

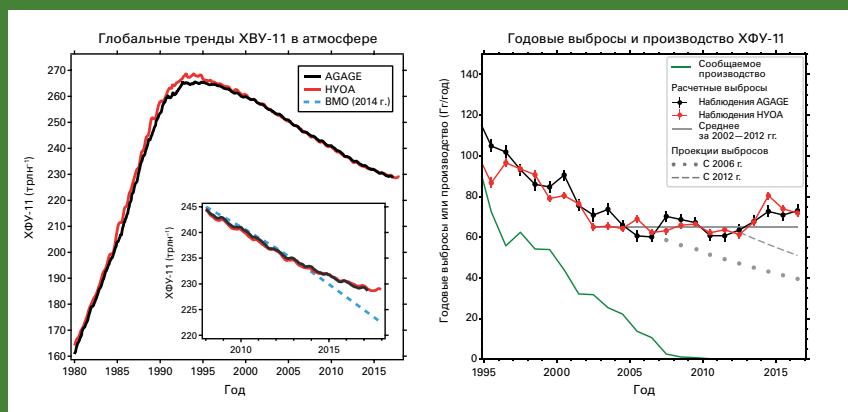


# БЮЛЛЕТЕНЬ ВМО ПО ПАРНИКОВЫМ ГАЗАМ

Содержание парниковых газов в атмосфере по данным  
глобальных наблюдений в 2017 году

№ 14 | 22 ноября 2018 г.

## Неожиданное увеличение глобальных выбросов ХФУ-11



с 2002 по 2012 год [1, 2]. Эти глобальные тренды показаны на левом графике рисунка, иллюстрирующего результаты измерений на сетях наблюдений Расширенного эксперимента по глобальным атмосферным газам (AGAGE; черный цвет) и Национального управления по исследованию океанов и атмосферы (НУОА; красный цвет). Кроме того, на вставке к этому графику показан тренд, предсказанный в 2014 году ВМО (голубой пунктир), при условии соблюдения Монреальского протокола [3].

Результаты моделирования приводят к обоснованным выводам о том, что эти

Измерения содержания в атмосфере хлорфторуглерода ХФУ-11, активного парникового газа (ПГ) и озоноразрушающего вещества (ОРВ), регламентируемого положениями Монреальского протокола по веществам, разрушающим озоновый слой, показывают, что с 2012 года скорость его уменьшения замедлилась и составляет примерно две трети от скорости уменьшения, наблюдавшейся в предыдущее десятилетие [1, 2]. Наиболее вероятная причина этого замедления — рост выбросов, связанных с производством ХФУ-11 в Восточной Азии. Это открытие иллюстрирует важность проведения долгосрочных измерений состава атмосферы, например проводимых под эгидой Программы Глобальной службы атмосферы (ГСА) ВМО, для введения дополнительных ограничений в рамках законодательства в области выбросов и обеспечения его эффективной поддержки.

Монреальский протокол был разработан для защиты стратосферного озонового слоя за счет ограничения производства ОРВ, таких как ХФУ. В результате к 2010 году производство ХФУ-11 (трихлорфторметана или  $CCl_3F$ ), контролируемого в рамках Монреальского протокола, сократилось до нуля. После прекращения производства ХФУ-11 его содержание в атмосфере достигло пика в начале 1990-х годов и затем снизилось, причем это снижение в значительной степени соответствовало сокращению производства наряду с постепенными остаточными выбросами ХФУ-11 из банков в уже существующей продукции и оборудовании.

Измерения содержания ХФУ-11 в атмосфере, проводимые независимыми глобальными сетями, показывают, что с 2012 года темпы уменьшения содержания ХФУ-11 в атмосфере замедлились и составляют примерно две трети от показателей, наблюдавшихся в период

изменения главным образом связаны с ростом выбросов ХФУ-11, а не с другими возможными причинами, такими как изменения атмосферного переноса. Этот вывод подкрепляет и недавнее увеличение разницы уровней атмосферной концентрации между северным и южным полушариями. Корреляции между увеличенными показателями содержания ХФУ-11 и других газов также указывают на то, что этот рост является результатом выбросов в Восточной Азии [1].

Отдельные тренды выбросов ХФУ-11, являющиеся результатом модельных расчетов, полученных в ходе оценки ВМО состояния озонового слоя 2018 года [2], на основе данных по глобальным сетям измерений AGAGE (черный) и НУОА (красный), показаны на правом графике. Они противоречат показателям производства ХФУ-11, о которых сообщается в рамках Монреальского протокола (зеленый). Эти результаты демонстрируют стабилизацию выбросов ХФУ-11 примерно в 2005 году, за которой последовало увеличение выбросов приблизительно на 15 % после 2012 года. Проекция выбросов на основе сценариев на 2006 и 2012 годы, основанные на данных об атмосфере, сообщаемом производстве и выбросах из банков, показаны точками и пунктиром (серый) соответственно.

Данная работа демонстрирует важность производства долгосрочных измерений состава атмосферы, например осуществляемых под эгидой Программы ГСА ВМО, для обеспечения основанной на данных наблюдений информации в поддержку национальных кадастров выбросов, особенно в контексте соглашений о борьбе с антропогенным изменением климата, а также восстановления стратосферного озонового слоя.

## Резюме

Последний анализ данных наблюдений, полученных в рамках Программы ГСА ВМО, показывает, что глобально усредненные приповерхностные молярные доли<sup>(1)</sup>, рассчитанные на основании данных этой сети наблюдений *in situ* для двуокиси углерода (CO<sub>2</sub>), метана (CH<sub>4</sub>) и закиси азота (N<sub>2</sub>O), достигли в 2017 году новых максимумов, причем для CO<sub>2</sub> он составил 405,5 ± 0,1 млн<sup>-1(2)</sup>, для CH<sub>4</sub> — 1859 ± 2 млрд<sup>-1(3)</sup>, а для N<sub>2</sub>O — 329,9 ± 0,1 млрд<sup>-1</sup>. Эти значения составляют соответственно 146 %, 257 % и 122 % по отношению к доиндустриальным (до 1750 года) уровням. Увеличение содержания CO<sub>2</sub> в атмосфере с 2016 по 2017 год было менее значительным, чем увеличение, наблюдавшееся с 2015 по 2016 год, и практически равно темпам роста, наблюдавшимся за последнее десятилетие. Воздействие явления Эль-Ниньо, которое достигло пика в 2015 и 2016 годах и способствовало увеличению темпов в этот период, резко ослабло в 2017 году. Увеличение концентрации CH<sub>4</sub> с 2016 по 2017 год было менее значительным, чем увеличение, наблюдавшееся с 2015 по 2016 год, но практически соответствовало средним показателям за последнее десятилетие. Увеличение концентрации N<sub>2</sub>O с 2016 по 2017 год было более значительным, чем в период с 2015 по 2016 год, и практически равно средним темпам роста за последние 10 лет. Годовой индекс парниковых газов (ГИПГ) НУОА [4] показывает, что в период с 1990 по 2017 год радиационное воздействие долгоживущих ПГ (ДПГ) увеличилось на 41 %, при этом на CO<sub>2</sub> приходится около 82 % этого увеличения.

## Обзор наблюдений сети ГСА *in situ* за 2017 год

В настоящем четырнадцатом Бюллетене ВМО по парниковым газам сообщается о содержании в атмосфере важнейших ДПГ — CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> и N<sub>2</sub>O, а также о темпах изменения их содержания, и 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 %<sup>(4)</sup> радиационного воздействия, обусловленного ДПГ (рисунок 1).

Программа ГСА (<http://www.wmo.int/gaw>) координирует систематические наблюдения и анализ ПГ и других малых газовых составляющих в атмосфере. Станции, на которых в последнее десятилетие производятся измерения ПГ, показаны на рисунке 2. Данные измерений сообщаются участвующими странами и архивируются и распространяются Мировым центром данных по парниковым газам (МЦДПГ), расположенным в Японском метеорологическом агентстве.

Представленные здесь результаты МЦДПГ по глобальному среднему значению и темпам роста несколько отличаются от результатов, сообщаемых НУОА за те же годы [6], по причине различий в используемых станциях, в процедуре усреднения

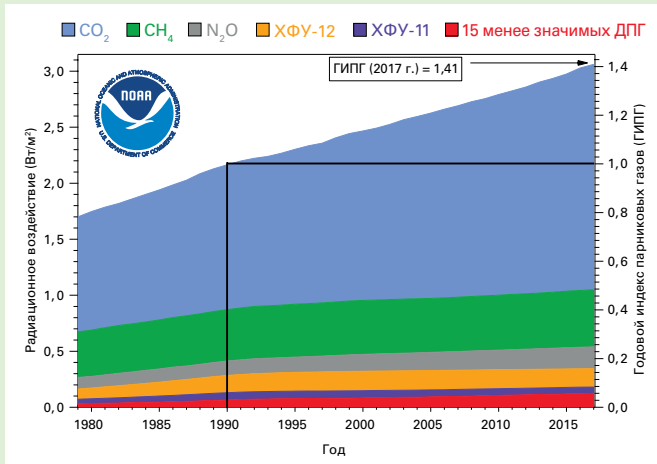


Рисунок 1. Радиационное воздействие ДПГ на атмосферу относительно 1750 г. и обновленный ГИПГ НУОА за 2017 г. [4]

Таблица 1. Глобальное среднегодовое приземное содержание (2017 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 % [5]; метод усреднения описан в [7]. Число станций, данные которых использовались для анализа, составляет 129 для CO<sub>2</sub>, 126 для CH<sub>4</sub> и 96 для N<sub>2</sub>O.

	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
Глобальное содержание в 2017 г.	405,5±0,1 млн <sup>-1</sup>	1859±2 млрд <sup>-1</sup>	329,9±0,1 млрд <sup>-1</sup>
Содержание в 2017 г. относительно 1750 г.*	146 %	257 %	122 %
Абсолютное увеличение в 2016—2017 гг.	2,2 млн <sup>-1</sup>	7 млрд <sup>-1</sup>	0,9 млрд <sup>-1</sup>
Относительное увеличение в 2016—2017 гг.	0,55 %	0,38 %	0,27 %
Среднее годовое абсолютное увеличение за последние 10 лет	2,24 млн <sup>-1</sup> /год	6,9 млрд <sup>-1</sup> /год	0,93 млрд <sup>-1</sup> /год

\* Исходя из предположения о том, что в доиндустриальный период молярная доля CO<sub>2</sub> составляла 278 млн<sup>-1</sup>, CH<sub>4</sub> — 722 млрд<sup>-1</sup>, а N<sub>2</sub>O — 270 млрд<sup>-1</sup>.

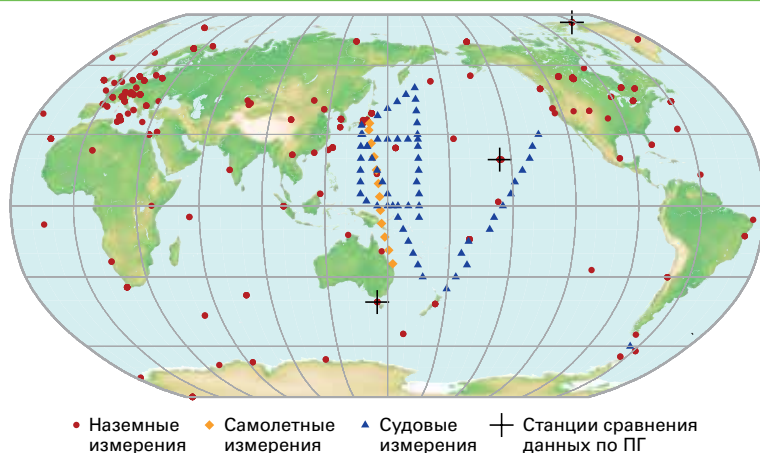


Рисунок 2. Глобальная сеть ГСА для мониторинга CO<sub>2</sub> в последнее десятилетие (сеть для мониторинга CH<sub>4</sub> аналогична)

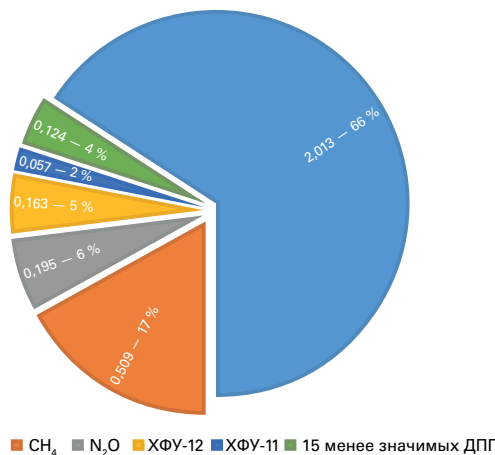


Рисунок 3. Увеличение в 2017 году глобального радиационного воздействия после доиндустриального периода в результате увеличения атмосферной нагрузки наиболее важных ДПГ, выраженное в Вт·м<sup>-2</sup>, по отношению к общему увеличению содержания всех ДПГ, составившего 3,062 Вт·м<sup>-2</sup> [4].

и небольших различий в периоде времени, для которого эти значения репрезентативны. МЦДПГ следует процедуре, подробно описанной в [7].

В таблице 1 приведены глобально усредненные значения содержания в атмосфере трех основных ДПГ в 2017 году и изменение их содержания относительно 2016 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, а также 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 обеспечивают неопценимую информацию об ограничениях при расчете балансов этих или иных ДПГ и используются для содействия составлению кадастров выбросов и оценки спутниковых данных о среднем содержании ДПГ в столбе атмосферы. Интегрированная глобальная информационная система по парниковым газам (ИГИСПГ), поддерживаемая ВМО, позволяет получить дополнительное представление об источниках ПГ на национальном и субнациональном уровнях. С некоторыми примерами информации, которую предоставляют проекты ИГИСПГ, можно ознакомиться на центральной вставке в настоящем Бюллетене.

В 2017 году ГИПГ НУОА [4] составлял 1,41, что указывает на увеличение общего радиационного воздействия всех ДПГ на 41 %<sup>(4)</sup> с 1990 года и на 1,6 % — с 2016 по 2017 год (рисунок 1). Суммарное радиационное воздействие всех ДПГ в 2017 году (3,062 Вт·м<sup>-2</sup>) соответствует молярной доле эквивалента CO<sub>2</sub>, составляющей 493 млн<sup>-1</sup> [4]. Относительные вклады в общее радиационное воздействие после доиндустриального периода других газов представлены на рисунке 3.

## Двуокись углерода

Двуокись углерода является единственным наиболее важным антропогенным ПГ в атмосфере, доля которого в радиационном воздействии ДПГ составляет приблизительно 66 %<sup>(4)</sup>. Его вклад в увеличение радиационного воздействия за последнее десятилетие и за последние пять лет составляет примерно 82 %<sup>(4)</sup>. Доиндустриальный уровень, составлявший 278 млн<sup>-1</sup>, отражал баланс потоков между атмосферой, океанами и биосферой суши. В 2017 году содержание CO<sub>2</sub> в атмосфере достигло 146 % по отношению к доиндустриальному уровню главным образом за счет выбросов от сжигания ископаемых видов топлива и производства цемента (в 2016 году суммарные

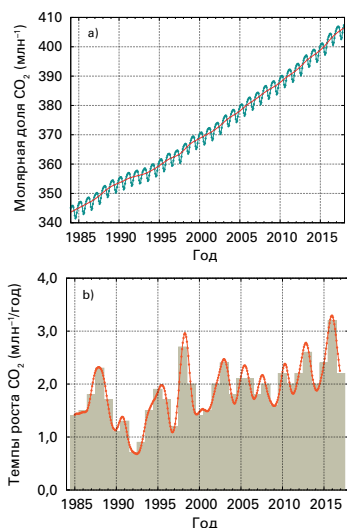


Рисунок 4. Глобально усредненная молярная доля CO<sub>2</sub> (график «а») и темпы ее роста (график «б») с 1984 по 2017 г. Прирост последовательных среднегодовых значений показан в виде затененных столбцов на графике «б». Красной линией на графике «а» показана среднемесячная молярная доля без учета сезонных колебаний; голубыми точками и линией обозначены среднемесячные значения. Для данного анализа использованы данные 129 станций.

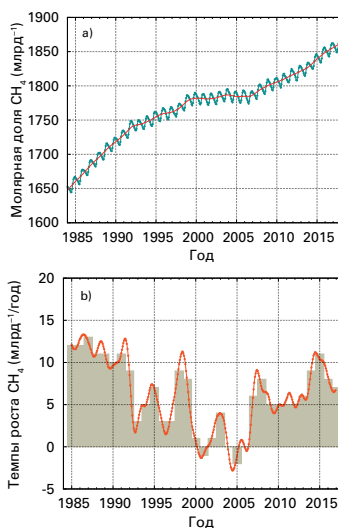


Рисунок 5. Глобально усредненная молярная доля CH<sub>4</sub> (график «а») и темпы ее роста (график «б») с 1984 по 2017 г. Прирост последовательных среднегодовых значений показан в виде затененных столбцов на графике «б». Красной линией на графике «а» показана среднемесячная молярная доля без учета сезонных колебаний; голубыми точками и линией обозначены среднемесячные значения. Для данного анализа использованы данные 126 станций.

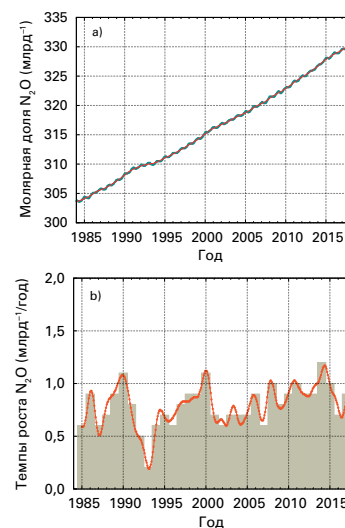


Рисунок 6. Глобально усредненная молярная доля N<sub>2</sub>O (график «а») и темпы ее роста (график «б») с 1984 по 2017 г. Прирост последовательных среднегодовых значений показан в виде затененных столбцов на графике «б». Красной линией на графике «а» показана среднемесячная молярная доля без учета сезонных колебаний; на данном графике она совпадает с голубыми точками и линией, обозначающими среднемесячные значения. Для данного анализа использованы данные 96 станций.



# АТМОСФЕРНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ И АНАЛИЗ В ПОДДЕРЖКУ СМЯГЧЕНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЫБРОСОВ ПГ — ПРИМЕРЫ ПРОЕКТОВ ПРОГРАММЫ ИГИСПГ ГСА

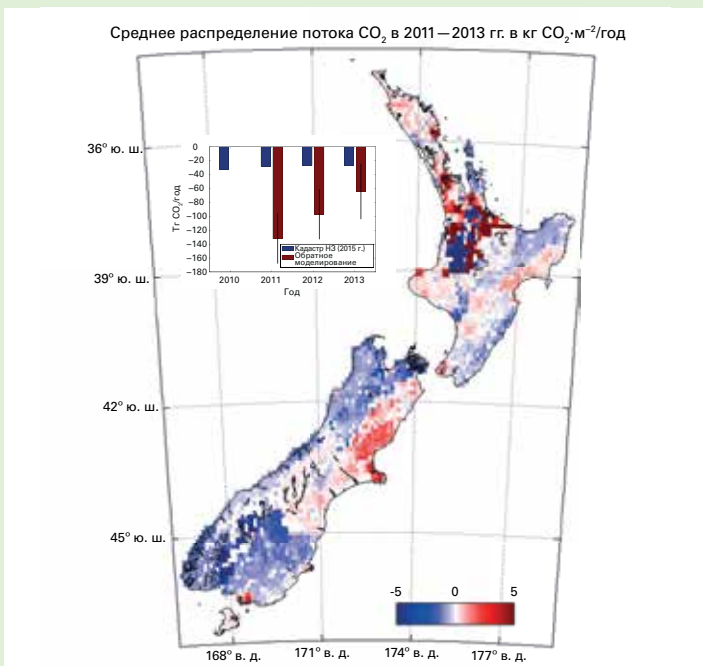


Рисунок 8. Географическое распределение восходящего от суши потока  $\text{CO}_2$ , осредненное за 2011–2013 годы [10]. Области, обозначенные синим и красным цветом, показывают чистое поглощение и выпуск углерода соответственно. Океанические потоки на единицу площади слишком малы для нанесения в таком масштабе. Выбросы от сжигания топлива включены и достигают  $20 \text{ кг CO}_2 \cdot \text{м}^{-2}/\text{год}$  в нескольких ячейках сетки (район Окленда). Цветовая шкала ограничена и обозначает только естественные потоки. Вставка: результаты обратного моделирования среднегодовых значений [12] в сравнении Национальным докладом о кадастре выбросов

## 1. Атмосферные измерения выявили мощный поглотитель углерода в лесах Новой Зеландии

Сара Микалоф-Флетчер (Национальный институт водных и атмосферных исследований, Новая Зеландия) и Джоселин Тернбулл (ГНС Наука, Новая Зеландия)

Чистое поглощение  $\text{CO}_2$  процессами землепользования, изменений в землепользовании и лесным хозяйством в настоящее время компенсирует приблизительно 30 % выбросов ПГ в Новой Зеландии [10]. Эти поглотители углерода на суше играли в прошлом ключевую роль в достижении целей Новой Зеландии по сокращению выбросов в рамках Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата (РКИКООН) и ожидается, что они станут главной составляющей национальной стратегии по смягчению воздействия выбросов ПГ в будущем. Национальный доклад о кадастре выбросов Новой Зеландии (НДКВ) содержит оценки поглощения углерода лесами, основанные на измерениях диаметра и высоты деревьев на национальной сети исследовательских станций, а также аллометрические уравнения для получения массы углерода по этим измерениям. Данный подход, требуемый в соответствии с текущими Руководящими принципами Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) [11], содержит значительную неопределенность.

Результаты атмосферных наблюдений  $\text{CO}_2$  и методов обратного моделирования [12], показанные на рисунке 8, предполагают, что лесные поглотители углерода могут значительно превысить оценки НДКВ [10] и результаты моделирования процессов суши [12]. Кроме того, атмосферные наблюдения выявили значительную межгодовую изменчивость, которая не определяется по методологии НДКВ. Данное исследование объединило наблюдения *in situ* содержания  $\text{CO}_2$  в атмосфере на сети станций с результатами моделирования по атмосферной модели с очень высокой разрешающей способностью. Пространственная структура этого поглотителя предполагает, что большая часть этой разницы в поглощении наблюдается во Фьордленде, регионе с большим количеством осадков, в котором преобладают естественные леса. Группа новозеландских исследователей запускает новую научно-исследовательскую программу для проведения дальнейшей оценки процессов, влияющих на этот поглотитель. Тесно взаимодействуя с пользователями из сообществ, занимающихся учетом углерода, управлением и политикой землепользования, эта финансируемая на национальном уровне программа будет поддерживать миссию ИГИСПГ по созданию связующего звена между наукой и политикой в деле мониторинга ПГ и оценки выбросов.

## 2. Использование атмосферных наблюдений за парниковыми газами для предоставления информации для национального кадастра Соединенного Королевства

Элистер Мэнинг (Метеобюро СК)

Для содействия проведению оценок согласно протоколу МГЭИК (восходящий метод) [11], отчет о которых ежегодно представляется РКИКООН, Соединенное Королевство использует полностью независимый метод (нисходящий метод) [13] для информирования о своих оценках выбросов ПГ. Этот метод использует сочетание атмосферных наблюдений и



Рисунок 9. Финансируемая Соединенным Королевством сеть станций наблюдений DECC

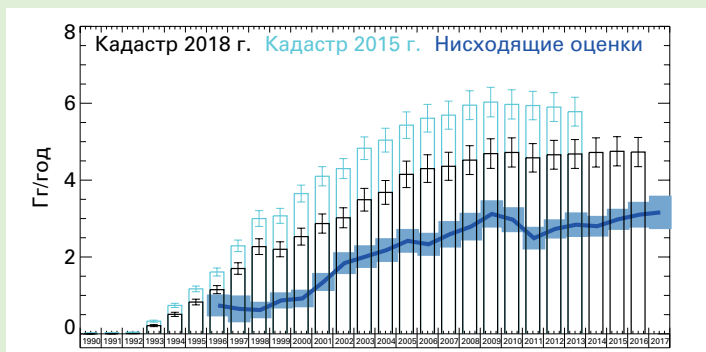


Рисунок 10. Оценки выбросов ГФУ-134а в Соединенном Королевстве. Кадастровые оценки за два указанных года в сравнении с нисходящими оценками (InTEМ)

моделирования, а о результатах также ежегодно сообщается РКИКООН в Национальном докладе о кадастре выбросов Соединенного Королевства. Существенные различия в выбросах по оценкам с использованием этих двух подходов используются департаментом предпринимательства, энергетики и промышленной стратегии (ПЭПС) Соединенного Королевства для определения областей, заслуживающих дальнейшего изучения.

В 2012 году ПЭПС инвестировал в сеть станций наблюдений (рисунок 9), получившую название «UK Deriving Emissions related to Climate Change» (DECC) (сеть измерений выбросов, связанных с изменением климата) [14]. Это в основном сеть расположенных на башнях телекоммуникационных мачт, оборудованных современными приборами для измерения  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ , ГФУ, перфторуглеродов,  $\text{SF}_6$  и трехфтористого азота ( $\text{NF}_3$ ) с высокой точностью и качеством.

Недавний пример того, как использовался нисходящий подход для обоснования восходящей оценки, показан на рисунке 10. Национальная восходящая оценка ГФУ-134а за 2015 год показана на рисунке голубыми столбцами с оценкой неопределенности 8 %. Нисходящая оценка устойчиво составляла приблизительно 50 % этой величины на протяжении временного ряда начиная с 1994 года, когда были начаты наблюдения, до 2013 года, последнего года, включенного в этот кадастр. Этот результат, а также последующая проделанная работа [15] мотивировали ПЭПС продолжить исследование, и кадастровые оценки ГФУ-134а Соединенного Королевства были частично пересмотрены экспертом в этой области промышленности.

Результат пересмотренных восходящих оценок показан на рисунке 10 черными столбцами — они сместились значительно ближе к нисходящим оценкам. Считается, что оставшееся расхождение связано с использованием предположения о перезаправке кондиционеров.

### 3. Выбросы метана от сжигания нефти и газа в Альберте, Канада: сбор политически значимых данных об атмосфере

Даниэль Завала-Араиза (Фонд защиты окружающей среды, Соединенные Штаты Америки)

На нефтегазовый сектор Канады приходится примерно половина всех выбросов  $\text{CH}_4$  в национальном кадастре [16]. Федеральное правительство недавно ввело ограничения в поддержку цели снижения на 40–45 % выбросов  $\text{CH}_4$  от нефтегазовой отрасли ниже уровня 2012 года к 2025 году [17].

Для реального достижения целей снижения выбросов и осуществления соответствующей политики необходимым условием является знание текущего базового уровня выбросов, а также характеристик основных источников выбросов. В связи с этим осенью 2016 года в нефтегазовых районах Альберты была проведена многомасштабная кампания [18–20], а ее данные были использованы для оценки выбросов (подход, связанный с балансом массы). Эти нисходящие оценки затем сравнивались с пространственно выраженными кадастрами по конкретным регионам и выбросами по отрасли. Кроме того, проведение наземных подвижных наблюдений (с подветренной стороны, по всей площади участка с использованием гауссовой модели рассеяния) позволило описать распределение выбросов и основных источников (см. рисунок 11а).

В регионе Ллойдминстера в Альберте крупный источник выбросов связан с непосредственным выбросом в атмосферу метана из эксплуатационных колонн. Основанные на атмосферных наблюдениях результаты указывают на то, что выбросы превышают кадастровые оценки в 3–5 раз. Это большое расхождение особенно актуально в контексте предложенных в Канаде ограничений и политики сокращения выбросов. Если эти результаты хотя бы приблизительно экстраполировать на более крупное население аналогичных районов Альберты, то фактические выбросы метана от нефтегазовой отрасли в этой провинции будут, вероятно, на 25–50 % выше (см. рисунок 11б).

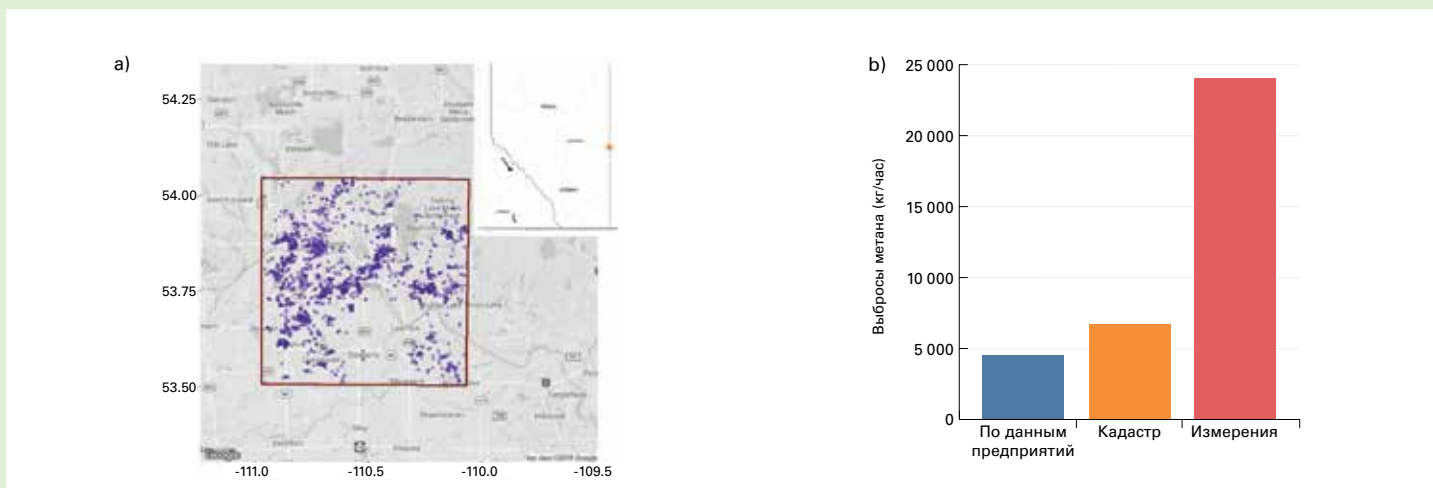


Рисунок 11. а) Регион наблюдений близ Ллойдминстера, Альберта. Красной рамкой обозначены границы района с источниками выбросов, в котором производились самолетные наблюдения. Фиолетовыми точками в рамке обозначены активные нефтяные скважины. б) Сравнение измеренных выбросов  $\text{CH}_4$  с восходящими оценками, основанными на кадастровых и отраслевых отчетах

выбросы  $\text{CO}_2$  составили  $9,9 \pm 0,5$  ПгУ<sup>(5)</sup> [8]), обезлесения и других изменений в землепользовании ( $1,3 \pm 0,7$  ПгУ в среднем за 2007–2016 годы). Из всего объема выбросов в результате человеческой деятельности в период с 2007 по 2016 год около 44 % аккумулировалось в атмосфере, 22 % — в океане и 28 % — на суше; не соотношенный ни с чем дисбаланс бюджета составляет 5 % [8]. 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 2017 году составила  $405,5 \pm 0,1$  млн<sup>-1</sup> (рисунок 4). Среднегодовой прирост с 2016 по 2017 год, составивший  $2,2$  млн<sup>-1</sup>, меньше прироста с 2015 по 2016 год ( $3,2$  млн<sup>-1</sup>) и практически равен средним темпам роста за последнее десятилетие ( $2,24$  млн<sup>-1</sup>/год). Более высокие темпы роста в 2016 и 2015 годах по сравнению с предыдущими годами и увеличением с 2016 по 2017 год частично обусловлены увеличением природных выбросов  $\text{CO}_2$ , связанных с последним явлением Эль-Ниньо, как объясняется в двенадцатом выпуске настоящего Бюллетеня.

## Метан

Доля метана в радиационном воздействии ДПГ составляет примерно 17 %<sup>(4)</sup>. Приблизительно 40 % метана поступает в атмосферу из естественных источников (например, водно-болотные угодья и термитники) и около 60 % — из антропогенных (например, жизнедеятельность жвачных животных, выращивание риса, использование ископаемого топлива, захоронение отходов и сжигание биомассы). Содержание  $\text{CH}_4$  в атмосфере достигло 257 % по отношению к доиндустриальному уровню (примерно  $722$  млрд<sup>-1</sup>) в связи с увеличением выбросов из антропогенных источников. Глобально усредненная доля  $\text{CH}_4$ , рассчитанная на основании наблюдений *in situ*, достигла в 2017 году нового максимума, составившего  $1\,859 \pm 2$  млрд<sup>-1</sup>, что является увеличением на  $7$  млрд<sup>-1</sup> по отношению к предыдущему году (рисунок 5). Эта величина ниже величины, зафиксированной с 2015 по 2016 год, однако она практически равна среднегодовому увеличению за последнее десятилетие. Среднегодовой прирост  $\text{CH}_4$  снизился с приблизительно  $12$  млрд<sup>-1</sup>/год в конце 1980-х годов до почти нулевого значения в период с 1999 по 2006 год. С 2007 года содержание  $\text{CH}_4$  в атмосфере вновь стало увеличиваться. Исследования, основанные на данных измерений  $\text{CH}_4$  ГСА, указывают на то, что вероятной причиной этого недавнего роста является увеличение эмиссии  $\text{CH}_4$  из болот в тропиках и выбросов из антропогенных источников в умеренных широтах северного полушария.

## Закись азота

Доля закиси азота в радиационном воздействии ДПГ составляет примерно 6 %<sup>(4)</sup>. Это третий наиболее важный ДПГ по своему вкладу в общее радиационное воздействие.  $\text{N}_2\text{O}$  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  $\text{N}_2\text{O}$  в 2017 году достигла  $329,9 \pm 0,1$  млрд<sup>-1</sup>, что на  $0,9$  млрд<sup>-1</sup> выше показателя предыдущего года (рисунок 6) и на 122 % больше доиндустриального уровня ( $270$  млрд<sup>-1</sup>). Годовое увеличение с 2016 по 2017 год превышает увеличение с 2015 по 2016 год и практически равно средним темпам роста за последние 10 лет ( $0,93$  млрд<sup>-1</sup>/год). Вероятные причины увеличения концентрации  $\text{N}_2\text{O}$  в атмосфере заключаются в увеличении использования удобрений в сельском хозяйстве и увеличении высвобождения  $\text{N}_2\text{O}$  из почв из-за избытка осаждения атмосферного азота в связи с загрязнением воздуха.

## Другие парниковые газы

Гексафторид серы ( $\text{SF}_6$ ) является мощным ДПГ. Он производится химической промышленностью, главным образом в качестве электроизолятора для энергораспределительного оборудования. В настоящее время его молярная доля более чем в два раза выше уровня, наблюдавшегося в середине 1990-х годов (рисунок 7, график «а»). Вклад разрушающих стратосферный озоновый слой хлорфторуглеродов (ХФУ) вместе с менее значимыми галоидированными газами в радиационное воздействие ДПГ составляет примерно 11 %<sup>(4)</sup>. Хотя содержание ХФУ и большинства галонов сокращается, содержание в атмосфере некоторых 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<sup>-1(6)</sup>).

В настоящем бюллетене рассматриваются главным образом ДПГ. Радиационное воздействие относительно короткоживущего тропосферного озона [9] сопоставимо с радиационным воздействием галоидоуглеводородов. Многие другие загрязнители, такие как окись углерода, оксиды азота и летучие органические соединения, 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.

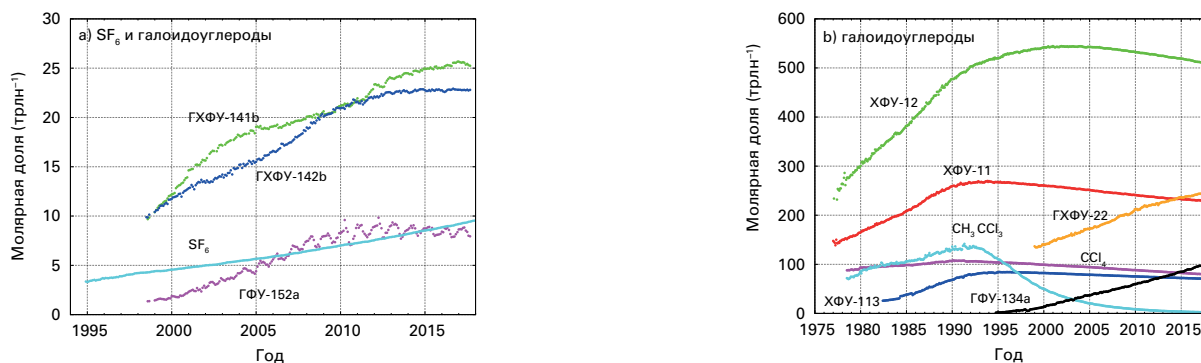


Рисунок 7. Среднемесячная молярная доля  $\text{SF}_6$  и наиболее важных галоидоуглеродов:  $\text{SF}_6$  и галоидоуглероды с низкой молярной долей (график «а») и галоидоуглероды с высокой молярной долей (график «б»). Число станций, использованных для анализа:  $\text{SF}_6$  (85), ХФУ-11 (23), ХФУ-12 (25), ХФУ-113 (21),  $\text{CCl}_4$  (21),  $\text{CH}_2\text{CCl}_2$  (24), ГХФУ-141b (9), ГХФУ-142b (14), ГХФУ-22 (13), ГФУ-134a (10), ГФУ-152a (9).



## Выражение признательности и ссылки

Пятьдесят три Члена ВМО внесли свой вклад в форме предоставления данных о CO<sub>2</sub> и других ПГ в МЦДПГ. Приблизительно 41 % данных измерений, переданных в МЦДПГ, был собран 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 AGAGE. 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 (<https://gaw.kishou.go.jp/>). Они также описаны в Системе информации о станциях ГСА (<https://gawsis.meteoswiss.ch/>), которая получает поддержку со стороны Метеорологической службы Швейцарии.

## Ссылки

- [1] Montzka, S. A. et al., 2018: An unexpected and persistent increase in global emissions of ozone-depleting CFC 11. *Nature*, 557:413–417, doi:10.1038/s41586-018-0106-2.
- [2] World Meteorological Organization, 2018: *Executive Summary: Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2018*. World Meteorological Organization, Global Ozone Research and Monitoring Project – Report No. 58. 67 pp., Geneva.
- [3] ———, 2014: *Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2014*. World Meteorological Organization Global Ozone Research and Monitoring Project – Report No. 55. 416 pp., Geneva.
- [4] Butler, J.H. and S.A. Montzka, 2018: The NOAA Annual Greenhouse Gas Index (AGGI), <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/aggi.html>.
- [5] 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 – Atmospheres*, 99:22831–22855, doi:10.1029/94JD01951.
- [6] National Oceanic and Atmospheric Administration Earth System Research Laboratory, 2018: Trends in atmospheric carbon dioxide, <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>.
- [7] 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](https://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/documents/TD_1473_GAW184_web.pdf).
- [8] Le Quéré, C. et al., 2018: Global carbon budget 2017. *Earth System Science Data*, 7(10):405–448, doi:10.5194/essd-10-405-2018.
- [9] World Meteorological Organization, 2018: WMO Reactive Gases Bulletin No. 2: Highlights from the Global Atmosphere Watch Programme, [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=5244](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=5244).
- [10] Ministry for the Environment – Manatu Mo Te Taiao, 2018: New Zealand's Greenhouse Gas Inventory 1990–2016. Publication number: ME 1351. Wellington.
- [11] Intergovernmental Panel on Climate Change, 2006: 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 1, General Guidance and Reporting (S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara and K. Tanabe, eds). Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Section 6.10.2. IGES, Japan.
- [12] Steinkamp, K., S.E. Mikaloff-Fletcher, G. Brailsford, D. Smale, S. Moore, E. Keller, T. Baisden, H. Mukai and B. Stephens, 2017: Atmospheric CO<sub>2</sub> observations and models suggest strong carbon uptake by indigenous forests in New Zealand. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 17:47–76.

[13] Stanley, K. M., A. Grant, S. O'Doherty, D. Young, A.J. Manning, A.R. Stavert, T.G. Spain, P.K. Salameh, C.M. Harth, P.G. Simmonds, W.T. Sturges, D.E. Oram and R.G. Derwent, 2018: Greenhouse gas measurements from a UK network of tall towers: Technical description and first results. *Atmospheric Measurement Techniques*, 11(3):1437–1458.

[14] Arnold, T., A.J. Manning, J. Kim, L. Shanlan, H. Webster, D. Thomson, J. Mühle, R.F. Weiss, S. Park and S. O'Doherty, 2018: Inverse modelling of CF<sub>4</sub> and NF<sub>3</sub> emissions in East Asia. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 18:13305–13320.

[15] Say, D., A.J. Manning, S. O'Doherty, M. Rigby, D. Young and A. Grant, 2016: Re-evaluation of the UK's HFC-134a emissions inventory based on atmospheric observations. *Environmental Science and Technology*, 50(20):11129–11136.

[16] Environment and Climate Change Canada, 2016: National Inventory Report 1990–2014: Greenhouse Gas Sources and Sinks in Canada, [http://publications.gc.ca/collections/collection\\_2016/eccc/En81-4-1-2014-eng.pdf](http://publications.gc.ca/collections/collection_2016/eccc/En81-4-1-2014-eng.pdf).

[17] ———, 2017: Regulations respecting reduction in the release of methane and certain volatile organic compounds (upstream oil and gas sector). *Canada Gazette*, Part I, Volume 151, <http://www.gazette.gc.ca/rp-pr/p1/2017/2017-05-27/html/reg1-eng.php>.

[18] Johnson, MR, D.R. Tyner, S. Conley, S. Schwietzke and D. Zavala-Araiza, 2017: Comparisons of airborne measurements and inventory estimates of methane emissions in the Alberta upstream oil and gas sector. *Environmental Science and Technology*, 51(21):13008–13017.

[19] Zavala-Araiza D., S.C. Herndon, J.R. Roscioli, T.I. Yacovitch, M.R. Johnson, D.R. Tyner, M. Omara and B. Knighton, 2018: Methane emissions from oil and gas production sites in Alberta, Canada. *Elementa Science of the Anthropocene*, 6(1):27.

[20] Roscioli J.R., S.C. Herndon, T.I. Yacovitch, W.B. Knighton, D. Zavala-Araiza, M.R. Johnson and D.R. Tyner, 2018: Characterization of methane emissions from five cold heavy oil production with sands (CHOPS) facilities. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 68(7):671–684.

## 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: <https://gaw.kishou.go.jp/>

- (1) 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.
- (2) млн<sup>-1</sup> = число молекул газа на миллион (10<sup>6</sup>) молекул сухого воздуха.
- (3) млрд<sup>-1</sup> = число молекул газа на миллиард (10<sup>9</sup>) 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<sup>15</sup> грамм) углерода.
- (6) трлн<sup>-1</sup> = число молекул газа на триллион (10<sup>12</sup>) молекул сухого воздуха.

### Сеть атмосферных наблюдений Комплексной системы наблюдений за углеродом (КСНУ)



Konsta Punkka and Alcide di Sarra

Сеть станций атмосферных наблюдений КСНУ: желтыми точками обозначены объединенные станции наблюдений за атмосферой/экосистемой, красными точками — только станции атмосферных наблюдений. Не показаны станции во Французской Гвиане, Реюньоне и Кабо-Верде. Примерами некоторых станций являются: Паллас (Финляндия), Юнгфрауйох (Швейцария), Свартбергет (Швеция) и Лампедуза (Италия).

С середины 2018 года европейская сеть станций атмосферных наблюдений научно-исследовательской инфраструктуры КСНУ (<https://www.icos-ri.eu>) является содействующей сетью ГСА, состоящей из 33 станций (22 из них — высокие башни). Многие станции атмосферных наблюдений КСНУ функционируют уже длительное время, однако сейчас КСНУ развернулась в новых регионах с размещением там новых станций. В рамках КСНУ были разработаны определенные потребностями сообщества стандартизированные технические решения и протоколы измерений, которые для наблюдений за парниковыми газами в атмосфере основываются на рекомендациях ВМО относительно совместимости, калибровки по шкале ВМО молярных долей и прозрачности жизненных циклов данных и дают им дальнейшее развитие. Все станции КСНУ должны соответствовать согласованным стандартам. Все данные обрабатываются тематическим центром по атмосфере КСНУ, а также проходят проверку и аннотируются на ежедневной основе ответственными руководителями станций. В центральных аналитических лабораториях проводят анализ колб с пробами, например на определение содержания радиоуглерода  $^{14}\text{CO}_2$  в выбросах от сжигания ископаемого топлива, и обеспечивают все станции откалиброванными по шкале ВМО рабочими стандартами. Все прошедшие полный контроль качества атмосферные данные КСНУ публикуются как открытые данные на портале по углероду КСНУ (<https://data.icos-cp.eu/portal>) и регулярно обновляются около двух раз в год. Данные в почти реальном времени, по отношению к которым применяется автоматический контроль качества, публикуются с задержкой максимум один день от момента последнего окончательного полностью прошедшего контроль качества выпуска. Данные по атмосфере также доступны через МЦДПГ, являются частью регулярных обновлений продукции НУОА Obspack и передаются на регулярной основе в сервисы программы «Коперник» (<http://www.copernicus.eu/main/overview>).

### Научно-исследовательское судно I (НИС I) *Investigator*, первая подвижная станция на сети ГСА

НИС *Investigator* Национального морского центра Австралии оборудовано двумя специализированными лабораториями для отбора атмосферных проб, которые обеспечивают производство непрерывных высококачественных измерений *in situ*  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  и  $\text{N}_2\text{O}$  и других малых газовых составляющих атмосферы, таких как окись углерода, тропосферный озон и радон. Также измеряется широкий спектр аэрозолей и метеорологических параметров. В 2018 году судно *Investigator* стало первой подвижной станцией на сети ГСА.

Судно *Investigator* проводит 300 дней в году в водах в районе Австралии, передвигаясь от экватора до ледовой кромки Антарктиды, постоянно собирая данные о составе атмосферы в очень плохо изученных районах. В ходе своих частых рейсов в отдаленные районы Южного океана эта новая станция ГСА позволяет получить представление о ближайшем имеющемся в нашем распоряжении аналоге естественной или нетронутой атмосферы. Это новое знание является бесценным для улучшения климатических моделей.



НИС *Investigator* движется мимо громадного айсберга в Южном океане

CSIRO