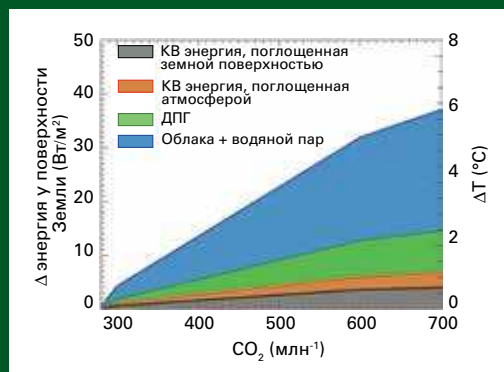


БЮЛЛЕТЕНЬ ВМО ПО ПАРНИКОВЫМ ГАЗАМ

Содержание парниковых газов в атмосфере
по данным глобальных наблюдений в 2014 г.

№ 11 | 9 ноября 2015 г.

ISSN 2078-0710



Водяной пар и двуокись углерода (CO_2) являются основными парниковыми газами (ПГ), при этом CO_2 — это основной фактор, влияющий на изменение климата. Изменения содержания водяного пара в значительной степени являются реакцией на изменение содержания CO_2 .

Некоторые газы в атмосфере, такие как водяной пар и CO_2 , поглощают и вновь освобождают инфракрасную энергию из атмосферы на поверхность. Этот процесс, известный как парниковый эффект, ведет к повышению средней приземной температуры примерно на 33 К по сравнению с тем, какой она была бы в отсутствие этих газов. Тем не менее именно присутствующие в атмосфере неконденсирующиеся газы (в основном CO_2 , но также метан (CH_4), закись азота (N_2O) и хлорфторуглероды (ХФУ)) являются факторами воздействия. Водяной пар и облака создают быстродействующую обратную связь. Водяной пар быстро реагирует на изменение температуры процессами испарения, конденсации и выпадения осадков. Наблюдения, проводимые в рамках Программы Глобальной службы атмосферы (ГСА), способствуют изучению этих процессов с некоторой степенью детализации.

Количество поступающей коротковолновой (КВ) солнечной радиации, достигающей верхней границы атмосферы Земли, составляет приблизительно 340 Вт/м²; 30 % этой радиации отражается обратно в космос, в основном облаками, 20 % поглощается атмосферой, а 50 % поглощается поверхностью Земли. В состоянии равновесия потоки приходящей коротковолновой и уходящей длинноволновой (ДВ)

энергии на верхней границе атмосферы уравниваются друг друга. В доиндустриальный период вследствие парникового эффекта поток энергии на поверхности превышал поток энергии на верхней границе атмосферы на 160 Вт/м². На рисунке показаны изменения глобального баланса приземной энергии с ростом концентрации CO_2 по отношению к доиндустриальному периоду. На вертикальной оси справа отмечено увеличение приземной температуры, необходимое для достижения равновесия между приходящей (КВ + ДВ) и уходящей (ДВ) радиацией.

Часть графика, окрашенная в зеленый цвет, представляет тепловую энергию, создаваемую долгоживущими, хорошо смешанными парниковыми газами, главным образом CO_2 . Часть графика, окрашенная в голубой цвет, показывает реакцию воды в атмосфере на рост концентрации CO_2 . Яркая выраженная обратная связь водяного пара означает, что при сценарии, учитывающем увеличение концентрации CO_2 в два раза по сравнению с доиндустриальным периодом (с приблизительно 280 до 560 млн⁻¹ [1]), водяной пар и облака в глобальном масштабе приводят к росту тепловой энергии, и этот вклад примерно в три раза превышает вклад долгоживущих парниковых газов (рисунок подготовлен по материалам Lacis et al., 2013).

Резюме

Последний анализ данных наблюдений, полученных в рамках Программы Глобальной службы атмосферы (ГСА) ВМО, показывает, что глобально усредненные молярные доли* двуокиси углерода (CO_2), метана (CH_4) и закиси азота (N_2O) достигли в 2014 г. новых максимумов, причем для CO_2 новый максимум составил $397,7 \pm 0,1$ млн⁻¹, для CH_4 — 1833 ± 1 млрд⁻¹ [2], а для N_2O — $327,1 \pm 0,1$ млрд⁻¹. Эти значения составляют соответственно 143 %, 254 % и 121 % по отношению к доиндустриальным (1750 г.) уровням.

* Молярная доля может трактоваться как мера концентрации.

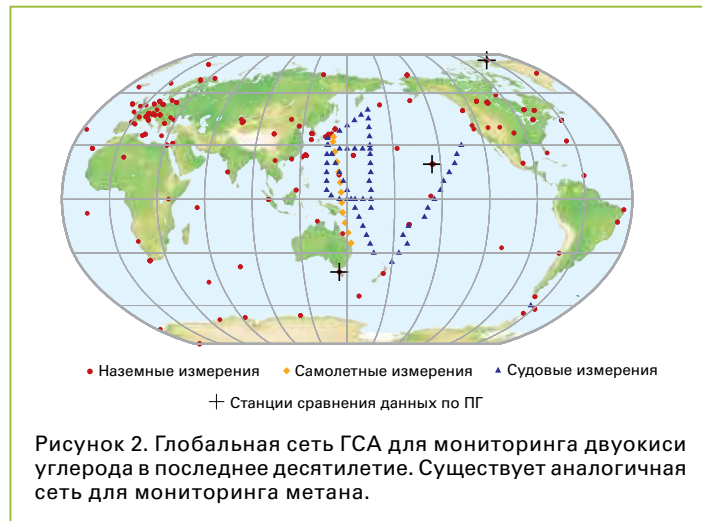
Темпы увеличения содержания CO_2 в атмосфере с 2013 по 2014 гг. близки к средним темпам роста за последние 10 лет. Как для CH_4 , так и для N_2O увеличение содержания с 2013 по 2014 гг. превысило наблюдавшееся с 2012 по 2013 гг., а также средние темпы роста за последние 10 лет. Годовой индекс содержания парниковых газов, рассчитанный Национальным управлением по исследованию океанов и атмосферы (НУОА), показывает, что в период с 1990 по 2014 гг. радиационное воздействие долгоживущих парниковых газов (ДПГ) увеличилось на 36 %, при этом на CO_2 приходится около 80 % этого увеличения.

Обзор

В настоящем одиннадцатом ежегодном Бюллетене ГСА/ВМО по парниковым газам сообщается о содержании в атмосфере важнейших ДПГ — двуокиси углерода, метана и закиси азота и о темпах изменения их содержания, а также приводится краткая информация о вкладе в радиационное воздействие на атмосферу других газов. На эти три газа, наряду с ХФУ-12 и ХФУ-11, приходится приблизительно 96 %^[3] 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 в последнее десятилетие осуществляется мониторинг парниковых газов, показаны на рисунке 2. 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 усредненные значения содержания в атмосфере трех основных ДПГ в 2014 г. и изменения их содержания относительно 2013 и 1750 гг. Эти результаты получены посредством анализа рядов данных (WMO, 2009), отвечающих мировым эталонам ВМО. Данные с подвижных станций, за исключением судовых станций 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 активно взаимодействуют с биосферой и океанами. Прогнозирование эволюции содержания парниковых газов в атмосфере требует количественной оценки их многочисленных источников, поглотителей и химических преобразований в атмосфере. Наблюдения ГСА предоставляют неоценимую информацию об ограничениях при расчете балансов этих или иных ДПГ и используются для проверки правильности кадастров выбросов и оценки спутниковых данных о среднем содержании ДПГ в столбе атмосферы.

В 2014 г. годовой индекс содержания парниковых газов НУОА составил 1,36, что указывает на увеличение общего радиационного воздействия всех ДПГ на 36 % после 1990 г. и увеличение на 1,2 % с 2013 по 2014 гг. (рисунок 1). Суммарное радиационное воздействие всех ДПГ в 2014 г. соответствует молярной доле эквивалента CO_2 , составляющей 481 млн⁻¹ (<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi>).

Двуокись углерода (CO_2)

Двуокись углерода является единственным наиболее важным антропогенным парниковым газом в атмосфере, доля которого в радиационном воздействии ДПГ составляет ~65 %^[3]. Его вклад в увеличение радиационного воздействия за последнее десятилетие составляет ~83 % и ~82 % за последние пять лет. Доиндустриальный уровень, составлявший ~278 млн⁻¹, отражал баланс потоков между атмосферой, океанами и биосферой. Содержание CO_2 в атмосфере достигло в 2014 г. 143 % по отношению к доиндустриальному уровню, главным образом из-за выбросов от сжигания ископаемых видов топлива и производства цемента (в 2013 г., согласно данным <http://www.globalcarbonproject.org>, суммарные выбросы CO_2 составили $9,9 \pm 0,5$ ПгУ^[5]), обезлесения и других изменений в землепользовании ($0,9 \pm 0,5$ ПгУ^[5] в 2013 г.). Среднее увеличение CO_2 в атмосфере за последнее десятилетие соответствует ~44 % выбросов CO_2 в результате деятельности человека, а оставшиеся ~56 % удаляются за счет поглощения океанами и биосферой суши. Доля выбросов CO_2 из-за сжигания ископаемого топлива, которая остается в атмосфере (атмосферная фракция), изменяется каждый год вследствие значительной естественной изменчивости поглотителей CO_2 без подтвержденной при этом глобальной тенденции. Глобально усредненная молярная доля CO_2 в 2014 г. составила $397,7 \pm 0,1$ млн⁻¹ (рисунок 3). Среднегодовой прирост с 2013 по 2014 гг., а именно $1,9$ млн⁻¹, меньше прироста с 2012 по 2013 гг. и средних темпов роста за последнее десятилетие (~ $2,06$ млн⁻¹/год), но выше средних темпов роста за 1990-е гг. (~ $1,5$ млн⁻¹/год). Более низкие темпы роста в 2014 г. по сравнению с предыдущими годами, наиболее вероятно, связаны с увеличением ежегодного поглощения CO_2 биосферой суши в тропических и субтропических регионах.

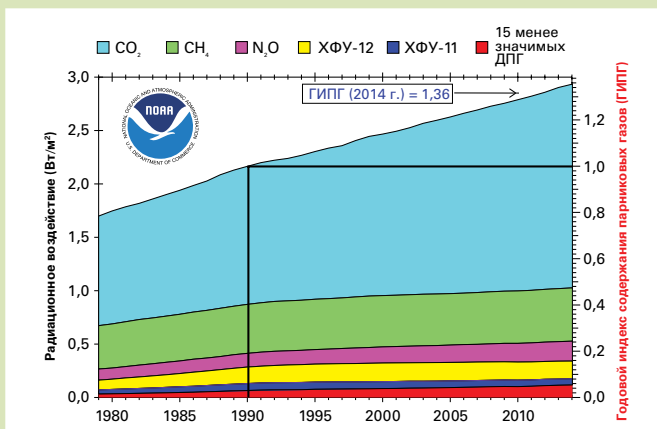


Рисунок 1. Радиационное воздействие ДПГ на атмосферу по сравнению с 1750 г. и обновленный годовой индекс содержания парниковых газов (ГИПГ) НУОА за 2014 г.

Таблица 1. Глобальное среднегодовое содержание (2014 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_2	CH_4	N_2O
Глобальное содержание в 2014 г. ^[4]	$397,7 \pm 0,1$ млн ⁻¹	1833 ± 1 млрд ⁻¹	$327,1 \pm 0,1$ млрд ⁻¹
Содержание в 2014 г. относительно 1750 г. ^a	143 %	254 %	121 %
Абсолютное увеличение в 2013-2014 гг.	$1,9$ млн ⁻¹	9 млрд ⁻¹	$1,1$ млрд ⁻¹
Относительное увеличение в 2013-2014 гг.	0,48 %	0,49 %	0,34 %
Среднегодовое абсолютное увеличение за последние 10 лет	$2,06$ млн ⁻¹ /год	$4,7$ млрд ⁻¹ /год	$0,87$ млрд ⁻¹ /год

* Исходя из предположения о том, что в доиндустриальный период молярная доля CO_2 составляла 278 млн⁻¹, CH_4 — 722 млрд⁻¹, а N_2O — 270 млрд⁻¹. Число станций, данные которых использовались для анализа, составляет 122 для CO_2 , 123 для CH_4 и 33 для N_2O .

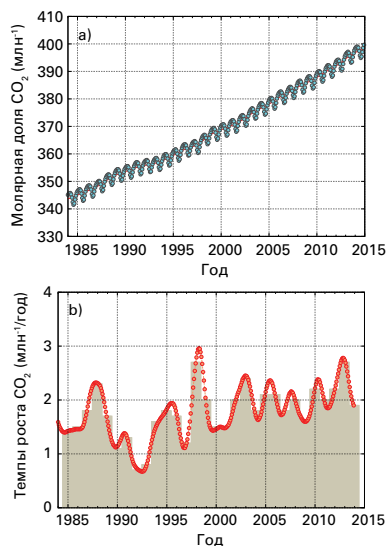


Рисунок 3. Глобально усредненная молярная доля CO_2 (a) и темпы ее роста (b) с 1984 по 2014 гг. Среднегодовые темпы роста показаны в виде столбцов на графике "b".

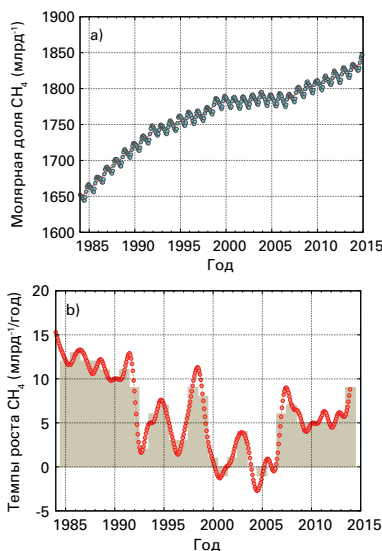


Рисунок 4. Глобально усредненная молярная доля CH_4 (a) и темпы ее роста (b) с 1984 по 2014 гг. Среднегодовые темпы роста показаны в виде столбцов на графике "b".

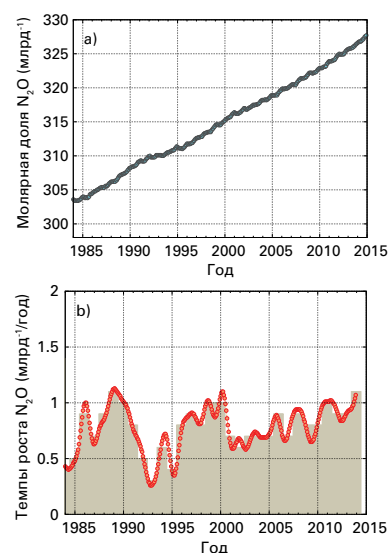


Рисунок 5. Глобально усредненная молярная доля N_2O (a) и темпы ее роста (b) с 1984 по 2014 гг. Среднегодовые темпы роста показаны в виде столбцов на графике "b".

Метан (CH_4)

Доля метана в радиационном воздействии ДПГ составляет ~17 %^[3]. Приблизительно 40 % метана поступает в атмосферу из естественных источников (например, водно-болотные угодья и термитники) и приблизительно 60 % — из антропогенных (например, жизнедеятельность жвачных животных, выращивание риса, использование ископаемого топлива, свалки мусора и сжигание биомассы). Содержание CH_4 в атмосфере достигло 254 % по отношению к доиндустриальному уровню (~722 млрд⁻¹) в связи с увеличением выбросов из антропогенных источников. Глобально усредненная доля CH_4 достигла в 2014 г. нового максимума, составившего 1833 ± 1 млрд⁻¹, что является увеличением на 9 млрд⁻¹ по отношению к предыдущему году (рисунок 4). Темпы роста CH_4 снизились с ~13 млрд⁻¹/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. Исследования, основанные на данных измерений CH_4 ГСА, указывают на то, что вероятной причиной является увеличение эмиссии CH_4 из болот в тропиках и выбросов из антропогенных источников в умеренных широтах северного полушария.

Закись азота (N_2O)

Доля закиси азота в радиационном воздействии ДПГ составляет ~6 %^[3]. Это третий наиболее важный ДПГ по своему вкладу в общее радиационное воздействие. Он поступает в атмосферу как из естественных (около 60 %), так и из антропогенных источников (приблизительно 40 %), включая океаны, почву, сжигание биомассы, использование удобрений и различные промышленные процессы. Глобально усредненная молярная доля N_2O в 2014 г. достигла $327,1 \pm 0,1$ млрд⁻¹, что на 1,1 млрд⁻¹ выше показателя предыдущего года (рисунок 5), и составляет 121 % от доиндустриального уровня (270 млрд⁻¹). Годовое увеличение с 2013 по 2014 гг. превышает средние темпы роста за последние 10 лет (0,87 млрд⁻¹/год).

Другие парниковые газы

Гексафторид серы (SF_6) является мощным ДПГ. Он производится химической промышленностью, главным образом в качестве электроизолятора для энергораспределительного оборудования. В настоящее время его молярная доля примерно в два раза выше уровня, наблюдавшегося в середине 1990-х гг. (рисунок 6 (a)). Вклад хлорфторуглеродов (ХФУ), разрушающих стратосферный озоновый слой, вместе с менее значимыми галоидированными газами в радиационное воздействие ДПГ составляет ~12 %^[3]. Хотя содержание ХФУ и большинства галонов сокращается, доля гидрохлорфторуглеродов (ГХФУ) и гидрофторуглеродов (ГФУ), которые также являются активными парниковыми газами, увеличивается относительно быстрыми темпами, однако их концентрация по-прежнему остается на низком уровне (на уровне трлн⁻¹ [6], рисунки 6 "a" и "b").

В настоящем бюллетене рассматриваются главным образом ДПГ. Радиационное воздействие относительно короткоживущего тропосферного озона сопоставимо с радиационным воздействием галоидоуглеводородов. Многие другие загрязнители, такие как окись углерода (CO), оксиды 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.

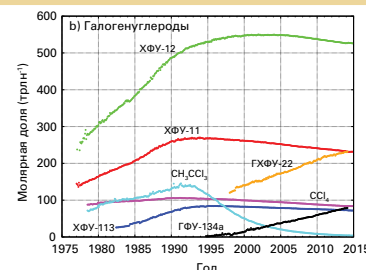
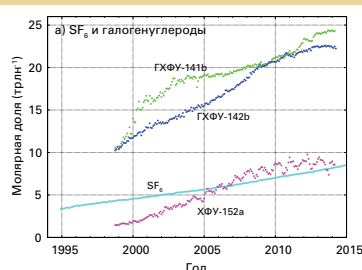


Рисунок 6. Среднемесячная молярная доля гексафторида серы (SF_6) и наиболее важных галоидоуглеводородов. SF_6 и галоидоуглеводороды с низкой молярной долей (a) и галоидоуглеводороды с высокой молярной долей (b). Число станций, использованных в анализе, является следующим: SF_6 (23), ХФУ-11 (24), ХФУ-12 (24), ХФУ-113 (23), CCl_4 (21), CH_3CCl_3 (23), ГХФУ-141b (9), ГХФУ-142b (13), ГХФУ-22 (13), ГФУ-134a (9), ГФУ-152a (8).

Распространение бюллетеней

Секретариат ВМО осуществляет подготовку и распространение настоящих 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.

Выражение признательности и ссылки

Пятьдесят стран — членов ВМО предоставили в МЦДПГ ГСА данные по CO_2 . Приблизительно 46 % 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. *16th WMO/IAEA Meeting on Carbon Dioxide, Other Greenhouse Gases, and Related Measurement Techniques (GGMT-2011)* (16-е совещание ВМО/МАГАТЭ по двуокиси углерода, другим парниковым газам и соответствующим методам измерения (ПГМИ-2011)) (Отчет ГСА № 206) (доступен по адресу: <http://www.wmo.int/gaw>). В подготовку настоящего бюллетеня 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

- Lacis, A.A., J.E. Hansen, G.L. Russell, V. Oinas and J. Jonas, 2013: The role of long-lived greenhouse gases as principal LW control knob that governs the global surface temperature for past and future climate change. *Tellus B*, **65**, 19734, doi:10.3402/tellusb.65i0.19734.
- 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.
- 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

Всемирная Метеорологическая Организация
Отдел исследований атмосферной среды,
Департамент научных исследований, Женева
Э-почта: AREP-MAIL@wmo.int
Веб-сайт: <http://www.wmo.int/gaw>

Мировой центр данных по парниковым газам
Японское метеорологическое агентство, Токио
Э-почта: wdcgg@met.kishou.go.jp
Веб-сайт: <http://ds.data.jma.go.jp/gmd/wdcgg>

[1] млн⁻¹ = число молекул газа на миллион (10⁶) молекул сухого воздуха.

[2] млрд⁻¹ = число молекул газа на миллиард (10⁹) молекул сухого воздуха.

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

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

[5] 1 ПгУ = 1 ГгУ = 1 миллиард (10⁹) тонн или 10¹⁵ г углерода.

[6] трлн⁻¹ = число молекул газа на триллион (10¹²) молекул сухого воздуха.

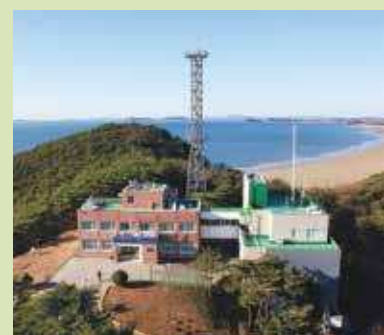
Отдельные обсерватории ГСА для мониторинга парниковых газов



Исанья (28,31° с. ш., 16,50° з. д., 2 373 м. н. у. м., <http://izana.aemet.es>) расположена на вершине горы на Тенерифе (Канарские острова, Испания) значительно выше мощного субтропического слоя температурной инверсии. Станция эксплуатируется Центром атмосфер-

ных исследований Исаньи (IARC) Государственного метеорологического агентства Испании (AEMET). Измерения содержания парниковых газов *in situ* были начаты в Исанье в 1984 г. (CO_2 и CH_4) и в 2007 г. (N_2O и SF_6). Более подробная информация о программе измерений на станции представлена в отчете *Izaña Atmospheric Research Center. Activity Report 2012-2014* (Центр атмосферных исследований Исаньи. Отчет о деятельности в 2012–2014 гг.) (Отчет ГСА № 219, 2015 г.).

Станция Амёндю (AMY) (36,54° с. ш., 126,33° в. д., 46 м н. у. м.), эксплуатируемая Корейской метеорологической администрацией, расположена на западном побережье Корейского полуострова. Станция находится в сфере воздействия континентальных воздушных масс зимой и весной и морских воздушных масс с северной части Тихого океана летом.



С 1999 г. на станции производятся измерения CO_2 и CH_4 с помощью спектрометра времени затухания резонатора, а измерения содержания N_2O , ХФУ и SF_6 — с помощью газовой хроматографии в сочетании с использованием датчика захвата электронов. В рамках сотрудничества с Сетью НУОА по отбору проб воздуха на станции AMY производится сбор данных об изотопном составе CO_2 .



Станция Пюи-де-Дом (PUY) во Франции (45,77° с. ш., 2,97° в. д., 1 465 м н. у. м.) эксплуатируется Национальным центром научных исследований и Университетом им. Блеза Паскаля (www.opgc.fr/SO/mesures/index.php). Воздух в районе станции является репрезентативным для состава атмосферы

в данном регионе. Измерения молярной доли CO_2 в атмосфере производятся на станции PUY непрерывно с 2000 г. Используемый с 2000 г. недисперсионный инфракрасный газоанализатор был заменен в 2011 г. на спектрометр времени затухания резонатора, измеряющий как CO_2 , так и CH_4 (<https://icos-atc.lscce.ipsl.fr/PUY>). С 2010 г. по настоящее время также проводятся измерения CO_2 , CH_4 , N_2O и SF_6 газовым хроматографом. Мониторинг парниковых газов на вершине Пюи-де-Дом будет продолжен в рамках европейской научно-исследовательской инфраструктуры — Комплексной системы наблюдений за углеродом (КСНУ), а на 2016 г. запланировано проведение аудита этих измерений со стороны ВМО и КСНУ.