ААНИИ

ПЛАНЕТА НА РАСПУТЬЕ: КАКИМ БУДЕТ КЛИМАТ ЗЕМЛИ?

АЛЕКСЕЙ ЕКАЙКИН

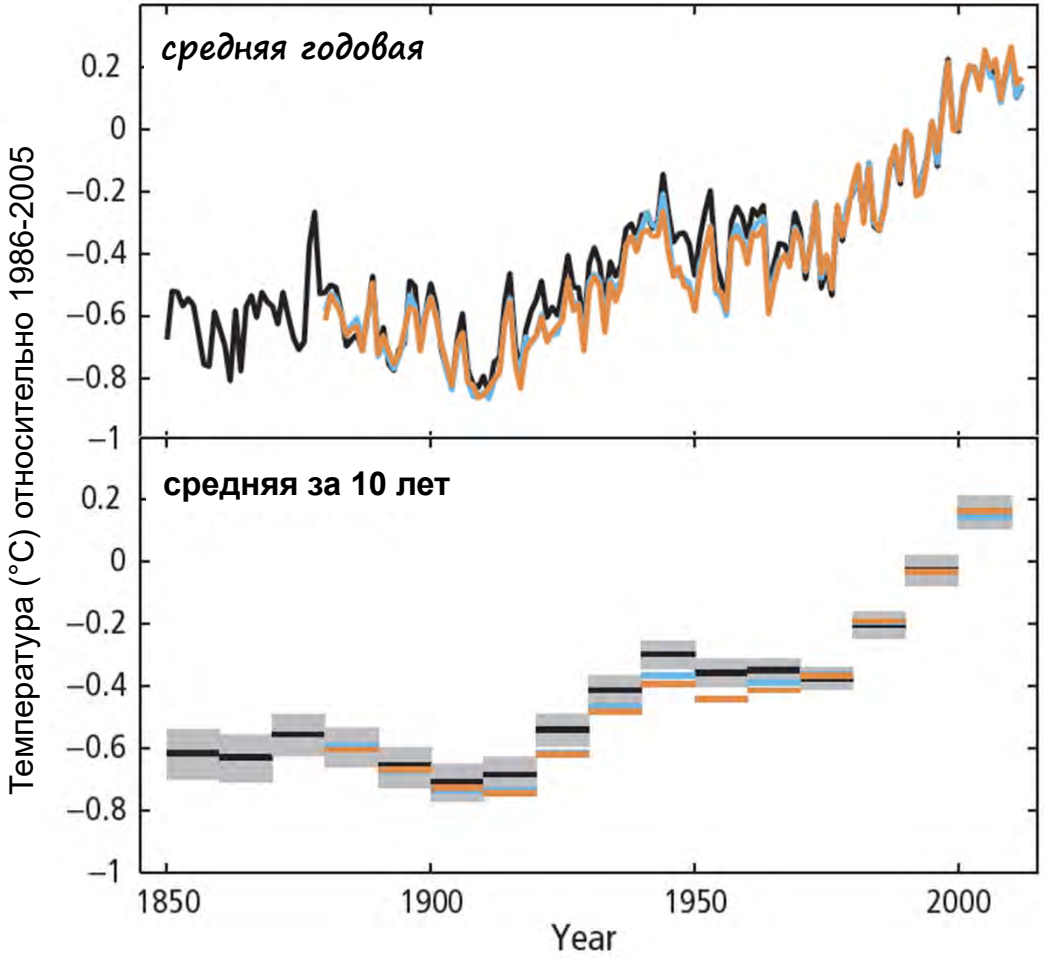
О ЧЕМ ПОЙДЁТ РЕЧЬ

- Что вообще значит «современные изменения климата»?
- Как человек влияет на климат?
- А как было раньше? (и откуда мы про это знаем?)
- Каким будет климат Земли?

КЛИМАТ МЕНЯЕТСЯ ПОСТОЯННО…

Хендрик Аверкамп. ***Зимний пейзаж с конькобежцами*****, 1609**

ЧТО ЖЕ ТАКОЕ «СОВРЕМЕННОЕ ГЛОБАЛЬНОЕ ПОТЕПЛЕНИЕ»?



IPCC AR5, 2014

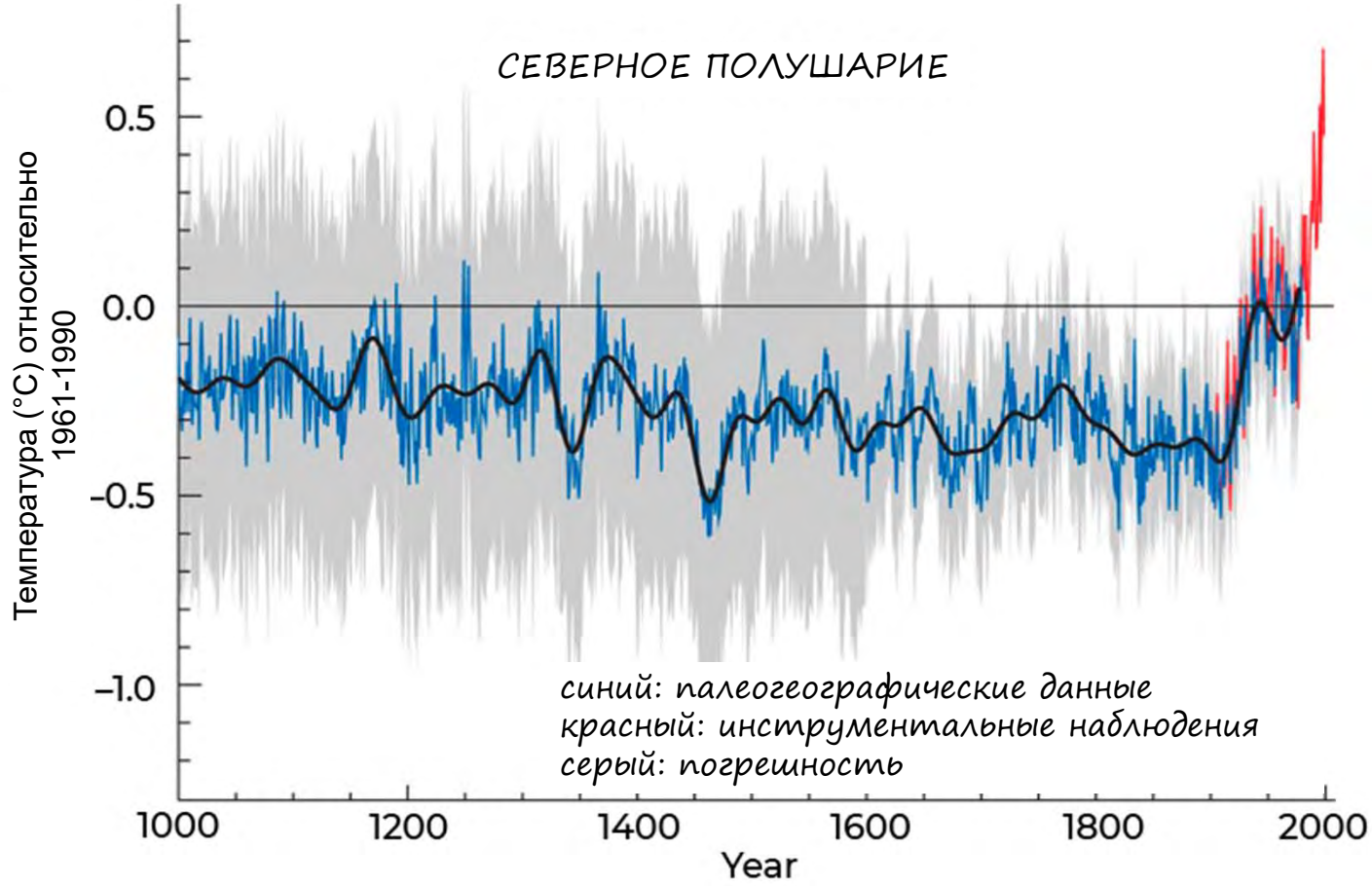
КАК УЗНАТЬ, КАКИМ БЫЛ КЛИМАТ В ДАЛЁКОМ ПРОШЛОМ?

Фото: С. Веркулич, Т. Попп, интернет

КАК УЗНАТЬ, КАКИМ БЫЛ КЛИМАТ В ДАЛЁКОМ ПРОШЛОМ?

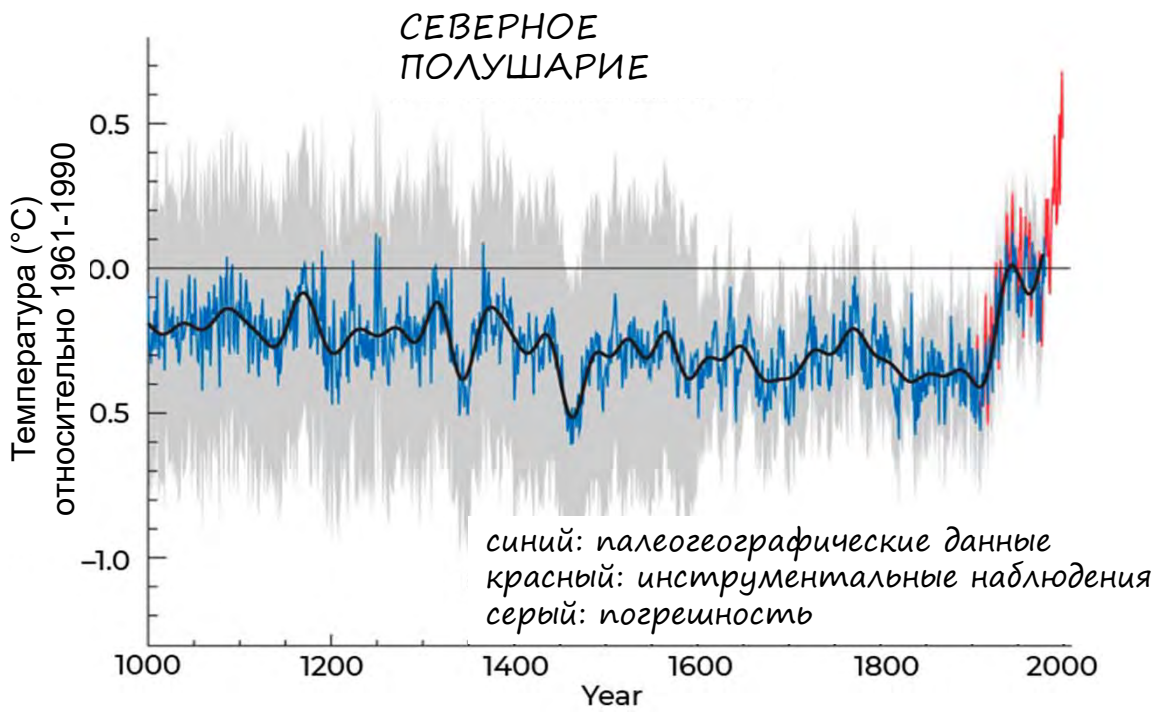
Фото: NSF

МЫ ЖИВЁМ В САМУЮ ТЁПЛУЮ ЭПОХУ ЗА 1000 ЛЕТ



IPCC AR5, 2014

ЧЕМ УНИКАЛЬНО СОВРЕМЕННОЕ ПОТЕПЛЕНИЕ?

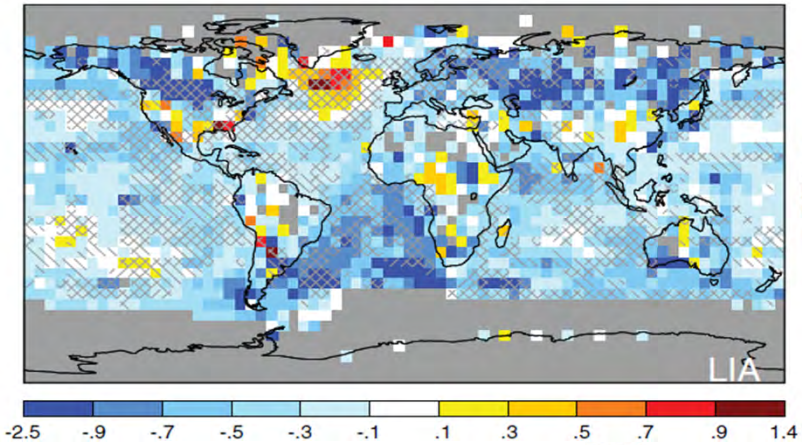


- Оно очень быстрое

ЧЕМ УНИКАЛЬНО СОВРЕМЕННОЕ ПОТЕПЛЕНИЕ?

- Оно очень быстрое
- Оно глобальное

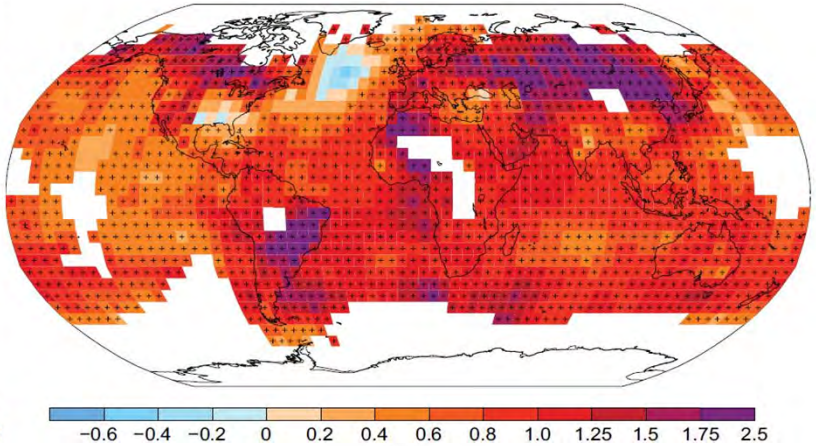
малая ледниковая эпоха



температурная аномалия (°C)

ААНИИ

Наблюдаемое изменение приземной температуры в период 1901-2012 гг

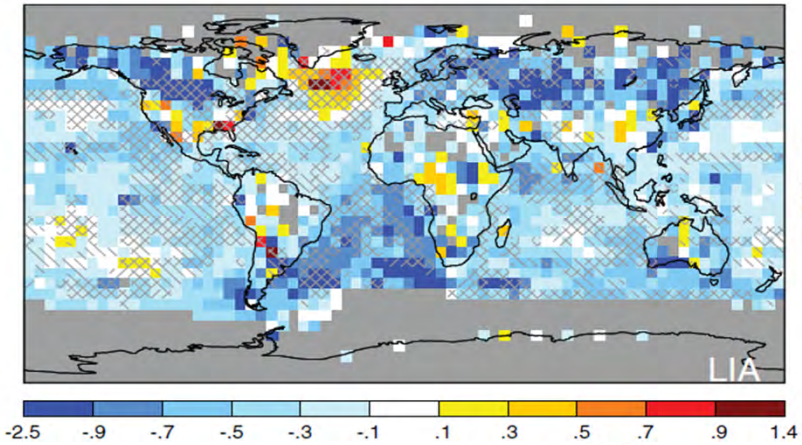


температурная аномалия (°C)

ЧЕМ УНИКАЛЬНО СОВРЕМЕННОЕ ПОТЕПЛЕНИЕ?

- Оно очень быстрое
- Оно глобальное
- Оно связано с деятельностью человека

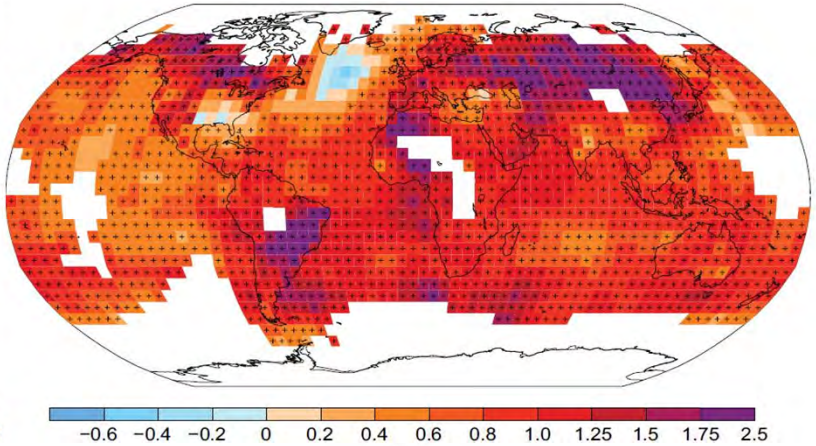
малая ледниковая эпоха



температурная аномалия (°C)

ААНИИ

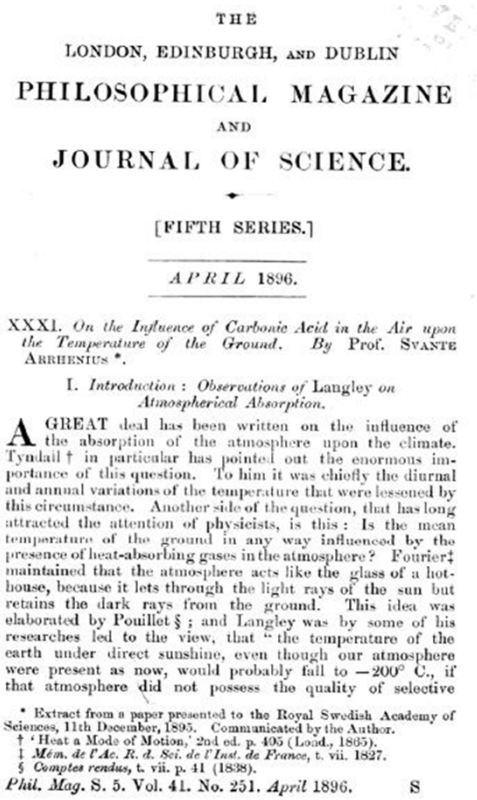
Наблюдаемое изменение приземной температуры в период 1901-2012 гг



температурная аномалия (°C)

ЧТО ТАКОЕ «ПАРНИКОВЫЙ ЭФФЕКТ»?

Сванте Аррениус (1859-1927)



THE

LONDON, EDINBURGH, AND DUBLIN

PHILOSOPHICAL MAGAZINE

AND

JOURNAL OF SCIENCE.

[FIFTH SERIES.]

APRIL 1896.

XXXI. *On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground.* *By* Prof. SVANTE ARRHENIUS *.

I. *Introduction : Observations of* Langley *on Atmospherical Absorption.*

A GREAT deal has been written on the influence of the absorption of the atmosphere upon the climate. Tyndall † in particular has pointed out the enormous importance of this question. To him it was chiefly the diurnal and annual variations of the temperature that were lessened by this circumstance. Another side of the question, that has long attracted the attention of physicists, is this: Is the mean temperature of the ground in any way influenced by the presence of heat-absorbing gases in the atmosphere? Fourier‡ maintained that the atmosphere acts like the glass of a hot-house, because it lets through the light rays of the sun but retains the dark rays from the ground. This idea was elaborated by Pouillet § ; and Langley was by some of his researches led to the view, that "the temperature of the earth under direct sunshine, even though our atmosphere were present as now, would probably fall to −200° C., if that atmosphere did not possess the quality of selective

* Extract from a paper presented to the Royal Swedish Academy of Sciences, 11th December, 1895. Communicated by the Author.

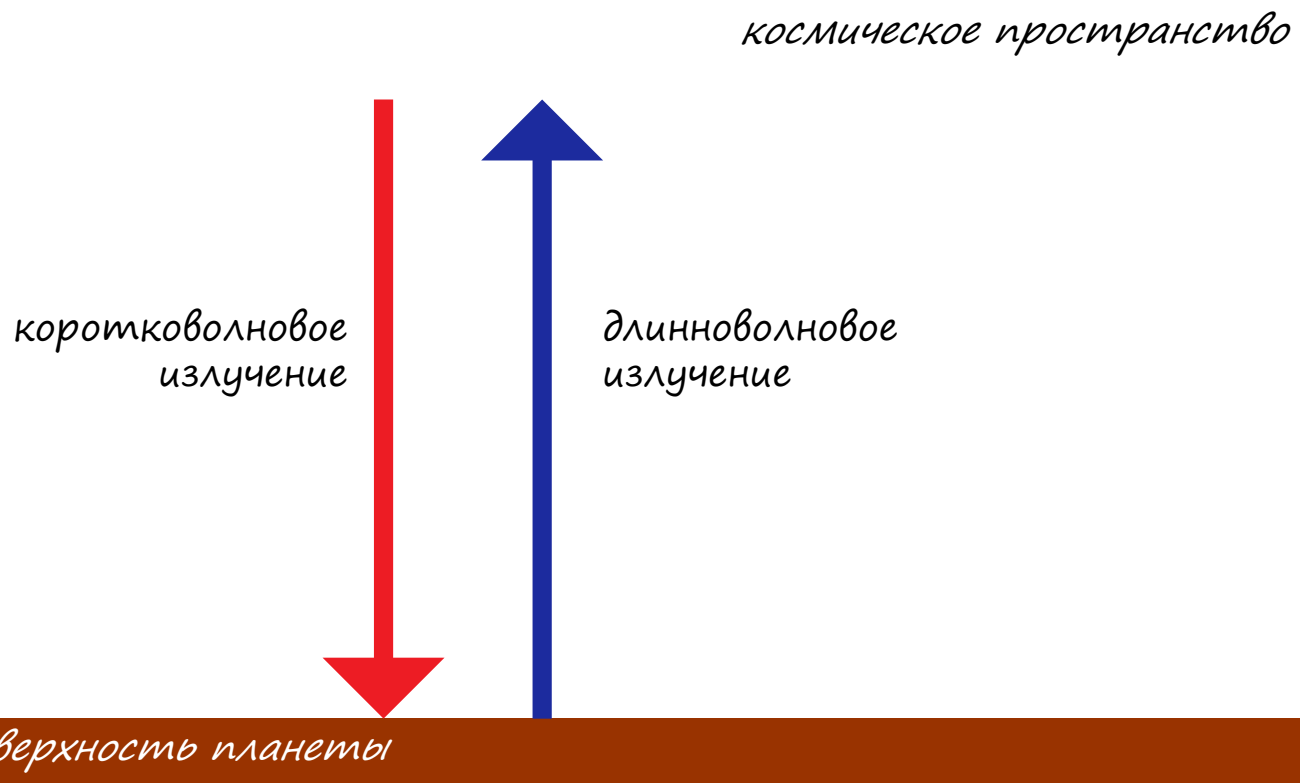
† 'Heat a Mode of Motion,' 2nd ed. p. 405 (Lond., 1865).

‡ *Mém. de l'Ac. R. d. Sci. de l'Inst. de France*, t. vii. 1827.

§ *Comptes rendus*, t. vii. p. 41 (1838).

Phil. Mag. S. 5. Vol. 41. No. 251. *April* 1896. S

Без парникового эффекта:



С парниковым эффектом:

ПАРНИКОВЫЙ ЭФФЕКТ – ХОРОШО ИЛИ ПЛОХО?

Средняя температура поверхности Земли +14°С

Без парникового эффекта температура Земли
была бы равна -25°С

Парниковый эффект нагревает Землю
на **39 градусов**!!!

ОСНОВНЫЕ ПАРНИКОВЫЕ ГАЗЫ

Водяной пар (объёмная доля в атмосфере – до 2-3%)

Углекислый газ (CO_2) – 0,03%

Метан – 0,00007%

Озон – 0,001%

ВЛИЯНИЕ ПАРНИКОВОГО ЭФФЕКТА НА КЛИМАТ

бурное развитие растительности

снижение количества CO_2

глобальное похолодание

ВЛИЯНИЕ ПАРНИКОВОГО ЭФФЕКТА НА КЛИМАТ

Михаил Иванович Будыко
(1920-2001)

The Future Climate

M.I. Budyko

Man and Climate

The influence of man on climate began to show itself as early as several thousand years ago. In many areas forests gave way to cultivated land, which resulted in an increase in surface wind speed, and some change of temperature and humidity in the lower boundary layer, as well as a change in the regime of soil moisture, evaporation, and river runoff. Another effect of man's activity upon climate is artificial irrigation, which has been applied in arid regions for many centuries. Irrigation appreciably increases evaporation from the earth's surface, causing temperature decrease and an increase in relative humidity. Observations have shown that the effect of forest felling and irrigation on meteorological conditions is limited only to changes in local climate, i.e., the climate of the regions where pertinent measurements are carried out [*Landsberg*, 1970].

In recent decades man's impact on meteorological regimes has increased. This increase is associated, in particular, with a wide-scale development of field-protecting afforestation, drainage of marsh-ridden areas, and building of reservoirs.

Shelter belts lower the wind speed over fields between belts and weaken the intensity of vertical air motions near the earth's surface. This minimizes the possibility of dust storm occurrence and prevents the blowing of snow from fields in the cold season of the year. The drainage of oversaturated soil generally has an effect on climatic conditions opposite to that of irrigation. When swamps are drained, the soil moisture is reduced, its temperature rises, and evaporation decreases.

Some changes of climate are observed in the regions of large reservoirs. Building of reservoirs decreases the roughness of the earth's surface, which promotes a stronger wind. The creation of a water storage basin usually leads to a decrease in diurnal temperature variations as well as an increase in evaporation.

Although amelioration measures are conducted over vast and still extending areas, studies have shown that they, like the building of reservoirs, do not exert a noticeable influence upon the global climate.

However, there are other ways in which economic activities influence atmospheric processes that could lead to global climatic changes. It is known that billions of tons of coal and oil are burned every year, and as a result an enormous amount of carbon dioxide enters the atmosphere. If all the carbon dioxide produced by man remained in the atmosphere, its concentration would grow rapidly. However, because of the constant exchange of carbon dioxide between the atmosphere and the ocean (which can absorb a great amount of carbon dioxide), only part of anthropogenic carbon dioxide remains in the atmosphere. The data available have shown that in recent decades the amount of carbon dioxide in the atmosphere has grown by 10%—15% in the last century, and now this amount continues rising by approximately 0.2% a year.

Carbon dioxide has a certain effect on the atmospheric thermal regime. Since it does not seriously impede the shortwave solar radiation approaching the earth's surface and appreciably attenuates the long-wave heat radiation outgoing to the space, an increase in the carbon dioxide concentration raises the temperature near the earth's surface. The calculations made have shown that by the end of our century such a temperature rise may account for about 0.5° [*Study of Man's Impact on Climate*, 1971].

Among other consequences of man's activities affecting climate, the growth of energy production should be mentioned. All the energy consumed by man is eventually transformed into heat, its major portion acting as an additional source of energy for the earth that contributes to temperature rise.

Of all the more or less substantial components of the present consumption of energy by man, only water power and transformation of solar energy into wood and fiber do not change the heat balance of the earth

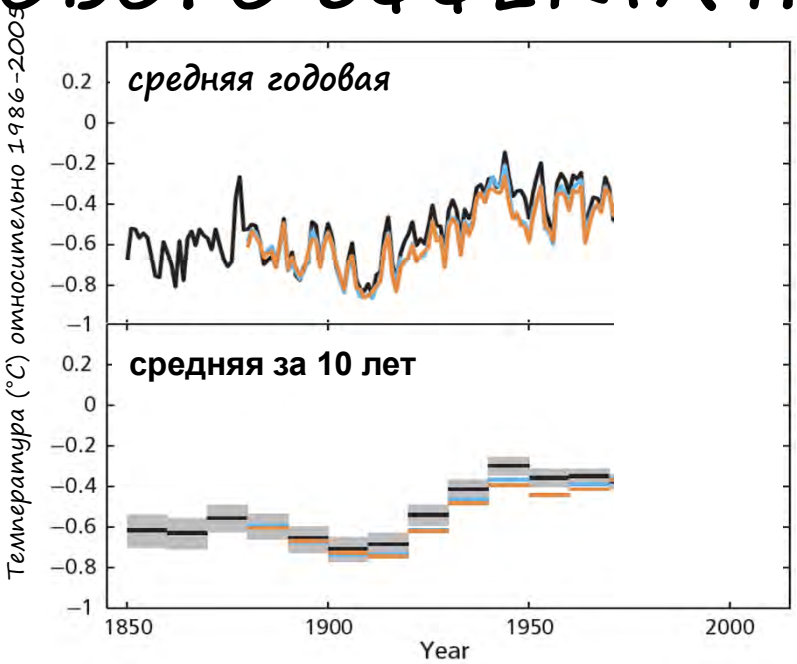
868

«за счёт хозяйственной деятельности человека концентрация CO_2 к концу века может составить 0,038%»

«расчёты показывают, что к концу нашего века повышение температуры за счёт роста углекислого газа составит примерно 0,5°C»

ВЛИЯНИЕ ПАРНИКОВОГО ЭФФЕКТА НА КЛИМАТ

Михаил Иванович Будыко
(1920-2001)



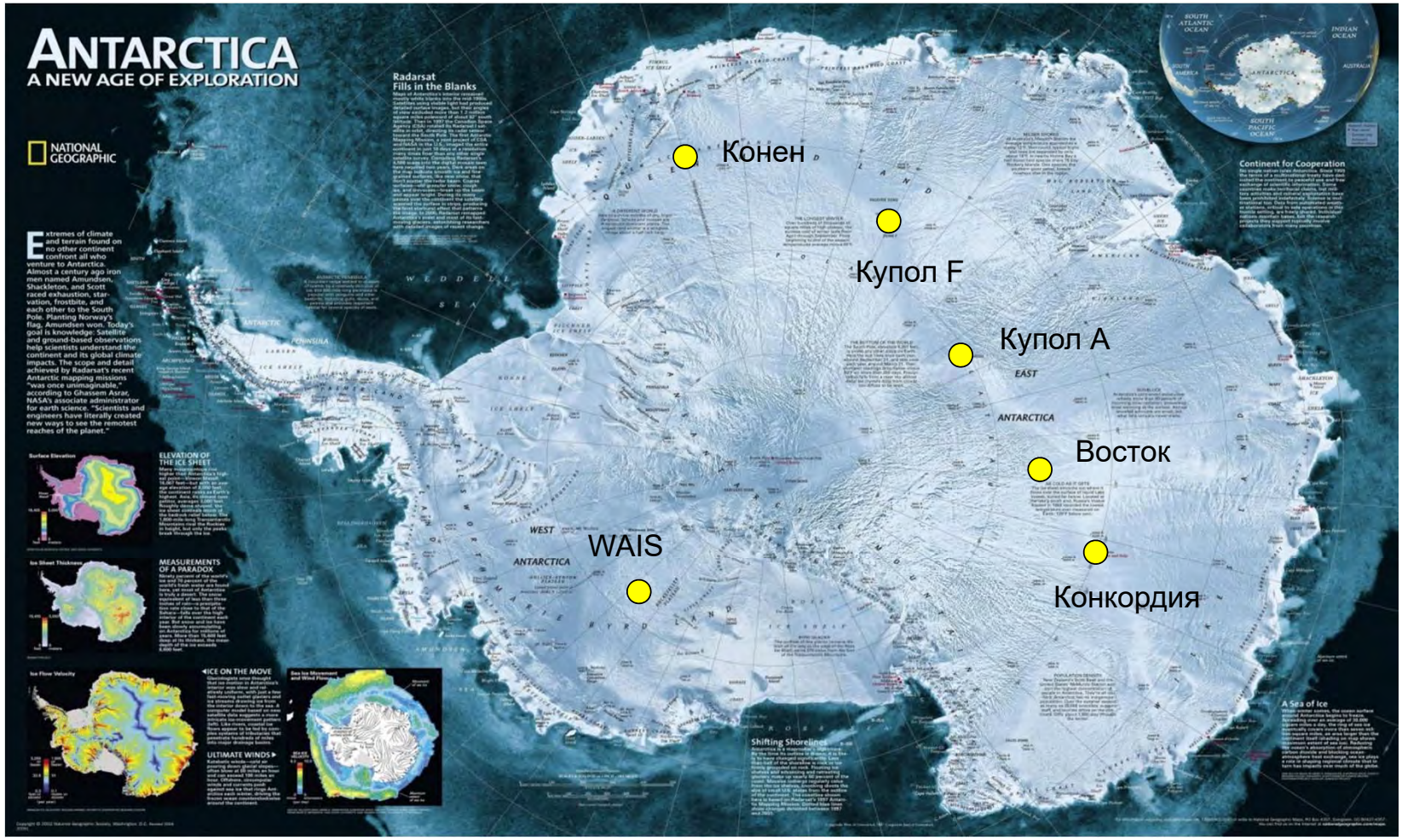
«за счёт хозяйственной деятельности человека концентрация CO_2 к концу века может составить 0,038%» **0,037**

«расчёты показывают, что к концу нашего века повышение температуры за счёт роста углекислого газа составит примерно 0,5°C» **0,5**

ЛЕДЯНЫЕ КЕРНЫ – НОВАЯ ЭРА ПАЛЕОКЛИМАТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Фото: В.Я. Липенков

ОСНОВНЫЕ ПРОЕКТЫ БУРЕНИЯ ЛЬДА



Карта: National Geographic

АНТАРКТИЧЕСКИЙ ЛЁД – КЛАДЕЗЬ ИНФОРМАЦИИ О КЛИМАТЕ

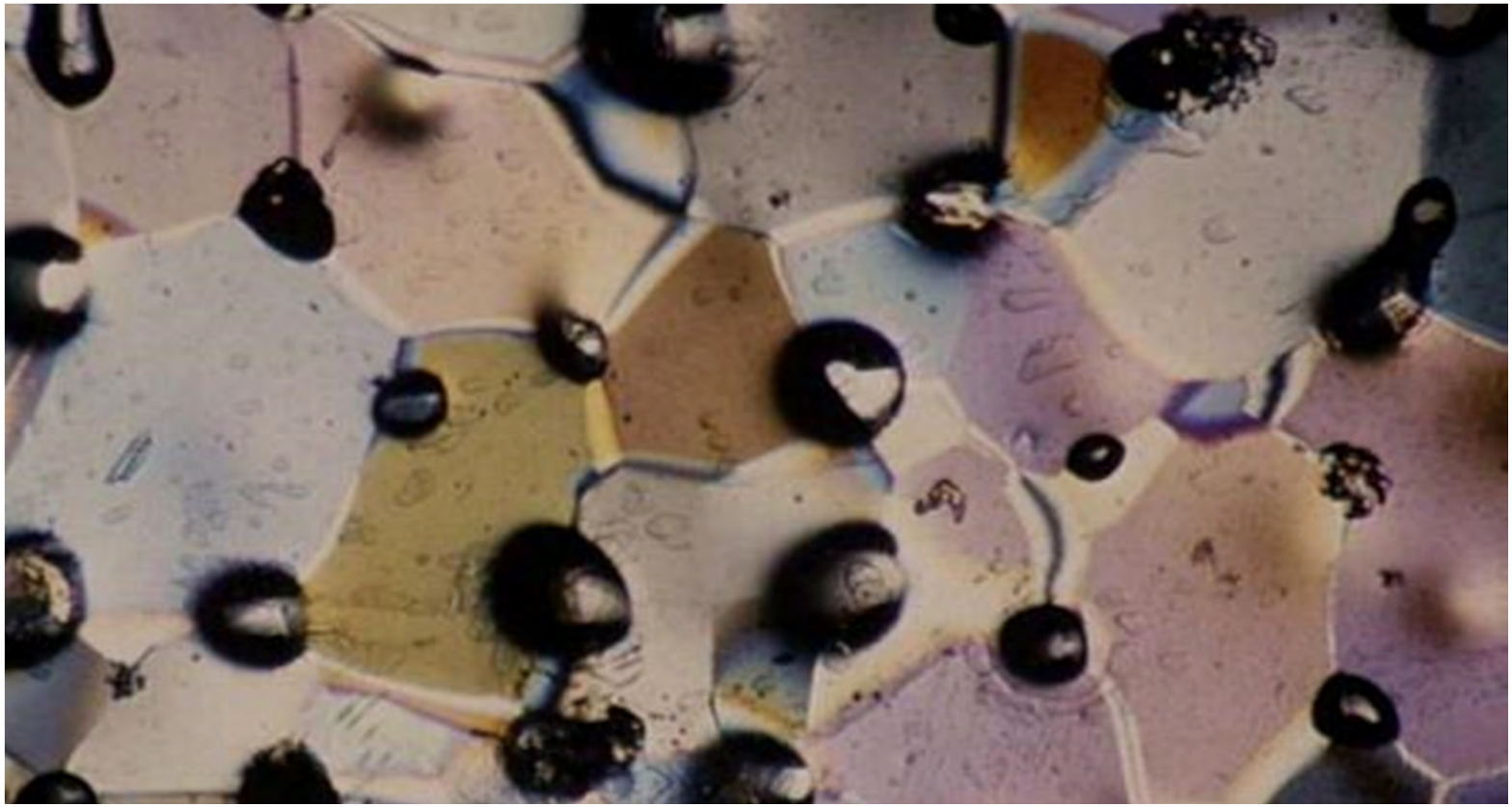
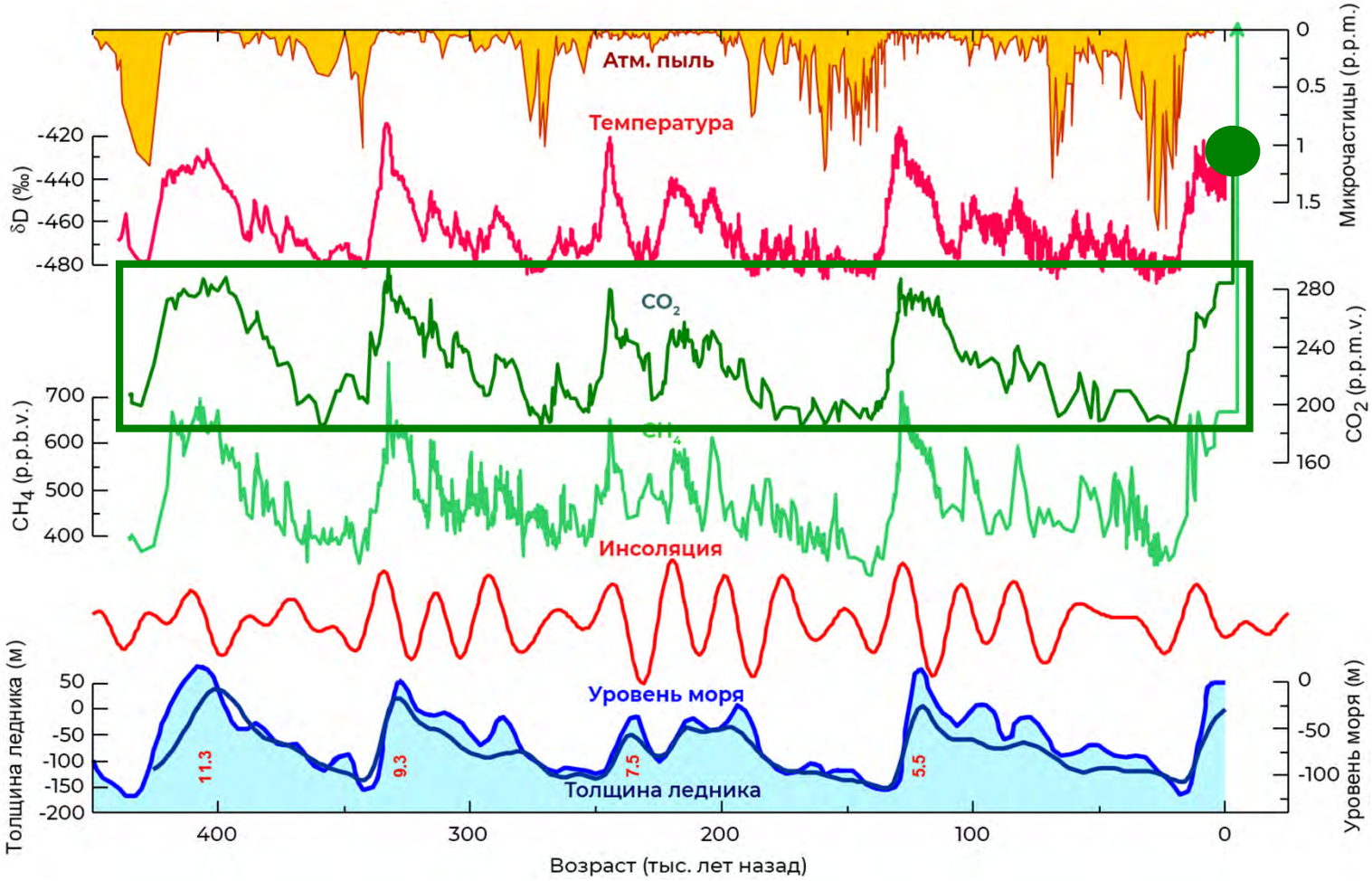


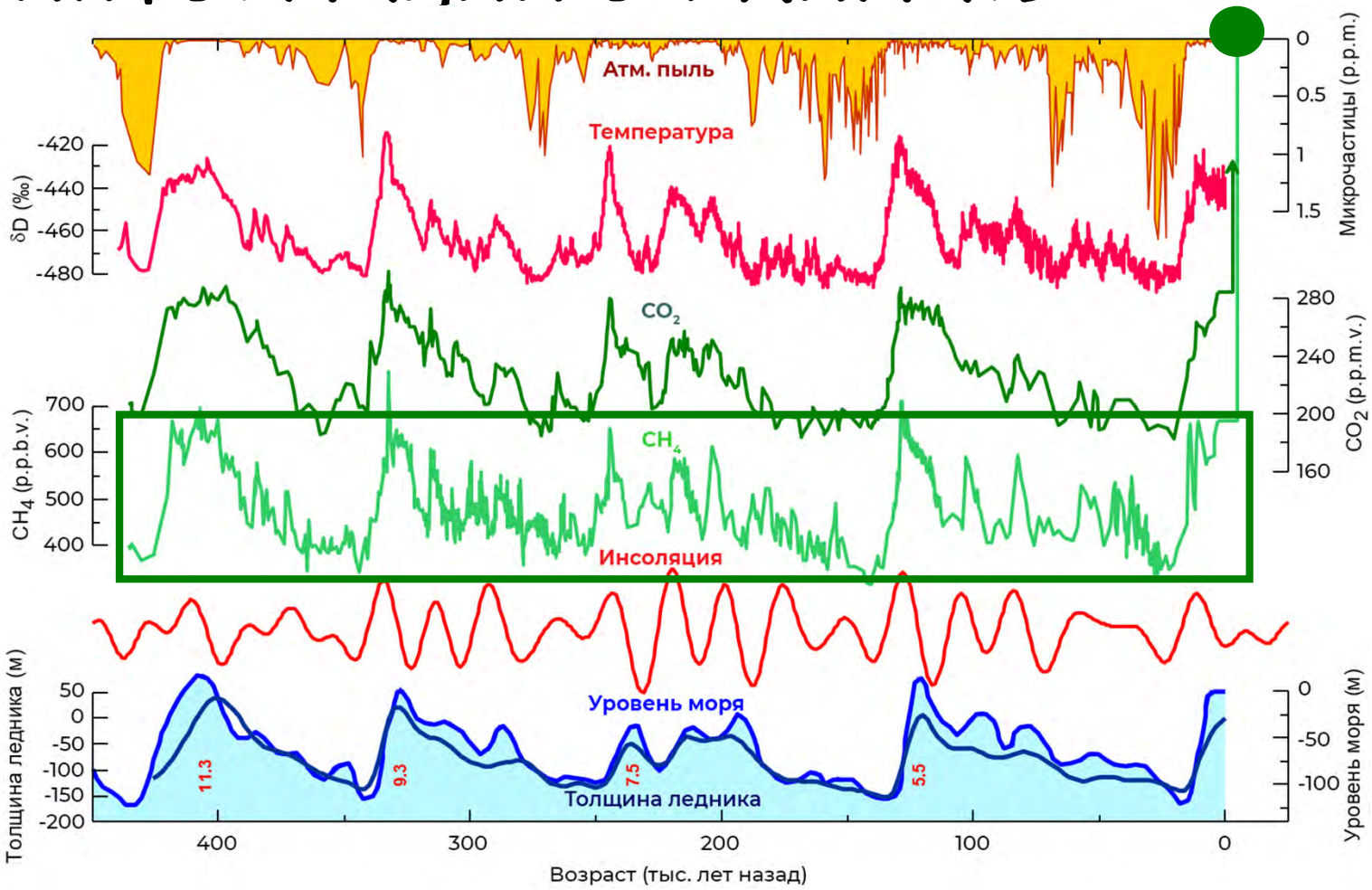
Фото: В.Я. Липенков

АНТАРКТИЧЕСКИЙ ЛЁД – КЛАДЕЗЬ ИНФОРМАЦИИ О КЛИМАТЕ



Petit et al., 1999

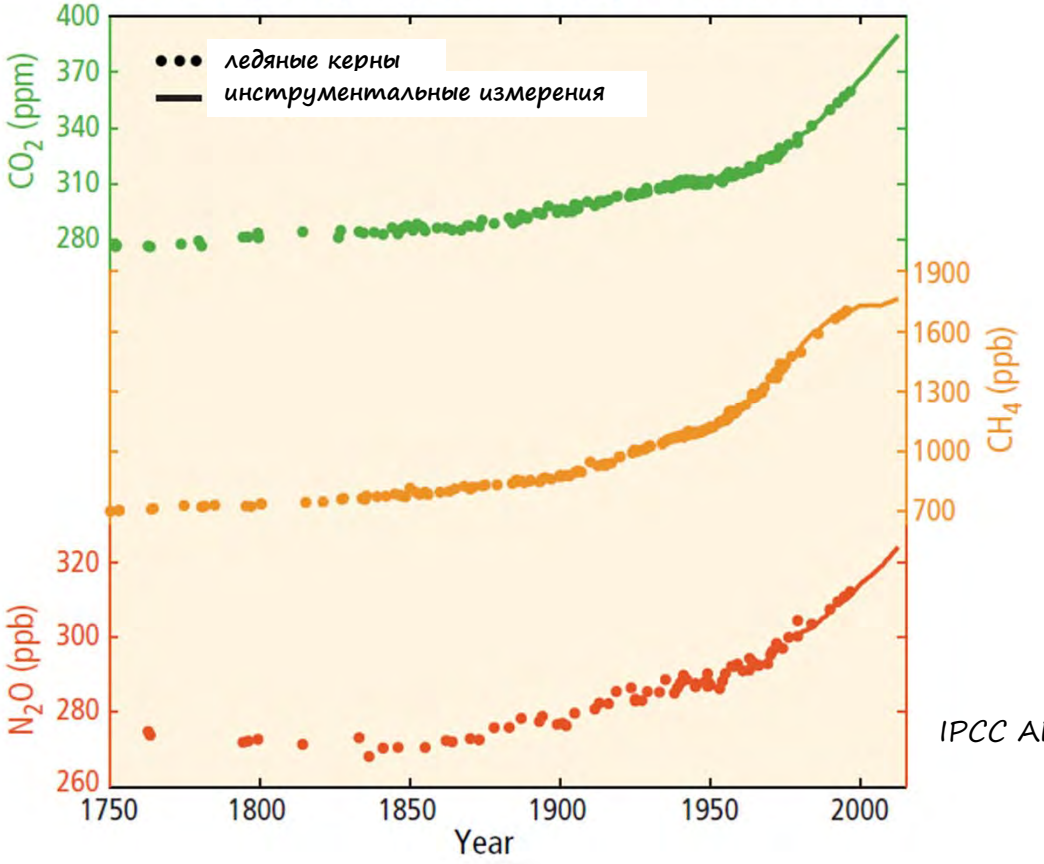
АНТАРКТИЧЕСКИЙ ЛЁД – КЛАДЕЗЬ ИНФОРМАЦИИ О КЛИМАТЕ



Petit et al., 1999

АНТАРКТИЧЕСКИЙ ЛЁД – КЛАДЕЗЬ ИНФОРМАЦИИ О КЛИМАТЕ

концентрация парниковых газов в атмосфере

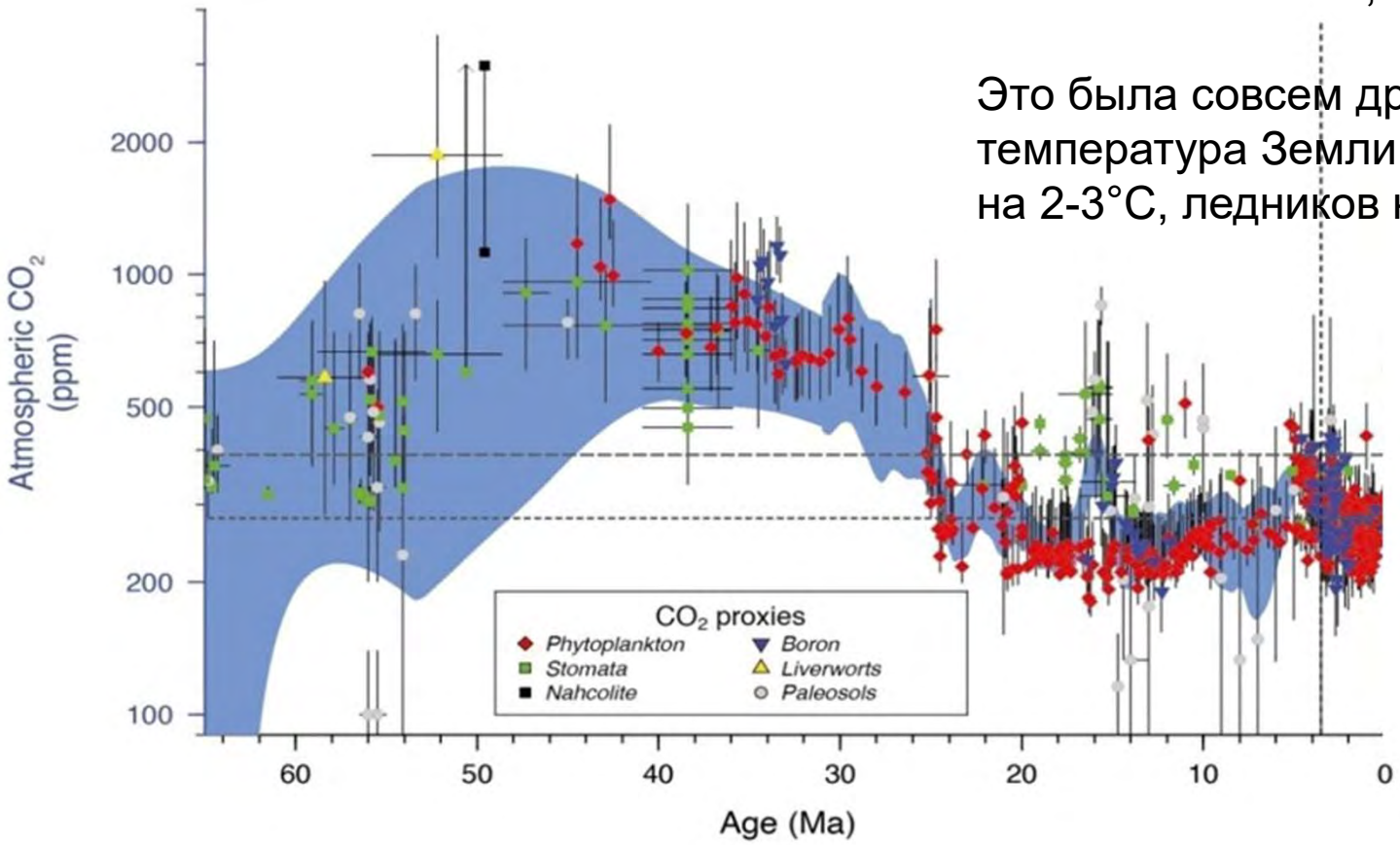


IPCC AR5, 2014

КОГДА НА ЗЕМЛЕ ПОСЛЕДНИЙ РАЗ БЫЛА ТАКАЯ КОНЦЕНТРАЦИЯ CO_2?

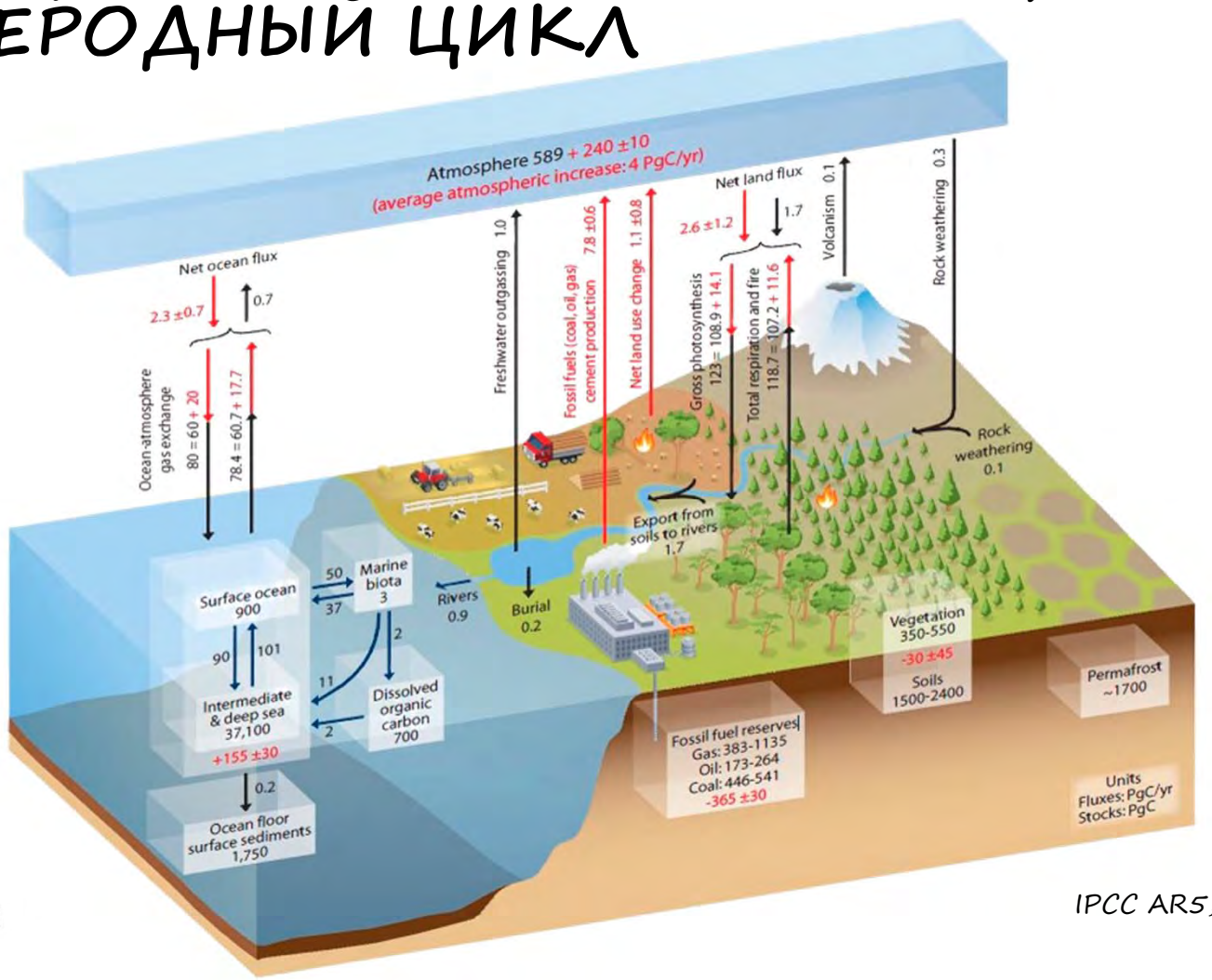
Точно не известно, ~ 5-15 млн. лет назад

Это была совсем другая планета:
температура Земли была выше
на 2-3°C, ледников не существовало



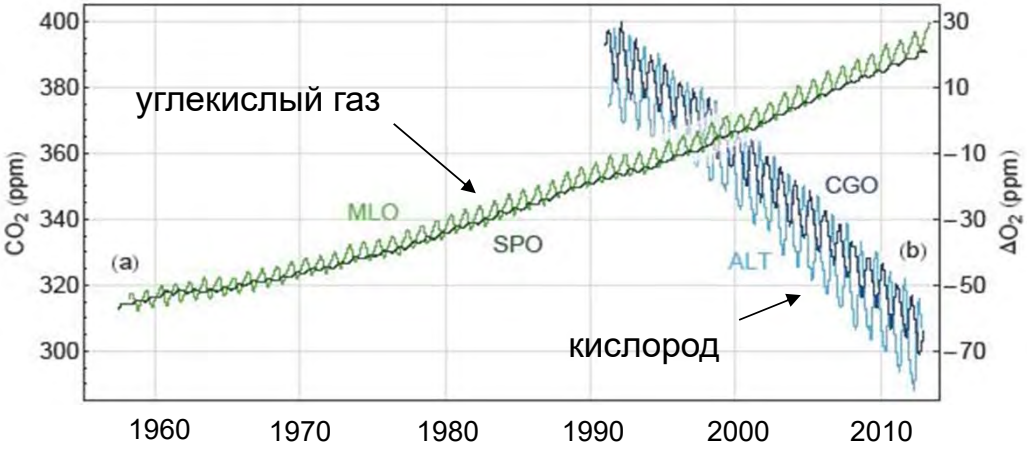
IPCC AR5, 2014

ОТКУДА ВООБЩЕ БЕРЕТСЯ CO_2? УГЛЕРОДНЫЙ ЦИКЛ



IPCC AR5, 2014

А ОН ТОЧНО ИЗ ИСКОПАЕМОГО ТОПЛИВА?

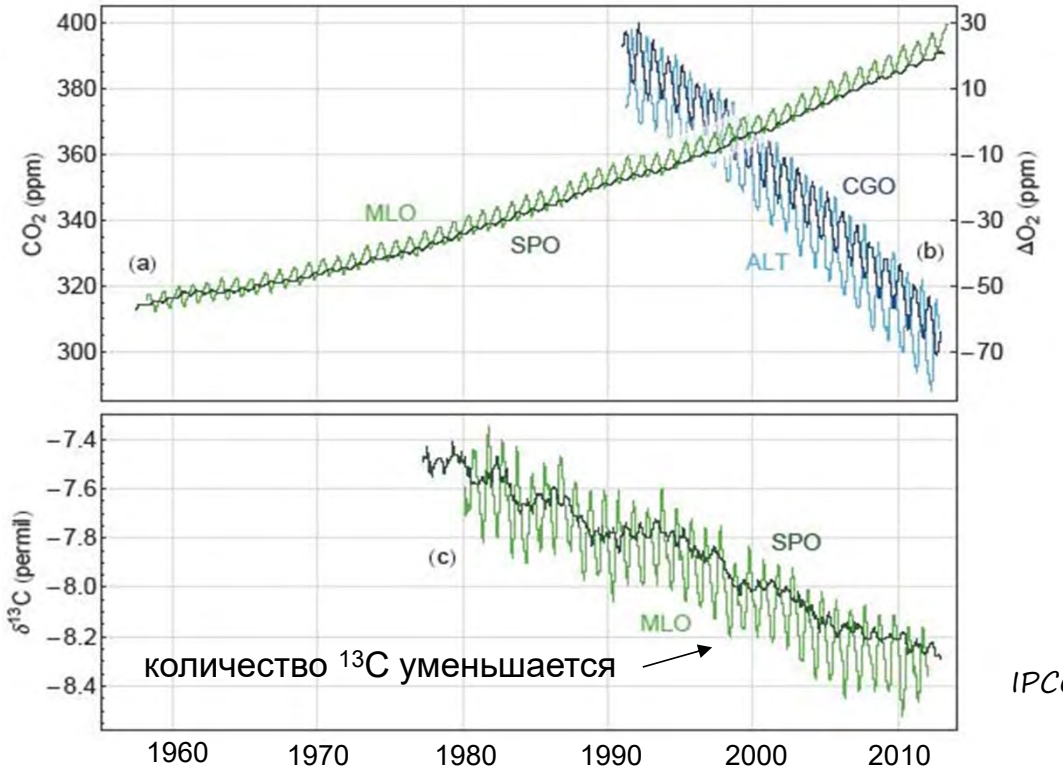


$C + O_2 = CO_2$

если углекислого газа прибывает – кислорода должно убывать?!

IPCC AR5, 2014

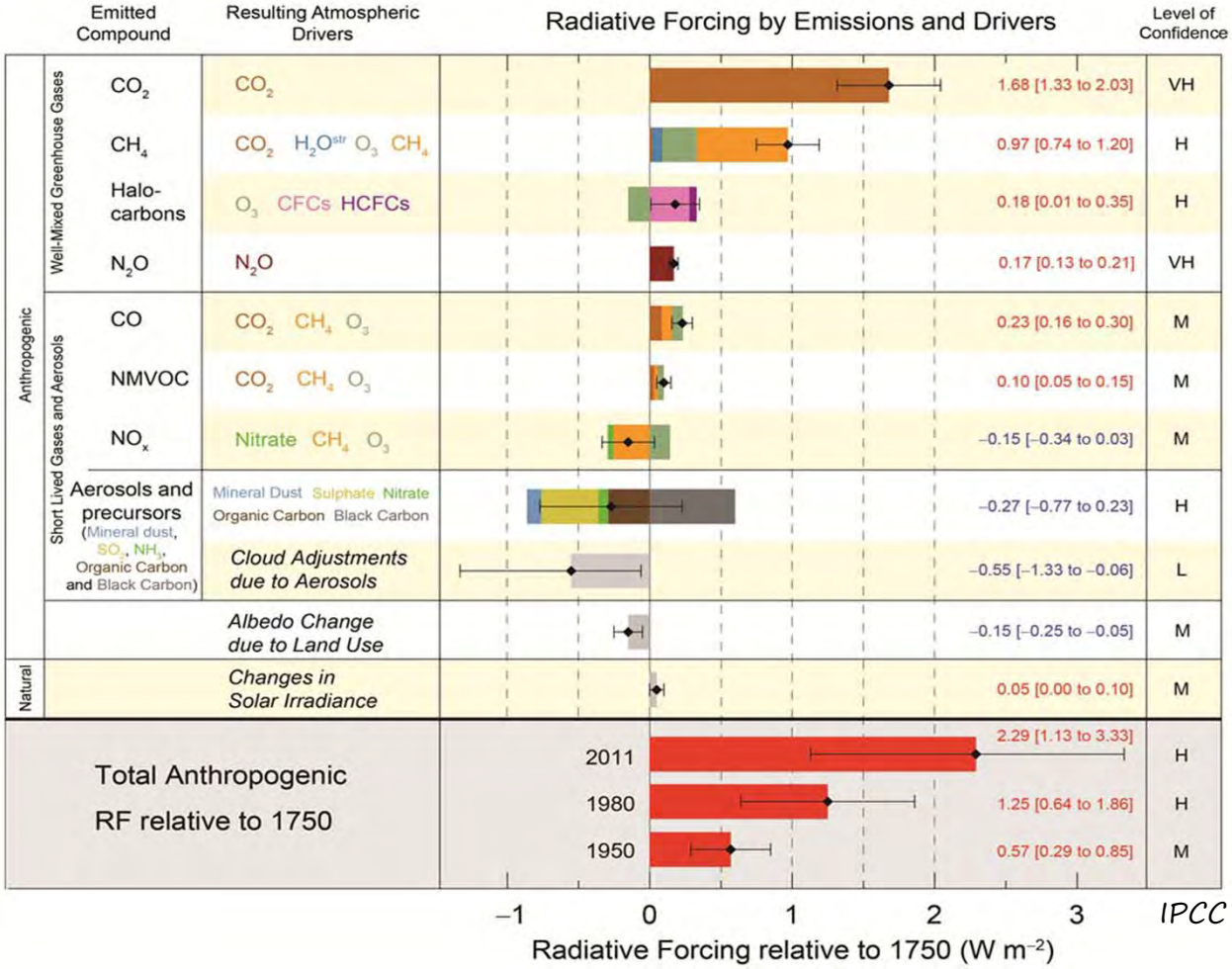
А ОН ТОЧНО ИЗ ИСКОПАЕМОГО ТОПЛИВА?



Изотопный состав (концентрация изотопа ^{13}C) ископаемой органики ниже, чем у CO_2 в атмосфере – значит, при её сжигании изотопный состав углекислого газа должен понижаться!

IPCC AR5, 2014

КАК ЕЩЕ ЧЕЛОВЕК ВЛИЯЕТ НА КЛИМАТ?



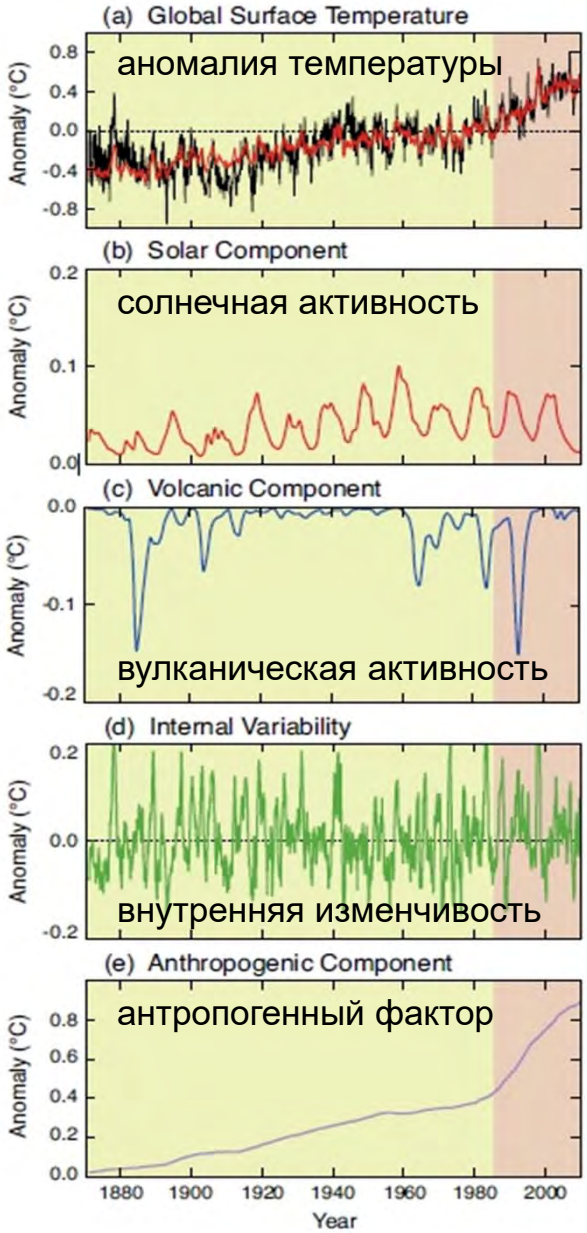
парниковые газы

короткоживущие газы и аэрозоли

природные факторы

IPCC AR5, 2014

СРАВНЕНИЕ АНТРОПОГЕННОГО И ПРИРОДНЫХ ФАКТОРОВ



> 90 % изменчивости климата в XX веке связано с антропогенным фактором

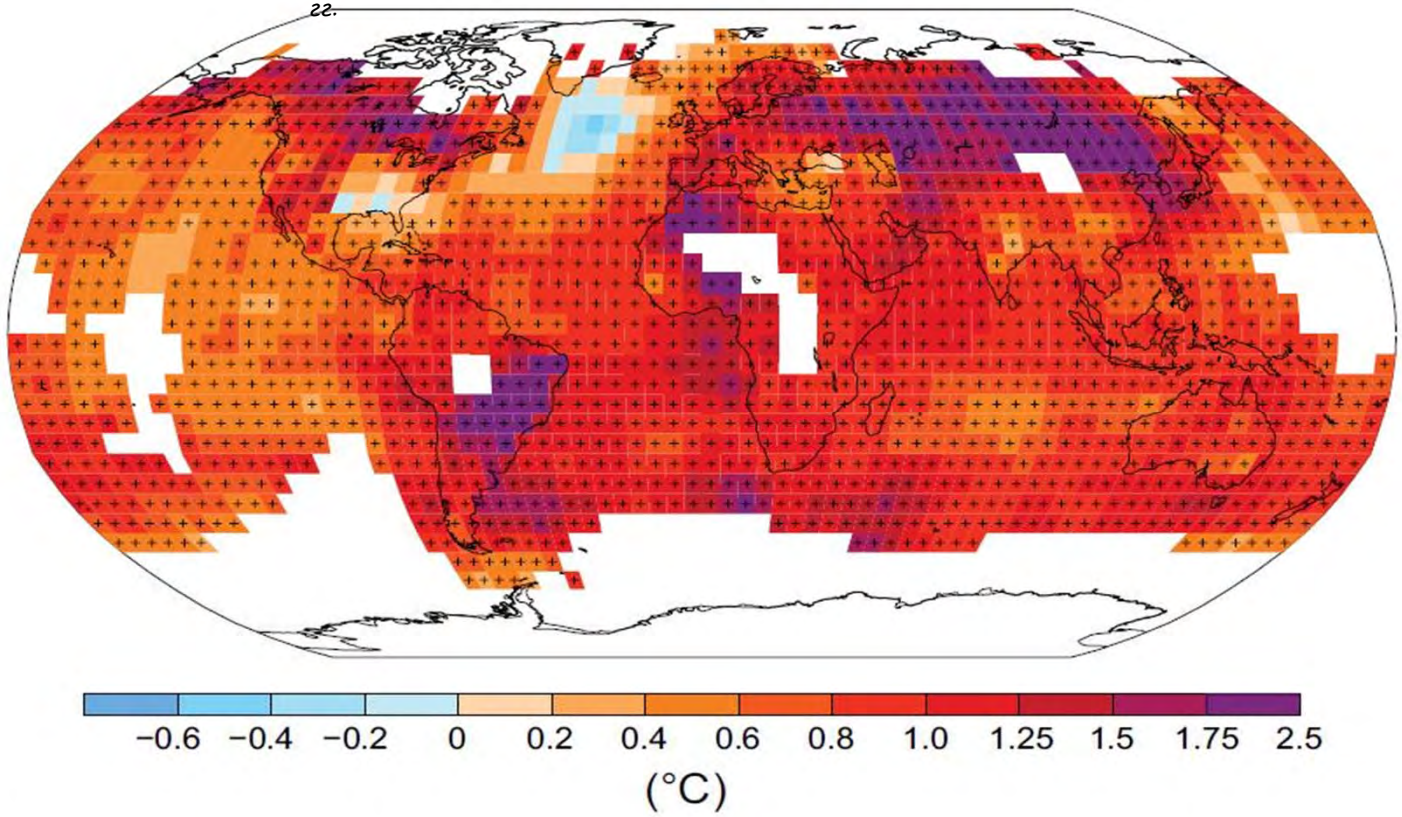
IPCC AR5, 2014

ВОЗМОЖНО ЛИ, ЧТО ПОТЕПЛЕНИЕ СКОРО СМЕНИТСЯ ПОХОЛОДАНИЕМ?

Фильм «Послезавтра», 2004

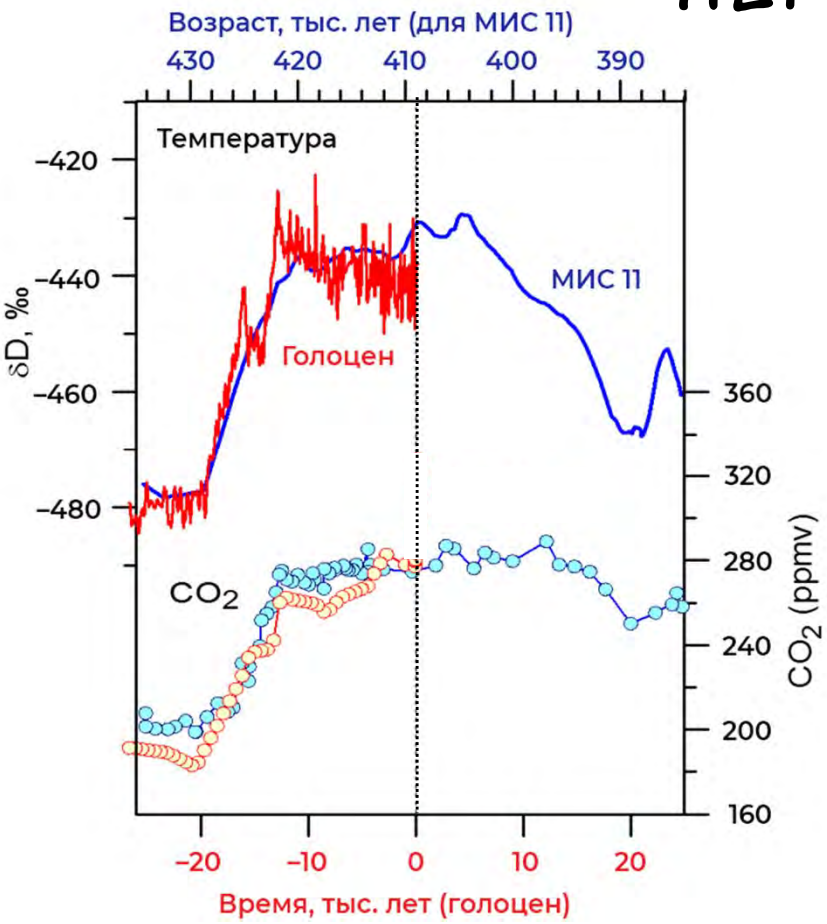
ВОЗМОЖНО ЛИ, ЧТО ПОТЕПЛЕНИЕ СКОРО СМЕНИТСЯ ПОХОЛОДАНИЕМ?

Наблюдаемое изменение приземной температуры в период 1901-2012 гг.



IPCC AR5, 2014

КОГДА НАСТУПИТ СЛЕДУЮЩИЙ ЛЕДНИКОВЫЙ ПЕРИОД?



Через 10 тысяч лет

… или никогда

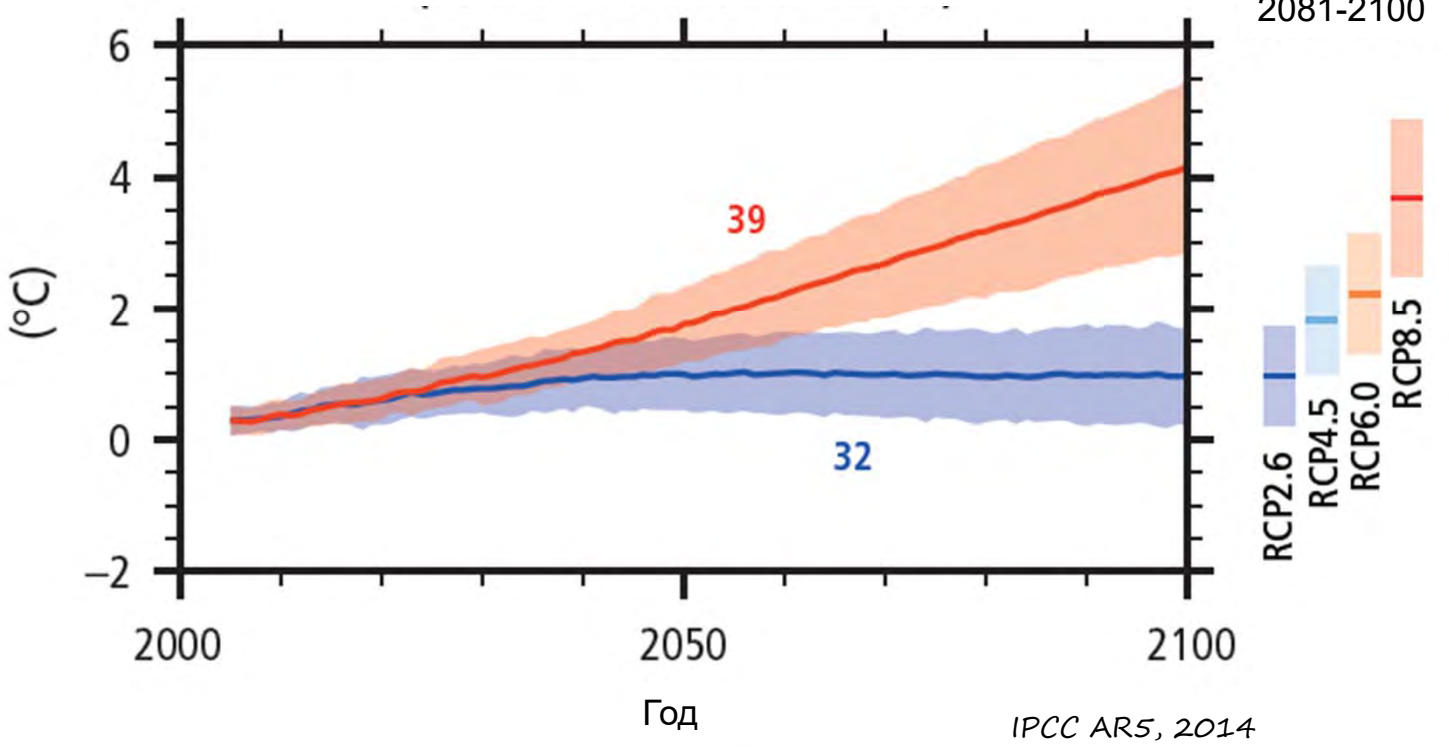
Raynaud et al., 2005

ЧТО КРОМЕ ПОТЕПЛЕНИЯ?

Увеличение частоты экстремальных явлений
Таяние ледников и морского льда
Разрушение вечной мерзлоты
Массовое вымирание видов
Смещение природных зон
Распространение эпидемий
Закисление и гипоксия океана
...

ЧТО БУДЕТ ДАЛЬШЕ? ПОТЕПЛЕНИЕ? – ДА

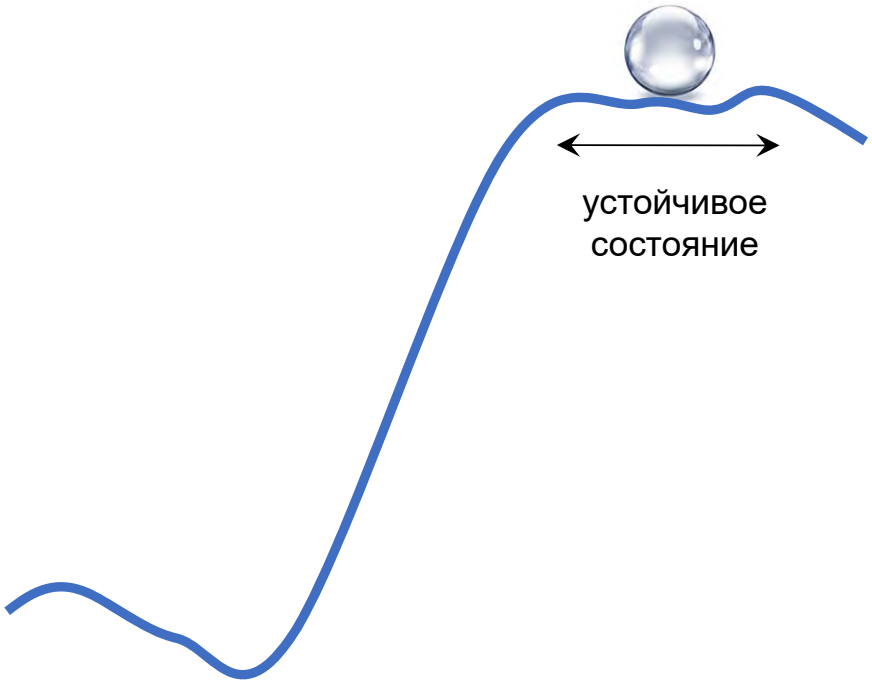
Прогноз средней глобальной температуры
(по сравнению с 1986-2005)



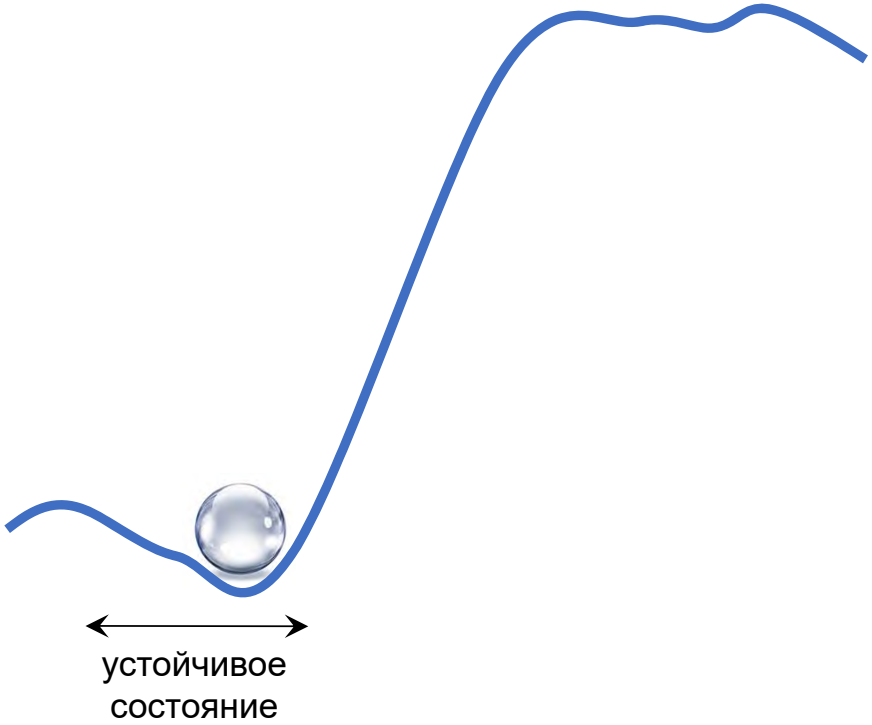
IPCC AR5, 2014

Дальнейшее потепление – надолго…
Но на сколько градусов?

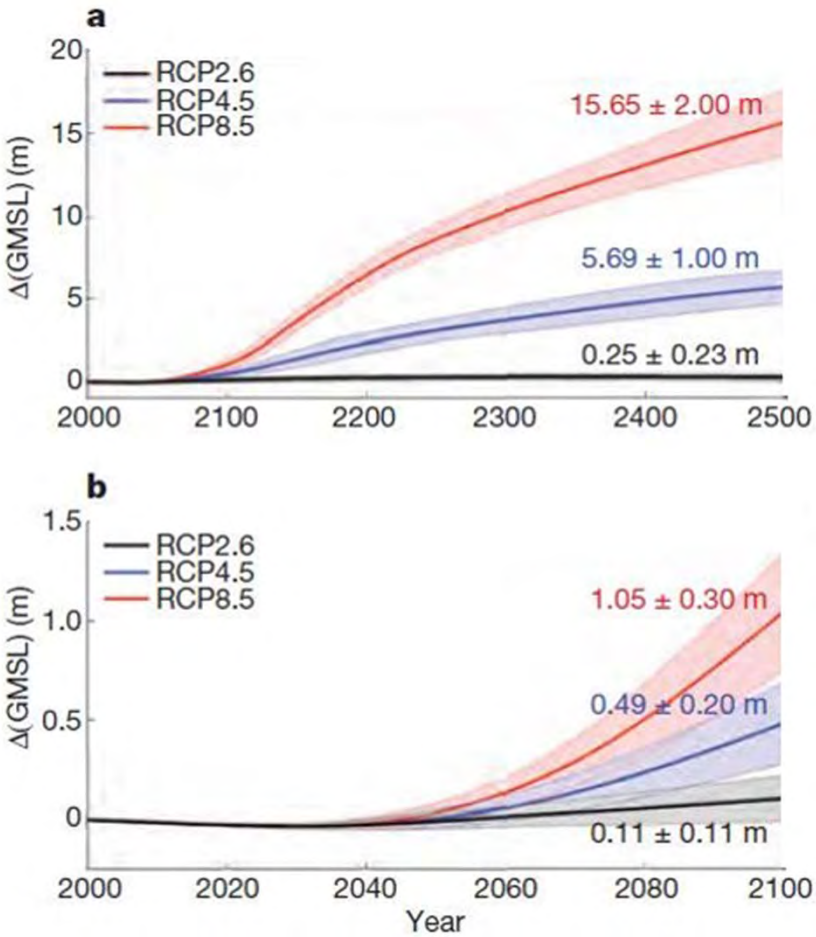
НЕЛИНЕЙНАЯ СИСТЕМА

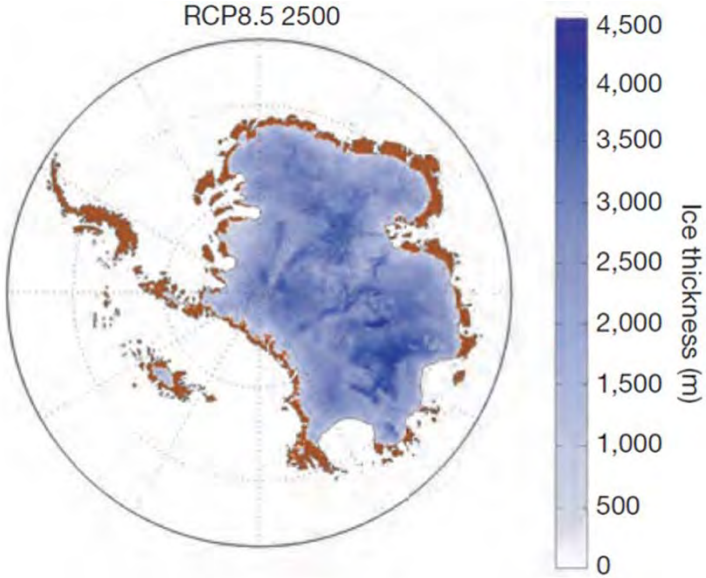


НЕЛИНЕЙНАЯ СИСТЕМА



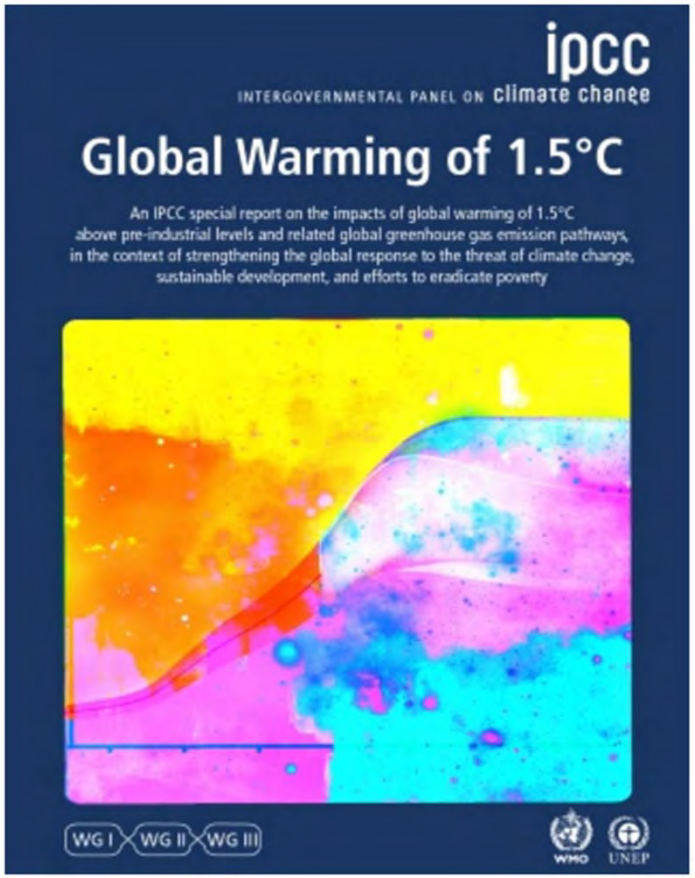
УРОВЕНЬ МОРЯ – ДВА СЦЕНАРИЯ





De Conto and Pollard, 2016

ПОВЫШЕНИЕ НА 2°С НЕДОПУСТИМО!



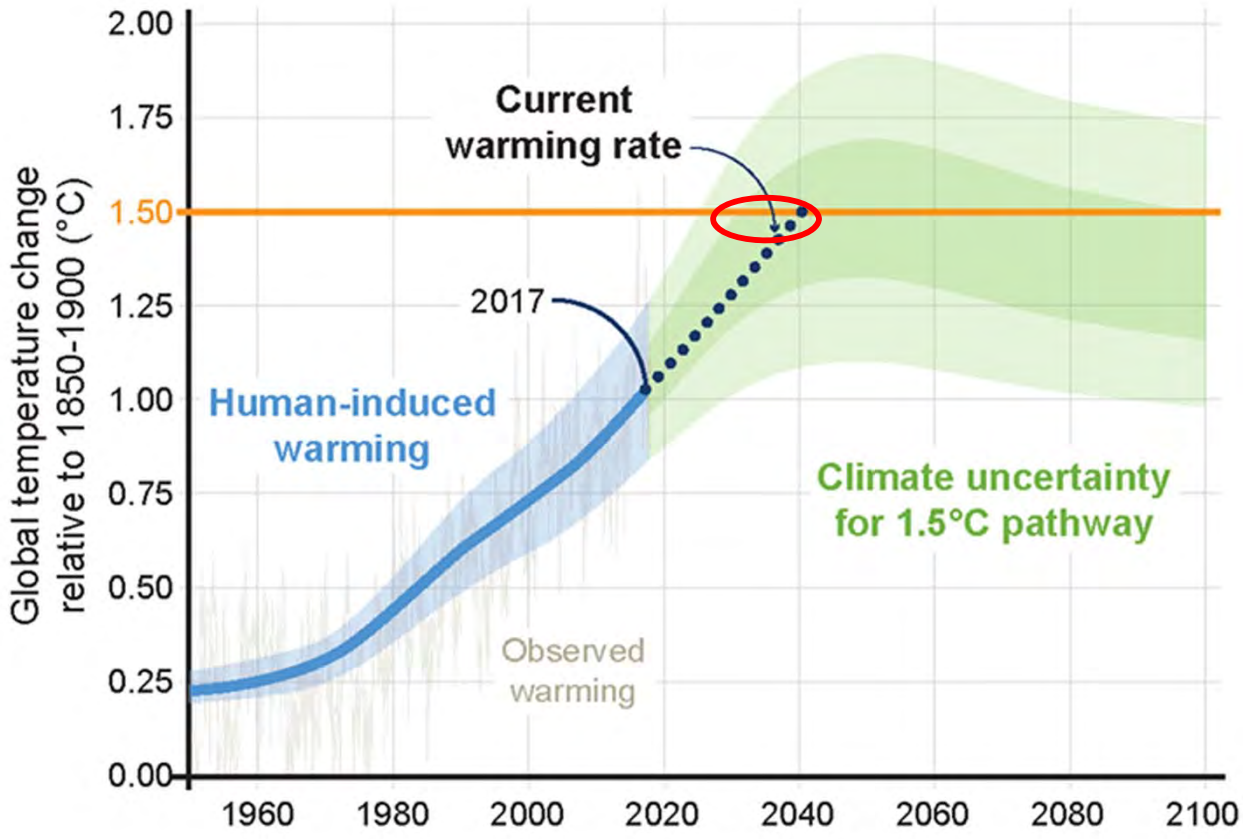
Доклад МГЭИК о повышении температуры на 1,5 °С:

«повышение температуры на 2 °С недопустимо»

Чтобы удержать температуру в пределах 1,5 °С, нужны масштабные и срочные меры:

- снизить выбросы CO_2 на 45 % к 2030 году;
- 85 % энергии из возобновляемых источников к 2050 году

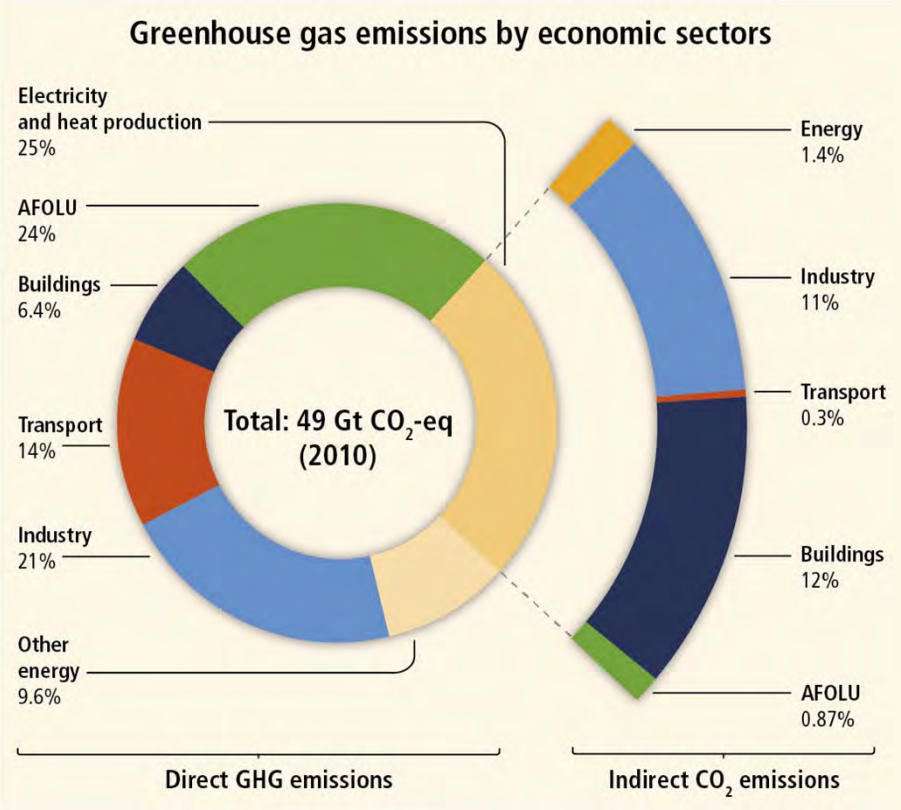
КОГДА БУДЕТ 1,5 °С?



Повышение на 1,5 ºС м.б. достигнуто уже в 2030 году

IPCC SR1.5, 2018

КАК МОЖНО СНИЗИТЬ ВЫБРОСЫ?



IPCC AR5, 2014

Что я (ты, он, она) может сделать:

- чаще пользоваться общественным транспортом;
- экономить энергию;
- сократить потребление мяса
- утилизировать отходы, использовать вторсырьё, экономить воду;
- информировать и обучать

Одного лишь снижения выбросов недостаточно! Нужно изымать CO_2 из атмосферы!

… И НЕ ГОВОРИТЕ, ЧТО ВАС НЕ ПРЕДУПРЕЖДАЛИ!