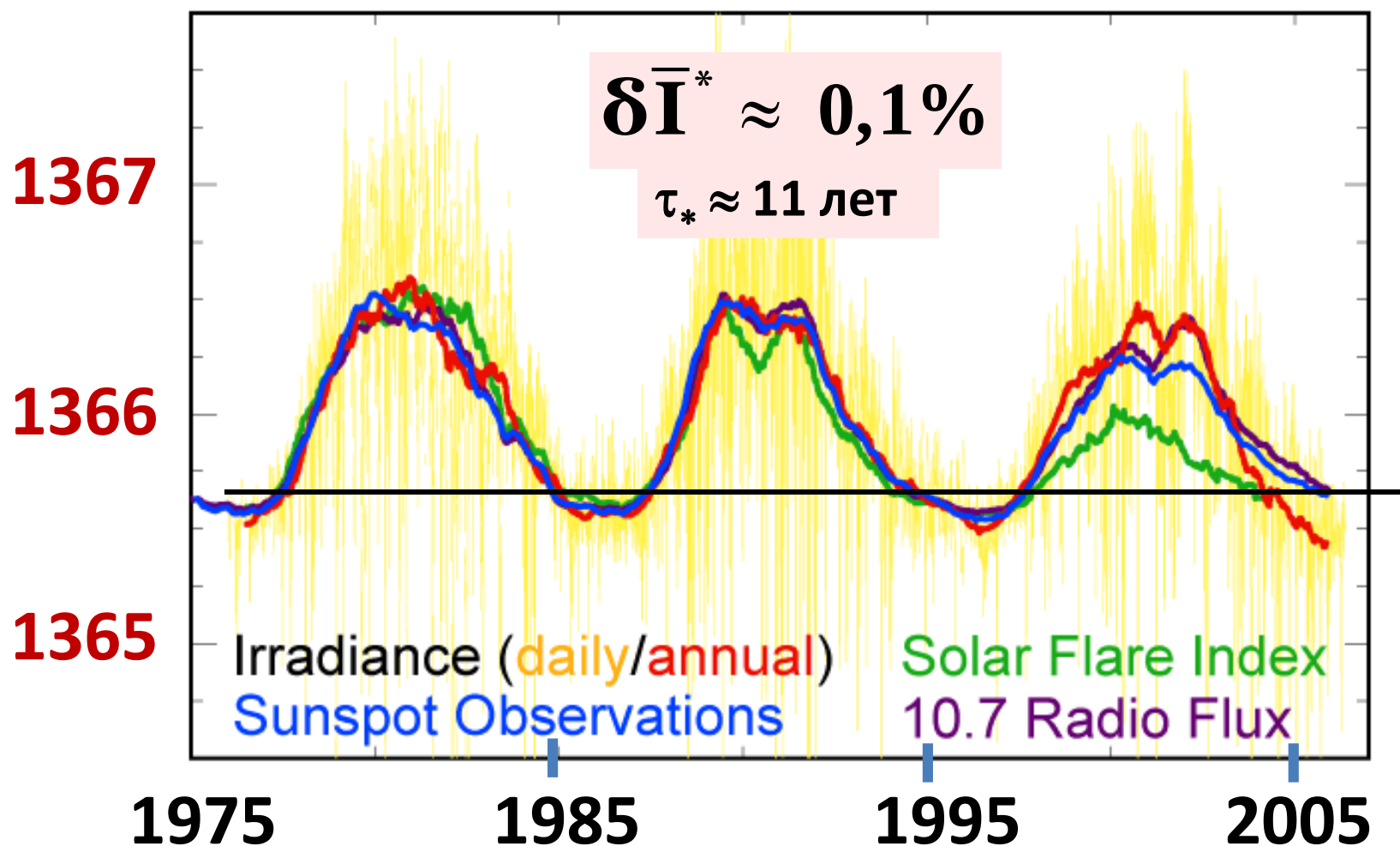
$$\tau_* \approx 12 \text{ лет}; \quad \tau^* \approx 60 \text{ лет};$$

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

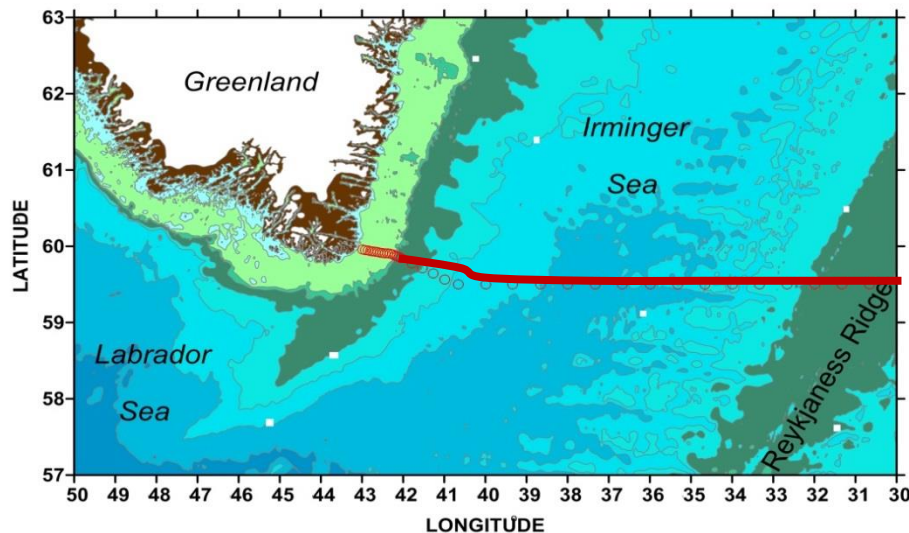
$$\delta \bar{R}(\text{планетарное}) \approx 0,5\%,$$

$$\delta T(\text{планетарное}) \approx 1\% \times (+20 - (-20)) \approx 0,5 \text{ К}$$

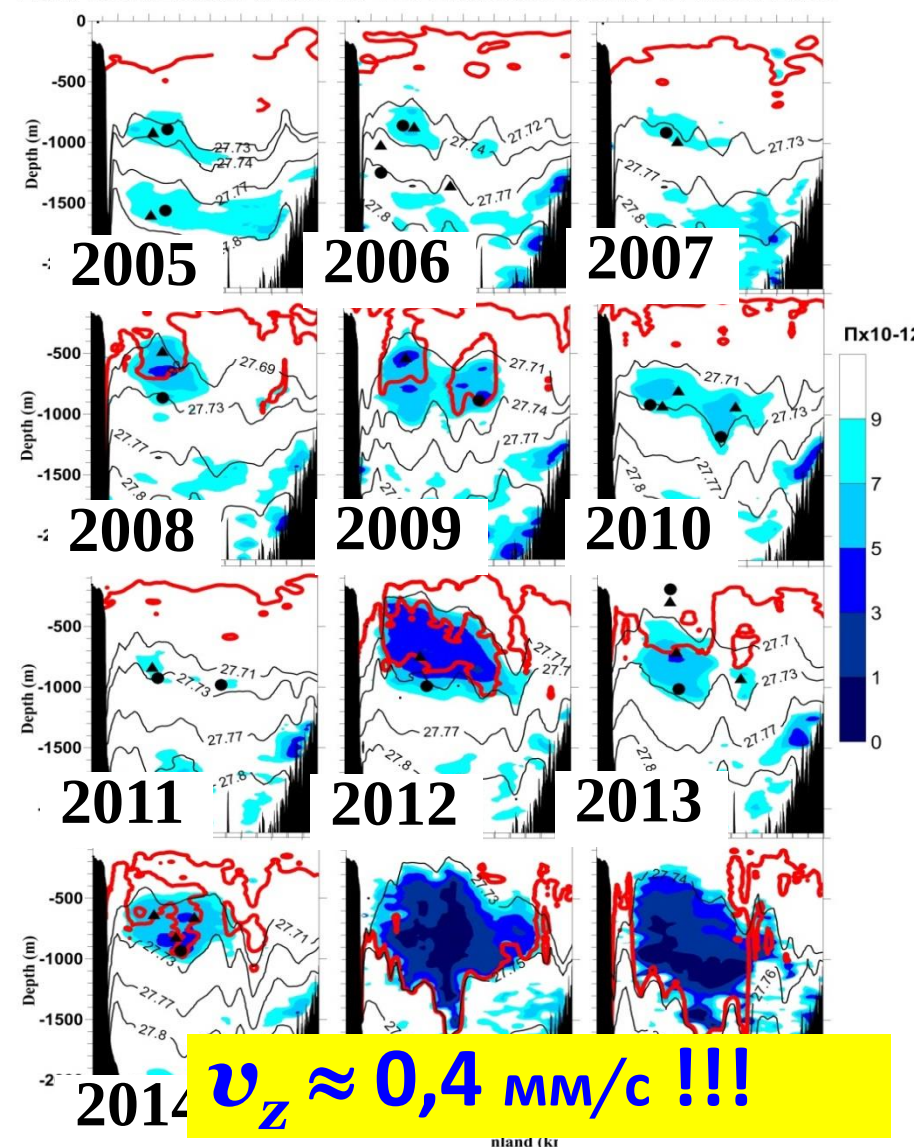
6. Изменение солнечной радиации, W/m^2



TRANSATLANTIC SECTION ALONG 59.5 N

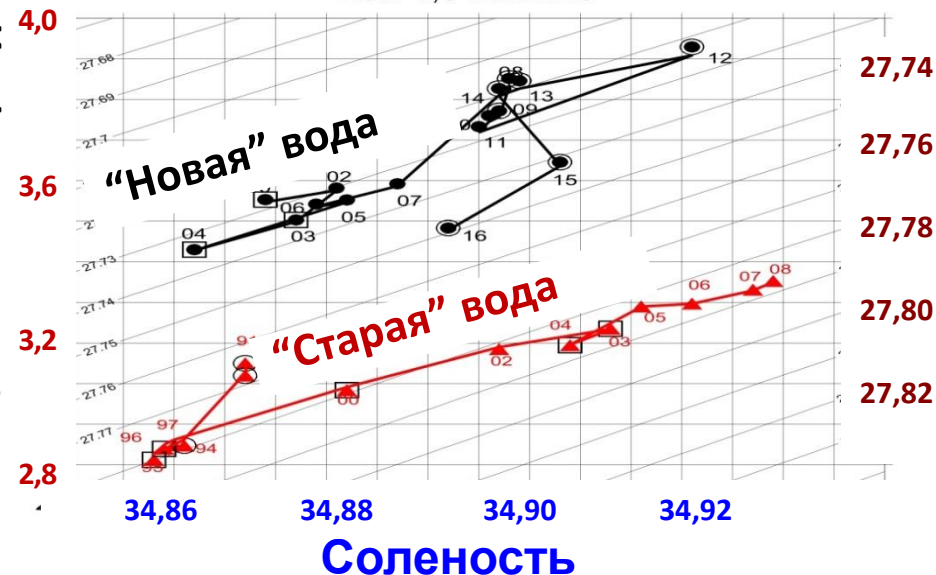


LSW CORE LOCATION IN THE IRMINGER SEA IN 2005-2016



Потенциальная температура, °C

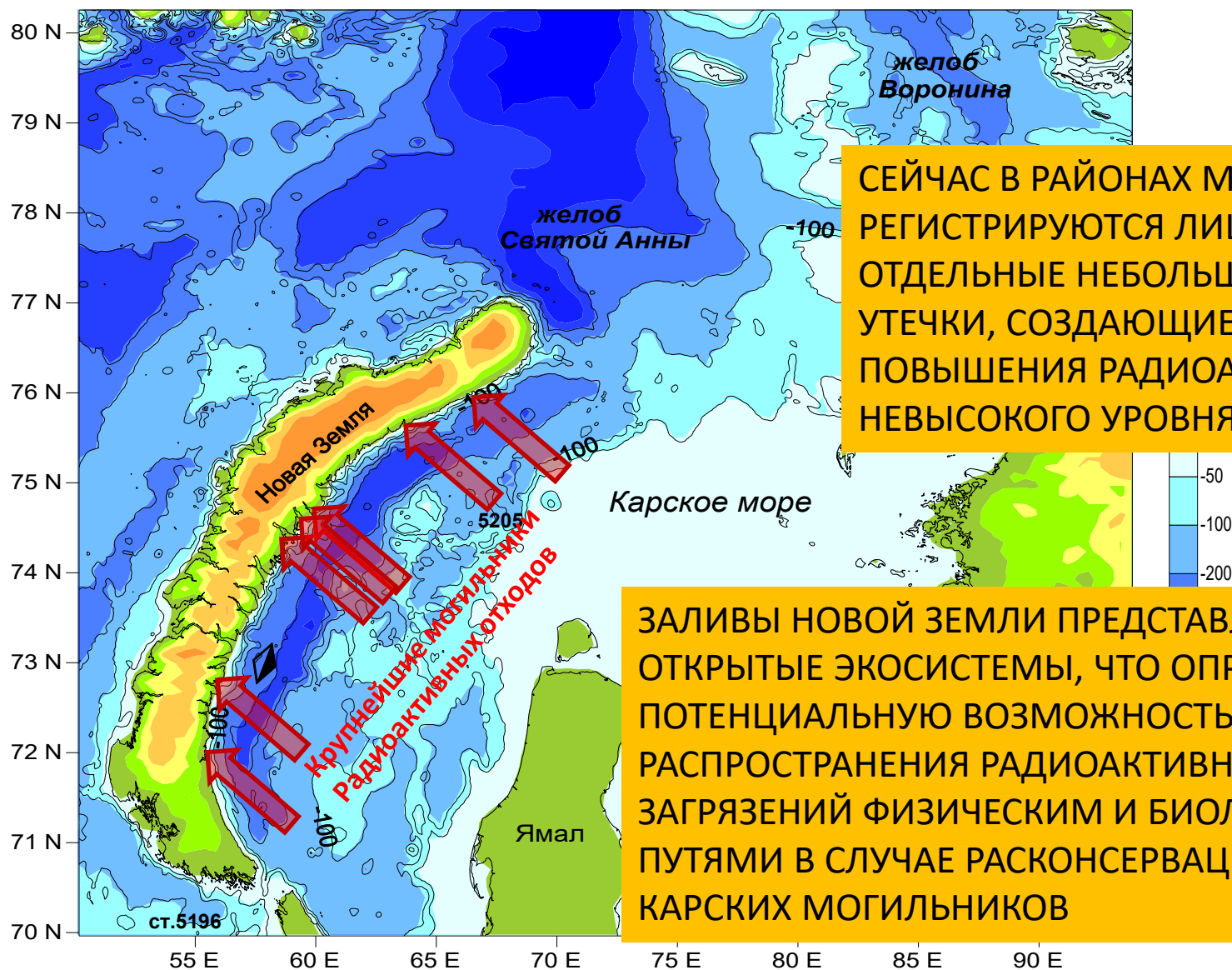
LSW T,S-INDEXES



Аномально глубокая зимняя конвекция в 2014/15 и в 2015/16

Годичный опрокидывающий расход 8-9 Sv,
что равно притку воды из Арктики

КРУПНЕЙШИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ, НАКОПЛЕННЫЕ В РОССИЙСКОЙ АРКТИКЕ – МОГИЛЬНИКИ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ В КАРСКОМ МОРЕ У ПОБЕРЕЖЬЯ НОВОЙ ЗЕМЛИ



СЕЙЧАС В РАЙОНАХ МОГИЛЬНИКОВ РЕГИСТРИРУЮТСЯ ЛИШЬ ОТДЕЛЬНЫЕ НЕБОЛЬШИЕ УТЕЧКИ, СОЗДАЮЩИЕ ЛОКАЛЬНЫЕ ПОВЫШЕНИЯ РАДИОАКТИВНОСТИ НЕВЫСОКОГО УРОВНЯ

ЗАЛИВЫ НОВОЙ ЗЕМЛИ ПРЕДСТАВЛЯЮТ СОБОЙ ОТКРЫТЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, ЧТО ОПРЕДЕЛЯЕТ ПОТЕНЦИАЛЬНУЮ ВОЗМОЖНОСТЬ ШИРОКОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ЗАГРЯЗЕНИЙ ФИЗИЧЕСКИМ И БИОЛОГИЧЕСКИМ ПУТЯМИ В СЛУЧАЕ РАСКОНСЕРВАЦИИ КАРСКИХ МОГИЛЬНИКОВ

ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ УРАВНЕНИЯ ДЛЯ КЛИМАТА

Уравнения Навье-Стокса
для двухфазной среды в **АТМОСФЕРЕ** и в **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, CO₂ и влаги

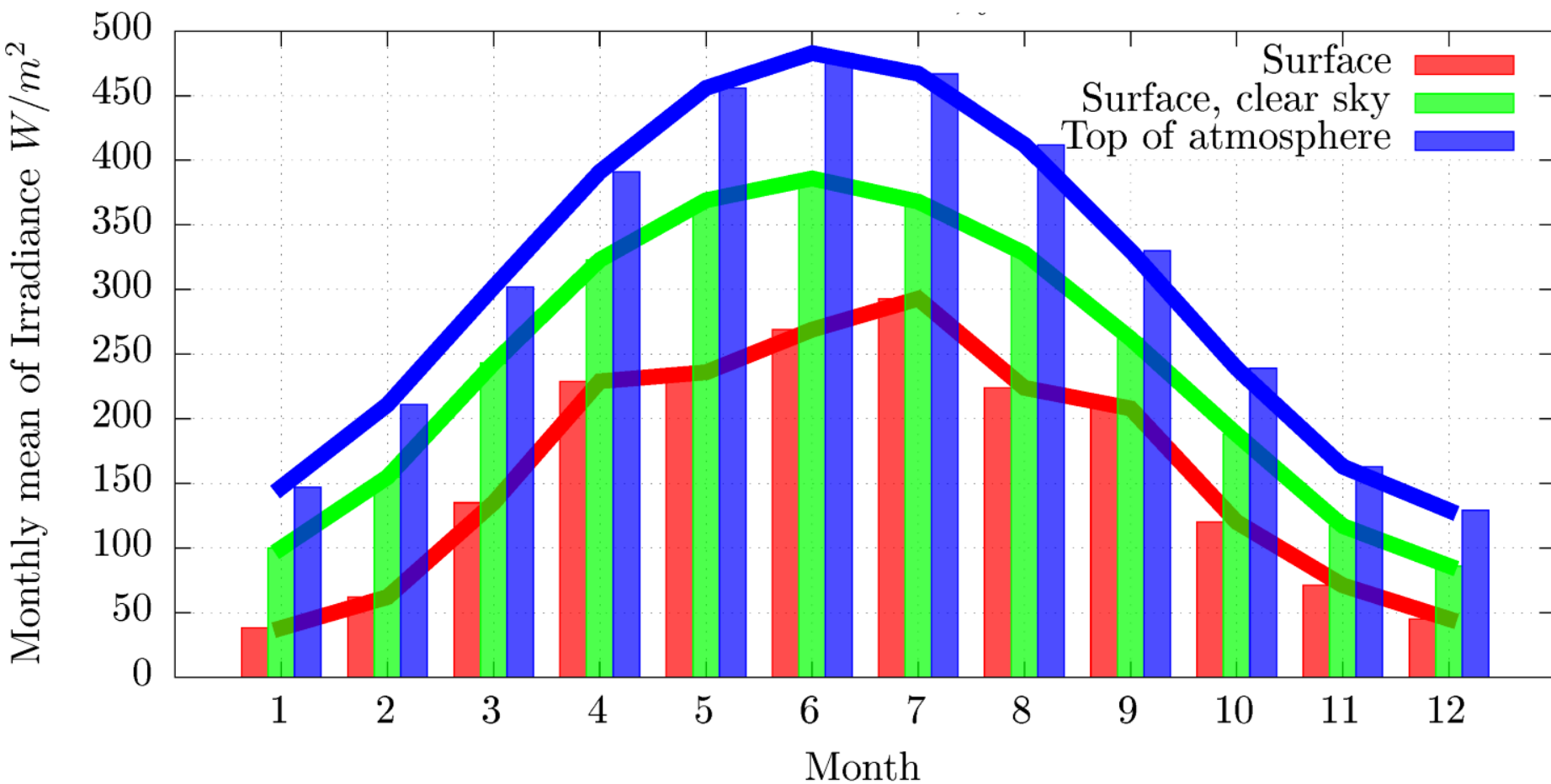
Уравнения состояния для воды и воздуха

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

Термодиффузионная конвекция

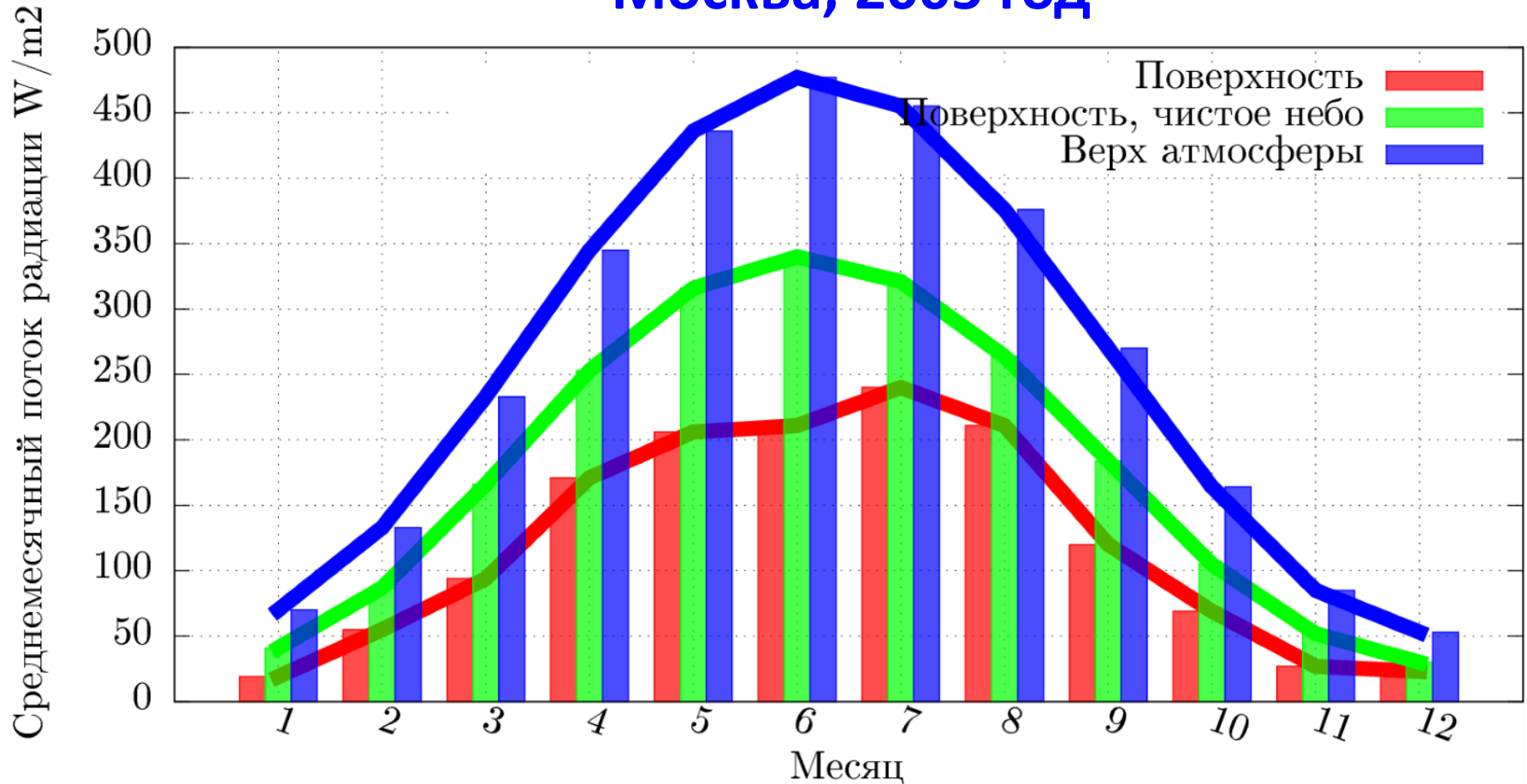
Поток солнечной радиации по месяцам

Севастополь, 2004 г.



Поток солнечной радиации по месяцам

Москва, 2005 год

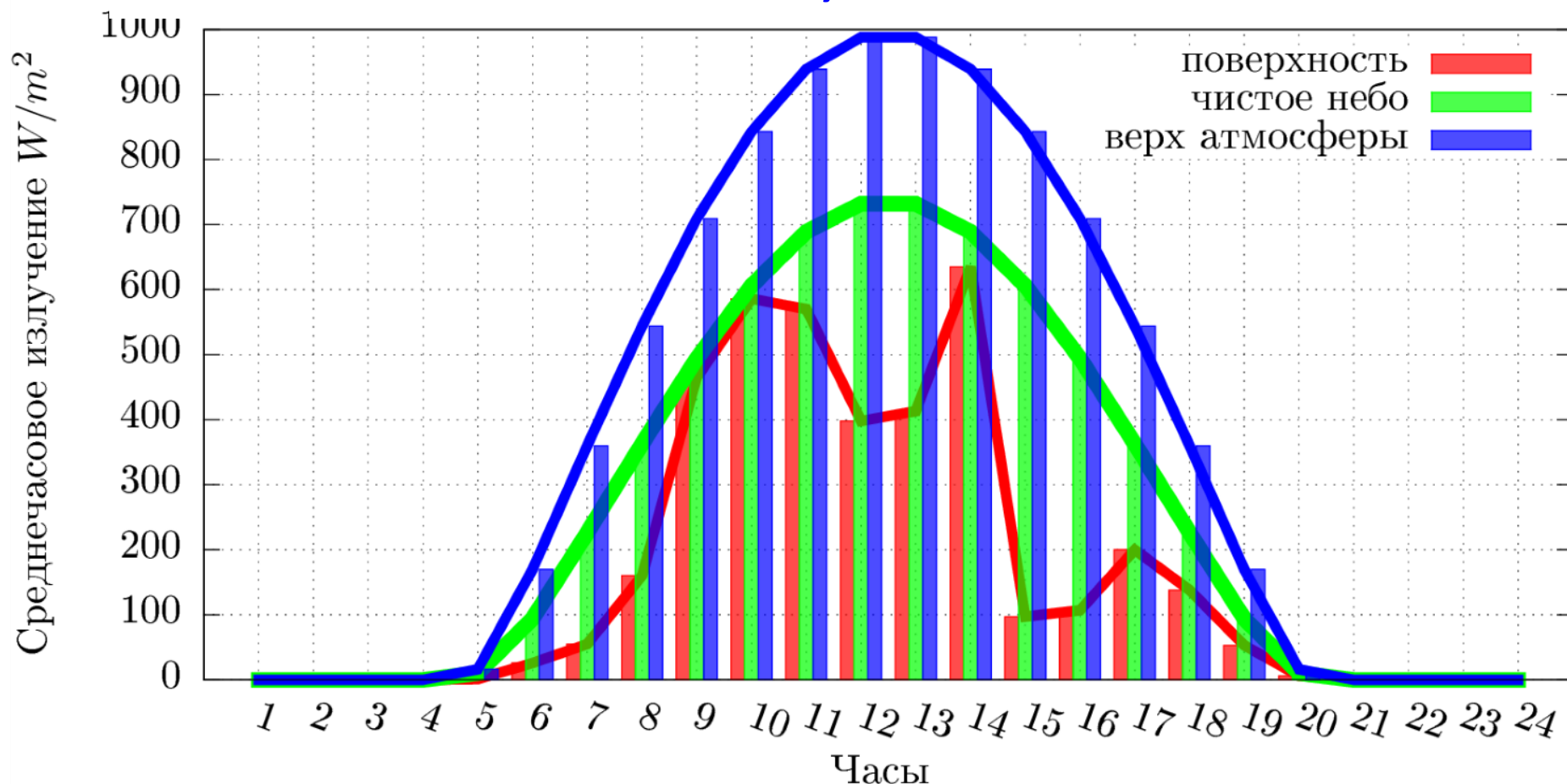


Два механизма двухфазности

1. Конденсация в облаке из водяного пара, туманы
2. Пыль, аэрозоль (вулканы, пустыни)

Поток солнечной радиации по часам

Москва, 15.08.14



Два механизма двухфазности

- 1. Конденсация в облаке из водяного пара, туманы**
- 2. Пыль, аэрозоль (вулканы, пустыни)**

A satellite photograph showing a large, dense, yellowish-brown plume of dust originating from the west coast of Africa and flowing across the Atlantic Ocean. The dust plume has a distinct, curved, and textured appearance, contrasting with the dark blue of the ocean and the brownish-green of the African landmass.

**Dust flowing
from Africa to
Atlantic.
*PHOTO: NASA***

**Уменьшение концентрации пыли ответственно за 2/3
роста температуры воды ($0,25^{\circ}\text{C}$ за 10 лет) в Атлантике.
Это потепление ответственно за усиление тайфунов**

7. Облака



Туман над мостом Золотые Ворота, Сан-Франциско

Смена погоды



1. Облачность



Вид на Мексиканский залив, Кубу и США

1. Облачность



Полностью освещенная Земля, известна как “The Blue Marble” (07.12.1972, снимок с корабля Аполлон 17).

8. Срыв капель



Панама Сити (Флорида, США). Фото сделано с вертолета



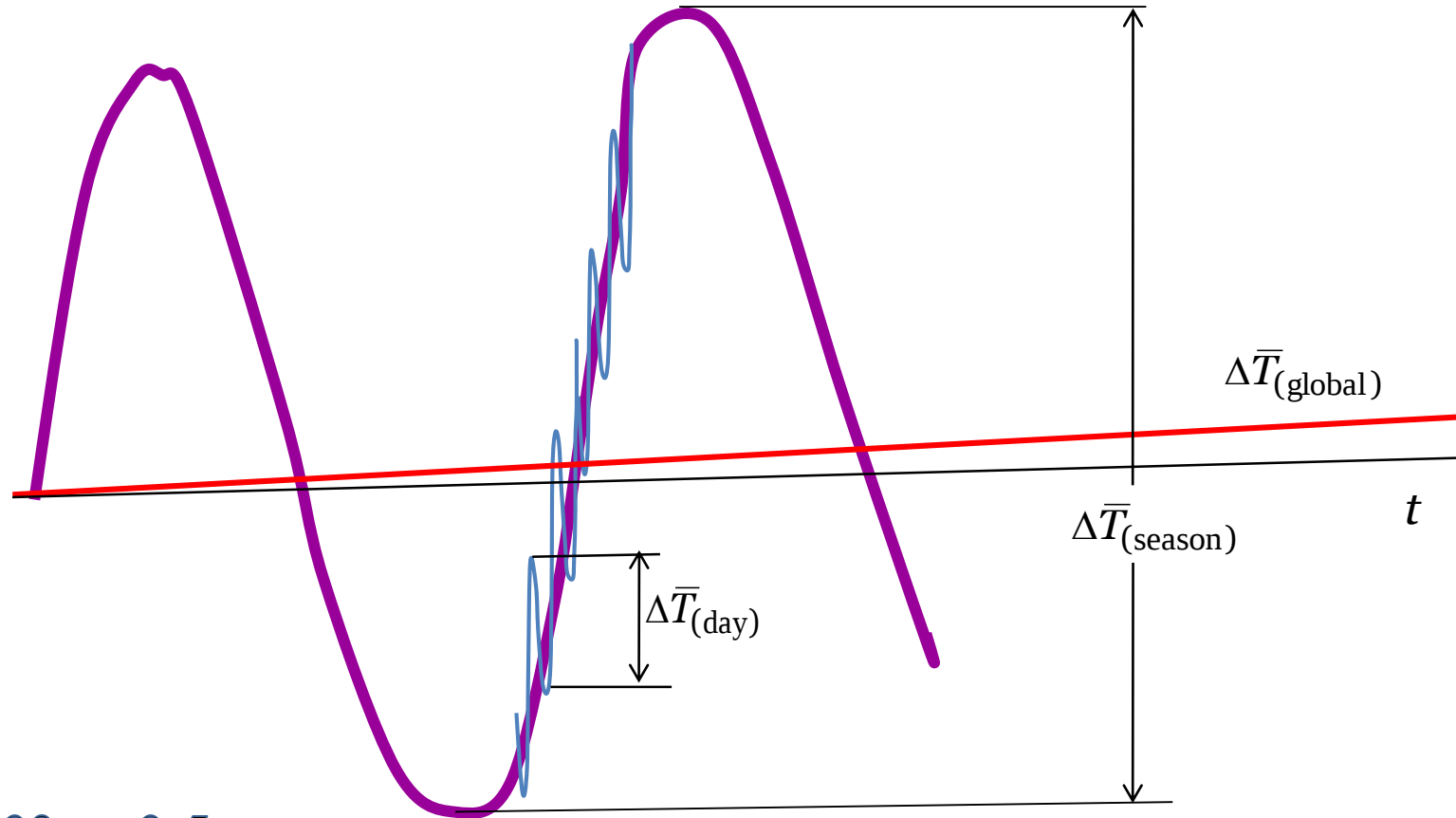


Усреднение

Быстрые переменные: $T(\text{суточное})$,

Промежуточные переменные: $T(\text{сезонное})$,

Медленные переменные: $\Delta T(\text{глобальный})$



$\Delta T_{(\text{суточный})} \approx 10^\circ$ за 0,5 суток

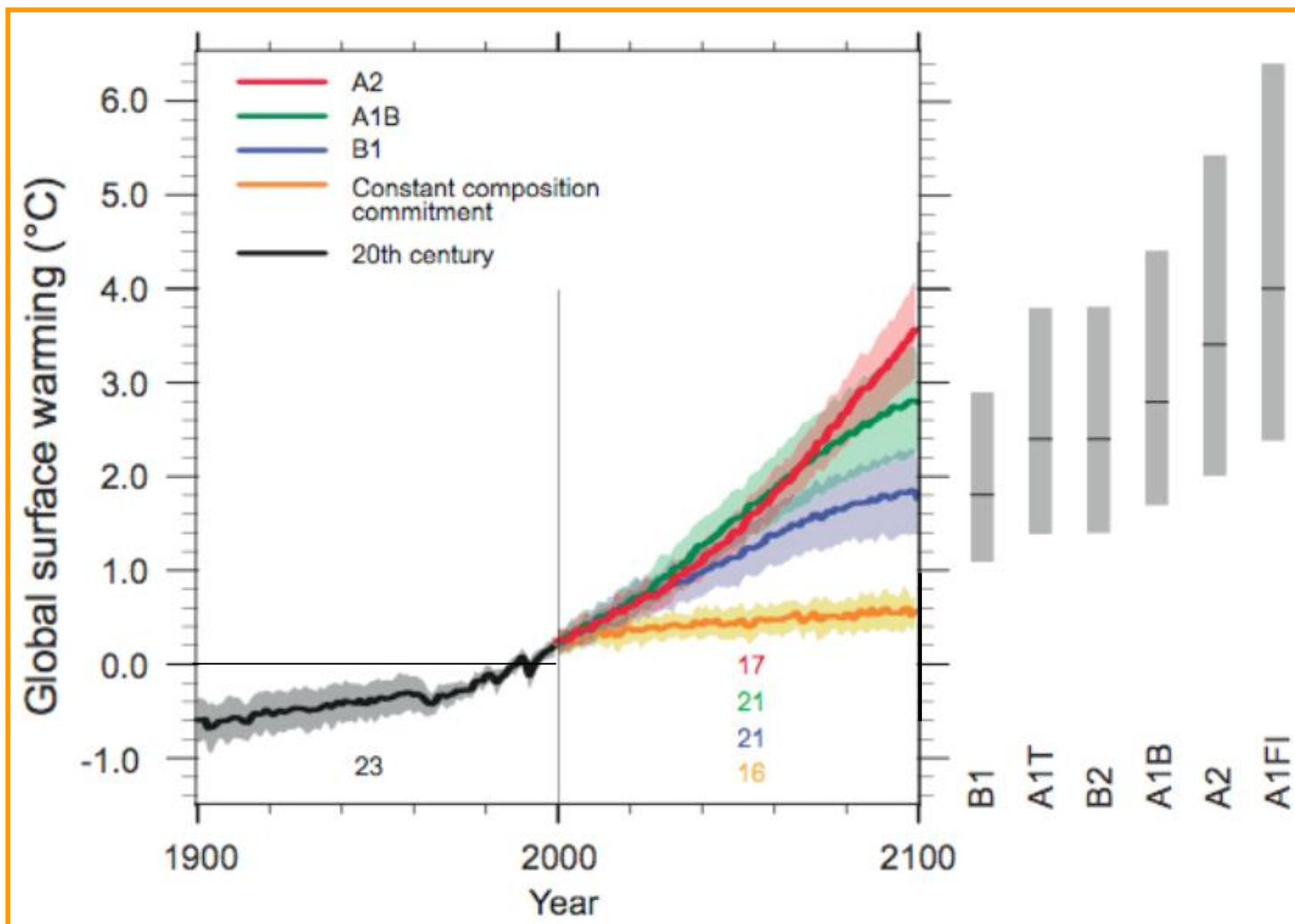
$\Delta T_{(\text{сезонный})} \approx 40^\circ$ за 0,5 года

$\Delta T_{(\text{глобальный})} \approx 2^\circ$ за 100 лет





Various Calculating Future Climate Change Scenarios



Distribution of Industrial Energy Consumption among the World Population

**25% of the World Population Consumes
90% of the World Energy Consumption**

Energy Consumption in Industrial Countries, toe/(year×capita)

USA	8,7	= 20 t of Coal = 12 Ml of Gas
Japan	4,3	
Germany	4,3	
G. Britain	4.0	
Russia	2,5	
China	~ 4 for 500	
million people		
India	~ 1	



ВЫВОДЫ



1. Наряду с антропогенным фактором роста C_{CO_2} и C_{H_2O} 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 **нельзя** принять для принятия **экономических решений**
4. Через 30 - 40 леткратно **уменьшится** эмиссия CO_2
(Энергетика: Солнечная, Ветряная, Атомная, Гидротермальная и др.)

ПИФАГОР (?):

Человечеству угрожают три опасности:

1. Материализм священников

2. Невежество ученых

3. Неистовство демократов

4. ...

4. МИРУ УГРОЖАЮТ ИДИОТЫ !

(неквалифицированные и
безответственные деятели на
ответственных постах: президенты,
министры, депутаты, академики,
профессора, капитаны, директора,
экстремисты)



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