



Всемирная  
Метеорологическая  
Организация

Погода · Климат · Вода



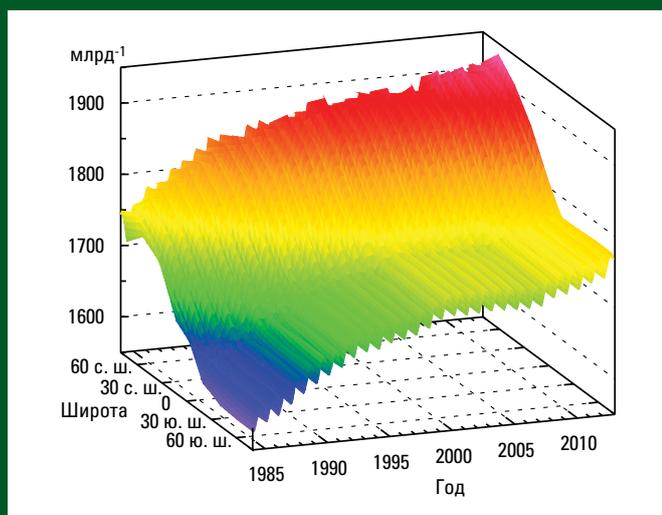
GLOBAL  
ATMOSPHERE  
WATCH

# БЮЛЛЕТЕНЬ ВМО ПО ПАРНИКОВЫМ ГАЗАМ

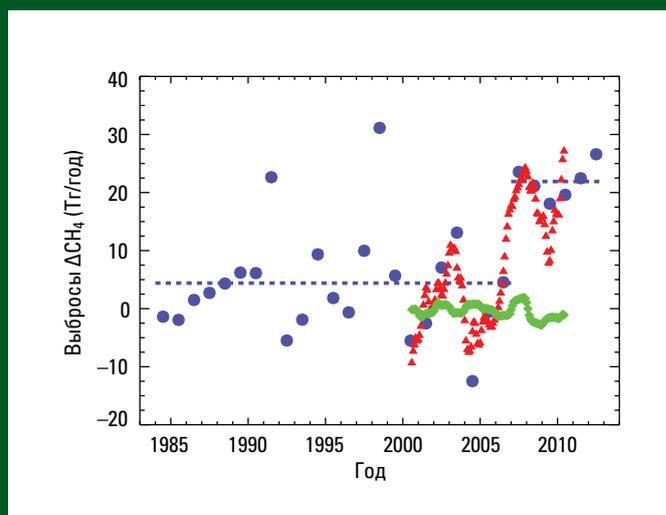
Содержание парниковых газов в атмосфере  
по данным глобальных наблюдений в 2012 г.

№ 9 | 6 ноября 2013 г.

ISSN 2078-0710



На рисунке слева показано распределение по широтам концентрации метана ( $\text{CH}_4$ ) в атмосфере с интерполяцией по данным измерений, проведенных на станциях Глобальной службы атмосферы ВМО. После периода 1999–2006 гг., когда концентрация  $\text{CH}_4$  в атмосфере сохранялась практически на постоянном уровне, в 2007 г. вновь наблюдалось ее увеличение. Суммарные глобальные выбросы могут быть рассчитаны по наблюдаемому содержанию и темпам увеличения  $\text{CH}_4$  в атмосфере в сочетании с оценкой срока жизни метана в атмосфере (около 9 лет). Различия между этими выбросами ( $\Delta\text{CH}_4$ ) и средними показателями выбросов за 2003–2005 гг. показаны в виде синих кружков на рисунке справа; пунктирные синие линии показывают средние



различия для периодов 1984–2006 гг. и 2007–2012 гг. С 1984 по 2006 гг. выбросы характеризовались значительной изменчивостью, однако их объем был постоянно ниже по сравнению с периодом 2007–2012 гг., за исключением 1991 и 1998 гг. Показаны также ежемесячные различия показателей выбросов (в  $\text{Tg CH}_4/\text{год}$ ), рассчитанные глобально (красный цвет) и для Арктики (зеленый цвет) на основе исследования с использованием модели переноса химических веществ (Bergamaschi, et al., 2013). Анализ этих данных показывает, что выбросы в тропических и средних широтах северного полушария способствовали увеличению содержания  $\text{CH}_4$  в атмосфере после 2007 г. и что пока не наблюдалось заметного увеличения выбросов  $\text{CH}_4$  в Арктике.

## Резюме

Последний анализ данных наблюдений, полученных в рамках Программы Глобальной службы атмосферы (ГСА) ВМО, показывает, что глобально усредненные молярные доли двуокиси углерода ( $\text{CO}_2$ ), метана ( $\text{CH}_4$ ) и закиси азота ( $\text{N}_2\text{O}$ ) достигли в 2012 г. новых максимумов, а именно:  $\text{CO}_2$  —  $393,1 \pm 0,1$  млн<sup>-1</sup>[2],  $\text{CH}_4$  —  $1819 \pm 1$  млрд<sup>-1</sup>[3] и  $\text{N}_2\text{O}$  —  $325,1 \pm 0,1$  млрд<sup>-1</sup>. Эти значения составляют соответственно 141, 260 и 120 % по отношению к доиндустриальным (до 1750 г.) уровням. Темпы увеличения содержания  $\text{CO}_2$  в атмосфере с 2011 по 2012 гг. выше средних темпов роста за последние 10 лет. Прирост содержания  $\text{N}_2\text{O}$  с 2011 по 2012 гг. меньше прироста, отмеченного в период с 2010 по 2011 гг., но выше средних темпов роста за последние 10 лет. Содержание  $\text{CH}_4$  в атмосфере продолжало расти такими же темпами, что и за последние четыре года. Годовой индекс

содержания парниковых газов, рассчитанный Национальным управлением по исследованию океанов и атмосферы (НУОА), показывает, что в период с 1990 по 2012 гг. радиационное воздействие долгоживущих парниковых газов увеличилось на 32 %, при этом на  $\text{CO}_2$  приходится около 80 % этого увеличения.

## Обзор

В этом девятом ежегодном бюллетене ГСА/ВМО по парниковым газам сообщается о концентрациях в атмосфере и темпах изменения важнейших долгоживущих парниковых газов (ДПГ) — двуокиси углерода, метана, закиси азота, а также приводится краткая информация о вкладах других газов. На эти три газа, наряду с ХФУ-12 и ХФУ-11, приходится приблизительно 96 % [4] радиационного воздействия, обусловленного ДПГ (рисунок 1).

Программа Глобальной службы атмосферы ВМО (<http://www.wmo.int/gaw>) координирует систематические наблюдения и анализ парниковых газов и других малых газовых составляющих. Станции, на которых осуществляется мониторинг парниковых газов за последнее десятилетие, показаны на рисунке 2. В течение 2012 г. уменьшилось число станций наблюдений. Данные измерений сообщаются участвующими странами и архивируются и распространяются Мировым центром данных по парниковым газам (МЦДПГ), находящимся в Японском метеорологическом агентстве.

В таблице 1 приведены глобально усредненное атмосферное содержание трех основных ДПГ в 2012 г. и изменения в их содержании с 2011 и 1750 гг. Эти результаты получены посредством анализа рядов данных (ВМО, 2009 г.), соотносимых с мировыми эталонами ВМО. Данные с подвижных станций, за исключением НУОА, с которых производится отбор проб в Тихоокеанском регионе (синие треугольники на рисунке 2), в этом глобальном анализе не используются.

Три парниковых газа, показанные в таблице 1, тесно связаны с антропогенной деятельностью, и они также активно взаимодействуют с биосферой и океанами. Прогнозирование эволюции содержания парниковых газов в атмосфере требует понимания их многочисленных источников, поглотителей и химических преобразований в атмосфере.

В 2012 г. годовой индекс содержания парниковых газов (ГИПГ) НУОА составил 1,32, что указывает на увеличение общего

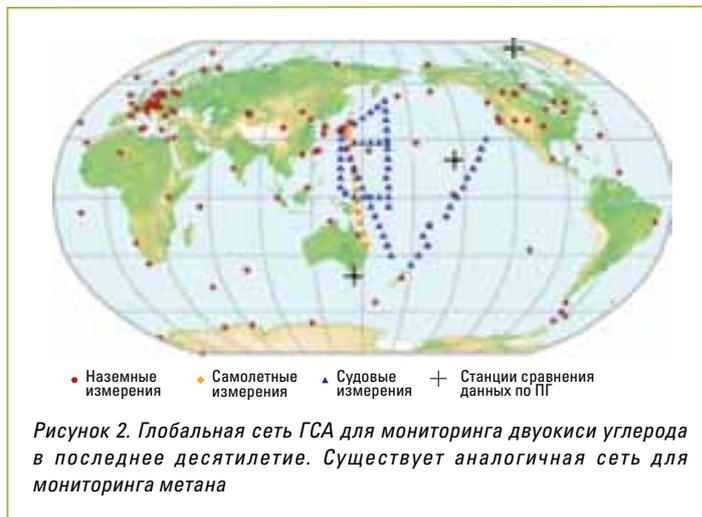


Рисунок 2. Глобальная сеть ГСА для мониторинга двуокиси углерода в последнее десятилетие. Существует аналогичная сеть для мониторинга метана

## Двуокись углерода (CO<sub>2</sub>)

Двуокись углерода является единственным наиболее важным антропогенным парниковым газом в атмосфере, доля которого в радиационном воздействии ДПГ составляет ~64 %<sup>[4]</sup>. Его вклад в увеличение радиационного воздействия за последнее десятилетие составляет ~84 % и ~82 % за последние пять лет. Доиндустриальный уровень, составлявший ~278 млн<sup>-1</sup>, отражал баланс потоков между атмосферой, океанами и биосферой. Содержание CO<sub>2</sub> в атмосфере достигло в 2012 г. 141 % по отношению к доиндустриальному уровню, причем главным образом из-за выбросов от сжигания ископаемых видов топлива (выбросы CO<sub>2</sub> от сжигания ископаемого топлива составили 9,5±0,5 ПгУ<sup>[1]</sup> в 2011 г., согласно данным <http://www.globalcarbonproject.org>), обезлесивания и других изменений в землепользовании (0,9±0,5 ПгУ<sup>[1]</sup> в 2011 г.). Среднее увеличение CO<sub>2</sub> в атмосфере по сравнению с доиндустриальным периодом соответствует ~55 % от выбросов CO<sub>2</sub> в результате сжигания ископаемого топлива, при этом остальные ~45 % удаляются благодаря поглощению океанами и биосферой суши. Доля выбросов CO<sub>2</sub> из-за сжигания ископаемого топлива, которая остается в атмосфере (атмосферная фракция), изменяется каждый год вследствие значительной естественной изменчивости поглотителей CO<sub>2</sub> (Levin, 2012) без подтвержденной при этом глобальной тенденции. Глобально усредненная молярная доля CO<sub>2</sub> в 2012 г. составила 393,1±0,1 млн<sup>-1</sup> (рисунок 3). Среднегодовой прирост с 2011 по 2012 гг., а именно 2,2 млн<sup>-1</sup>, превышает прирост с 2010 по 2011 гг., средние темпы роста за 1990-е гг. (~1,5 млн<sup>-1</sup>/год) и средние темпы роста за последнее десятилетие (~2,0 млн<sup>-1</sup>/год).

## Метан (CH<sub>4</sub>)

Доля метана в радиационном воздействии ДПГ составляет ~18 %<sup>[4]</sup>. Приблизительно 40 % метана выбрасывается в атмосферу естественными источниками (например, водно-болотные угодья и термитники), и приблизительно 60 % поступает из антропогенных источников (например, жвачные животные, выращивание риса, использование ископаемого топлива, свалки мусора и сжигание биомассы). Содержание CH<sub>4</sub> в атмосфере достигло 260 % по отношению к доиндустриальному уровню (~700 млрд<sup>-1</sup>) в связи с увеличением выбросов из антропогенных источников. Глобально усредненная доля CH<sub>4</sub> достигла в 2012 г. нового максимума, составившего 1819 ± 1 млрд<sup>-1</sup>,

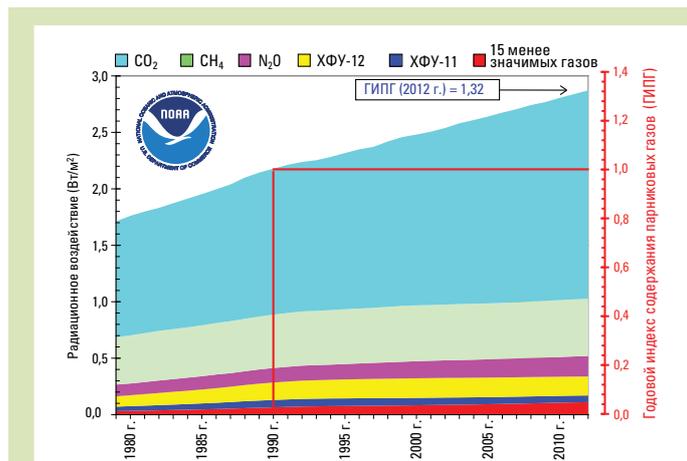


Рисунок 1. Радиационное воздействие ДПГ на атмосферу по сравнению с 1750 г. и обновленный годовой индекс содержания парниковых газов (ГИПГ) НУОА за 2012 г.

Таблица 1. Глобальные среднегодовые содержания (2012 г.) и тренды важнейших парниковых газов по данным глобальной сети ГСА/ВМО для мониторинга парниковых газов. Единицы измерения — молярные доли в сухом воздухе, а погрешности определены на уровне доверительного интервала, составляющего 68 %.

|   | CO <sub>2</sub>                            | CH <sub>4</sub>                          | N <sub>2</sub> O                            |
|---|--|--|---|
| Глобальное содержание в 2012 г.                         | 393,1±0,1 <sup>[5]</sup> млн <sup>-1</sup> | 1819±1 <sup>[5]</sup> млрд <sup>-1</sup> | 325,1±0,1 <sup>[5]</sup> млрд <sup>-1</sup> |
| Содержание в 2012 г. относительно 1750 г.*              | 141 %                                      | 260 %                                    | 120 %                                       |
| Абсолютное увеличение в 2011-2012 гг.                   | 2,2 млн <sup>-1</sup>                      | 6 млрд <sup>-1</sup>                     | 0,9 млрд <sup>-1</sup>                      |
| Относительное увеличение в 2011-2012 гг.                | 0,56 %                                     | 0,33 %                                   | 0,28 %                                      |
| Среднегодовое абсолютное увеличение за последние 10 лет | 2,02 млн <sup>-1</sup> /год                | 3,7 млрд <sup>-1</sup> /год              | 0,80 млрд <sup>-1</sup> /год                |

\* Исходя из предположения о том, что в доиндустриальный период молярная доля CO<sub>2</sub> составляла 278 млн<sup>-1</sup>, CH<sub>4</sub> — 700 млрд<sup>-1</sup> и N<sub>2</sub>O — 270 млрд<sup>-1</sup>.

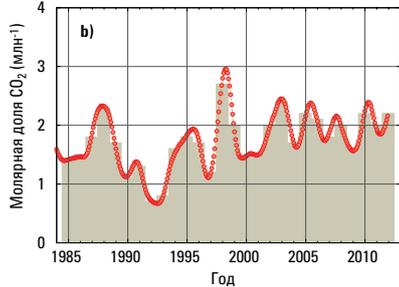
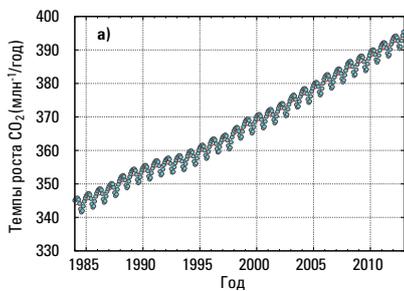


Рисунок 3. Глобально усредненная молярная доля  $CO_2$  (a) и темпы ее роста (b) с 1984 по 2012 гг. Среднегодовые темпы роста показаны в виде столбцов на графике (b).

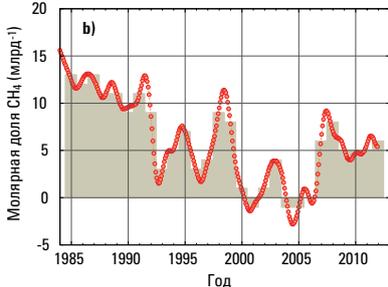
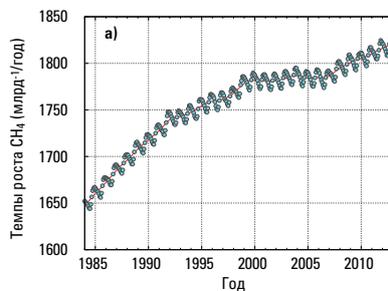


Рисунок 4. Глобально усредненная молярная доля  $CH_4$  (a) и темпы ее роста (b) с 1984 по 2012 гг. Среднегодовые темпы роста показаны в виде столбцов на графике (b).

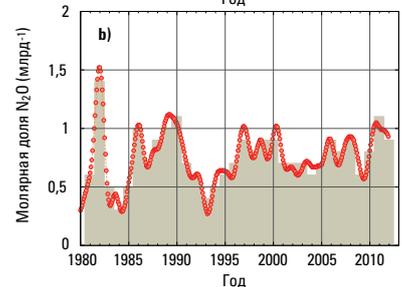
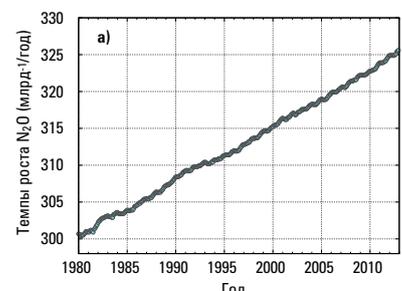


Рисунок 5. Глобально усредненная молярная доля  $N_2O$  (a) и темпы ее роста (b) с 1980 по 2012 гг. Среднегодовые темпы роста показаны в виде столбцов на графике (b).

что является увеличением на 6 млрд<sup>-1</sup> по отношению к предыдущему году (рисунок 4). Темпы роста  $CH_4$  снизились с ~13 млрд<sup>-1</sup>/год в начале 1980-х гг. до почти нулевого значения в период 1999–2006 гг. После 2007 г. содержание  $CH_4$  в атмосфере вновь стало увеличиваться вследствие увеличения объема выбросов в тропических и средних широтах северного полушария. Отнесение этого увеличения к антропогенным и естественным источникам представляется затруднительным, поскольку существующая сейчас сеть является недостаточной для описания распределения выбросов по регионам и источникам.

### Закись азота ( $N_2O$ )

Доля закись азота в радиационном воздействии ДПГ составляет ~6 %<sup>[4]</sup>. Это третий наиболее важный ДПГ по своему вкладу в общее радиационное воздействие.  $N_2O$  поступает в атмосферу как из естественных (около 60 %), так и антропогенных источников (приблизительно 40 %), включая океаны, почву, сжигание биомассы, использование удобрений и различные промышленные процессы. Глобально усредненная молярная доля  $N_2O$  в 2012 г. достигла  $325,1 \pm 0,1$  млрд<sup>-1</sup>, что на 0,9 млрд<sup>-1</sup> выше показателя предыдущего года (рисунок 5), и составляет 120 % от доиндустриального уровня (270 млрд<sup>-1</sup>). Годовое увеличение с 2011 по 2012 гг. превышает средние темпы роста за последние 10 лет (0,80 млрд<sup>-1</sup>/год).

### Другие парниковые газы

Гексафторид серы ( $SF_6$ ) является мощным ДПГ. Он производится химической промышленностью, главным образом в качестве электроизолятора для энерго-распределительного оборудования. В настоящее время его молярная доля примерно в два раза выше уровня, наблюдавшегося в середине 1990-х гг. (рисунок 6). Вклад хлорфторуглеродов (ХФУ), разрушающих стратосферный озоновый слой, вместе с менее значимыми галогенированными газами в радиационное воздействие ДПГ составляет ~12 %<sup>[4]</sup>. Хотя содержание ХФУ и большинства галонов сокращается, доля гидрохлорфторуглеродов (ГХФУ)

и гидрофторуглеродов (ГФУ), которые также являются мощными парниковыми газами, увеличивается относительно быстрыми темпами, однако их концентрация все еще сохраняется на низком уровне (на уровнях трлн<sup>-1</sup><sup>[6]</sup>, рисунок 7).

В данном бюллетене рассматриваются главным образом ДПГ. Радиационное воздействие относительно короткоживущего тропосферного озона сопоставимо с радиационным воздействием галоуглеродов. Многие другие загрязнители, такие как окись углерода, окиси азота и летучие органические соединения, хотя они и не относятся к парниковым газам, оказывают небольшое прямое или косвенное влияние на радиационное воздействие. Аэрозоли (взвешенные частицы) также являются короткоживущими веществами, которые изменяют радиационный баланс. Мониторинг всех упомянутых здесь газов, а также аэрозолей осуществляется в рамках Программы ГСА при поддержке стран — членов ВМО и сетей, предоставляющих данные.

### Распространение бюллетеней

Секретариат ВМО осуществляет подготовку и распространение этих бюллетеней в сотрудничестве с Мировым центром данных по парниковым газам, находящимся в Японском метеорологическом агентстве, и Научной консультативной группой ГСА по парниковым газам при содействии Научной лаборатории НУОА по изучению системы Земля (ЕСРЛ). Бюллетени доступны на веб-страницах Программы ГСА и МЦДПГ.

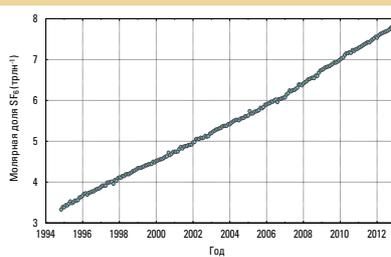


Рисунок 6. Среднемесячная молярная доля гексафторида серы ( $SF_6$ ) с 1995 по 2012 гг. (по данным измерений на 20 станциях).

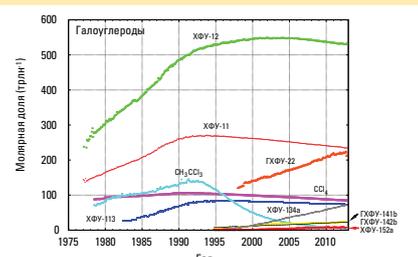


Рисунок 7. Среднемесячные молярные доли наиболее важных галоуглеродов с 1977 по 2012 гг., усредненные по сети (по данным измерений от 7 до 19 станций).

## Выражение признательности и ссылки

Пятьдесят стран — членов ВМО предоставили в МЦДПГ ГСА данные по  $\text{CO}_2$ . Приблизительно 47 % данных измерений, передаваемых в МЦДПГ, собираются на станциях совместной сети ЕСРЛ НУОА по отбору проб воздуха. Для получения данных по другим сетям и станциям см. «GAW Report No. 206» (Отчет ГСА № 206) (имеется по адресу: <http://www.wmo.int/gaw>). В подготовку настоящего бюллетеня был также внесен вклад по линии Расширенного эксперимента по глобальным атмосферным газам (AGAGE) в виде данных наблюдений. Помимо этого станции мониторинга ГСА, предоставившие данные для использования в настоящем бюллетене, отмечены на рисунке 2 и перечислены в списке станций, внесших вклад в подготовку бюллетеня, на веб-странице МЦДПГ (<http://ds.data.jma.go.jp/gmd/wdcgg/>). Они также описаны в Системе информации о станциях ГСА (СИСГСА) (<http://gaw.empa.ch/gawsis>), которая получает поддержку со стороны Метеорологической службы Швейцарии.

## Справочная литература

- Bergamaschi, P., Houweling, S., Segers, A., et al.: Atmospheric  $\text{CH}_4$  in the first decade of the 21st century: Inverse modeling analysis using SCIAMACHY satellite retrievals and NOAA surface measurements, *J. Geophys. Res.*, 118, 7350–7369, 2013, doi:10.1002/jgrd.50480.
- Conway, T.J., Tans, P.P., Waterman, L.S., Thoning, K.W., Kitzis, D.R., Masarie, K.A. and Zhang, N. Evidence for interannual variability of the carbon cycle from the National Oceanic and Atmospheric Administration/Climate Monitoring and Diagnostics Laboratory global air sampling network, *J. Geophys. Res.*, 99, 22831–22855, 1994.
- Levin, I., Earth science: The balance of the carbon budget, *Nature*, 488, 35–36, 2012, doi:10.1038/488035a.
- WMO, 2009: Technical Report of Global Analysis Method for Major Greenhouse Gases by the World Data Centre for Greenhouse Gases (Y. Tsutsumi, K. Mori, T. Hirahara, M. Ikegami and T.J. Conway). GAW Report No. 184 (WMO/TD No. 1473), Geneva, 29 pp.

## Контактная информация

### World Meteorological Organization

Atmospheric Environment Research Division,  
Research Department, Geneva  
Э-почта: AREP-MAIL@wmo.int  
Веб-сайт: <http://www.wmo.int/gaw>

### World Data Centre for Greenhouse Gases

Japan Meteorological Agency, Tokyo  
Э-почта: wdcgg@met.kishou.go.jp  
Веб-сайт: <http://ds.data.jma.go.jp/gmd/wdcgg>

[1] 1 ПгУ = 1 миллиард ( $10^9$ ) тонн углерода.

[2] млн<sup>-1</sup> = число молекул газа на миллион молекул сухого воздуха.

[3] млрд<sup>-1</sup> = число молекул газа на миллиард ( $10^9$ ) молекул сухого воздуха.

[4] Эта процентная доля рассчитывается как относительный вклад вышеупомянутого(ых) газа(ов) в повышение глобального радиационного воздействия, вызванного всеми долгоживущими парниковыми газами с 1750 г.

[5] Указанные диапазоны погрешности рассчитываются по методу бутстрепа согласно Conway et al., 1994. Эта неопределенность рассчитывается с доверительным интервалом в 68 % (одна сигма).

[6] трлн<sup>-1</sup> = число молекул газа на триллион ( $10^{12}$ ) молекул сухого воздуха.

## Отдельные обсерватории парниковых газов



«Плато Роза» ( $45,93^\circ$  с. ш.,  $7,71^\circ$  в. д., 3 480 м над уровнем моря) является одной из самых высоко расположенных региональных станций ГСА в Европе. Она находится недалеко от Маттерхорна с итальянской стороны Альп (эксплуатируется туринским отделением Национального института астрофизики). Ее нахождение в свободной тропосфере на большом снежном поле, лежащем на лишенном растительности горном плато и вдали от городских и загрязненных зон, делает ее подходящей для фоновых измерений парниковых газов. Измерения основных парниковых газов ( $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$ ) и тропосферного озона регулярно проводились компанией *Ricerca sul Sistema Energetico* (Исследования энергосистем) (RSE). Самый длительный временной ряд имеется для  $\text{CO}_2$ , охватывающий в настоящее время период более 20 лет (дискретные выборочные измерения с 1989 по 1997 г., а также непрерывные измерения с 1993 г. по настоящее время).



Лаборатория атмосферных исследований «Лаудер», Новая Зеландия ( $45,038^\circ$  с. ш.,  $169,684^\circ$  в. д., 370 м над уровнем моря), является глобальной станцией ГСА. Она принадлежит Национальному институту водных ресурсов и атмосферных исследований (НИВА). Лаборатория обеспечивает высококачественные измерения в высоких южных широтах, которые характеризуются малым охватом данными и чистой окружающей средой. «Лаудер» использует Фурье-спектрометр, предназначенный для измерений малых газовых составляющих, связанных с химией озона, и высокоточного содержания  $\text{CO}_2$ . Измерения парниковых газов *in situ* проводятся непрерывно, при этом используется отбор проб с помощью колб и методы дистанционного зондирования. Наблюдения за парниковыми газами выполняются на этой станции с 1990 г. (<http://www.niwa.co.nz/our-science/atmosphere/lauder>).