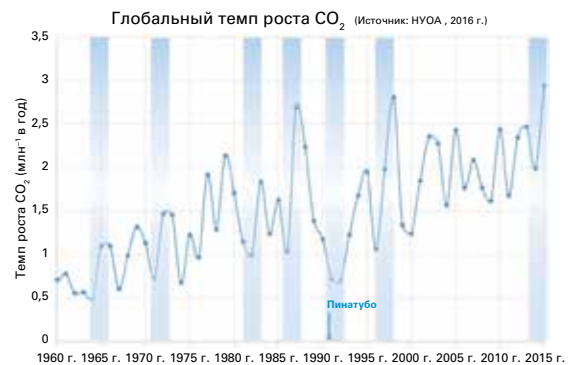
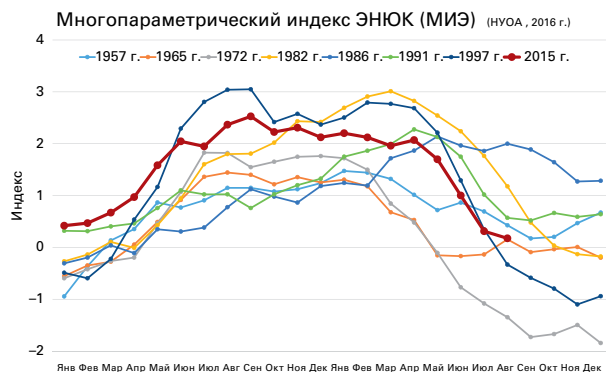




# БЮЛЛЕТЕНЬ ВМО ПО ПАРНИКОВЫМ ГАЗАМ

Содержание парниковых газов в атмосфере по данным  
глобальных наблюдений в 2015 г.

№ 12 | 24 октября 2016 г.



## 2015 г.: Изменения в парниковых газах под сильным воздействием Эль-Ниньо

В 2015 г. на планете началось сильное явление Эль-Ниньо. Явления Эль-Ниньо представляют собой естественные колебания климатической системы с накоплением необычно теплых водных масс в экваториальной части Тихого океана. Явления Эль-Ниньо связаны с аномальными погодными режимами, такими как сильные бури в некоторых местах и засухи или паводки в других. Типичное явление Эль-Ниньо длится от девяти месяцев до двух лет. Мы можем наблюдать это явление приблизительно каждые 2–7 лет, хотя такое значительное явление Эль-Ниньо не появлялось в течение последних 18 лет.

На рисунке слева показан многопараметрический индекс ЭНЮК [1], указывающий силу явлений Эль-Ниньо. На нем представлены самые крупные явления Эль-Ниньо с 1950 г. Эль-Ниньо 2015/2016 гг. было одним из восьми сильнейших с 1950 г. и сопровождалось рекордными глобальными температурами 16 месяцев подряд [2]. За исключением лет, следующих за извержением вулкана Пинатубо в 1991 г., после явлений Эль-Ниньо наблюдается увеличение темпов роста содержания диоксида углерода (CO<sub>2</sub>) в атмосфере (рисунок справа). Эта диаграмма основана на глобальном темпе роста CO<sub>2</sub> по оценкам глобальной сети Национального управления по исследованию океанов и атмосферы (НУОА) наблюдений *in situ* [3] с учетом данных, начиная с 1960 г.; голубым цветом помечены периоды с семью крупнейшими явлениями Эль-Ниньо с 1960 г.

Темп роста CO<sub>2</sub>, рассчитанный с использованием данных наблюдений в рамках программы Глобальной службы атмосферы (ГСА), превышает среднее значение за последние 10 лет, несмотря на свидетельства того, что глобальные антропогенные выбросы оставались преимущественно неизменными в период с 2014

по 2015 гг. По самым последним данным, увеличенные темпы роста сохранились и на протяжении большей части 2016 г., что соответствует ожидаемой задержке между ростом CO<sub>2</sub> и индексом ЭНЮК. Ожидается, что по этой причине 2016 год станет первым годом, на протяжении которого уровень CO<sub>2</sub>, измеряемый в обсерватории Мауна-Лоа, остается выше 400 частей на миллион<sup>(1)</sup> в течение всего года и, следовательно, на протяжении многих поколений [4].

Несмотря на увеличение выбросов от использования энергии ископаемых видов топлива, океана и биосферы суши до сих пор поглощает около половины антропогенных выбросов [5]. Существует, однако, возможность того, что эти поглотители переполнятся, что приведет к увеличению доли выбросов CO<sub>2</sub>, которые остаются в атмосфере, что в свою очередь может привести к ускорению темпа роста атмосферного CO<sub>2</sub>. Во время явлений Эль-Ниньо поглощение суши, как правило, уменьшается. Как и во время предыдущего крупного Эль-Ниньо в 1997/1998 гг. увеличение итоговых выбросов, по всей вероятности, было обусловлено увеличением засух в тропических регионах, приведших к уменьшению поглощения углерода растительностью и увеличению выбросов CO<sub>2</sub> от пожаров. Согласно базе данных о глобальных выбросах от пожаров [6] выбросы CO<sub>2</sub> в Экваториальной Азии составляли 0,34 ПгУ<sup>(2)</sup> в 2015 г. (среднее значение за период 1997–2015 гг. составляет 0,15 ПгУ). Другие потенциальные обратные связи можно ожидать от других изменений, отличных от самого явления Эль-Ниньо, но скорее связанных с крупномасштабной потерей морского льда в Арктике, увеличением засух на территориях, удаленных от моря, в результате потепления [7], таянием вечной мерзлоты и изменениями в термогалинной циркуляции океана, на которую Эль-Ниньо, на самом деле, оказывает лишь незначительной влияние.

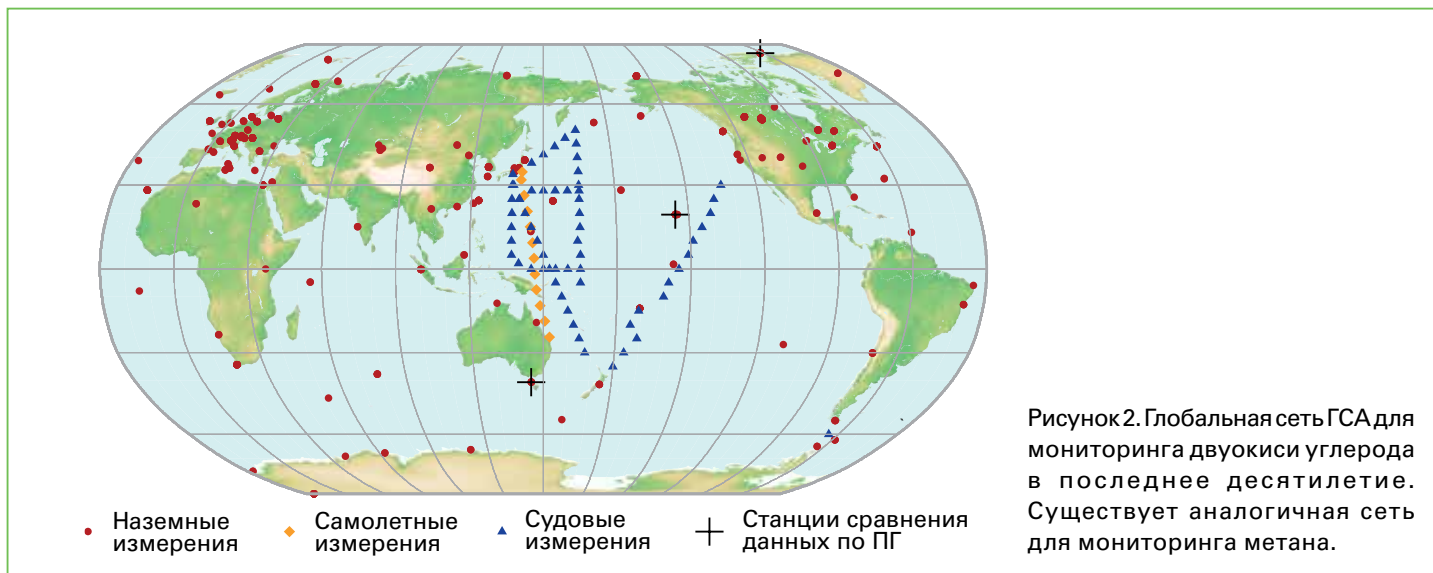


Рисунок 2. Глобальная сеть ГСА для мониторинга двуокиси углерода в последнее десятилетие. Существует аналогичная сеть для мониторинга метана.

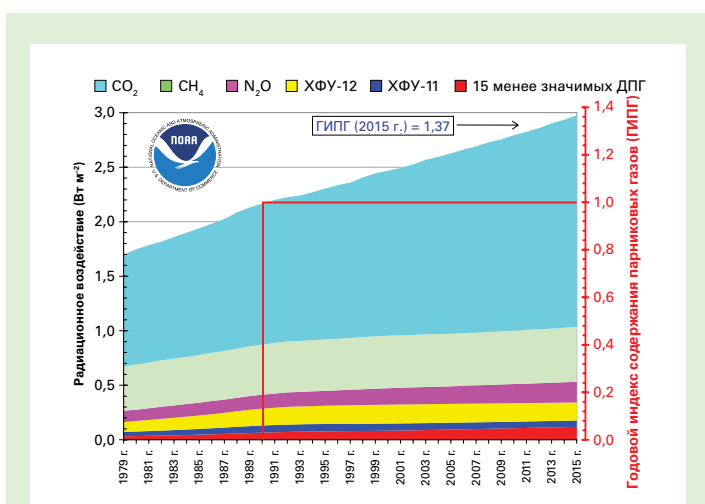


Рисунок 1. Радиационное воздействие ДПГ на атмосферу по сравнению с 1750 г. и обновленный годовой индекс содержания парниковых газов (ГИПГ) НУОА за 2015 г. [8, 9]

Таблица 1. Глобальное среднегодовое приземное содержание (2015 г.) и тренды важнейших парниковых газов по данным глобальной сети ГСА/ВМО для мониторинга парниковых газов. Единицы измерения — молярные доли сухого воздуха, за неопределенность взят доверительный интервал в 68 % [10], метод усреднения описан в публикации [11].

	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
Глобальное содержание в 2015 г.	400,0±0,1 млн <sup>-1</sup>	1845±2 млрд <sup>-1</sup>	328,0±0,1 млрд <sup>-1</sup>
Содержание в 2015 г. относительно 1750 г. <sup>a</sup>	144 %	256 %	121 %
Абсолютное увеличение в 2014–2015 гг.	2,3 млн <sup>-1</sup>	11 млрд <sup>-1</sup>	1,0 млрд <sup>-1</sup>
Относительное увеличение в 2014–2015 гг.	0,58 %	0,60 %	0,31 %
Среднегодовое абсолютное увеличение за последние 10 лет	2,08 млн <sup>-1</sup> г <sup>-1</sup>	6,0 млрд <sup>-1</sup> г <sup>-1</sup>	0,89 млрд <sup>-1</sup> г <sup>-1</sup>

<sup>a</sup> 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> — 722 млрд<sup>-1</sup>, а N<sub>2</sub>O — 270 млрд<sup>-1</sup>. Число станций, данные которых использовались для анализа, составляет 125 для CO<sub>2</sub>, 123 для CH<sub>4</sub> и 33 для N<sub>2</sub>O.

## Резюме

Последний анализ данных наблюдений, полученных в рамках Программы Глобальной службы атмосферы (ГСА) ВМО, показывает, что глобально усредненные приповерхностные молярные доли<sup>(3)</sup>, рассчитанные на основании этой сети наблюдений двуокиси углерода (CO<sub>2</sub>), метана (CH<sub>4</sub>) и закиси азота (N<sub>2</sub>O) in situ достигли в 2015 г. новых максимумов, причем для CO<sub>2</sub> новый максимум составил 400,0±0,1 млн<sup>-1</sup>, для CH<sub>4</sub> — 1845±2 млрд<sup>-1(4)</sup>, а для N<sub>2</sub>O — 328,0±0,1 млрд<sup>-1</sup>. Эти значения составляют соответственно 144 %, 256 % и 121 % по отношению к доиндустриальным (1750 г.) уровням. Ожидается, что 2016 год станет первым годом, на протяжении которого уровень CO<sub>2</sub>, измеряемый в обсерватории Мауна-Лоа, остается выше 400 млн<sup>-1</sup> в течение всего года и, следовательно, на протяжении многих поколений [4]. Увеличение CO<sub>2</sub> с 2014 по 2015 гг. было более значительным, чем наблюдалось с 2013 по 2014 гг. и чем усредненное значение за последние 10 лет. Явление Эль-Ниньо в 2015 г. способствовало увеличению темпа роста за счет комплексных двусторонних взаимодействий между изменением климата и углеродным циклом. В том что касается CH<sub>4</sub>, увеличение его концентрации с 2014 по 2015 гг. было более значительным, чем наблюдалось с 2013 по 2014 гг. и чем усредненное значение за последнее десятилетие. В отношении N<sub>2</sub>O увеличение концентрации с 2014 по 2015 гг. было аналогичным показателю за 2013 по 2014 гг. и превышало средний темп роста за последние 10 лет. Годовой индекс содержания парниковых газов [8, 9], рассчитанный Национальным управлением по исследованию океанов и атмосферы (НУОА), показывает, что в период с 1990 по 2015 гг. радиационное воздействие долгоживущих парниковых газов (ДПГ) увеличилось на 37 %, при этом на CO<sub>2</sub> приходится около 80 % этого увеличения.

## Введение

С доиндустриальных времен (до 1750 г.) уровни концентрации ДПГ в атмосфере значительно возросли вследствие выбросов, связанных с деятельностью человека. Рост численности населения, интенсификация методов ведения сельского хозяйства, расширение землепользования и вырубку лесов, индустриализация и связанное с ней использование энергии ископаемых видов топлива — все это привело к увеличению темпов роста концентраций ДПГ в последние годы.

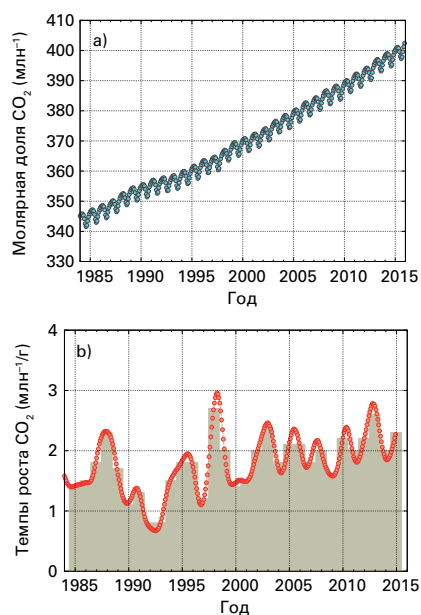


Рисунок 3. Глобально усредненная молярная доля  $\text{CO}_2$  (a) и темпы ее роста (b) с 1984 по 2015 гг. Прирост последовательных среднегодовых значений показан в виде столбцов на графике «b».

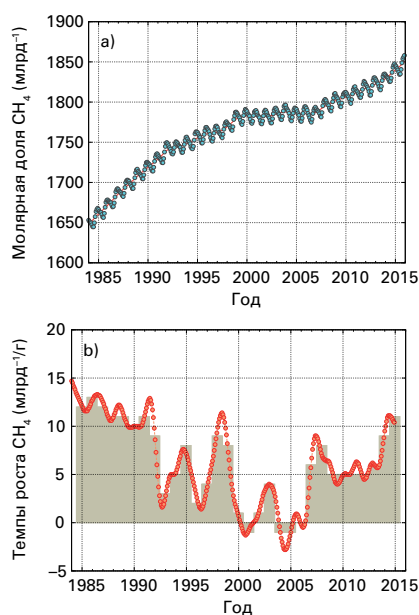


Рисунок 4. Глобально усредненная молярная доля  $\text{CH}_4$  (a) и темпы ее роста (b) с 1984 по 2015 гг. Прирост последовательных среднегодовых значений показан в виде столбцов на графике «b».

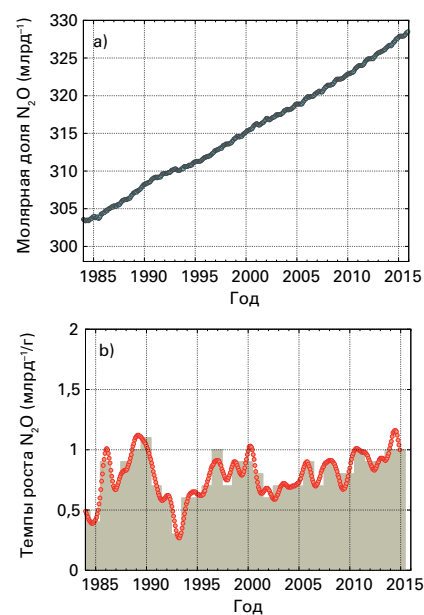


Рисунок 5. Глобально усредненная молярная доля  $\text{N}_2\text{O}$  (a) и темпы ее роста (b) с 1984 по 2015 гг. Прирост последовательных среднегодовых значений показан в виде столбцов на графике «b».

Весьма вероятно, что эти увеличения привели к наблюдаемому в настоящее время в мире глобальному потеплению [5]. Также вероятно то, что система Земля будет реагировать на изменение климата посредством обратных связей, включая изменения величины природных потоков парниковых газов. Эти обратные связи могут увеличить или уменьшить темпы роста этих газов в атмосфере и тем самым ускорить или замедлить процесс изменения климата. Направление и интенсивность обратных связей носят довольно-таки неопределенный характер, однако ряд проведенных в последнее время исследований указывает на сильное влияние будущего изменения климата на засухи и происходящее в результате этого ослабление поглотителей на суше, дополнительно усиливающее рост  $\text{CO}_2$  в атмосфере, а также на то, что обычный порядок ведения дел в отношении выбросов приведет к более сильному потеплению, чем считалось ранее, и что таяние Антарктики может привести к подъему уровня моря в два раза превышающему максимальный показатель, который считался возможным согласно последнему докладу Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК), даже после того как будут реализованы действия, согласованные на 21-й сессии Конференции Сторон (КС 21) Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата (РКИКООН), по ограничению глобального повышения температуры на уровне, не превышающем  $2^\circ\text{C}$  [12, 13, 14].

Только тщательные наблюдения за атмосферой посредством проведения долгосрочных, высокоточных измерений, таких как проводимые в рамках программы ГСА in situ, в сочетании со спутниковыми наблюдениями и численным моделированием, позволят нам понять, каким образом меняется глобальный состав атмосферы. Эти наблюдения позволят нам также выяснить, оказывает ли сокращение выбросов в соответствии с соглашением КС 21 желаемый эффект на концентрацию ДПГ в атмосфере и удастся ли

нам добиться успеха в сокращении этих концентраций в долгосрочной перспективе. Эта информация составит информационную основу для принятия политических решений на предмет необходимости еще более активных усилий по смягчению последствий по причине воздействий механизмов обратной связи системы Земли.

### Обзор наблюдений сети ГСА in situ за 2015 г.

В настоящем двенадцатом ежегодном Бюллетене ГСА/ВМО по парниковым газам сообщается о содержании в атмосфере важнейших ДПГ — двуокиси углерода, метана и закиси азота, а также о темпах изменения их содержания, и приводится краткая информация о вкладе других газов. На эти три газа, вместе с ХФУ-12 и ХФУ-11, приходится приблизительно 96 %<sup>(5)</sup> [15] радиационного воздействия, обусловленного ДПГ (рисунок 1).

Программа Глобальной службы атмосферы ВМО (<http://www.wmo.int/gaw>) координирует систематические наблюдения и анализ ДПГ и других малых газовых составляющих. На рисунке 2 отмечены станции наблюдений, на которых производились измерения парниковых газов в течение последнего десятилетия. Данные измерений сообщаются участвующими странами и архивируются и распространяются Мировым центром данных о парниковых газах (МЦДПГ), расположенным в Японском метеорологическом агентстве.

Представленные здесь результаты МЦДПГ ВМО по глобальному среднему значению и темпам роста, несколько отличаются от результатов, сообщаемых НУОА за те же годы [3], по причине различий в используемых станциях, различий в процедуре усреднения и в периоде времени, для которого эти значения репрезентативны. МЦДПГ ВМО следует процедуре, описанной в публикации WMO/TD-№. 1473 [11].

# ИНТЕГРИРОВАННАЯ ГЛОБАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ПО ПАРНИКОВЫМ ГАЗАМ

В декабре 2015 г. Рамочная конвенция Организации Объединенных Наций об изменении климата (РКИКООН) приняла Парижское соглашение, в котором была закреплена идея определяемых на национальном уровне вкладов (ОНУВ). ОНУВ варьируются в зависимости от страны, географического региона и экономических возможностей. Вне зависимости от стратегий и применяемых мер, для того чтобы иметь возможность осуществлять долгосрочную политику и эффективное управление, потребуется последовательная, надежная и своевременная информация о масштабах выбросов парниковых газов (ПГ) и их тенденциях с течением времени.

В 2010 г. научные сообщества, занимающиеся вопросами атмосферы, круговорота углерода и изменения климата, подготовили ряд исследований [16, 17, 18] о потенциальной возможности осуществления независимой оценки точности кадастров выбросов парниковых газов, подготовленных согласно статистическим методам, описанным в руководящих принципах в 2006 г. Целевой группы МГЭИК по национальным кадастрам парниковых газов (ЦГК МГЭИК) [19], с помощью атмосферных измерений концентрации ПГ и модельного анализа. В этих докладах приводится заключение о том, что полная реализация этого подхода требует дополнительных инвестиций в исследования, увеличения плотности хорошо откалиброванных измерений атмосферных ПГ, а также улучшения возможностей в области моделирования атмосферного переноса и усвоения данных.

В знак признания прогресса, который был достигнут в научных исследованиях, измерениях и моделировании с 2010 г., Всемирная метеорологическая организация (ВМО) приступила к разработке интегрированной глобальной системы информации о парниковых газах (ИГСИПГ) [20]. ГСА ВМО обеспечивает стандарты для атмосферных измерений, а ИГСИПГ будет устанавливать, распространять и со временем улучшать методологические стандарты в области того, как результаты обратного модельного анализа атмосферного переноса применительно к измерениям атмосферных концентраций парниковых газов (подход «сверху вниз») могут быть объединены с заданными в пространстве и времени социально-экономическими данными кадастров выбросов (подход «снизу вверх»), с тем чтобы создать более качественную информационную основу для политики и мер по сокращению выбросов и для осуществления управления такой политикой и мерами.

ИГСИПГ будет служить в качестве международного координационного механизма, работающего со многими партнерами ВМО, такими как Программа Организации Объединенных Наций по окружающей среде, Международное бюро мер и весов, Группа по наблюдениям за Землей и другие. Для того чтобы инициатива ИГСИПГ добилась успеха, необходимо предпринимать упорные усилия по налаживанию связей с потребителями и конечными пользователями ее информации, с тем чтобы понять их потребности, завоевать их доверие и продемонстрировать ценность информации, которую они будут получать, с целью повышения эффективности мер по снижению выбросов. Со временем структура ИГСИПГ должна обрести способность популяризировать и внедрять развивающиеся технические возможности (например, новые спутниковые наблюдения и датчики), постоянно улучшая качество такой информации и доверие к ней.

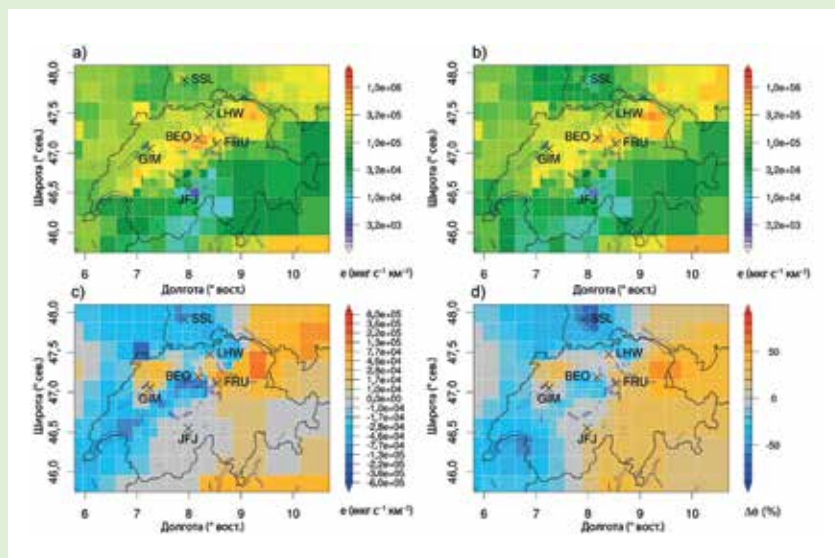
Реализация ИГСИПГ в настоящее время осуществляется в соответствии с набором принципов и тремя объективными областями, определенными в концептуальном документе [20]:

1) уменьшить неопределенность передаваемых в РКИКООН национальных кадастров выбросов; 2) локализовать, количественно оценить и информировать источники выбросов о ранее неизвестных возможностях по сокращению выбросов; 3) обеспечить национальные и суб-национальные структуры своевременной и количественно выраженной информацией об объемах их выбросов, трендах таких выбросов и их атрибуции в целях содействия прогрессу в достижении целей по сокращению выбросов. Реализация ИГСИПГ осуществляется по двум направлениям деятельности для каждой целевой области: 1) инициирование краткосрочных пилотных проектов, которые продвигают возможности отдельных методов и укрепляют доверие к ценности информации среди заинтересованных сторон; 2) подготовка систематических планов по каждой целевой области, которыми будут руководствоваться нации, государства, города и частные предприятия в процессе внедрения этих информационных систем. Все большее число успешных демонстраций каждой целевой области служит в качестве краеугольного камня для реализации ИГСИПГ. Следующие отобранные примеры демонстрируют значение ИГСИПГ.

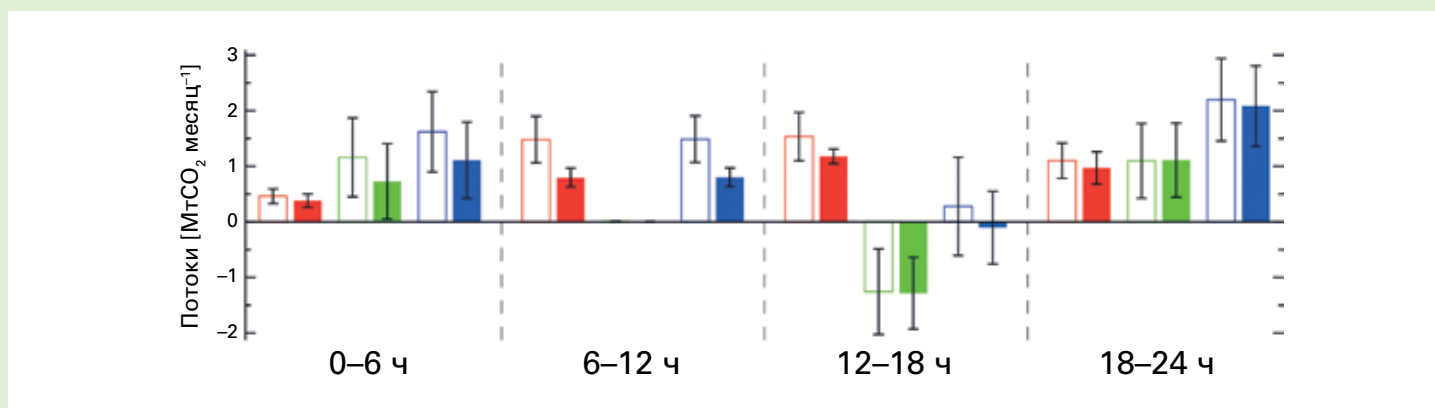
Данные непрерывных измерений метана с четырех наблюдательных станций на Швейцарском плато и с двух дополнительных станций были объединены с моделированием атмосферного переноса и с рамочной структурой обратного моделирования, с тем чтобы вывести пространственное распределение выбросов  $\text{CH}_4$  в Швейцарии и соседних странах [21]. Наилучшая обратная оценка общих швейцарских выбросов  $\text{CH}_4$  за период наблюдения с марта 2013 г. по февраль 2014 г. составляет  $196 \pm 18$  Гг год<sup>-1(6)</sup>. Это значение хорошо согласуется с общенациональным показателем, составляющим  $206 \pm 33$  Гг год<sup>-1</sup>, сообщенным Швейцарией в РКИКООН в 2015 г. за 2012 и 2013 гг. Сочетание подходов «снизу вверх» и «сверху вниз» в значительной степени подтверждают оценку сообщенных общих объемов выбросов с сокращением неопределенности по указанному значению с 16 % до 9 %.

Система обратной оценки была создана не для оптимизации выбросов по отдельным категориям, но для оценки пространственного распределения общего объема выбросов. Тем не менее, информация, полученная в результате обратной оценки по пространственному распределению выбросов, позволяет получить качественное представление о категориях источников, преобладающих в заданном регионе. Надежная пространственная структура предполагает увеличение выбросов по оценкам для северо-восточной части Швейцарии (см. верхний рисунок на странице 5). Возможными кандидатами, на которые приходится эти различия, являются различия в методах ведения сельского хозяйства в этом районе и в остальной части страны, приводящие к различным выбросам на голову скота. В неожиданно высокий объем выбросов в этой области могут вносить свой вклад и другие потенциальные антропогенные и природные источники. Для того чтобы проверить и лучше охарактеризовать этот источник потребуются дополнительные наблюдения. Как Швейцария, так и Соединенное Королевство включают полученную на основе подхода «сверху вниз» информацию в свои национальные доклады, передаваемые в РКИКООН [22].

Глобальные концентрации метана в атмосфере продолжают расти, но при этом отсутствует четкое понимание изменчивости глобальных темпов роста и атрибуции как к природным, так и к антропогенным источникам. Проведенные исследования, предоставившие расходящиеся оценки выбросов метана из



Пространственное распределение кадастра предшествующих выбросов для Швейцарии показано на графике «а», последующие выбросы представлены на графике «б», их абсолютная и относительная разность (последующие минус предшествующие) приведена на графиках «с» и «д» соответственно. Была использована нерегулярная инверсионная сетка, демонстрирующая высокое пространственное разрешение вблизи наблюдательных станций (отмечены знаком «X») и более низкое по мере увеличения расстояния до этих станций. По материалам [21].



Оценки общего потока в течение 30 дней по четырем 6-часовым периодам. Красным цветом отмечены антропогенные выбросы, зеленым — биогенные потоки, а синим — общий поток. Предыдущие оценки показаны в виде незаполненных прямоугольников, а последующие — в виде заполненных. Снижение неопределенности очевидно для утренних и дневных периодов времени. По материалам [26].

цепочки поставок нефти и газа, вызвали противоречивые утверждения об объемах выбросов парниковых газов из этой отрасли. Оценки по принципу «сверху вниз», основанные на крупномасштабных атмосферных выборках, часто превышают оценки по принципу «снизу вверх», основанные на кадастрах выбросов на основе источников. В работе, проводимой Фондом защиты окружающей среды и НУОА [23], оценки выбросов метана на основании подходов по принципу «сверху вниз» и «снизу вверх» по одному из крупных бассейнов добычи природного газа в США примиряются с использованием методов воспроизводимых измерений и интеграции данных. Основываясь на успехе этих методов, ИГСИПГ намерена создать прототип стандартных методов, которые могли бы быть распространены по всему миру и обеспечить большую уверенность и точность при описании характеристик источников выбросов метана из цепочки поставок нефти и газа, а также усовершенствовать эти методы. Способность идентифицировать и количественно оценивать малую долю местоположений с высоким уровнем выбросов позволит направить операторов нефтегазовой системы к новым возможностям в области смягчения последствий изменения климата, в том числе применительно к выбросам метана от утилизации отходов и осуществления сельскохозяйственной деятельности.

Лимско-парижская повестка дня для действий в рамках Парижского соглашения официально оформила роль субнациональных структур, таких как города (крупные городские регионы источников), на долю которых приходится более 70 % выбросов CO<sub>2</sub> от использования ископаемых видов топлива.

Ряд исследований выявил потенциал для более точной количественной оценки выбросов ПГ и трендов городов с сетями атмосферных измерений и анализом обратного моделирования с высокой разрешающей способностью [24, 25]. Предъявляемые к атмосферному обратному анализу требования являются более высокими в случае CO<sub>2</sub> от ископаемого топлива (CO<sub>2</sub>ИТ). Тем не менее, существуют доказательства того, что путем объединения анализа обратного моделирования достаточно плотной и хорошо распределенной сети измерений с пространственно выраженными предварительными знаниями об источниках, городские выбросы CO<sub>2</sub>ИТ могут быть лучше количественно оценены [26] (см. нижний рисунок на этой странице). Хотя тренды в общем объеме выбросов CO<sub>2</sub>ИТ из городов имеют ценное значение, планировщикам городов и руководителям необходима будет информация по конкретным секторам, чтобы направить их к возможностям в области сокращения выбросов. В недавнем исследовании использовался эксперимент по моделированию системы наблюдений, чтобы продемонстрировать, что более плотные сети с менее дорогостоящими наблюдательными станциями средней точности измерений (от 30 до 70 для Парижа) могут предоставлять пространственно выраженную информацию о городских выбросах по конкретным секторам [27]. В странах с развивающейся экономикой, которые могут иметь ненадлежащие статистические знания по принципу «снизу вверх» о выбросах из крупных регионов городских источников и от природных ландшафтов, такие подходы обратного атмосферного анализа могут оказаться особенно ценным источником информации.

В таблице 1 приведены глобально усредненные значения содержания в атмосфере трех основных ДПГ в 2015 г. и изменения их содержания относительно 2014 и 1750 гг. 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 ДПГ, показанные в таблице 1, тесно связаны с антропогенной деятельностью и активно взаимодействуют с биосферой и океанами. Прогнозирование эволюции содержания ДПГ в атмосфере требует количественного понимания 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 поддержки улучшения кадастров выбросов и оценки спутниковых данных о среднем содержании ДПГ в столбе атмосферы.

В 2015 г. годовой индекс содержания парниковых газов НУОА (ГИПГ) [8] составил 1,37, что указывает на увеличение общего радиационного воздействия всех ДПГ на 37 % после 1990 г. и увеличение на 1,3 % с 2014 по 2015 гг. (рисунок 1). Общее радиационное воздействие всех ДПГ в 2015 г. соответствует молярной доле эквивалента  $\text{CO}_2$ , составляющей  $485 \text{ млн}^{-1}$  [9].

### Двуокись углерода ( $\text{CO}_2$ )

Двуокись углерода является единственным наиболее важным антропогенным парниковым газом в атмосфере, доля которого в радиационном воздействии ДПГ составляет ~65 %<sup>(5)</sup>. Его вклад в увеличение радиационного воздействия за последнее десятилетие составляет ~81 %, а за последние пять лет ~82 %. Доиндустриальный уровень, составлявший ~278  $\text{млн}^{-1}$ , отражал баланс потоков между атмосферой, океанами и биосферой суши. Содержание  $\text{CO}_2$  в атмосфере достигло в 2015 г. 144 % по отношению к доиндустриальному уровню, главным образом из-за выбросов от сжигания ископаемых видов топлива и производства цемента (в 2014 г. суммарные выбросы  $\text{CO}_2$  составили  $9,8 \pm 0,5 \text{ ПгУ}$ ), обезлесения и других изменений в землепользовании ( $0,9 \pm 0,5 \text{ ПгУ}$  в среднем за 2005–2014 гг. [7]). Среднее увеличение  $\text{CO}_2$  в атмосфере с 2005 по 2014 гг. соответствует ~44 % выбросов  $\text{CO}_2$  в результате деятельности человека, а оставшиеся ~56 % удаляются океанами и биосферой суши. Доля выбросов  $\text{CO}_2$  из-за сжигания ископаемого топлива, которая остается в атмосфере (атмосферная фракция), изменяется каждый год вследствие значительной естественной изменчивости поглотителей  $\text{CO}_2$  без подтвержденной при этом глобальной тенденции.

Глобально усредненная молярная доля  $\text{CO}_2$  в 2015 г. составила  $400 \pm 0,1 \text{ млн}^{-1}$  (рисунок 3). Прирост среднегодового значения с 2014 по 2015 гг., составивший  $2,3 \text{ млн}^{-1}$ , превышает прирост с 2013 по 2014 гг. и средние темпы роста за последнее десятилетие (~ $2,08 \text{ млн}^{-1} \text{ год}^{-1}$ ). Более высокие темпы роста в 2015 г. по сравнению с предыдущими годами обусловлены увеличением природных выбросов  $\text{CO}_2$ , связанных с недавним явлением Эль-Ниньо.

### Метан ( $\text{CH}_4$ )

Доля метана в радиационном воздействии ДПГ составляет ~17 %<sup>(5)</sup>. Приблизительно 40 % метана поступает в атмосферу

из естественных источников (например, болота и термитники) и приблизительно 60 % — из антропогенных (например, жизнедеятельность жвачных животных, выращивание риса, использование ископаемого топлива, захоронение отходов и сжигание биомассы). Содержание  $\text{CH}_4$  в атмосфере достигло 256 % по отношению к доиндустриальному уровню (~722  $\text{млрд}^{-1}$ ) в связи с увеличением выбросов из антропогенных источников. Глобально усредненная доля  $\text{CH}_4$ , рассчитанная на основании наблюдений *in situ*, достигла в 2015 г. нового максимума, составившего  $1845 \pm 2 \text{ млрд}^{-1}$ , что является увеличением на 11  $\text{млрд}^{-1}$  по отношению к предыдущему году (рисунок 4). Среднегодовой темп роста  $\text{CH}_4$  снизился с ~13  $\text{млрд}^{-1} \text{ год}^{-1}$  в начале 1980-х гг. до почти нулевого значения в период 1999–2006 гг. С 2007 г. содержание  $\text{CH}_4$  в атмосфере снова увеличивается. Исследования, основанные на данных измерений  $\text{CH}_4$  ГСА, указывают на то, что вероятной причиной является увеличение эмиссии  $\text{CH}_4$  из болот в тропиках и выбросов из антропогенных источников в умеренных широтах северного полушария.

### Закись азота ( $\text{N}_2\text{O}$ )

Доля закись азота в радиационном воздействии ДПГ составляет ~6 %<sup>(5)</sup>. Это третий наиболее важный ДПГ по

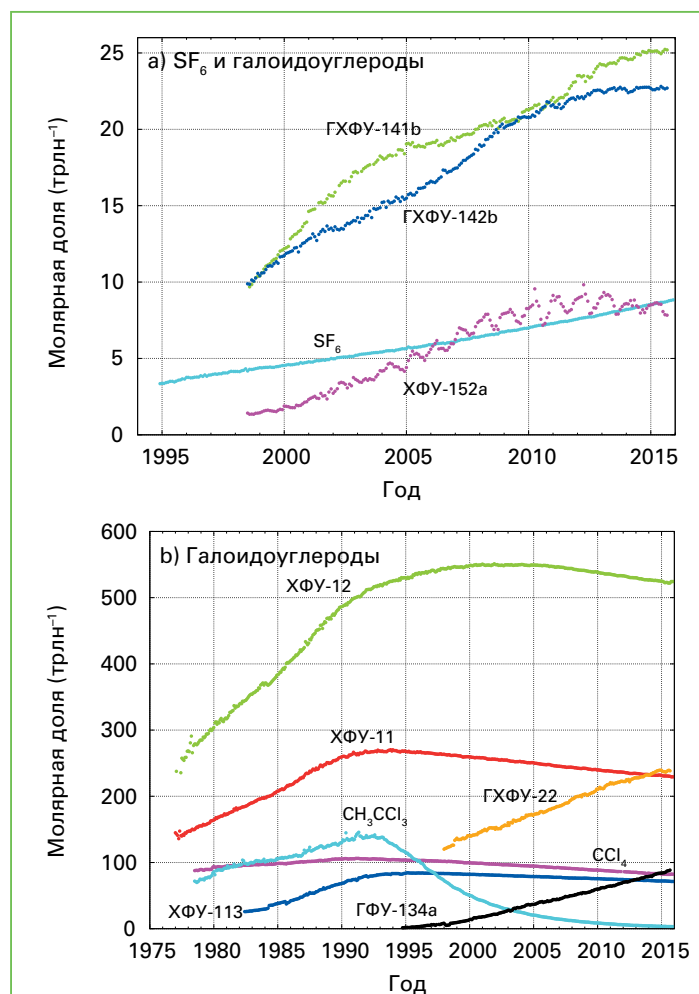


Рисунок 6. Среднемесячная молярная доля гексафторида серы ( $\text{SF}_6$ ) и наиболее важных галоидоуглеродов.  $\text{SF}_6$  и галоидоуглероды с низкой молярной долей (а) и галоидоуглероды с высокой молярной долей (б). Число станций, используемых для анализа:  $\text{SF}_6$  (24), XFCU-11 (23), XFCU-12 (24), XFCU-113 (23),  $\text{CCl}_4$  (2),  $\text{CH}_2\text{CCl}_3$  (24), GXFCU-141b (10), GXFCU-142b (14), GXFCU-22 (14), GFCU-134a (10), GFCU-152a (9).

своему вкладу в общее радиационное воздействие. N<sub>2</sub>O 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<sub>2</sub>O в 2015 г. достигла 328,0±0,1 млрд<sup>-1</sup>, что на 1,0 млрд<sup>-1</sup> выше показателя предыдущего года (рисунок 5) и составляет 121 % от доиндустриального уровня (270 млрд<sup>-1</sup>). Годовое увеличение с 2014 по 2015 гг. превышает средние темпы роста за последние 10 лет (0,89 млрд<sup>-1</sup> год<sup>-1</sup>). Вероятные причины заключаются в увеличении использования удобрений в сельском хозяйстве и увеличении высвобождения N<sub>2</sub>O из почв из-за избытка осаждения атмосферного азота в связи с загрязнением воздуха.

## Другие парниковые газы

Гексафторидсеры (SF<sub>6</sub>) 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 «а»). Вклад хлорфторуглеродов (ХФУ), разрушающих стратосферный озоновый слой, вместе с менее значимыми галоидированными газами в радиационное воздействие ДПГ составляет ~12 %<sup>(5)</sup>. Хотя содержание ХФУ и большинства галонов сокращается, доля некоторых гидрохлорфторуглеродов (ГХФУ) и гидрофторуглеродов (ГФУ), которые также являются мощными парниковыми газами, увеличивается относительно быстрыми темпами, однако их содержание в атмосфере по-прежнему остается низким (на уровнях трлн<sup>-1</sup>)<sup>(7)</sup>.

В настоящем бюллетене в первую очередь рассматриваются долгоживущие парниковые газы. Радиационное воздействие относительно короткоживущего тропосферного озона сопоставимо с радиационным воздействием галоидоуглеродов. Многие другие загрязнители, такие как окись углерода, 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 Членов ВМО и сетей, предоставляющих данные.

## Выражение признательности и ссылки

Пятьдесят один Член ВМО внес свой вклад в форме предоставления данных о CO<sub>2</sub> и других парниковых газах в МЦДПГ ГСА. Приблизительно 46 % данных измерений, передаваемых в МЦДПГ, собираются на станциях совместной сети Научной лаборатории НУОА по изучению системы Земля. Для получения данных по другим сетям и станциям см. Отчет ГСА № 206, доступный по адресу: <http://www.wmo.int/gaw> [28]. В подготовку настоящего бюллетеня также был внесен вклад по линии Расширенного эксперимента по глобальным атмосферным газам (AGAGE) в форме 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 (СИСГСА) (<https://gawsis.meteoswiss.ch>), которая получает поддержку со стороны Метеорологической службы Швейцарии.

## Ссылки

- [1] NOAA ESRL, 2016: Multivariate ENSO Index (MEI), <http://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei/>.
- [2] NOAA, 2016: August marks ongoing trend of record-breaking heat for the globe, <http://www.noaa.gov/news/august-marks-ongoing-trend-of-record-breaking-heat-for-globe>.
- [3] Dlugokencky, E. and P. Tans, 2016: NOAA/ESRL, <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>.
- [4] Betts, R.A. et al., 2016: El Niño and a record CO<sub>2</sub> rise. *Nature Climate Change*, 6(9):806–810, doi:10.1038/nclimate3063.
- [5] Stocker, T.F. et al., 2013: Technical Summary. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Stocker, T.F., D. Qin et al., eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, United States.
- [6] Giglio, L., J.T. Randerson and G.R. van der Werf, 2016: Global Fire Emissions Database, [www.globalfiredata.org](http://www.globalfiredata.org).
- [7] Le Quééré, C. et al. 2015: Global carbon budget 2015. *Earth System Science Data*, 7(2):349–396, doi:10.5194/essd-7-349-2015.
- [8] Butler, J.H. and S.A. Montzka, 2016: The NOAA Annual Greenhouse Gas Index (AGGI), <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/aggi.html>.
- [9] NOAA ESRL, 2016: NOAA's Annual Greenhouse Gas Index, <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/>.
- [10] Conway, T.J. et al., 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.
- [11] WMO, 2009: *Technical Report of Global Analysis Method for Major Greenhouse Gases by the World Data Centre for Greenhouse Gases* (Y. Tsutsumi, K. Mori, et al.). GAW Report No. 184 (WMO/TD-No. 1473). Geneva, 29 pp, [https://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/documents/TD\\_1473\\_GAW184\\_web.pdf](https://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/documents/TD_1473_GAW184_web.pdf).
- [12] Berg, A. et al. 2016: Land–atmosphere feedbacks amplify aridity increase over land under global warming. *Nature Climate Change*, 6(9):869–874, doi:10.1038/nclimate3029.
- [13] Frölicher, T.L., 2016: Climate Response: Strong warming at high emissions. *Nature Climate Change*, 6(9):823–824. doi:10.1038/nclimate3053.
- [14] DeConto R.M. and D. Pollard, 2016: Contribution of Antarctica to past and future sea-level rise. *Nature*, 531:591–597, doi:10.1038/nature17145.
- [15] IPCC, 2014: *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer, eds.). IPCC, Geneva, 151 pp.
- [16] National Academy of Science, 2010: *Verifying Greenhouse Gas Emissions: Methods to Support International Climate Agreements*. The National Academies Press, Washington, D.C., doi: 10.17226/12883.
- [17] Ciais, P. et al., 2010: *GEO Carbon Strategy*. GEO Secretariat, Geneva/FAO, Rome, 48 pp.
- [18] IPCC, 2010: *Expert Meeting on Uncertainty and Validation of Emission Inventories* (H.S. Eggleston, J. Baasansuren, K. Tanabe and N. Srivastava, eds.). Meeting Report of the Expert Meeting

on Uncertainty and Validation of Emission Inventories, Utrecht, Netherlands, 23–25 March 2010, Pub. IGES, Japan.

[19] МГЭИК, 2006: Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК, 2006, <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>.

[20] WMO, 2016. Integrated Global Greenhouse Gas Information System (IG<sup>3</sup>IS), <http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/ghg/IG3IS-info.html>.

[21] Henne, S. et al., 2016: Validation of the Swiss methane emission inventory by atmospheric observations and inverse modelling. *Atmos. Chem. Phys.*, 16:3683–3710, [www.atmos-chem-phys.net/16/3683/2016/](http://www.atmos-chem-phys.net/16/3683/2016/).

[22] [http://unfccc.int/national\\_reports/annex\\_i\\_ghg\\_inventories/national\\_inventories\\_submissions/items/9492.php](http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/items/9492.php).

[23] Zavala-Araiza et al., 2015: Reconciling divergent estimates of oil and gas methane emissions. *PNAS*, 112(51):15597–15602, [www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1522126112](http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1522126112).

[24] Lauvaux, T. et al., 2016: High-resolution atmospheric inversion of urban CO<sub>2</sub> emissions during the dormant season of the Indianapolis Flux Experiment (INFLUX). *J. Geophys. Res. Atmos.*, 121, doi:10.1002/2015JD024473.

[25] McKain, K. et al., 2015: Methane emissions from natural gas infrastructure and use in the urban region of Boston, Massachusetts. *PNAS*, 112(7):1941–1946, doi: 10.1073/pnas.1416261112.

[26] Bréon, F.M. et al., 2015: An attempt at estimating Paris area CO<sub>2</sub> emissions from atmospheric concentration measurements. *Atmos. Chem. Phys.*, 15:1707–1724, <http://www.atmos-chem-phys.net/15/1707/2015/acp-15-1707-2015.html>.

[27] Wu, L. et al., 2016: What would dense atmospheric observation networks bring to the quantification of city CO<sub>2</sub> emissions? *Atmos. Chem. Phys.*, 16:7743–7771. <http://www.atmos-chem-phys.net/16/7743/2016/acp-16-7743-2016.html>.

[28] WMO, 2012: *16th WMO/IAEA Meeting on Carbon Dioxide, Other Greenhouse Gases, and Related Measurement Techniques (GGMT-2011)*. Wellington, New Zealand, 25–28 October 2011 (G. Brailsford, ed.). GAW Report No. 206. Geneva.

## Контактная информация

### Всемирная метеорологическая организация

Отдел исследований атмосферной среды,  
Департамент научных исследований, Женева  
Э-почта: [gaw@wmo.int](mailto:gaw@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](mailto:wdcgg@met.kishou.go.jp)  
Веб-сайт: <http://ds.data.jma.go.jp/gmd/wdcgg/>

(1) млн<sup>-1</sup> = число молекул газа на миллион (10<sup>6</sup>) молекул сухого воздуха.

(2) 1 ПгУ = 1 петаграмм (10<sup>15</sup> грамм) углерода.

(3) Молярная доля = предпочтительное выражение для содержания (концентрации) смеси газов или жидкостей. В атмосферной химии используется для выражения концентрации как числа молей соединения на моль сухого воздуха.

(4) млрд<sup>-1</sup> = число молекул газа на миллиард (10<sup>9</sup>) молекул сухого воздуха.

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

(6) Гг = гигаграмм (10<sup>9</sup> грамм)

(7) трлн<sup>-1</sup> = число молекул газа на триллион (10<sup>12</sup>) молекул сухого воздуха.

## Отдельные обсерватории парниковых газов



Станция базовых наблюдений за загрязнением воздуха Кейп-Грим (40,68° ю.ш., 144,69° в.д., 94 м н.у.м.) является полностью функционирующей глобальной станцией ГСА ВМО. Она расположена на прибрежной скале в самой дальней северо-западной части Тасмании, Австралия. Преобладающие юго-западные ветры, как правило, преодолевают продолжительные участки Южного океана, имея минимальный контакт или не имея контакта вообще с участками суши или с антропогенными источниками в течение длительных периодов времени, что обеспечивает идеальное местоположение станции для осуществления базовой выборки в средних широтах южного полушария. В случае ветра с севера (траектории над Мельбурном) или с юго-востока (над сельскохозяйственными землями в сельской местности) возможно осуществлять эпизодической отбор проб при различных обстоятельствах. Станция эксплуатируется Бюро метеорологии (БМ) Австралии, руководствуясь научной программой, совместное управление которой осуществляется БМ и австралийской Организацией по научным и промышленным исследованиям для стран Содружества наций. В число совместных партнеров входят Австралийская организация по ядерной науке и технологии и Университет Вуллонгонг, а также ряд международных институтов и программ, проводящих измерения. Научные программы включают в себя следующие: частицы и многофазная атмосферная химия, спектральное и пассивное излучение, озон/химически активные газы, двуокись углерода и ее стабильные изотопы, парниковые газы кроме CO<sub>2</sub>, архив данных о воздухе и радон. Станция открылась в 1976 г., таким образом в 2016 г. она отмечает 40-летие непрерывных наблюдений и передового опыта в науке.



Обсерватория Косетице (49,58° с.ш., 15,08° в.д., 534 м н.у.м.) эксплуатируется Чешским гидрометеорологическим институтом. Она расположена в малонаселенной сельской местности на Чешско-Моравской возвышенности. Обсерватория была учреждена в 1988 г. как станция, специализирующаяся на мониторинге и исследовании качества окружающей среды на региональном уровне в Чехии. Станция фокусирует свое внимание на качестве воздуха (NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO, ЛОС, ПАУ, химия осадков), измерениях отдельных аэрозолей и метеорологических параметров, а также многих других видах измерений. Обсерватория Косетице производит непрерывные наблюдения CH<sub>4</sub> с 1996 г. с применением газовой хроматографии. Станция теперь является частью сети Европейской интегрированной системы наблюдений за углеродом и измеряет CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub> с помощью современного оборудования.