

Российская академия наук
ИНСТИТУТ ГЕОГРАФИИ



основан в 1918 году



Современные крупномасштабные изменения состояния приповерхностного слоя атмосферы

С. М. Семенов^{1,2}, А.А. Гладильщикова¹

¹Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН

²Институт географии РАН

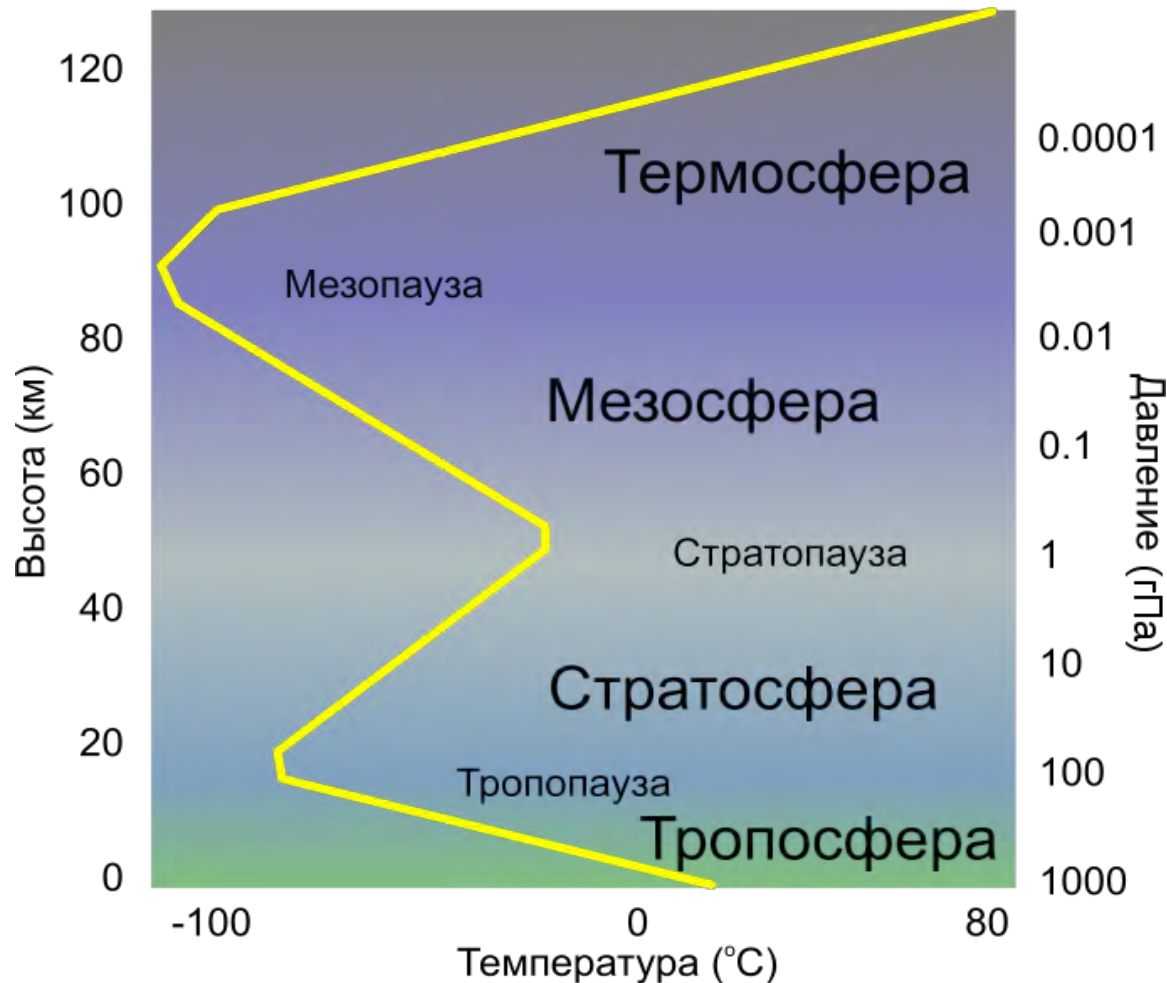
Пятая Национальная научная конференция с международным участием

"Математическое моделирование в экологии"

16–20 октября 2017 г., Пущино

Атмосферу Земли делят по высоте на слои, ориентируясь на изменение температуры с высотой

http://images.yandex.ru/#/yandexsearch?text=атмосфера земли&pos=1&rpt=simage&lr=213&noreask=1&source=wiz&img_url=http%3A%2F%2Fupload.wikimedia.org%2Fwikipedia%2Fcommons%2Fthumb%2Fa%2Fa3%2FAtmosphereLayers.svg%2F350px-AtmosphereLayers.svg.png



Масса воздуха
(5,1—5,3)·10¹⁸ кг.

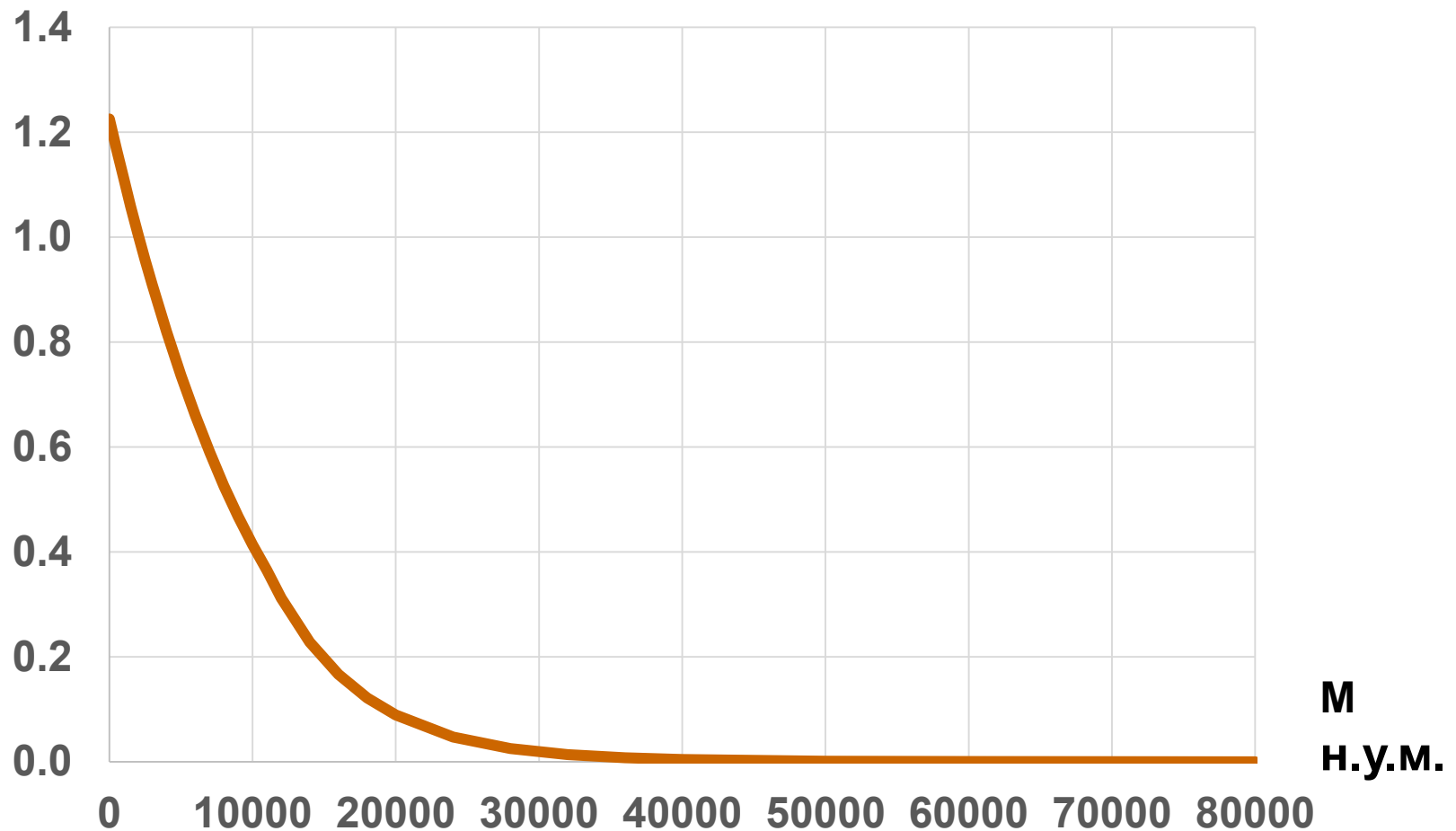
Из них масса сухого воздуха составляет 5,1·10¹⁸ кг.

Общая масса водяных паров в среднем равна 1,3·10¹⁶ кг.

Кроме того, в атмосфере содержатся частицы (particulate matter) различного происхождения; общая масса – примерно 10¹¹ кг (С.П. Хромов, <http://abratsev.ru/atmosphere/air.html>).

Вертикальный профиль плотности в атмосфере

Кг/м³



В нижней части тропосферы расположен ПОГРАНИЧНЫЙ СЛОЙ (до 1 - 2 км). В нем атмосферные процессы заметно зависят от свойств подстилающей поверхности.

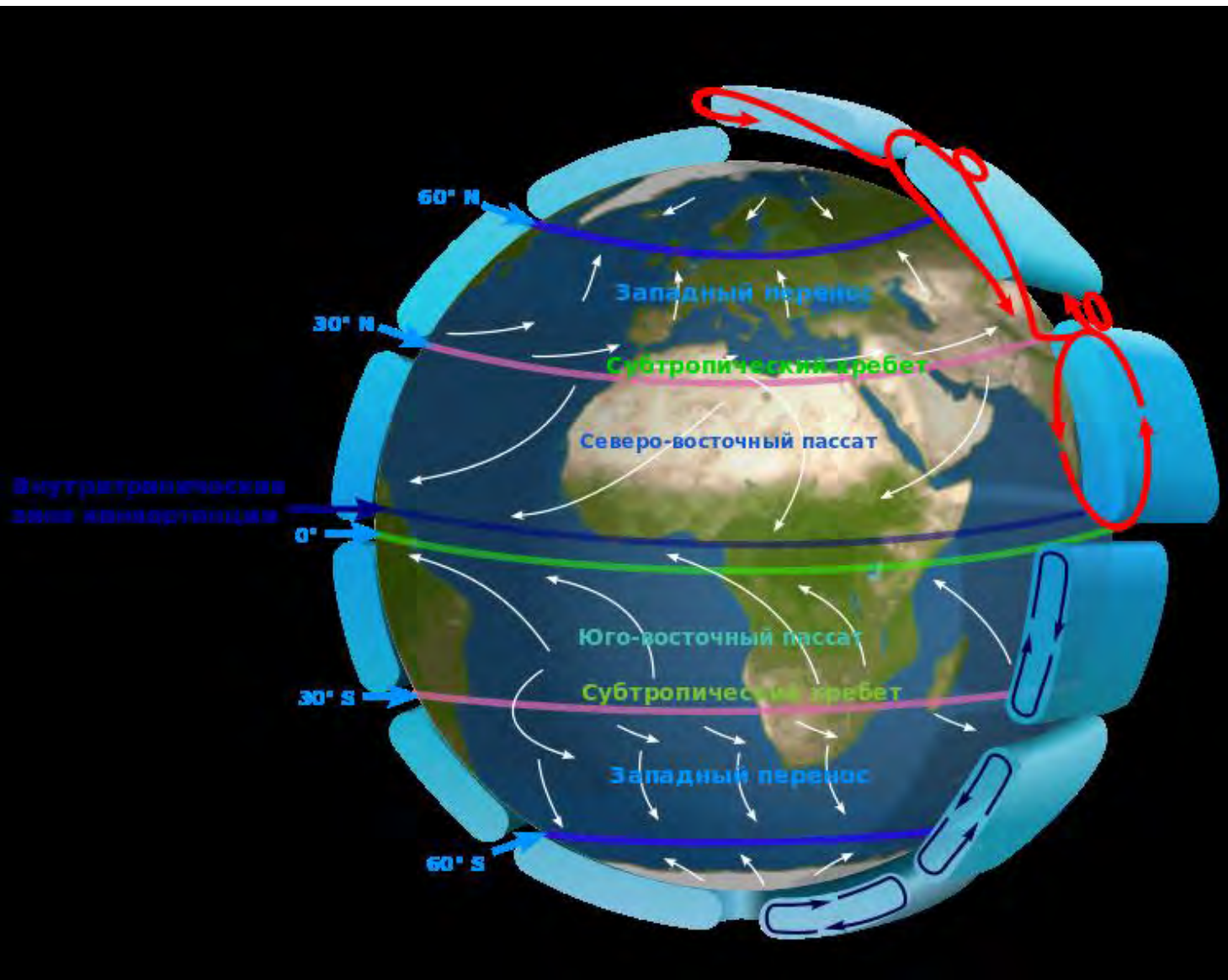
К земной поверхности примыкает ПРИПОВЕРХНОСТНЫЙ СЛОЙ. Именно в нем, в основном, существует человечество, именно туда поступает основная масса антропогенных выбросов в ходе хозяйственной деятельности.

Атмосфера хорошо перемешивается и в горизонтальном направлении (за счет переноса воздушных масс), и в вертикальном – за счет турбулентной диффузии и конвекции.

Пространственное распределение концентраций газов складывается в атмосфере под воздействием процессов поступления (эмиссии), «перемешивания», физических и химических фотохимических трансформаций и выведения на подстилающую поверхность.

Постоянные течения воздуха (белые – у земной поверхности)

http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A6%D0%B8%D1%80%D0%BA%D1%83%D0%BB%D1%8F%D1%86%D0%B8%D1%8F_%D0%B0%D1%82%D0%BC%D0%BE%D1%81%D1%84%D0%B5%D1%80%D1%8B



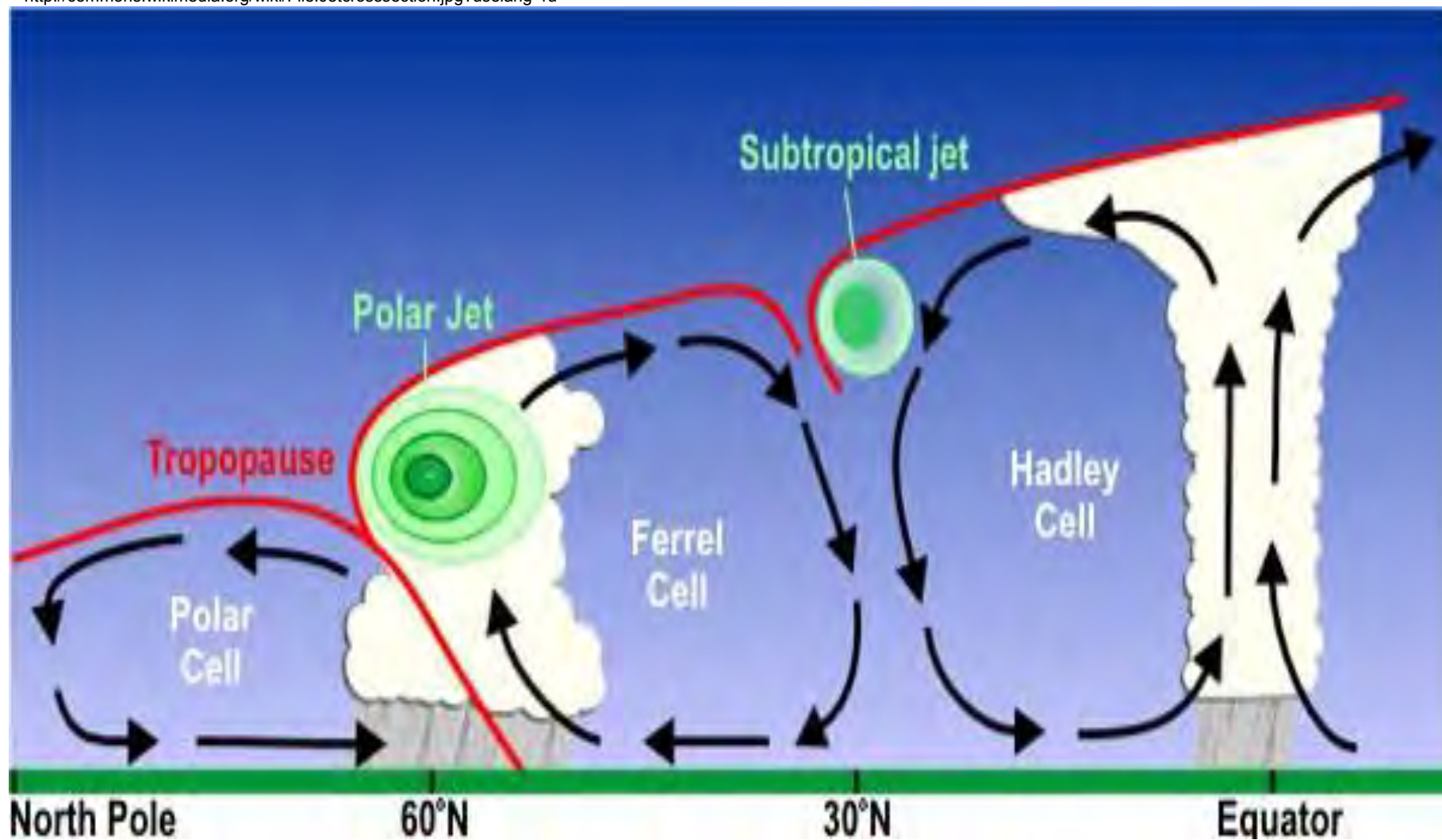
Полярная
ячейка

Ячейка
Феррела

Ячейка
Хэдли

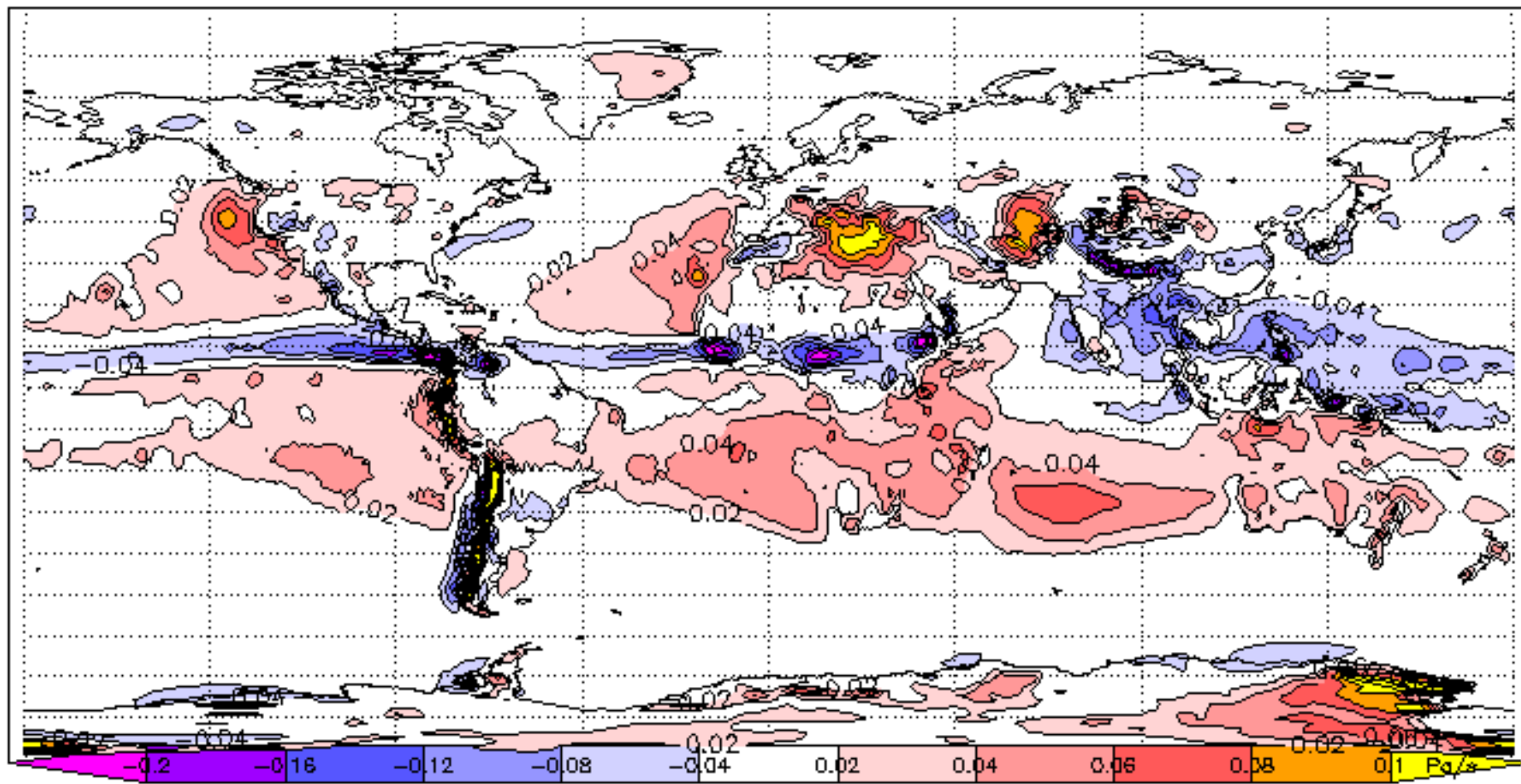
Вертикальная циркуляция в тропосфере и высотные струйные течения

<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Jetcrosssection.jpg?uselang=ru>



Средние июльские значения вертикальной скорости движения воздуха, м/с: восходящий поток – синий цвет, нисходящий поток – красный цвет.

<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Omega-500-july-era40-1979.png>



Объемное отношение смеси (volume mixing ratio - VMR)

M_1, μ_1, V_1
...
M_k, μ_k, V_k
...
M_K, μ_K, V_K

$pV_1 = \left(\frac{M_1}{\mu_1}\right)RT$
...
$pV_k = \left(\frac{M_k}{\mu_k}\right)RT$
...
$pV_K = \left(\frac{M_K}{\mu_K}\right)RT$

$$\frac{V_k}{V} = \left(\frac{M_k}{\mu_k}\right) \frac{RT}{p}$$

$$V = V_1 + \dots + V_k + \dots + V_K$$

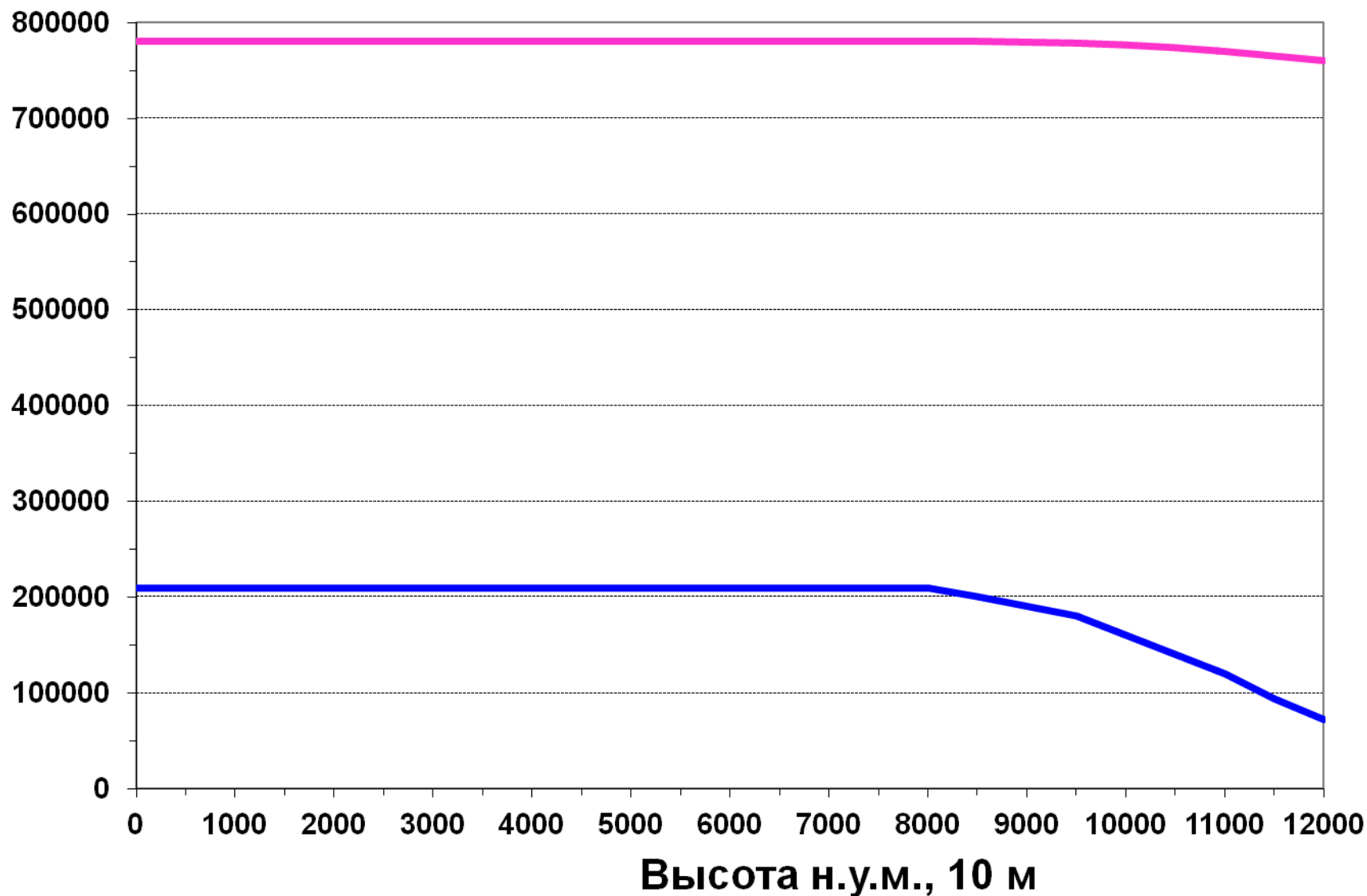
V_k/V – объемное отношение смеси для k -го газа; часто измеряется в процентах (%), промилле (‰), млн⁻¹, млрд⁻¹, трлн⁻¹; в англоязычной литературе последние три единицы измерения обозначаются ppm, ppb и ppt соответственно. Это – сокращения от “parts per million”, “parts per billion” и “parts per trillion” соответственно; $R = 8.3144621 \cdot 10^3$ Дж кмоль⁻¹ К⁻¹.

Газовый состав современной атмосферы Земли

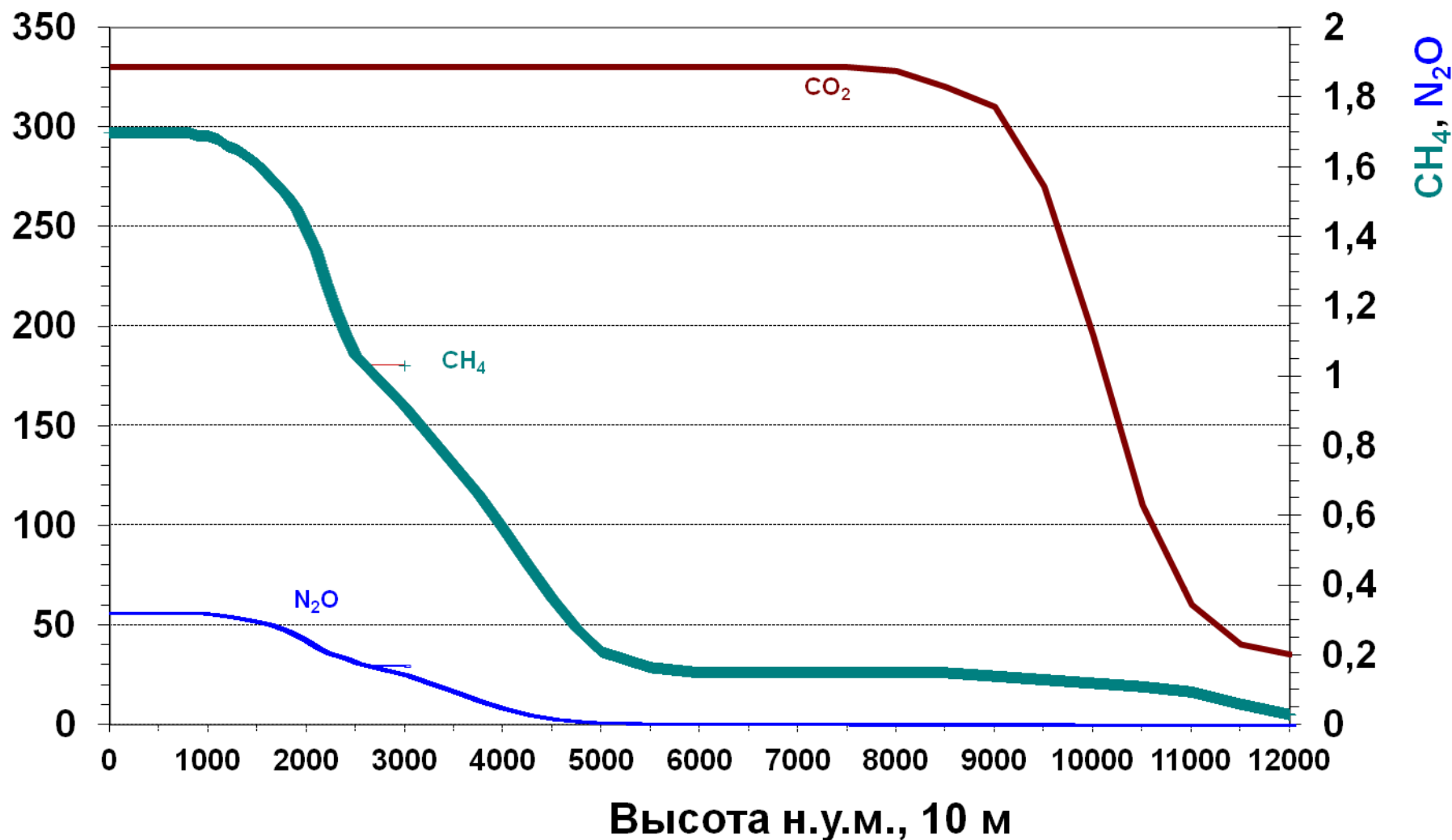
https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D1%82%D0%BC%D0%BE%D1%81%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%B0_%D0%97%D0%B5%D0%BC%D0%BB%D0%B8

Газ	Содержание по объёму, %	Содержание по массе, %
Азот	78,084	75,5
Кислород	20,946	23,1
Аргон	0,932	1,286
<u>Углекислый газ</u>	0,04	
Неон	$1,82 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$
Гелий	$4,6 \cdot 10^{-4}$	$7,2 \cdot 10^{-5}$
<u>Метан</u>	$1,7 \cdot 10^{-4}$	
Криптон	$1,14 \cdot 10^{-4}$	$2,9 \cdot 10^{-4}$
Водород	$5 \cdot 10^{-5}$	$7,6 \cdot 10^{-5}$
Ксенон	$8,7 \cdot 10^{-6}$	
<u>Закись азота</u>	$5 \cdot 10^{-5}$	$7,7 \cdot 10^{-5}$

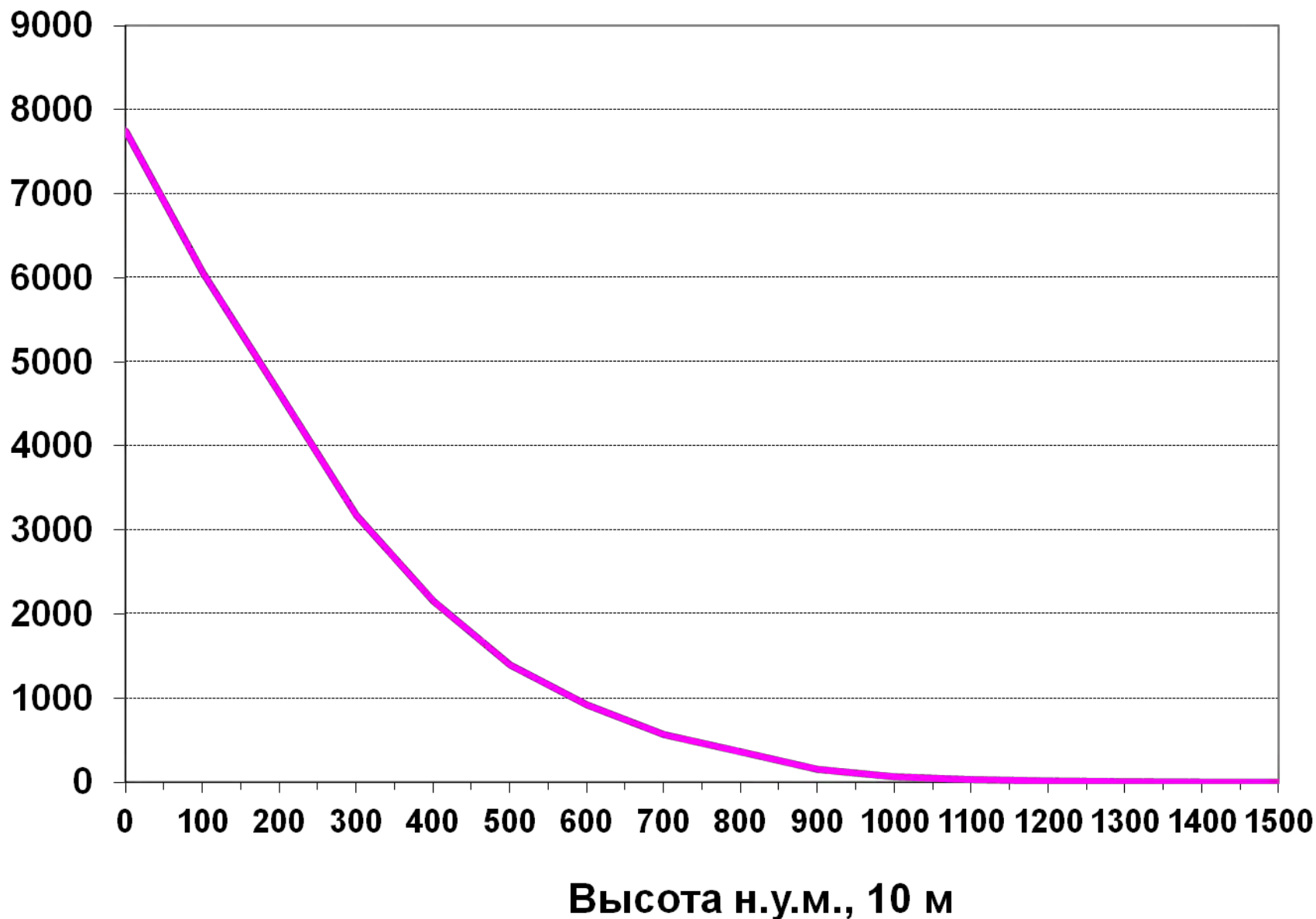
Вертикальное распределение содержания азота (N_2) и кислорода (O_2), ppm



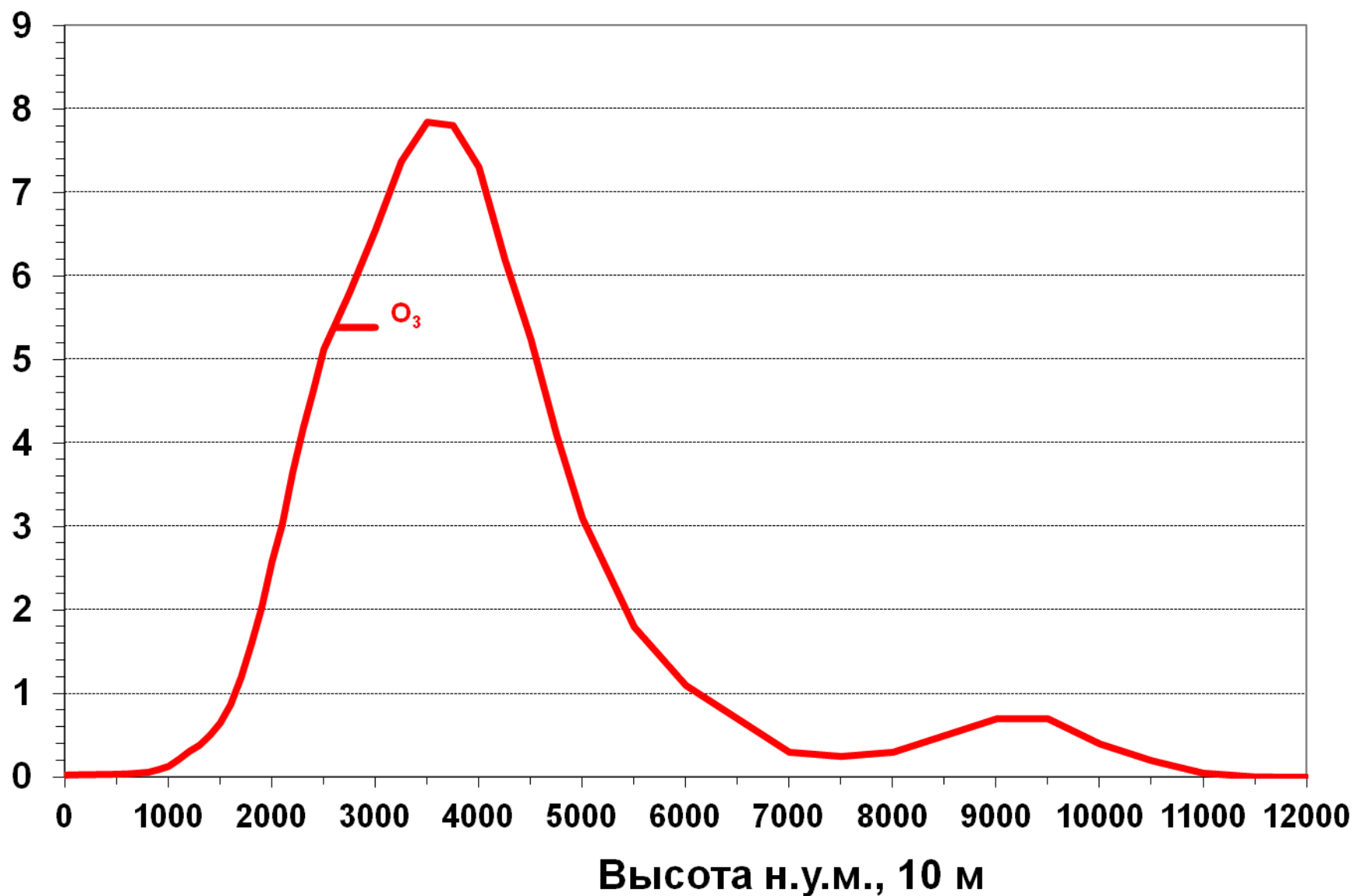
Вертикальное распределение содержания углекислого газа (CO_2 – левая шкала), метана (CH_4) и закиси азота (N_2O), ppm



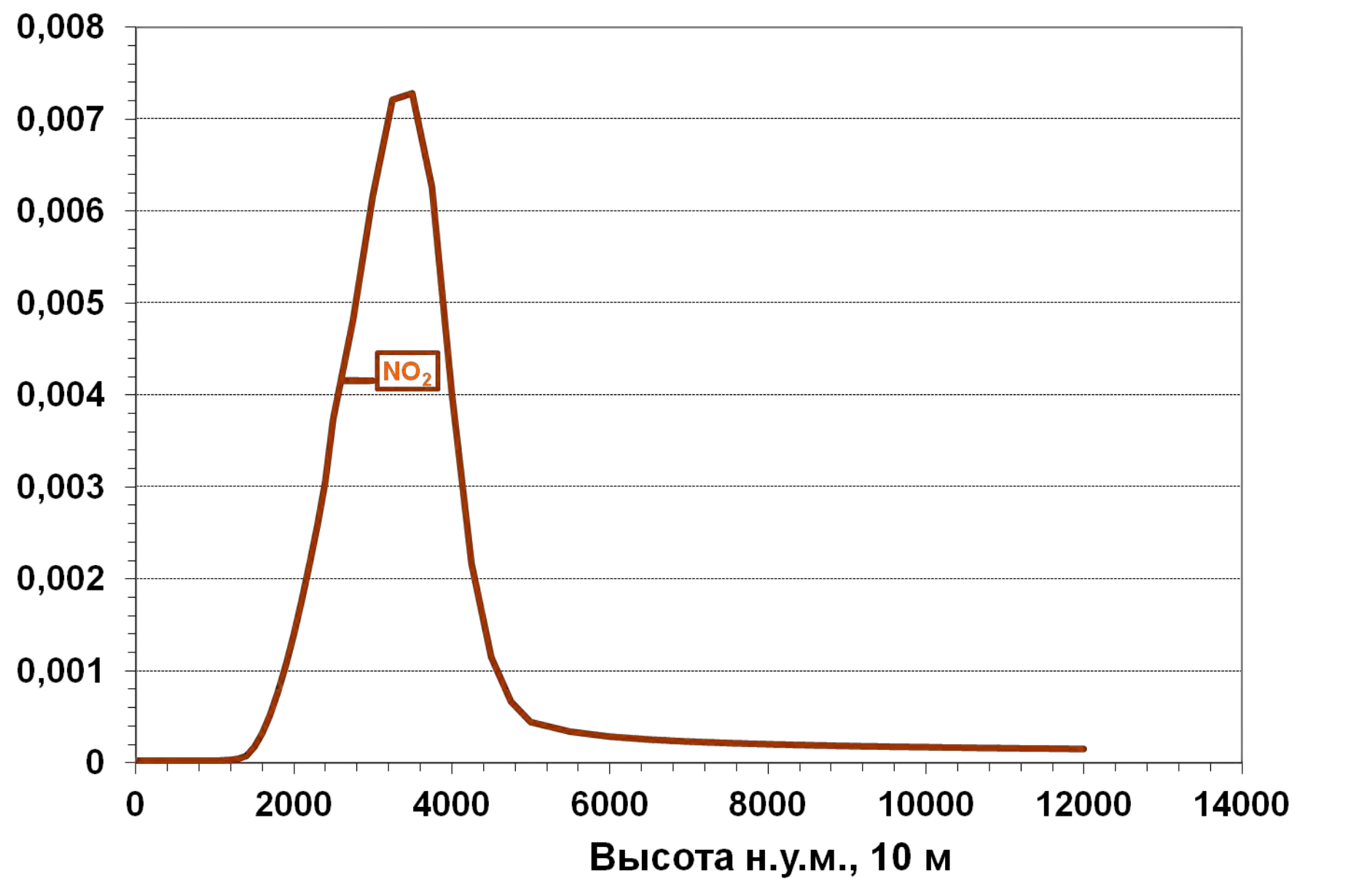
Вертикальное распределение содержания водяного пара (H_2O), ppm



Вертикальное распределение содержания озона (O_3), ррт

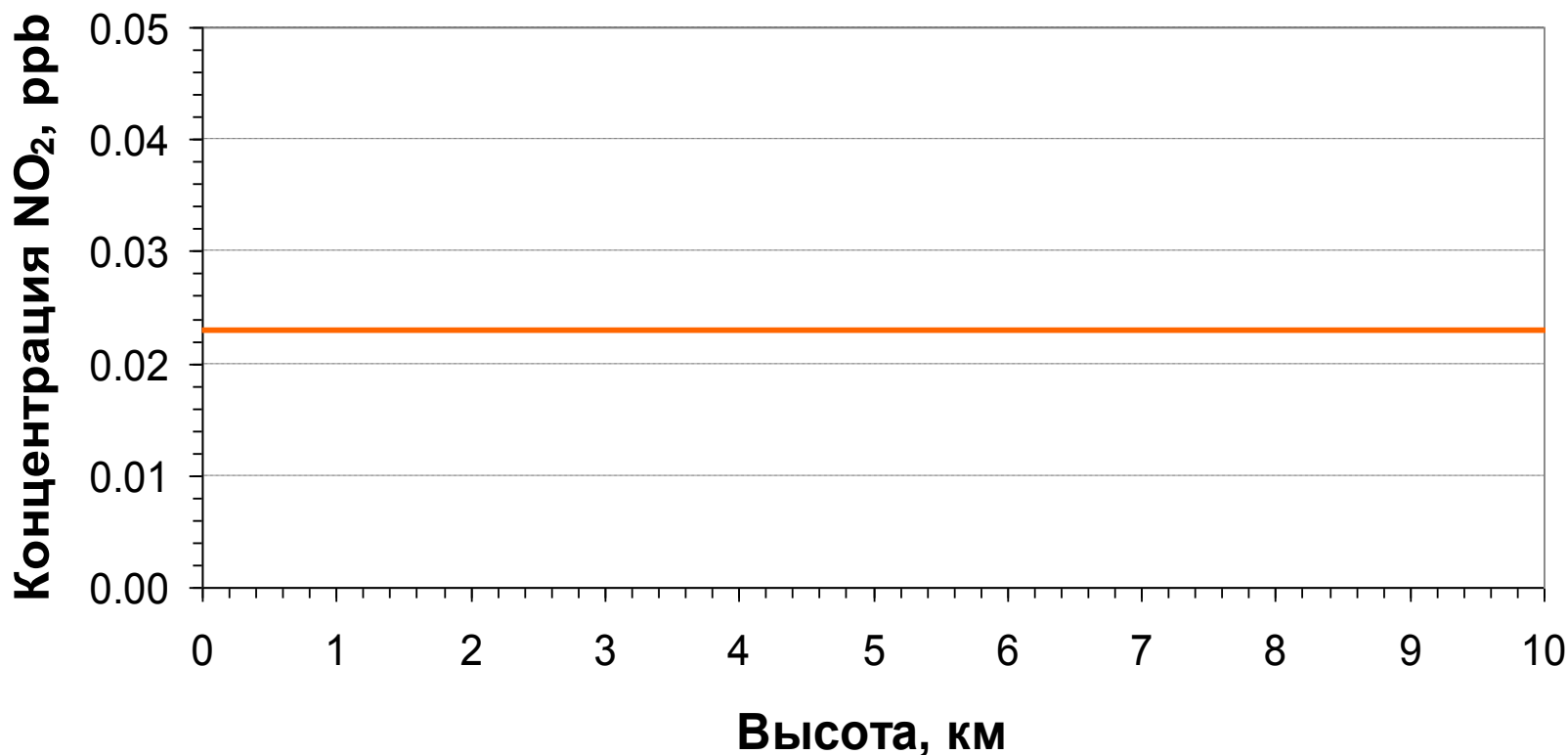


Вертикальное распределение двуокиси азота (NO₂), ppm

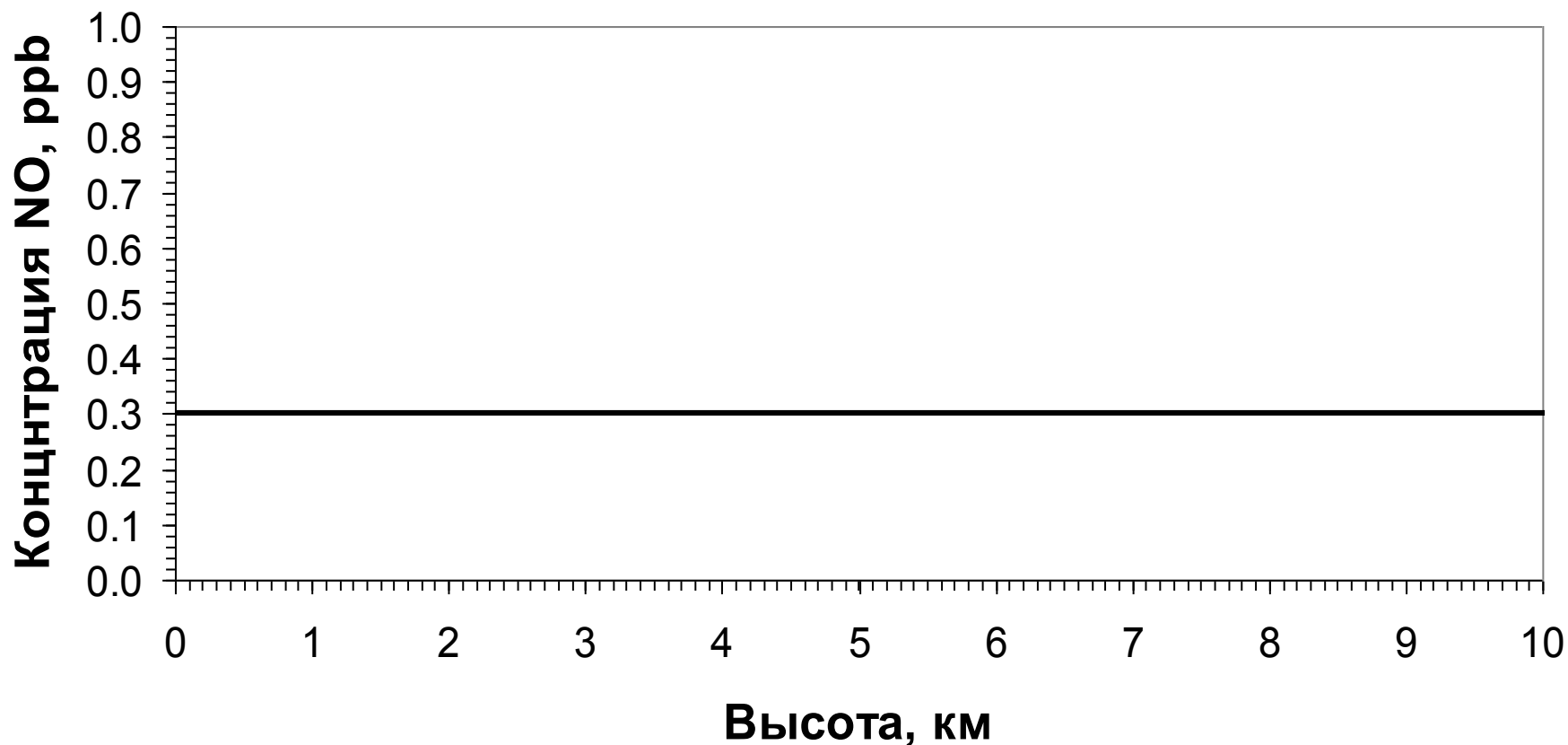


На рисунке - вертикальный профиль концентрации NO_2 в ppb во второй половине XX века (US Standard Atmosphere 1976; <http://www.spectralcalc.com/>).

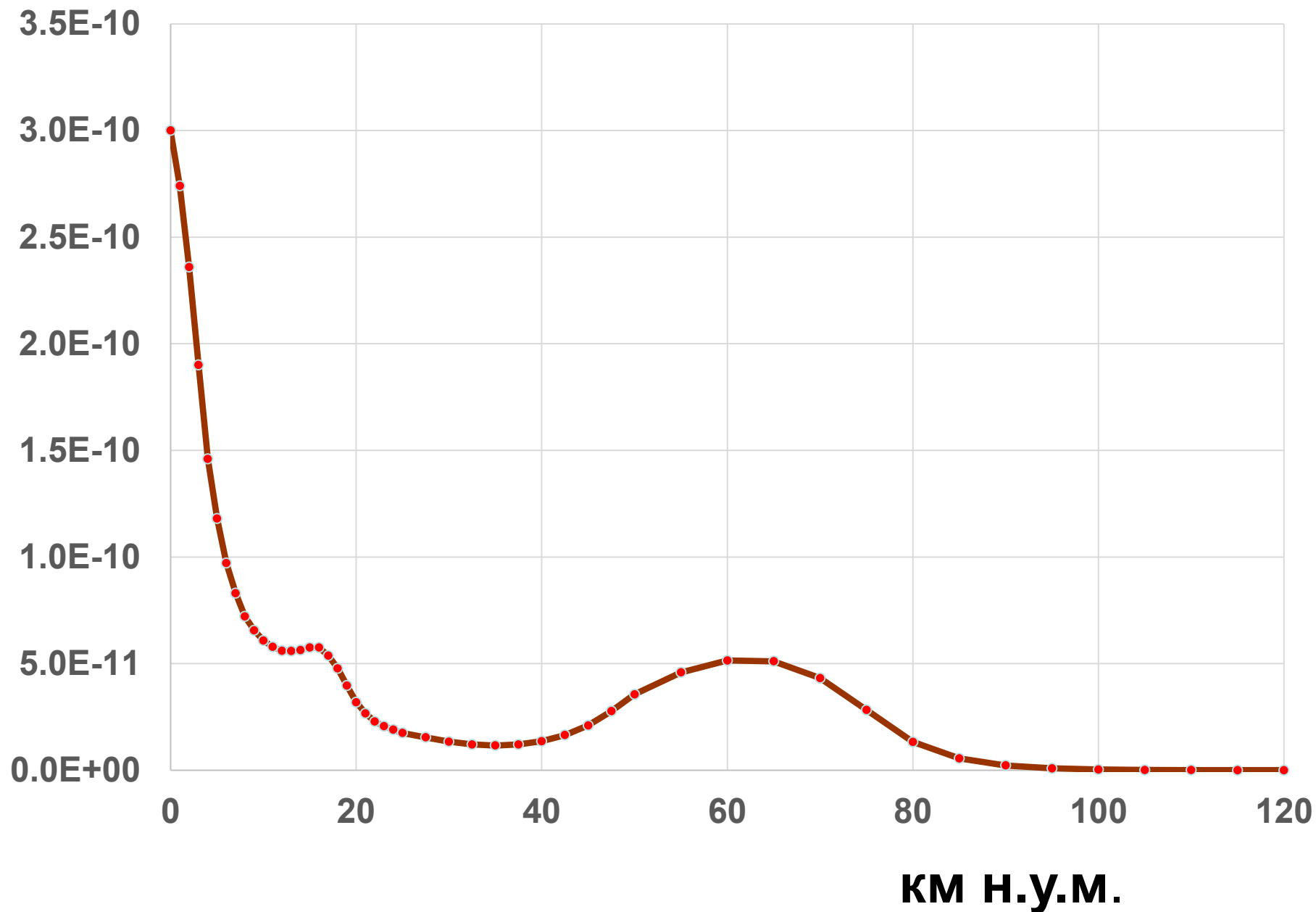
Значения в тропосфере мало меняются с высотой:
 $0.023 \text{ ppb} = 0.000023 \text{ ppm}$.



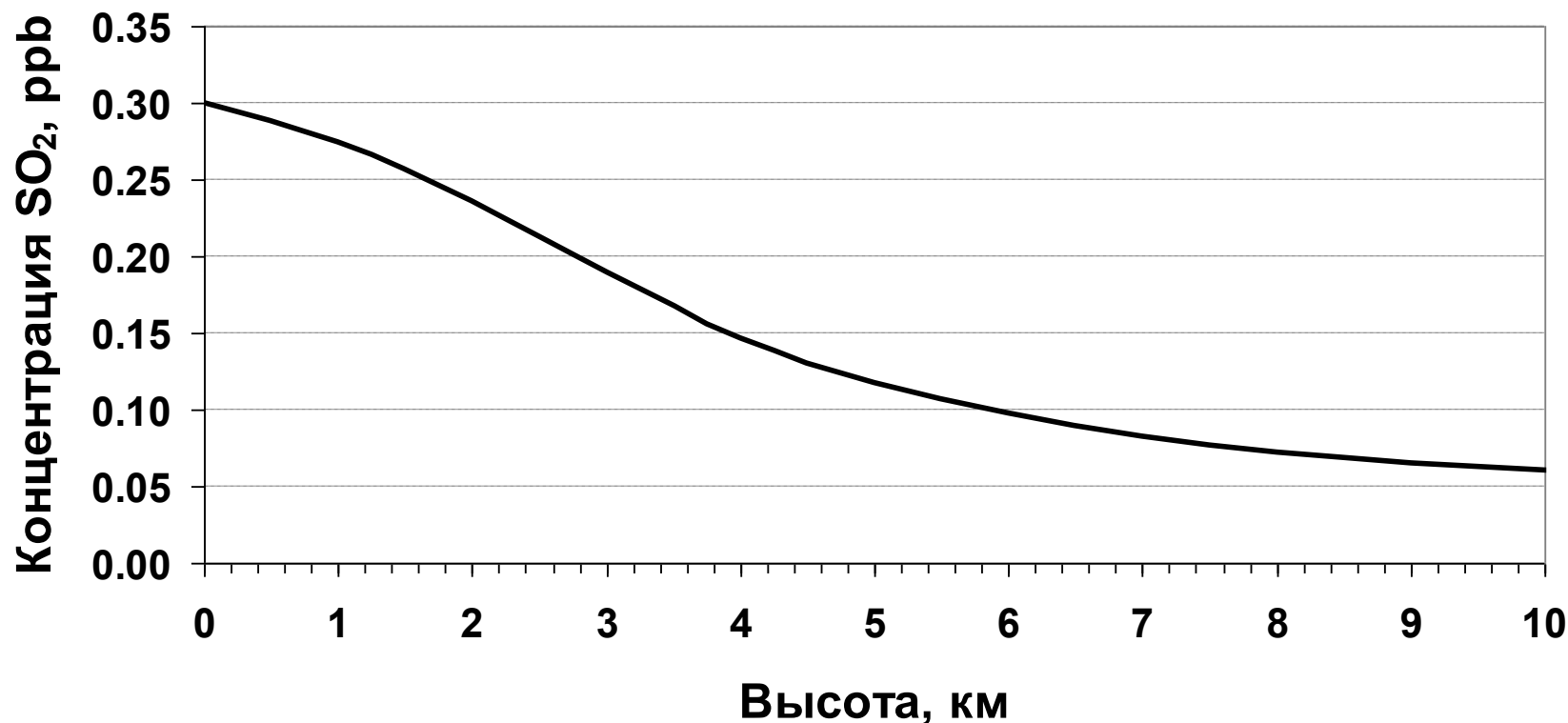
На рисунке – вертикальное распределение содержания NO в ppb во второй половине XX века (US Standard Atmosphere 1976; <http://www.spectralcalc.com/>). Значения в тропосфере мало меняются с высотой: 0.3 ppb = 0.0003 ppm.



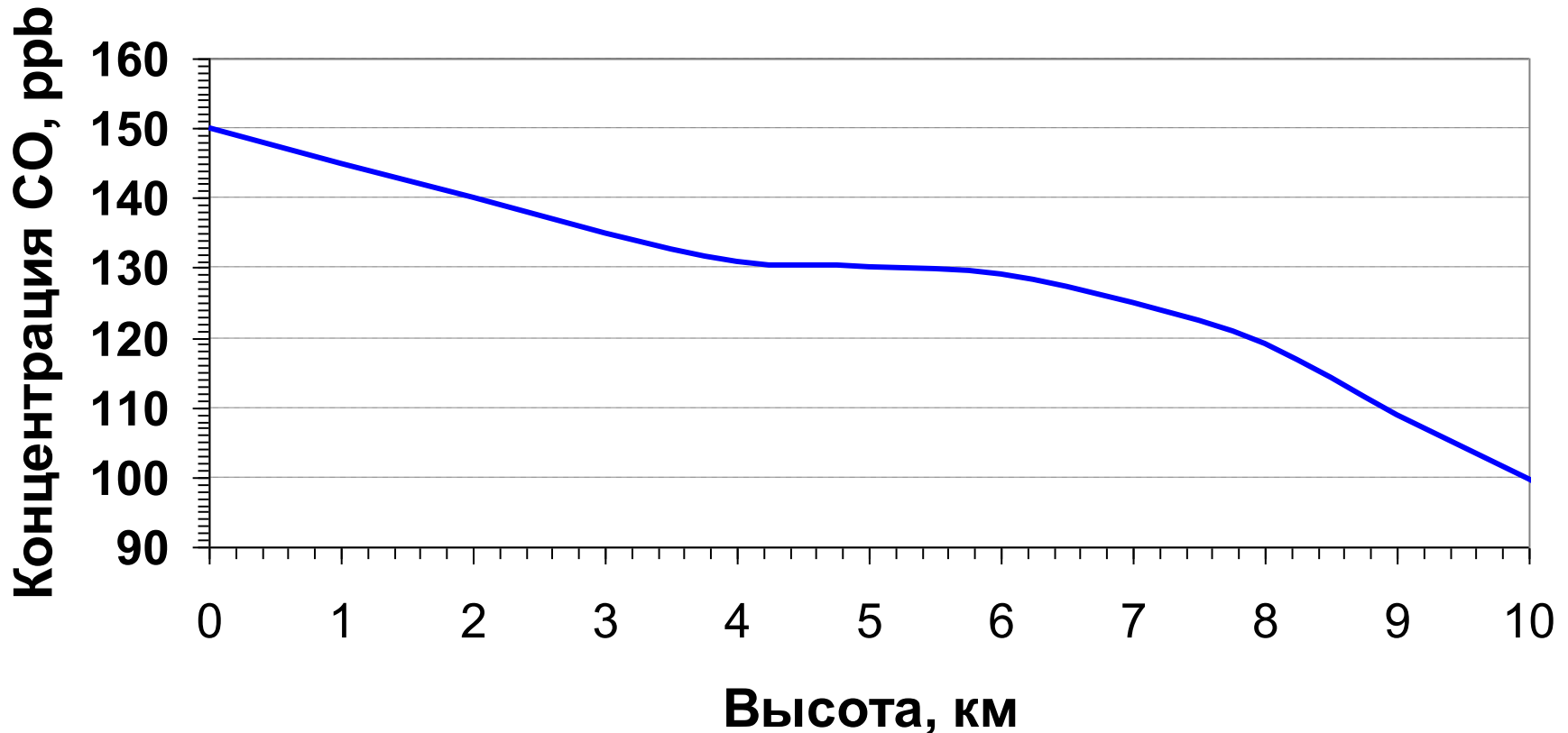
Вертикальное распределение содержания SO_2



На рисунке - вертикальный профиль концентрации SO_2 в ppb во второй половине XX века (US Standard Atmosphere 1976; <http://www.spectralcalc.com/>).
Значение у земной поверхности $0.3 \text{ ppb} = 0.0003 \text{ ppm}$.



Вертикальный профиль концентрации CO в ppb во второй половине XX века (US Standard Atmosphere 1976; <http://www.spectralcalc.com/>). Приземное значение ~150 ppb = 0.15 ppm



До индустриальной эры – условно, до 1750 г. - возможности человека влиять на состав атмосферы были ограничены локальными масштабами, до 100 км.

Это влияние осуществлялось в основном при лесных, степных и иных пожарах, возникавших вследствие неосторожности, при военных действиях или при подсечно-огневом земледелии, и при сжигании топлива.

В индустриальную эру воздействие человека на состояние атмосферы все более увеличивалось, его пространственные масштабы стали **региональными и даже **глобальными**.**

К настоящему времени под влиянием хозяйственной деятельности человека заметно изменился состав атмосферы как в отношении газов, так и частиц.

Меняется не только состав атмосферы, но и ее состояние – потоки массы, импульса, тепла в различных формах.

ЗАГРЯЗНЯЮЩИЕ ВЕЩЕСТВА

Загрязнение окружающей среды – процесс привнесения человеком веществ в окружающую среду, увеличение содержания которых оказывает прямое негативное воздействие на здоровье населения, природные ресурсы, хозяйственные системы и объекты культурного наследия.

Загрязняющие вещества в буквальном смысле – 100%-е продукты деятельности человека, такие как некоторые пестициды. Они в природе до начала их производства не встречались. Многие загрязняющие вещества в природе встречаются и по естественным причинам, например, SO_2 .

Загрязнение в самом общем смысле подразделяют на химическое (вещества, оказывающие негативное влияние на человека и/или хозяйственные системы вследствие своих химических свойств), физическое (пыль, инертный мусор, шум) и радиоактивное (вещества – источники жесткого излучения). Эта классификация условна!

Основными компонентами крупномасштабного химического загрязнения нижней атмосферы (тропосферы) сейчас являются: мон(о)оксид углерода CO, оксиды азота NO и NO₂, диоксид серы SO₂, аммиак NH₃ летучие органические соединения (ЛОС), озон, тяжёлые металлы (Pb, Cu, Zn, Cd, Cr). Их источники бывают:

- природные (извержения вулканов, естественные лесные и степные пожары, выветривание из горных пород, биологические процессы);**
- антропогенные, именно**
 - автомобильный, железнодорожный, воздушный, морской и речной транспорт;**
 - производственные технологические процессы, (включая производство энергии из ископаемого топлива), отопление помещений;**
 - жилищно-коммунальный сектор, переработка бытовых отходов.**

Пять стран, у которых были в 2005 г. наибольшие антропогенные эмиссии CO, NMVOC*, NO₂, NH₃ и SO₂ в атмосферу, Тг (= Мт) вещества

Results of the emission inventory EDGAR v4.1 of July 2010

http://edgar.jrc.ec.europa.eu/news_docs/July%2019_v2.pdf

Tg CO		Tg NMVOC		Tg NO ₂		Tg NH ₃		Tg SO ₂	
China	103.20	China	17.22	China	22.45	China	11.01	China	36.36
Brazil	96.42	USA	11.56	USA	14.92	India	4.47	USA	10.81
USA	61.52	Brazil	10.47	Int. shipping	12.98	USA	3.59	Int. shipping	7.87
India	52.77	Russia	8.39	India	8.19	Brazil	3.23	India	7.41
Indonesia	49.65	Indonesia	8.22	Russia	4.30	Indonesia	1.66	Russia	6.71

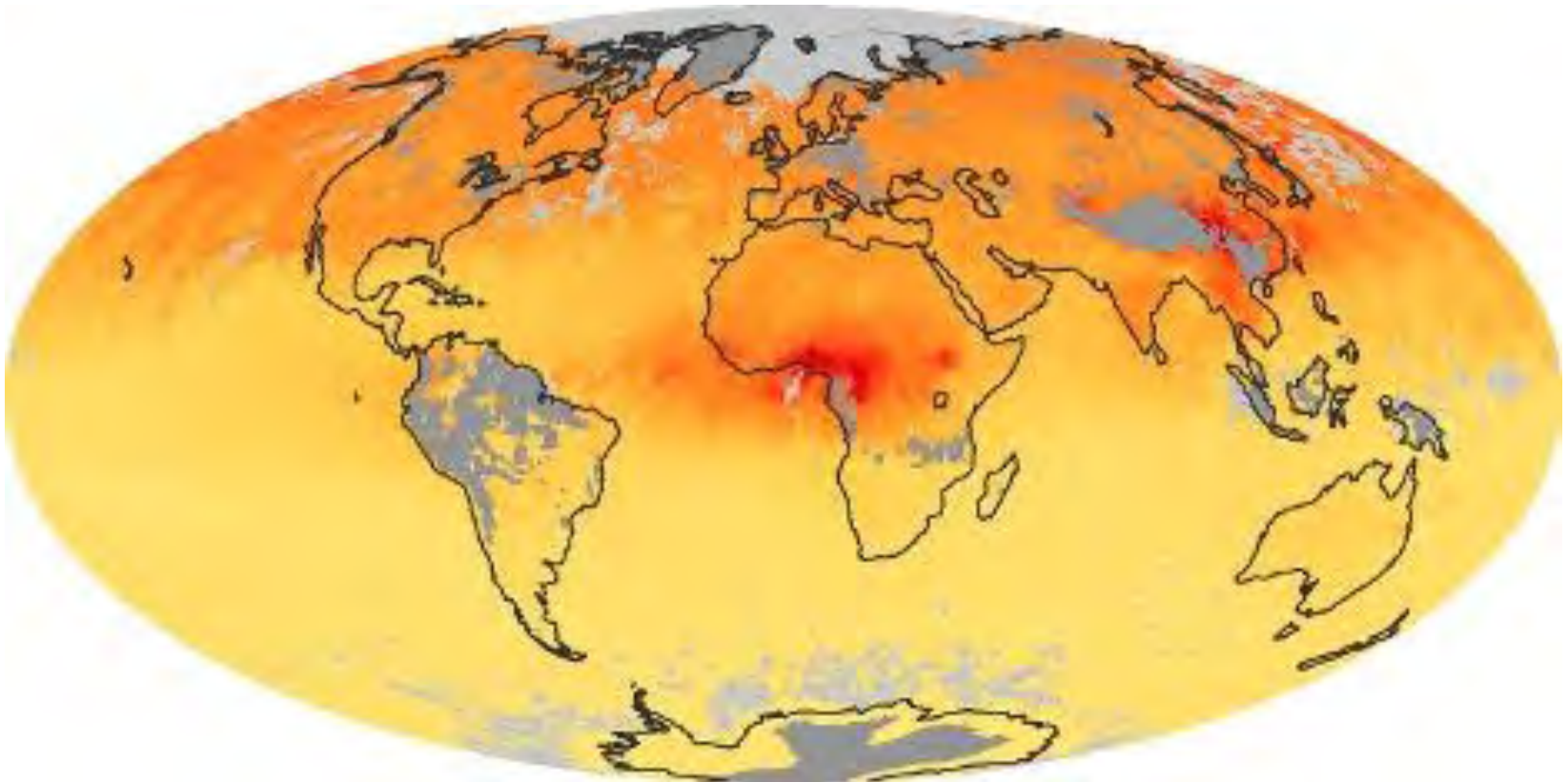
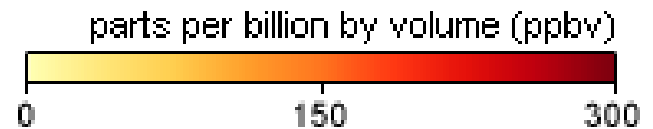
[*NMVOC – non-methane volatile organic compounds, неметановые летучие органические соединения]

Для всех этих веществ – мон(о)оксида углерода CO, NMVOC, диоксида азота NO₂, аммиака NH₄ и диоксида серы SO₂ – существуют и природные, естественные источники эмиссии.

Распределение CO в нижней тропосфере, февраль 2013 г.;

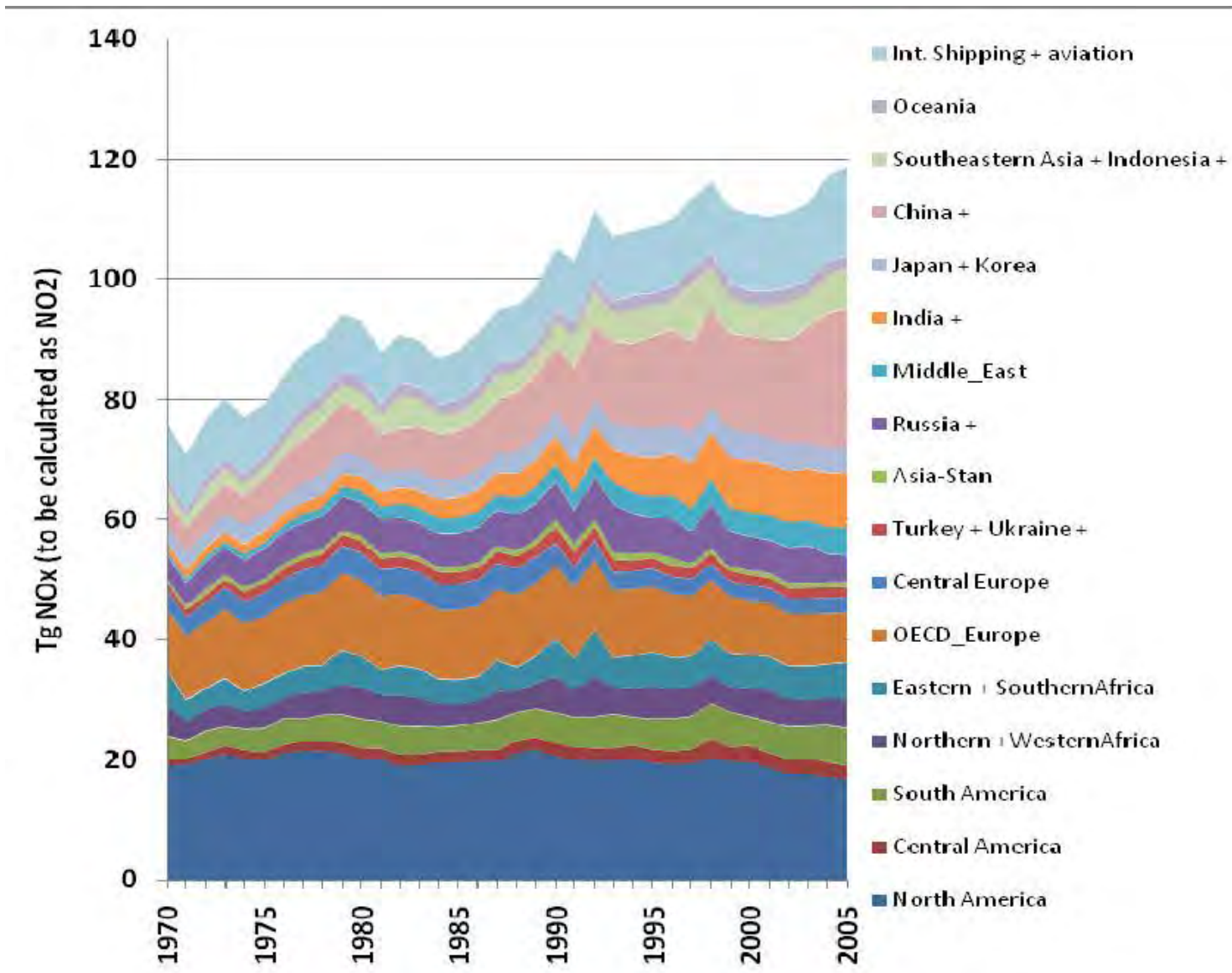
данные NASA, USA

http://earthobservatory.nasa.gov/GlobalMaps/view.php?d1=MOP_CO_M



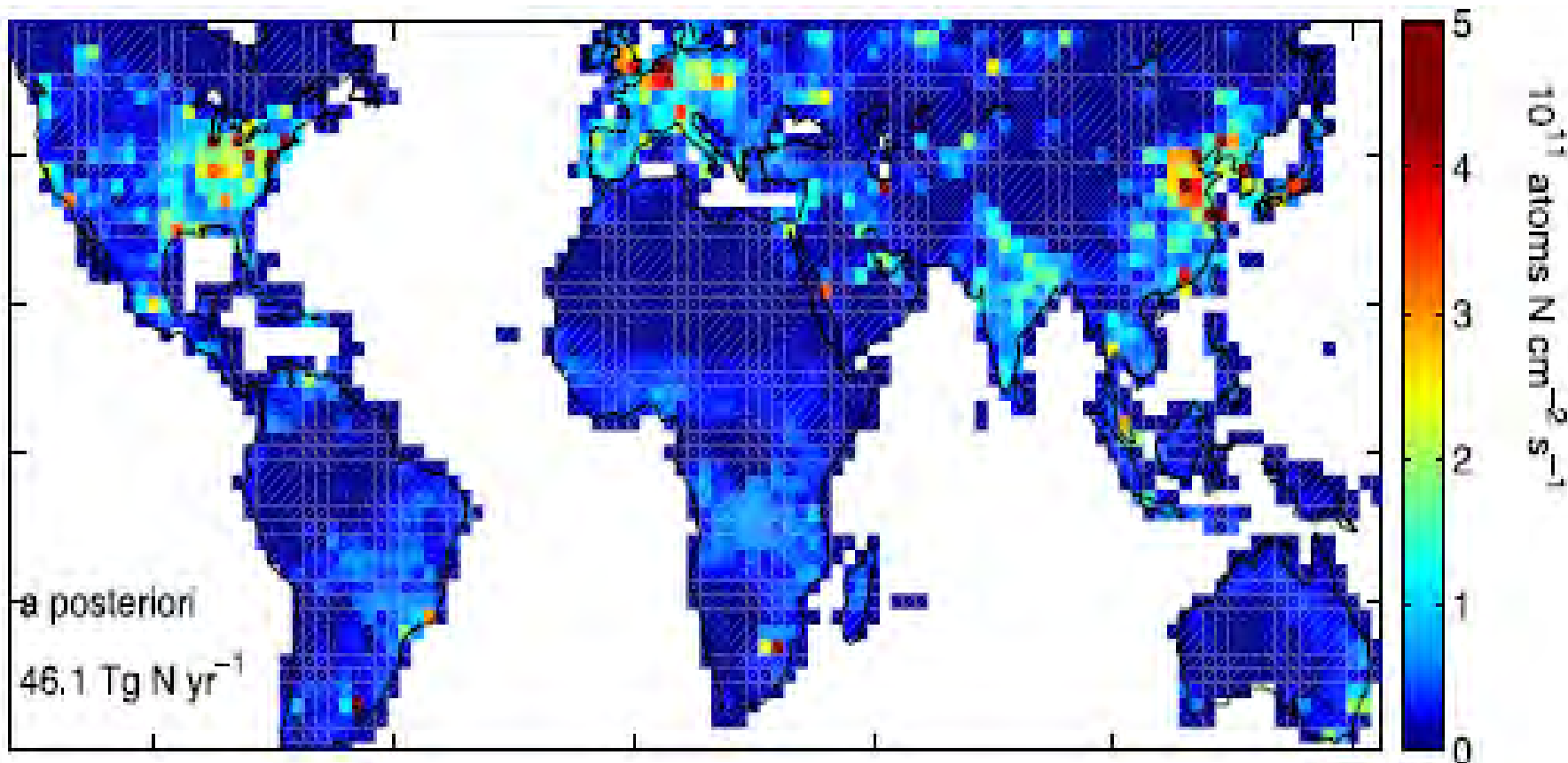
Суммарная антропогенная эмиссия NO_x по регионам в 1970-2005 гг.; Мт NO_2 / год;

http://edgar.jrc.ec.europa.eu/news_docs/July%2019_v2.pdf



Глобальное распределение по ячейкам 2 x 2.5 градуса эмиссии NO_x в мае 2004 г. – апреле 2005 г. : получено путем комбинации данных прямой инвентаризации выбросов из разных источников с данными, полученными обратным моделированием, исходя из спутниковых данных о содержании NO_2 в столбе атмосферы; 10^{11} атомов N $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ **Суммарная глобальная эмиссия: 46.1 Мт N / год.**

Martin, R. V., C. E. Sioris, K. Chance, T. B. Ryerson, T. H. Bertram, P. J. Wooldridge, R. C. Cohen, J. A. Neuman, A. Swanson, and F. M. Flocke (2006), Evaluation of space-based constraints on global nitrogen oxide emissions with regional aircraft measurements over and downwind of eastern North America, J. Geophys. Res., 111, D15308, doi:10.1029/2005JD006680.

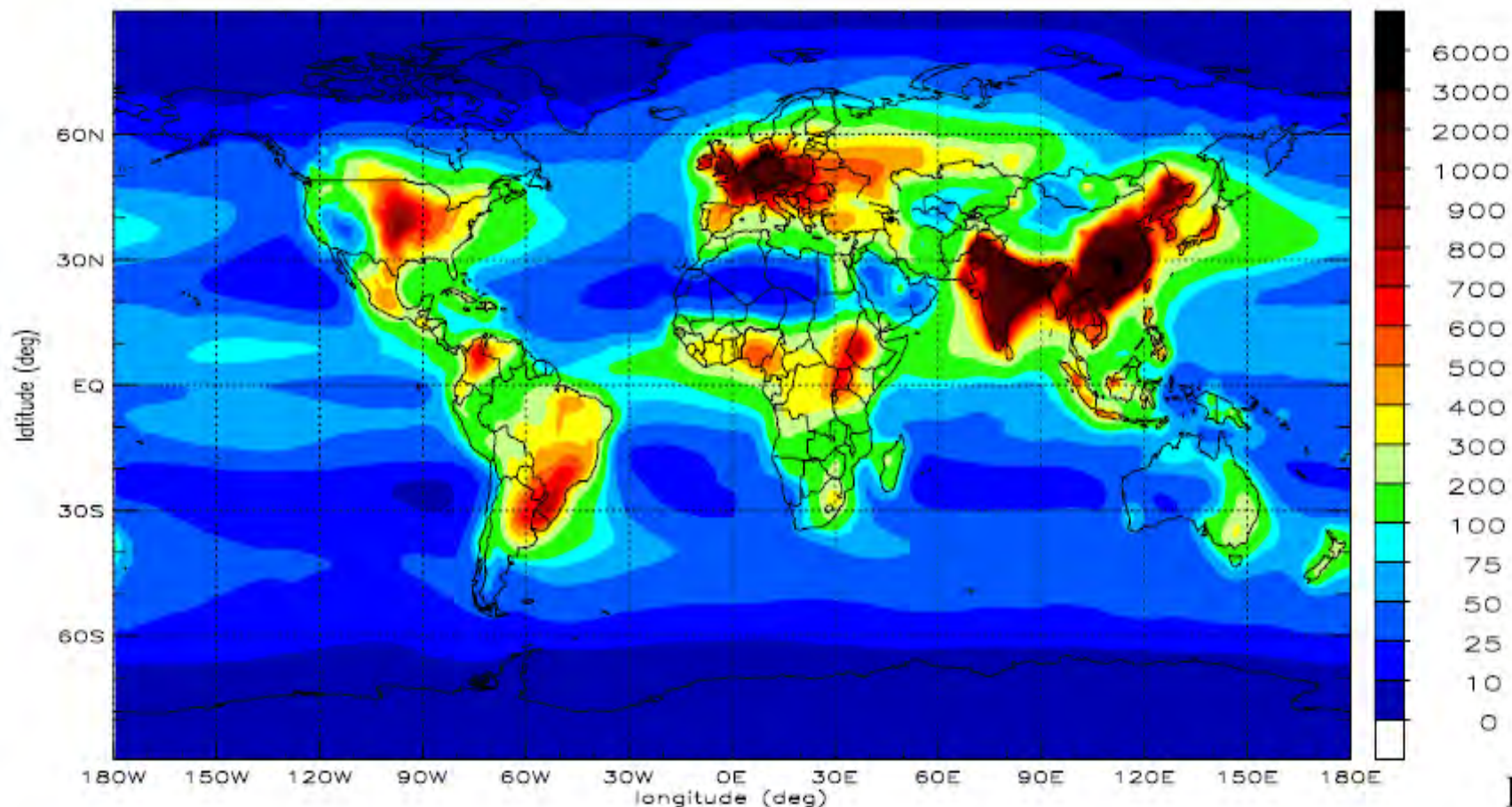


Распределение выпадений NO_y в 2000 г. в $\text{мг(N)} \text{ м}^{-2} \text{ год}^{-1}$; рассчитано для сетки 1 x 1 градус

(Dentener, F., et al. (2006), Nitrogen and sulfur deposition on regional and global scales: A multimodel evaluation, Global Biogeochem. Cycles, 20, GB4003, doi:10.1029/2005GB002672.).

$\text{NO}_y = \text{NO} + \text{NO}_2 + \text{HNO}_3 + \text{HNO}_4 + \text{NO}_3 + 2\text{xN}_2\text{O}_5 + \text{PAN} + \text{органические нитраты}$

[PAN - пероксиацетилнитрат]

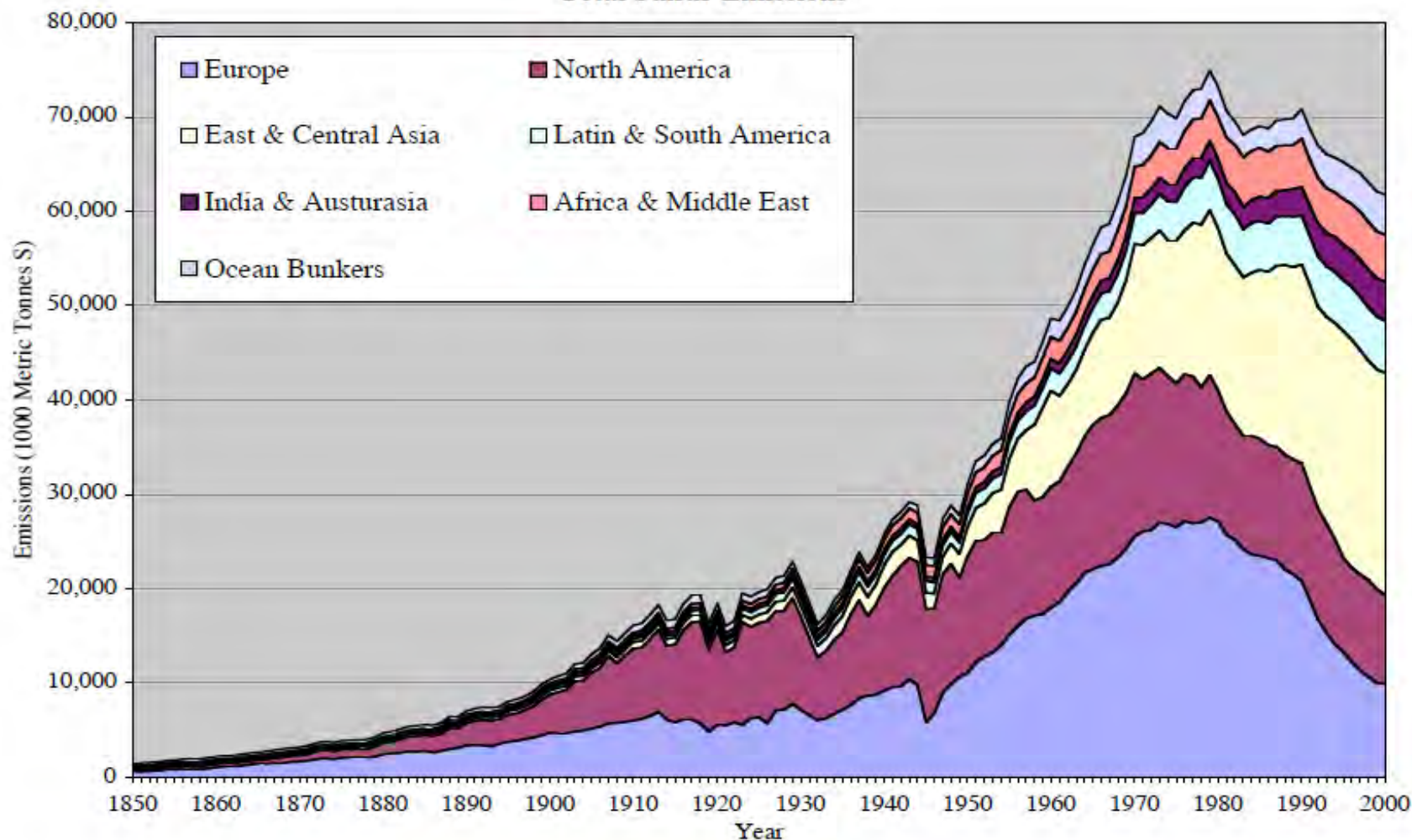


Глобальная эмиссия SO₂: в 1850-2000 гг., распределение по регионам: Кт S / год.

Historical Sulfur Dioxide Emissions 1850-2000: Methods and Results

S.J. Smith, E. Conception, R. Andres, J. Lurz. 2004. Prepared for the U.S. Department of Energy under Contract DE-AC06-76RL01830

Total Sulfur Emissions



Пространственное распределение эмиссий SO_2 в 1990 г.; Тг S / год

S.J. Smith et al. Global and Planetary Change 29 (2001) 99–119

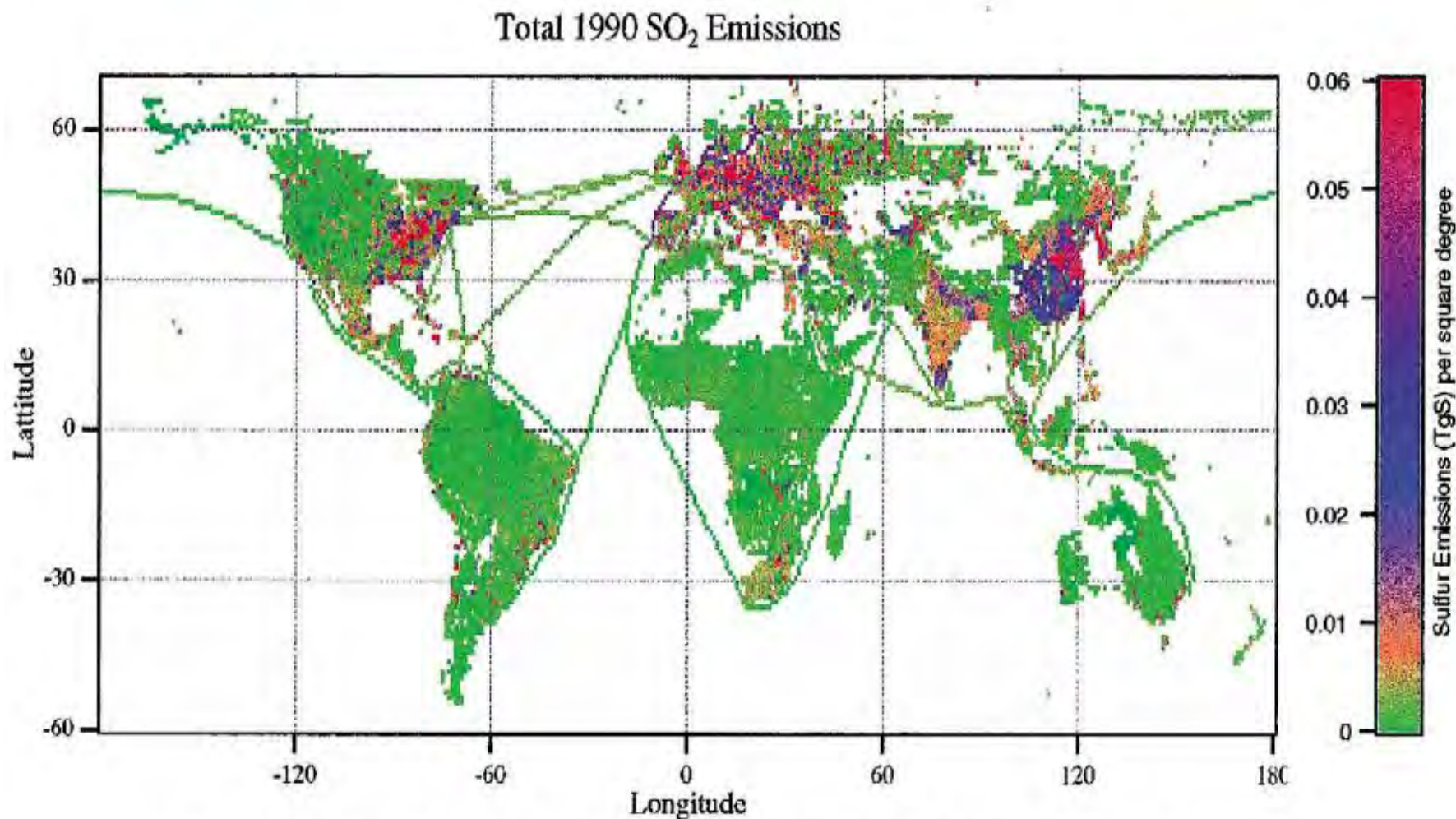
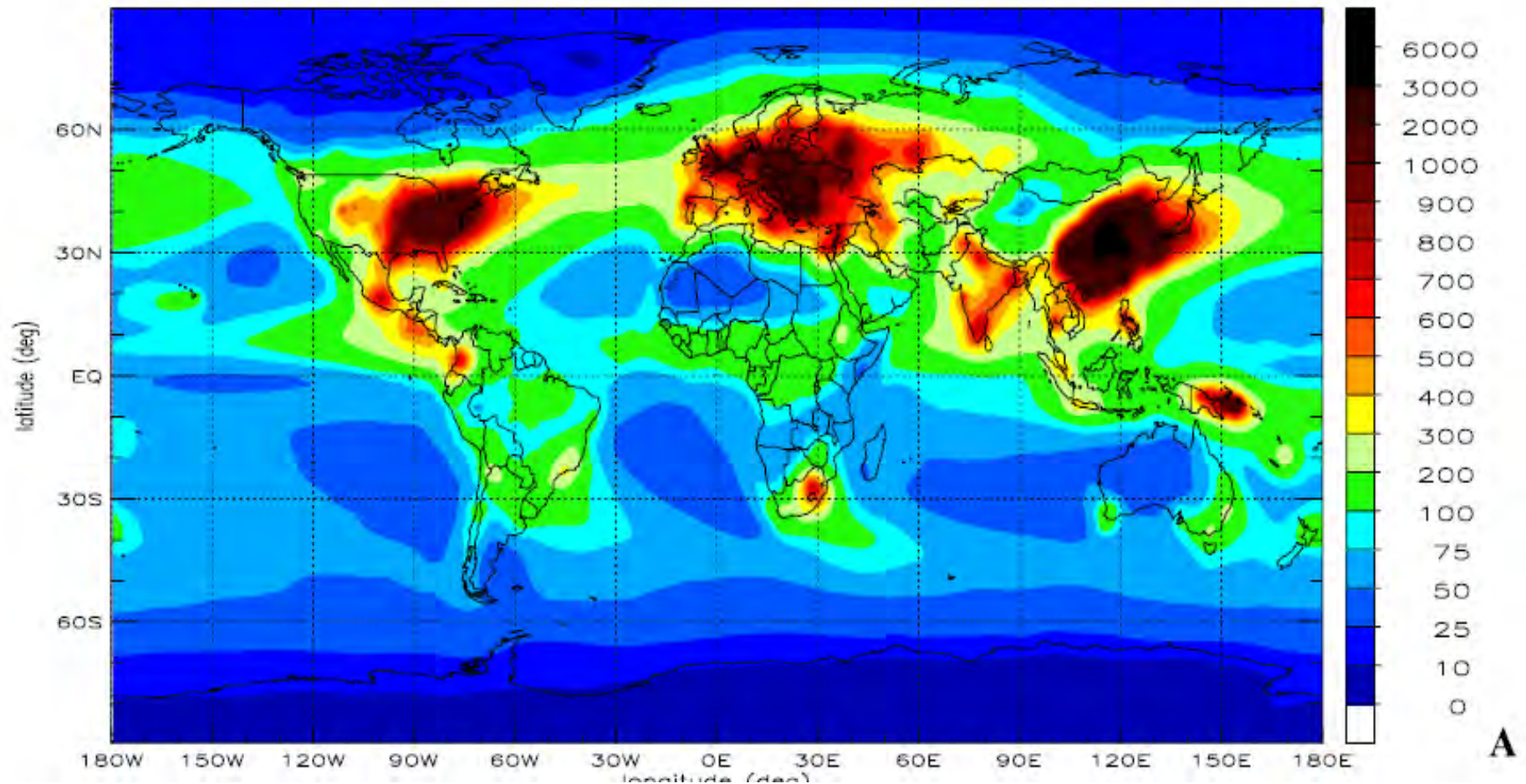


Fig. 2. Total 1990 sulfur dioxide emissions shown on a global grid as described in the text (Section 4).

Распределение выпадений SO_x в 2000 г. в $\text{мг(S)} \text{ м}^{-2} \text{ год}^{-1}$; рассчитано для сетки 1 x 1 градус; $\text{SO}_x (= \text{SO}_2 + \text{SO}_4^{2-})$

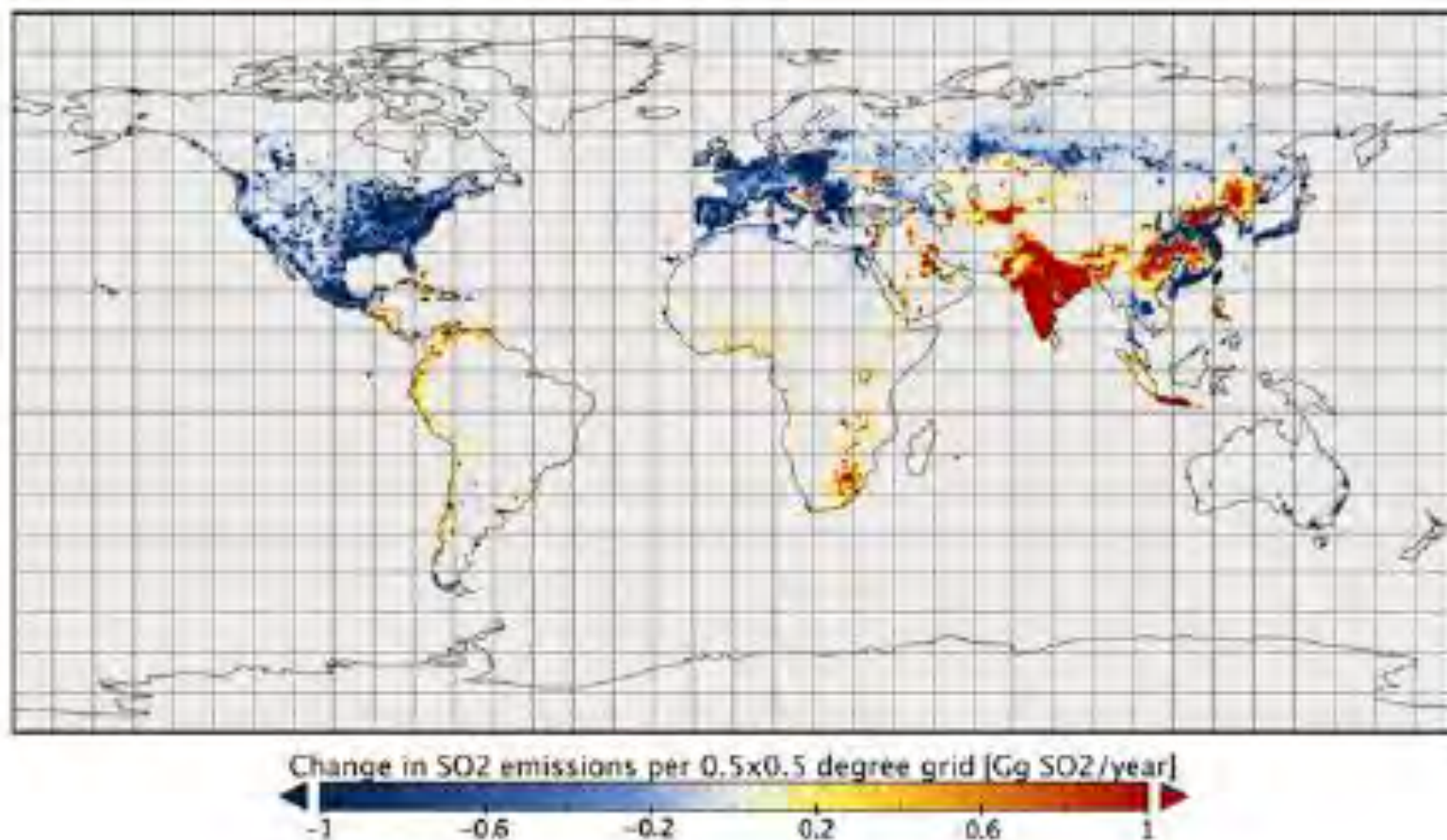
Dentener, F., et al. (2006), Nitrogen and sulfur deposition on regional and global scales: A multimodel evaluation, Global Biogeochem. Cycles, 20, GB4003, doi:10.1029/2005GB002672.



Изменение эмиссий SO_2 на суше в ячейках 0.5×0.5 градусов в 2010 г. по сравнению с 2005 г.; Кт SO_2 / год

The last decade of global anthropogenic sulfur dioxide: 2000–2011 emissions.

Z. Klimont, S. J. Smith and J. Cofala. Environ. Res. Lett. 8 (2013) 014003 (6 pp)



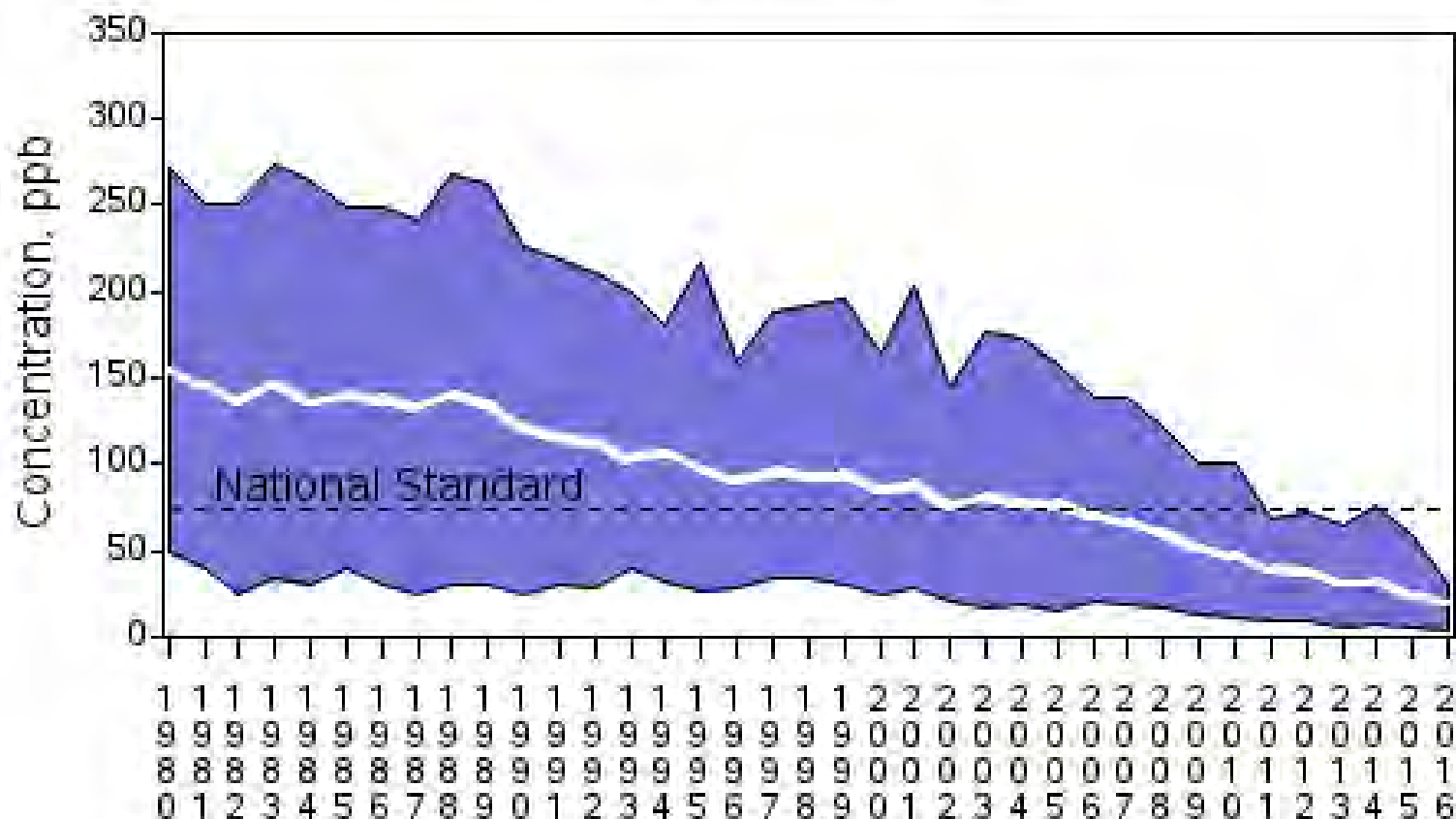
Концентрация SO₂ в США в 1980-2016 гг.,

<https://www.epa.gov/air-trends/sulfur-dioxide-trends>

SO₂ Air Quality, 1980 - 2016

(Annual 99th Percentile of Daily Max 1-Hour Average)

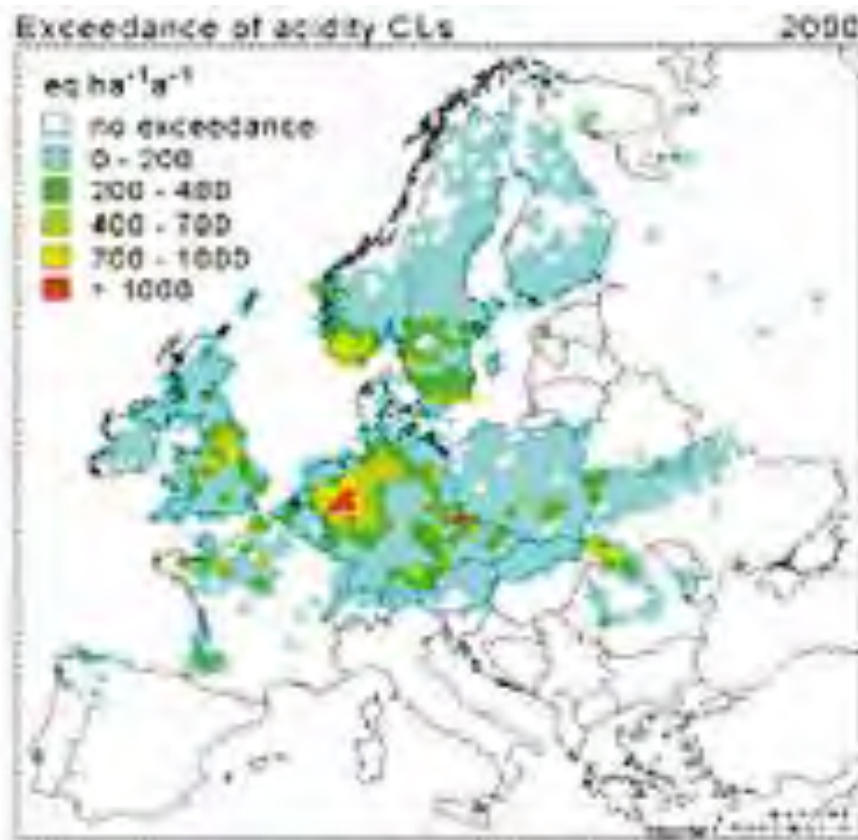
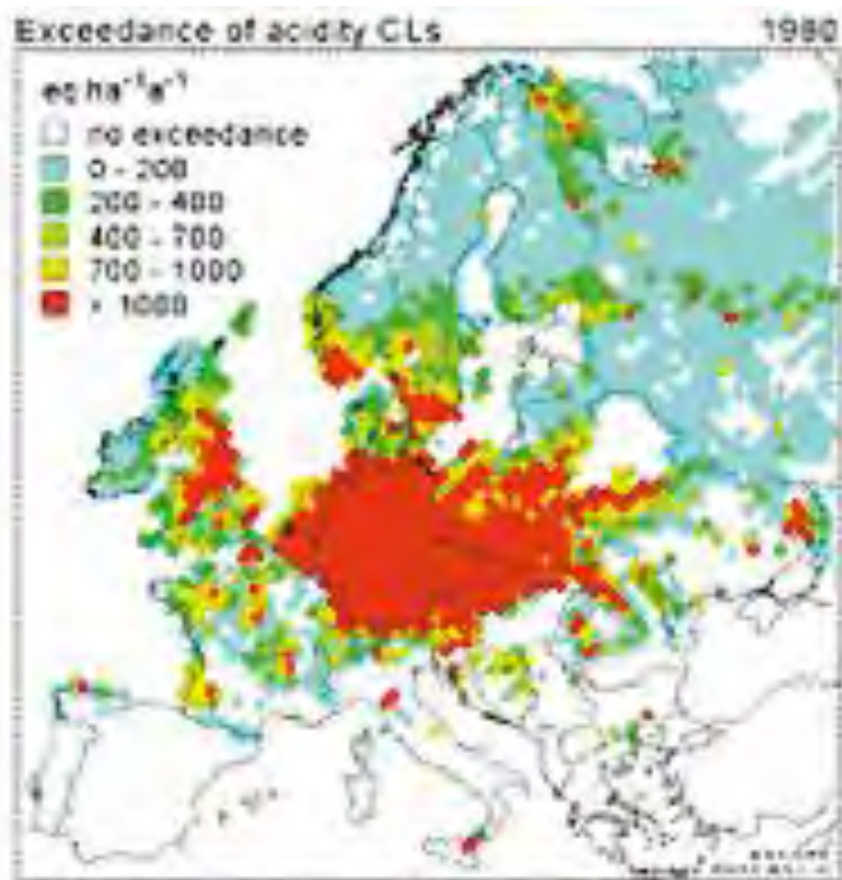
National Trend based on 42 Sites



1980 to 2016 : 87% decrease in National Average

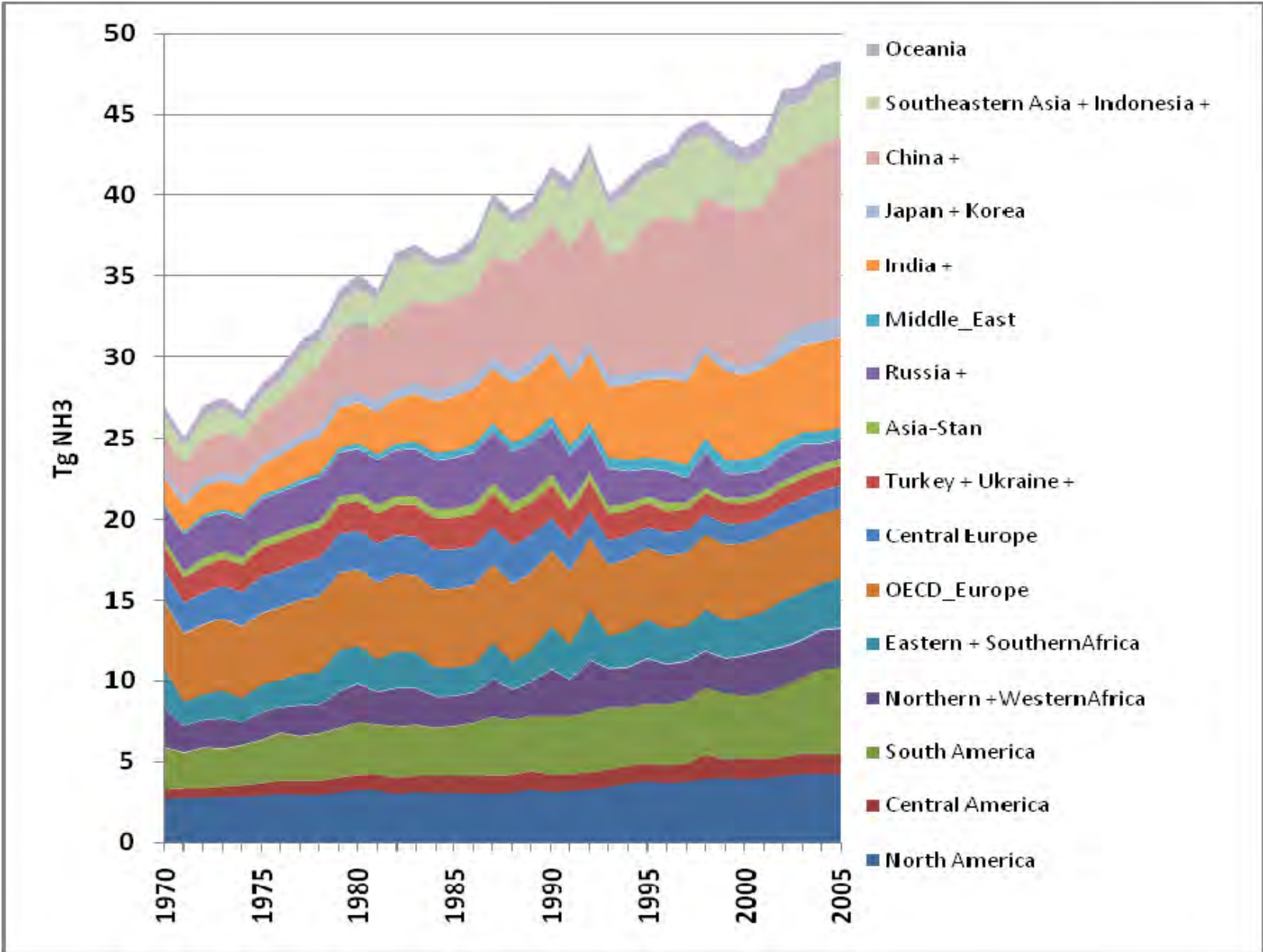
Превышение критических нагрузок по кислотным выпадениям, связанным с серой и азотом, в Европе в 1980 и 2000 годах,

http://emep.int/publ/reports/2004/assessment/Part1_025-056_02-Sulphur.pdf



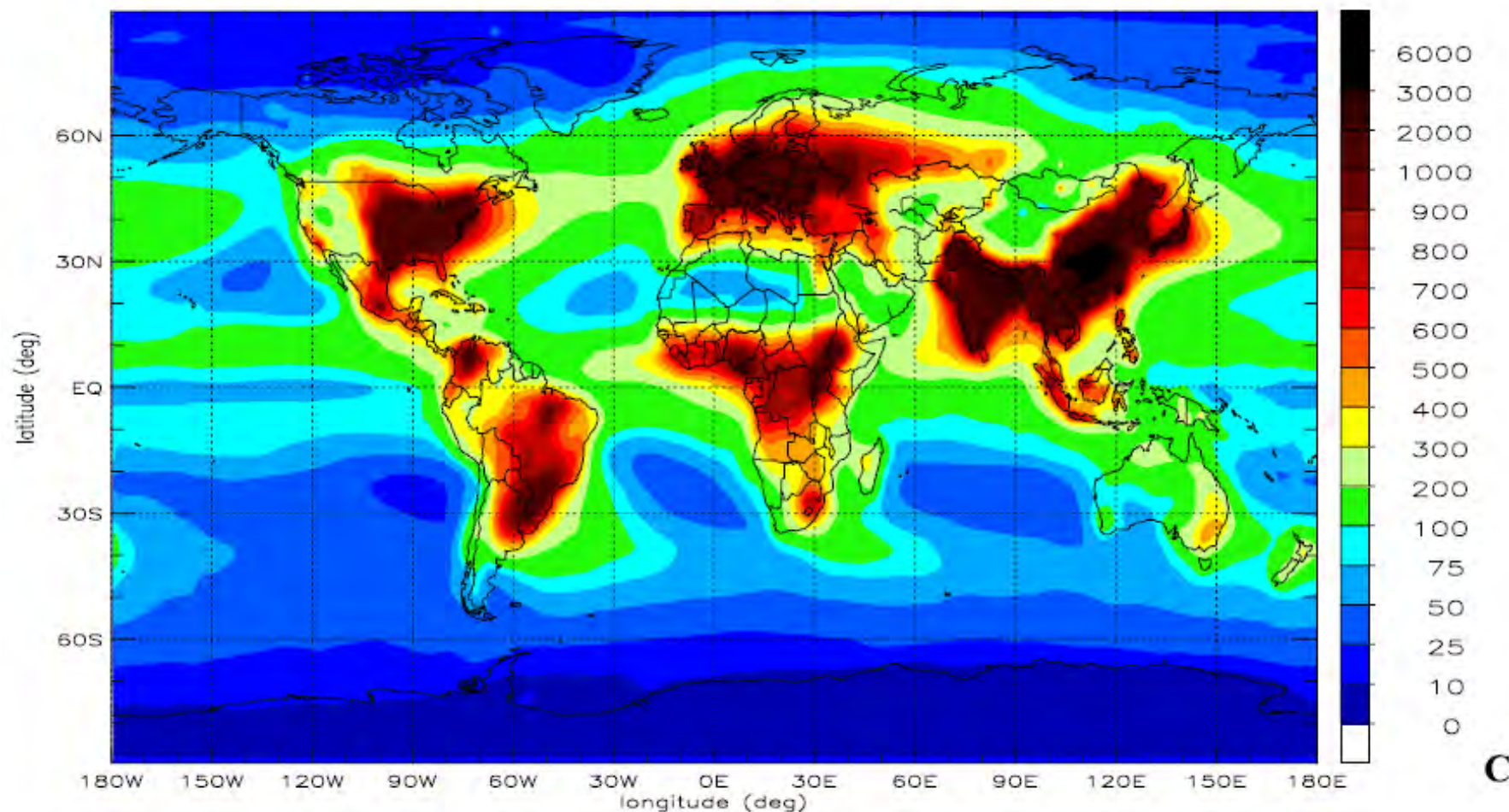
Глобальные эмиссии NH₃ по регионам в 1970 – 2005 гг.; Мт NH₃ / год

http://edgar.jrc.ec.europa.eu/news_docs/July%2019_v2.pdf



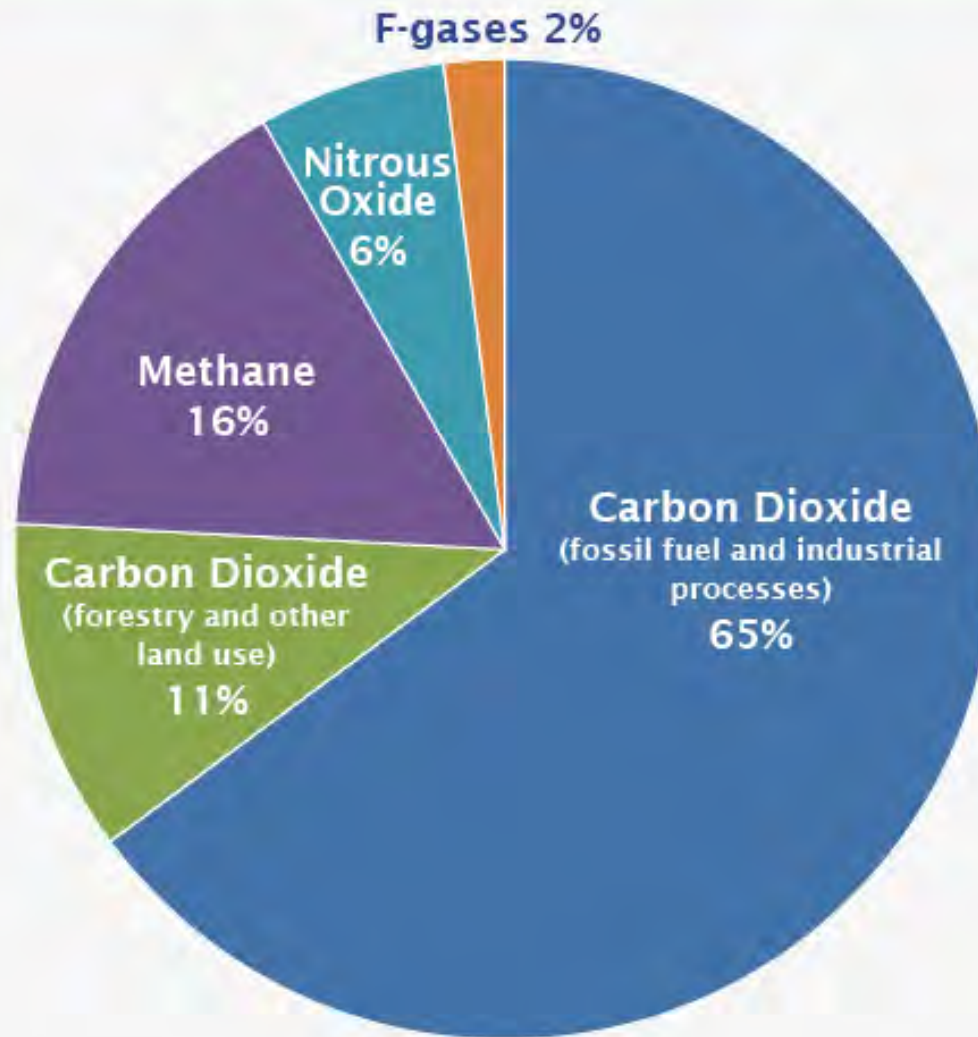
**Распределение выпадений NH_x в 2000 г. в $\text{мг(N)} \text{ м}^{-2} \text{ год}^{-1}$;
рассчитано для сетки 1 x 1 градус (Dentener, F., et al. (2006), Nitrogen and sulfur
deposition on regional and global scales: A multimodel evaluation, Global Biogeochem. Cycles, 20,
GB4003, doi:10.1029/2005GB00).**

$\text{NH}_x = \text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$ [т.е. аммиак и аммоний]



ПАРНИКОВЫЕ ГАЗЫ

Global Greenhouse Gas Emissions by Gas



Углекислый газ (CO_2): Ископаемые топлива (уголь, нефть, газ) и производство цемента – основной антропогенный источник этого газа. CO_2 также выделяется при прямых антропогенных воздействиях в лесном хозяйстве и при других видах землепользования (например, при сведении лесов, в том числе для целей сельского хозяйства, вследствие деградации почв). CO_2 может изыматься из атмосферы при восстановлении лесов, улучшении состояния почв и других процессах.

Метан (CH_4): Выделяется, в том числе, при ведении сельского хозяйства, переработке отходов, использовании энергии, сжигании биомассы.

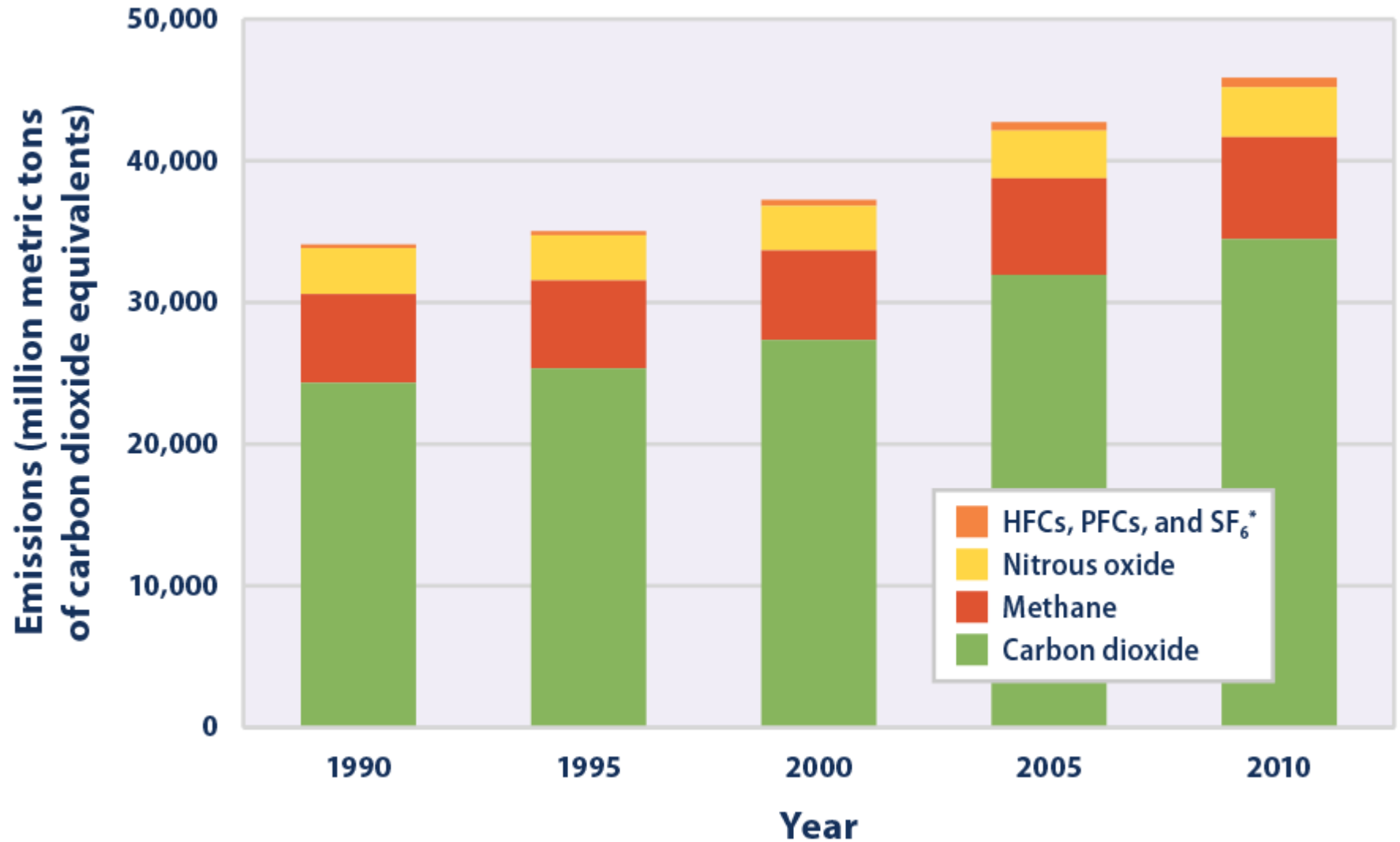
Закись азота (N_2O): Выделяется, в том числе, при ведении сельского хозяйства (например, при использовании некоторых удобрений), при использовании установок внутреннего сгорания.

Фторсодержащие газы: Источники - процессы промышленного производства, криогенные процессы, использование множества товаров широкого потребления технологии. Основные вещества - гидрофторуглероды (HFCs), перфторуглероды (PFCs), гексафторид серы (SF_6).

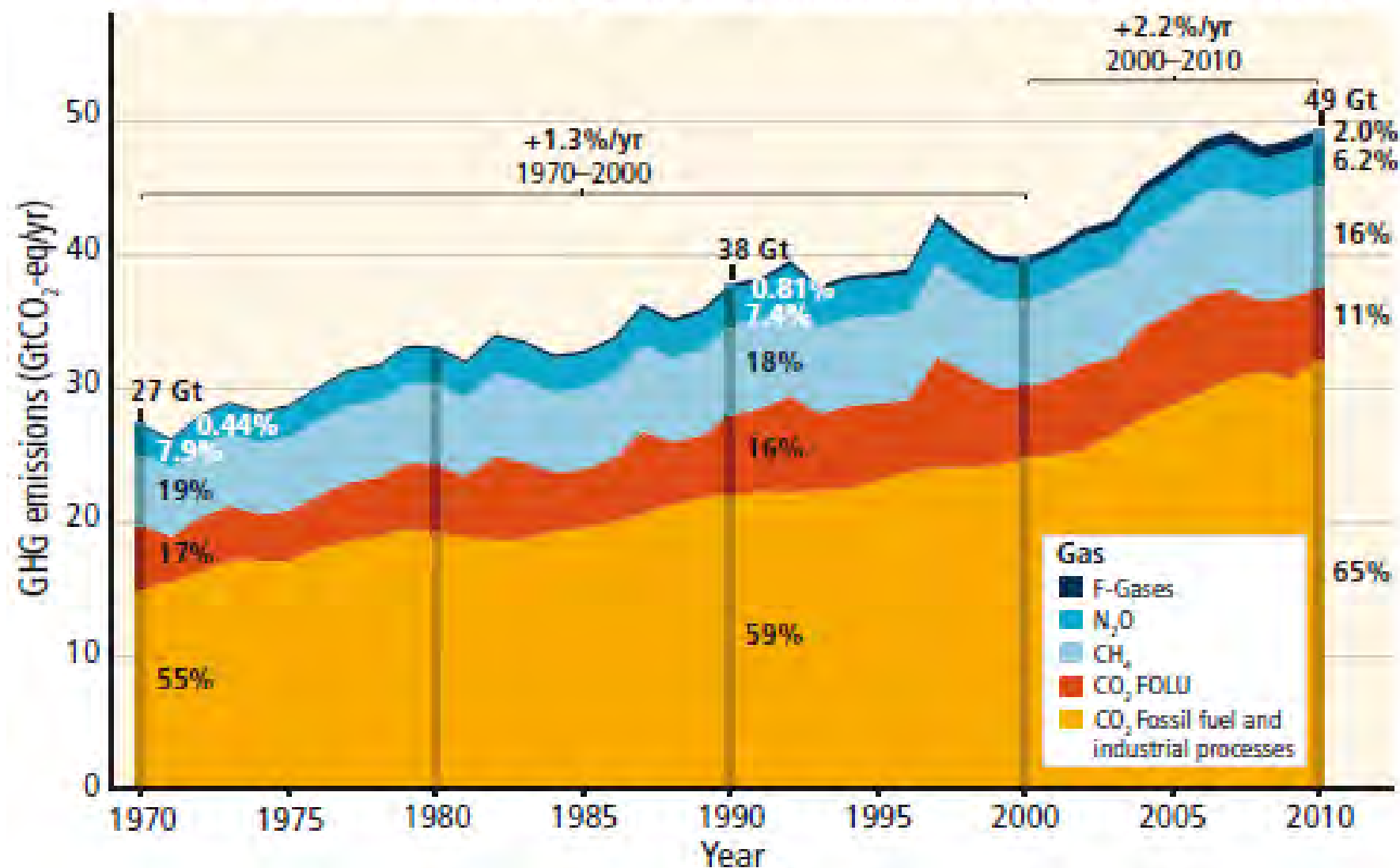
Площадь мировых биомов и глобальное содержание углерода в растениях и верхнем слое почвы глубиной 1 м из (LULUCF, 2000, с. 31); основано на (WBGU, 1998); значение плотности содержания углерода для мировых биомов – расчетная оценка.

Биом	Площадь, млн км ²	Содержание углерода: числитель - общее в Гт(С), знаменатель - плотность в Гт(С) (млн км ²) ⁻¹		
		в растениях	в почве	всего
Тропические леса	17,6	212 / 12,0	216 / 12,3	428 / 24,3
Леса умеренной зоны	10,4	59 / 5,7	100 / 9,6	159 / 15,3
Северные леса	13,7	88 / 6,4	471 / 34,4	559 / 40,8
Тропические саванны	22,5	66 / 2,9	264 / 11,7	330 / 14,7
Луга умеренной зоны	12,5	9 / 0,7	295 / 23,6	304 / 24,3
Пустыни и полупустыни	45,5	8 / 0,2	191 / 4,2	199 / 4,4
Тундра	9,5	6 / 0,6	121 / 12,7	127 13,4
Заболоченные земли	3,5	15 / 4,3	225 / 64,3	240 / 68,6
Пахотные земли	16,0	3 / 0,2	128 / 8,0	131 / 8,2
Суммарно	151,2	466 / 3,1	2011 / 13,3	2477 / 16,4

Глобальные эмиссии диоксида углерода, метана, закиси азота и фторсодержащих парниковых газов в 1990-2010 гг. (WRI (World Resources Institute). 2014. Climate Analysis Indicators Tool (CAIT) 2.0: WRI's climate data explorer. Accessed May 2014. <http://cait.wri.org>; FAO (Food and Agriculture Organization). 2014. FAOSTAT: Emissions—land use. Accessed May 2014. http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/download/G2/*E)



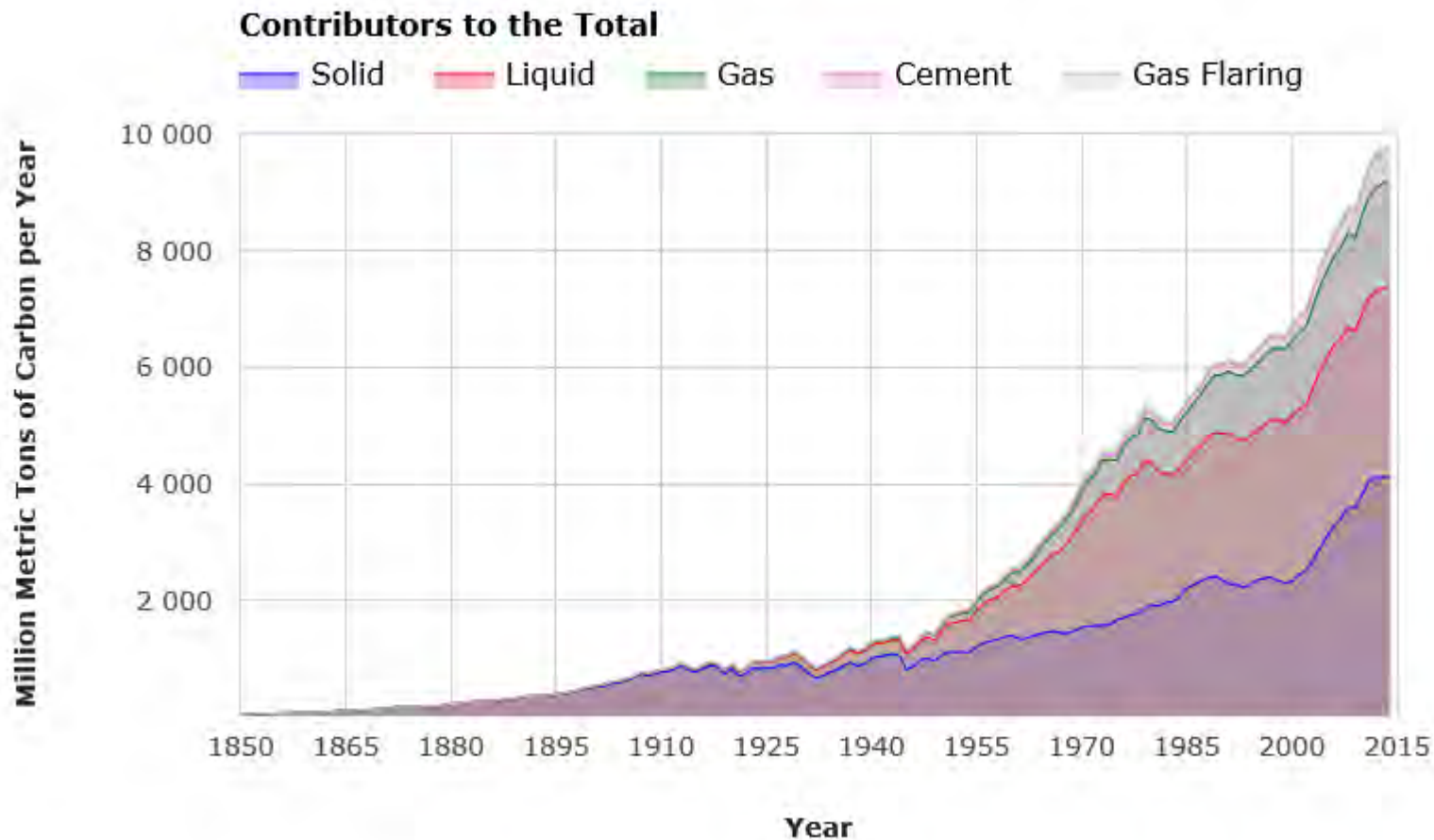
Total annual anthropogenic GHG emissions by gases 1970–2010



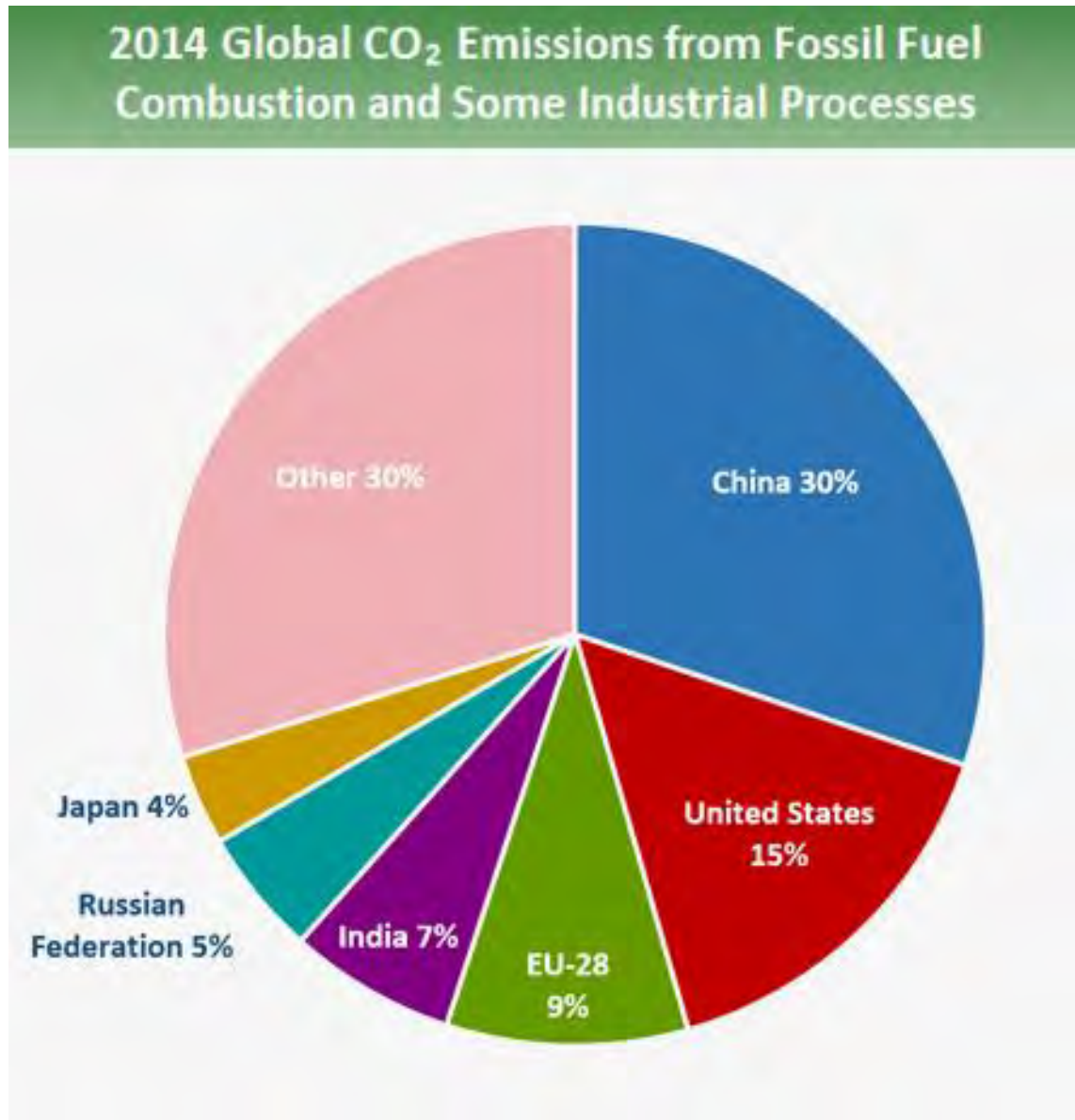
Суммарные годовые эмиссии ПГ (ГтСО₂экв /год) в 1970 – 2010 гг.: СО₂ от процессов сгорания и промышленности, СО₂ от лесного хозяйства и других видов землепользования (FOLU); метан (CH₄); закись азота (N₂O); хлорированные газы, подпадающие под условия Киотского протокола.

Глобальные эмиссии CO₂ от сжигания ископаемого топлива и попутного газа, а также производства цемента, 1900-2010 гг., Мт(с)

Boden, T.A., Marland, G., and Andres, R.J. (2017). Global, Regional, and National Fossil-Fuel CO₂Emissions. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A. doi 10.3334/CDIAC/00001_V2017.

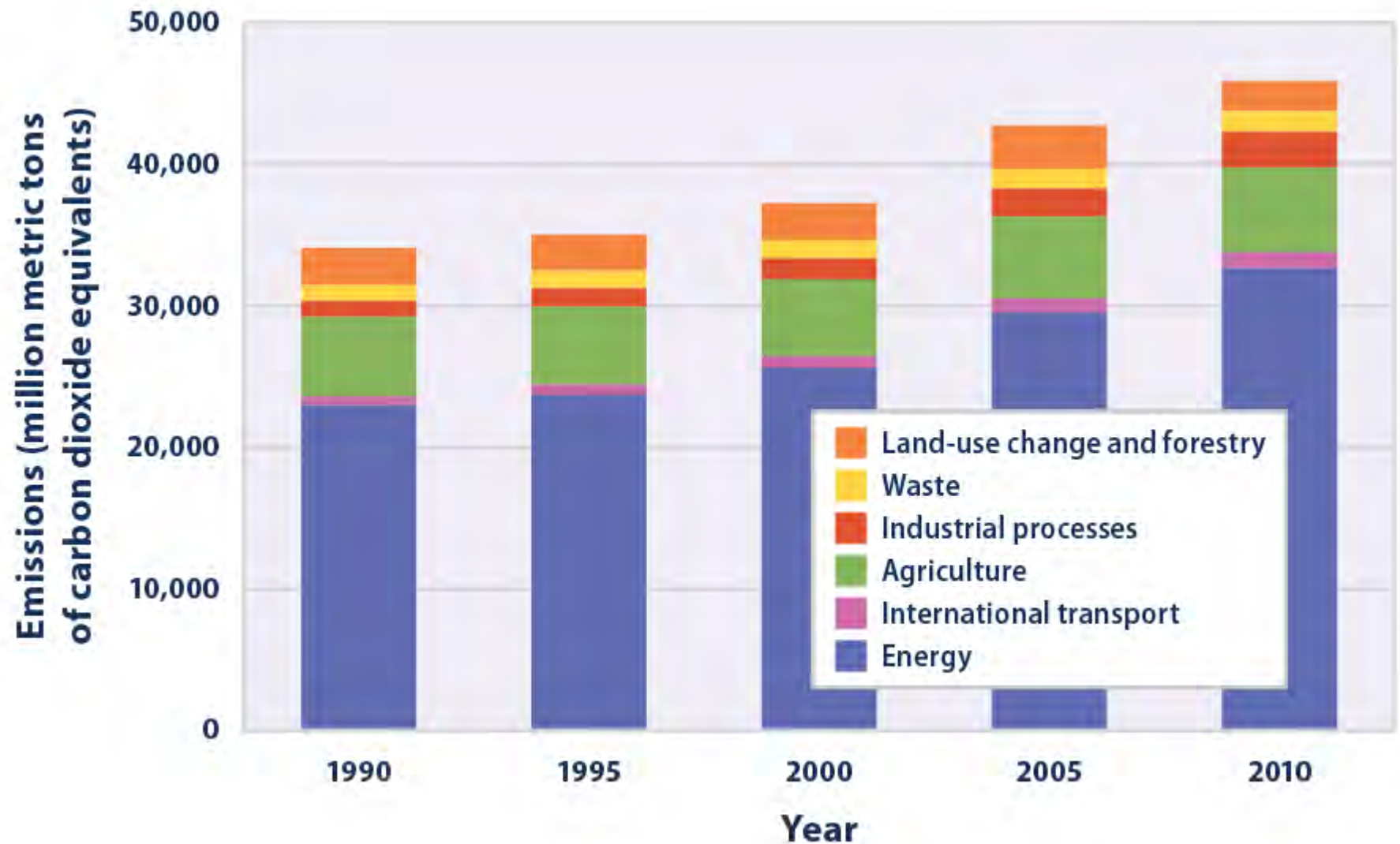


Boden, T.A., Marland, G., and Andres, R.J. (2017). [National CO₂ Emissions from Fossil-Fuel Burning, Cement Manufacture, and Gas Flaring: 1751-2014](#), Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, doi 10.3334/CDIAC/00001_V2017



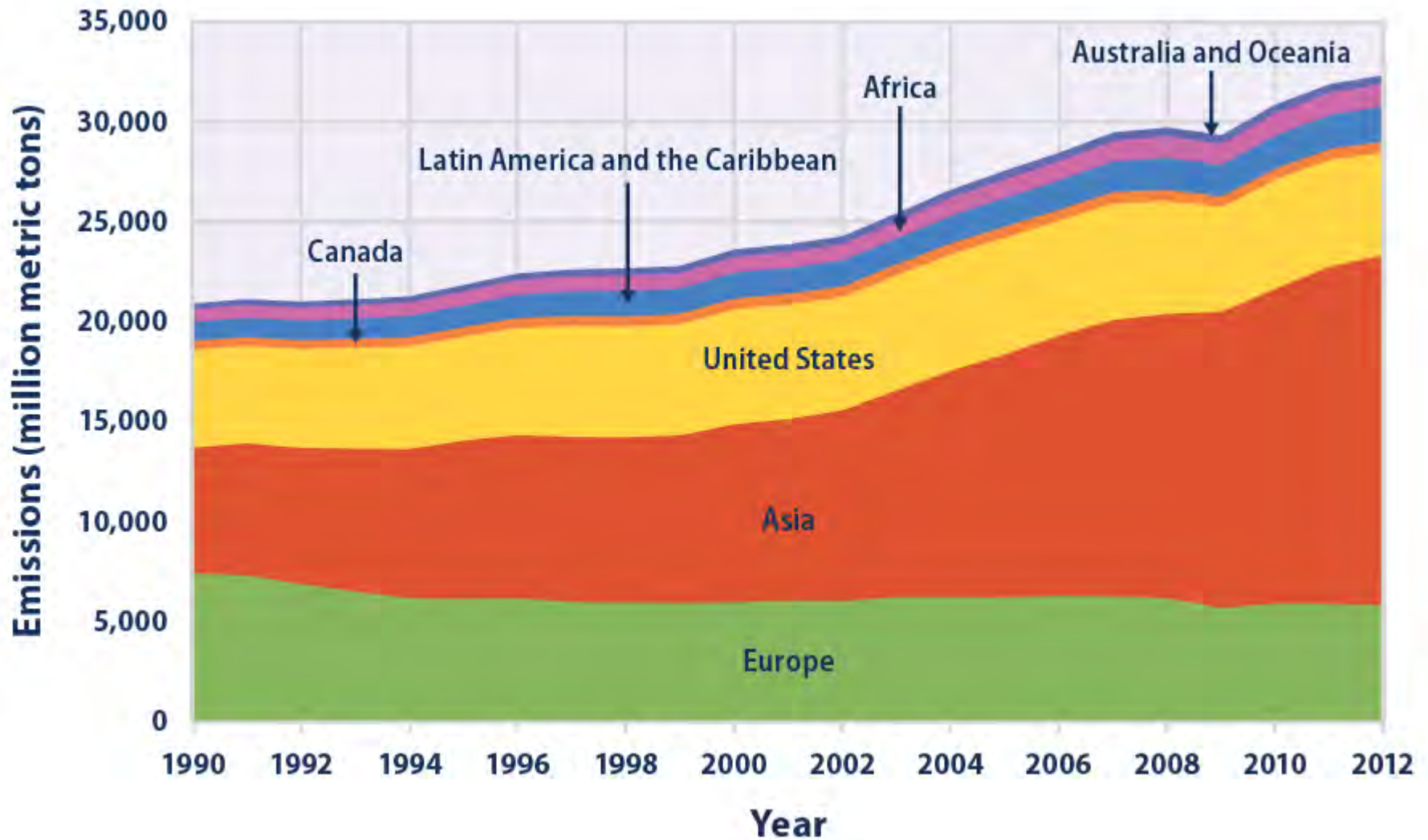
Глобальные эмиссии парниковых газов по секторам в 1990-2010 гг.

(WRI (World Resources Institute). 2014. Climate Analysis Indicators Tool (CAIT) 2.0: WRI's climate data explorer. Accessed May 2014. <http://cait.wri.org>;
FAO (Food and Agriculture Organization). 2014. FAOSTAT: Emissions—land use. Accessed May 2014. http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/download/G2/*E) <https://www.epa.gov/climate-indicators/climate-change-indicators-global-greenhouse-gas-emissions>

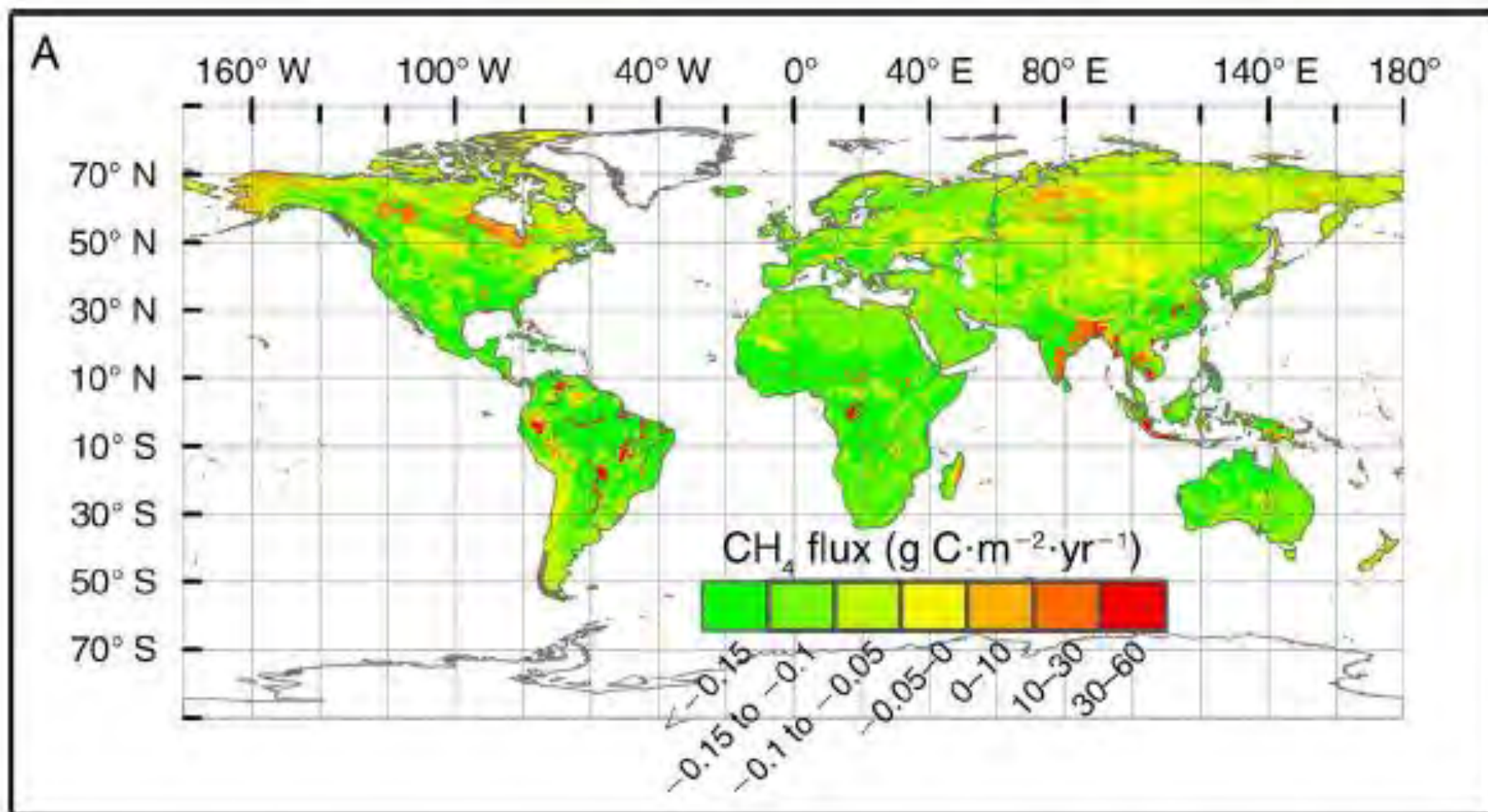


Глобальные эмиссии парниковых газов по регионам в 1990-2012 гг.

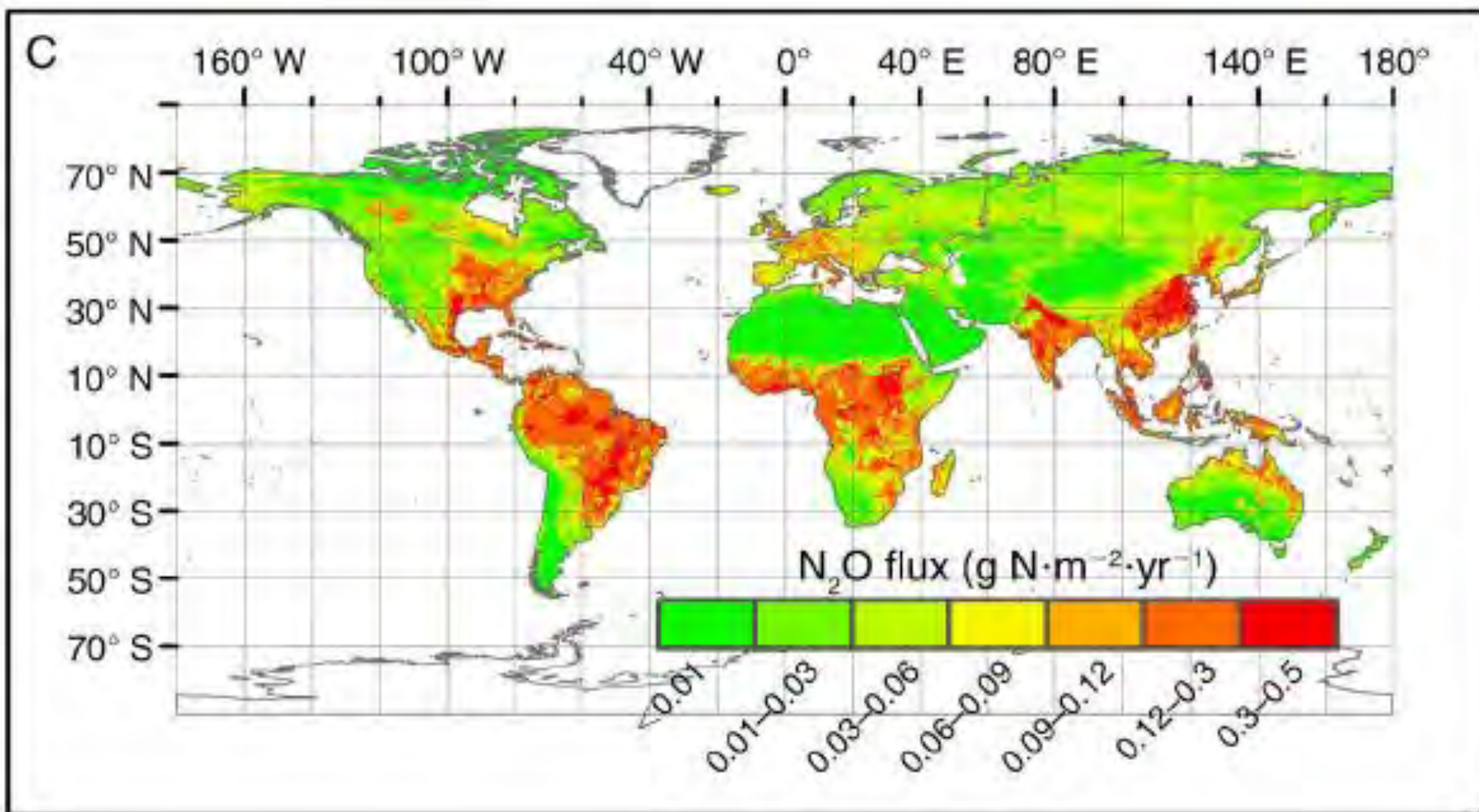
(WRI (World Resources Institute). 2015. Climate Analysis Indicators Tool (CAIT) 2.0: WRI's climate data explorer. Accessed December 2015. <http://cait.wri.org>)



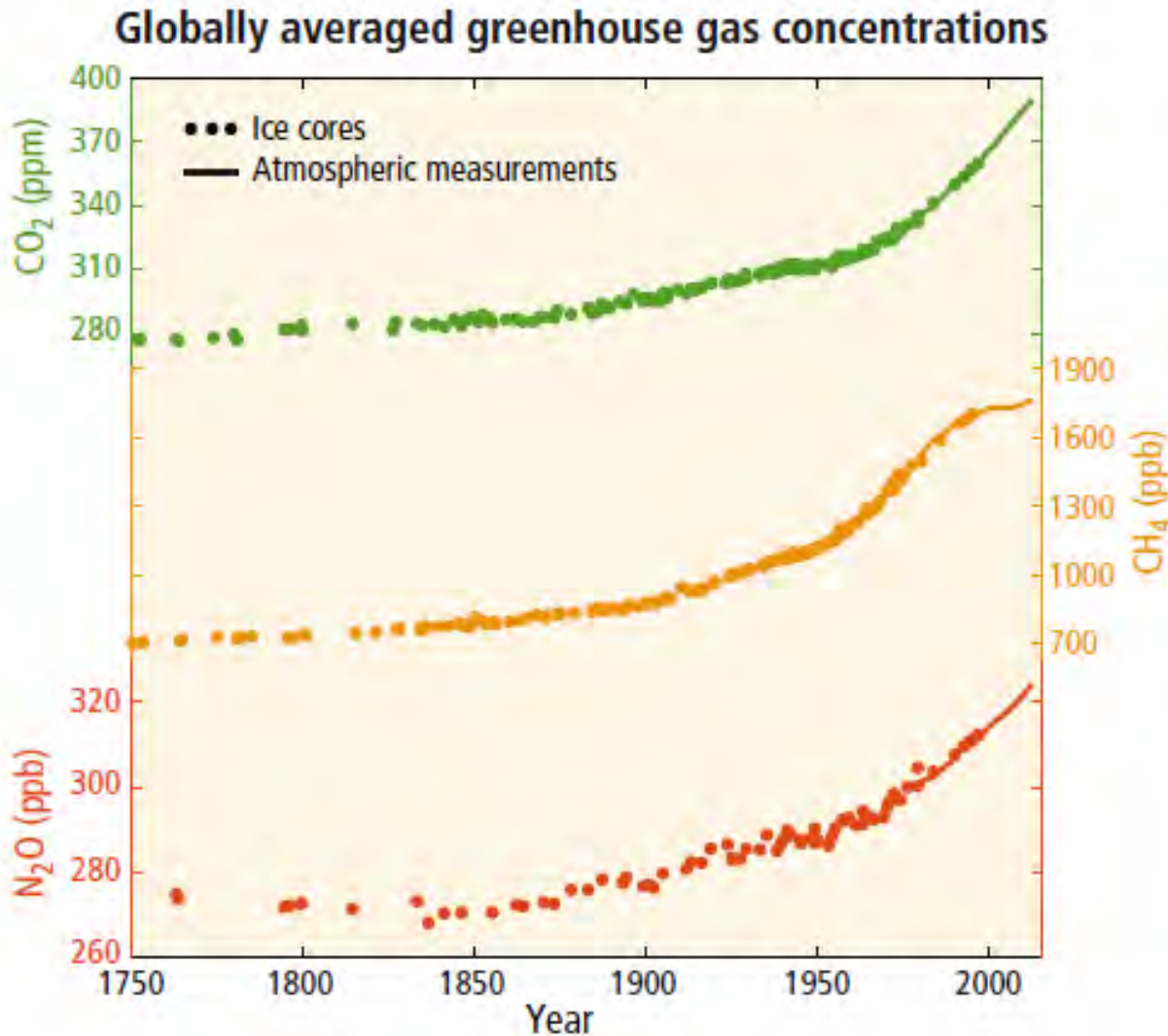
Пространственное распределение эмиссий CH_4 в 1981-2010 гг. из наземных экосистем (результат расчета, Tian, H., et al. 2015. Global methane and nitrous oxide emissions from terrestrial ecosystems due to multiple environmental changes. Ecosystem Health and Sustainability 1(1):4. <http://dx.doi.org/10.1890/EHS14-0015.1>). В 1981-2010 гг. глобально 144.39 ± 12.90 Мт С/год, тренд 0.43 ± 0.06 Мт С/год.



Пространственное распределение эмиссий N_2O в 1981-2010 гг. из наземных экосистем (результат расчета, Tian, H., et al. 2015. Global methane and nitrous oxide emissions from terrestrial ecosystems due to multiple environmental changes. *Ecosystem Health and Sustainability* 1(1):4. <http://dx.doi.org/10.1890/EHS14-0015.1>**)**. В 1981-2010 гг. глобально 12.52 ± 0.74 Мт N/год, тренд 0.14 ± 0.02 N/год.



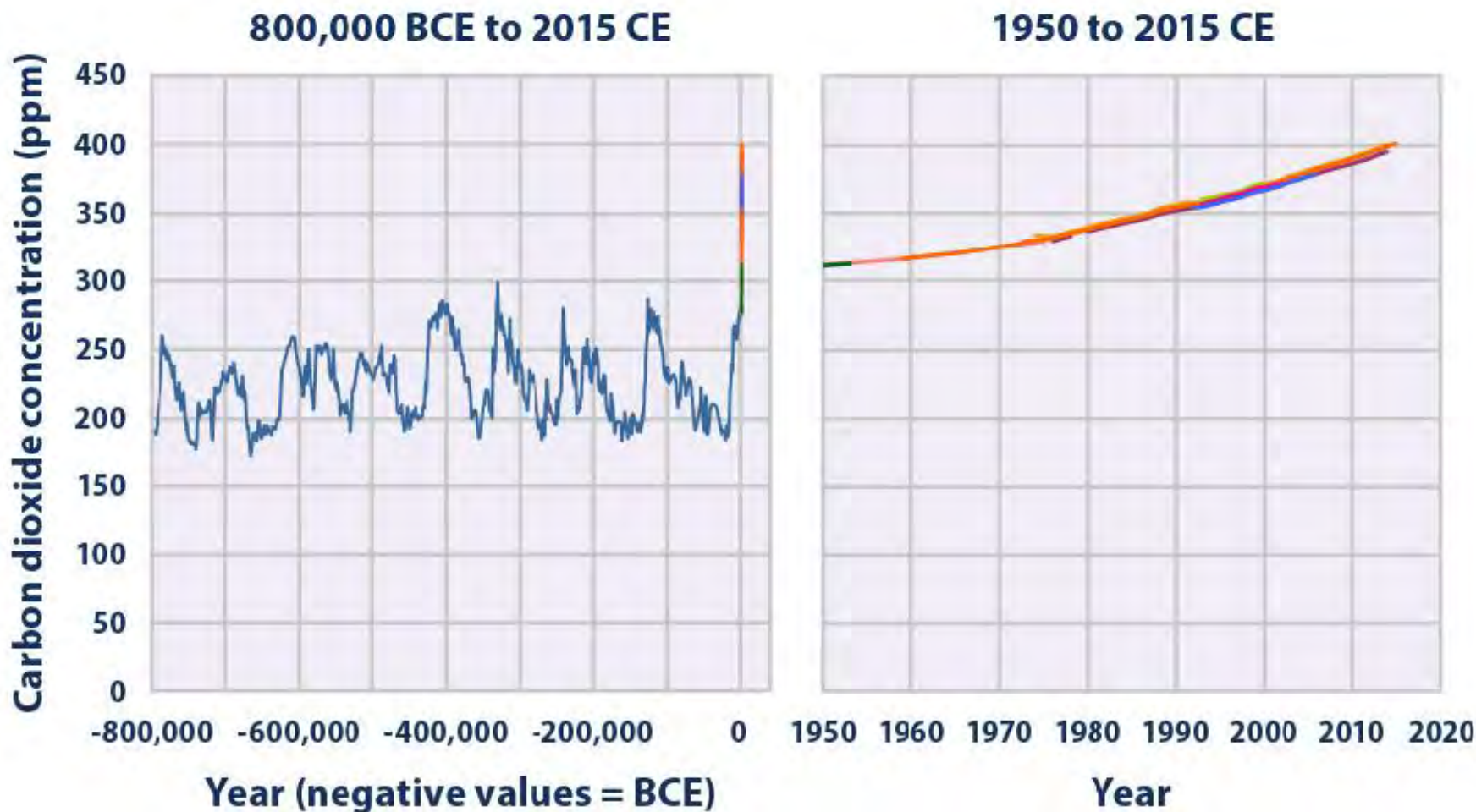
Средние глобальные концентрации CO_2 , CH_4 и N_2O



Обогащение атмосферы парниковыми газами (AR5 WG1 SPM) в результате антропогенных эмиссий. Создает условия для усиления парникового эффекта и потеплению в приповерхностном слое.

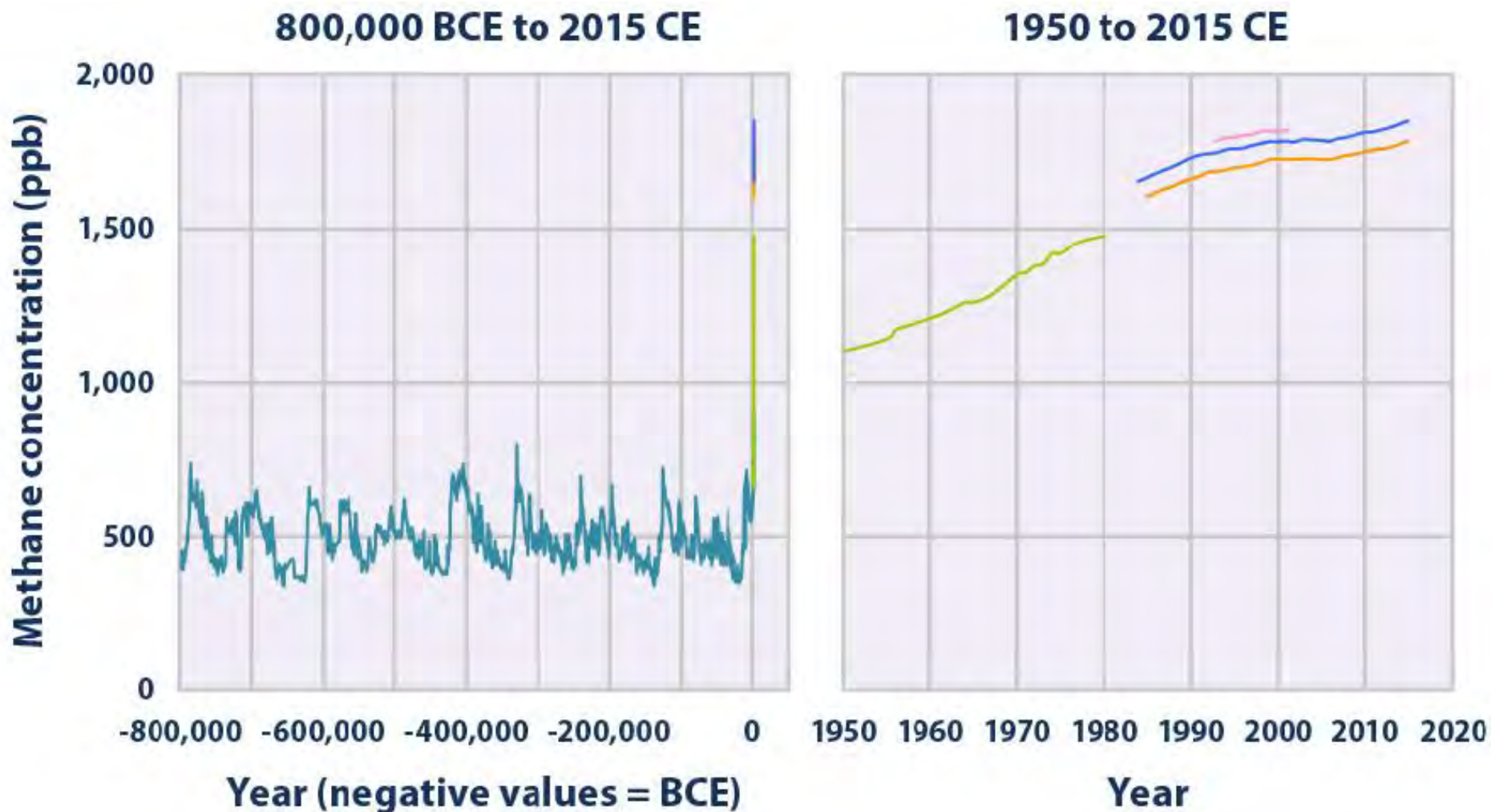
Концентрации углекислого газа за последние 800 000 лет и 1950-2015 гг.

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



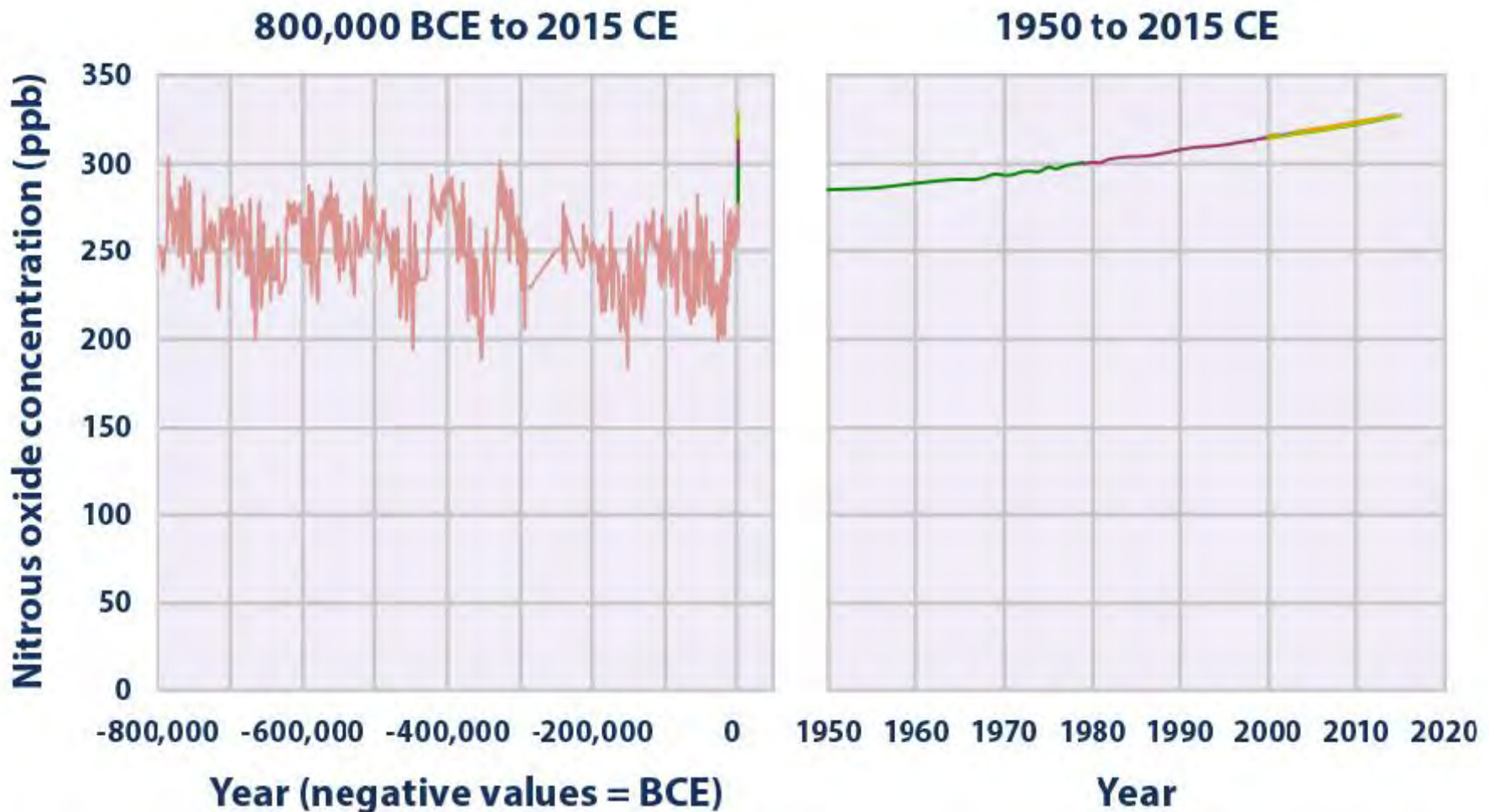
Концентрации метана за последние 800 000 лет и 1950-2015 гг.

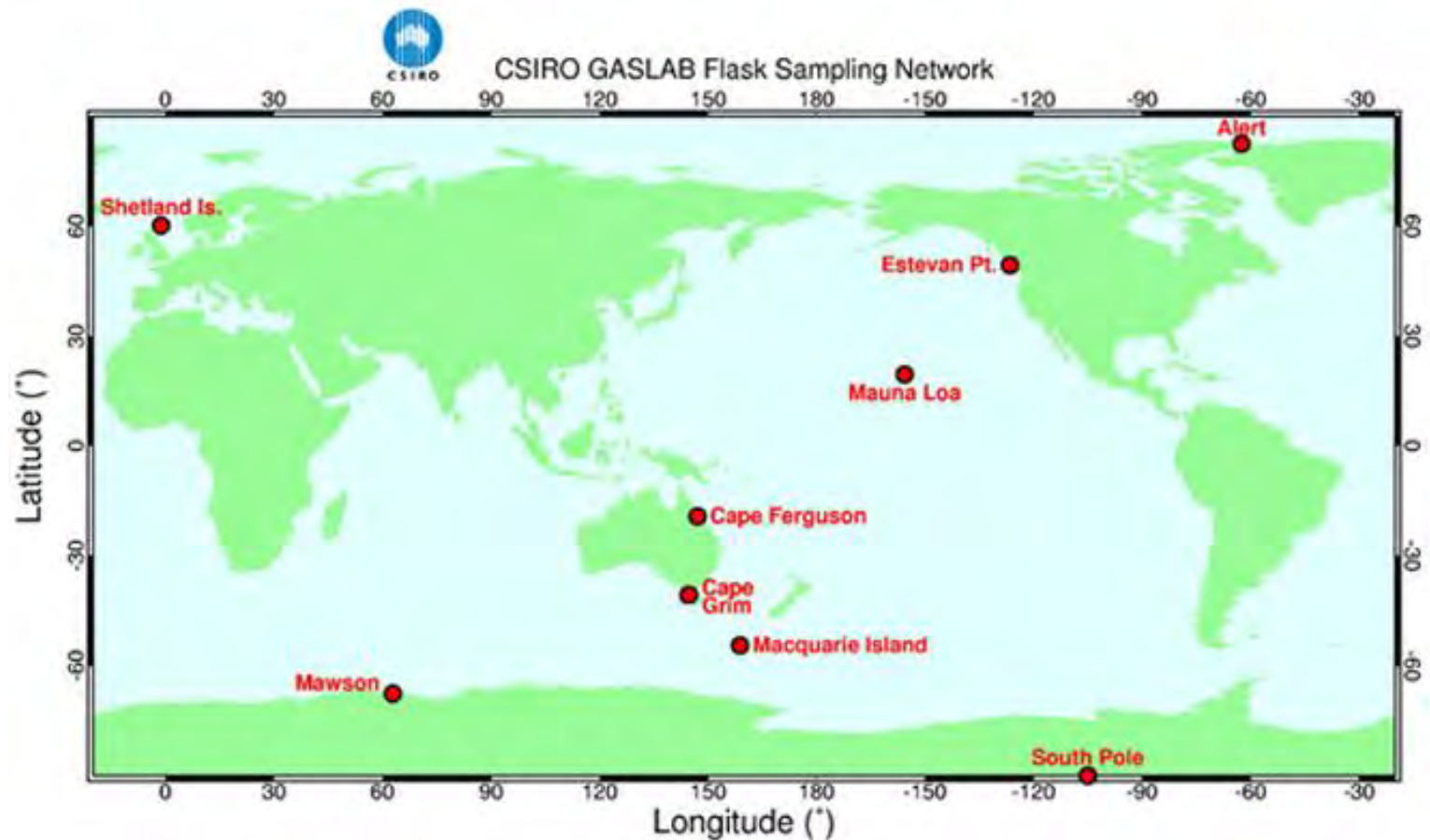
Climate Change Indicators in the United States: Atmospheric Concentrations of Greenhouse Gases - www.epa.gov/climate-indicators - Updated August 2016



Концентрации закиси азота 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



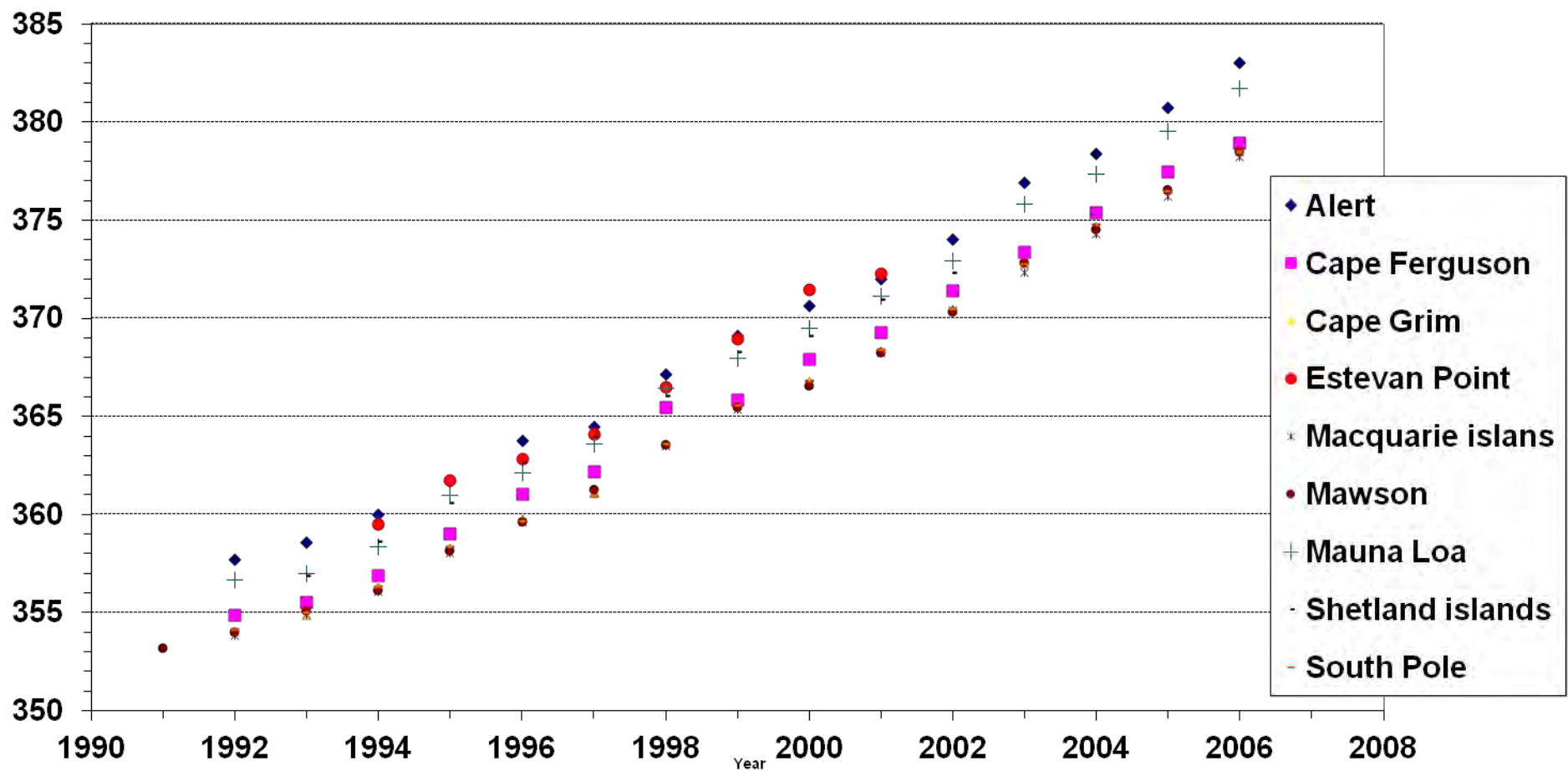


CSIRO GASLAB Flask Sampling Network

The Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO)

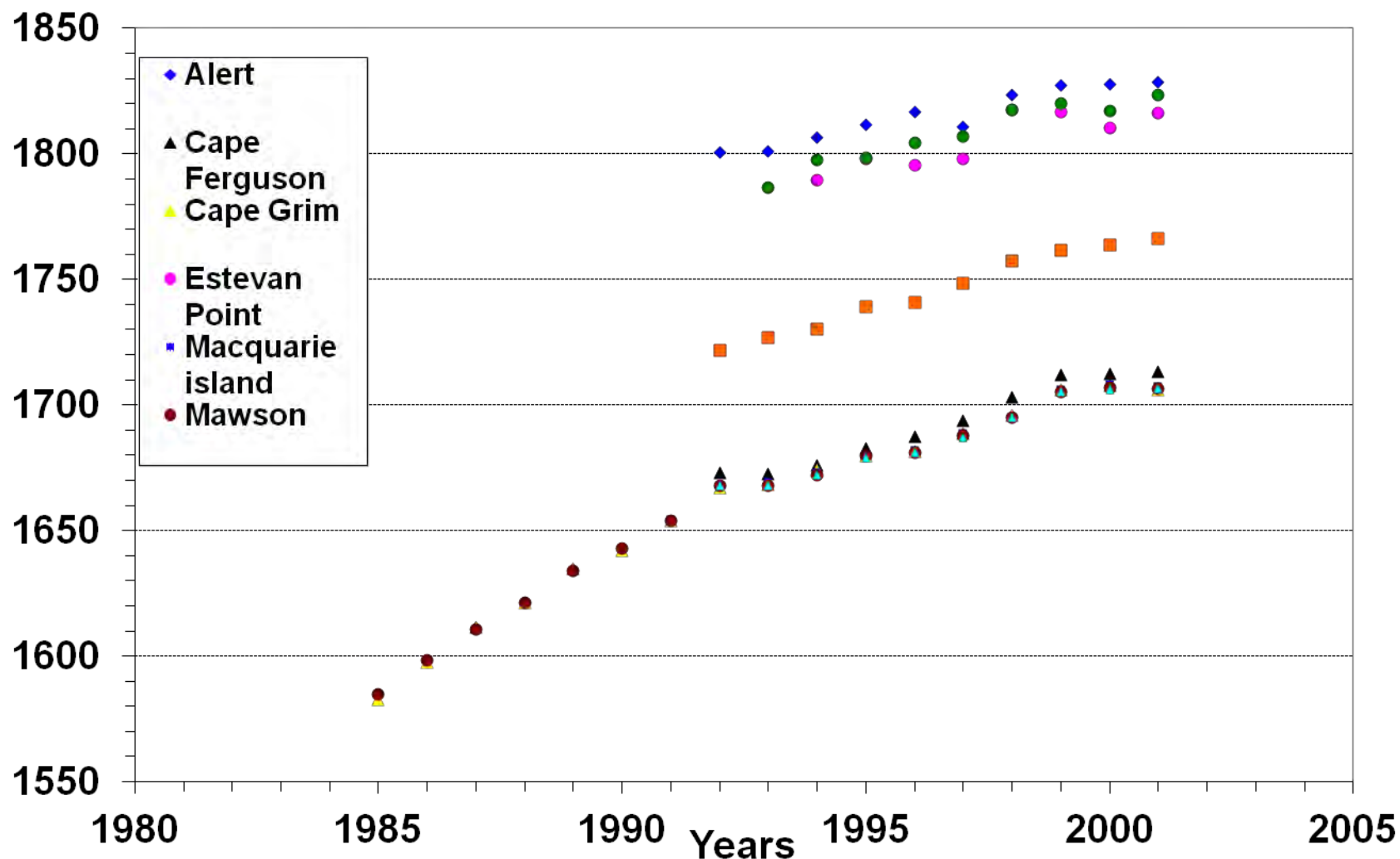
Пробоотборная сеть

Научная и промышленная исследовательская организация
Содружества наций, Австралия



Данные о концентрациях CO₂ с пунктов измерения CSIRO, ppm.

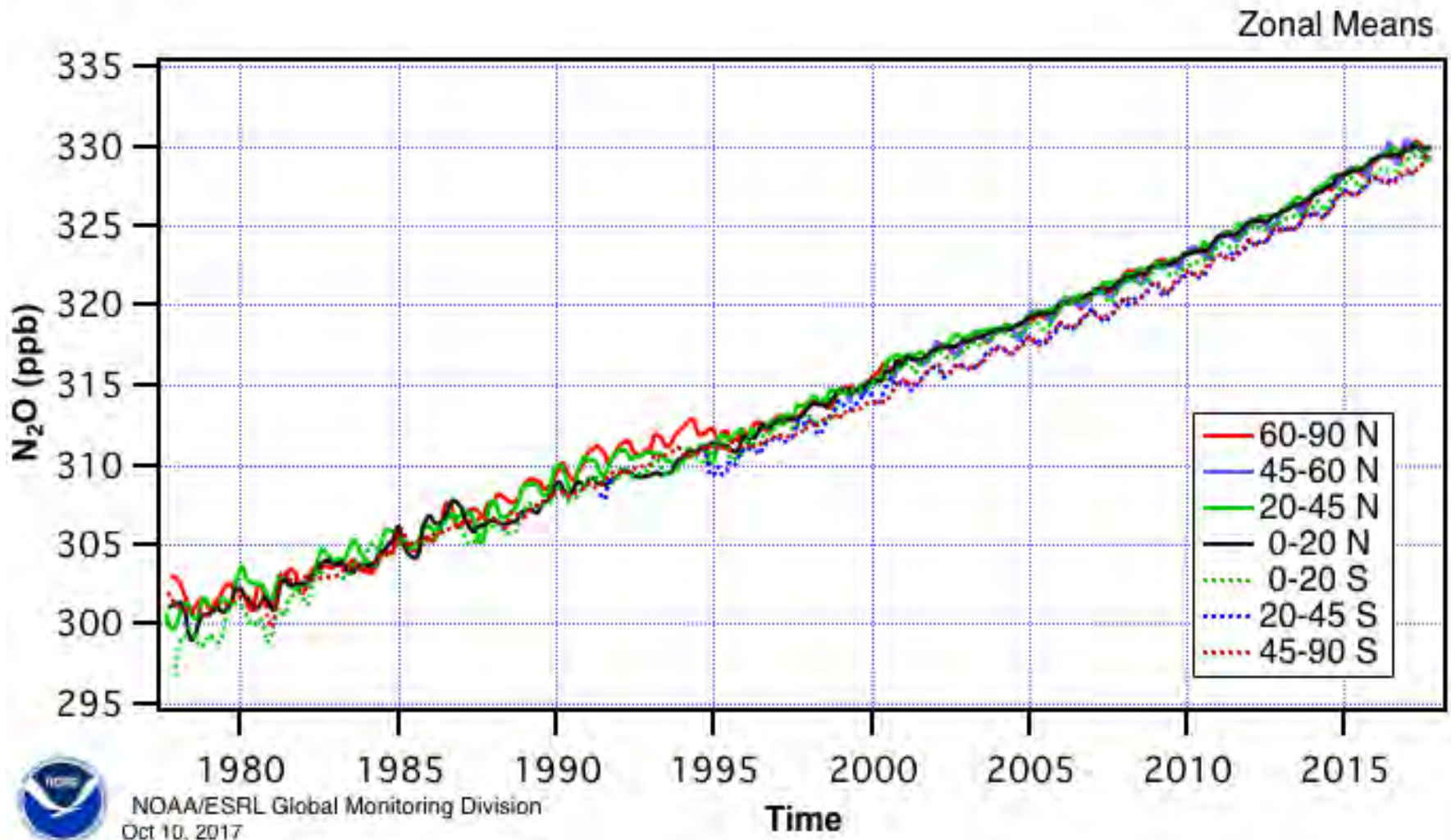
Steele, L. P., P. B. Krummel and R. L. Langenfelds. 2007. Atmospheric CO₂ concentrations from sites in the CSIRO Atmospheric Research GASLAB air sampling network (August 2007 version). In *Trends: A Compendium of Data on Global Change, Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, TN, U.S.A.*



Данные измерений концентраций CH_4 с пунктов измерений CSIRO, ppb

Зональные средние концентрации N_2O , NOAA US,

<https://www.esrl.noaa.gov/gmd/hats/combined/N2O.html>



ВМЕСТО РЕЗЮМЕ

Пространственное распределение концентраций газов в атмосфере складывается под воздействием процессов поступления (эмиссий - естественных и антропогенных), «перемешивания», физических и химических и фотохимических трансформаций и выведения на подстилающую поверхность (безвозвратного или же возвратного).

Значительную роль играют в этом биологические процессы.

В XX веке воздействие человека на состав атмосферы приобрело региональный и даже глобальный масштаб.

В ряде случаев (пример – загрязнение SO_2 и кислотных выпадений) человечество показало, что проблема загрязнения регионального / континентального масштаба может быть решена.

При осуществлении регионального и глобального мониторинга эмиссий, концентраций и выпадений веществ все большее значения приобретают дистанционные методы зондирования (спутниковый мониторинг), а стационарные измерения играют роль при калибровке дистанционных данных.

При выполнении глобальных оценок эмиссий, концентраций и выпадений веществ, при их картографировании, все большую роль приобретают методы математической обработки данных мониторинга и моделирование.

Стационарный мониторинг и полевые исследования в основном предназначаются для изучения фундаментальных аспектов проблем экологии и климатологии.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

