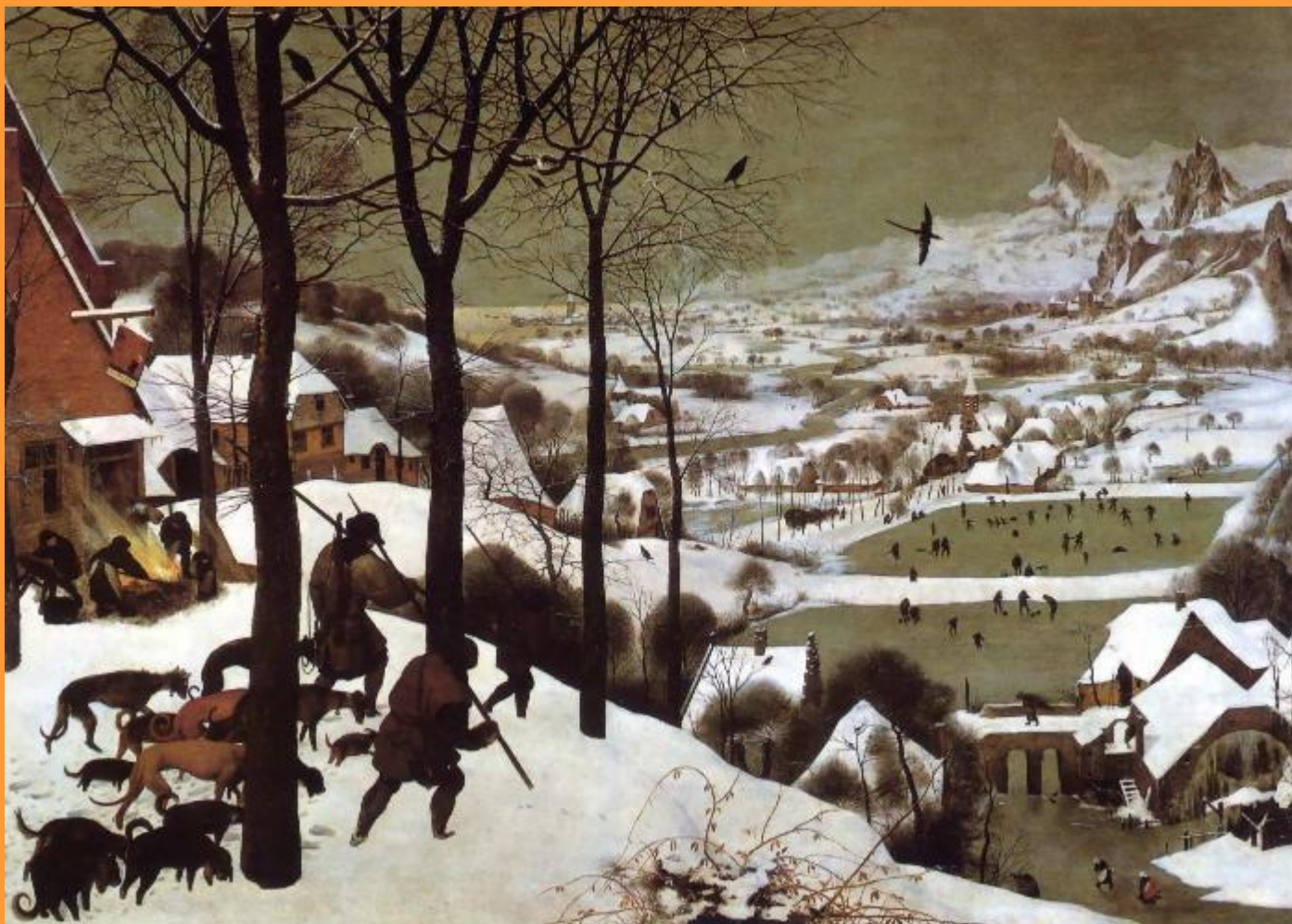


# Глобальные изменения климата – кто виноват?

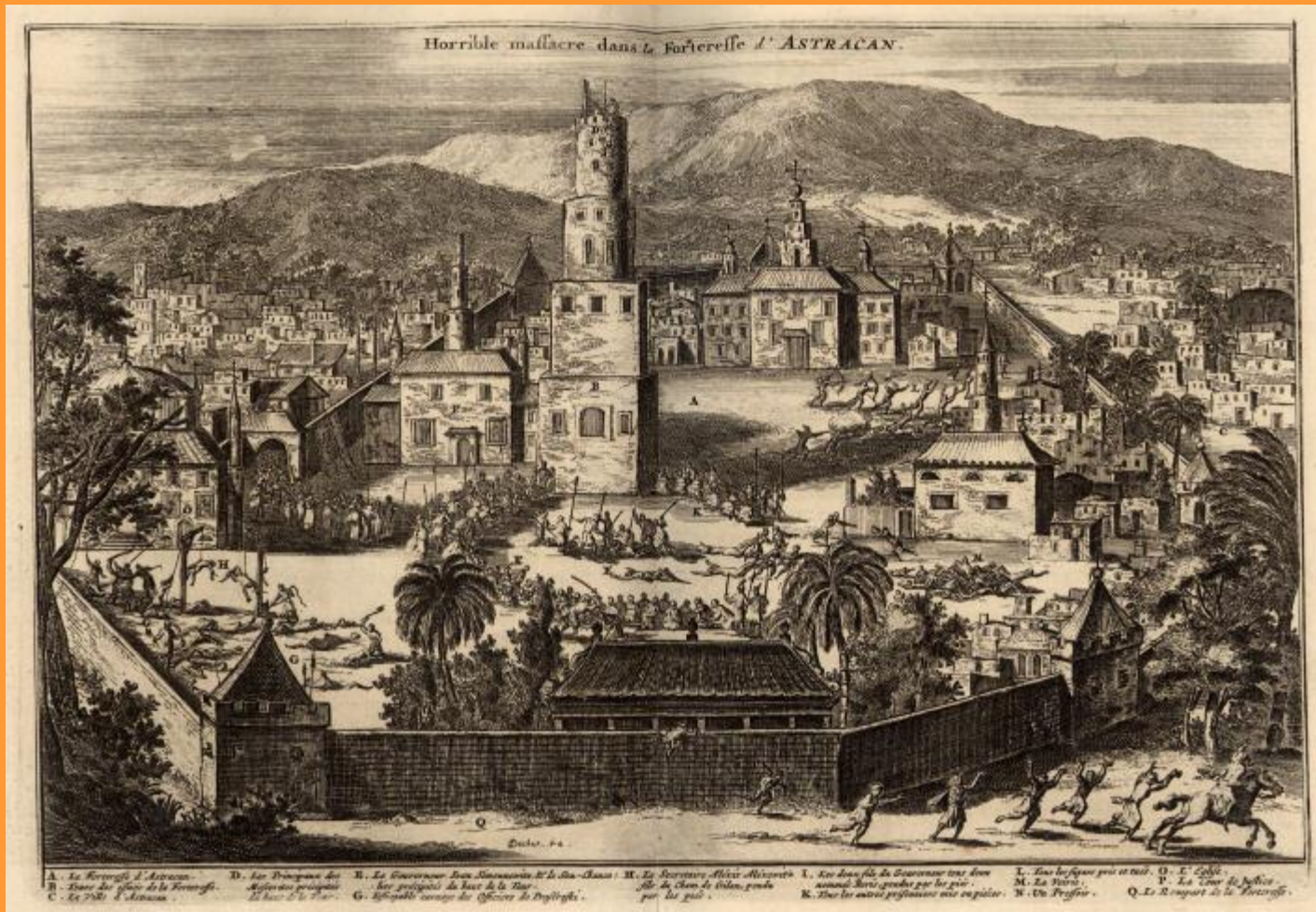
Лекцию читает Илья Игоревич  
Любечанский,

Институт систематики и экологии  
животных СО РАН

Питер Брейгель-старший. «Возвращение охотников». 1565.  
В Европе разгар «Малого ледникового периода».



# Пальмы в Астрахани. Около 1400 г.

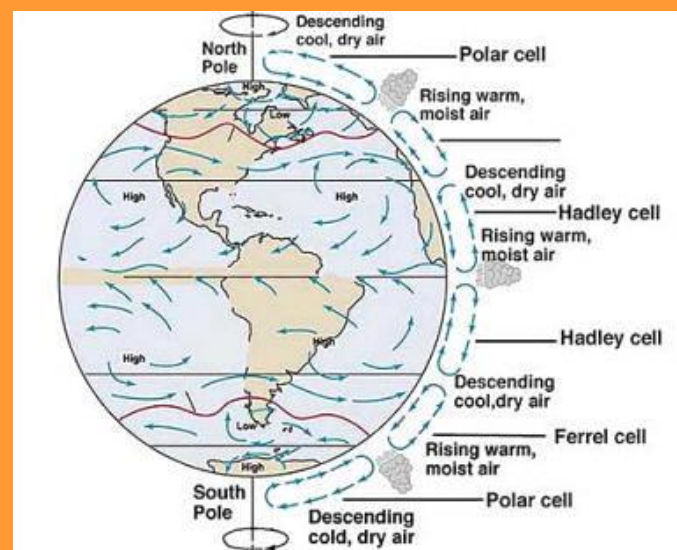
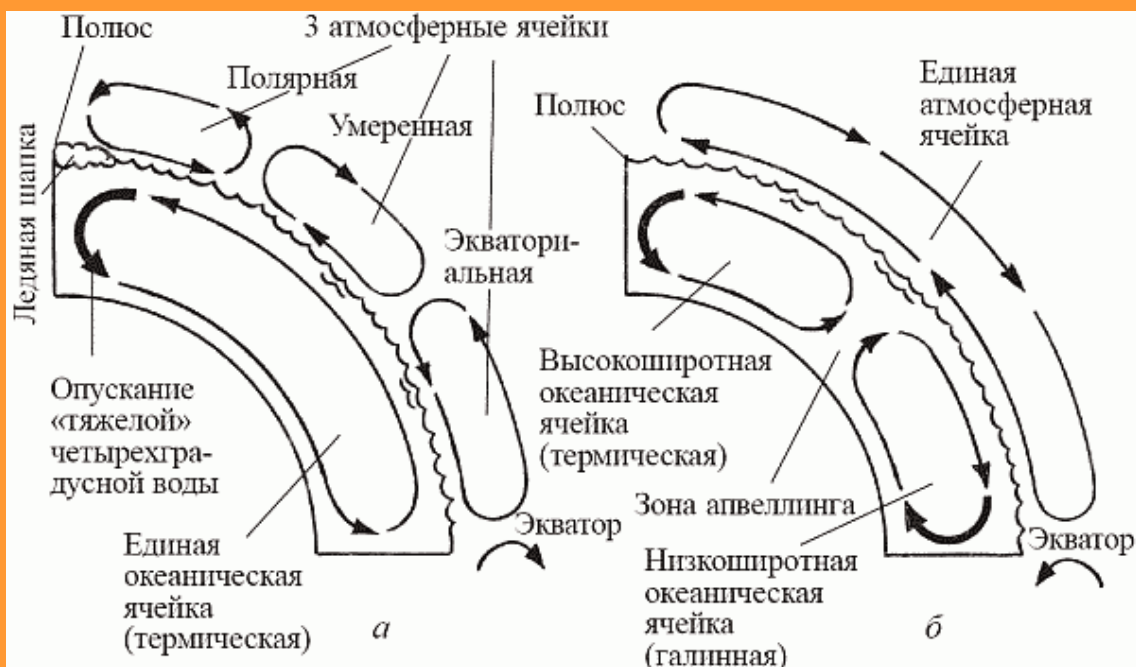


# «Климатическая машина»:

Схема циркуляции в атмосфере и гидросфере:

а — криозэра (циркуляция в океанах термическая);

б — термоэра (циркуляция в океанах галинная)

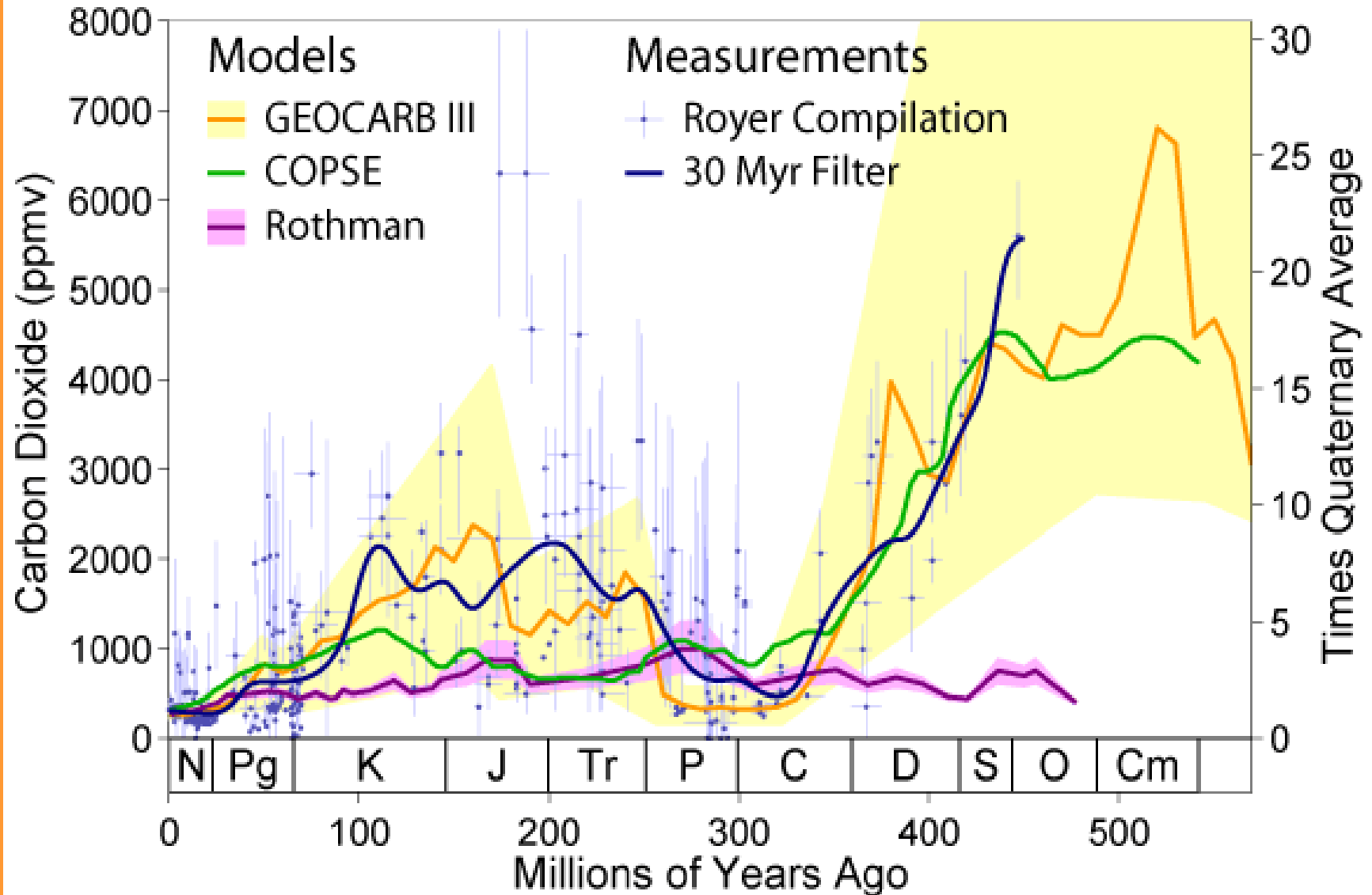


Представительные оценки количества углерода в различных геологических резервуарах для доиндустриальной эпохи (до 1750 года).

Резервуар	количество углерода в гигатоннах С
Атмосфера	590
Океан	$(3,71—3,9) \cdot 10^4$
поверхностный слой, неорганический углерод	700—900
глубокие воды, неорганический углерод	35 600—38 000
весь биологический углерод океанов	685—700
Пресноводная биота	1—3
наземная биота и почвы	2000—2300
растения	500—600
почвы	1500—1700
Морские осадки, способные к обмену углеродом с океанической водой	3000
неорганические, главным образом карбонатные осадки	2500
органические осадки	650
Кора	$(7,78—9,0) \cdot 10^7$
осадочные карбонаты	$6,53 \cdot 10^7$
органический углерод	$1,25 \cdot 10^7$
Мантия	$3,24 \cdot 10^8$
Ресурсы и резервы ископаемого топлива	$(7,78—9,0) \cdot 10^7$
Нефть	636—842
Природный газ	483—564
Уголь	$(3,10—4,27) \cdot 10^3$

- Практически вся текущая биомасса планеты - около  $2,4 \cdot 10^{12}$  тонн
- Большинство источников эмиссии  $\text{CO}_2$  являются естественными. Перегнивание органического материала, такого как мертвые деревья и трава, приводит к ежегодному выделению 220 млрд тонн двуокиси углерода, земные океаны выделяют 330 млрд. В ходе индонезийских лесных и торфяных пожаров 1997 года было выделено 13–40 % от среднегодовой эмиссии  $\text{CO}_2$ , получаемой в результате сжигания ископаемых топлив.
- Суммарное антропогенное выделение  $\text{CO}_2$  не превосходит 8 % от его естественного годового цикла, наблюдается увеличение концентрации, обусловленное не только уровнем антропогенных выбросов, но и постоянным ростом уровня выбросов со временем.
- Современный вулканизм в среднем приводит к выделению  $2 \cdot 10^8$  тонн  $\text{CO}_2$  в год, что составляет величину менее 1 % от антропогенной эмиссии.

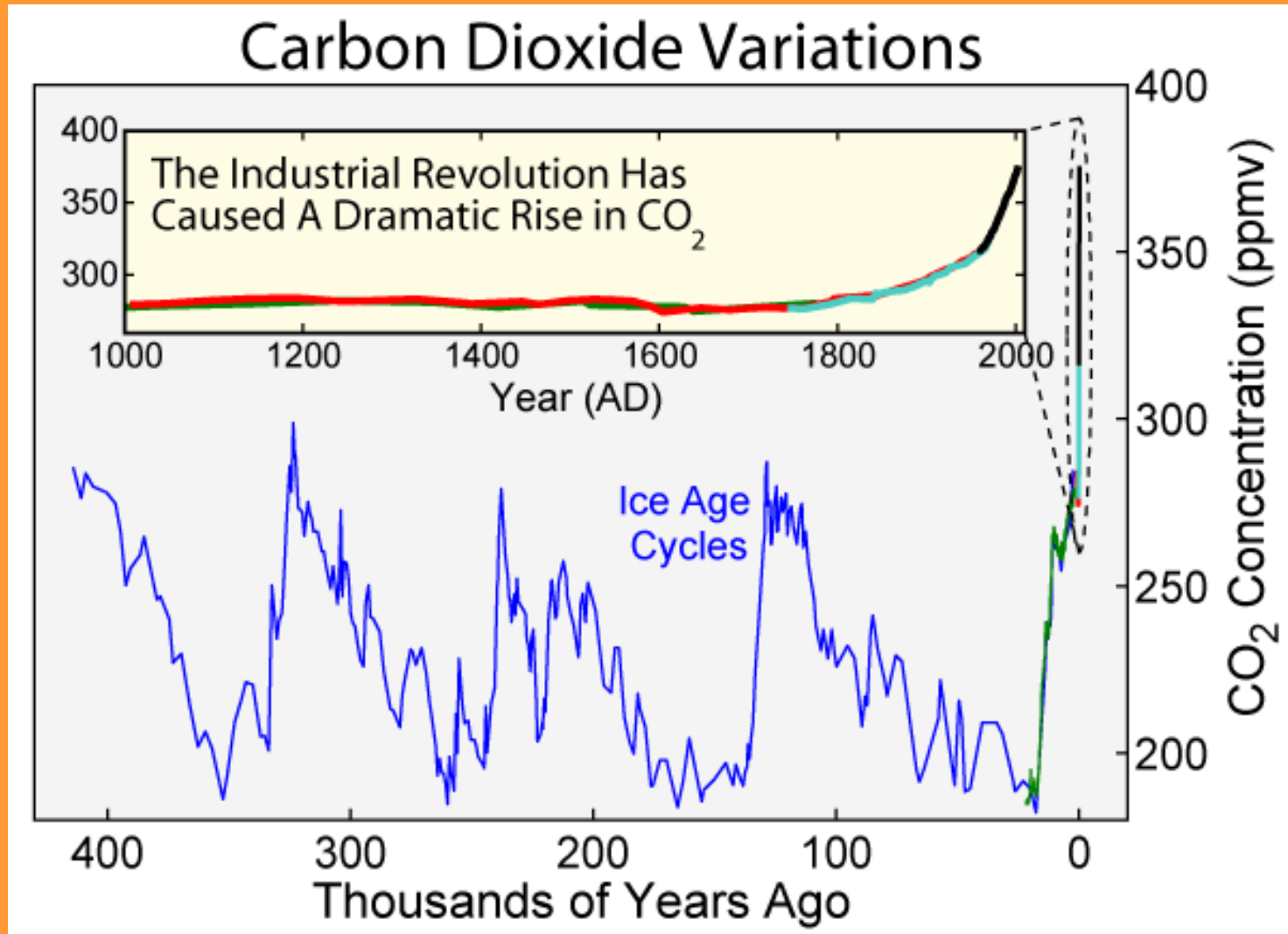
# Phanerozoic Carbon Dioxide



- Для изучения концентрации углекислого газа в прошлом также используются различные косвенные методы датирования. Они включают определение соотношения изотопов бора и углерода в некоторых типах морских осадочных пород и количество устьиц в ископаемой листве растений. Несмотря на то, что эти измерения дают меньшую точность измерений по сравнению с ледяными кернами, они позволяют определить очень высокие концентрации  $\text{CO}_2$  в прошлом, которые 150-200 млн лет назад составляли 3 000 ppm (0,3 %) и 400-600 млн лет назад — 6 000 ppm (0,6 %).
- Снижение уровня атмосферного  $\text{CO}_2$  прекратилось в начале Пермского периода, но продолжилось, начиная примерно с 60 млн лет до н.э. На рубеже Эоцена и Олигоцена, время, которое соответствует началу формирования современного ледяного щита Антарктиды 34 миллиона лет назад, количество  $\text{CO}_2$  составляло 760 ppm. На основании геохимических свидетельств было установлено, что уровень углекислого газа в атмосфере достиг доиндустриального уровня 20 млн лет назад и составлял 300 ppm.



# Изменение концентрации углекислого газа в течение ледниковых периодов и «Хоккейная клюшка»



- Наиболее продолжительный период измерений уровней  $\text{CO}_2$  на основании изучения ледяных кернов возможен в Восточной Антарктиде, где возраст льда достигает 800 тыс. лет, и который показывает, что концентрация двуокиси углерода изменялась в пределах 180–210 ppm во время ледниковых периодов и увеличивалась до 280–300 ppm в более теплые периоды.

# Вклад различных газов в парниковый эффект

- Водяной пар 36 – 72 %
- Диоксид углерода 9 – 26 %
- Метан 4 – 9 %
- Озон 3 – 7 %

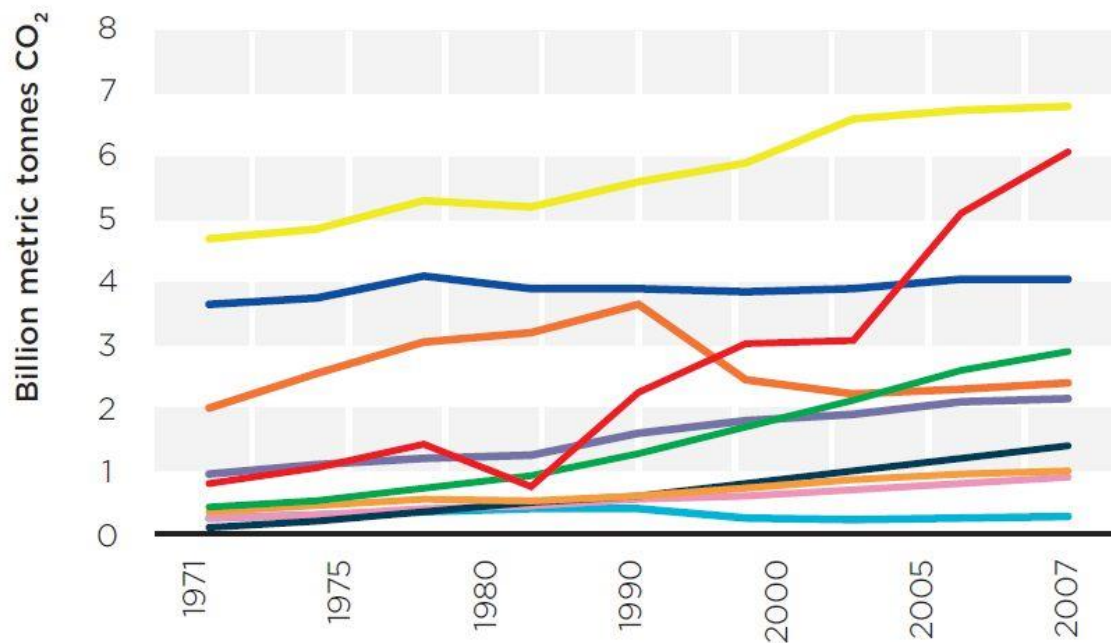


- Земные океаны содержат двуокись углерода в виде гидрокарбоната и ионов карбоната, в количестве, которое в сто раз превосходит её содержание в атмосфере и составляет приблизительно  $36 \cdot 10^{12}$  тонн углерода. Гидрокарбонаты получаются в результате реакций между скалами, водой и  $\text{CO}_2$ . Одним из примеров является разложение карбоната кальция:

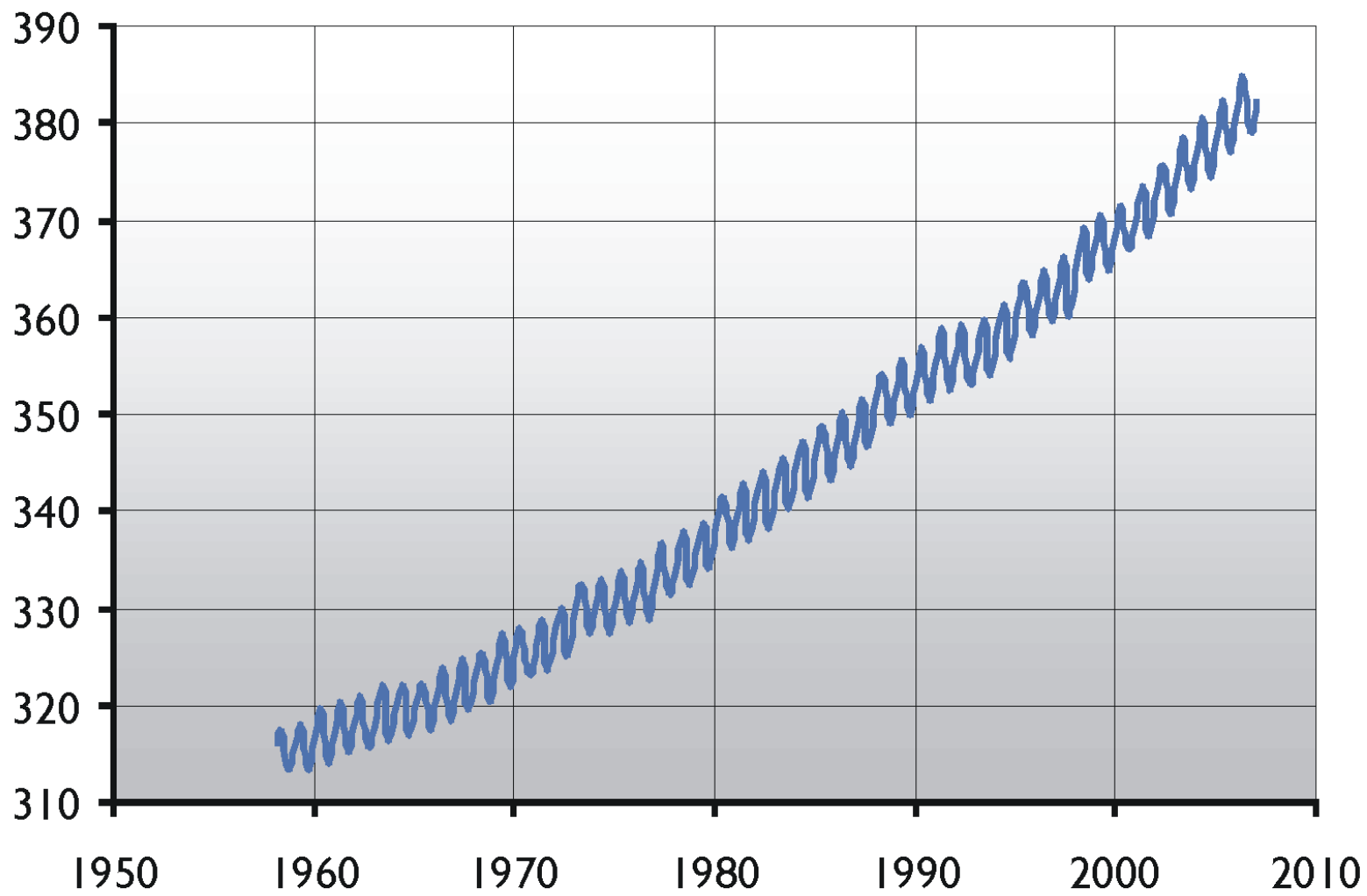


- В течение сотен миллионов лет этот процесс привел к связыванию в карбонатных породах большей части первоначального диоксида углерода из протоатмосферы Земли. В конечном итоге большинство  $\text{CO}_2$ , полученного в результате антропогенной эмиссии, будет растворено в океане, но скорость, с которой будет происходить этот процесс в будущем, остается не до конца определенной.

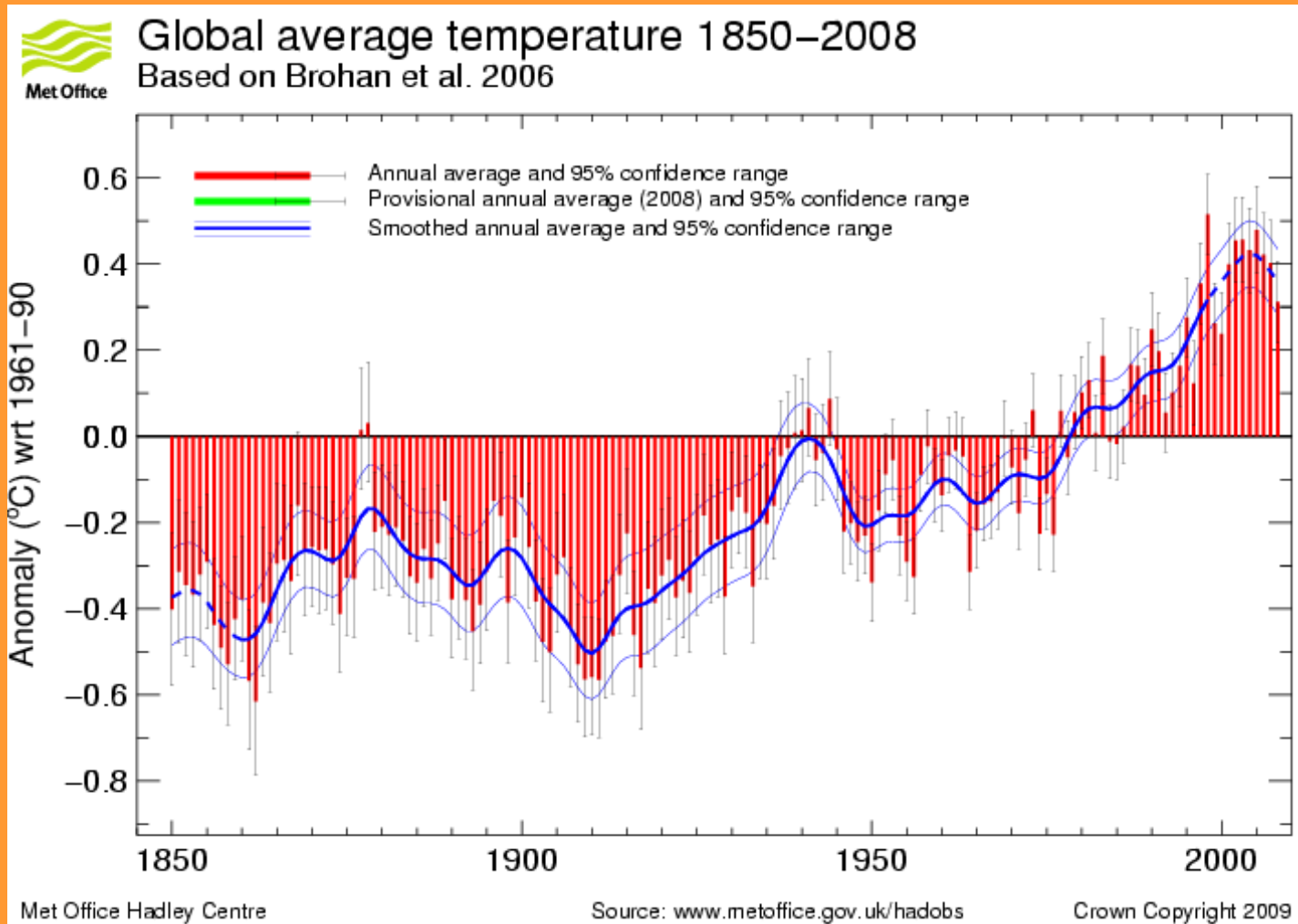
## CO<sub>2</sub> emissions from fuel combustion, 1971 - 2007 IEA(2009)

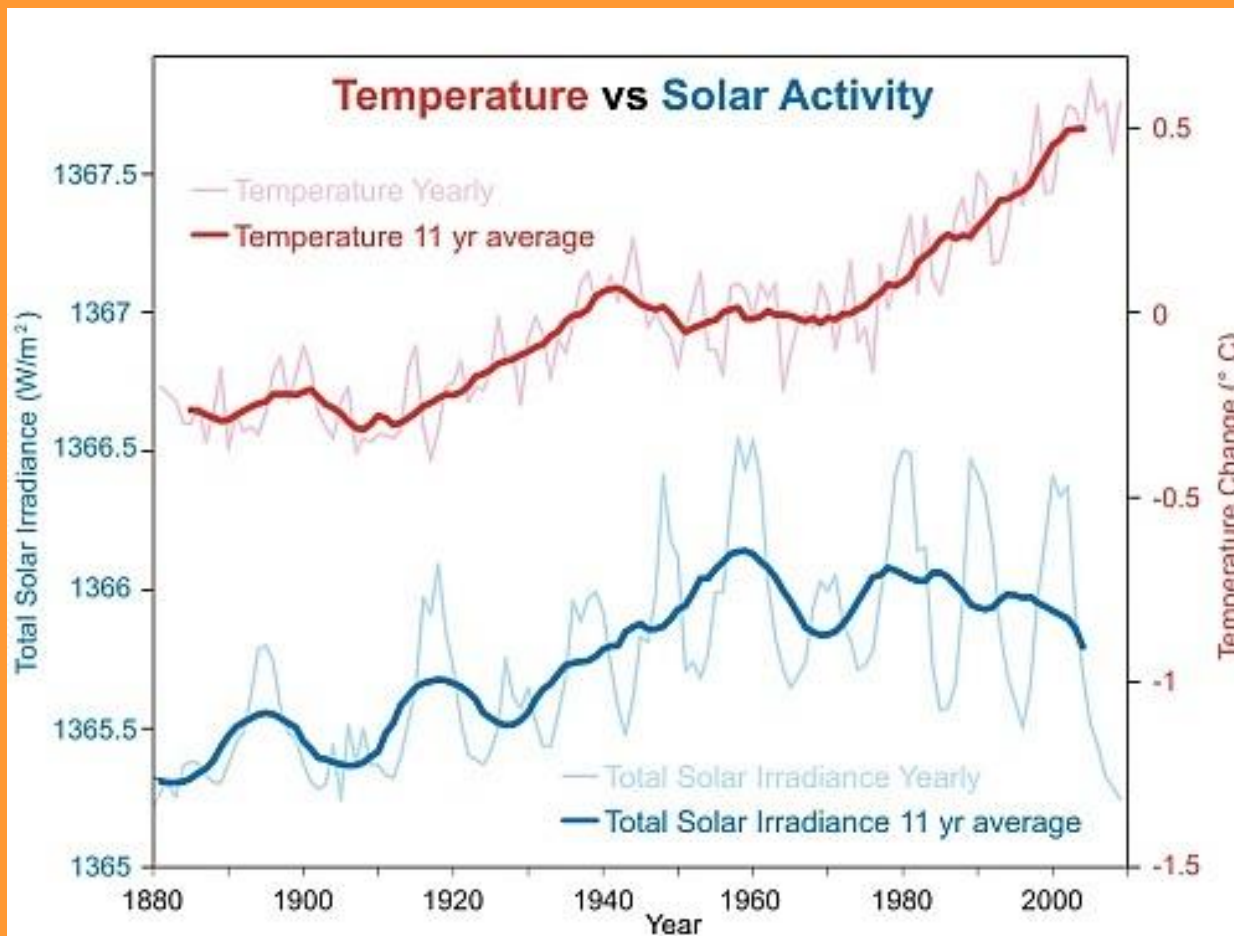


Рост содержания углекислого газа в атмосфере (частей на 1 млн., ppm) по данным обсерватории Мауна-Лоа (Гавайи)



# Глобальное потепление с 1850 г.

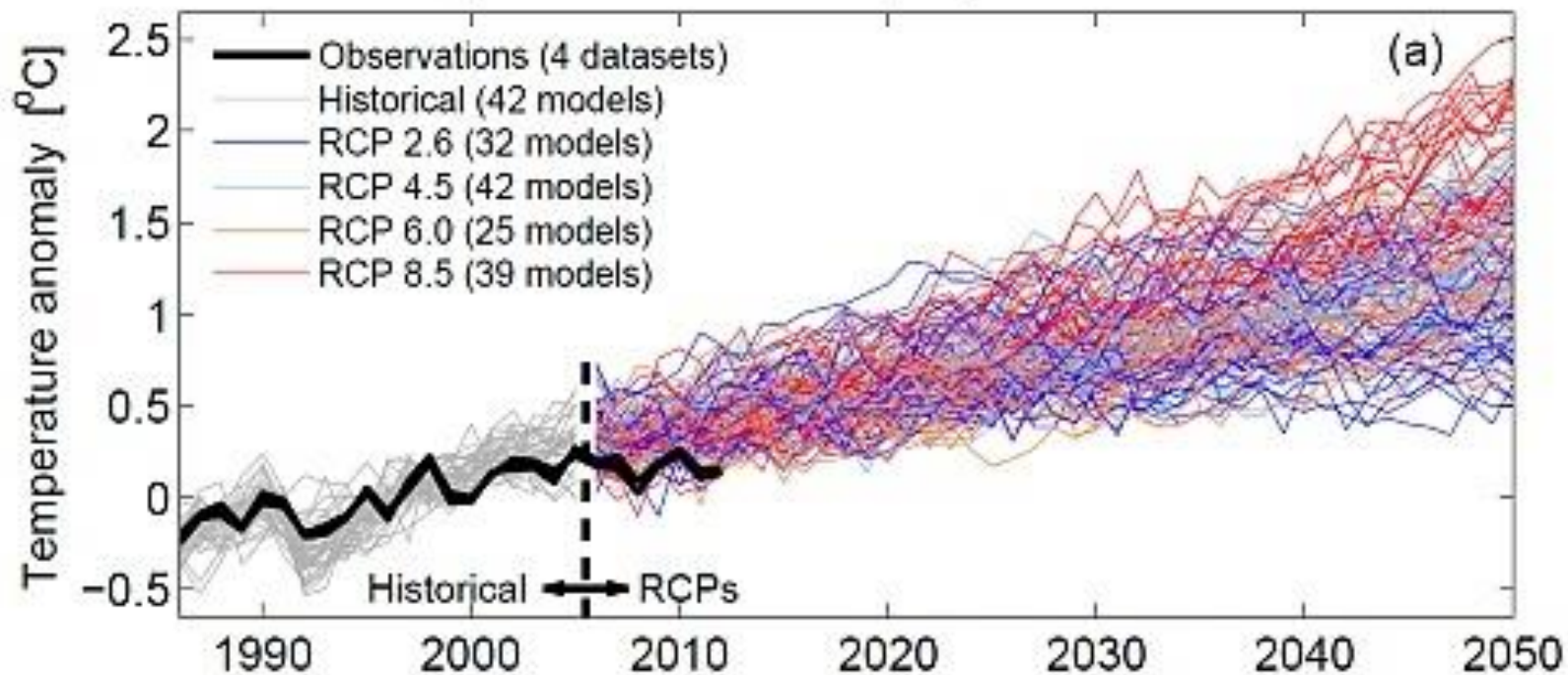




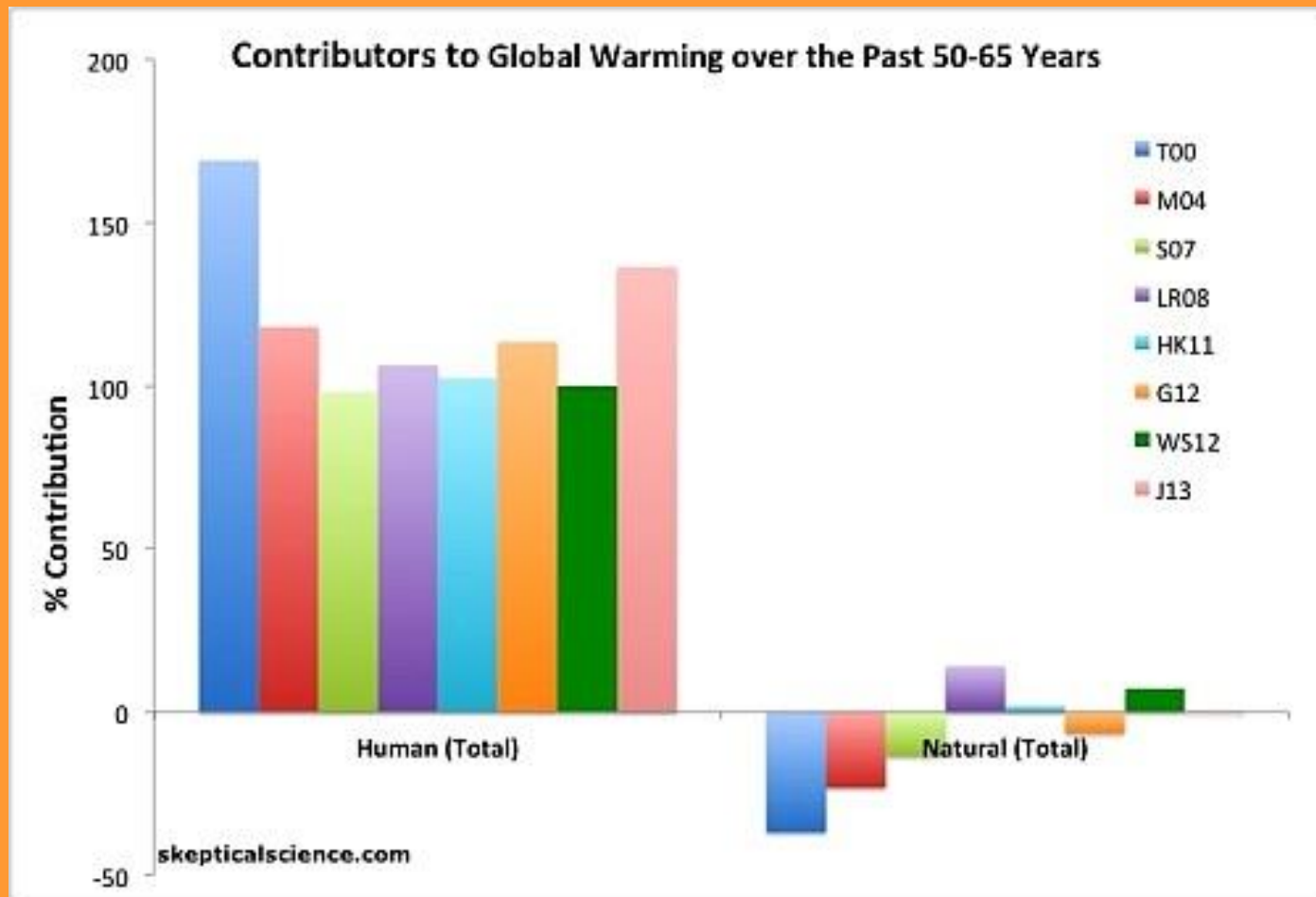
Ежегодные изменения среднемировой температуры (тонкая светло-красная линия) и 11-летний средний показатель (толстая тёмно-красная линия), по данным [NASA GISS](#). Общая годовая поверхностная плотность потока солнечного излучения (тонкая голубая линия) и 11-летний средний показатель (толстая синяя линия), по данным [Krivova et al.](#) (с 1880 по 1978 год) и [PMOD](#) (с 1979 по 2009 год).



Global mean temperature near-term projections relative to 1986–2005



- «[Репрезентативные пути концентрации](#)» (Representative Concentration Pathways, RCPs). Их называют в зависимости от того, сколько дополнительной энергии уловят парниковые газы в 2100 году: 2,6 Вт/м<sup>2</sup> поверхности Земли, 4,5, 6,0 или 8,5. RCP8.5 — сценарий типа «всё по-старому» (выбросы продолжают расти с нынешней скоростью), остальные подразумевают снижение выбросов в различной степени. Два средних сценария различаются тем, что в одном концентрация парниковых газов стабилизируется до конца века, в другом — после.



- Вклад человеческой деятельности и естественных факторов в наблюдавшееся приповерхностное глобальное потепление последних 50–65 лет, по данным [Tett et al. 2000](#) (T00, синий), [Meehl et al. 2004](#) (M04, красный), [Stone et al. 2007](#) (S07, светло-зелёный), [Lean and Rind 2008](#) (LR08, фиолетовый), [Huber and Knutti 2011](#) (HK11, голубой), [Gillett et al. 2012](#) (G12, оранжевый), [Wigley and Santer 2012](#) (WS12, тёмно-зелёный) и [Jones et al. 2013](#) (J12, розовый).

- **0,85** — на столько градусов Цельсия суша и океаны Земли нагрелись с 1880 по 2012 год.
- **19** — на столько сантиметров вырос уровень моря с 1901 по 2010 год.
- **40** — на столько процентов выросла концентрация углекислого газа в атмосфере с 1750 по 2011 год.
- **90** — столько процентов дополнительной энергии, поступившей в климатическую систему с 1971 по 2010 год, поглотили океаны.
- **30 000 000 000** — столько тонн льда, по оценке, ежегодно терял в среднем Антарктический ледяной щит с 1992 по 2001 год.
- **34 000 000 000** — столько тонн льда в тот же период ежегодно таяло в Гренландии.
- **147 000 000 000** — столько тонн льда, по оценке, ежегодно терял в среднем Антарктический ледяной щит с 2002 по 2011 год.
- **215 000 000 000** — столько тонн льда, по оценке, ежегодно терял в среднем Гренландский ледяной щит с 2002 по 2011 год.
- **275 000 000 000** — столько тонн льда, по оценке, ежегодно теряли в среднем мировые ледники в период с 1993 по 2009 год.
- **1 339 000 000 000** — столько тонн углекислого газа добавили атмосфере ископаемое топливо и производство цемента в 1750–2011 годах.
- **2 000 000 000 000** — столько тонн углекислого газа попало в атмосферу в результате сжигания ископаемого топлива, производства цемента, вырубки лесов и расчистки земли в 1750–2011 годах.

# Что будет, если растают все ледники? Европа



Что будет, если растают все  
ледники? Азия

