

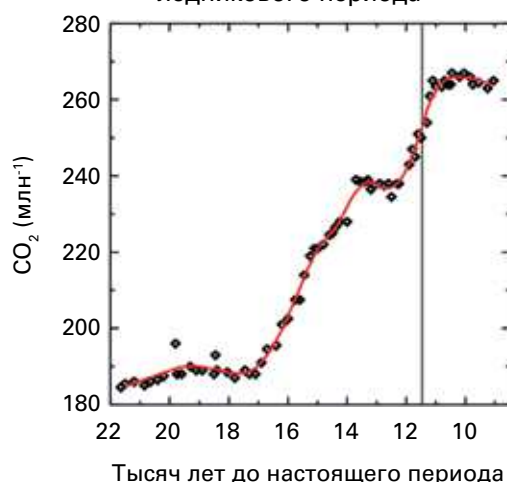


БЮЛЛЕТЕНЬ ВМО ПО ПАРНИКОВЫМ ГАЗАМ

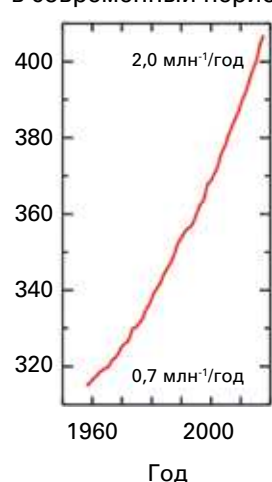
Содержание парниковых газов в атмосфере по данным
глобальных наблюдений в 2016 году

№ 13 | 30 октября 2017 г.

Концентрация CO_2 в конце последнего
ледникового периода



Концентрация CO_2 в современный период



рекордных уровней в 2016 году, хотя, согласно самым последним оценкам Глобального проекта по углероду (<http://globalcarbonbudget2016.org/>), межгодовой прирост этих выбросов замедлился или даже стабилизировался. Эти выбросы в совокупности с естественными выбросами в 2015 и 2016 годах, связанными с Эль-Ниньо, способствовали рекордному увеличению концентрации CO_2 в атмосфере, как зафиксировала сеть ГСА ВМО, что способствовало дальнейшему усилению воздействия на климат. Устойчивый рост концентраций ПГ в атмосфере за период наблюдений начиная с 1970 года по настоящее время согласуется с наблюдаемым ростом глобальных средних температур за тот же период с рекордными значениями, зафиксированными в 2016 году, о чем сообщается в Заявлении ВМО о состоянии глобального климата [2].

Темпы роста концентраций двуокиси углерода (CO_2) в атмосфере за последние 70 лет почти в сто раз превысили аналогичные темпы роста в конце последнего ледникового периода. Насколько можно судить по данным прямых и косвенных наблюдений, такие резкие изменения уровней CO_2 в атмосфере никогда ранее не наблюдались. На рисунке слева показано содержание CO_2 в атмосфере в конце последнего ледникового периода, а на рисунке справа — последние данные о содержании CO_2 в атмосфере [1]. Узкая серая область на левом рисунке, которая выглядит как вертикальная линия, соответствует аналогичному современному семидесятилетнему периоду, отраженному на правом рисунке. Быстрый рост концентраций CO_2 и других парниковых газов (ПГ) в атмосфере способен спровоцировать непредсказуемые изменения в климатической системе из-за сильных положительных обратных связей, приводящих к серьезным нарушениям экологического и экономического равновесия. Программа Глобальная служба атмосферы (ГСА) ВМО отслеживает изменение уровней ПГ и служит в качестве системы раннего предупреждения, выявляя изменения в этих ключевых атмосферных факторах, вызывающих изменение климата.

Рост численности населения, интенсификация методов ведения сельского хозяйства, расширение землепользования и вырубки лесов, индустриализация и связанное с ней использование энергии ископаемых видов топлива — все это способствовало увеличению концентраций ПГ в атмосфере с начала индустриальной эпохи в 1750 году. Атмосферные выбросы CO_2 в результате деятельности человека вновь достигли

Как проиллюстрировано в центральной статье настоящего бюллетеня, за последние ~800 000 лет доиндустриальный уровень содержания CO_2 в атмосфере оставался ниже 280 млн^{-1} во время ледниковых и межледниковых циклов, однако к 2016 году он вырос до глобальной средней величины в 403,3 млн^{-1} . Из самых последних реконструкций с высоким разрешением по данным исследований ледяных кернов можно заключить, что изменения CO_2 никогда еще не происходили с такой скоростью, как за последние 150 лет, а естественные изменения CO_2 во время ледникового периода всегда предшествовали соответствующим изменениям температуры. Геологические данные показывают, что текущие уровни CO_2 соответствуют климату в «равновесном» состоянии, в последний раз наблюдавшемуся в среднем плиоцене (3—5 миллионов лет назад), климату, который был на 2—3 °C теплее и при котором таяли Гренландский и Западно-антарктический ледяные щиты и даже была утрачена часть Восточно-антарктического щита, что привело к превышению уровня моря на 10—20 м по сравнению с сегодняшним.

Чем дольше мы будем ждать осуществления Парижского соглашения, тем больший объем обязательств нам необходимо будет принять на себя и тем более радикальными (и дорогостоящими) должны будут стать сокращения уровней выбросов, необходимые в будущем для удержания масштабов изменения климата в критических пределах.

Резюме

Последний анализ данных наблюдений, полученных в рамках Программы ГСА ВМО, показывает, что глобально усредненные приповерхностные молярные доли⁽²⁾, рассчитанные на основании данных этой сети наблюдений *in situ* для двуокиси углерода (CO_2), метана (CH_4) и закиси азота (N_2O), достигли в 2016 году новых максимумов, причем для CO_2 он составил $403,3 \pm 0,1$ млн⁻¹, для CH_4 — 1853 ± 2 млрд⁻¹⁽³⁾, а для N_2O — $328,9 \pm 0,1$ млрд⁻¹. Эти значения составляют соответственно 145%, 257% и 122% по отношению к доиндустриальным (до 1750 года) уровням. Рекордное увеличение содержания CO_2 в атмосфере с 2015 по 2016 год на $3,3$ млн⁻¹ превысило рекордное увеличение, наблюдавшееся с 2012 по 2013 год, и средние темпы роста за последнее десятилетие. Явление Эль-Ниньо 2015/16 года способствовало увеличению темпов роста за счет комплексных двусторонних взаимодействий между изменением климата и углеродным циклом. Увеличение концентрации CH_4 с 2015 по 2016 год было слегка менее значительным, чем увеличение, наблюдавшееся с 2014 по 2015 год, но превысило средние темпы роста за последнее десятилетие. Увеличение концентрации N_2O с 2015 по 2016 год было также слегка менее значительным, чем в период с 2014 по 2015 год и чем средние темпы роста за последние 10 лет. Годовой индекс содержания парниковых газов (ГИСПГ), рассчитанный Национальным управлением по исследованию океанов и атмосферы (НУОА) [3, 4], показывает, что в период с 1990 по 2016 год радиационное воздействие долгоживущих парниковых газов (ДПГ) увеличилось на 40%, при этом на CO_2 приходится около 80 % этого увеличения.

Обзор наблюдений сети ГСА *in situ* за 2016 год

В настоящем ежегодном Бюллетене ГСА ВМО по парниковым газам сообщается о содержании в атмосфере важнейших ДПГ — CO_2 , CH_4 и N_2O и о темпах изменения их содержания, а также приводится краткая информация о вкладе в радиационное воздействие на атмосферу других ПГ. На эти три ДПГ, наряду с ХФУ-12 и ХФУ-11, приходится приблизительно 96 %⁽⁴⁾ [5] радиационного воздействия, обусловленного ДПГ (рисунок 1).

Программа ГСА ВМО (<http://www.wmo.int/gaw>) координирует систематические наблюдения и анализ ПГ и других малых газовых составляющих в атмосфере. Станции, на которых в последнее десятилетие осуществляется измерение ПГ, 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.

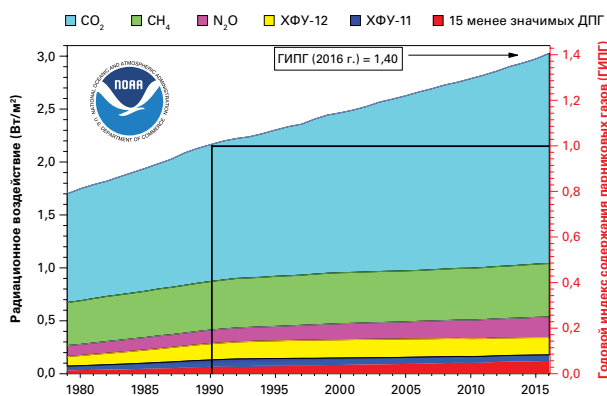


Рисунок 1. Радиационное воздействие всех ДПГ на атмосферу относительно 1750 г. и обновленный ГИСПГ НУОА за 2016 г. [3, 4]

Таблица 1. Глобальное среднегодовое приземное содержание (2016 г.) и тренды важнейших ПГ по данным глобальной сети ГСА ВМО для наблюдений за ПГ. Единицы измерения — молярные доли в сухом воздухе, а погрешности определены на уровне доверительного интервала, составляющего 68 % [7]; метод усреднения описан в Отчете ГСА № 184 [6].

	CO_2	CH_4	N_2O
Глобальное содержание в 2016 г.	$403,3 \pm 0,1$ млн ⁻¹	1853 ± 2 млрд ⁻¹	$328,9 \pm 0,1$ млрд ⁻¹
Содержание в 2016 г. относительно 1750 г. ^a	145 %	257 %	122 %
Абсолютное увеличение в 2015—2016 гг.	3,3 млн ⁻¹	9 млрд ⁻¹	0,8 млрд ⁻¹
Относительное увеличение в 2015—2016 гг.	0,83 %	0,49 %	0,24 %
Среднее годовое абсолютное увеличение за последние 10 лет	2,21 млн ⁻¹ /год	6,8 млрд ⁻¹ /год	0,90 млрд ⁻¹ /год

^a 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 123 для CO_2 , 125 для CH_4 и 33 для N_2O .

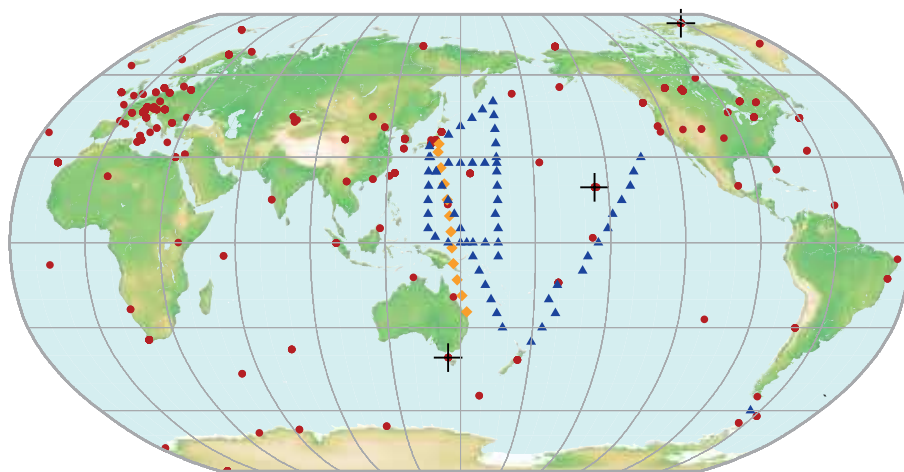


Рисунок 2. Глобальная сеть ГСА для мониторинга CO_2 в последнее десятилетие (сеть для мониторинга CH_4 аналогична)

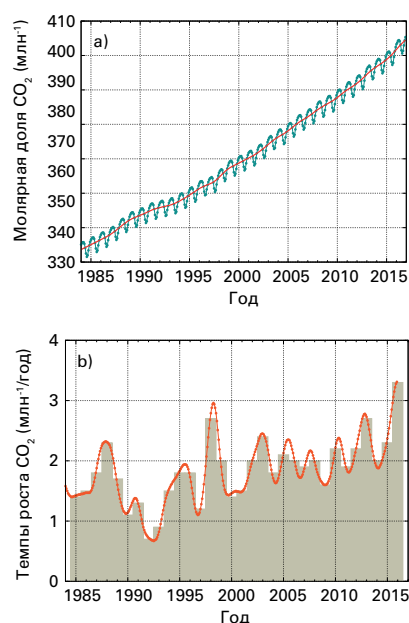


Рисунок 3. Глобально усредненная молярная доля CO_2 (график «а») и темпы ее роста (график «б») с 1984 по 2016 г. Прирост последовательных среднегодовых значений показан в виде затененных столбцов на графике «б». Красной линией на графике «а» показана среднемесячная молярная доля без учета сезонных колебаний; голубыми точками и линией обозначены среднемесячные значения. Для данного анализа использованы данные 123 станций.

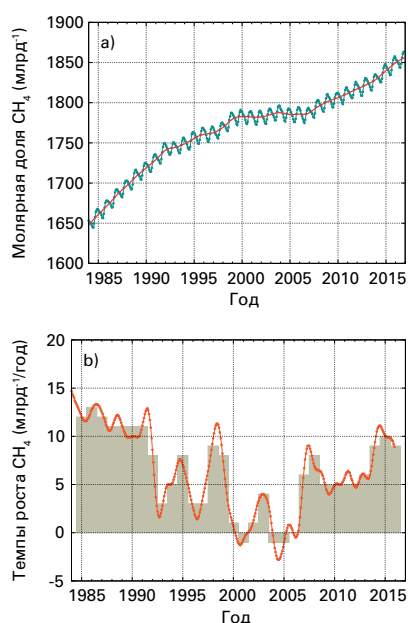


Рисунок 4. Глобально усредненная молярная доля CH_4 (график «а») и темпы ее роста (график «б») с 1984 по 2016 г. Прирост последовательных среднегодовых значений показан в виде затененных столбцов на графике «б». Красной линией на графике «а» показана среднемесячная молярная доля без учета сезонных колебаний; голубыми точками и линией обозначены среднемесячные значения. Для данного анализа использованы данные 125 станций.

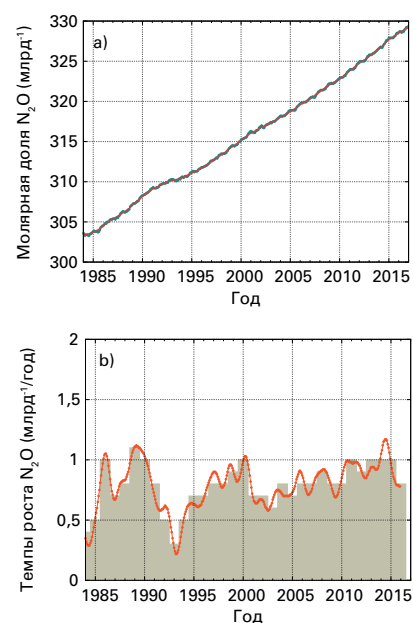


Рисунок 5. Глобально усредненная молярная доля N_2O (график «а») и темпы ее роста (график «б») с 1984 по 2016 г. Прирост последовательных среднегодовых значений показан в виде затененных столбцов на графике «б». Красной линией на графике «а» показана среднемесячная молярная доля без учета сезонных колебаний; на данном графике она совпадает с голубыми точками и линией, обозначающими среднемесячные значения. Для данного анализа использованы данные 33 станций.

Представленные здесь результаты МЦДПГ ВМО по глобальному среднему значению и темпам роста несколько отличаются от результатов, сообщаемых НУОА за те же годы [1], по причине различий в используемых станциях, различий в процедуре усреднения и небольших различий в периоде времени, для которого эти значения репрезентативны. МЦДПГ ВМО следует процедуре, описанной в Отчете ГСА № 184 [6].

В таблице 1 приведены глобально усредненные значения содержания в атмосфере трех основных ДПГ в 2016 году и изменения их содержания относительно 2015 и 1750 годов. Данные с подвижных станций (синие треугольники и оранжевые ромбы на рисунке 2), за исключением станций НУОА, с которых производится отбор проб в восточной части Тихоокеанского региона, в этом глобальном анализе не используются.

Три ПГ, приведенные в таблице 1, тесно связаны с антропогенной деятельностью и активно взаимодействуют с биосферой и океанами. Прогнозирование эволюции содержания ПГ в атмосфере требует количественной оценки их многочисленных источников, поглотителей и химических преобразований в атмосфере. Наблюдения в рамках Программы ГСА предоставляют неоценимую информацию об ограничениях при расчете балансов этих или иных ДПГ и используются для содействия улучшению кадастров выбросов и оценки спутниковых данных о среднем содержании ДПГ в столбе атмосферы. Интегрированная глобальная информационная система по парниковым газам, поддерживаемая ВМО, позволяет получить дополнительное представление об источниках ПГ на национальном и субнациональном уровнях.

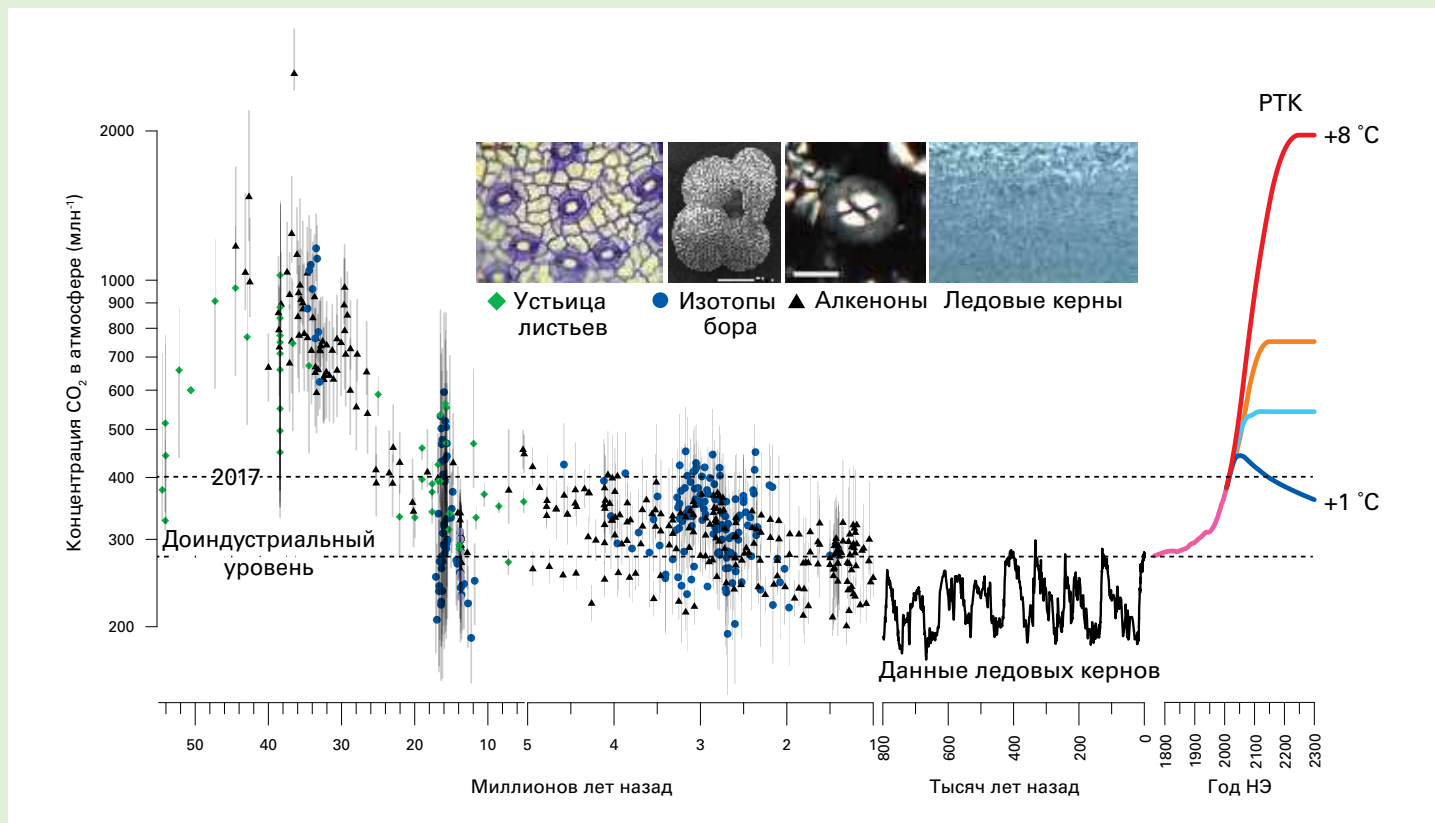
В 2016 году ГИСПГ НУОА [4] составил 1,40, что указывает на увеличение общего радиационного воздействия всех ДПГ на 40%⁽⁴⁾ с 1990 года и на увеличение на 2,5 % с 2015 по 2016 год (рисунок 1). Суммарное радиационное воздействие всех ДПГ в 2016 году соответствует молярной доле эквивалента CO_2 , составляющей 489 млн⁻¹ [4].

Двуокись углерода

Двуокись углерода является единственным наиболее важным антропогенным ПГ в атмосфере, доля которого в радиационном воздействии ДПГ составляет ~65 %⁽⁴⁾. Его вклад в увеличение радиационного воздействия за последнее десятилетие составляет ~82 % и ~83 % за последние пять лет. Доиндустриальный уровень, составлявший ~278 млн⁻¹, отражал баланс потоков между атмосферой, океанами и биосферой суши. В 2016 году содержание CO_2 в атмосфере достигло 145 % по отношению к доиндустриальному уровню главным образом за счет выбросов от сжигания ископаемых видов топлива и производства цемента (в 2015 году суммарные выбросы CO_2 составили $9,9 \pm 0,5$ ПгУ⁽⁵⁾ [8]), обезлесения и других изменений в землепользовании ($1,0 \pm 0,5$ ПгУ в среднем за 2006—2015 годы). Из всего объема выбросов в результате человеческой деятельности в период с 2006 по 2015 год около 44 % аккумулировалось в атмосфере, 26 % — в океане и 30 % — на суше [8]. 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.

ВЫЯВЛЕНИЕ СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРЫ В ДРЕВНОСТИ НА ОСНОВАНИИ ИССЛЕДОВАНИЙ АНТАРКТИЧЕСКИХ ЛЬДОВ

Нэнси Бертлер (ГНС Наука и Университет Виктории в Веллингтоне), Ричард Леви (ГНС Наука) и Джоселин Тернбулл (ГНС Наука, Новая Зеландия)



Реконструкции концентраций CO_2 в атмосфере за последние 55 миллионов лет получены по косвенным данным, включающим изотопы бора (синие кружки), алкеноны (черные треугольники) и устьяца листьев (зеленые ромбы). Данные прямых измерений за последние 800 000 лет получены по антарктическим ледовым кернам и с помощью современных приборов (розовый). Будущие оценки включают репрезентативные траектории концентраций (РТК) 8,5 (красный), 6 (оранжевый), 4,5 (голубой) и 2,6 (синий). Справочный материал по всем данным, отмеченным на рисунке, содержится в расширенной версии, доступной в режиме онлайн по адресу: (<http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/ghg/ghg-bulletin13.html>). НЭ = наша эра.

За последние 30 лет были разработаны методы извлечения крошечных пузырьков воздуха из ледяных кернов, отобранных в Антарктике, для восстановления сложных данных о концентрациях ПГ, в частности CO_2 , CH_4 и N_2O , в атмосфере. В отличие от большинства палеоклиматических реконструкций, данные о ПГ являются не косвенным показателем, а скорее измерением параметров атмосферы прошлых лет, полученным по мельчайшим пузырькам древнего воздуха, заключенного в лед по мере накопления и замерзания новых слоев снега. Первые записи были сделаны французским ученым Клодом Лориусом на Куполе-С и станции Восток в 1970-х годах в разгар холодной войны совместно с советскими и американскими учеными. С того времени был получен еще более значительный объем данных измерений, включая самые длинные записи, полученные на сегодняшний день в ходе европейского проекта по изучению отобранных с Купола-С в Антарктике ледяных кернов и охватывающие последние 740 000 лет. Эти записи служат доказательством того, что за последние восемь переходов от ледникового к аналогичному современному теплоту (межледниковому) периоду содержание

CO_2 в атмосфере изменялось в пределах между 180 и 280 млн^{-1} , что свидетельствует о том, что сегодняшняя концентрация CO_2 , составляющая ~400 млн^{-1} , превышает естественную изменчивость, наблюдаемую на протяжении сотен тысяч лет.

За последнее десятилетие для изучения скорости изменения концентрации CO_2 в прошлом использовались новые данные высокого разрешения, полученные с помощью ледовых кернов. Эти данные были собраны на внутренней части Западной Антарктики (отбор ледовых кернов с линии раздела Западно-антарктического ледяного щита) и вдоль побережья Антарктики, где снег аккумулируется быстро, вследствие чего записи имеют высокое временное разрешение (например, Купол Лоу, Купол Талос и остров Рузвельта), и используются для прямого сравнения с данными станции Мауна-Лоа, а также с глобально осредненными молярными долями. Горизонтальные ледовые керны, в которых очень старый лед открыто расположен у поверхности (например, Купол Тэйлор и Алан Хиллз), также используются для удлинения временных рядов и

Фрагмент ледяного керна, отобранного на юго-востоке Гренландии группой Лоры Кёниг, гляциолога из Центра космических полетов им. Годдарда (НАСА) в Гринбелте.



для того, чтобы можно было отбирать большие объемы льда для дополнительных измерений, включая стабильные изотопы CO_2 , для изучения источников и поглотителей, вызвавших изменения концентрации CO_2 .

Ритм и механизмы изменений концентрации двуокиси углерода в прошлом

Около 23 000 лет назад, когда концентрация CO_2 в атмосфере и температура воздуха начали расти, на Земле закончился ледниковый период. За период между 23 000 и 9000 лет назад количество CO_2 в атмосфере увеличилось на 80 млн⁻¹, со 180 до 260 млн⁻¹. Современные измерения и методы анализа показывают, что рост концентрации CO_2 происходил за несколько столетий до соответствующих изменений температуры. Данные ледовых кернов, отобранных в Западной Антарктике, указывают на три различных типа изменчивости CO_2 в течение этого периода времени:

- *Медленное увеличение CO_2 .* Концентрация CO_2 увеличивалась медленно примерно на 10 млн⁻¹ за 1000 лет в период между 18 000 и 13 000 лет назад. Полагают, что это медленное изменение обусловлено увеличением объемов высвобождения и уменьшением объемов поглощения хранящегося в глубинах океана углерода в результате изменений температуры и солености океанских вод, сокращением площади морских льдов и биологической активностью в Южном океане.
- *Резкое увеличение CO_2 .* Быстрое увеличение концентрации CO_2 на 10–15 млн⁻¹ за 100–200 лет происходило в течение трех периодов времени: 16 000, 15 000 и 12 000 лет назад. На долю этих трех периодов быстрых изменений приходится почти половина всего увеличения CO_2 в период отступления ледников, и эти периоды связаны с резкими изменениями в режимах циркуляции океана — постоянным противостоянием глубоководных течений Северной Атлантики и Южного океана, вызывающим быстрый выброс углерода в атмосферу. Для сравнения, в результате сжигания

ископаемого топлива содержание CO_2 в атмосфере увеличилось на 120 млн⁻¹ за последние 150 лет.

- *Стабильный уровень CO_2 .* Примечательно, что за каждым из периодов быстрых изменений наступал период устойчивой концентрации CO_2 , который продолжался около 1000–1500 лет. Хотя причины наступления такой устойчивости до сих пор являются предметом обсуждений, возможным объяснением могут служить дальнейшие изменения циркуляции океана, связанные с таянием ледяных щитов, медленные изменения роста наземных растений и процессов взаимодействия океана и атмосферы, следующие за периодами быстрых изменений концентрации CO_2 .

Прошлые примеры для обеспечения будущих обязательств

Геологические данные, собранные до получения данных анализа ледовых кернов, предоставляют возможность понять, каким образом система Земля реагировала на условия, при которых концентрации CO_2 в атмосфере были в последний раз аналогичны сегодняшним и тем, которые ожидаются в ближайшие десятилетия. Информация, полученная по данным анализа алкенонов, изотопов бора и устьиц ископаемых листьев, сохранившихся в слоях скальных и осадочных пород, позволяет получить оценки концентрации CO_2 за последние миллионы лет. Эти данные помогают оценить чувствительность экосистем Земли к концентрациям CO_2 , превышающим доиндустриальные уровни, и, следовательно, протестировать и усовершенствовать модели климата, ледяных щитов и системы Земля. Представляющие интерес периоды времени включают средний плиоцен (3–5 миллионов лет назад), период, когда концентрация CO_2 в атмосфере Земли в последний раз составила 400 млн⁻¹. В этот период глобальные средние температуры поверхности были на 2–3 °C выше, чем сегодня, ледяные щиты в Гренландии и Западной Антарктике таяли и даже ледяной покров в Гренландии и Восточной Антарктике частично отступил, вызвав повышение уровня моря на 10–20 м по сравнению с сегодняшним уровнем. В среднем миоцене (примерно от 15 до 17 миллионов лет назад) концентрации CO_2 в атмосфере достигали 400–650 млн⁻¹, а глобальные средние температуры поверхности были на 3–4 °C выше, чем сегодня. Во время самых теплых промежутков времени ледяные щиты Восточной Антарктики отступили вглубь континента, вызвав повышение уровня моря на 40 м. До периода, начавшегося 34 миллиона лет назад, уровни CO_2 в атмосфере были обычно выше 1000 млн⁻¹. Температура была так высока, что ледяной покров в Антарктиде не увеличивался.

Эти ценные данные, позволяющие заглянуть в прошлое, обеспечивают полезные примеры для оценки отклика различных сред и экосистем на высокие концентрации CO_2 и, таким образом, предоставляют неоценимую информацию об ограничениях при моделировании различных сценариев воздействия будущих выбросов ПГ.

Справочный материал для этой статьи доступен в расширенной версии в режиме онлайн по адресу: <http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/ghg/ghg-bulletin13.html>.

Глобально усредненная молярная доля CO_2 в 2016 году составила $403,3 \pm 0,1$ млн⁻¹ (рисунок 3). Рекордный среднегодовой прирост с 2015 по 2016 год ($3,3$ млн⁻¹) превышает предыдущий рекордный прирост с 2014 по 2015 год и на 50 % превышает средние темпы роста за последнее десятилетие ($\sim 2,2$ млн⁻¹/год). Более высокие темпы роста в 2016 и 2015 годах по сравнению с предыдущими годами частично обусловлены увеличением природных выбросов CO_2 , связанных с недавним явлением Эль-Ниньо, как объясняется в предыдущем (двенадцатом) выпуске настоящего Бюллетеня по ПГ.

Метан

Доля метана в радиационном воздействии ДПГ составляет ~ 17 %⁽⁴⁾. Приблизительно 40 % CH_4 поступает в атмосферу из естественных источников (например, водно-болотные угодья и термитники) и ~ 60 % — из антропогенных (например, жизнедеятельность жвачных животных, выращивание риса, использование ископаемого топлива, захоронение отходов и сжигание биомассы). Содержание CH_4 в атмосфере в 2016 году достигло 257 % по отношению к доиндустриальному уровню (~ 722 млрд⁻¹) в связи с увеличением выбросов

из антропогенных источников. Глобально усредненная доля CH_4 , рассчитанная на основании наблюдений *in situ*, достигла в 2016 году нового максимума, составившего $1\,853 \pm 2$ млрд⁻¹, что является увеличением на 9 млрд⁻¹ по отношению к предыдущему году (рисунок 4). Среднегодовой прирост CH_4 снизился с ~ 13 млрд⁻¹/год в начале 1980-х годов до почти нулевого значения в период с 1999 по 2006 год. С 2007 года содержание CH_4 в атмосфере вновь стало увеличиваться. 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

Доля закись азота в радиационном воздействии ДПГ составляет ~ 6 %⁽⁴⁾. Это третий наиболее важный ДПГ по своему вкладу в общее радиационное воздействие. Он поступает в атмосферу как из естественных (~ 60 %), так и из антропогенных источников (~ 40 %), включая океаны, почву, сжигание биомассы, использование удобрений и различные промышленные процессы. Глобально усредненная молярная

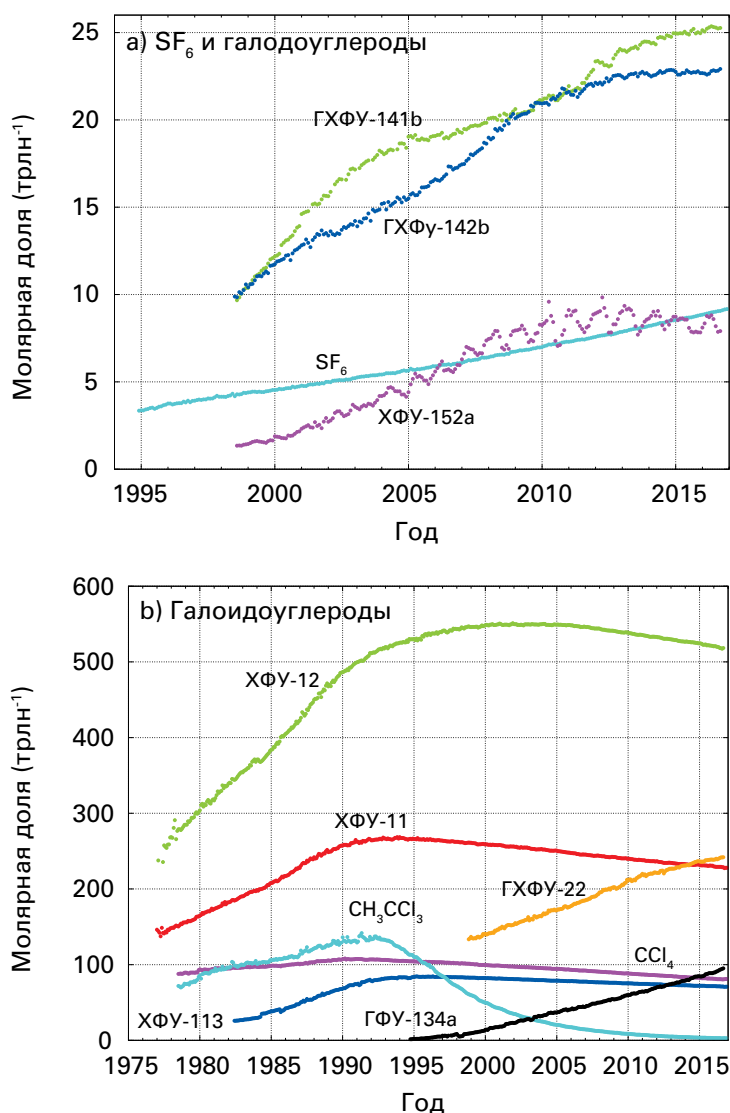


Рисунок 6. Среднемесячная молярная доля гексафторида серы (SF_6) и наиболее важных галоуглеродов: SF_6 и галоуглероды с низкой молярной долей (график «а») и галоуглероды с высокой молярной долей (график «б»). Число станций, использованных для анализа: SF_6 (24), ХФУ-11 (23), ХФУ-12 (24), ХФУ-113 (20), CCl_4 (21), CH_3CCl_3 (24), ГХФУ-141b (10), ГХФУ-142b (14), ГХФУ-22 (14), ГФУ-134a (10) и ГФУ-152a (9).

доля N_2O в 2016 году достигла $328,9 \pm 0,1$ млрд⁻¹, что на 0,8 млрд⁻¹ выше показателя предыдущего года (рисунок 5) и на 122 % больше доиндустриального уровня (270 млрд⁻¹). Годовое увеличение с 2015 по 2016 год слегка ниже, чем средние темпы роста за последние 10 лет (0,9 млрд⁻¹/год). Вероятные причины увеличения концентрации N_2O в атмосфере заключаются в увеличении использования удобрений в сельском хозяйстве и увеличении высвобождения N_2O из почв из-за избытка осаждения атмосферного азота в связи с загрязнением воздуха.

Другие парниковые газы

Гексафторид серы (SF_6) является мощным ДПГ. Он производится химической промышленностью, главным образом в качестве электроизолятора для энергоснабжающих оборудования. В настоящее время его молярная доля примерно в два раза выше уровня, наблюдавшегося в середине 1990-х годов (рисунок 6, график «а»). Вклад хлорфторуглеродов (ХФУ), разрушающих стратосферный озоновый слой, вместе с менее значимыми галоидированными газами в радиационное воздействие ДПГ составляет ~11 %⁽⁴⁾. Хотя содержание ХФУ и большинства галоидов сокращается, содержание в атмосфере гидрохлорфторуглеродов (ГХФУ) и гидрофторуглеродов (ГФУ), которые также являются мощными ПГ, увеличивается относительно быстрыми темпами, однако их общее содержание по-прежнему сохраняется на низком уровне (на уровне трлн⁻¹⁽⁶⁾).

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, оксиды азота и летучие органические соединения (ЛОС), хотя они и не относятся к ПГ, оказывают небольшое прямое или косвенное влияние на радиационное воздействие. Аэрозоли (взвешенные частицы) являются короткоживущими веществами, которые изменяют радиационный баланс. Все упомянутые здесь газы, а также аэрозоли включены в программу наблюдений 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_2 и других ПГ в МЦДПГ ГСА. Приблизительно 46 % данных измерений, переданных в МЦДПГ, были собраны на станциях совместной сети отбора проб воздуха Научной лаборатории НУОА по изучению системы Земля. Для получения данных по другим сетям и станциям см. [Отчет ГСА № 229](#). В подготовку настоящего бюллетеня также был внесен вклад по линии Расширенного эксперимента по глобальным атмосферным газам. Кроме того, станции наблюдений 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 (<http://gawsis.meteoswiss.ch>), которая получает поддержку со стороны Метеорологической службы Швейцарии.

Ссылки

[1] National Oceanic and Atmospheric Administration Earth System Research Laboratory, 2016: Trends in atmospheric carbon dioxide, <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>.

[2] Всемирная метеорологическая организация, 2016: Заявление ВМО о состоянии глобального климата, https://library.wmo.int/opac/index.php?lvl=notice_display&id=19848#.WfCjThOCwjc.

[3] Butler, J.H. and S.A. Montzka, 2016: The NOAA annual greenhouse gas index (AGGI), <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/aggi.html>.

[4] National Oceanic and Atmospheric Administration Earth System Research Laboratory, 2016: NOAA's annual greenhouse gas index, <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/>.

[5] Межправительственная группа экспертов по изменению климата, 2014: *Изменение климата, 2014 г.: Обобщающий доклад. Вклад рабочих групп I, II и III в Пятый оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата* (Р. Пачаури, Л. Мейер и др. ред.). Женева.

[6] World Meteorological Organization, 2009: *Technical Report of Global Analysis Method for Major Greenhouse Gases by the World Data Center for Greenhouse Gases* (Y. Tsutsumi, K. Mori, T. Hirahara, M. Ikegami and T.J. Conway). GAW Report No. 184 (WMO/TD-No. 1473), Geneva, https://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/documents/TD_1473_GAW184_web.pdf.

[7] 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. *Journal of Geophysical Research*, 99:22831–22855.

[8] Le Quéré, C., et al., 2016: Global carbon budget 2016. *Earth System Science Data* 8:605–649, doi:10.5194/essd-8-605-2016.

Контактная информация

Всемирная метеорологическая организация

Отдел исследований атмосферной среды,
Департамент научных исследований, Женева
Э-почта: 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
Веб-сайт: <http://ds.data.jma.go.jp/gmd/wdcgg/>

- (1) млн⁻¹ = число молекул газа на миллион (10^6) молекул сухого воздуха.
- (2) 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.
- (3) млрд⁻¹ = 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 ДПГ с 1750 года.
- (5) 1 ПгУ = 1 петаграмм (10^{15} грамм) углерода.
- (6) трлн⁻¹ = число молекул газа на триллион (10^{12}) молекул сухого воздуха.



Станция Кэйп-Пойнт расположена в природном заповеднике на южной оконечности Капского полуострова, Южная Африка (34°21' ю.ш., 18°29' в.д.), примерно в 60 км к югу от Кейптауна. Эта станция находится на вершине скалы на высоте 230 м над уровнем моря и окружена с трех сторон океаном. Она преимущественно находится под воздействием хорошо перемешанного морского воздуха с Южной Атлантики, поскольку преобладающим является юго-восточное — юго-юго-западное направление ветра. Иногда участок отбора проб попадает под влияние континентальных воздушных масс, что дает возможность изучать режимы воздушных потоков с противоположными характеристиками. Климат Капского полуострова относится к средиземноморскому типу с преимущественно сухим и ветреным летом и холодной и влажной зимой.

Сейчас, на сороковом году существования станции, основное внимание уделяется постоянному мониторингу долгоживущих ПГ, а именно CO_2 , CH_4 и N_2O , а также малых газовых примесей, таких как окись углерода, приземный озон, газообразная элементарная ртуть, галоидоуглеводороды и аэрозоли. Начиная с 1995 года станция является одной из глобальных станций ГСА ВМО и регулярно принимает участие в процедурах аудита ЕМПА и исследованиях по взаимному сравнению ВМО. На станции также производятся наблюдения за всем набором метеорологических параметров и измерения солнечной радиации.



Обсерватория для наблюдения за окружающей средой, расположенная на станции Саммит в Гренландии (GEOSummit) — это функционирующая круглый год пробоотборная станция, финансируемая Национальным научным фондом. Станция GEOSummit расположена на вершине Гренландского ледяного щита (72,58° с.ш., 38,48° з.д., 3202 м над уровнем моря) и обеспечивает уникальные возможности для исследования атмосферных процессов. Базовая программа измерений была принята в 2003 году для обеспечения круглогодичных измерений основных связанных со спецификой этого участка переменных. В настоящее время набор базовых измерений, доступный исследователям, включает измерения метеорологических параметров на станции, измерения высоты снежного покрова системой из ста снегомерных реек и на трансекте в 12 км, еженедельные измерения химического состава поверхности снежного покрова, ежемесячные измерения химических параметров и стратиграфии в снежных шурфах, а также отбор проб радионуклидов на фильтр. Кроме того, доступны данные об аэрозолях, полученные по непрерывным измерениям с помощью импактного пробоотборника с восемью воздухосборными цилиндрами. Для обеспечения непрерывных наблюдений за озоном и черным углеродом установлены приборы Отделения глобального мониторинга НУОА. Кроме того, мониторинг ПГ производится с помощью еженедельного отбора проб во флаги. Эти же пробы с 2006 года используются Институтом арктических и альпийских исследований (ИААИ) Университета Колорадо для анализа ЛОС. Второй комплект проб отбирается каждые две недели во флаги из нержавеющей стали для измерений галоидоуглеводородов. С 2008 года ИААИ проводит на станции непрерывные измерения CH_4 (с интервалом в 1 час) и ЛОС (с интервалом в 4 часа) при помощи дистанционно управляемого газового хроматографа.