



Владимир

Тетельмин

Институт экологии

РУДН им. Патриса Лумумбы

Главный специалист, д.т.н.

**Алгоритм прогноза опасных природных
стихийных бедствий**

КЛИМАТИЧЕСКАЯ ДОКТРИНА РФ

В Ст. 7 КД отмечается, что глобальное изменение климата - один из самых серьезных вызовов 21 века, представляющий собой комплексную проблему, охватывающую все аспекты устойчивого развития России и человеческой цивилизации



**ГИК влияет на
естественные и
преобразованные
человеком
экосистемы**

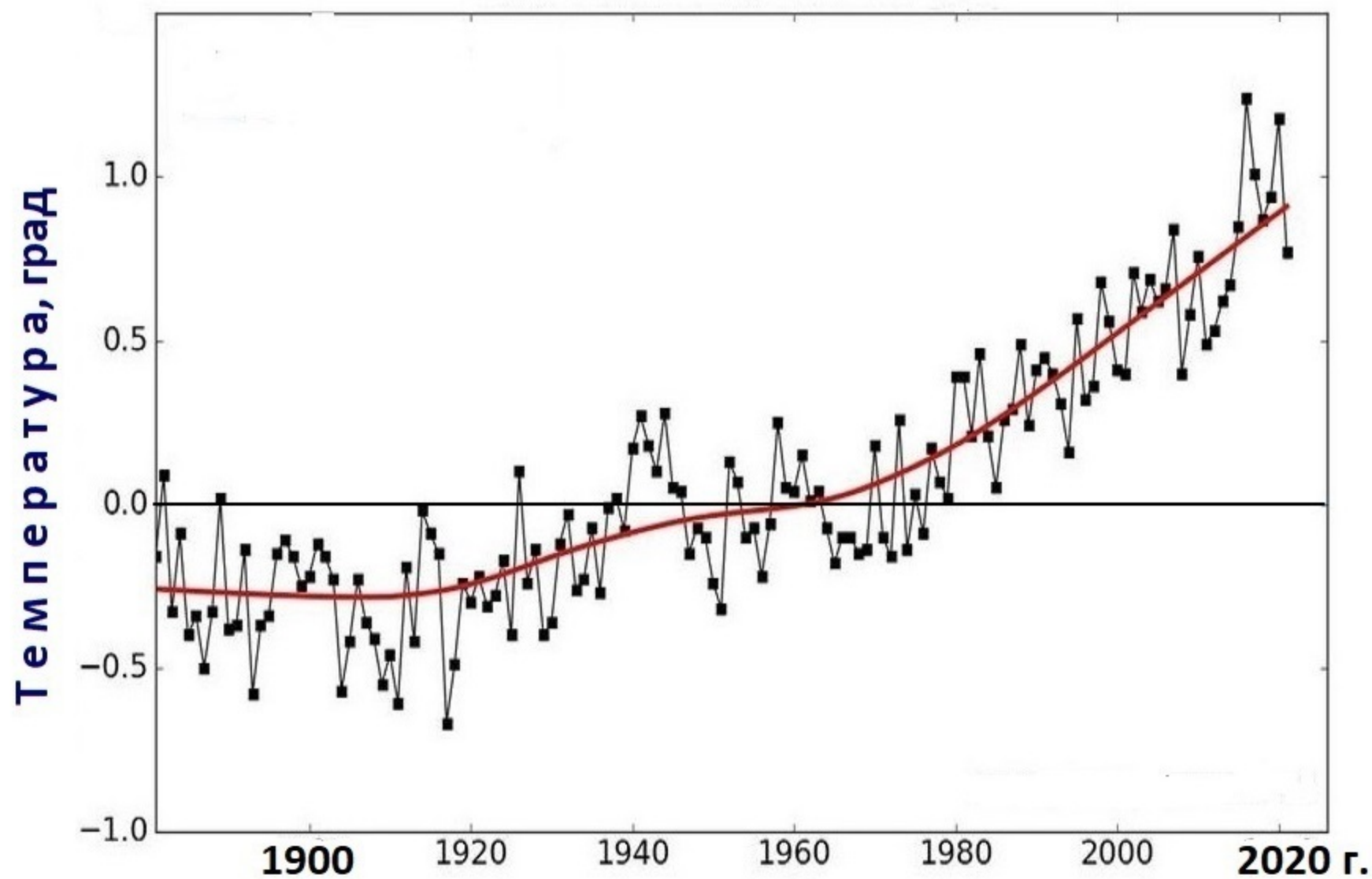
**На Земле происходят беспрецедентные по скорости
и глобальному охвату климатические изменения.
Человечество в поиске новой "парадигмы бытия".**



**"Ростовщики
и невежды
сожгут леса,
закоптят небо
и закроют Солнце
от всего живого"**

Антропогенные выбросы основных ПГ:

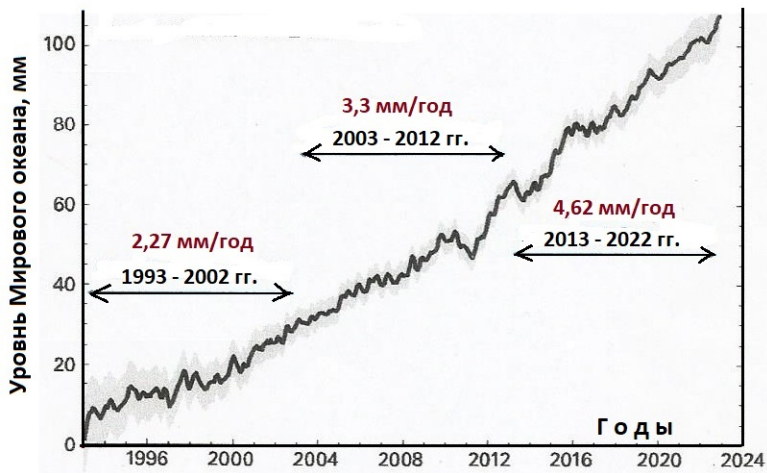
CO₂ 40 Гт/год; CH₄ 330 Мт/год; N₂O 8,2 Мт/год



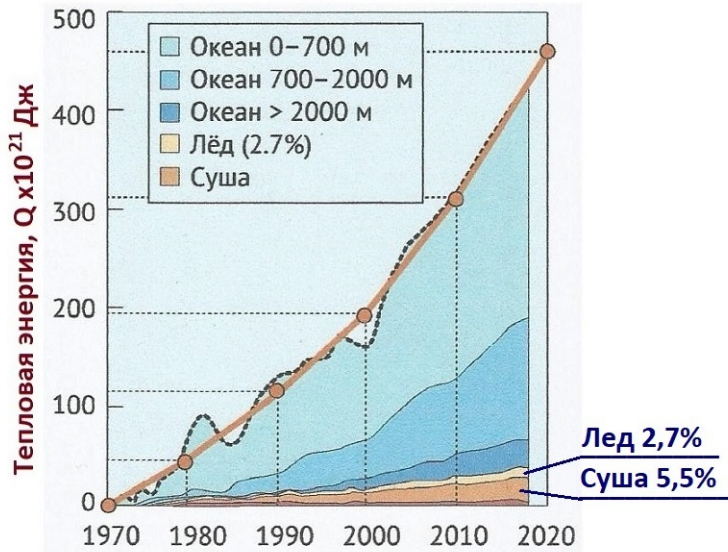
**С 1910 по 2020 гг.
глобальное
потепление
составило 1,2°C**

**Внутренние
естественные факторы
искажают монотонность
роста земной
температуры,
но в масштабах столетия
она растет**

**Рост средней глобальной приземной температуры атмосферы
с начала XX века**



**Ускоряющийся рост уровня Мирового океана за счет
теплового расширения воды и таяния материковых льдов**



**Накопленная тепловая энергия КС Земли
и её составляющими в период с 1970 по 2020 гг.
составляет $460 \cdot 10^{21}$ Дж = $130 \cdot 10^{15}$ кВт·ч**



Впервые в климатологии предложен алгоритм аналитического расчета глобального потепления и его последствий с помощью ряда эмпирических функций, в которых в качестве независимой переменной используется концентрация антропогенных ПГ в атмосфере

Максимальная температура глобального потепления как функция
концентрации **K** антропогенных парниковых газов в атмосфере

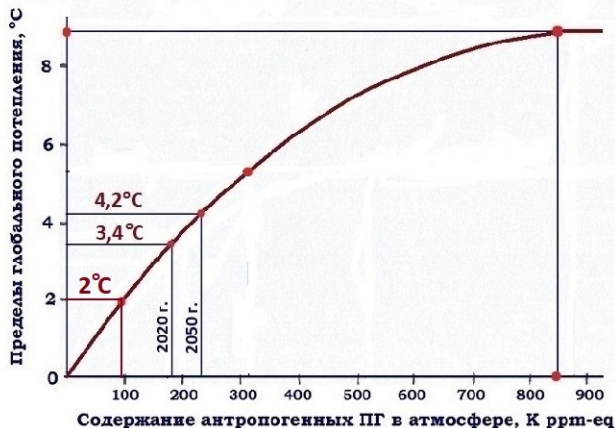
$$\underline{T_{\max} = 20,9 \cdot 10^{-3} \cdot K - 12,3 \cdot 10^{-6} \cdot K^2, ^\circ\text{C}}$$

Потенциал радиационного усиления (парниковый эффект) как функция
концентрации антропогенных парниковых газов в атмосфере

$$J_{\max} = (7,7 \cdot 10^{-2} \cdot K + 5,4) \text{ Вт/м}^2$$

$$(200 \text{ ppm-eq} < K < 350 \text{ ppm-eq})$$

При $K = 850$ ppm-eq происходит "парниковое насыщение" атмосферы



Современное содержание в атмосфере АПГ гарантированно нагреет Землю примерно на 3,4°C

Каждому содержанию АПГ в атмосфере соответствует своя максимальная температура глобального потепления $T_{\max}$.

Намеченная ПС цель по удержанию глобальной температуры ниже +2 C по сравнению с доиндустриальным периодом не может быть обеспечена ни практически, ни теоретически.

Интенсивность поглощения тепловой энергии парникового эффекта всей земной поверхностью:

$$(90 \text{ ppm-eq} < K < 320 \text{ ppm-eq})$$

$$Q_0 = 276 \cdot 10^{12} \cdot (K - 30), \text{ кВт} \cdot \text{ч} / 10 \text{ лет}$$

$$i_0 = 22,2 \cdot 10^{-18} \cdot Q_0, \text{ Вт} / \text{м}^2$$

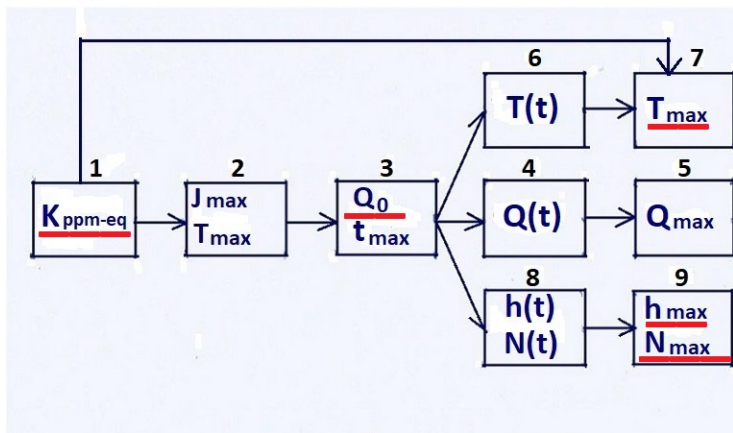
Нетто-поглощение тепловой энергии парникового эффекта единицей площади земной поверхности

Продолжительность глобального потепления до достижения
радиационно-равновесного состояния

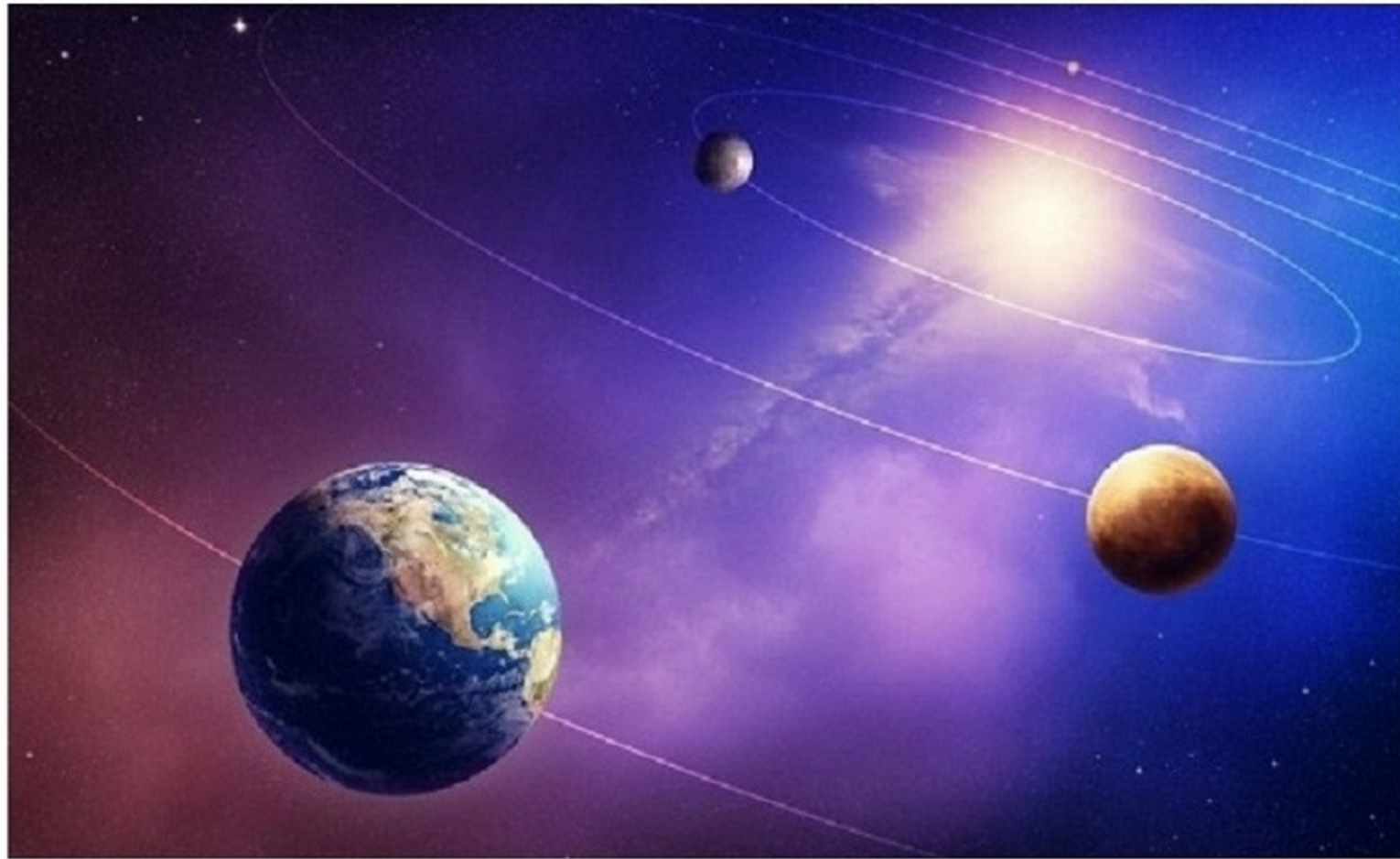
$$t_{\max} = 10^2 \cdot (T_{\max} - T_0) mc / 0,5n \cdot Q_0$$

Динамика накопления парниковой тепловой энергии КС Земли:

$$\Sigma Q_{\text{КС}} = Q_0 \cdot (2t_{\max} - t) \cdot t / 2t_{\max}$$



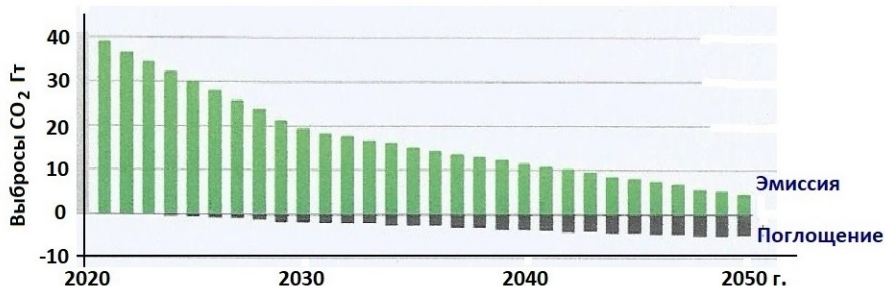
Блок-схема расчета глобального потепления и его последствий



Интенсивность поступления солнечной энергии на внешнюю границу атмосферы $S = 1368 \text{ Вт/м}^2$

Увеличение концентрации антропогенных ПГ в атмосфере на 1 ppm-eq:

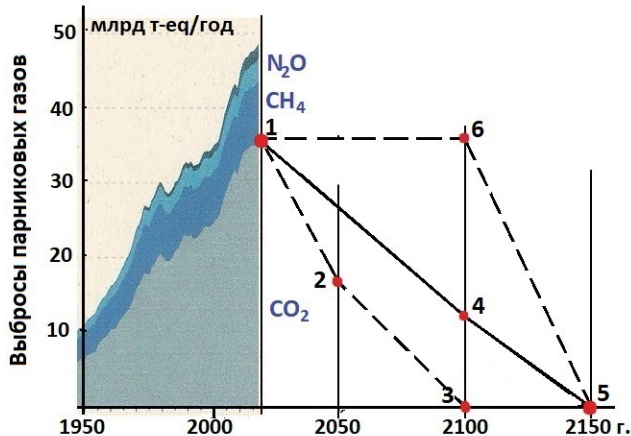
- увеличивает мощность парникового эффекта на $0,1 \text{ Вт/м}^2$;
- увеличивает максимальную температуру глобального потепления на $0,015^\circ\text{C}$,
что по притоку тепла эквивалентно приближению Земли к Солнцу на 11 тыс. км



Динамика снижения выбросов в атмосферу CO₂, необходимая для достижения "чистого нулевого уровня выбросов".

Рекомендуемые ПС снижение к 2050 г. выбросов ПГ в два раза, а также достижение углеродной нейтральности производственной деятельности являются нереальными.

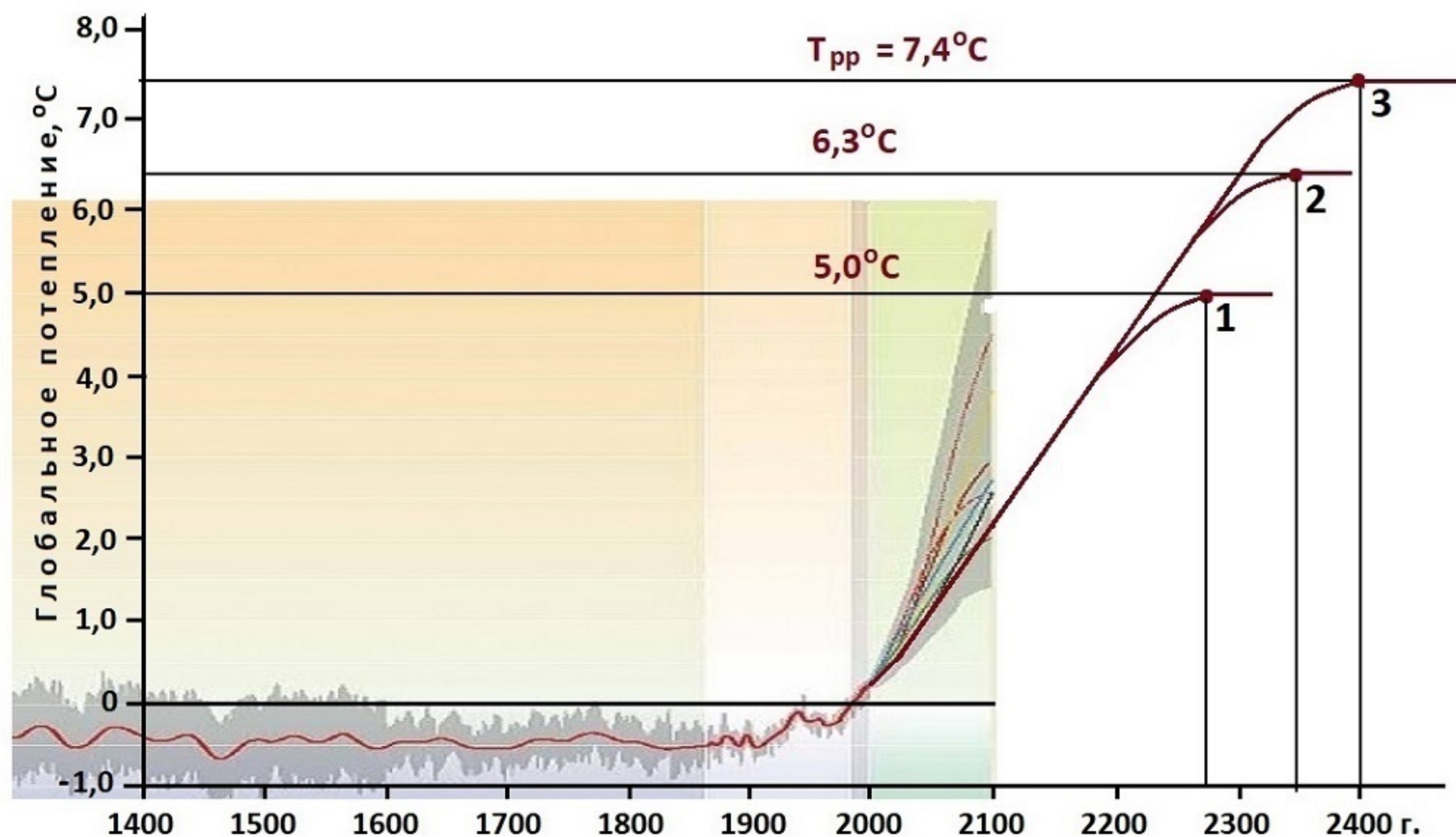
При существующих технологиях человечество не сможет добиться углеродной нейтральности как минимум до 2100 г.



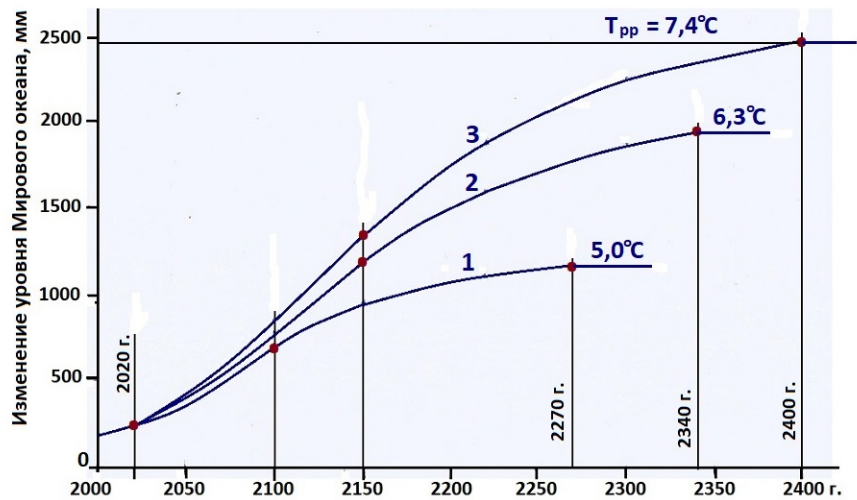
Умеренный сценарий:
 Снизить к 2100 г. выбросы CO за счет снижения использования угля и нефти с 35 до 12 Гт/год. Выпадающее производство энергии составит $86 \cdot 10^{12}$ кВт·ч/год. Такое количество с помощью ВИЭ + АЭС можно будет заместить.

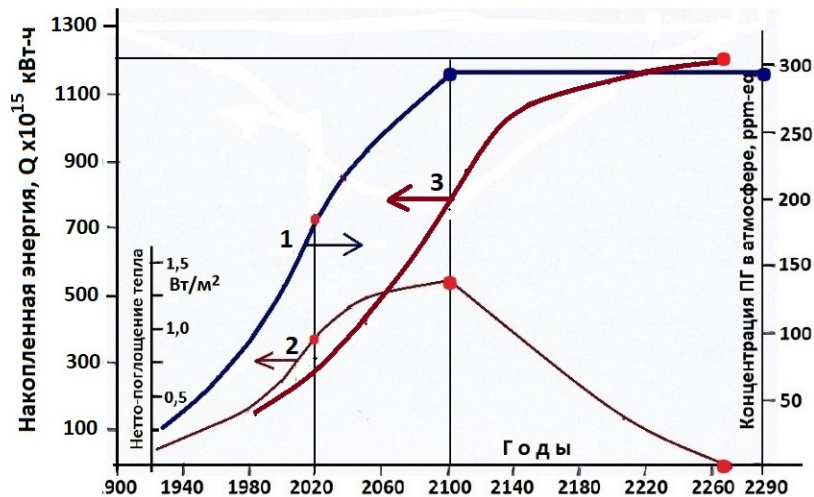
Три возможных сценария снижения выбросов парниковых газов:

- интенсивный (1-2-3), рекомендуемый Парижским Соглашением наиболее травмирующий мировую экономику $K = 290$ ppm-eq;
- умеренный (1-4-5) наиболее приемлемый $K = 390$ ppm-eq;
- консервативный, наиболее травмирующий климат $K = 490$ ppm-eq



Остановить глобальное потепление при современных технологиях невозможно.

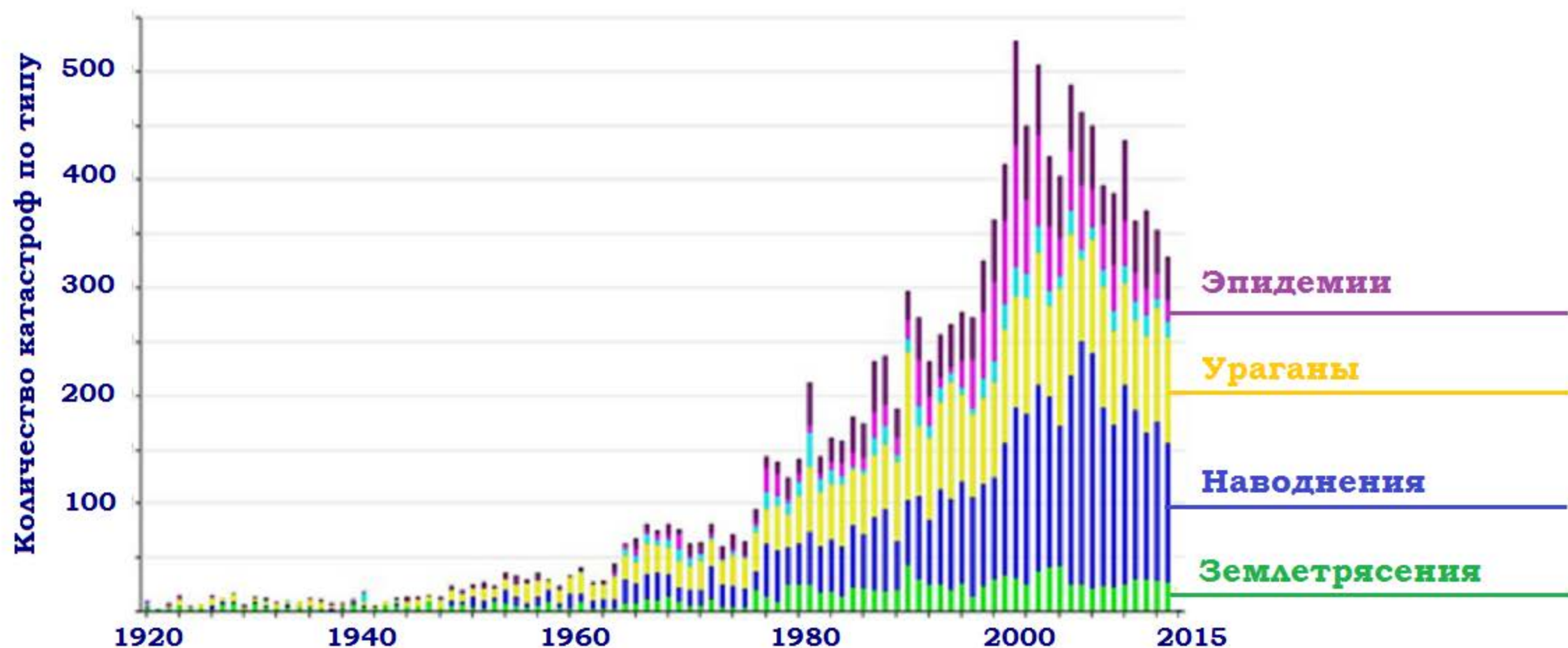




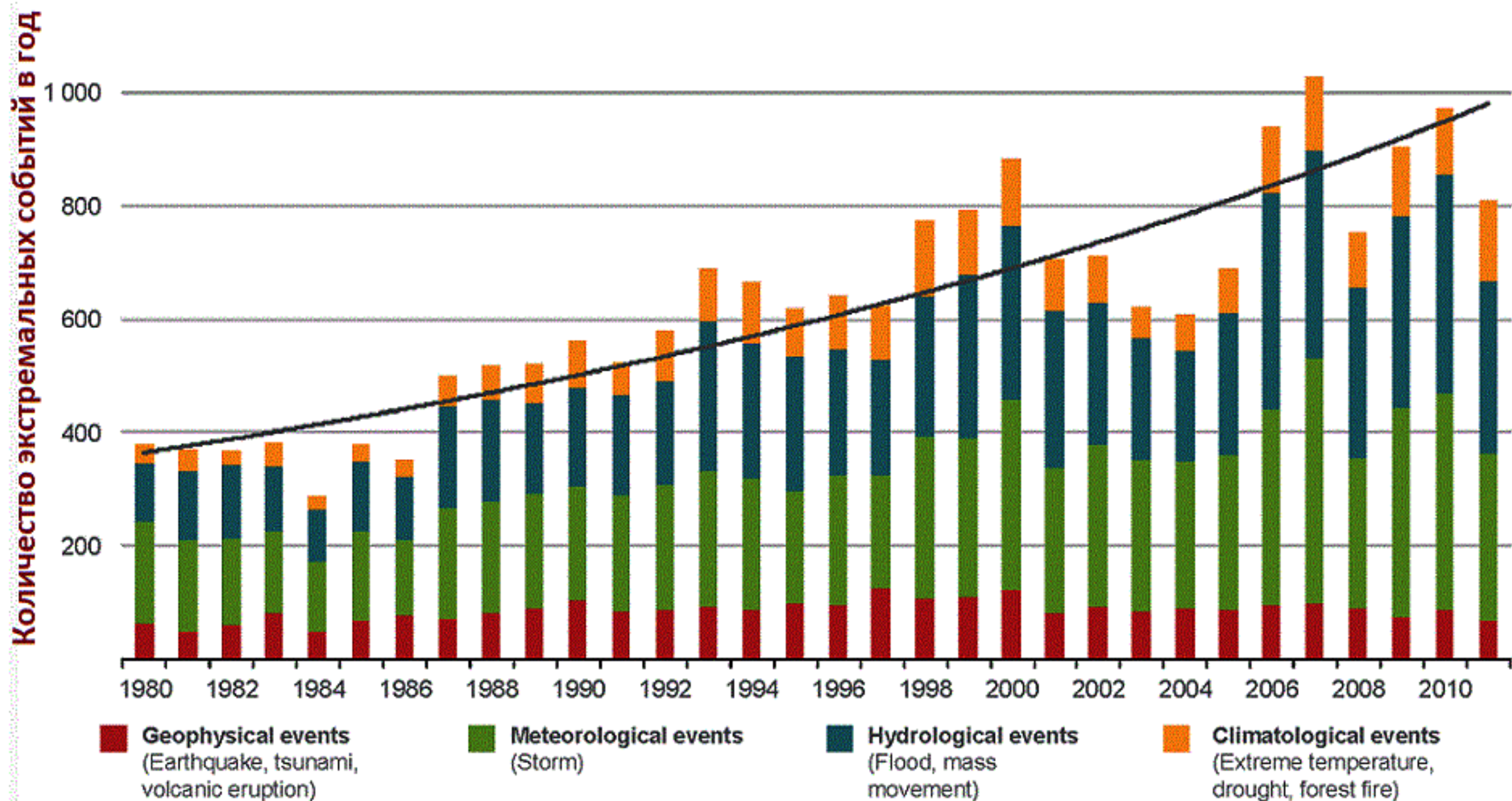
Значение 1,4 Вт/м² совпадает с "потокм тепла" в версии климатической модели ИВМ РАН INMCM5, которая дает разброс в пределах 1,2-1,6 Вт/м²

Графики изменения во времени при интенсивном сценарии декарбонизации:

- 1 - концентрации антропогенных ПГ в атмосфере;
- 2 - нетто-поглощения тепловой энергии;
- 3 - накопленной КС Земли тепловой энергии

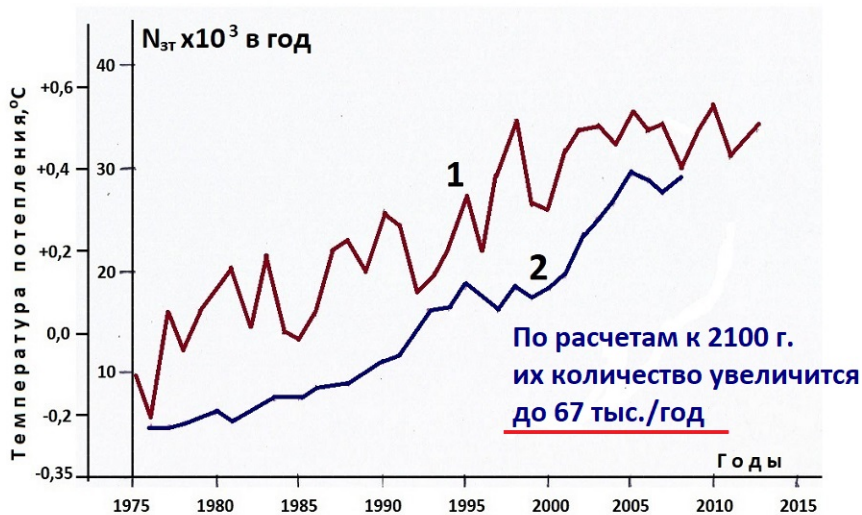


**Рост природных катастрофических событий в мире,
обусловленный глобальным потеплением**



Рост отмеченных страховыми компаниями частоты природных катастрофических событий в мире, спровоцированных глобальным потеплением

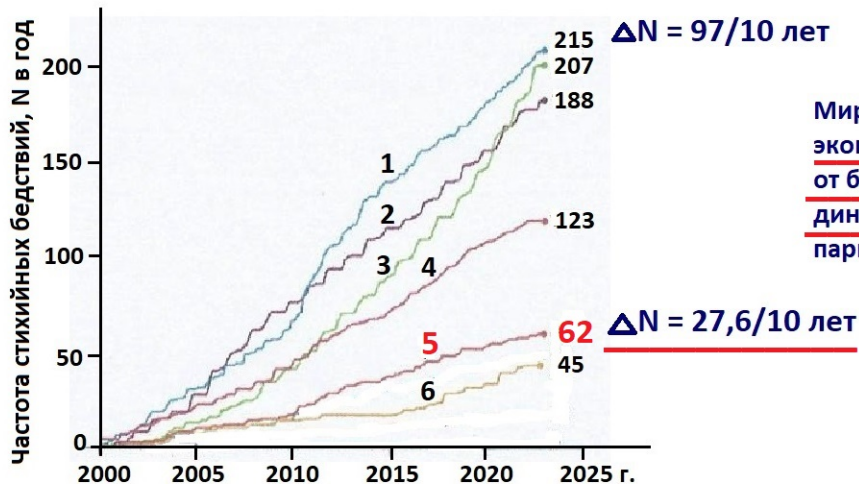
При этом опережающим образом растет частота наиболее сильных ПСБ. Например, в России в 2023 г. по сравнению с 2022 г. общая частота ОКА увеличилась на 22% (с 946 до 1190 случаев), а число ОКА с ущербом увеличилось на 34% (с 334 до 448 случаев)



Кривая роста количества землетрясений в мире ($M > 2$) по данным USGS, спровоцированных глобальным потеплением:

1 - рост средней приземной температуры;

2 - землетрясения $M > 2$.

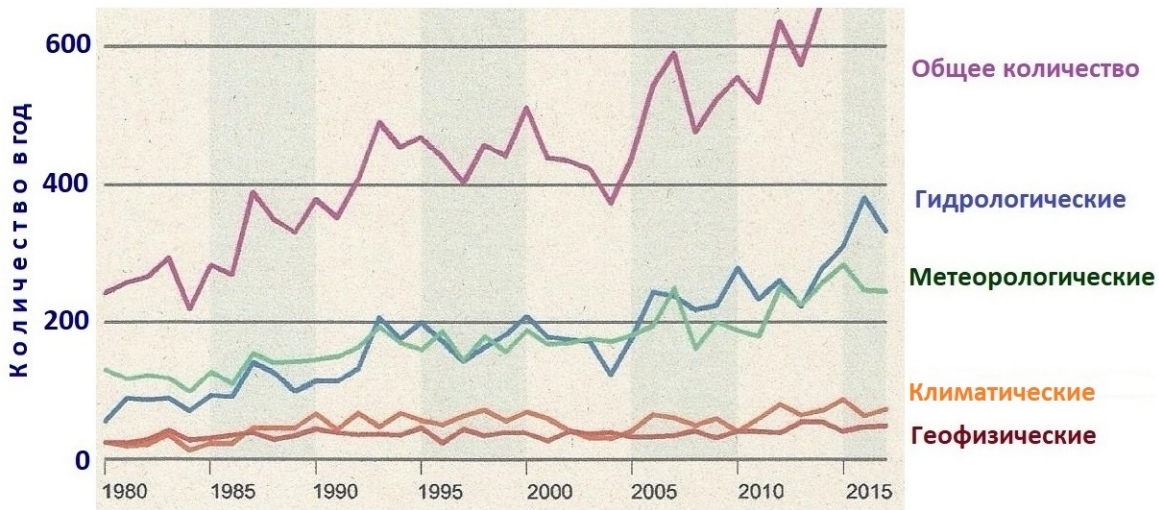


Мировой
экономический ущерб
от бедствий опережает
динамику выбросов
парниковых газов

Стихийные бедствия с экономическим ущербом более 1 млрд долл.:

1 - наводнения; 2 - тропические циклоны; 3 - ураганы, торнадо;
4 - засухи; 5 - землетрясения; 6 - лесные пожары

Christopher Callahan and Justin S. Mankin (2023)



Рост частоты отмеченных страховыми компаниями катастрофических природных стихийных бедствий, спровоцированных глобальным потеплением

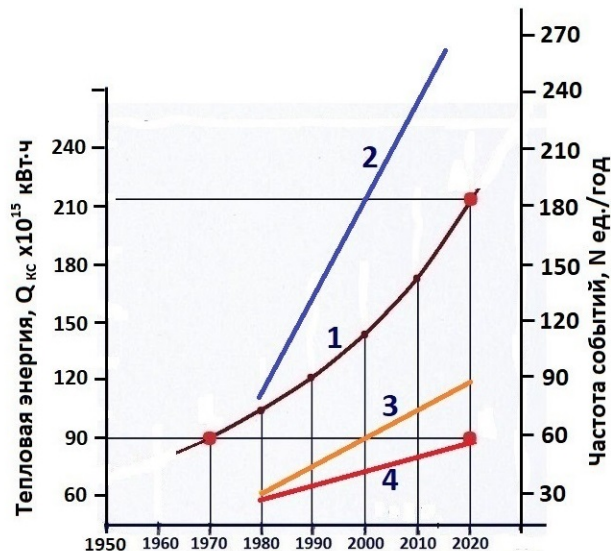
(<https://www.munichre.com/en/risks/natural-disasters-losses-are-trending-upwards.html>)

Для количественной оценки изменения во времени $N(t)$ удобно использовать уравнение линейной регрессии:

$$N = (a + b \cdot t)$$

Процессы	$a/\text{год}$	b $(\text{год})^{-2}$	dN/dt $(10 \text{ лет})^{-1}$	$\frac{E_0}{\times 10^{15}}$ кВт.ч/ед.	$\frac{N \text{ ед/год}}{\text{в } 2050 \text{ г.}}$ $/N_{\text{max}}$
Геофизические бедствия	26	0,75	7,5	5,0	76/90
Метеорологические бедствия	107	4,35	43	0,89	400/460
Гидрологические бедствия	80	6,1	61	0,63	490/610
Климатические бедствия	26	1,5	15	2,56	120/150

Оценки и прогноз на основе линейной регрессии частоты повторяемости природных стихийных бедствий для умеренного сценария декарбонизации



Важная особенность:
на формирование
каждого
последующего события
расходуется больше
тепловой энергии,
чем на формирование
предыдущего
события

$$\underline{E = \Delta Q / \Delta N \text{ (кВт·ч/ед)}}$$

График роста накопленной КС Земли тепловой энергии 1
и графики роста частоты повторяемости отмеченных природных
стихийных бедствий, описываемых уравнением линейной
регрессии: 2 - метеорологические; 3 - климатические;
4 - геофизические.

Удельная тепловая энергия, необходимая для формирования природного бедствия:

$$\underline{E_i = \Delta Q_i / \Delta N_i \text{ (кВт}\cdot\text{ч/ед.)}}$$

В каждом последующем 10-летнем периоде на формирование одного природного стихийного бедствия расходуется в 1,25 раз больше тепловой энергии, чем в предыдущем периоде:

$$\underline{E_{i+1} = 1,25 \cdot E_i}$$

Эта особенность позволяет определять методом экстраполяции приращение частоты повторяемости природных стихийных бедствий в каждом последующем временном периоде:

$$\underline{\Delta N_{(i+1)} = \Delta Q_{(i+1)} / 1,25 \cdot E_i \text{ (ед/год)/10 лет}}$$

Особенность ограниченности роста частоты N (равно как и удельной энергии E) экстремально сильных ураганов и больших землетрясений обусловлена ограниченностью размеров Земли и ограниченностью поступающей к Земле внешней энергии.

Частота и энергия ПСБ не могут увеличиваться бесконечно и имеют некоторый предел $N_{\max}$.

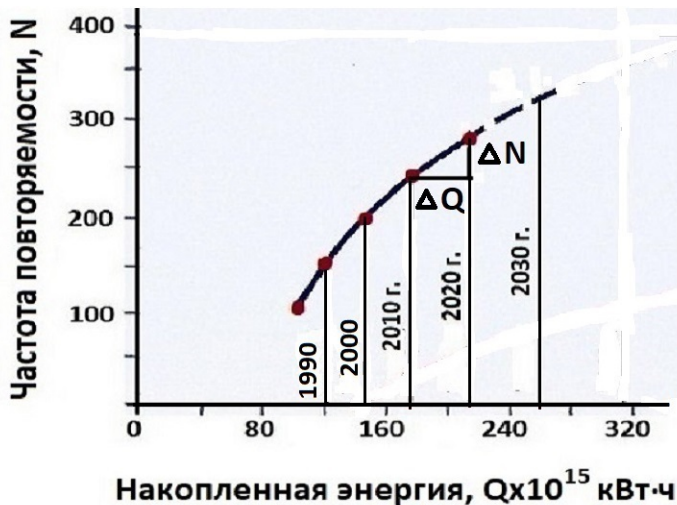
Примем следующее условие достижения предельного значения $N_{\max}$:

$$\underline{\Delta N_n / \Sigma \Delta N_n \leq 0,05}$$

Частота повторяемости ПСБ достигает предельного значения, когда начинает получать приращение ΔN около 5%

Рост средних значений частоты проявления отмеченных природных стихийных бедствий, вызванных глобальным потеплением, а также расчетной предельной частоты их проявления в будущем

Процессы	1980 г.	1995 г.	2015 г.	<u>2050 г.</u>
Геофизические бедствия	26	42	54	76
Метеорологические бедствия	107	175	258	400
Гидрологические бедствия	80	175	290	490
Климатические бедствия	26	48	79	120



$$\Delta N / \Delta Q \Rightarrow 0$$

Частота проявления ПСБ
стремится к некоторому
пределу $N_{\max}$

По мере глобального потепления рост частоты природных стихийных бедствий (ПСБ) замедляется. Тангенс угла наклона касательной к графику функции $N(Q)$ уменьшается в каждом последующем 10-летнем периоде на постоянную величину 0,8. График функции $N(Q)$ все более выполаживается.

По мере потепления рост частоты ПСБ замедляется: $N \rightarrow N_{\max}$



Рост частоты повторяемости природных стихийных бедствий:

1 - метеорологических;

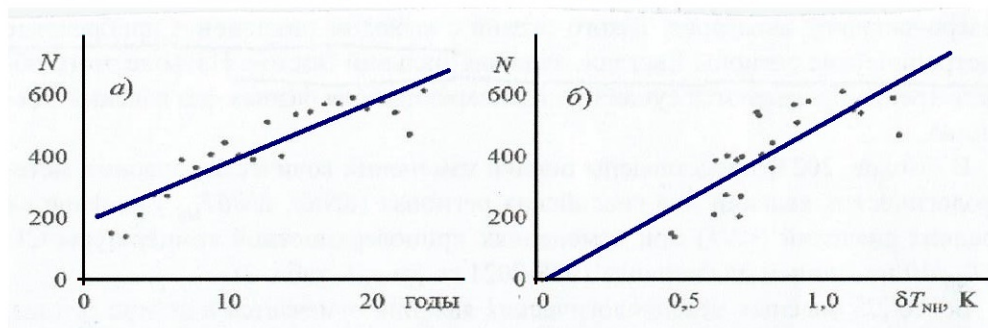
2 - землетрясений с ущербом более 1 млрд долл.

Процессы	$E_0 \times 10^{15}$ кВт-ч/ед 2020 г.	$E_{\max} \times 10^{15}$ кВт-ч/ед 2080-90 гг.	tg_0 $\times 10^{-15}$ ед/кВт-ч	$tg_{\max}$ $\times 10^{-15}$ ед/кВт-ч	$N_{\max}$ ед/год 2080-90 гг.
Геофизические бедствия	5,0	<u>20</u>	0,2	0,05	90
Метеорологические бедствия	0,9	<u>3,5</u>	1,1	0,3	470
Гидрологические бедствия	0,6	<u>2,7</u>	1,7	0,4	610
Климатические бедствия	2,6	<u>10</u>	0,4	0,1	150

Оценки и прогноз на основе линейной регрессии частоты повторяемости природных стихийных бедствий для умеренного сценария декарбонизации

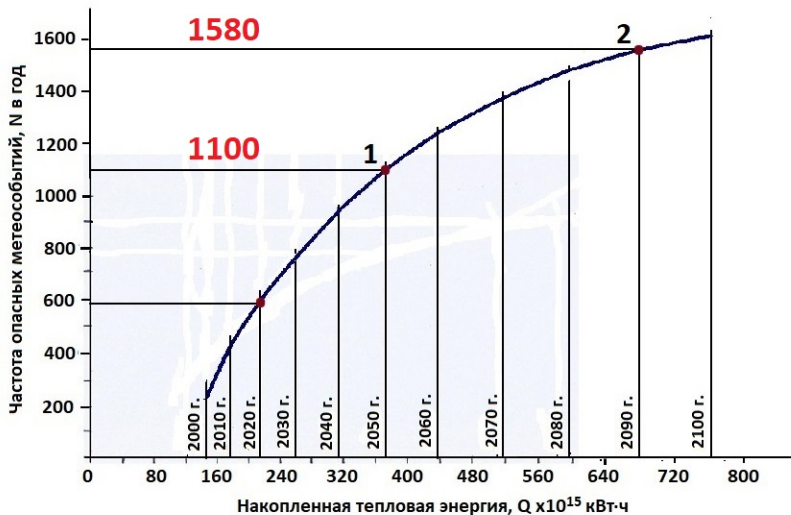
Для формирования одного землетрясения требуется большее количество накопленной тепловой энергии, чем для других ПСБ

Рост количества опасных метеорологических явлений в России.
Прямые соответствуют линейным регрессиям.



И.И. Мохов: "В российских регионах растет повторяемость и интенсивность различных опасных конвективных погодно-климатических явлений с темпом на 21 событие в год".

При этом растет частота наиболее сильных явлений. Отмечен рост повторяемости перехода тропических циклонов во внетропические с выходом циклонов в прибрежные регионы Евразии и Дальнего Востока.



Расчетный график роста частоты опасных метеорологических явлений (ОМЯ) в России при умеренном сценарии декарбонизации энергетики.

В качестве начального условия использовалась скорость увеличения частоты повторяемости ОМЯ в соответствии с линейной регрессией на постоянную величину 189 (ед/год) за 10 лет (И.И. Мохов. Журнал МиГ. 2023. №11)



**Трамп
выводит
США из
Парижского
Соглашения**

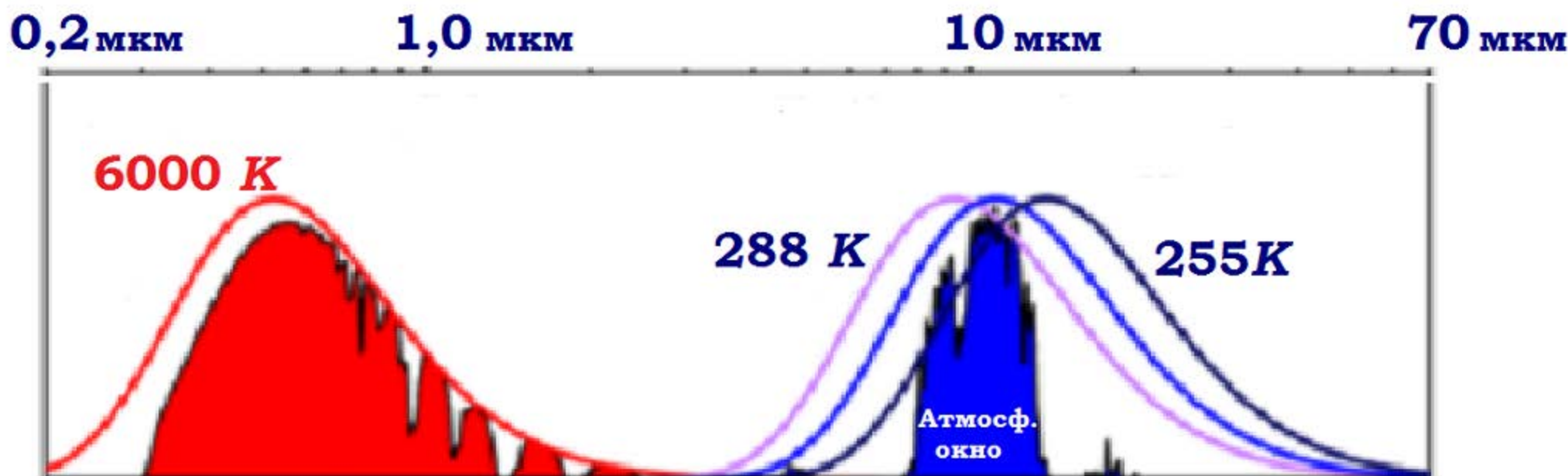
**При современных технологиях и объемах производства
глобальной энергии остановить процесс глобального
потепления невозможно!**

Глобальное потепление будет развиваться по
восходящей траектории, конечная температура
которой будет зависеть от принятого сценария
декарбонизации.

В лучшем случае при реализации интенсивного
сценария потепление будет продолжаться до 2250 г.
до увеличения глобальной температуры до 5°C
с соответствующим увеличением частоты и силы
тропических циклонов, ураганов, наводнений, засух
и землетрясений.

К 2100 г. параметры климатического будущего будут примерно следующими:

- глобальная температура увеличится до 2,6 С;
- уровень Мирового океана поднимется до 750 мм;
- частота повторяемости МСБ достигнет 470 в год;
- частота гидрологических СБ достигнет 610 в год;
- частота климатических СБ достигнет 150 в год;
- частота геофизических СБ достигнет 90 в год.



Предлагаемый алгоритм расчета позволяет прогнозировать темп глобального потепления и роста его последствий для любого сценария декарбонизации мировой экономики.

Спасибо за внимание!