

Естественные источники метана в конце XX века могут быть охарактеризованы следующим образом $\text{Mt}(\text{CH}_4) \text{ год}^{-1}$:

А) заболоченные территории - 115 (Fung et al., 1991);

Б) термиты – 20;

В) океан – 15;

Г) скопления гидратированных форм метана - 10 (Lelieveld et al., 1998).

Все **естественные источники** = $160 \text{ Mt}(\text{CH}_4) \text{ год}^{-1}$.

Антропогенные источники метана в конце XX века могут быть охарактеризованы следующим образом $\text{Mt}(\text{CH}_4) \text{ год}^{-1}$:

Д) добыча, переработка и транспортировка нефти и газа - 110;

Е) мусорные свалки - 40;

Ж) переработка мусора - 25;

З) процессы ферментации пищи в организме жвачных животных - 115;

И) рисоводство - 100;

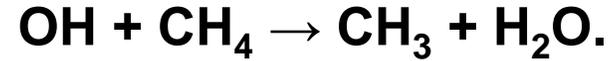
К) сжигание биомассы - 40;

Л) прочие - 20.

Все **антропогенные источники** = $450 \text{ Mt}(\text{CH}_4) \text{ год}^{-1}$.

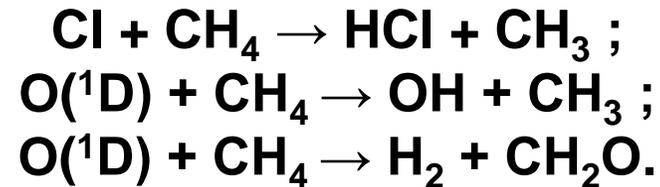
Общая глобальная эмиссия = $610 \text{ Mt}(\text{CH}_4) \text{ год}^{-1}$. (Climate Change 2001, 2001, p. 250).

Основной сток метана из атмосферы - химическая реакция с гидроксил-радикалом, происходящая в тропосфере:



Этим путем из атмосферы в конце XX века выводилось 510 Мт(CH₄) год⁻¹ .

Еще 30 и 40 Мт(CH₄) год⁻¹ соответственно - сток в почву (микробиологическое разрушение) и разрушение метана в стратосфере вследствие реакций с гидроксил-радикалом (см. выше), хлором или же электронно-возбужденным атомом кислорода O(¹D) в результате следующих реакций (Александров и др., 1992, с. 265; Lelieveld et al., 1998):



Общий глобальный сток метана в конце XX века 580 Мт(CH₄) год⁻¹ .

Расчетная оценка накопления метана в атмосфере 30 Мт(CH₄) год⁻¹ , а по прямым измерениям – 20.

Коэффициент для пересчета концентраций в содержание метана = 2.8 Мт(CH₄)/ppb(CH₄).

Время жизни метана в атмосфере Земли $\tau = 12.4$ года.

Простейшим образом изменение во времени t общего содержания Q метана в атмосфере описывается линейным дифференциальным уравнением:

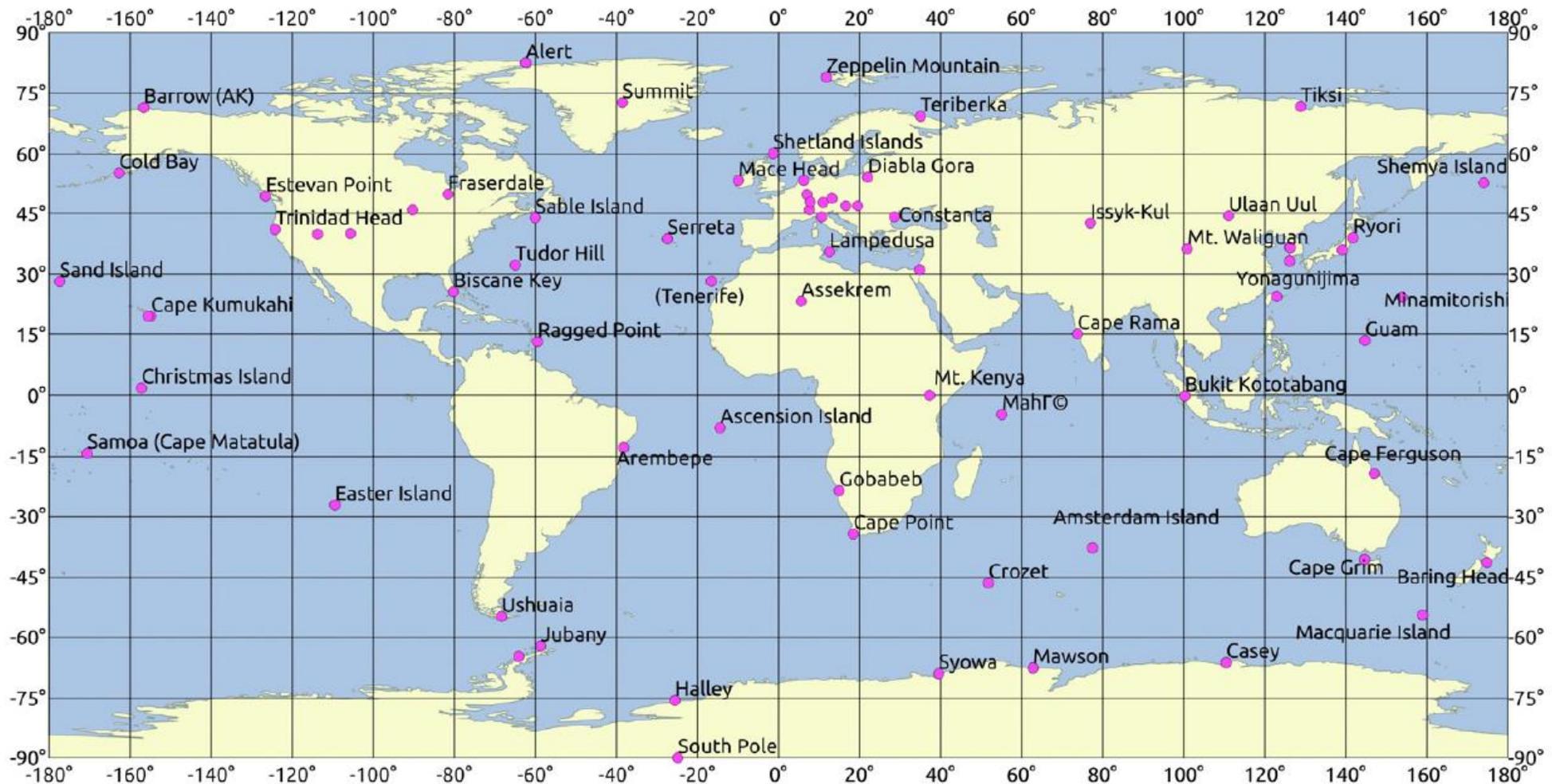
$$\frac{dQ(t)}{dt} = I(t) - \frac{1}{\tau} Q(t).$$

Здесь I – эмиссия метана, глобальный поток с земной поверхности в атмосферу.

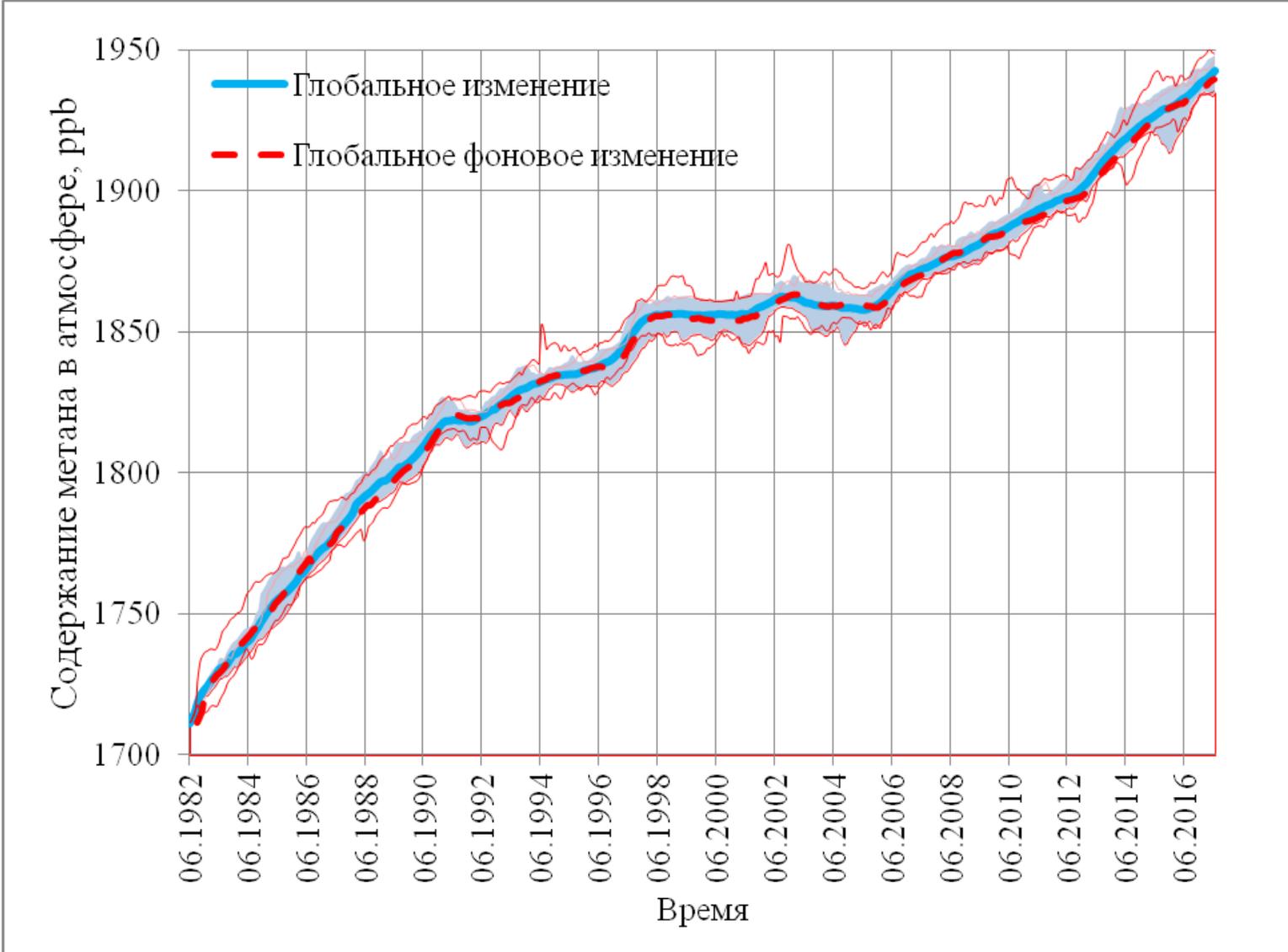
Вклад $q(t)$ какого-либо источника метана из приведенных выше или же какой-либо части земной поверхности, которым соответствует эмиссия $i(t)$, в общее содержание метана в атмосфере можно оценить, применяя такое же уравнение:

$$\frac{dq(t)}{dt} = i(t) - \frac{1}{\tau} q(t).$$

NB: Рассчитав такой вклад, например, для Арктики, можно получить представление о его величине, но не о месте его нахождения на земной поверхности! Метан – быстро перемещивается в атмосфере. **Поэтому уровень содержания метана над заданной частью земной поверхности не обязательно определяется эмиссией именно с этой части земной поверхности.**



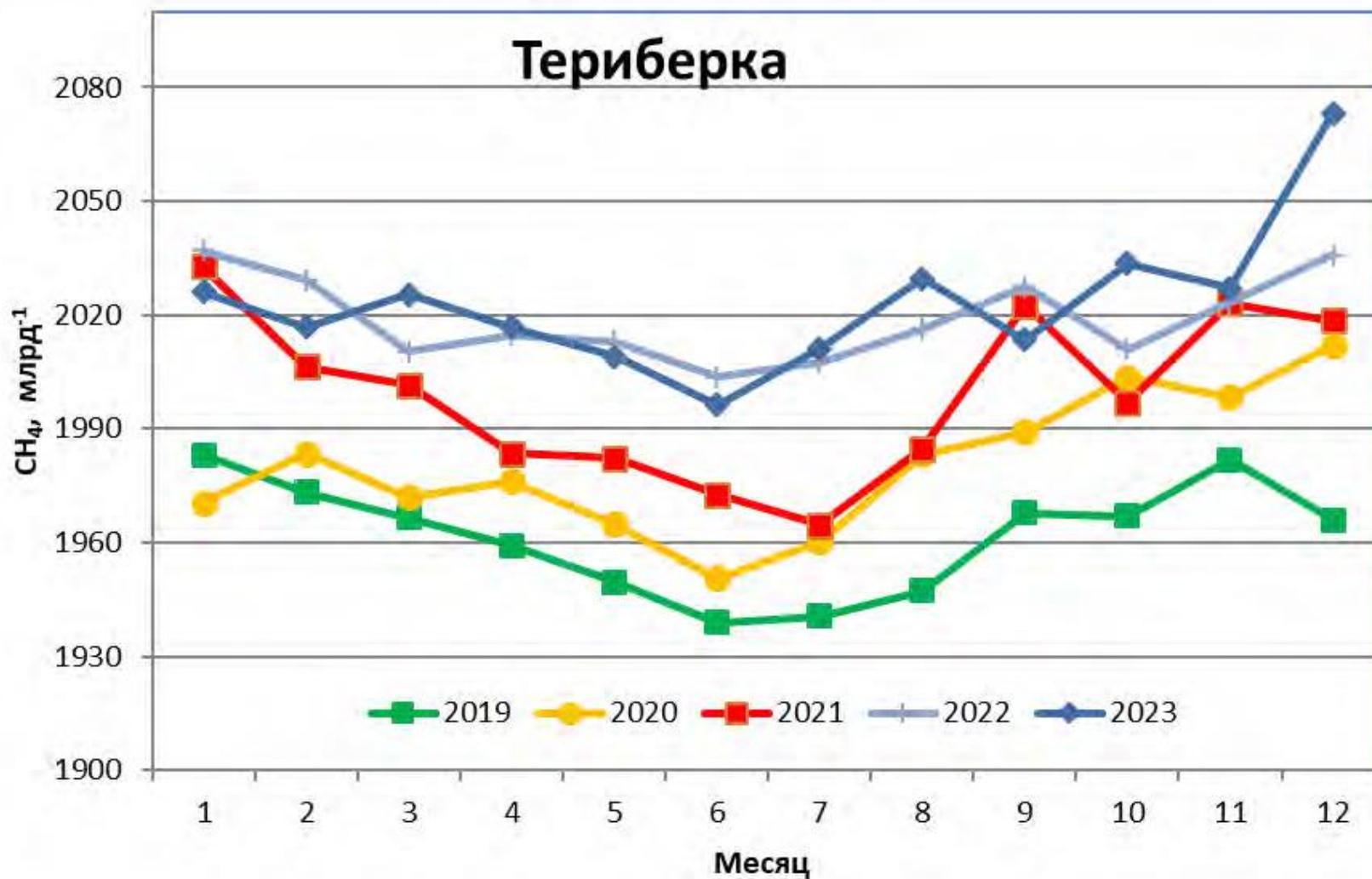
**Станции, где осуществляется мониторинг уровней содержания парниковых газов в приповерхностном слое атмосферы (~80, из них 22 – глобальные фоновые). Данные: <https://gaw.kishou.go.jp/>
*Названия некоторых станций не приведены на этой карте-схеме, например, западноевропейских, из-за нехватки места на рисунке***



**Рассмотрены
ряды 69
станций, из
которых 22.-
глобальные.**

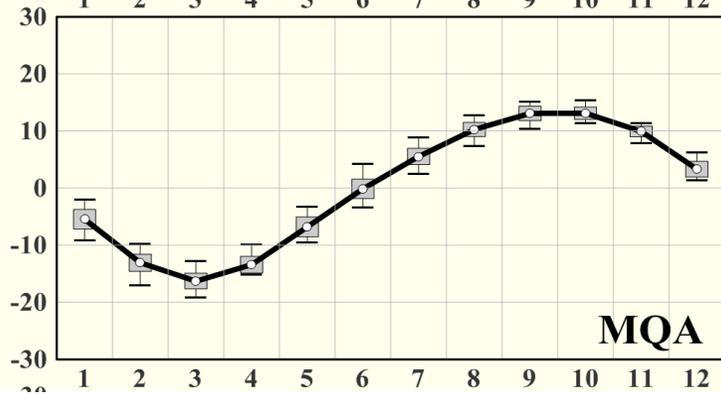
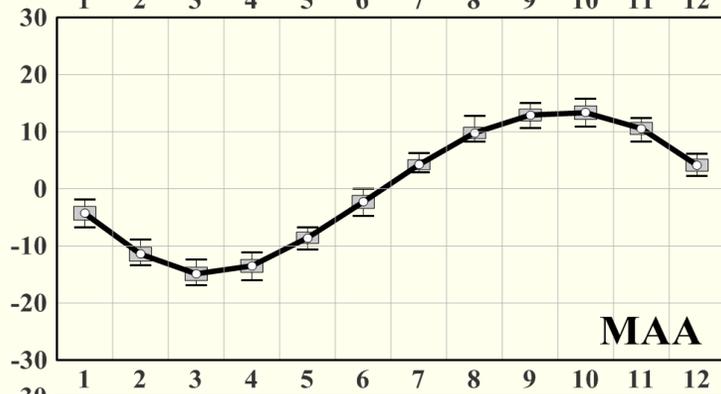
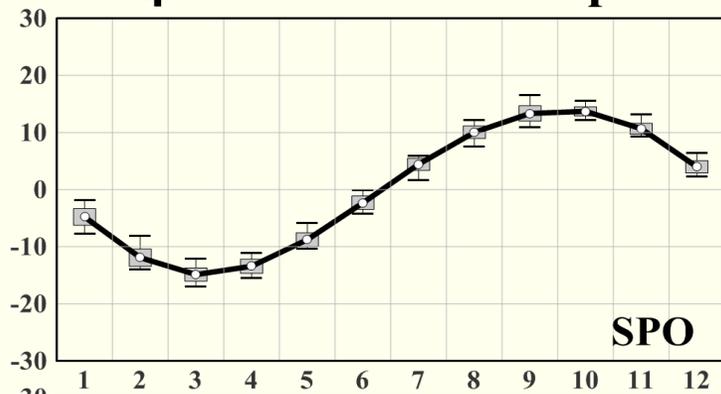
**На рисунке не
представлены
аномальные
станции: Seretta,
Southern Great
Plains,
Park Falls,
Constanta,
Tateno,
Tae-ann
Peninsula**

Многолетние изменения содержания CH_4 в приповерхностном слое атмосферы (ppb): **красный цвет – для группы глобальных станций (GB), а **синий цвет** – для группы региональных станций (RB); диапазон от минимального до максимального индивидуального отклонения от среднего для станций по их группе показан розовым и голубым фоном соответственно (Кузовкин, Семенов, 2020).**

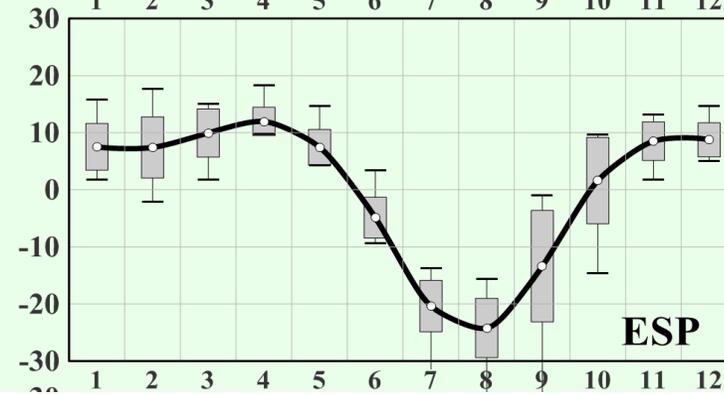
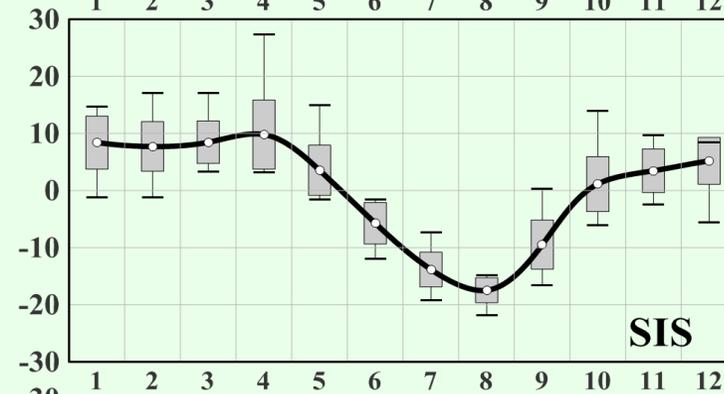
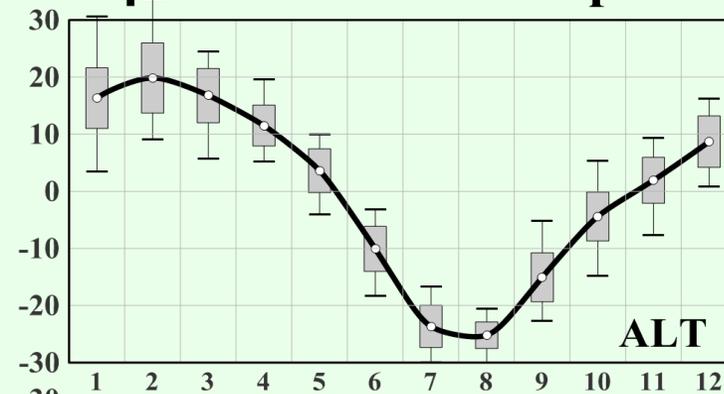


Сезонный ход концентрации CH₄ на станции Териберка (Доклад об особенностях климата..., 2024); 69°09'51" с. ш. 35°08'26" в. д.

CH₄: Southern Hemisphere



CH₄: Northern Hemisphere



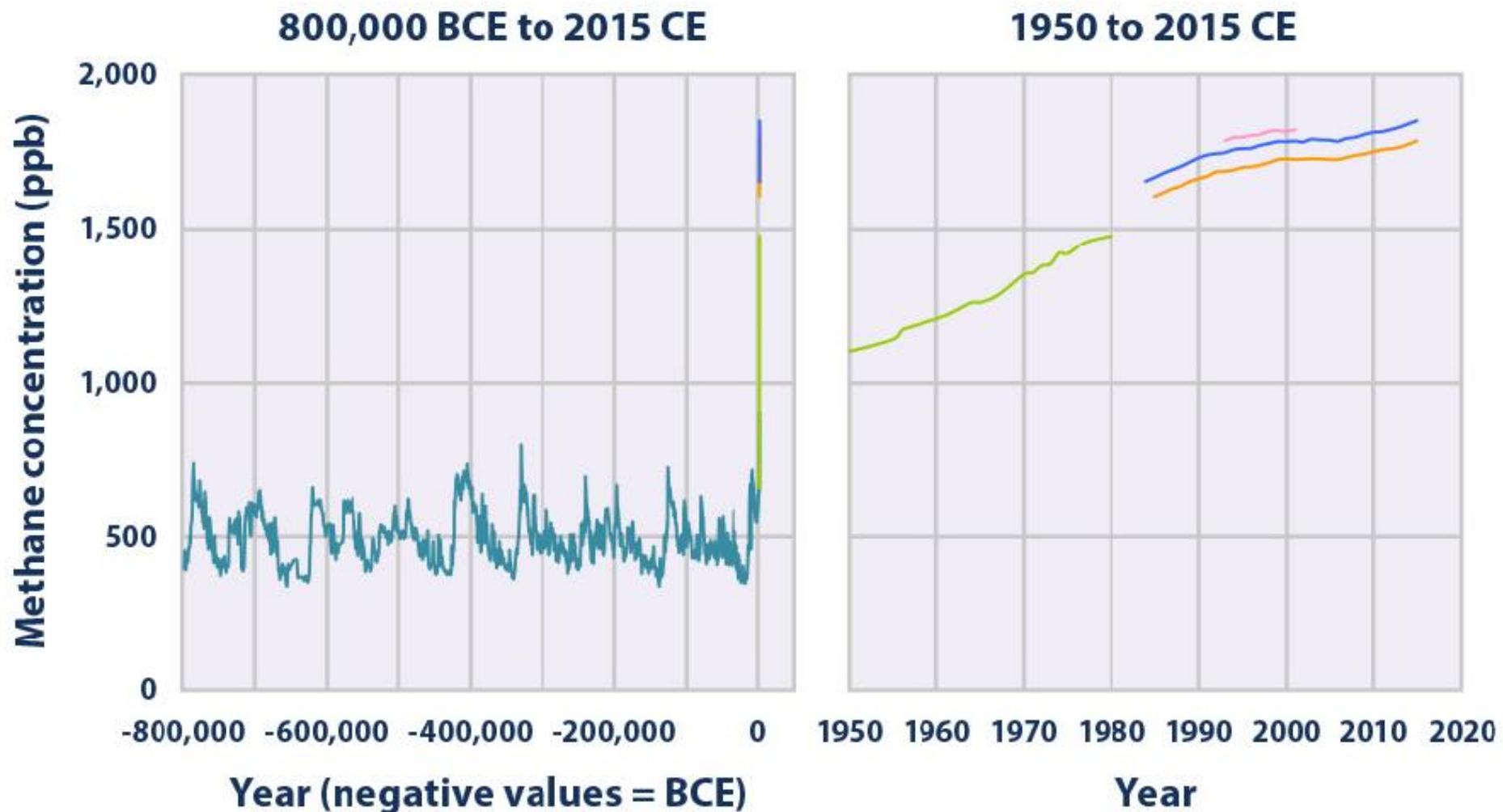
Сезонный ход концентрации CH₄ (млрд⁻¹)

Вопросы:

- **Есть ли оценка суммарной эмиссии метана для Арктики? Или для российской Арктики?**
- **Если есть и не одна, то наблюдается ли тренд этой эмиссии во времени?**
- **Есть ли оценки объемов метангидратов, который потенциально могут стать источником поступления метана в атмосферу из Арктики при дальнейшем потеплении? Или из российской Арктики?**

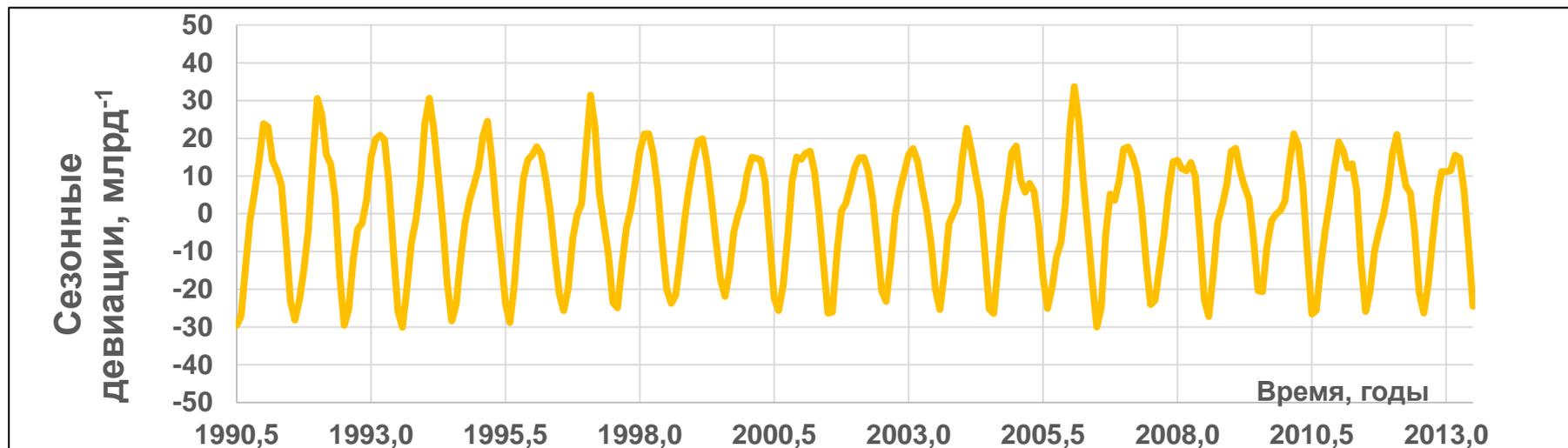
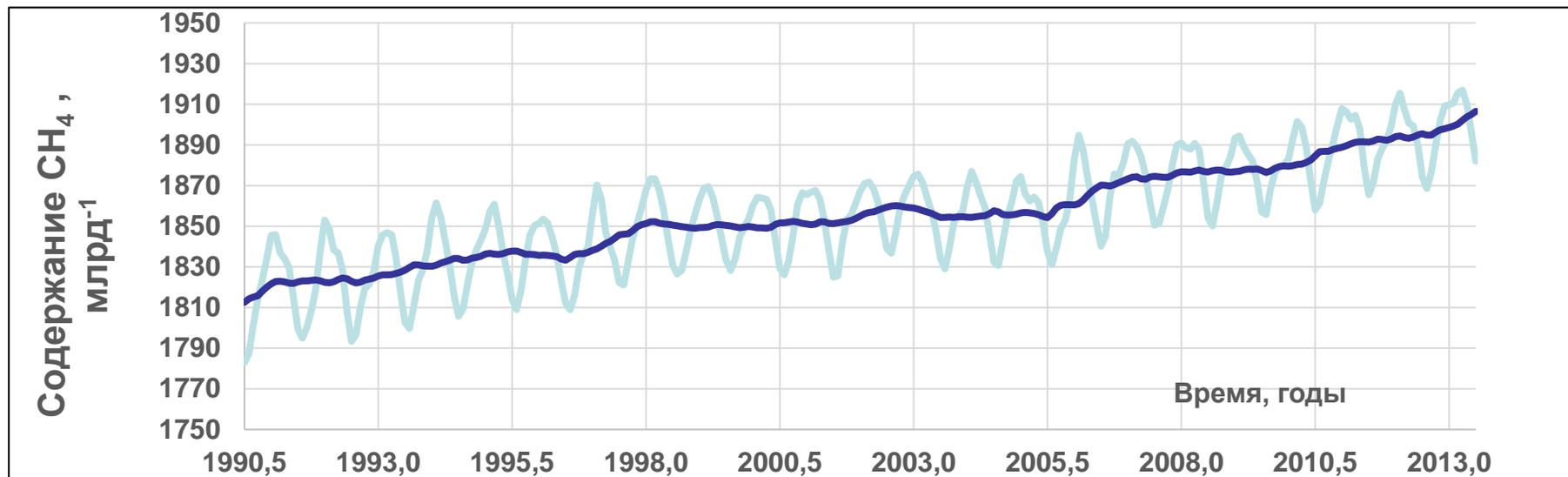
Концентрации метана за последние 800 000 лет и 1950-2015 гг.

Climate Change Indicators in the United States: Atmospheric Concentrations of Greenhouse Gases - www.epa.gov/climate-indicators - Updated August 2016



Пример производных рядов для рядов CH₄, станция ALT (Alert):

A - черная линия), **B** - синяя линия), **(B-A)** - коричневая линия



Газ	Эмиссия антропогенная в атмосфере	Эмиссия естественная в атмосфере	Сток из атмосферы	Расчетное накопление в атмосфере	Фактическое накопление в атмосфере
CO ₂	6.3 Гт (C)/год	150 Гт (C)/год	153 Гт (C)/год	3.3 Гт (C)/год	3.4 Гт (C)/год (1.6 ppm/год)
CH ₄	450 Мт (CH ₄)/год	160 Мт (CH ₄)/год	580 Мт (CH ₄)/год	30 Мт (CH ₄)/год	20 Мт (CH ₄)/год (7 ppb/год)
N ₂ O	8.1 Мт (N)/год	9.6 Мт (N)/год	12.3 Мт (N)/год	5.4 Мт(N)/год	4 Мт(N)/год (0.8 ppb/год)

Потоки CO₂, CH₄ и N₂O в 1980-1998 гг.

2.12 Гт(C-CO₂)/ppm(CO₂) ; 2.8 Мт(CH₄)/ppb(CH₄) ; 4.96 Мт(N-NO₂)/ppb(N₂O)

Глобальный баланс CO₂ в атмосфере и суммарный поток из наземных систем в атмосферу в 2008-2017 гг. ; * - нетто-потоки (Le Quéré et al., 2018; IPCC, 2019b).

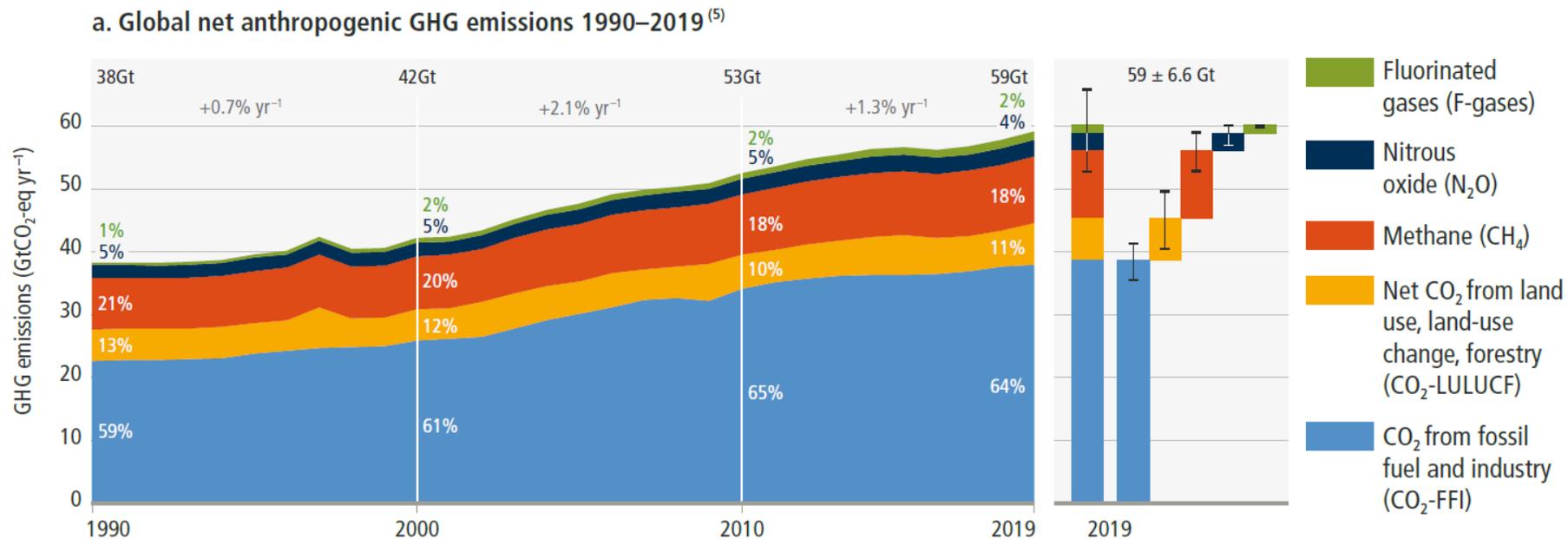
НАЗВАНИЕ ПОТОКА	Гт С год⁻¹
<i>Эмиссии, связанные со сжиганием ископаемого топлива и производством цемента</i>	9.3 ± 0.5
<i>*Эмиссии, связанные с сельским хозяйством, лесным хозяйством и другими видами землепользования (AFOLU)</i>	1.5 ± 0.7
<i>Накоплено в атмосфере</i>	4.7 ± 0.0
<i>*Сток из атмосферы в океан</i>	2.4 ± 0.5
<i>*Сток из атмосферы в наземные системы</i>	3.2 ± 0.7
<i>Невязка баланса</i>	0.5
<i>Суммарный поток из наземных систем в атмосферу</i>	-1.7 ± 1.0

Le Quéré C., Andrew R. M., Friedlingstein P., Sitch S., Hauck J., Pongratz J., Pickers P. A., Korsbakken J. I., Peters G. P., Canadell J. G., Arneth A., Arora V. K., Barbero L., Bastos A., Bopp L., Chevallier F., Chini L. P., Ciais P., Doney S. C., Gkritzalis T., Goll D. S., Harris I., Haverd V., Hoffman F. M., Hoppema M., Houghton R. A., Hurtt G., Ilyina T., Jain A. K., Johannessen T., Jones C. D., Kato E., Keeling R. F., Goldewijk K. K., Landschützer P., Lefèvre N., Lienert S., Liu Z., Lombardozzi D., Metzl N., Munro D. R., Nabel J. E. M. S., Nakaoka S., Neill C., Olsen A., Ono T., Patra P., Peregón A., Peters W., Peylin P., Pfeil B., Pierrot D., Poulter B., Rehder G., Resplandy L., Robertson E., Rocher M., Rödenbeck C., Schuster U., Schwinger J., Séférian R., Skjelvan I., Steinhoff T., Sutton A., Tans P. P., Tian H., Tilbrook B., Tubiello F. N., van der Laan-Luijkx I. T., van der Werf G. R., Viovy N., Walker A. P., Wiltshire A. J., Wright R., Zaehle S., Zheng B.

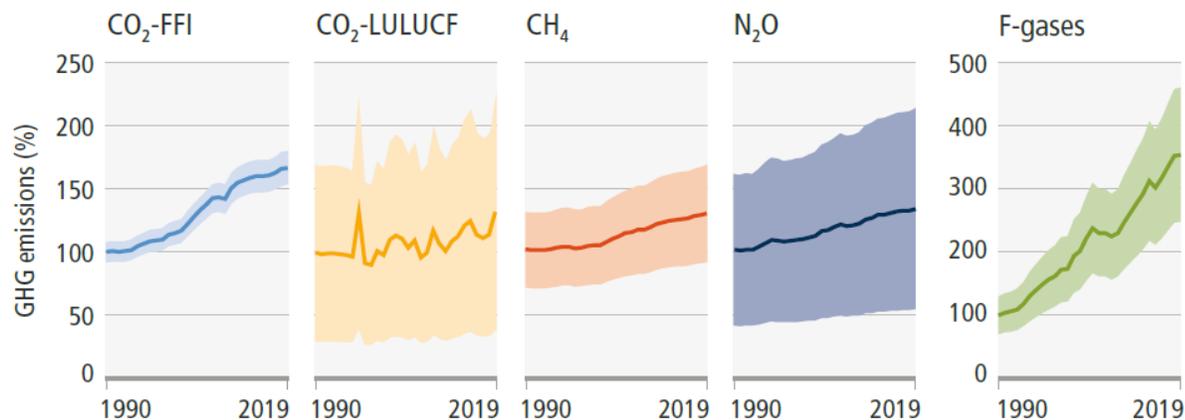
2018. Global Carbon Budget 2018. *Earth Syst. Sci. Data* 10 2141–2194 <https://doi.org/10.5194/essd-10-2141-2018> 2018.

Global net anthropogenic emissions have continued to rise across all major groups of greenhouse gases.

(IPCC, 2021b)



b. Global anthropogenic GHG emissions and uncertainties by gas – relative to 1990

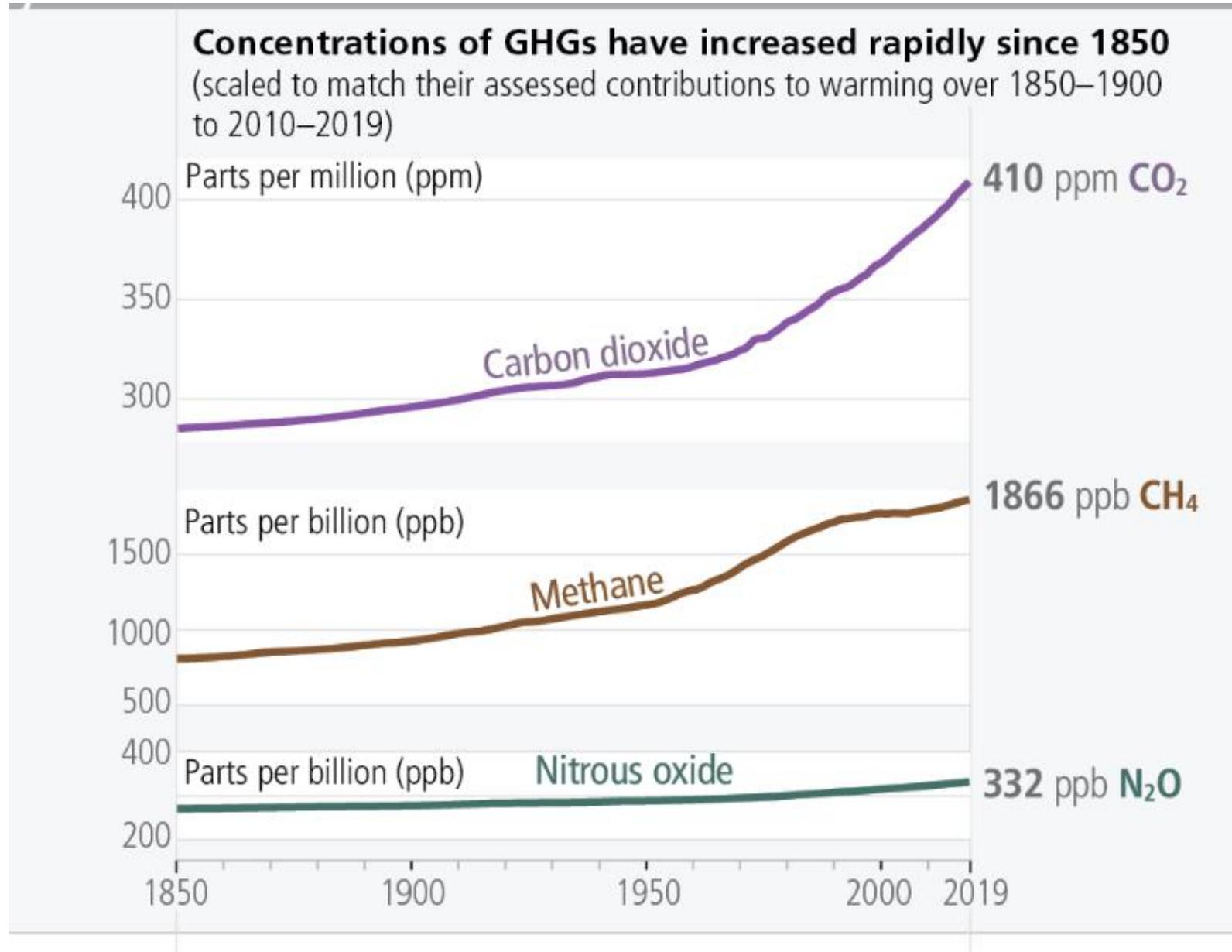


The solid line indicates central estimate of emissions trends. The shaded area indicates the uncertainty range.

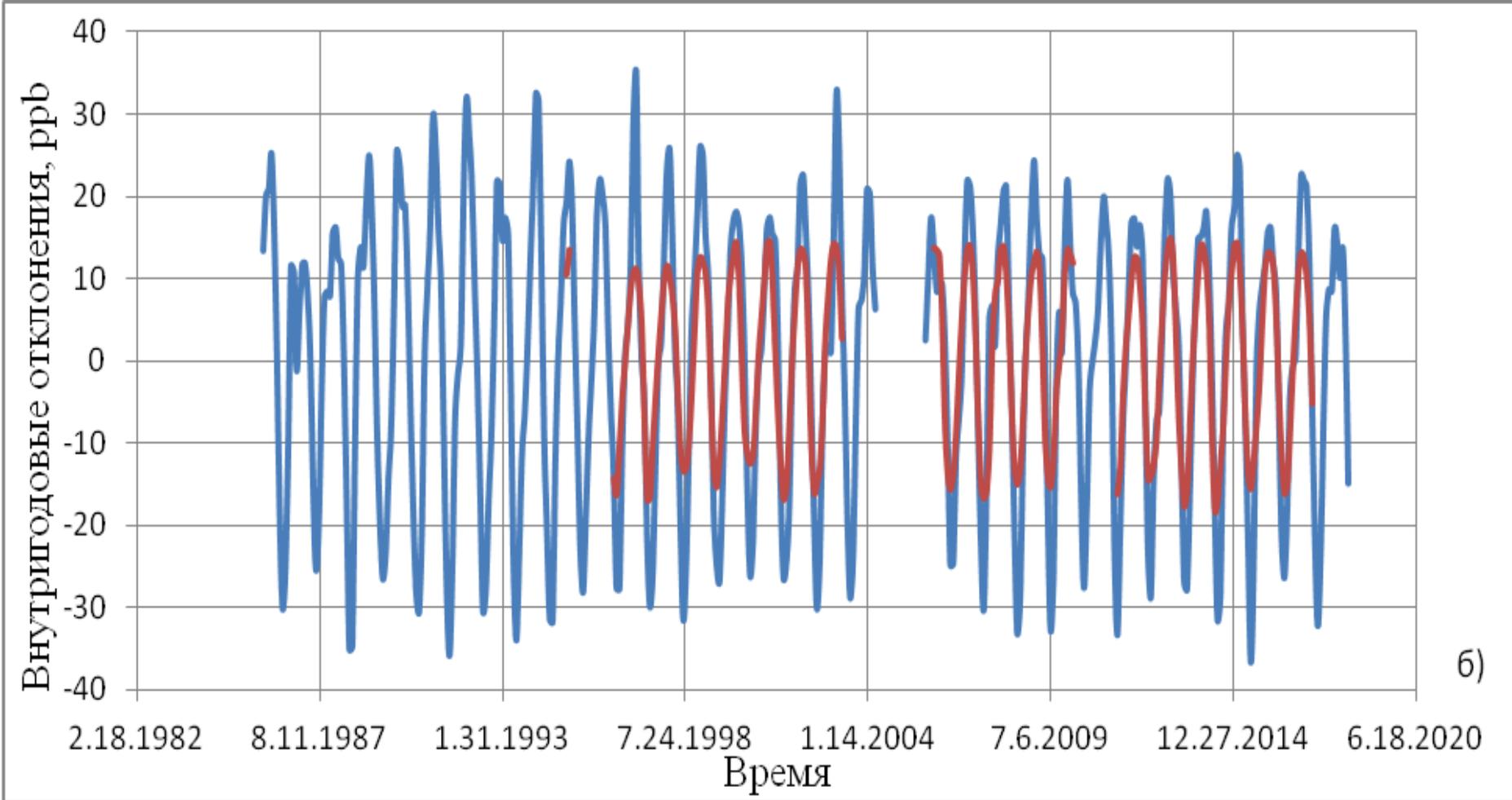
	2019 emissions (GtCO ₂ -eq)	1990–2019 increase (GtCO ₂ -eq)	Emissions in 2019, relative to 1990 (%)
CO ₂ -FFI	38 ± 3	15	167
CO ₂ -LULUCF	6.6 ± 4.6	1.6	133
CH ₄	11 ± 3.2	2.4	129
N ₂ O	2.7 ± 1.6	0.65	133
F-gases	1.4 ± 0.41	0.97	354
Total	59 ± 6.6	21	154

Концентрации 1970х (c_*), чувствительность радиационно-равновесной температуры земной поверхности к малому увеличению содержания парниковых газов и прирост температуры при $c_* \times 10$ (Семенов, Попов, 2011)

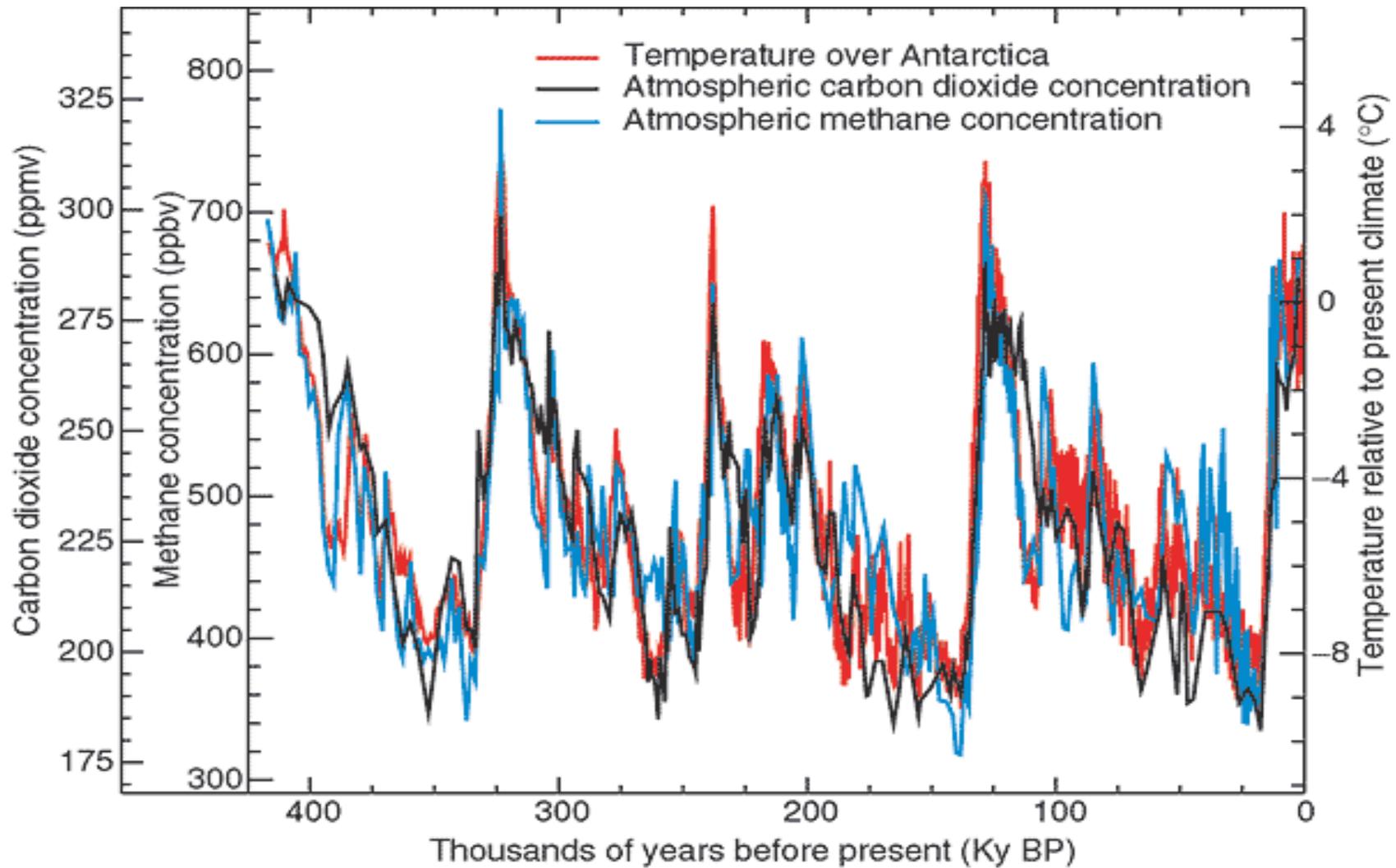
Газ	c_*, ppm	$\Delta T / \Delta c$ (K/ppm)	ΔT при ($c_* \times 10$), K
H₂O	7750	0.001	-
CO₂	330	0.006 – 0.007	7.9
CH₄	1.7	0.08 - 0.09	0.8
N₂O	0.32	0.7 - 0.9	1.3



Изменение атмосферных концентраций углекислого газа CO₂, метана CH₄ и закиси азота N₂O в 1850-2019 гг. (IPCC, 2023).



Ряды $\{C(n)\}$ внутригодовых (межмесячных) отклонений концентрации метана (ppb) от многолетнего тренда для станций **Alert** (82.50° с.ш., 62.35° з.д., 210 м н.у.м) и **Easter Island** (27.17° ю.ш., 109.42° з.д., 41 м н.у.м). К ряду для станции Easter Island применен сдвиг по времени на 5 мес. в направлении более поздних дат; $R = 0.93$ (Кузовкин, Семенов, 2020).



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