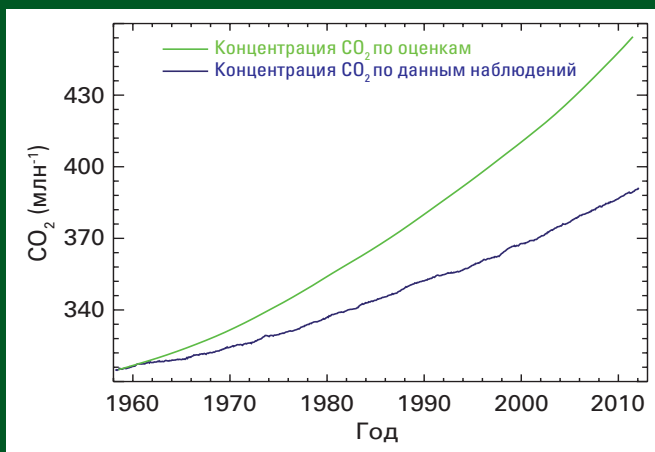


БЮЛЛЕТЕНЬ ВМО ПО ПАРНИКОВЫМ ГАЗАМ

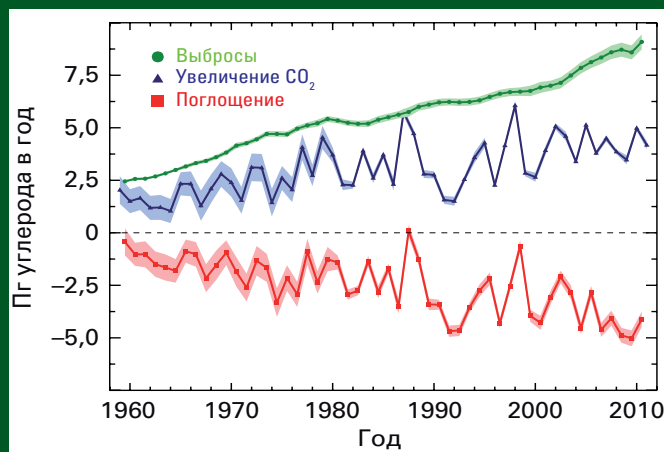
Содержание парниковых газов в атмосфере
по данным глобальных наблюдений в 2011 г.

№ 8 | 19 ноября 2012 г.

ISSN 2078-0710



С начала промышленной революции в результате деятельности человека в атмосферу поступило около 375 миллиардов тонн углерода в виде углекислого газа (CO_2). Атмосферные измерения показывают, что примерно половина этого количества CO_2 остается в атмосфере и что до сих пор объемы углерода, поглощаемого океаном и наземными экосистемами, постоянно увеличивались. Точные измерения концентрации CO_2 в атмосфере усилиями партнеров ГСА/ВМО обеспечивают основу для понимания того, что впоследствии происходит с поступающим в атмосферу CO_2 . На рисунке слева показано глобальное усредненное значение концентрации CO_2 с 1958 г., полученное на основе измерений, проведенных партнерами ГСА (синяя кривая), и на основе оценок в случае отсутствия океанических и наземных поглотителей (зеленая кривая). На рисунке справа показаны ежегодные выбросы углерода



в Гг^[1] в результате сжигания ископаемого топлива и других промышленных процессов, годовое увеличение содержания в атмосфере, а также количество углерода, абсорбируемого поглотителями каждый год. Эти поглотители обеспечивают небольшую чистую разницу между крупными потоками (~100 Гг углерода в год) от биосферы суши и Мирового океана в атмосферу и из нее. Эта небольшая чистая разница варьируется в зависимости от климатических осцилляций, таких как явления Эль-Ниньо и Ла-Нинья. Океанический поглотитель менее восприимчив к антропогенному воздействию, чем биосфера суши. В результате чистого поглощения CO_2 Мировым океаном он становится более кислым, что потенциально может в значительной степени отразиться на океанической пищевой цепочке. (Рисунки и текст основаны на Ballantyne et al., 2012 and Levin, 2012.)

Резюме

Последний анализ данных наблюдений, полученных в рамках Программы Глобальной службы атмосферы (ГСА) ВМО, показывает, что глобальные усредненные молярные доли двуокиси углерода (CO_2), метана (CH_4) и закиси азота (N_2O) достигли в 2011 г. новых максимумов, причем для CO_2 новый максимум составил $390,9 \pm 0,1$ млн⁻¹[2], для CH_4 — 1813 ± 2 млрд⁻¹, а для N_2O — $324,2 \pm 0,1$ млрд⁻¹. Эти значения соответственно составляют 140, 259 и 120 % по отношению к доиндустриальным (до 1750 г.) уровням. Темпы увеличения содержания CO_2 в атмосфере с 2010 по 2011 гг. аналогичны средним темпам роста за последние 10 лет. Однако для N_2O темпы увеличения с 2010 по 2011 гг. превышают как значения, отмеченные в период с 2009 по 2010 гг., так и средние темпы роста за последние 10 лет. Содержание CH_4 в атмосфере продолжало расти такими же темпами, что и за последние три года. Подготовленный НУОА годовой индекс содержания парниковых газов показывает, что за период с 1990 по 2011 гг.

радиационное воздействие на атмосферу, создаваемое долгоживущими парниковыми газами, выросло на 30 %, причем на CO_2 приходится почти 80 % этого увеличения.

Обзор

В этом восьмом ежегодном бюллетене ГСА/ВМО сообщается о содержании в атмосфере и темпах изменения важнейших долгоживущих парниковых газов (ДПГ) — двуокиси углерода, метана, закиси азота, ХФУ-12 и ХФУ-11, а также приводится краткая информация о вкладе в радиационное воздействие других газов на атмосферу. На эти пять основных газов приходится приблизительно 96 %^[4] радиационного воздействия на атмосферу, 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, показаны на рисунке 2. Данные измерений передаются участвующими странами и архивируются и распространяются Мировым центром данных по парниковым газам (МЦДПГ), размещающимся в Японском метеорологическом агентстве.

В таблице приведены глобально усредненные значения содержания в атмосфере трех основных ДПГ в 2011 г. и изменения в их содержании с 2010 и 1750 гг. Эти результаты получены посредством глобального анализа рядов данных (ВМО, 2009 г.), прослеживаемых до мировых эталонов ВМО. Данные с подвижных станций, за исключением станций НУОА, с которых производится отбор проб воздуха в Тихоокеанском регионе (синие треугольники на рисунке 2), в данном глобальном анализе не используются.

Три парниковых газа, приведенных в таблице, тесно связаны с антропогенной деятельностью и энергично взаимодействуют с биосферой и океаном. Прогнозирование эволюции содержания в атмосфере парниковых газов требует понимания их многочисленных источников, поглотителей и химических преобразований в атмосфере.

Годовой индекс содержания парниковых газов НУОА в 2011 г. составил 1,30, что указывает на увеличение в общем объеме радиационного воздействия всех ДПГ на 30 % с 1990 г. и на 1,2 %

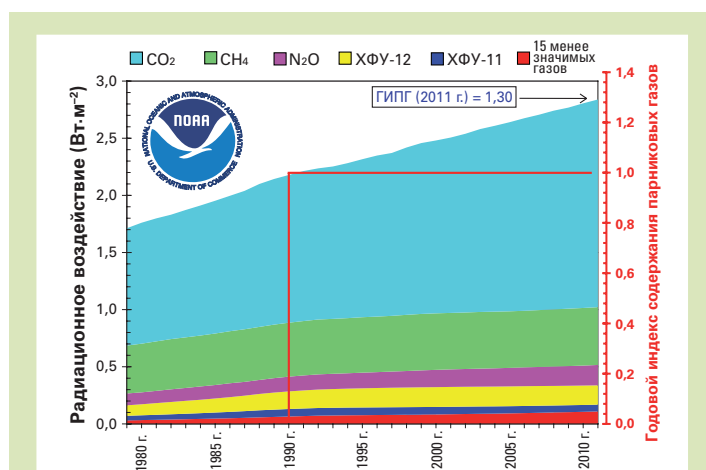


Рисунок 1. Радиационное воздействие всех ДПГ на атмосферу по сравнению с 1750 г. и годовой индекс содержания парниковых газов (ГИПГ) НУОА за 2011 г.

Глобальное содержание (в молярных долях) основных парниковых газов, усредненное за 12 месяцев 2011 г., а также изменения по сравнению с 2010 и 1750 гг. на основе данных глобальной сети мониторинга парниковых газов ГСА/ВМО

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Глобальное содержание в 2011 г.	390,9 ± 0,1 ^[5] млн ⁻¹	1813 ± 2 ^[5] млрд ⁻¹	324,2 ± 0,1 ^[5] млрд ⁻¹
Содержание в 2011 г. по сравнению с 1750 г.*	140 %	259 %	120 %
Абсолютное увеличение в 2010–2011 гг.	2,0 млн ⁻¹	5 млрд ⁻¹	1,0 млрд ⁻¹
Относительное увеличение в 2010–2011 гг.	0,51 %	0,28 %	0,31 %
Среднегодовое абсолютное увеличение за последние 10 лет	2,0 млн ⁻¹ /год	3,2 млрд ⁻¹ /год	0,78 млрд ⁻¹ /год

* При допущении, что в доиндустриальный период молярная доля CO₂ составляла 280 млн⁻¹, CH₄ — 700 млрд⁻¹, а N₂O — 270 млрд⁻¹.



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

с 2010 по 2011 гг. (рисунок 1). Общее радиационное воздействие всех ДПГ в 2011 г. соответствовало молярной доле эквивалента CO₂, составляющей 473 млн⁻¹ (<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi>).

Двуокись углерода (CO₂)

Двуокись углерода является единственным наиболее важным антропогенным парниковым газом в атмосфере; его доля в радиационном воздействии ДПГ составляет ~ 64 %^[4]. Его вклад в увеличение радиационного воздействия за последние 10 лет составляет 85 %, а за последние пять лет — 81 %. Доиндустриальный уровень, составлявший ~ 280 млн⁻¹, отражал баланс потоков между атмосферой, океанами и биосферой. Содержание CO₂ в атмосфере достигло в 2011 г. 140 % по отношению к доиндустриальному уровню, в основном из-за выбросов от сжигания ископаемого топлива (выбросы CO₂ от сжигания ископаемого топлива составили в 2010 г. 9,1 ± 0,5 Пг углерода^[1] по данным, указанным на сайте <http://www.globalcarbonproject.org>) и изменений в землепользовании (0,9 ± 0,7 Пг углерода в 2010 г., в основном из-за вырубки тропических лесов). Среднее увеличение CO₂ в атмосфере по сравнению с доиндустриальной эрой равно ~ 55 % выбросов CO₂ в результате сжигания ископаемого топлива, а оставшиеся ~ 45 % удаляются за счет поглощения океанами и биосферой суши. Доля выбросов CO₂ в результате сжигания ископаемого топлива, которая остается в атмосфере (атмосферная фракция), изменяется каждый год без какой-либо подтвержденной глобальной тенденции. Глобальная средняя молярная доля CO₂ в 2011 г. составила 390,9 ± 0,1 млн⁻¹ (рисунок 3). Ежегодное увеличение на 2,0 млн⁻¹ превышает средний темп роста за 1990-е годы (~ 1,5 млн⁻¹/год) и соответствует среднему темпу роста за последние 10 лет (~ 2,0 млн⁻¹/год).

Метан (CH₄)

Доля метана в радиационном воздействии ДПГ составляет ~ 18 %^[4]. Приблизительно 40 % метана поступает в атмосферу из естественных источников (таких, как водно-болотные угодья и термитники) и приблизительно 60 % — из антропогенных источников (таких, как жизнедеятельность жвачных животных, выращивание риса, использование ископаемого топлива, захоронение отходов и сжигание биомассы). В 2011 г. содержание CH₄ в атмосфере достигло 259 % по отношению к доиндустриальному уровню (~ 700 млрд⁻¹) в связи с увеличением выбросов из антропогенных источников. Глобальная средняя молярная доля CH₄ достигла в 2011 г. нового максимума, составившего 1813 ± 2 млрд⁻¹, что представляет собой увеличение на 5 млрд⁻¹ по отношению к предыдущему году (рисунок 4). Темпы роста CH₄ снизились с ~ 13 млрд⁻¹/год в начале 1980-х годов до почти нулевого значения в период 1999–2006 гг. После 2007 г.

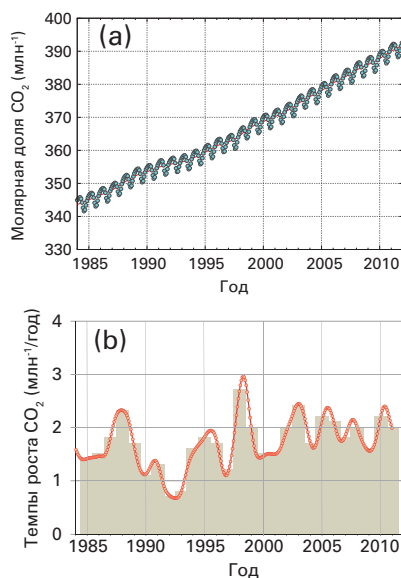


Рисунок 3. Глобальные усредненные значения молярной доли CO_2 (a) и темпы ее роста (b) в период с 1984 по 2011 гг. Ежегодные средние темпы роста показаны на графике (b).

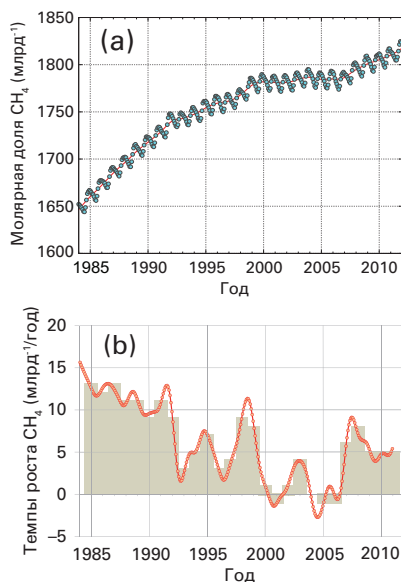


Рисунок 4. Глобальные усредненные значения молярной доли CH_4 (a) и темпы ее роста (b) в период с 1984 по 2011 гг. Ежегодные средние темпы роста показаны на графике (b).

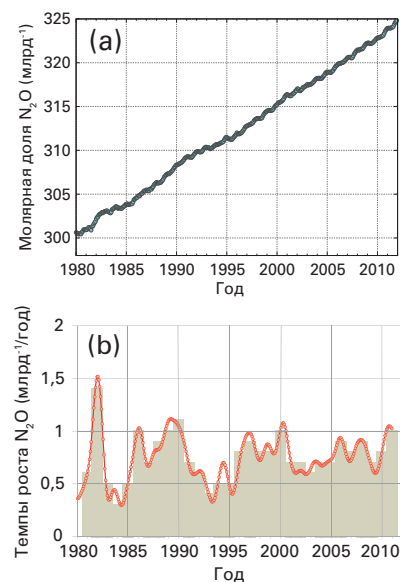


Рисунок 5. Глобальные усредненные значения молярной доли N_2O (a) и темпы ее роста (b) в период с 1980 по 2011 гг. Ежегодные средние темпы роста показаны на графике (b).

содержание CH_4 в атмосфере возрастает с почти постоянной скоростью в течение последних трех лет. Сеть точек наблюдений, предоставляющих полезные данные, является слишком редкой, особенно в тропиках, для того чтобы обеспечить полное понимание возобновления увеличения концентрации CH_4 .

Закись азота (N_2O)

Доля закиси азота в радиационном воздействии ДПГ составляет ~ 6 %^[4]. Закись азота является третьим наиболее важным ДПГ по своему вкладу в общее радиационное воздействие. N_2O поступает в атмосферу как из естественных (около 60 %), так и из антропогенных источников (приблизительно 40 %), включая Мировой океан, почву, сжигание биомассы, использование удобрений и различные промышленные процессы. Средняя глобальная молярная доля N_2O в 2011 г. достигла $324,2 \pm 0,1$ млрд⁻¹, что на 1,0 млрд⁻¹ выше этого показателя за предыдущий год (рисунок 5) и составляет 120 % по сравнению с доиндустриальным уровнем (270 млрд⁻¹). Ежегодное увеличение с 2010 по 2011 гг. превышает средний темп роста за последние 10 лет (0,78 млрд⁻¹/год).

Другие парниковые газы

Гексафторид серы (SF_6) является мощным ДПГ. Он производится химической промышленностью, главным образом в качестве электрического изолятора в оборудовании распределения электроэнергии. В настоящее время его молярная доля примерно в два раза выше уровня, наблюдавшегося в середине 1990-х годов (рисунок 6). Вклад озоноразрушающих хлорфторуглеродов (ХФУ) вместе с менее значимыми галогенированными газами в радиационное воздействие ДПГ составляет ~ 12 %^[4]. Хотя содержание ХФУ и большинства галонов сокращается, содержание в атмосфере гидрохлорфторуглеродов (ГХФУ) и гидрофторуглеродов (ГФУ), которые также являются мощными

парниковыми газами, увеличивается стремительными темпами, однако их общее содержание по-прежнему сохраняется на низком уровне (уровни на триллион частиц (трлн⁻¹), рисунок 7).

В настоящем бюллетене рассматриваются главным образом ДПГ. Радиационное воздействие относительно короткоживущего тропосферного озона сопоставимо с радиационным воздействием галогенуглеродов. Многие другие загрязнители, такие как окись углерода, окиси азота и летучие органические соединения, хотя и не называются парниковыми газами, оказывают небольшое прямое или косвенное влияние на радиационное воздействие. Аэрозоли (взвешенные частицы) также являются недолгоживущими веществами, которые изменяют радиационный баланс. В рамках Программы ГСА, при поддержке со стороны стран — членов ВМО и сетей, предоставляющих данные, осуществляется мониторинг всех упомянутых здесь газов, а также аэрозолей.

Распространение бюллетеней

Секретариат ВМО осуществляет подготовку и распространение этих бюллетеней в сотрудничестве с Мировым центром данных по парниковым газам, размещающимся в Японском

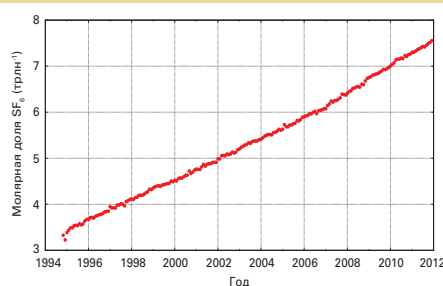


Рисунок 6. Среднемесячные значения молярной доли гексафторида серы (SF_6) в период с 1995 по 2011 гг., усредненные по 20 станциям

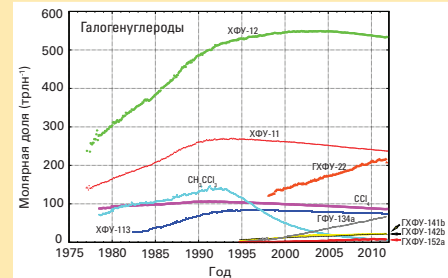


Рисунок 7. Среднемесячные значения молярной доли наиболее важных галогенуглеродов в период с 1977 по 2011 гг., усредненные по сети (от 7 до 19 станций)

метеорологическом агентстве, и Научной консультативной группой ГСА по парниковым газам при содействии со стороны Научной лаборатории НУОА по изучению системы Земля (ЕСРЛ). Бюллетени доступны на веб-сайтах Программы ГСА и МЦДПГ.

Выражение признательности и ссылки

Пятьдесят стран — членов ВМО предоставили данные по CO_2 в МЦДПГ ГСА. 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) (доступен 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 предоставления данных наблюдений. Кроме того, 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 (СИГСА) (<http://gaw.empa.ch/gawsis>), которая поддерживается усилиями Швейцарских федеральных лабораторий по испытанию и исследованиям материалов (ЕМПА), Швейцария.

Литература

- Ballantyne, A.P., C.B. Alden, J.B. Miller, P.P. Tans and J.W.C. White, 2012: Increase in observed net carbon dioxide uptake by land and oceans during the past 50 years. *Nature*, 488:70–72, doi:10.1038/nature11299.
- Conway, T.J., P.P. Tans, L.S. Waterman, K.W. Thoning, D.R. Kitzis, K.A. Masarie and N. Zhang, 1994: 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, doi:10.1029/94JD01951.
- Levin, I., 2012: Earth science: The balance of the carbon budget. *Nature*, 488:35–36, 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.

Контакты

World Meteorological Organization

Atmospheric Environment Research Division,
Research Department, Geneva
E-mail: AREP-MAIL@wmo.int
Website: <http://www.wmo.int/gaw>

World Data Centre for Greenhouse Gases

Japan Meteorological Agency, Tokyo
E-mail: wdcgg@met.kishou.go.jp
Website: <http://ds.data.jma.go.jp/gmd/wdcgg>

Отдельные обсерватории для мониторинга парниковых газов



Я. ХАТТАКА

Станция ГСА **Паллас-Соданкюля** расположена в северной части Европы на пути переноса малых газовых примесей в Арктику. Станция имеет два основных пункта — Паллас (67,93° с. ш., 24,12° в. д., 565 м над уровнем моря) и Соданкюля (67,36° с. ш., 26,63° в. д., 179 м над уровнем моря), которые нахо-

дятся на расстоянии 150 км друг от друга. На горной вершине Арктики в чистой окружающей среде национального парка в Палласе ведется мониторинг парниковых газов, химически активных газов, а также широкого диапазона параметров аэрозолей, данные по которым передаются в базу данных ГСА. В обоих пунктах в репрезентативных экосистемах измеряются потоки CO_2 и CH_4 с помощью микрометеорологического метода турбулентной ковариации (<http://en.ilmatieltenlaitos.fi/greenhouse-gases>, <http://fmiarc.fmi.fi/>).

Обсерватория, предназначенная для наблюдений за химическим составом атмосферы, на немецкой антарктической станции Ноймайер расположена в 1,5 км к югу от главного здания на шельфовом леднике Экстрём примерно в 8 км от залива Атка (70,666° ю. ш., 8,266° з. д., 42 м над уровнем моря, http://www.awi.de/en/infrastructure/stations/neumayer_station/).

Летом залив Атка и прилегающая к нему береговая линия преимущественно свободны от морского льда. Благодаря своему изолированному расположению станция Ноймайер является ценным опорным наблюдательным пунктом для проведения измерений в исключительно чистых атмосферных условиях. Обсерватория эксплуатируется в рамках сотрудничества между Институтом полярных и морских исследований им. Альфреда Вегенера и Институтом физики окружающей среды при Университете Гейдельберга. Количество парниковых газов и их изотопный состав измеряются там одновременно.



Р. УЭЛЛЕР



А. РЕШТНИКОВ

Арктическая гидрометеорологическая обсерватория в Тикси (71,59° с. ш., 128,92° в. д., 5 м над уровнем моря) расположена недалеко от устья реки Лены на побережье моря Лаптевых. Измерения проводятся для изучения

аспектов, связанных с изменчивостью химического состава атмосферы. Окружающая природная среда в районе размещения станции достаточно однородна и характеризуется сочетанием типичной для этого региона растительности мокрой и сухой тундры, сезонными ручьями, каменистыми участками сланцев и вечной мерзлотой. С 2010 г. на станции проводятся как непрерывные измерения, так и забор проб CO_2 и CH_4 . Несколько исследовательских групп проводят наблюдения в Тикси, в том числе из Росгидромета, Российской академии наук, НУОА и Финского метеорологического института.

[1] 1 петаграмм (Пг) углерода = 1 миллиард (10^9) тонн углерода.

[2] млн^{-1} = число молекул газа на миллион молекул сухого воздуха.

[3] мдрд^{-1} = число молекул газа на миллиард (10^9) молекул сухого воздуха.

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

[5] Указанный диапазон погрешности рассчитывается по методу бутстрепа согласно Conway et al., 1994.

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