



РОСГИДРОМЕТ



Институт глобального климата и экологии

Росгидромета и РАН

ПРОБЛЕМА ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

С.М. Семенов

**Семинар «Метеорологический вестник» - «Метеорология и гидрология»:
125-летие научно-технического журнала**

Государственная научно-техническая библиотека России, 3 февраля 2016 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Что такое климат и как он формируется на Земле;

Естественные колебания климата;

Как человек изменяет современный климат в глобальном масштабе;

Почему это вызывает беспокойство.

В данной презентации использованы некоторые иллюстративные материалы из Википедии.

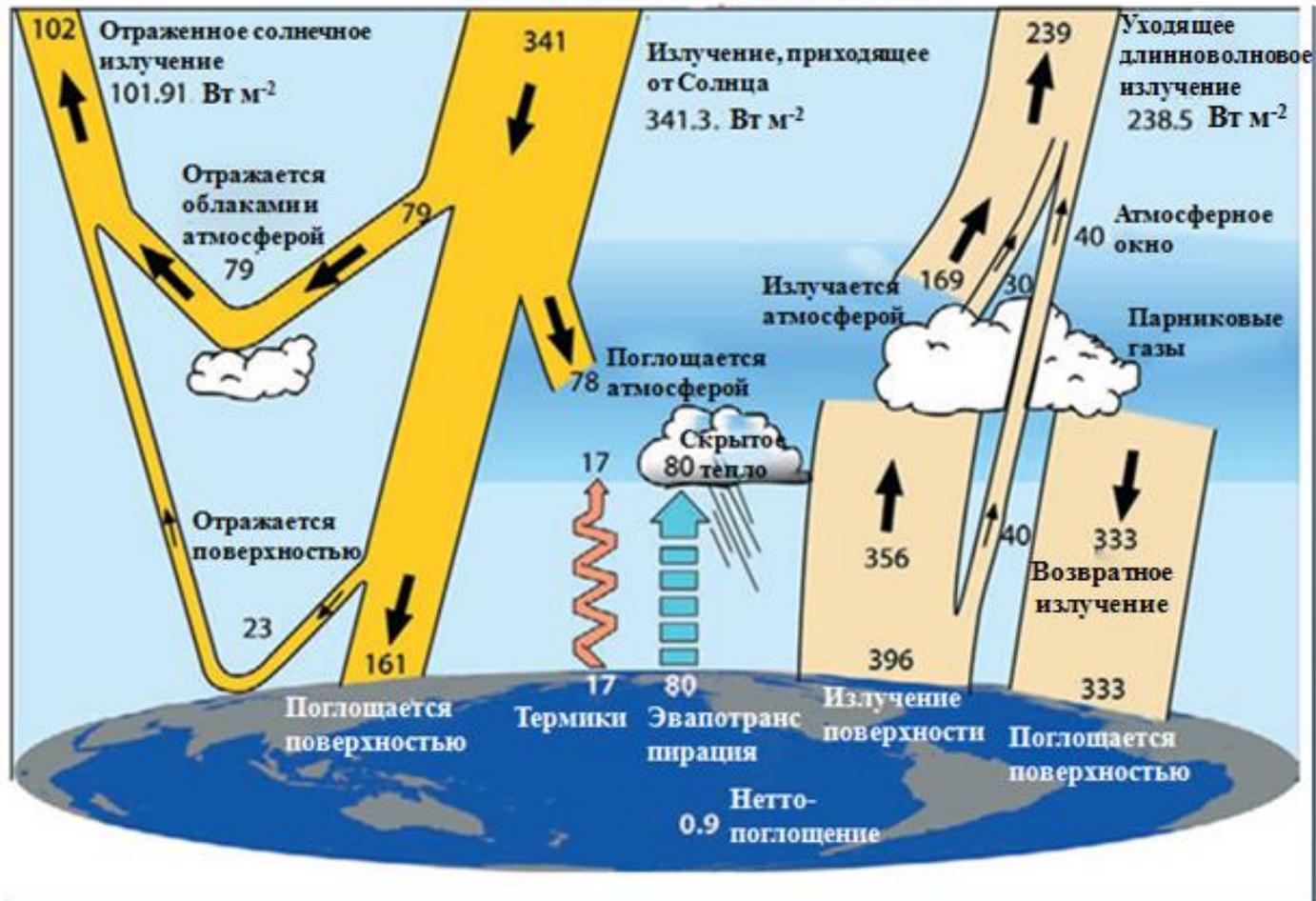
Климат – средние параметры погоды и показатели их изменчивости за продолжительный период времени (1 - 2 - 3 десятилетия). Параметры погоды = метеорологические величины (температура, сумма осадков, давление, скорость ветра и т.д.).

Глобальный климат формируется в процессе взаимодействия различных компонентов климатической системы Земли – «**машины**», порождающей климат.

Она состоит из атмосферы, гидросферы (включая криосферу), биосферы, педосферы (почвогрунты).

Между этими компонентами происходит обмен веществом и энергией, **причем основной первичный источник энергии – Солнце.**

Глобальные потоки энергии, Вт м⁻²



Потоки энергии (Вт м⁻²) в системе «атмосфера + земная поверхность».

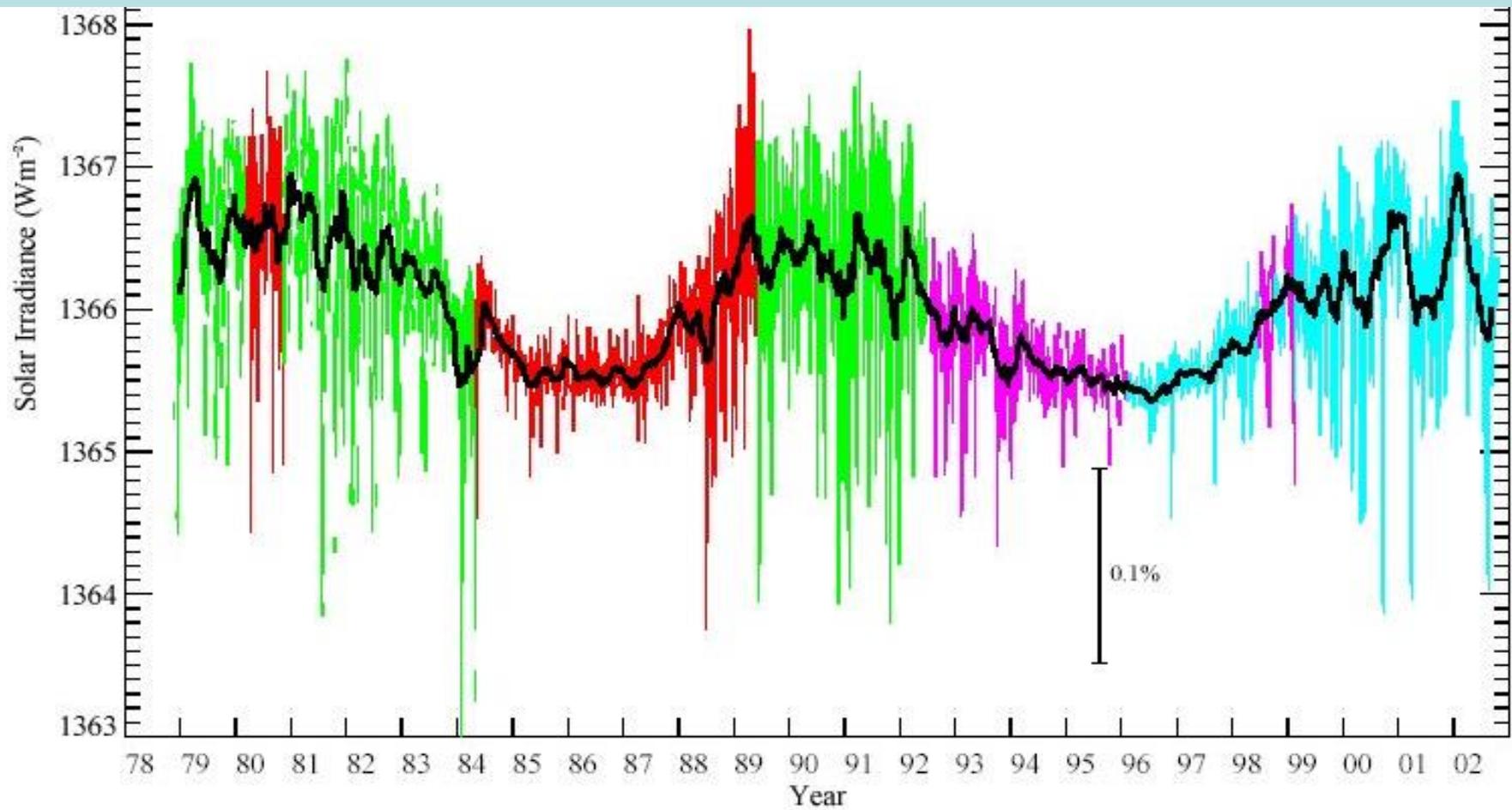
Trenberth K. E., Fasullo J. T., Kiehl J. 2009. Earth's global energy budget. Bulletin of American Meteorological Society, p. 311-323.

Геотермальный поток тепла (0.06 Вт/м²) << солнечного!

ЗЕМНОЙ КЛИМАТ НЕ ПОСТОЯНЕН.

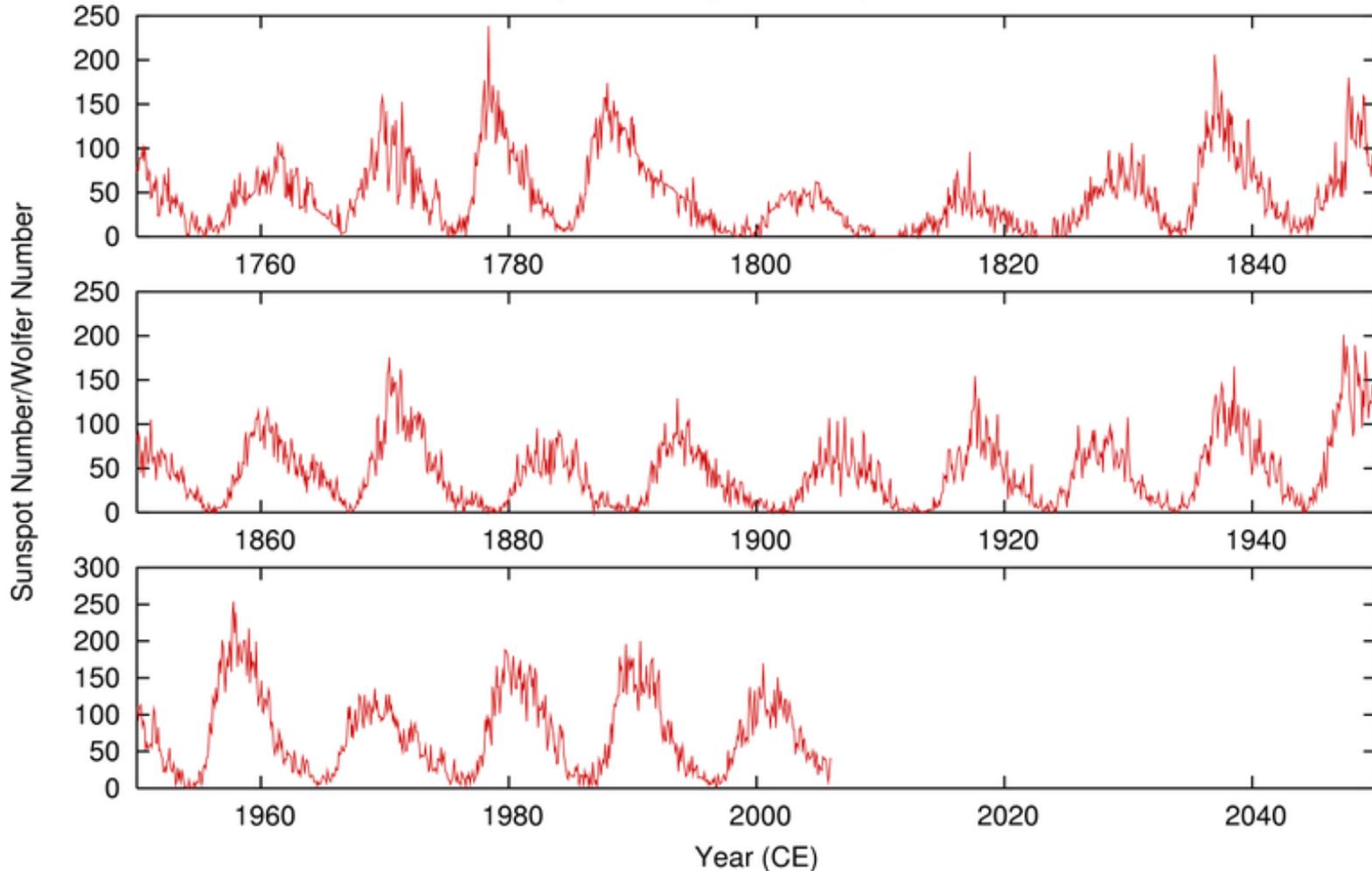
ОН МЕНЯЛСЯ ВСЕГДА!

**СУЩЕСТВУЮТ ФАКТОРЫ
ЕСТЕСТВЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ
КЛИМАТА, КОТОРЫЕ ДЕЙСТВОВАЛИ
И В ГЕОЛОГИЧЕСКОМ ПРОШЛОМ
ЗЕМЛИ, И ДЕЙСТВУЮТ СЕЙЧАС.**



Вариации светимости Солнца: изменения "солнечной постоянной" с 1978 г. - цикл Швабе.

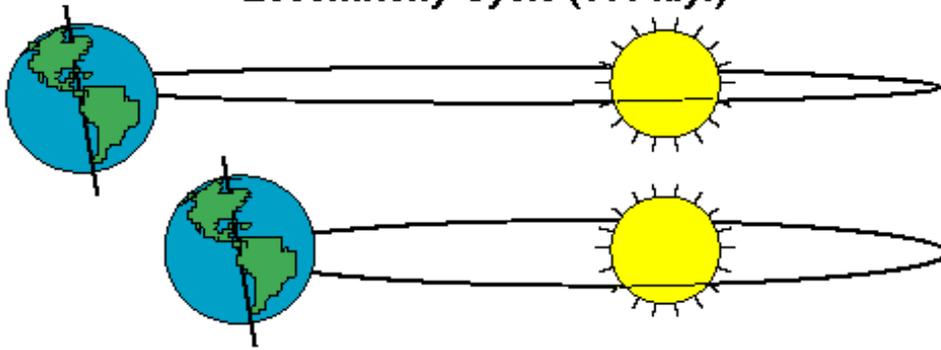
Monthly average Sunspot Number



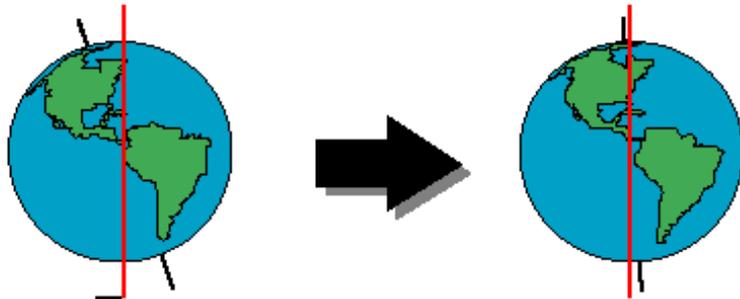
**Среднегодовое значение чисел Вольфа W для каждых суток года:
 $W = k(f + 10g)$, где f — число наблюдаемых пятен; g — число
наблюдаемых групп пятен; k — нормировочный коэффициент.**

https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%B4%D0%B8%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D0%B4%D1%86%D0%B0%D1%82%D0%B8%D0%BB%D0%B5%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D1%86%D0%B8%D0%BA%D0%BB_%D1%81%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D0%B5%D1%87%D0%BD%D0%BE%D0%B9_%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%B8%D0%B2%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8#/media/File:Sunspot-number.png

Eccentricity Cycle (100 k.y.)



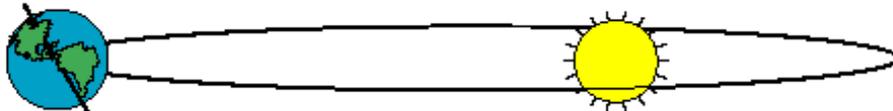
Obliquity Cycle (41 k.y.)



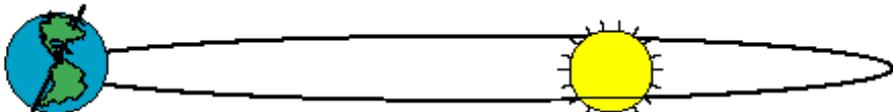
Normal to Ecliptic

©Scott Rutherford (1997)

Precession of the Equinoxes (19 and 23 k.y.)



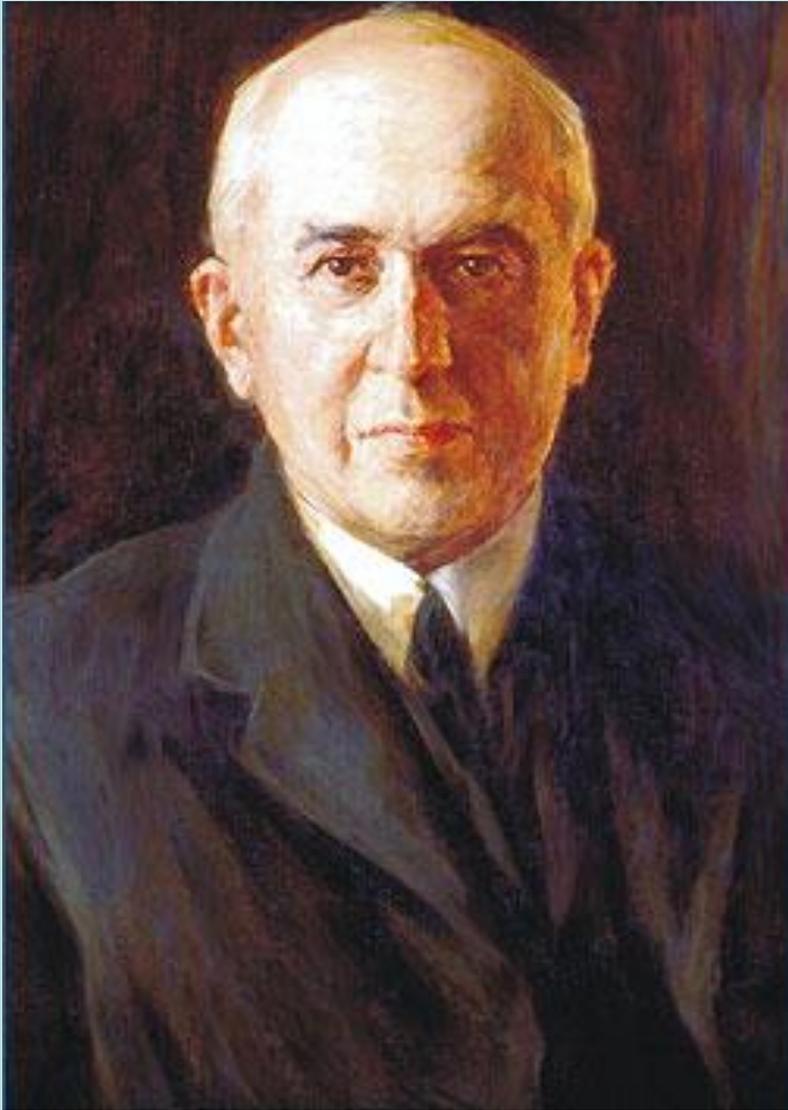
Northern Hemisphere tilted away from the sun at aphelion.



Northern hemisphere tilted toward the sun at aphelion.

Циклические изменения параметров земной орбиты, согласно теории Миланковича, приводят к долговременным изменениям (колебаниям) климата Земли

(<http://www.lakepowell.net/sciencecenter/paleoclimate.htm>)

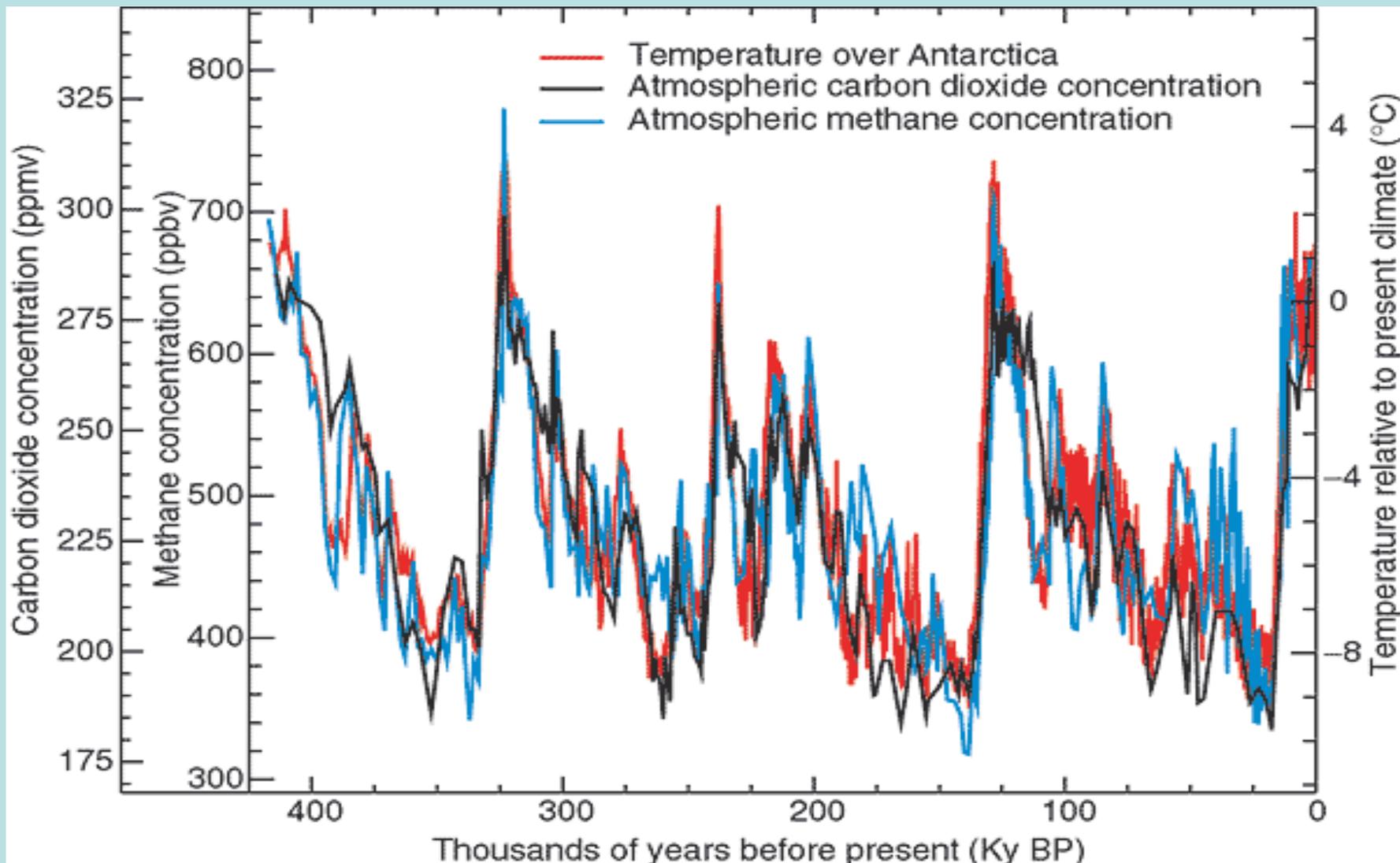


Миланкович М.
**Математическая климатология
и астрономическая теория
колебаний климата — М., Л.:
ГОНТИ; Ред. техн.-теорет. лит.,
1939.**

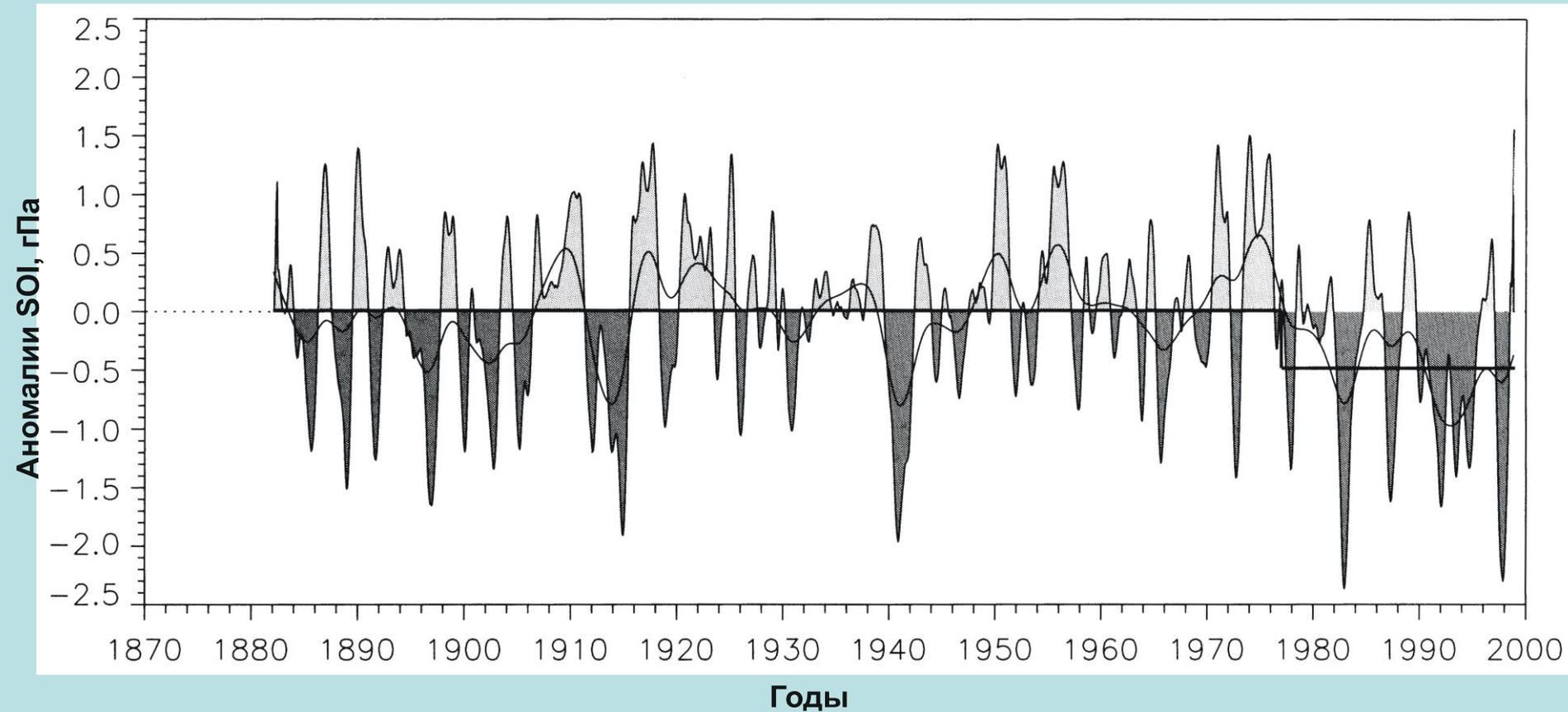
**Милутин МИЛАНКОВИЧ, 1879-1958, —
сербский климатолог, геофизик и
астроном.**

**Автор орбитальной теории ледниковых
периодов: из-за периодических
изменений параметров своей орбиты
Земля проходит через повторяющиеся
ледниковые периоды.**

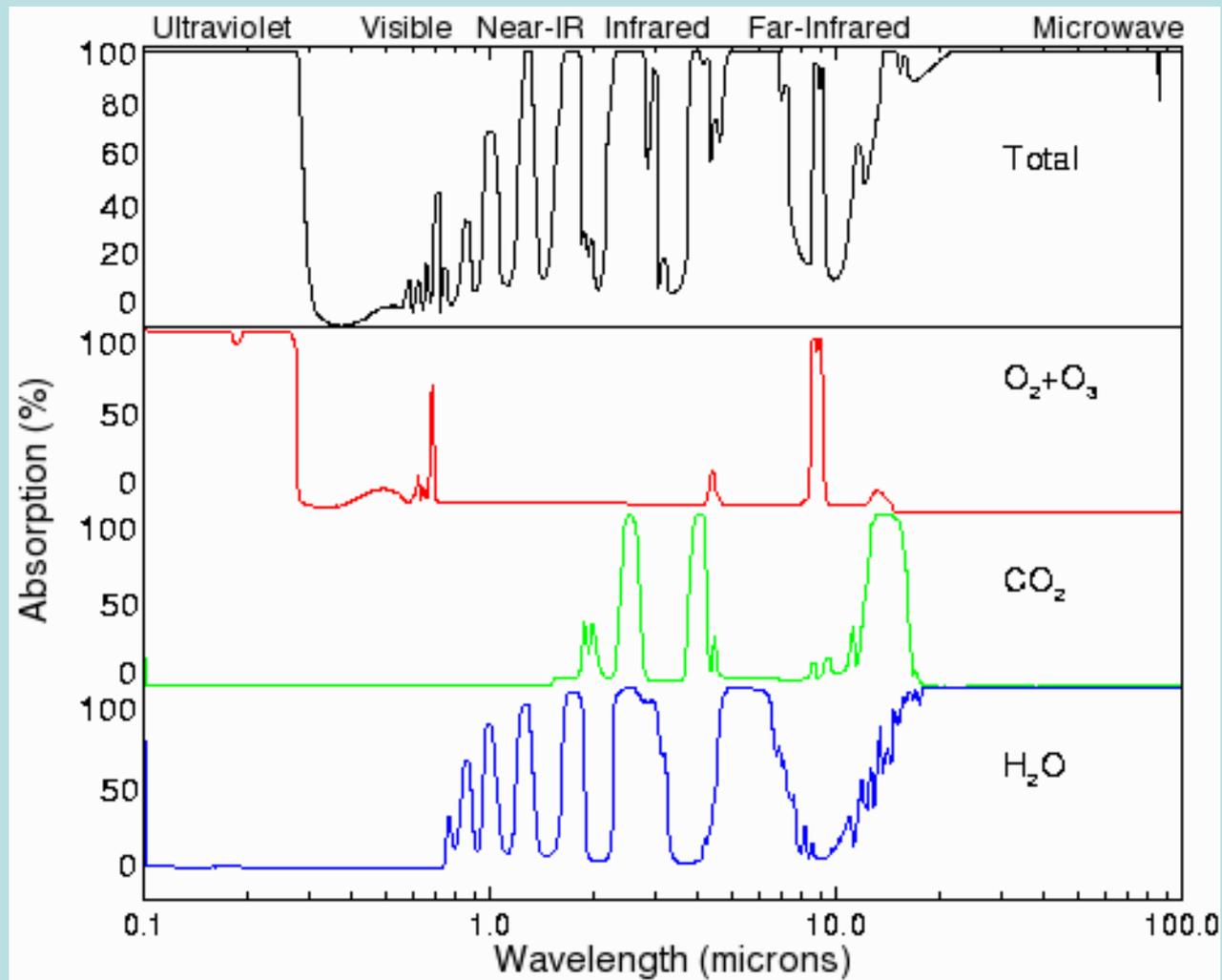
https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B8%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D1%87,_%D0%9C%D0%B8%D0%BB%D1%83%D1%82%D0%B8%D0%BD



Изменения температуры и атмосферных концентраций метана и диоксида углерода, полученные по результатам анализа антарктических ледовых кернов, станция «Восток» (Climate Change 2001, 2001)

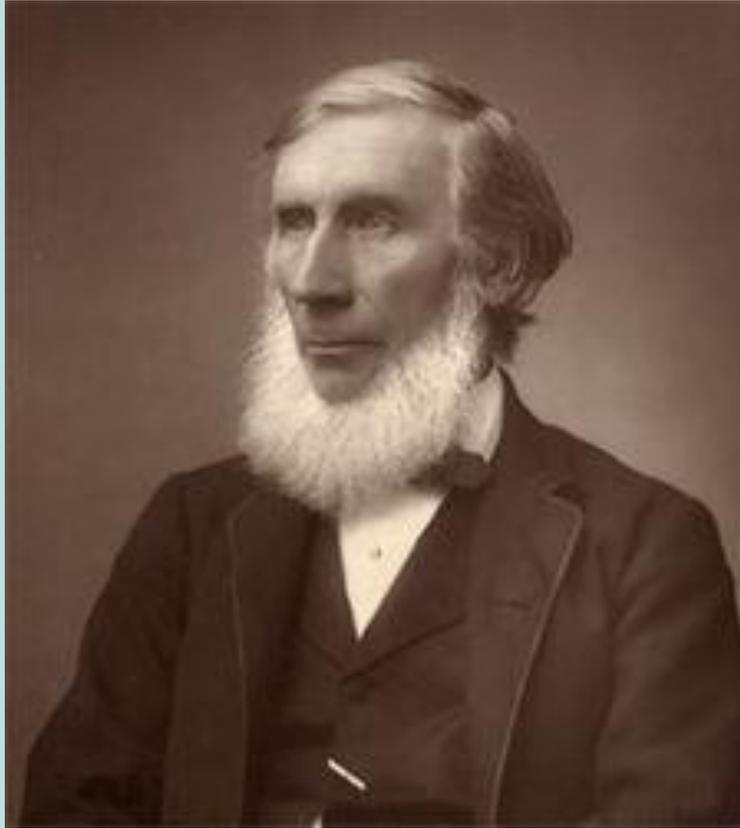


Дарвиновский индекс Южного Колебания (Эль-Ниньо): аномалия среднемесячных значений давления на уровне поверхности океана в г. Дарвин (Австралия) с обратным знаком, гПа. Показана также сглаживающая кривая - скользящее десятилетнее среднее. Данные приведены за период с января 1882 г. по декабрь 1998 г. Климатическое среднее вычислено за период с января 1882 г. по декабрь 1981 г. Ступенчатая функция иллюстрирует возможное изменение ситуации с 1977 г. (Climate Change 2001, 2001a, p. 455)



Джон ТИНДАЛЛ (1820 – 1893 гг.)

John Tyndall



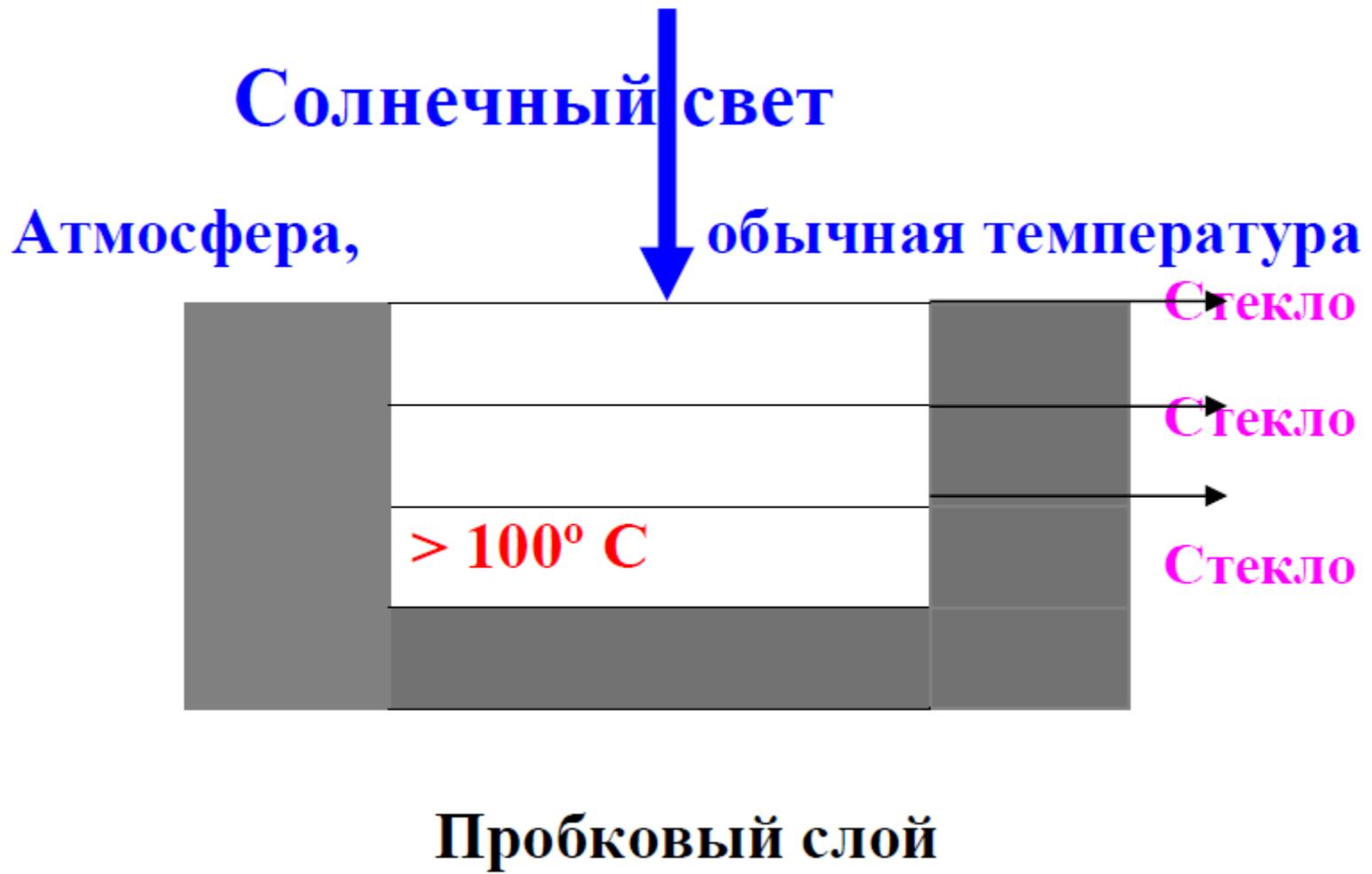
Тиндалл экспериментально исследовал свойства газов поглощать-испускать инфракрасное излучение. Он показал что азот (содержание 78%) и кислород (содержание 21%) – НЕ ОБЛАДАЮТ ЭТИМ СВОЙСТВОМ, а водяной пар, углекислый газ, метан - ОБЛАДАЮТ!

В публичной лекции 1863 г. «Об излучении через земную атмосферу» он высказал мысль о том, что в отсутствие ПОСЛЕДНИХ климат на поверхности Земли был бы значительно холоднее фактического (по современным оценкам – на 20-30°C холоднее!).

Это – ПАРНИКОВЫЙ ЭФФЕКТ!

1872 г. Вклады в молекулярную физику в области радиационного тепла. XIII. Об излучении через земную атмосферу, стр. 421.

Схема опыта де Соссюра (1770е годы), в котором проявился парниковый (тепличный) эффект, the greenhouse effect



Жан-Батист Жозеф ФУРЬЕ (*Jean-Baptiste Joseph Fourier*; 1768-1830), французский математик и физик.



Fourier, J.-B. J. Joseph Fourier. Mémoire sur les températures du globe terrestre et des espaces planétaires. Mémoires de l'Académie royale des sciences de l'Institut de France, t. VII, Paris, Didot; 1827

Фурье Ж.-Б. Ж. Заметки о температуре Земного шара и межпланетного пространства. Бюллетень Королевской академии наук Французского института, т. 7. Париж, Дидо, 1827.

В ЭТОЙ РАБОТЕ ОН ВПЕРВЫЕ ПРЕДСКАЗАЛ И ТЕОРЕТИЧЕСКИ ОБЪЯСНИЛ ПАРНИКОВЫЙ ЭФФЕКТ В АТМОСФЕРЕ!

Эта работа была ранее представлена в *Анналах химии и физики* (т. 27, стр. 136-167, 1824 г.) под заголовком «Общие замечания о температуре Земного шара и межпланетного пространства».

ФУРЬЕ: «Трудно узнать, в какой мере атмосфера воздействует на среднюю температуру планеты, математические теории в данном случае помочь не могут. Однако знаменитый путешественник де Соссюр осуществил опыт, который, по всей видимости, способен прояснить этот вопрос.

Сосуд, накрытый одной или несколькими пластинками хорошо пропускающего свет стекла, выставляется на солнце. Пластинки находятся одна над другой, на некотором расстоянии друг от друга. Внутри сосуд покрывается толстым слоем пробковой коры, выкрашенной в черный цвет. Она способна получать и удерживать тепло. Согретый воздух содержится во всех частях – внутри сосуда и в каждой полости между пластинами. Термометры, помещенные в сосуде во всех полостях, показывают уровень тепла в каждой из них.

Прибор был выставлен на солнечный свет около полудня. При разных замерах зафиксированы температуры в сосуде (у дна), равные 70, 80, 100 и выше градусов по Реомюру (**87.5, 100, 125 и выше градусов по Цельсию**). Термометры, расположенные в промежутках между пластинами, показали более низкие значения температуры (чем у дна). Они понижались по мере удаления от дна сосуда к поверхностным полостям.

Если бы все (горизонтальные) слои воздуха, из которых состоит атмосфера, сохраняли бы свою плотность и прозрачность, но потеряли бы присущую им подвижность, эти твердые массы воздуха, экспонированные к солнечному излучению, создавали бы точно такой же эффект, как тот, что мы только что описали.

Тепло, приходящее к земной поверхности в виде света (*chaleur solaire*), сразу почти полностью потеряло бы бывшую у него способность проходить через полупрозрачные (светопроницаемые) твердые тела. Оно аккумулировалось бы в нижних слоях атмосферы, которые тем самым имели бы более высокую температуру. В то же время, по мере удаления от земной поверхности уровень тепла в слоях уменьшался бы.

Подвижность (реального) воздуха, быстро перемещающегося во всех направлениях и поднимающегося вверх при нагревании, и излучение «темного тепла» (*chaleur obscure*) в воздух **уменьшают интенсивность эффектов, которые имели бы место в твердой и прозрачной атмосфере, но не отменяют их.** Понижение уровня тепла по мере удаления от земной поверхности не исчезает совсем.

Таким образом (*резюме*) температура (земной поверхности) увеличивается вследствие наличия атмосферы потому, что поток тепла, проходящий через воздух, встречает меньшее препятствие при распространении в виде света, **чем когда оно распространяется в виде «темного» тепла.»** [КОНЕЦ ЦИТАТЫ]

Парниковый эффект как явление в климатической системе Земли:

радиационный эффект наличия в атмосфере парниковых веществ, выражающийся, при прочих равных условиях, в повышении температуры в приповерхностном слое по сравнению с ситуацией их отсутствия в атмосфере.

Характеристическое свойство парникового вещества: оно в гораздо большей степени поглощает длинноволновое, земное излучение, чем коротковолновое излучение Солнца.

Такими парниковым веществами являются парниковые газы (водяной пар, углекислый газ, метан, закись азота и др.) и вода в форме облаков.

В ПРОЦЕССЕ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕК

- **ОБОГАЩАЕТ АТМОСФЕРУ ПАРНИКОВЫМИ ГАЗАМИ**, ВСЛЕДСТВИЕ ЧЕГО УСИЛИВАЕТСЯ ЕСТЕСТВЕННЫЙ ПАРНИКОВЫЙ ЭФФЕКТ, И
- **ИЗМЕНЯЕТ АЛЬБЕДО ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ И АТМОСФЕРЫ**, ЧТО ТАКЖЕ ПРИВОДИТ К ИЗМЕНЕНИЮ РАДИАЦИОННОГО БЮДЖЕТА СИСТЕМЫ АТМОСФЕРА+ЗЕМНАЯ ПОВЕРХНОСТЬ.

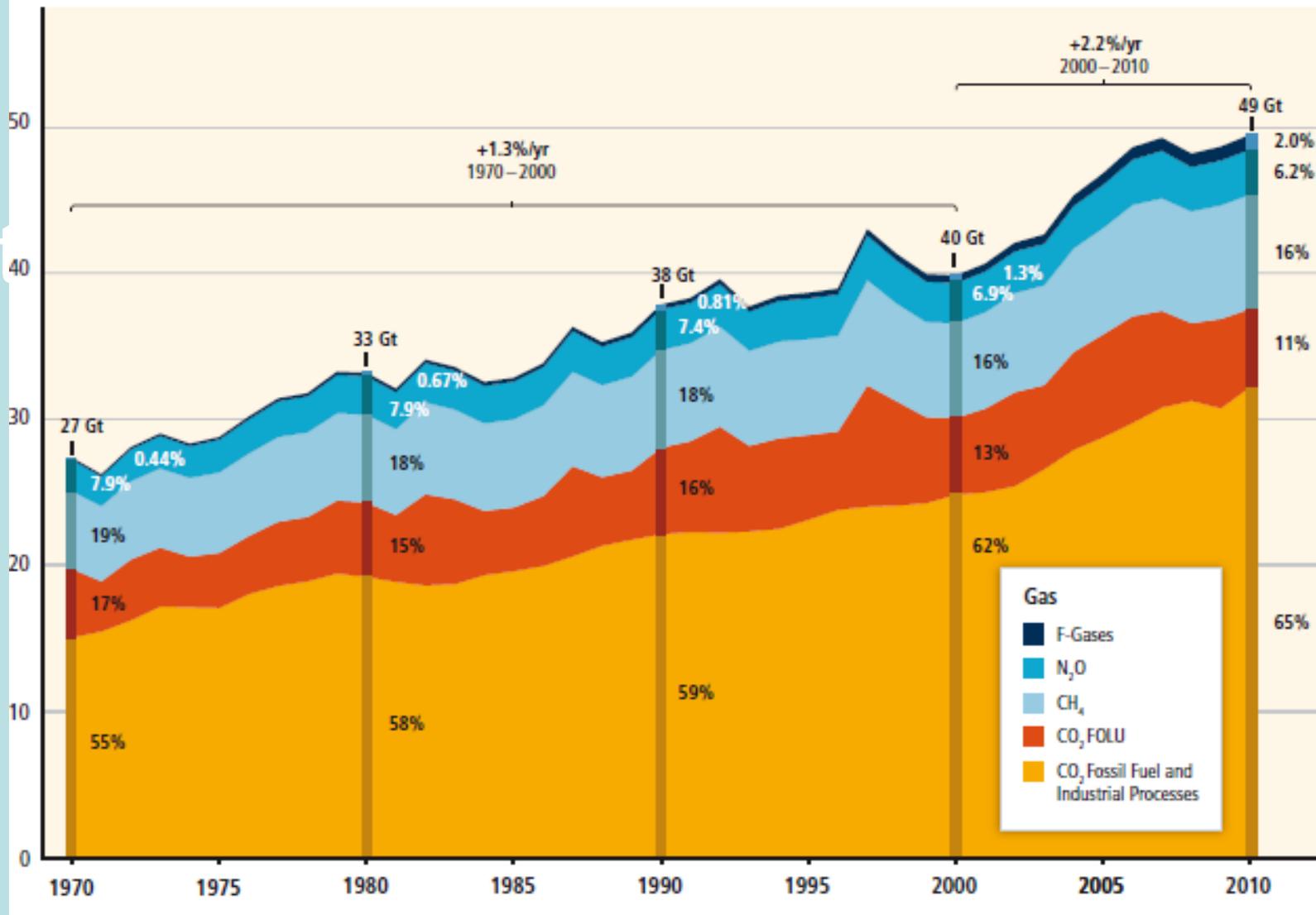
ВСЕ ЭТО ПРИВОДИТ К ИЗМЕНЕНИЯМ ЗЕМНОГО КЛИМАТА В ГЛОБАЛЬНОМ МАСШТАБЕ.



Академик Михаил Иванович БУДЫКО, 1920 – 2001 гг.

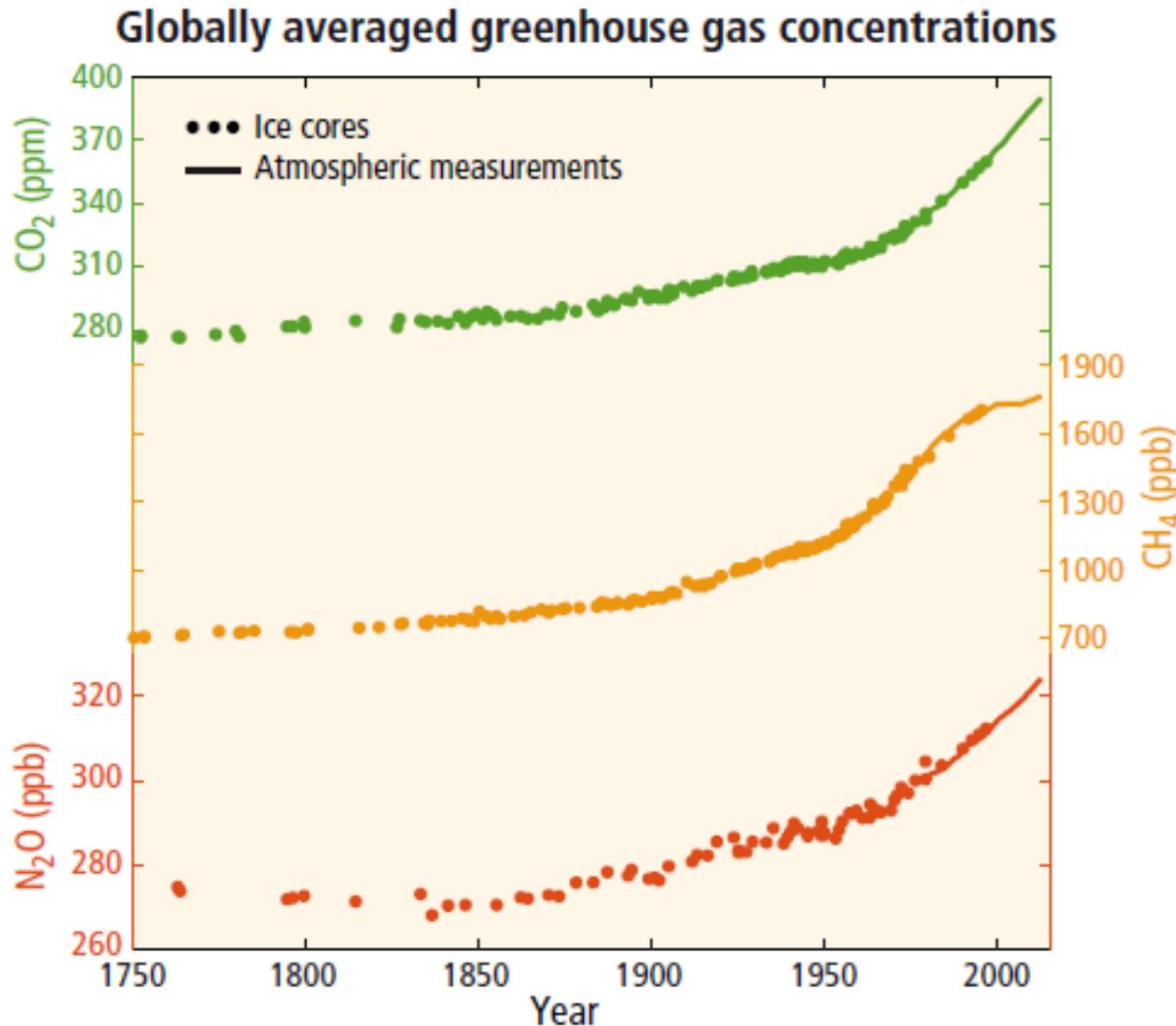
В 1971 г. М. И. Будыко высказал предположение о том, что в ближайшем будущем начнется глобальное потепление вследствие антропогенного обогащения атмосферы **углекислым газом**, которое в XXI веке достигнет нескольких градусов. Эта точка зрения была изложена им в брошюре „Влияние человека на климат“ (1972).

GHG Emissions [GtCO₂ eq/yr]



Глобальная годовая антропогенная эмиссия парниковых газов по группам газов в 1970 – 2010 гг. (AR5 WGIII SPM)

Среднегодовые глобальные концентрации в атмосфере парниковых газов CO₂, CH₄ и N₂O

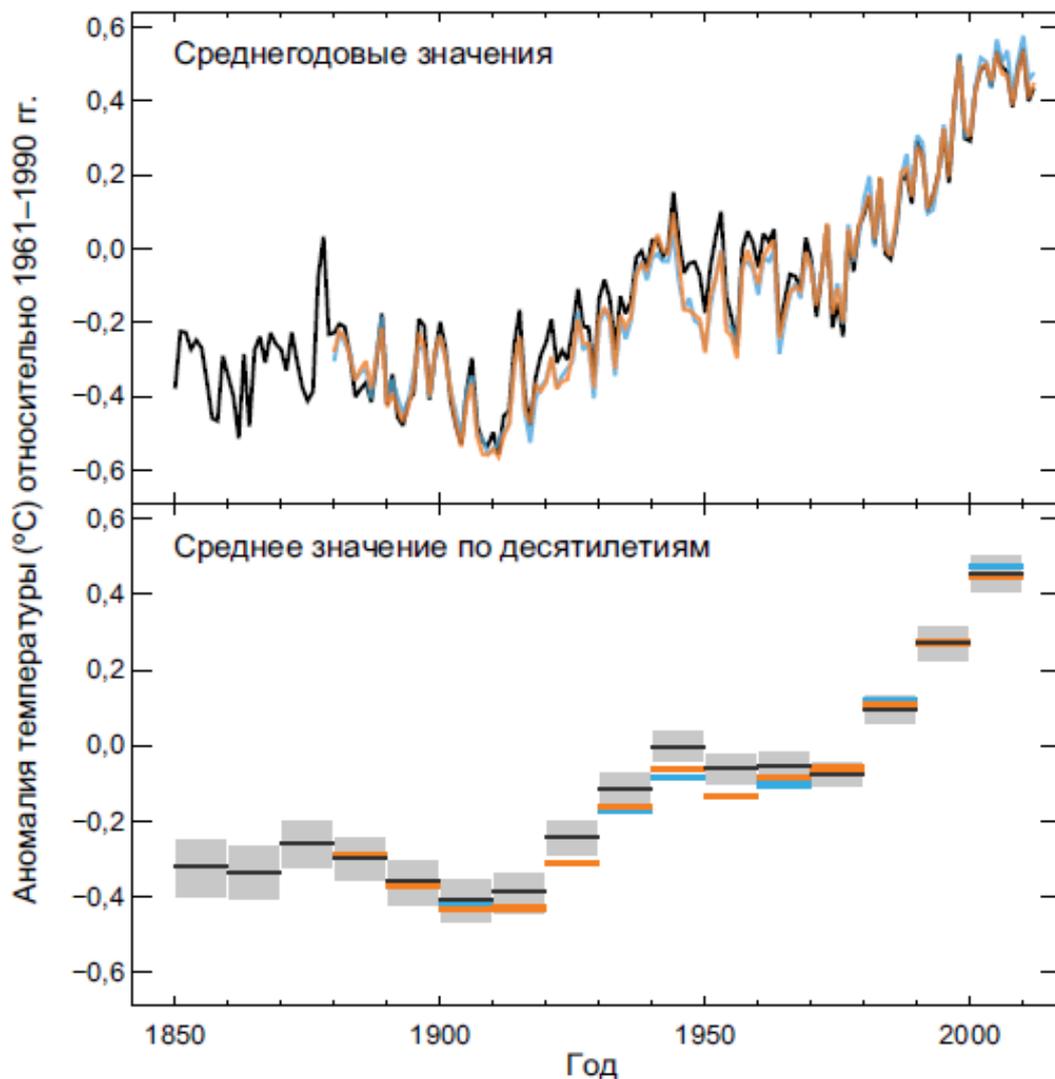


Обогащение атмосферы парниковыми газами с 1750 г. (AR5 WG1 SPM).

Вещество	Размерность	Формула	Концентрация в 1750 г.	Концентрация в 1998 г.	Темп изменения концентрации	
					1750-1998 гг. *)	1990е годы
Водяной пар	ppm	H₂O	-	7750	-	-
Диоксид углерода	ppm	CO ₂	280	367	0,4	1,6
Метан	ppb	CH ₄	700	1745	4,2	7,0
Закись азота	ppb	N ₂ O	270	314	0,2	0,8
Тetraфторметан	ppt	CF ₄	40	80	0,2	1,0
Гексафторэтан	ppt	C ₂ F ₆	0	3,0	0,01	0,08
Гексафторид серы	ppt	SF ₆	0	4,2	0,02	0,24
HFC- 23	ppt	CHF ₃	0	14	0,06	0,55
HFC-134a	ppt	CF ₃ CH ₂ F	0	7,5	0,03	2,0
HFC-152a	ppt	CH ₃ CHF ₂	0	0,5	0,002	0,1 ¹

Темпы роста концентраций основных парниковых газов в атмосфере с начала индустриальной эры (с 1750 г.) и в 1990-е годы.

Заметно, что темпы существенно выросли в конце XX века!

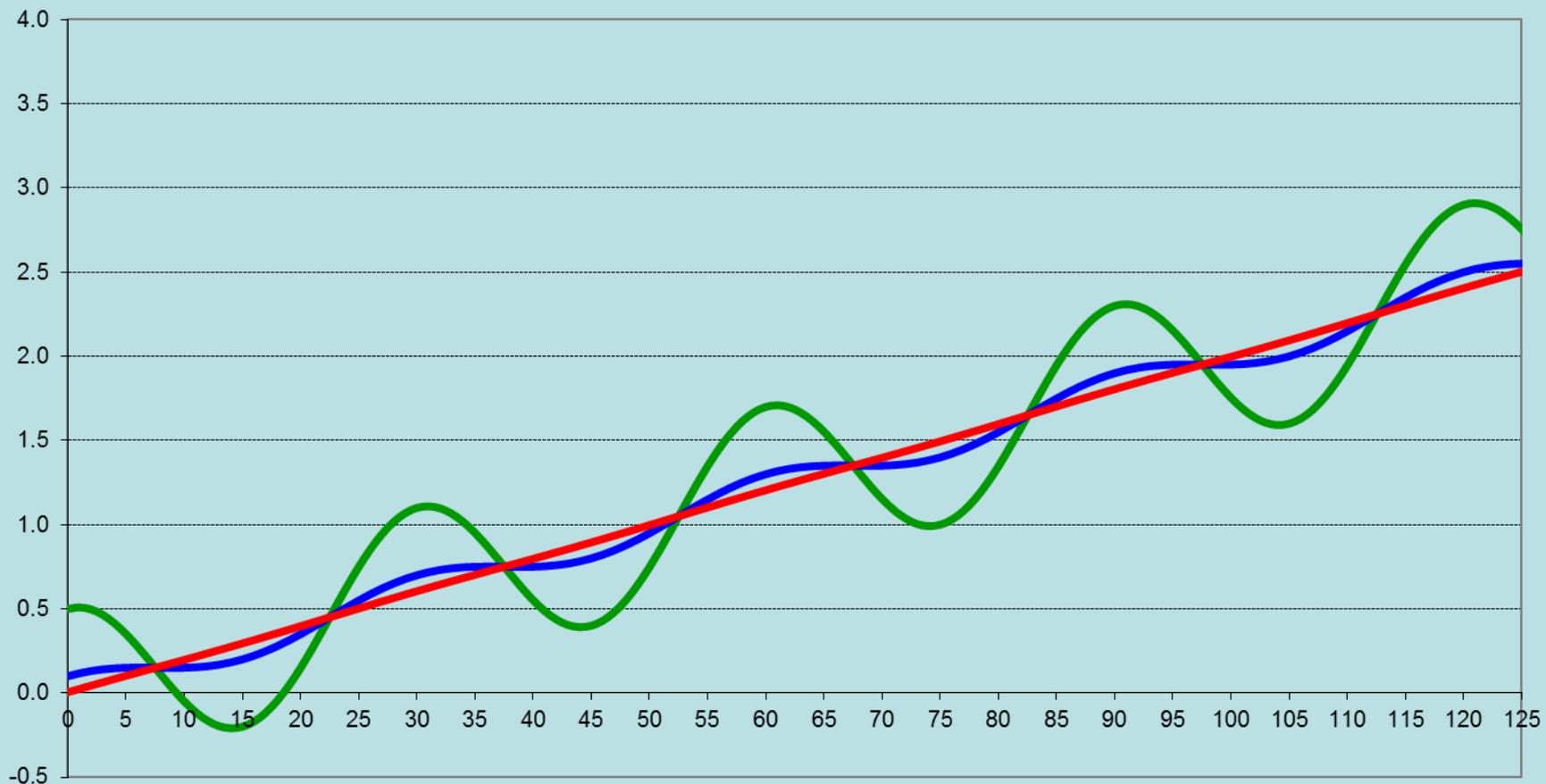


Каждое из трех последних десятилетий характеризовалось более высокой температурой у поверхности Земли по сравнению с любым предыдущим десятилетием начиная с 1850 г.

В Северном полушарии 1983–2012 годы были, самым теплым 30-летним периодом за последние 1 400 лет (AR5 WGI SPM, AR5 SYR).

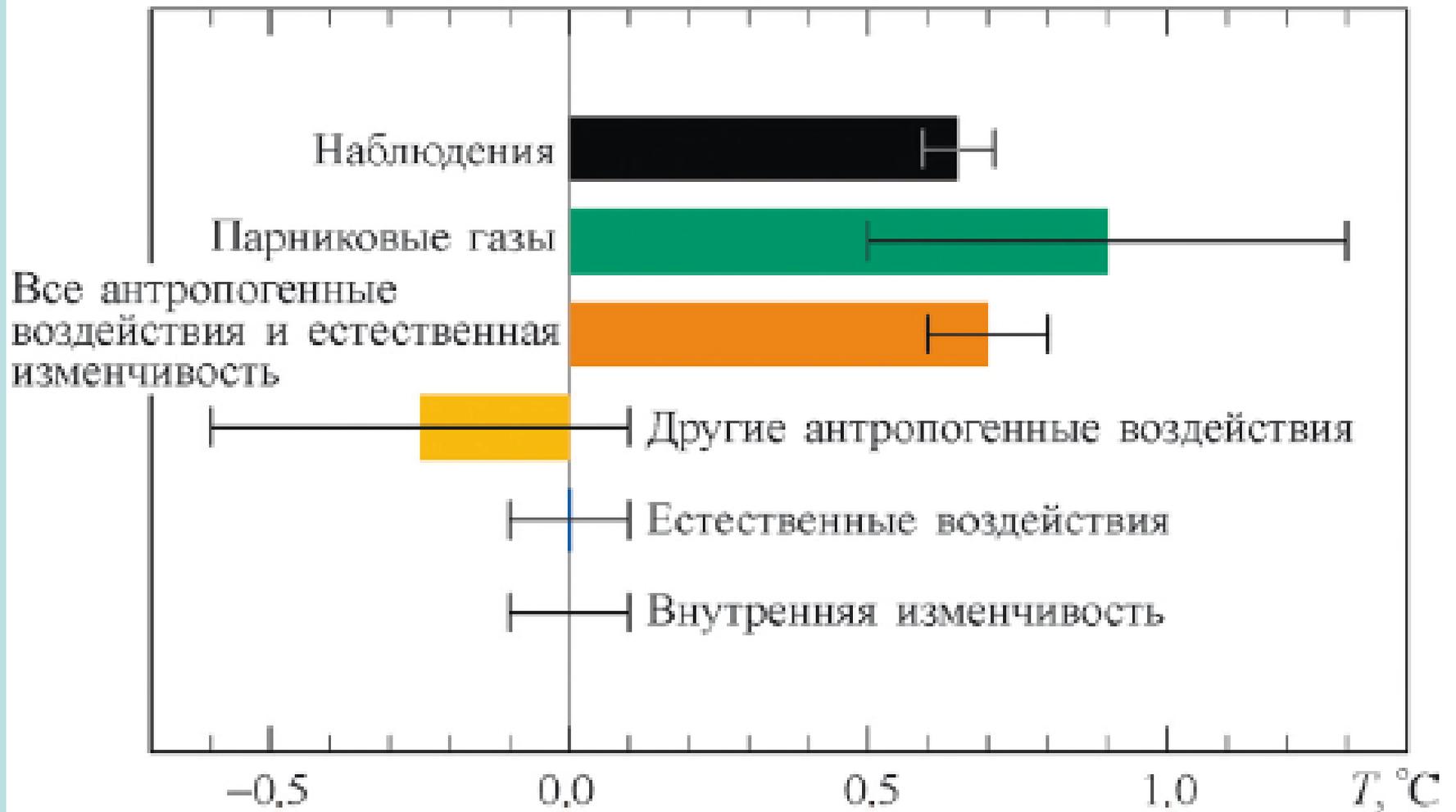
Изменение средней глобальной приземной температуры воздуха (аномалии относительно среднего значения за 1961-1990 гг.)

Почему же температура не растет монотонно (т.е. без спадов), как концентрации парниковых газов? Ответ: то, что мы наблюдаем, есть наложение действия многих факторов – и «векового» потепления, и «декадных» колебаний. Иллюстративный пример:



$$T = 0.5\cos(2\pi t/30) + 0.02t \quad T = 0.1\cos(2\pi t /30) + 0.02t$$

$$T = 0.005\cos(2\pi t/30) + 0.02t$$



Вероятностные границы (горизонтальные интервалы) и средние значения (цветные прямоугольники) оценок установленного вклада разных факторов в линейный тренд наблюдавшегося глобального потепления в 1951—2010 гг. (AR5 SYR). Значение тренда по данным архива HadCRUT4 показана черным цветом вместе с 5—95%-ным доверительным интервалом, учитывающим неопределенности в этом архиве.

ПОСЛЕДСТВИЯ ГЛОБАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА – ПРИЧИНЫ ОБЕСПОКОЕННОСТИ

Изменения (в том числе потепление) климатической системы в индустриальное время являются неоспоримым фактом.

Многие изменения **климатической системы**, наблюдаемые начиная с 1950х годов, являются беспрецедентными в масштабах от десятилетий до тысячелетий.

Установлены, в том числе:

- увеличение концентраций парниковых газов;
- потепление атмосферы и океана;
- изменение суммы осадков;
- сокращение запасов снега и льда;
- повышение уровня океана;
- увеличение частоты и/или изменение параметров некоторых экстремальных климатических явлений.

Большая часть глобального потепления с середины XX века объясняется антропогенными факторами (в основном обогащением атмосферы парниковыми газами в ходе хозяйственной деятельности).

Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата оказывают влияние на многие природные и социально-экономические системы, причем это влияние будет, как правило, усиливаться в течение XXI века, если меры по ограничению антропогенного воздействия на климатическую систему Земли не будут приниматься или же будут недостаточно решительными.

Существуют меры адаптации, уменьшающие отрицательные последствия изменений климата и усиливающие положительные последствия.

Одними только мерами адаптации проблему изменений климата решить невозможно, но лишь в сочетании с уменьшением антропогенного воздействия на климатическую систему, причем задержка с этим приведет к сокращению возможностей в будущем.

Посетите сайт www.igce.ru

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

