



Единство в науке – 2022 год

Подготовленная на высоком уровне межорганизационная подборка последних научных данных, связанных с изменением климата, его последствиями и мерами реагирования



Фотограф: Alkis Konstantinidis/Reuters



Данный отчет был составлен Всемирной метеорологической организацией (ВМО) под руководством Генерального секретаря Организации Объединенных Наций с целью обобщения последних обновленных данных, связанных с климатом, полученных от ключевых глобальных партнерских организаций — ВМО, Глобального углеродного проекта (ГУП), Программы ООН по окружающей среде (ЮНЕП), Метеобюро (Соединенное Королевство), Сети научных исследований по изменению климата в городах (СНИИКГ), Управления ООН по снижению риска бедствий (УСРБ ООН), Всемирной программы исследований климата (ВПИК, совместно спонсируемой ВМО, МОК-ЮНЕСКО и Международным советом по науке (МСН)) и Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК). Материалы каждой главы предоставлены каждой соответствующей организацией.

Отчет доступен в электронном виде по адресу: https://public.wmo.int/en/resources/united_in_science

Иллюстрация на обложке: мужчина разбирает завалы дома, разрушенного циклоном *Батсирай* в городе Манандзари, Мадагаскар, 8 февраля 2022 года (REUTERS/Alkis Konstantinidis).

Ведущие авторы и составители: общая координация и редактирование — ВМО: Лорен Стюарт, Юрг Лютербахер, Лаура Патерсон, Роуз Девилюе и Сильвия Кастонгва (редактор)

Концентрации парниковых газов в атмосфере (Глобальная служба атмосферы ВМО): Оксана Тарасова (ВМО), Алекс Вермюлен (портал по углероду Комплексной системы наблюдений за углеродом (КСНУ), Университет Лунда, Швеция), Джоселин Тернбулл (ГНС Наука, Новая Зеландия/ Объединенный институт исследований в области наук об окружающей среде, Университет Колорадо Боулдер, США), Лусиана В. Гатти (Национальный институт космических исследований, Бразилия)

Глобальные выбросы парниковых газов и бюджеты (Глобальный углеродный проект): Жозеп Г. Канаделл (Научно-промышленная исследовательская организация Австралийского Союза (КСИРО), Австралия), Роберт Б. Джексон (Стэндфордский университет, США), Робби М. Эндрю (Центр международных исследований климата и окружающей среды (СИСЕРО), Норвегия), Филипп Сие (Лаборатория наук о климате и окружающей среде (ЛНКОС), Франция), Стивен Дж. Дэвис (Калифорнийский университет, США), Пьер Фридлигштайн (Университет Эксетера, СК), Корин Лё Кере (Университет Восточной Англии, СК), Чжу Лю (Университет Цинхуа, Китай), Глен П. Питерс (СИСЕРО, Норвегия)

Состояние глобального климата: 2018—2022 годы (ВМО): Омар Баддур (ВМО), Джон Кеннеди (Метеобюро, СК), Питер Зигмунд (основной автор, Королевский Нидерландский метеорологический институт, Нидерланды)

Глобальные климатические предсказания: 2022—2026 годы (Метеобюро, СК/ВМО/Всемирная программа исследований климата (ВМО/Международный совет по науке/МОК-ЮНЕСКО)): Леон Хермансон (Метеобюро, СК), Адам Скэйф (Метеобюро, СК; Университет Эксетера, СК), Мелисса Сибрук (Метеобюро, СК), Даг Смит (Метеобюро, СК)

Разрыв в уровнях выбросов (Программа ООН по окружающей среде): Анна Ольхофф (КОНСИТО, «Зеленый» аналитический центр Дании), Джон Кристенсен (КОНСИТО, «Зеленый» аналитический центр Дании), Йури Рогель (Имперский колледж Лондона, СК; Международный институт прикладного системного анализа, Австрия), Мартен Каппелл (ЮНЕП), Цзянь Лю (ЮНЕП)

Переломные моменты в климатической системе (ВМО/Всемирная программа исследований климата (ВМО/Международный совет по науке/МОК-ЮНЕСКО)): Томас Ф. Стокер (Бернский университет, Швейцария), Габриэле С. Хегерл (Эдинбургский университет, СК), Джеймс В. Харрелл (Университет штата Колорадо, США), Тимоти М. Лентон (Университет Эксетера, СК), Соня И. Сеневираатне (ETH Цюрих, Швейцария), Рикарда Винкельманн (ПИК Потсдам, Германия)

Изменение климата и города (Сеть научных исследований по изменению климата в городах): Синтия Розенцвейг (Институт космических исследований им. Годдарда НАСА и Колумбийский университет, США), Уильям Солецки (Университет города Нью-Йорка — Хантер-колледж, США), Мария Домброва (Колумбийский университет, США)

Экстремальные метеорологические явления и социально-экономические последствия (Всемирная программа метеорологических исследований ВМО): Эстель де Конинг (ВМО), Лорен Стюарт (ВМО), Эндрю Кинг (Университет Мельбурна, Австралия), Рем Дурмеа (Маврикийская метеорологическая служба, Маврикий), Петер Биссолли (Метеорологическая служба Германии, Германия), Марвин Манус (Метеорологическая служба Германии, Германия), Стефан Роснер (Метеорологическая служба Германии, Германия), Андреа Крайс (Метеорологическая служба Германии, Германия)

Системы заблаговременных предупреждений: поддержка адаптации и снижения риска бедствий (ВМО/Управление ООН по снижению риска бедствий): Лаура Патерсон (ВМО), Лорен Стюарт (ВМО), Анимеш Кумар (УСРБ ООН), Серена Одианозе (ВМО), Лорена Сантамария (ВМО), Виктория Алексеева (ВМО)

Вставки МГЭИК: содержание взято из отчетов «Резюме для политиков» (РП) из недавнего Шестого оценочного доклада МГЭИК, включая Рабочую группу I — Физическая научная основа, Рабочую группу II — Воздействия, адаптация и уязвимость и Рабочую группу III — Смягчение воздействий на изменение климата

Предисловие: Генеральный секретарь Организации Объединенных Наций Антониу Гутерриш

Стремительный рост числа климатических отклонений говорит о том, что никто не застрахован от таких бедствий, как наводнения, засухи, тепловые волны, экстремальные штормы, лесные пожары или повышение уровня моря. Ответ кроется в срочных мерах по борьбе с изменением климата, однако мы продолжаем подпитывать свою зависимость от ископаемого топлива и ставить под угрозу благополучие будущих поколений.

В Парижском соглашении по изменению климата правительства обязались ограничить рост глобальной температуры в пределах 1,5 градусов Цельсия и построить сообщества, устойчивые к изменению климата. Из отчета «Единство в науке» за этот год видно, что мы значительно отклонились от курса. Пришло время воплотить обещания в жизнь.

Для того чтобы снизить выбросы углерода, нам необходим переворот в области возобновляемых источников энергии. Нам также нужно удвоить инвестиции в адаптацию. Первым необходимым шагом, одновременно быстрым и экономичным, является заблаговременное предупреждение.

Заблаговременные предупреждения спасают жизни и сохраняют источники средств к существованию от климатических угроз. Тем не менее, во многих развивающихся странах такие системы до сих пор отсутствуют. Обеспечение заблаговременных предупреждений имеет важное значение для того, чтобы

помочь людям подготовиться к экстремальным метеорологическим явлениям, засухам и другим климатическим воздействиям. Мне приятно отметить, что Всемирная метеорологическая организация разрабатывает план по обеспечению всеобщего охвата заблаговременными предупреждениями в течение следующих пяти лет.

Однако для того, чтобы справиться с жизненно важными климатическими проблемами, нам нужно гораздо больше. Я настоятельно призываю всех лидеров прислушаться к фактам, изложенным в этом отчете, объединиться вокруг науки и принять решительные срочные меры по борьбе с изменением климата.



А. Гутерриш, Генеральный секретарь ООН



Предисловие: Генеральный секретарь Всемирной метеорологической организации проф. Петтери Таалас

Научные данные однозначны: мы движемся в неправильном направлении.

Концентрации парниковых газов продолжают расти, достигая рекордно высоких значений. На сегодняшний день интенсивность выбросов, обусловленных ископаемым топливом, превышает уровни до пандемии. Последние семь лет были самыми теплыми годами за всю историю наблюдений. Города, на долю которых приходится 70 % глобальных выбросов, чрезвычайно уязвимы к воздействиям климата.

Эти тенденции сохранятся, если мы не примем срочных мер по сокращению выбросов, обусловленных ископаемым топливом. Для достижения целевого показателя в 1,5 °C, предусмотренного Парижским соглашением, объем обязательств по сокращению выбросов на 2030 год нужно увеличить в семь раз.

Совокупное воздействие более высоких температур и влажности в некоторых регионах может иметь опасные последствия для здоровья человека в ближайшие несколько десятилетий. Это может привести к наступлению переломных моментов, за которыми труд человека на открытом воздухе будет физиологически невозможен без технической помощи. Исследование этого и других переломных моментов в изменении климата, таких как таяние полярных ледяных щитов, поможет обществу лучше понять издержки, выгоды и потенциальные ограничения, присущие мерам по смягчению последствий изменения климата и адаптации к ним в будущем.

Наука о климате все более убедительно доказывает, что многие экстремальные метеорологические явления, которые мы переживаем, стали более вероятными и более интенсивными из-за изменения климата, вызванного деятельностью человека. Сегодня как никогда важно, чтобы мы расширили работу по созданию систем заблаговременных предупреждений для повышения устойчивости к текущим и будущим климатическим рискам в уязвимых сообществах.

Я благодарю многочисленные экспертные группы, участвовавшие в создании этого отчета, за сотрудничество, объединившее научное сообщество климатологов в деле предоставления новейшей важной информации в эти беспрецедентные времена.



Проф. П. Таалас, Генеральный секретарь ВМО



Резюме

Отчет «Единство в науке» содержит обзор последних научных данных, связанных с изменением климата, его последствиями и мерами реагирования со стороны Всемирной метеорологической организации (ВМО) и партнерских организаций. В условиях, когда необходимы срочные меры по решению проблемы изменения климата, отчет объединяет научную информацию для информирования лиц, принимающих решения, и освещает некоторые физические и социально-экономические воздействия текущего и прогнозируемого состояния климата.

По данным Глобальной службы атмосферы ВМО, концентрации парниковых газов (ПГ) в атмосфере продолжают расти, несмотря на сокращение выбросов в результате введения режима изоляции во время пандемии COVID-19 в 2020 году. В Глобальном углеродном проекте также отмечается, что в 2021 году глобальные выбросы CO₂ от сжигания ископаемого топлива вернулись к допандемическим уровням 2019 года после значительного, но временного абсолютного снижения выбросов из-за повсеместного введения режима изоляции. Эти условия ведут к повышению глобальной приземной температуры и другим климатическим изменениям, о чем свидетельствует *Заявление ВМО о состоянии глобального климата в 2021 году*, согласно которому последние семь лет, с 2015 по 2021 год, были самыми теплыми за всю историю наблюдений.

Заглядывая в будущее, Метеобюро (СК) в партнерстве с Всемирной программой исследования климата установило, что с 48-процентной долей вероятности в течение хотя бы одного года в ближайшие пять лет среднегодовая температура временно повысится на 1,5 °C по сравнению с показателями 1850–1900 годов. Кроме того, существует 93-процентная вероятность того, что хотя бы один год за этот же период станет самым жарким за всю историю наблюдений.

Последний *Доклад о разрыве в уровнях выбросов* Программы ООН по окружающей среде показал, что полное осуществление страновых обязательств по смягчению последствий изменения климата (по состоянию на 4 ноября 2021 года) будет недостаточным и не позволит удерживать глобальное потепление в пределах 1,5 °C выше доиндустриальных уровней. В докладе также сделан вывод о том, что объем этих обязательств должен быть в четыре раза выше, чтобы удержать рост глобальной температуры в пределах 2 °C сверх доиндустриальных уровней, и в семь раз выше, чтобы ограничить потепление до уровня 1,5 °C. Для того чтобы избежать ситуации, при которой цели Парижского соглашения станут недостижимы, необходимо активизировать работу по смягчению последствий.

В отсутствие решительных мер физические и социально-экономические воздействия изменения климата будут катастрофическими. Необратимые физические изменения в климатической системе, известные как переломные моменты, не могут быть исключены и могут иметь значительные глобальные и региональные последствия. По данным Сети научных исследований по изменению климата в городах, города, на которые приходится до 70 % выбросов, вызванных деятельностью человека, столкнутся с растущим воздействием климата, которое будет пересекаться с социально-экономическим неравенством. Кроме того, Всемирная программа метеорологических исследований ВМО подчеркивает, что больше всего пострадает наиболее уязвимое население планеты, что уже наблюдалось во время недавних экстремальных метеорологических явлений.

Миллиарды людей во всем мире крайне уязвимы к воздействиям изменения климата. Таким образом, адаптация и снижение риска бедствий имеют решающее значение для снижения рисков, связанных с воздействием климата. По данным ВМО и Управления ООН по снижению риска бедствий, системы заблаговременных предупреждений не только спасают жизни и сокращают потери и ущерб, но и способствуют снижению риска бедствий, а также поддерживают адаптацию к изменению климата. Однако этими важнейшими системами располагает менее половины всех стран мира, и охват особенно низок в уязвимых странах. В целях проработки этого вопроса Генеральный секретарь Организации Объединённых Наций Антониу Гутерриш призвал к новым действиям для обеспечения того, чтобы каждый человек на Земле был защищен системами заблаговременных предупреждений в ближайшие пять лет.

Кроме того, Межправительственная группа экспертов по изменению климата недавно выпустила долгожданные отчеты Рабочей группы, охватывающие *Физическую научную основу*; *Воздействия, адаптацию и уязвимость* и *Смягчение воздействий на изменение климата*, которые являются неотъемлемой частью ее Шестого оценочного доклада. Эти важные отчеты определяют сильные стороны научных заключений в таких различных областях, а также наличие или отсутствие необходимости в дальнейших исследованиях.

Наука ясно показывает: необходимы срочные действия для смягчения воздействия выбросов и адаптации к нашему меняющемуся климату. Система Организации Объединённых Наций вместе со своими партнерами будет продолжать предоставлять ведущие мировые научные данные в качестве информационной основы для принятия решений и поддержки глобальных действий по борьбе с изменением климата.



Основные тезисы

- **Концентрация парниковых газов (ПГ) в атмосфере** продолжает расти, а выбросы, обусловленные ископаемым топливом, превышают уровни, зафиксированные до пандемии, после временного снижения, связанного с введением режима изоляции во время пандемии COVID-19 в 2020 и 2021 годах.
- **В последние годы наблюдались рекордно высокие температуры и нагревание океана.** Заглядывая в будущее, вероятность того, что в течение хотя бы одного года в ближайшие пять лет среднегодовая температура временно превысит показатели 1850–1900 годов на 1,5 °C, составляет 48 %.
- **Обязательства по предотвращению изменения климата недостаточны для выполнения Парижского соглашения.** Необходима активизация работы по предотвращению продолжающегося потепления, которое повышает вероятность наступления необратимых изменений в климатической системе, известных как переломный момент.
- **Миллиарды людей во всем мире подвергаются воздействию изменения климата.** Города, на которые приходится до 70 % выбросов, вызванных деятельностью человека, столкнутся с растущими социально-экономическими воздействиями, и больше всего пострадает наиболее уязвимое население мира, что видно на примере последних экстремальных метеорологических явлений.
- **Адаптация имеет решающее значение для снижения рисков, связанных с воздействием климата.** Системы заблаговременных предупреждений могут спасти жизни, сокращать потери и ущерб, способствовать снижению риска бедствий и поддерживать адаптацию к изменению климата.

Основные тезисы

- Концентрации основных ПГ продолжали расти в 2021 году и в первой половине 2022 года.
- Общее сокращение объемов выбросов в 2020 году не оказало существенного влияния на годовой рост показателей концентрации долгоживущих ПГ в атмосфере.
- Роль поглощения углерода биосферой в достижении нейтрального уровня выбросов углерода будет более понятна, если она будет подкреплена более надежными данными наблюдений за атмосферой.

Глобальные уровни ПГ

Уровни концентрации в атмосфере двуокиси углерода (CO_2), метана (CH_4) и закиси азота (N_2O) продолжают расти. Предварительный анализ данных подгруппы сети станций наблюдений за ПГ ГСА показал, что на протяжении всего 2021 года показатели концентрации CO_2 превышали 410 частей на миллион (млн^{-1}). Кроме того, во время сезонного пика 2022 года показатели концентрации¹ на некоторых участках фонового мониторинга в северном полушарии достигали 430 млн^{-1} .

Полный анализ трех основных ПГ (рисунок 1) показывает, что в 2020 году глобально усредненные концентрации в атмосфере CO_2 составляли $413,2 \pm 0,2 \text{ млн}^{-1}$, CH_4 – 1889 ± 2 части на миллиард (млрд^{-1}) и N_2O – $333,2 \pm 0,1 \text{ млрд}^{-1}$ (соответственно 149, 262 и 123 % от доиндустриального

уровня 1750 года). Увеличение содержания CO_2 в атмосфере с 2019 по 2020 год было чуть менее значительным, чем увеличение, наблюдавшееся с 2018 по 2019 год, но более значительным, чем среднегодовые темпы роста, наблюдавшиеся за последнее десятилетие. И это несмотря на снижение на 5,4 % в 2020 году глобальных выбросов CO_2 в результате использования энергии из-за ограничений, связанных с пандемией коронавируса (COVID-19) (см. главу Глобальные выбросы парниковых газов и бюджеты). Что касается CH_4 и N_2O , их концентрации с 2019 по 2020 год были более значительными, чем наблюдавшиеся с 2018 по 2019 год, и более значительными, чем среднегодовые темпы роста за последнее десятилетие (ВМО, 2021 г.).

Итоговые средние мировые показатели за 2021 год будут получены только во второй половине 2022 года, но данные наблюдения со всех глобальных точек,

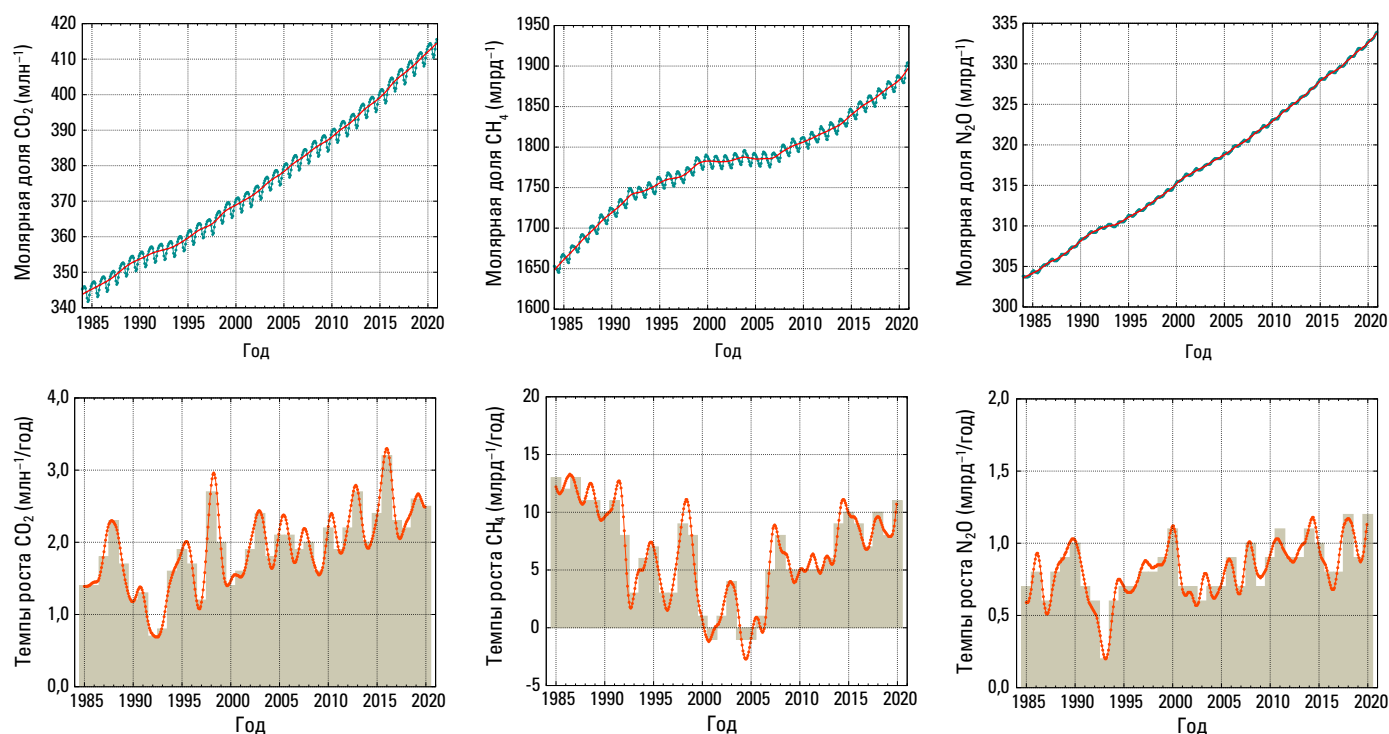


Рисунок 1. (верхний ряд) Глобально усредненная молярная доля CO_2 , CH_4 и N_2O в млн^{-1} (CO_2) и млрд^{-1} (CH_4 , N_2O соответственно) и темпы ее роста (нижний ряд) с 1984 по 2020 год. Для анализа CO_2 использовались наблюдения со 139 станций, для анализа CH_4 – со 138 станций, а для анализа N_2O – со 105 станций. Красной линией (в верхнем ряду) показано среднеемесячное значение без учета сезонных колебаний; синие точки и линия отображают среднеемесячные значения. Прирост последовательных среднегодовых значений показан в виде затененных столбцов (в нижнем ряду).

¹В данном разделе физический объем, связанный с количеством газов в атмосфере (сухая молярная доля), называется «концентрацией».

Концентрации парниковых газов в атмосфере

Глобальная служба атмосферы ВМО



включая флагманские обсерватории – станции ГСА на Мауна-Лоа (Гавайи, США) и мысе Грим (Тасмания, Австралия) – свидетельствуют о том, что уровни CO_2 продолжали расти в 2021 и 2022 годах (рисунки 2 и 3). В июне 2022 года концентрация CO_2 на Мауна-Лоа и мысе Грим достигла 420,99 млн⁻¹ и 414,12 млн⁻¹ соответственно. Сравнительные показатели за июнь 2021 года составили 418,94 млн⁻¹ и 411,64 млн⁻¹.

Использование атмосферных наблюдений для расширения знаний о потоках ПГ в биосфере

Наиболее амбициозные сценарии смягчения воздействий на изменение климата, оцененные Межправительственной группой экспертов по изменению климата (2022 г.), предусматривают чистые отрицательные выбросы во второй половине этого столетия. Облесение и лесовозобновление могут играть важную роль в увеличении поглотителей углерода, посредством которых углерод поглощается биосферой. В то же время чистые антропогенные выбросы CO_2 от землепользования, изменений в землепользовании и лесного хозяйства (CO_2 -ЗИЗЛХ) подвержены значительным неопределенностям и большой годовой изменчивости с низкой степенью достоверности даже в плане долгосрочного тренда. Естественные потоки CO_2 также подвержены значительной межгодовой изменчивости. Наблюдение и анализ атмосферы могут сыграть важную роль в улучшении количественной оценки общих биосферных потоков CO_2 , как показано в приведенных ниже примерах.

Отслеживание прогресса в достижении целевых показателей по выбросам в Новой Зеландии

Оценки поглощения углерода лесами в Новой Зеландии остаются крайне неопределенными. В Национальном докладе о кадастре, который отслеживает прогресс в

достижении целевых показателей выбросов в рамках Рамочной конвенции ООН об изменении климата (РКИКООН), для оценки поглощения углерода лесами используются измерения диаметра и высоты деревьев в национальной сети станций (Министерство охраны окружающей среды Новой Зеландии, 2021 г.). Независимые оценки, полученные в результате измерений содержания CO_2 в атмосфере и моделирования, свидетельствуют о том, что поглощение углерода лесами может значительно недооцениваться как в Национальном докладе о кадастре, так и при моделировании наземной биосферы (Steinkamp et al., 2017). Последние результаты подтверждают наличие данного поглотителя углерода с помощью дополнительных измерений и моделирования и указывают на то, что описанный процесс поглощения продолжается по крайней мере в течение десятилетия (рисунок 4).

Недавно Комиссия по изменению климата Новой Зеландии рекомендовала перейти от лесоразведения к посадке местных лесов для поглощения углерода. Однако о чувствительности уникальных коренных лесов Новой Зеландии к будущим изменениям климата известно мало. Продолжающиеся измерения поспособствуют пониманию того, насколько чувствительны эти леса к изменению климата и как осуществляемый ими процесс поглощения углерода будет реагировать на изменения окружающей среды.

Оценка вклада Амазонии в глобальный углеродный бюджет

Тропические регионы, такие как Амазония, играют важную роль в глобальном углеродном бюджете. В Амазонии расположен самый большой тропический лес Земли, но здесь производится лишь небольшое количество наблюдений *in situ*, необходимых для мониторинга крупномасштабных потоков углерода, как и в других тропических регионах. Для улучшения оценки вклада Амазонии в глобальный углеродный бюджет в 2010 году была запущена программа самолетных измерений в четырех различных пунктах этого региона: Альта Флореста (ALF), Рио Бранко (RBA), Сантарем (SAN) и Табатинга/Тефе (TAB/TEF). В целом, за период с 2010 по 2018 год было собрано 600 вертикальных профилей самолетных измерений CO_2 и CO (Gatti et al., 2021).

Атмосферный CO_2 в обсерватории Мауна-Лоа

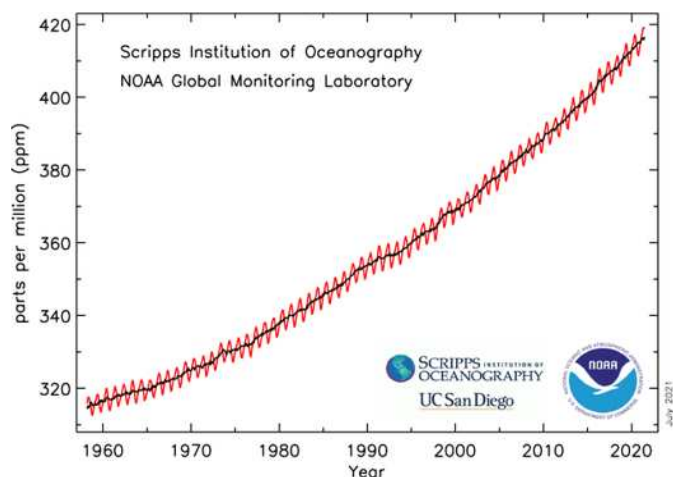


Рисунок 2. Среднемесячная мольная доля CO_2 в млн⁻¹ в обсерватории Мауна-Лоа с марта 1958 по июнь 2022 года. Зигзагообразная красная линия представляет среднемесячные значения, центр которых приходится на середину каждого месяца. Черная линия показывает те же значения за вычетом среднего сезонного цикла, исключенного путем статистической обработки (источник: www.esrl.noaa.gov/gmd/ccg/trends/mlo.html).

Атмосферный CO_2 в обсерватории на мысе Грим

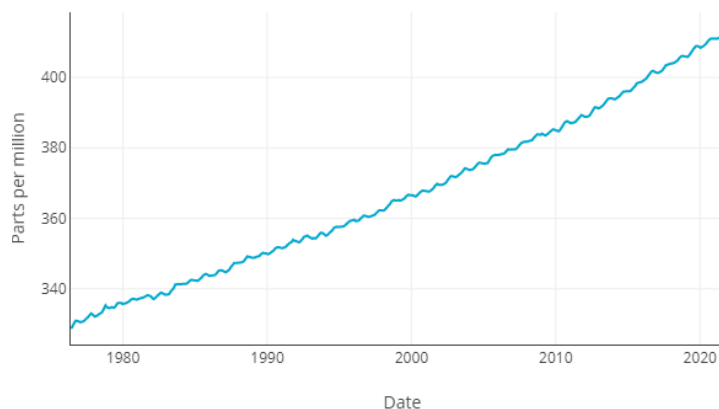


Рисунок 3. Среднемесячная мольная доля CO_2 , выраженная в млн⁻¹, с мая 1976 по июнь 2022 года в обсерватории на мысе Грим (источник: <https://www.csiro.au/greenhouse-gases/>).

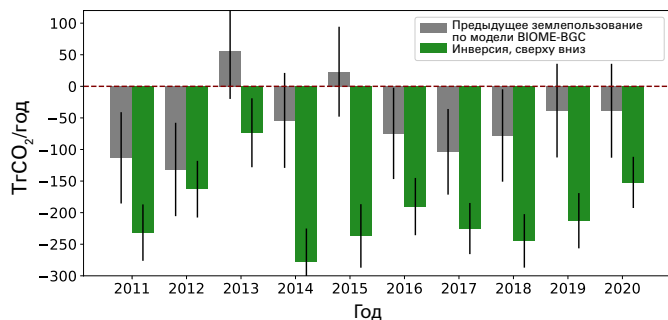


Рисунок 4. Среднегодовой поток углерода из земной биосферы Новой Зеландии, рассчитанный по модели BIOME-BGC (серый цвет) и по результатам измерений и моделирования атмосферного CO₂ (зеленый цвет) (обновлено относительно Steinkamp et al., 2017).

Эти профильные наблюдения, а также использование методов постолбцовой подготовки бюджета для расчета потока углерода и долгосрочных данных о температурах и осадках помогают нам понять процесс поглощения углерода в природных и нарушенных экосистемах, а также то, как леса реагируют на климатический стресс. Это крайне важная информация для достижения нейтрального уровня выбросов углерода, которого будет трудно добиться, если леса потеряют свою поглощающую способность в результате изменений в землепользовании и почвенно-растительном покрове и воздействия изменения климата, что наблюдается в большинстве регионов Амазонии, подверженных антропогенному воздействию человека.

Анализ данных показывает, что юго-восточный регион, измерения по которому обеспечивает ALF (8,80° ю. ш., 56,75° з. д.), имеет наибольшие выбросы в атмосферу CO₂ (рисунок 5), за ним следует северо-восточный регион, наблюдения по которому осуществляет SAN (2,86° ю. ш., 54,95° з. д.). Градиенты CO₂ по среднегодовым вертикальным профилям и расчетным потокам углерода указывают на то, что в районах, в большей степени затронутых изменениями в землепользовании и почвенно-растительном покрове, наблюдаются более высокие выбросы углерода в атмосферу. В регионах на востоке Амазонии наблюдалось значительное повышение температуры в сухой сезон, уменьшение количества осадков и обезлесение больших территорий на протяжении последних 40 лет, в то время как в западных регионах наблюдаются относительно низкие уровни антропогенного воздействия и тенденции изменения климата в сухой сезон.

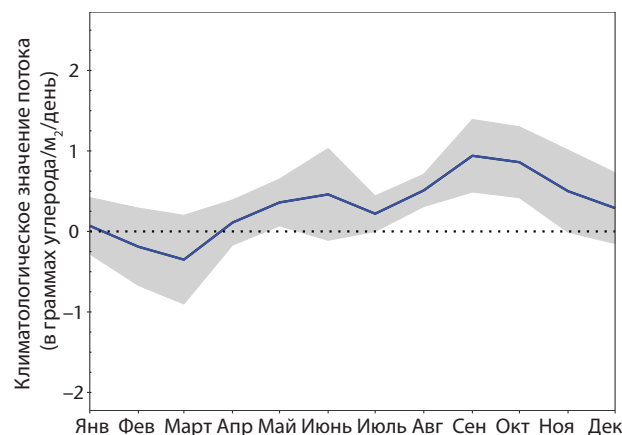


Рисунок 5. 9-летние среднеемесячные значения потока углерода согласно измерениям ALF (2010–2018 годы). Серая зона отражает стандартное отклонение среднеемесячных значений и среднее 9-летнее климатологическое значение потока углерода в юго-восточной Амазонии (Gatti et al., 2021).

Было признано, что поддержка методов, основанных на наблюдениях, предполагает существенное развитие инфраструктуры наблюдений и анализа. Интегрированная глобальная информационная система по парниковым газам (ИГИСПГ) ВМО, один из примеров основанной на наблюдениях информационной системы, использует инструменты атмосферных наблюдений и анализа для расширения знаний об источниках и поглотителях ПГ в национальном масштабе и на более низких уровнях. Все большее число стран инициирует программы по объединению информации о выбросах, основанной на наблюдениях, с оценками на основе вида деятельности и коэффициента выбросов. ИГИСПГ разработала документы по передовой практике, чтобы обеспечить возможность сравнения между собой оценок, выполненных в различных масштабах и в разных странах, городах и структурах.

В настоящее время ВМО изучает возможность создания координируемой на международном уровне оперативной глобальной инфраструктуры мониторинга парниковых газов для непосредственного наблюдения и моделирования концентраций парниковых газов в атмосфере и соответствующих потоков между атмосферой, сушей и океанами. Разработка этой инициативы проводится в консультации с представителями существующих структур, осуществляющих наблюдения как *in situ*, так и из космоса, с соответствующими организациями, занимающимися моделированием и ассимиляцией данных, а также с сообществом потенциальных пользователей.

Основные тезисы

- Общий объем антропогенных выбросов двуокиси углерода (CO_2) оценивается в 38,0 гигатонн CO_2 в год ($\text{ГтCO}_2/\text{год}$) в 2020 году, а в 2021 году, по предварительной оценке, составит 39,3 $\text{ГтCO}_2/\text{год}$.
- По предварительным данным, глобальные выбросы CO_2 в 2022 году (с января по май) на 1,2 % превышают уровни, зафиксированные за этот же период 2019 года (до начала пандемии).
- Четверть выбросов ПГ от изменений в землепользовании связана с торговлей продовольствием между странами, из них более трех четвертей приходится на расчистку земель под сельское хозяйство, включая выпас скота.

Общий объем антропогенных выбросов CO_2 , включая выбросы в результате сжигания ископаемого топлива (уголь, газ, нефть) и выбросы от землепользования, изменений в землепользовании и лесного хозяйства (ЗИЗЛХ), оценивается в 38,0 $\text{ГтCO}_2/\text{год}$ в 2020 году (1 гигатонна = 1 петаграмм = 1 миллиард тонн).

Предварительная оценка на 2021 год составляет 39,3 $\text{ГтCO}_2/\text{год}$ (Friedlingstein et al., 2022; Jackson et al., 2022).

В 2021 году глобальные выбросы ископаемого CO_2 вернулись к допандемическим уровням 2019 года после снижения на 5,4 % в 2020 году из-за повсеместного введения режима изоляции в связи с пандемией COVID-19. Снижение выбросов в 2020 году стало самым значительным абсолютным снижением за всю историю наблюдений, что объясняется серьезным спадом экономической активности (рисунок 1).

В 2021 году выбросы CO_2 от сжигания ископаемого топлива возросли на 4,8 % (4,2–5,4 %), достигнув $36,4 \pm 1,8 \text{ ГтCO}_2/\text{год}$ (рисунок 1). Выбросы от сжигания угля и газа в 2021 году выросли выше уровней 2019 года, в то время как выбросы, связанные с нефтью, оставались ниже уровня 2019 года, поскольку, в частности, дорожные перевозки и международная авиация оставались ниже уровней, зафиксированных до начала пандемии.

По предварительным данным, в 2022 году (с января по май) глобальные выбросы CO_2 на 1,2 % превышают уровни, зафиксированные за этот же период 2019 года (до начала пандемии) (рисунок 2). В частности, выбросы при производстве электроэнергии (энергетика) и

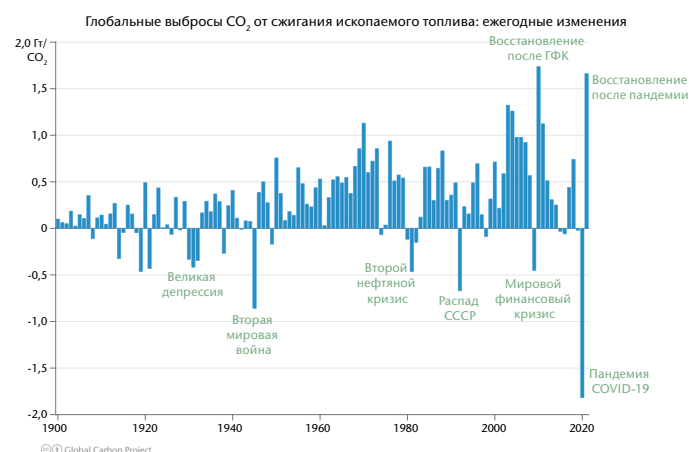


Рисунок 1. Абсолютные годовые показатели изменений в глобальных выбросах CO_2 от сжигания ископаемого топлива (Friedlingstein et al., 2022).

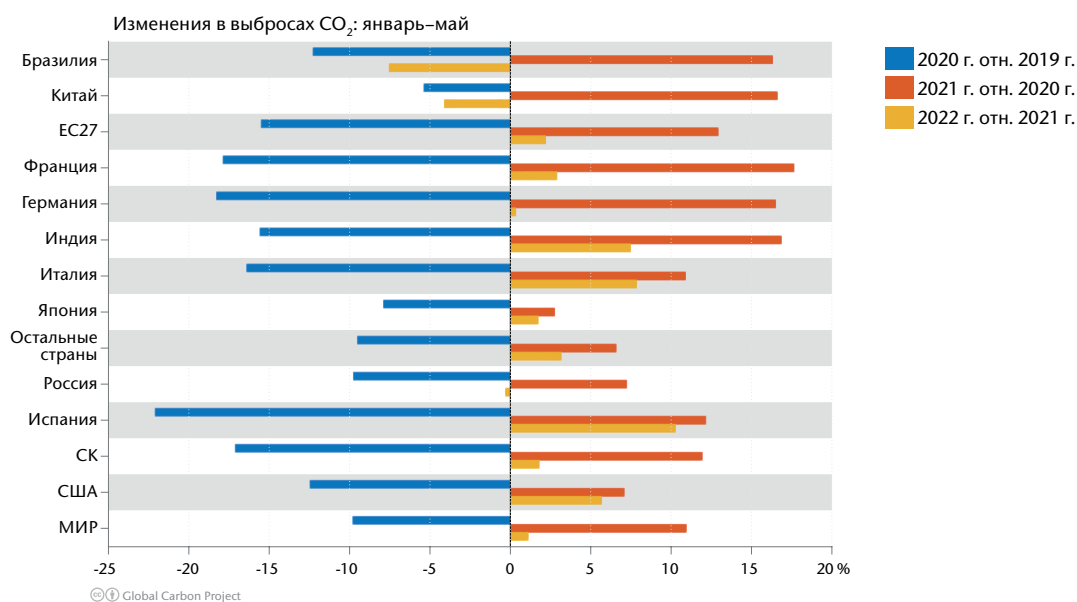


Рисунок 2. Динамика выбросов CO_2 от сжигания ископаемого топлива в мировом масштабе и для определенной группы стран за январь–май 2020, 2021 и 2022 годов по сравнению с аналогичным периодом предыдущего года (Carbon Monitor, 2022).

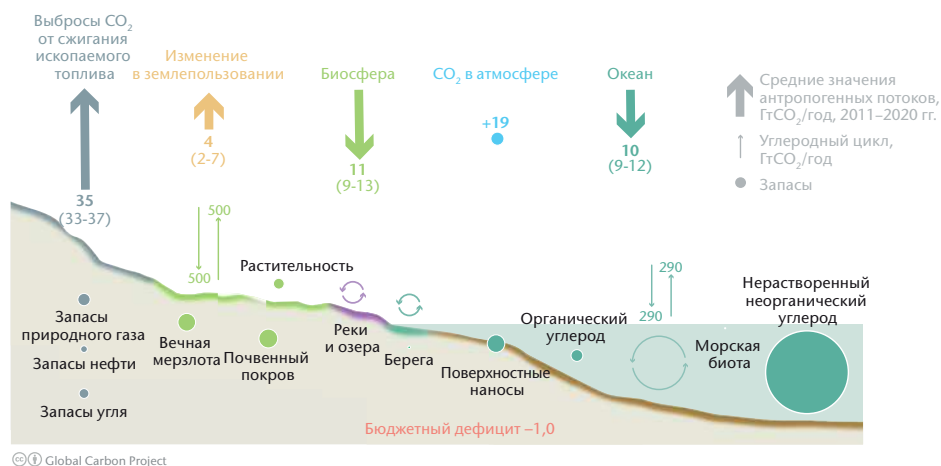


Рисунок 3. Антропогенное возмущение глобального углеродного бюджета, глобальные усредненные данные за десятилетие 2011–2020 годов (Friedlingstein et al., 2022).

промышленные выбросы выросли на 1,9 и 3,8 % соответственно. Внутренняя и международная авиация остались на уровне 14 и 31 % соответственно, что значительно ниже уровней 2019 года (Carbon Monitor 2022; Davis et al., 2022; Liu et al., 2022).

Глобальный рост выбросов, наблюдавшийся в первые пять месяцев 2022 года, в основном определяется США (+5,7 %), Индией (+7,5 %) и большинством европейских стран. Некоторые другие страны, такие как Бразилия, Китай и Российская Федерация, остаются на уровнях ниже 2021 года. Глобальные и некоторые региональные тренды 2022 года контрастируют со значительным увеличением выбросов в период непосредственного восстановления с января по май 2021 года, когда страны выходили из тяжелого периода изоляции в связи с пандемией COVID-19 в 2020 году. Если рост в 2021 году был обусловлен прямым стимулированием и быстрым восстановлением экономики, то замедление в 2022 году и снижение выбросов в некоторых странах связано с перестройкой экономики после кризиса 2020 года, постоянными сбоями в цепочке поставок и дефицитом

ключевых сырьевых товаров из-за войны в Украине. Снижение выбросов в Китае стало результатом длительной политики закрытости и строгих ограничений на въезд в ответ на местные вспышки COVID-19.

Несмотря на сильные колебания глобальных выбросов за последние 2,5 года, выбросы CO₂ от сжигания ископаемого топлива значительно снизились в 23 странах, на которые приходится около четверти глобальных выбросов (9 ГтCO₂/год), в течение десятилетия 2010–2019 годов до пандемии. Сюда входят многие европейские страны, а также Япония, Мексика и Соединенные Штаты Америки. Снижение выбросов в этих странах свидетельствует о прогрессе на пути к декарбонизации, хотя тенденция роста глобальных выбросов оставалась преобладающей в течение десятилетия (Friedlingstein et al., 2022; Le Quéré et al., 2021).

В отличие от выбросов CO₂ от сжигания ископаемого топлива, воздействие на атмосферу выбросов CO₂ от ЗИЗЛХ является результатом чистого соотношения

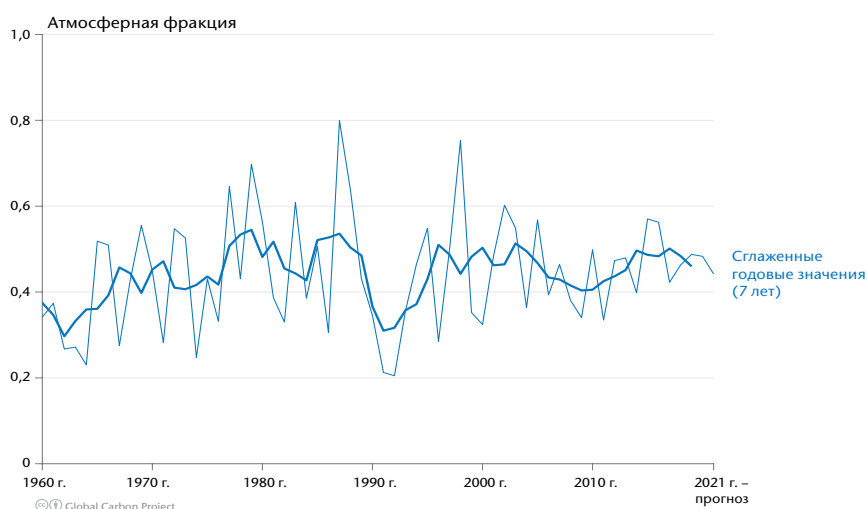


Рисунок 4. Доля антропогенных выбросов CO₂ (ископаемое топливо + ЗИЗЛХ), которая остается в атмосфере, 1960–2021 годы (Friedlingstein et al., 2022).

между деятельностью человека, которая приводит к высвобождению углерода (например, обезлесение), и другой деятельностью, которая приводит к поглощению углерода (например, лесовозобновление, подрост лесов). Чистые выбросы от ЗИЗЛ за 2021 год оцениваются в $2,9 \pm 2,6$ ГтСО₂/год, что связано с весьма значительными неопределенностями. Это ниже среднего показателя $4,1 \pm 2,6$ ГтСО₂/год за десятилетие 2011–2020 годов. Десятилетний чистый источник состоял из почти постоянных валовых выбросов в размере около $14 \pm 2,2$ ГтСО₂/год, которые частично компенсировались за счет удаления углерода на управляемых землях в размере $9,9 \pm 1,5$ ГтСО₂/год.

Хотя итоговые средние мировые показатели за 2021 год еще не получены, данные свидетельствуют о том, что антропогенные выбросы СО₂ привели к дальнейшему увеличению глобальной концентрации СО₂ в атмосфере. Однако естественные поглотители СО₂ на суше и в океанах продолжали поглощать больше СО₂ в ответ на увеличение концентрации СО₂ в атмосфере при среднем показателе (2011–2020 годы) в $10,2 \pm 1,5$ ГтСО₂/год для океанических поглотителей и $11,2 \pm 2,2$ ГтСО₂/год для поглотителей на суше (рисунок 3). Увеличение поглотителей СО₂ привело к тому, что атмосферная фракция (доля антропогенных выбросов, остающаяся в атмосфере) в среднем оставалась относительно постоянной на уровне 45 % в течение последних шести десятилетий, хотя и при большой межгодовой и декадной изменчивости (рисунок 4). Это означает, что 55 % всех антропогенных выбросов СО₂ в среднем удаляются естественными поглотителями на суше и в океанах, что подчеркивает важность и актуальность понимания их будущей эволюции в условиях изменений климата и атмосферы.

Выбросы, связанные с торговлей продовольствием

Международная торговля товарами, услугами и ископаемым топливом приводит к расхождению между странами, которые потребляют товары и услуги или добывают ископаемое топливо, и странами, которые сжигают ископаемое топливо и сообщают о соответствующих выбросах. Однако мало что известно о том, насколько глобальные выбросы от землепользования (т. е. не имеющие отношения к получению энергии) связаны с международной торговлей продовольственными товарами.

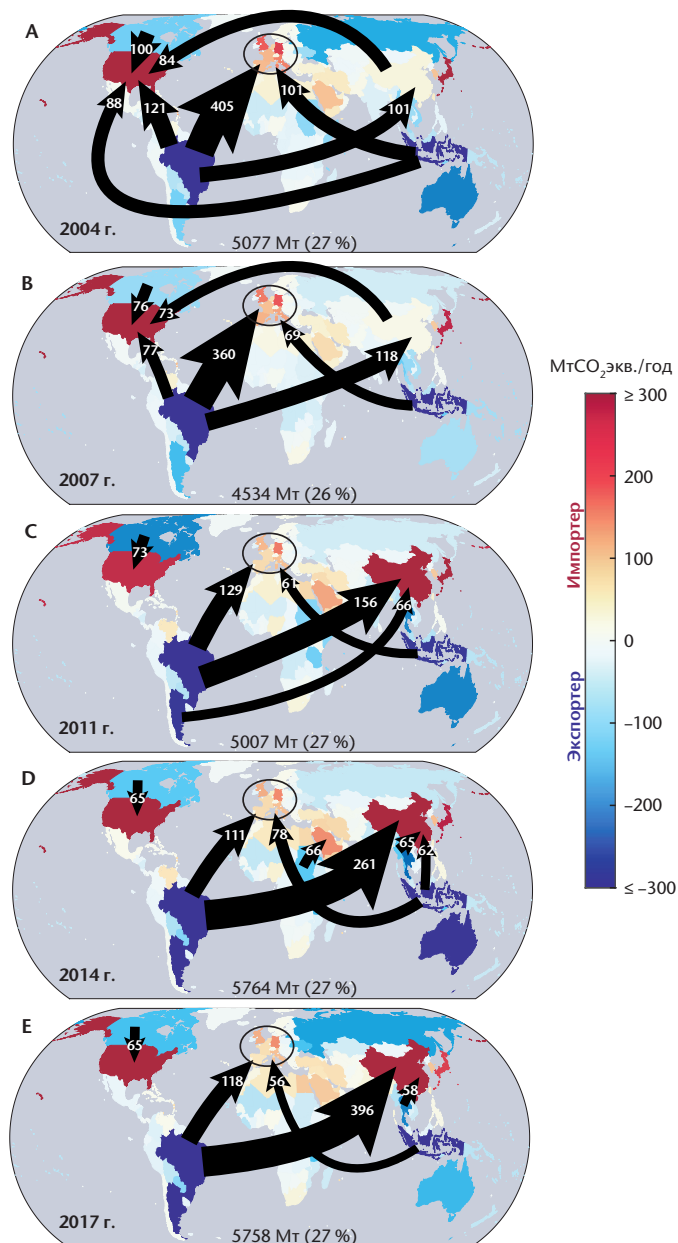


Рисунок 5. Глобальное распределение выбросов от землепользования в торговле между регионами в 2004 (А), 2007 (В), 2011 (С), 2014 (D) и 2017 (Е) годах (Hong et al., 2022)

Как показывает новый анализ, проведенный на основе нового учета выбросов ПГ от сельского хозяйства и изменений в землепользовании, в 2017 году выбросы от торговли продовольствием составили 5,8 гигатонн эквивалента CO_2 ($\text{ГтCO}_2\text{экв.}$), что составляет 27 % выбросов ПГ от изменений в землепользовании (Hong et al., 2022). $\text{ГтCO}_2\text{экв.}$ включают все основные ПГ (например, двуокись углерода, метан и закись азота). Более трех четвертей выбросов от торговли были связаны с изменениями в землепользовании для обеспечения расширения сельского хозяйства, включая выпас скота. Главными

экспортерами выбросов от торговли продовольствием были Бразилия и Индонезия, в основном из-за высоких темпов вырубки богатых углеродом лесов (рисунок 5). Бразилия экспортировала 40 % выбросов, связанных с землепользованием, а Индонезия – около 42 %.

Подробное картирование углеродных выбросов от торговли, связанных с производством продовольствия, может обеспечить возможность международного сотрудничества в целях сокращения выбросов от землепользования.

Основные заявления МГЭИК

- В течение 2010–2019 годов суммарные чистые антропогенные выбросы ПГ продолжали расти (Рабочая группа III МГЭИК, 2022 г.).
- Среднегодовые выбросы ПГ в течение 2010–2019 годов были выше, чем в любое предыдущее десятилетие, но темпы роста в период с 2010 по 2019 год были ниже, чем в период с 2000 по 2009 год (Рабочая группа III МГЭИК, 2022 г.).
- Чистые антропогенные выбросы ПГ увеличились с 2010 года во всех основных секторах в мировом масштабе (Рабочая группа III МГЭИК, 2022 г.).

Основные тезисы

- Средняя мировая температура за пять лет с 2018 по 2022 год была на $1,17 \pm 0,13$ °C выше средней температуры за период с 1850 по 1900 год, в результате чего данный пятилетний период вошел в четверку самых теплых за всю историю наблюдений после 2016–2020, 2015–2019 и 2017–2021 годов.
- Теплосодержание океана, которое представляет собой измерение тепла, хранящегося в океане, в 2018–2022 годах было выше, чем в любой другой пятилетний период.
- Средняя протяженность морского льда в Арктике в 2018–2022 годах была ниже долгосрочного среднего значения 1981–2010 годов, а в Антарктике протяженность морского льда достигла (по разным источникам данных) самого низкого или второго самого низкого значения за всю историю наблюдений.

Ежегодные флагманские заявления ВМО о **состоянии глобального климата** содержат краткую информацию о состоянии глобальных климатических показателей, включая глобальную температуру, нагревание океана и такие показатели криосферы, как, в частности, морской лед и снежный покров. Каждый доклад включает материалы национальных метеорологических и гидрологических служб, климатических центров и экспертов в области климата по всему миру, а также широкого круга партнеров ООН. В данной главе приводится краткое резюме ключевых выводов из доклада 2021 года и последних обновлений, охватывающих пятилетний период с 2018 по июнь 2022 года.

Глобальная температура

Годы с 2015 по 2021 стали семью самыми теплыми за всю историю наблюдений. Средняя глобальная температура 2018–2022 годов (на основе данных по состоянию на май или июнь 2022 года), согласно оценкам, на $1,17 \pm 0,13$ °C превышает среднюю температуру 1850–1900 годов. Это среднее значение по шести наборам данных¹, которые по отдельности имеют диапазон от 1,13 до 1,21 °C. Это четвертый самый теплый пятилетний период за всю

историю наблюдений согласно всем рассмотренным наборам данных (рисунок 1), следующий за периодами 2016–2020, 2015–2019 и 2017–2021 годов. Кроме того, это самый теплый непересекающийся с другими период, за ним следует период 2013–2017 годов.

Последний, немного более низкий средний пятилетний показатель связан с переходом от сильного явления Эль-Ниньо, наблюдавшегося в 2015/16 году, к устойчивым условиям Ла-Нинья, которые повлияли на 2021 и первую половину 2022 года. Эль-Ниньо приводит к краткосрочному повышению глобальных температур, в то время как в годы возникновения Ла-Нинья обычно немного прохладнее.

Эффект продолжительного Ла-Нинья можно наблюдать в Тихом океане, где температура поверхности опустилась ниже уровня 1981–2010 годов (рисунок 2) в восточной тропической части Тихого океана, но теплее среднего в северной части Тихого океана и юго-западной части Тихого океана. Только в нескольких районах мира – в отдельных регионах Северной Америки, в Южном океане и в районе к югу от Гренландии – было холоднее, чем в среднем за последнее время. Тем не менее, в большинстве регионов мира было теплее, чем в среднем за последнее

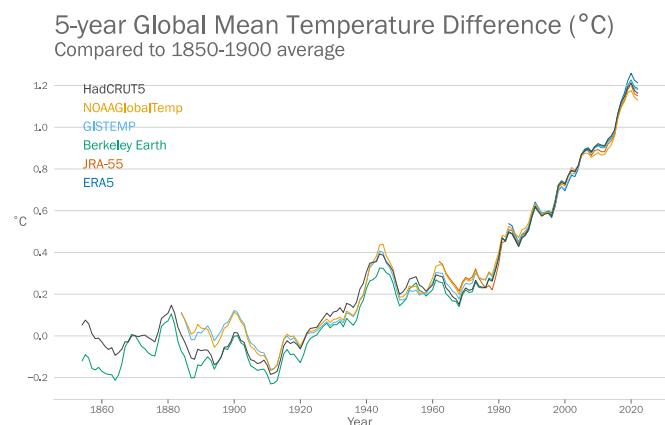


Рисунок 1. Скользящее среднее значение глобальных температурных аномалий за пять лет (в °C относительно 1850–1900 годов) с 1850–1854 по 2018–2022 годы (данные по состоянию на май или июнь 2022 года), показанное как разность относительно среднего значения за период 1850–1900 годов. Представлено шесть наборов данных, как указано в условных обозначениях.

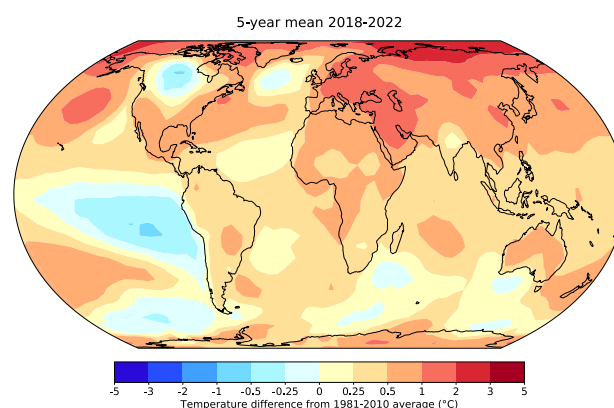


Рисунок 2. Средняя пятилетняя разность приземных температур по отношению к периоду 181–2010 годов за период 2018–2022 годов (данные по состоянию на май или июнь 2022 года). Значение каждой ячейки сетки на карте является медианой, рассчитанной по шести наборам данных: HadCRUT5, GISTEMP, NOAA GlobalTemp, Berkeley Earth, JRA-55 и ERA5.

¹ Шесть наборов данных: HadCRUT5 (по состоянию на май 2022 года), GISTEMP, NOAA GlobalTemp, Berkeley Earth, ERA5 и JRA-55 (по состоянию на июнь 2022 года).

время. Средние температуры за 2018–2022 годы были особенно высокими в Евразии, на больших территориях Африки, в Австралии и в некоторых частях Южной и Центральной Америки.

Теплосодержание океана

Большая часть избыточной энергии, которая накапливается в системе Земля в результате увеличения концентраций ПГ, поглощается океаном. Эта дополнительная энергия нагревает океан, и последующее тепловое расширение воды приводит к повышению уровня моря, чему также способствует таяние материковых льдов. Поверхностные слои океана нагревались быстрее, чем глубинные воды, что привело к повышению средней глобальной температуры поверхности моря и увеличению числа случаев морских волн тепла.

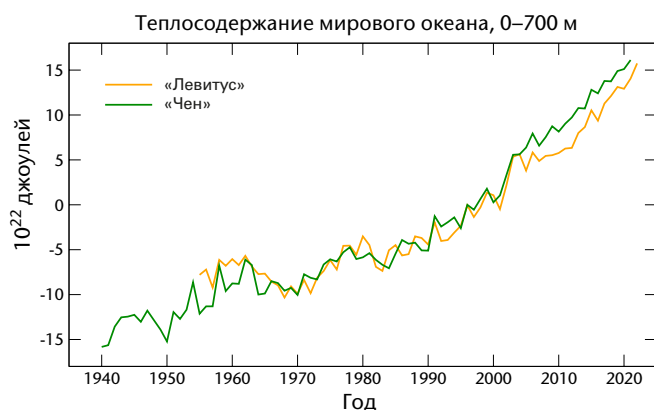


Рисунок 3. Теплосодержание Мирового океана на глубине 0–700 м за период с 1940 по май 2022 года (анализ состояния океана выполнен Институтом физики атмосферы).

Около 90 % накопленного тепла в системе Земля хранится в океане и измеряется по океаническому теплосодержанию. Измерения слоя от поверхности до глубины 700 метров (м) свидетельствуют о том, что глобальное теплосодержание в 2018–2022 годах (данные по состоянию на май 2022 года) было выше, чем в любой предшествующий год (рисунок 3). Линейная скорость изменений в наборе данных «Левитус» Национальных центров информации об окружающей среде (НЦИОС) в 2018–2022 годах составляет $0,8 \times 10^{22}$ джоулей/год. Это соответствует тепловому потоку в слое 0–700 м, равному $0,7 \text{ Вт/м}^2$.

Верхняя часть океана до глубины 2000 м продолжала нагреваться в 2021 году и ожидается, что будет нагреваться и в будущем — изменение, которое является необратимым в масштабах времени от столетнего до тысячелетнего.

Все наборы данных сходятся в том, что темпы потепления океана особенно сильно возросли за последние два десятилетия. Темпы потепления океана для слоя глубины 0–2000 м (относительно поверхности океана) достигли $1,0 (0,6) \pm 0,1 \text{ Вт/м}^2$ за период 2006–2021 (1971–2021) годов. Для сравнения, значения для верхних 700 м составляют $0,7 (0,4) \pm 0,1 \text{ Вт/м}^2$ за период 2006–2021 (1971–2021) годов. Ниже глубины 2000 м океан также нагревался, хотя и с меньшей скоростью, равной $0,07 \pm 0,04 \text{ Вт/м}^2$ (Purkey et al., 2010).

Криосфера

Влияние человека, весьма вероятно, является основным фактором уменьшения площади арктического морского льда в периоды 1979–1988 и 2010–2019 годов, в которые было зафиксировано сокращение примерно на 40 % в сентябре и примерно на 10 % в марте (МГЭИК, 2021 г.). В настоящее время покрытие арктическим морским льдом (как в течение года, так и поздним летом) является минимальным, по меньшей мере, с 1850 года, и, согласно проекциям, состояние практически полного отсутствия льда в период летнего минимума будет достигнуто как минимум однажды до 2050 года.

В период с 1979 по 2020 год не наблюдалось какой-либо значительной тенденции изменения площади антарктического морского льда из-за противоположных трендов в разных районах Антарктики и большой внутренней изменчивости (МГЭИК, 2021 г.). Как видно из рисунка 4, протяженность антарктического морского льда медленно увеличивалась с начала эпохи спутников до примерно 2015 года. Однако в период с

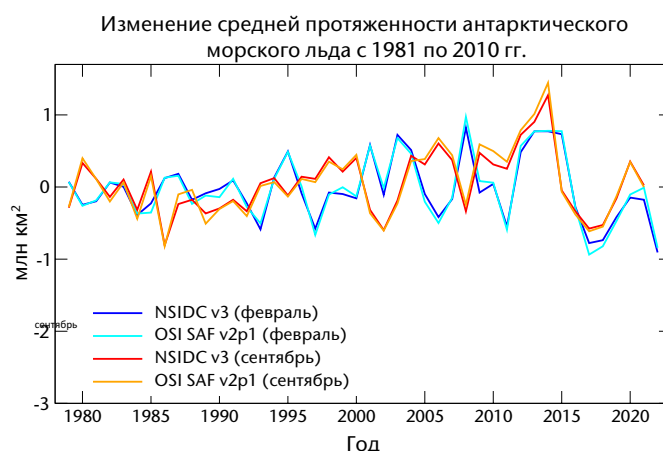
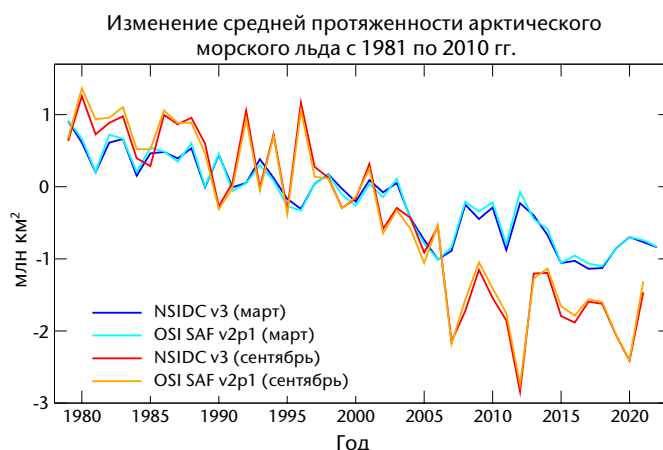


Рисунок 4. Разница в протяженности морского льда по сравнению со средними значениями 1981–2010 годов в Арктике (вверху) и Антарктике (внизу) за месяцы с максимальным ледяным покровом (Арктика: март; Антарктика: сентябрь) и минимальным ледяным покровом (Арктика: сентябрь; Антарктика: февраль) с 1979 по март 2022 года (Национальный центр данных по снегу и льду США (НЦДСЛ) и Центр спутниковых применений для изучения океанского и морского льда (ЦСП-ОМЛ) EUMETSAT).

2015 по 2017 год она быстро снизилась, затем в период с 2017 по 2021 год вернулась близко к долгосрочному среднему уровню, после чего достигла самого низкого или второго самого низкого значения за всю историю наблюдений, по разным источникам данных начиная с февраля 2022 года.

Ледники также очень чувствительны к изменениям температуры, осадков, солнечного света и потеплению океанских вод, а также к другим факторам. За период с 2000 по 2019 год мировые ледники и ледяные шапки (за исключением Гренландского и Антарктического ледяных щитов) в среднем теряли 267 ± 16 гигатонн (Гт) массы в год. Потери массы были выше, 298 ± 24 Гт/год, в конце периода 2015–2019 годов. Однако в период с 2015 по 2019 год ледники в нескольких регионах средних широт истончались более чем в два раза быстрее, чем в среднем по миру ($0,52 \pm 0,03$ м/год). В качестве примера можно привести уменьшение толщины ледников на $1,52$ м/год в Новой Зеландии, на $1,24$ м/год на Аляске, на $1,11$ м/год в Центральной Европе и на $1,05$ м/год в западной части Северной Америки (без учета Аляски).

Всемирная служба мониторинга ледников собирает и анализирует данные о глобальном балансе ледниковой массы, включая набор данных долгосрочных наблюдений о 42 эталонных ледниках. Предварительные данные за 2020/21 гляциологический год, полученные по 32 из этих эталонных ледников, указывают на средний глобальный баланс массы в $-0,77$ м водного эквивалента (м в.экв.)². Это меньшая потеря массы, чем в среднем за последнее десятилетие ($-0,94$ м в.экв. с 2011 по 2020 г.), но большая, чем средняя потеря массы в $-0,66$ м в.экв. за период с 1991 по 2020 год.

Экстремальные явления в 2021 году

Хотя понимание широкомасштабных изменений климата имеет большое значение, острое воздействие погоды и климата чаще всего ощущается во время таких экстремальных метеорологических явлений, как сильный дождь и снег, засухи, тепловые волны, волны холода и штормы, включая тропические штормы и циклоны. Это может привести к возникновению других явлений со значительными последствиями, таких как наводнения, оползни, лесные пожары и лавины, или усугубить их. В данном разделе освещаются экстремальные

метеорологические явления, наблюдавшиеся в 2021 году, главным образом на основе материалов, полученных от Членов ВМО.

В 2021 году исключительные тепловые волны охватили западную часть Северной Америки: рекордная температура достигла $49,6$ °C в Британской Колумбии, Канада, побив предыдущий национальный рекорд на $4,6$ °C. Экстремальная жара распространилась и на США, где в среднем по континентальной части Соединенных Штатов было зафиксировано самое жаркое лето за всю историю наблюдений. Экстремальная жара также затронула Центральную Европу и регион Большого Средиземноморья, где температура в Сиракузах на Сицилии, Италия, достигла $48,8$ °C. Во время и после этих тепловых волн также возникло множество крупных лесных пожаров на территориях от Канады до Сибири, где лесные пожары бушевали третий год подряд.

В середине июля 2021 года в Западной Европе произошло одно из самых сильных наводнений за всю историю наблюдений. Больше всего пострадали западная часть Германии и восточные районы Бельгии, где 14–15 июля на обширной территории выпало 100–150 мм осадков, а в Хагене (Германия) сообщалось о выпадении 241 мм осадков за 22 часа. Тем временем другие части мира страдали от засухи. В регионе Большого Африканского Рога, особенно в Сомали, Кении и части Эфиопии, засуха развивалась в течение года после трех подряд сезонов дождей, в которые отмечалось выпадение осадков ниже среднего уровня.

В середине февраля 2021 года во многих районах центральной части Соединенных Штатов Америки и северной Мексики наблюдались аномально холодные условия. Наиболее сильное воздействие было отмечено в Техасе, где в целом наблюдались самые низкие температуры, по крайней мере, с 1989 года. Кроме того, зима 2020/21 года была особенно холодной для многих районов Северной Азии. В Российской Федерации наблюдалась самая холодная зима с 2009/10 года, а в конце декабря и начале января на большей части территории Японии были зафиксированы температуры ниже средних. На большей части территории Китая в этот период также было необычайно холодно: 7 января 2021 года температура воздуха в Пекине достигла $-19,6$ °C, что является самой низкой температурой с 1966 года.

² Метры водного эквивалента (м в.экв.) – это слой воды, который образовался бы, если бы утраченный лед растаял и распространился по поверхности ледника.



Основные тезисы

- Вероятность того, что по крайней мере в один из годов в период с 2022 по 2026 год потепление временно превысит $1,5^{\circ}\text{C}$ по сравнению с доиндустриальным уровнем (среднее значение 1850–1900 годов), составляет 50 %.
- Вероятность того, что по крайней мере один год в период с 2022 по 2026 год будет теплее самого теплого года за всю историю наблюдений (2016 г.) и что средняя температура за пятилетний период 2022–2026 годов будет выше, чем в 2017–2021 годах, составляет 93 %.
- В ближайшие пять лет (2022–2026 годы) в период с мая по сентябрь повышается вероятность более влажных условий в Сахеле, Северной Европе, на Аляске и на севере Сибири и более сухих условий над Амазонкой.

Ведущий центр годового/десятилетнего прогнозирования климата ВМО выпускает сводку прогнозов на ближайшие пять лет (Hermanson et al., 2022). Эти прогнозы обеспечивают наилучшую оценку климата на ближайшую перспективу и основаны на ведущих мировых системах десятилетнего прогнозирования, разработанных назначенными ВМО Глобальными центрами подготовки прогнозов и неназначенными содействующими центрами. Эти прогнозы включают множество реализаций (всего 120) с наблюдаемыми начальными условиями того типа, который используется в сезонном прогнозировании, и пограничными воздействиями того типа, который используется для долгосрочных климатических проекций. Следует отметить, что эти прогнозы предполагают отсутствие крупных вулканических извержений на протяжении рассматриваемого периода. В данной главе представлены прогнозы Центра на период с 2022 по 2026 год.

Климатические предсказания на 2022–2026 годы

Глобальная температура

Средняя глобальная приземная температура, вероятно, будет расти в период с 2022 по 2026 год и останется

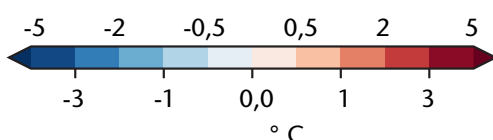
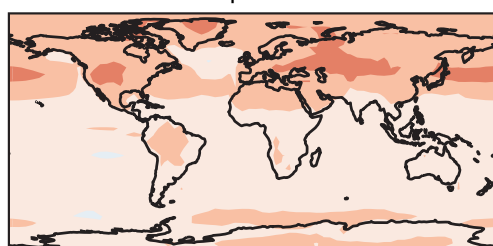
значительно выше эталонного уровня 1991–2020 годов. Согласно прогнозам, среднегодовая глобальная приземная температура для каждого года в этот пятилетний период будет выше доиндустриального уровня, то есть средней температуры за период 1850–1900 годов, на $1,1$ – $1,7^{\circ}\text{C}$.

Исходя из наилучшей оценки потепления с доиндустриальных времен, вероятность того, что среднегодовая глобальная приземная температура временно превысит $1,5^{\circ}\text{C}$ по сравнению с доиндустриальным уровнем хотя бы в один из годов на протяжении следующих пяти лет, составляет 48 процентов и увеличивается со временем. В то же время существует лишь небольшая вероятность (10 %) того, что среднее пятилетнее значение превысит этот порог. Обратите внимание, что уровень в $1,5^{\circ}\text{C}$, предусмотренный Парижским соглашением, относится к долгосрочному потеплению, при этом ожидается, что что повышение температуры более чем на $1,5^{\circ}\text{C}$ в отдельные годы будет происходить с возрастающей регулярностью по мере приближения глобальных температур к этому долгосрочному порогу.

Вероятность того, что по крайней мере один год на протяжении следующих пяти лет будет теплее самого теплого года за всю историю наблюдений (2016 г.) и что

Аномалии приземной температуры относительно 1991–2020 гг.

Май–сентябрь 2022–2026 гг.



Ноябрь–март 2022/23–2026/27 гг.

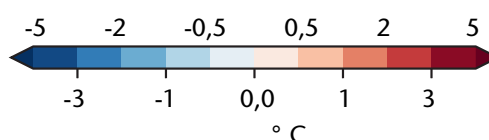
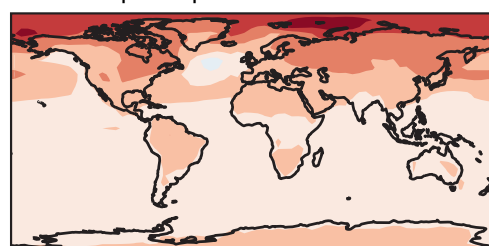


Рисунок 1. Прогнозы на следующие пять продолжительных сезонов аномалий приземной температуры (в $^{\circ}\text{C}$) относительно 1991–2020 годов. Средний по ансамблю прогноз на период с мая по сентябрь 2022–2026 годов (слева) и средний по ансамблю прогноз на период с ноября по март 2022/23–2026/27 годов (справа).



средняя температура за 2022–2026 годы будет выше, чем за последние пять лет, составляет 93 %. Высокая степень достоверности прогнозов средней глобальной температуры опирается на высокую оценку точности ретроспективного прогнозирования.

Прогнозируемые температурные режимы на 2022–2026 годы относительно среднего значения 1991–2020 годов представлены на рисунке 1 для двух продолжительных сезонов: с мая по сентябрь (слева) и с ноября по март (справа). Согласно прогнозам, в течение следующих пяти сезонов с мая по сентябрь средняя температура почти повсеместно будет выше средней температуры 1991–2020 годов, причем в северном полушарии потепление над сушей будет более интенсивным. Согласно прогнозам на следующие пять сезонов с ноября по март теплые аномалии ожидаются почти везде, причем температуры над сушей показывают большие аномалии, чем над океаном. Арктическая (севернее 60° с. ш.) аномалия приземной температуры более чем в три раза превышает среднюю глобальную аномалию. Высокая точность прогнозов в большинстве регионов обеспечивает среднюю или высокую степень достоверности прогнозов на оба сезона, за исключением северной части Тихого океана, некоторых районов Азии, Австралии и Южного океана.

Глобальные осадки

Прогнозируемые режимы осадков на 2022–2026 годы относительно среднего значения 1991–2020 годов представлены на рисунке 2 для продолжительных сезонов с мая по сентябрь (слева) и с ноября по март (справа). На следующие пять сезонов с мая по сентябрь

прогнозируется повышение вероятности аномальной влажности в Сахеле, Северной Европе, на Аляске и на севере Сибири и аномально сухих условий над Амазонкой. Средняя и низкая точность прогнозов в этих регионах обеспечивает низкую или среднюю степень достоверности. Аномальная влажность наблюдается над южной и восточной частью Азии, но точность ретроспективного прогнозирования среднего количества осадков за пятилетние периоды в регионе невелика.

В отношении сезона с ноября по март за годы с 2022/23 по 2026/27 прогнозы осадков говорят в пользу более влажных, чем в среднем, условий в высоких широтах северного полушария. Режим увеличения количества осадков в тропиках и высоких широтах и уменьшения количества осадков в субтропиках соответствует потеплению климата. Умеренная точность прогнозов в отношении больших частей северной Евразии, Гренландии и Канадского Арктического архипелага обеспечивает низкую или среднюю степень достоверности в отношении прогнозируемого повышения вероятности осадков в этих регионах.

Эта работа проводится в сотрудничестве с Всемирной программой исследований климата (ВПИК) в рамках развития климатического обслуживания ВМО. Прогнозы используются национальными метеорологическими и гидрологическими службами и исследовательскими проектами по всему миру и вскоре будут использоваться региональными климатическими центрами ВМО для обеспечения заблаговременных предупреждений с целью смягчения воздействий опасных климатических явлений.

Аномалии осадков относительно 1991–2020 гг.

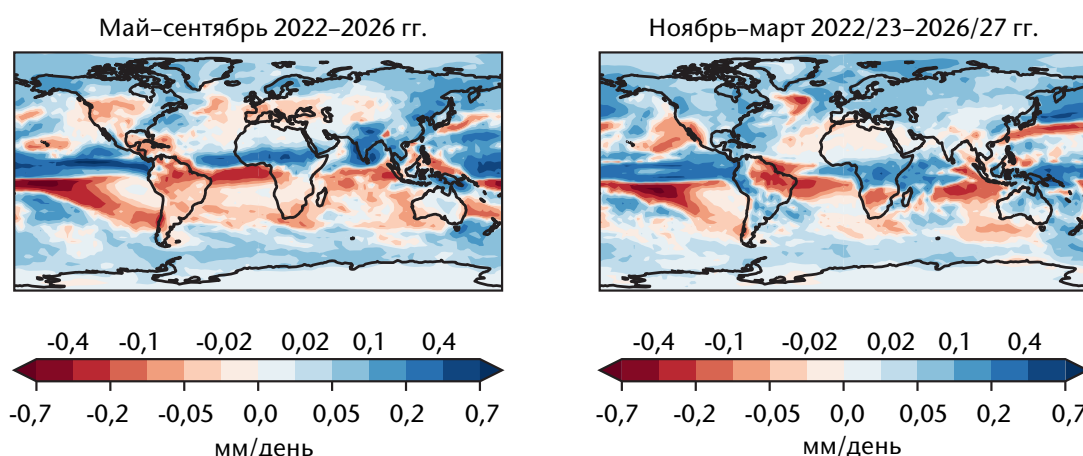


Рисунок 2. Прогнозы на следующие пять продолжительных сезонов аномальных осадков (в мм/сутки) относительно 1991–2020 годов. Средний по ансамблю прогноз на период с мая по сентябрь 2022–2026 годов (слева) и средний по ансамблю прогноз на период с ноября по март 2022/23–2026/27 годов (справа).

Основные тезисы

- Новые национальные обязательства по предотвращению изменения климата на 2030 год (по состоянию на 4 ноября 2021 года) демонстрируют определенный прогресс на пути к снижению выбросов парниковых газов (ПГ), однако их совокупное влияние на глобальные выбросы недостаточно для достижения целей Парижского соглашения. Объем этих новых обязательств должен быть в четыре раза выше, чтобы достигнуть цели ограничения потепления в пределах 2 °C, и в семь раз выше, чтобы выйти на 1,5 °C.
- Согласно оценкам, на протяжении XXI века глобальное потепление будет ограничено 2,8 °C (в диапазоне от 2,3 до 3,3 °C, вероятность 66 %) при условии продолжения текущей политики или 2,5 °C (в диапазоне от 2,1 до 3,0 °C, вероятность 66 %) в случае полного осуществления новых или обновленных (условных и безусловных) обязательств.
- Если оценка будет предусматривать полное осуществление всех обязательств и заявлений по обеспечению чистого нулевого уровня выбросов, принятых на сегодняшний день, в дополнение к обновленным безусловным и условным определяемым на национальном уровне вкладам (ОНУВ), то предполагаемое потепление в XXI веке прогнозируется в пределах 2,1 °C (в диапазоне от 1,9 до 2,3 °C) и 1,9 °C (в диапазоне от 1,9 до 2,2 °C) соответственно с вероятностью 66 %.

Доклад о разрыве в уровнях выбросов содержит ежегодные научно-обоснованные оценки разрыва между предполагаемыми будущими выбросами ПГ и глобальными уровнями выбросов, соответствующими достижению целей Парижского соглашения. В докладе анализируются будущие глобальные выбросы ПГ в случае осуществления странами своих обязательств по предотвращению изменения климата, а также уровни глобальных выбросов, соответствующие наименее затратным путям ограничения глобального потепления до уровня значительно ниже 2 °C и достижения 1,5 °C.

В 2021 году основное внимание уделялось последствиям осуществления новых или обновленных обязательств по предотвращению изменения климата на 2030 год, статусу обязательств и путей обеспечения чистого нулевого уровня выбросов, а также оценке глобального потепления в конце столетия в условиях осуществления текущей политики, обязательств и сценариев.

К 4 ноября 2021 года, т. е. к истечению крайнего срока представления материалов для добавления к Докладу о разрыве в уровнях выбросов 2021 года (ЮНЕП 2021а), 152 страны, на которые приходится 88 % глобальных выбросов ПГ, сообщили о принятии на себя новых или обновленных обязательств по предотвращению изменения климата на 2030 год. Более 60 % новых или обновленных обязательств по предотвращению изменения климата приводят к большему снижению выбросов к 2030 году по сравнению с более ранними обязательствами, что свидетельствует об определенном прогрессе. Кроме того, обновленные обязательства, как правило, более прозрачны и предусматривают целевые показатели по ПГ в большем объеме, чем предыдущие обязательства. С тех пор новые или обновленные обязательства по предотвращению изменения климата представили 18 стран. Об обязательствах двух из них (Бразилии и Республики Корея) было объявлено до 4 ноября 2021 года, и они были включены в оценку. Австралия представила расширенный ОНУВ 16 июня 2022 года, так что его влияние не было учтено в оценке. Остальные новые или обновленные обязательства, представленные в 2022 году, будут иметь ограниченное влияние на прогнозы глобальных выбросов.

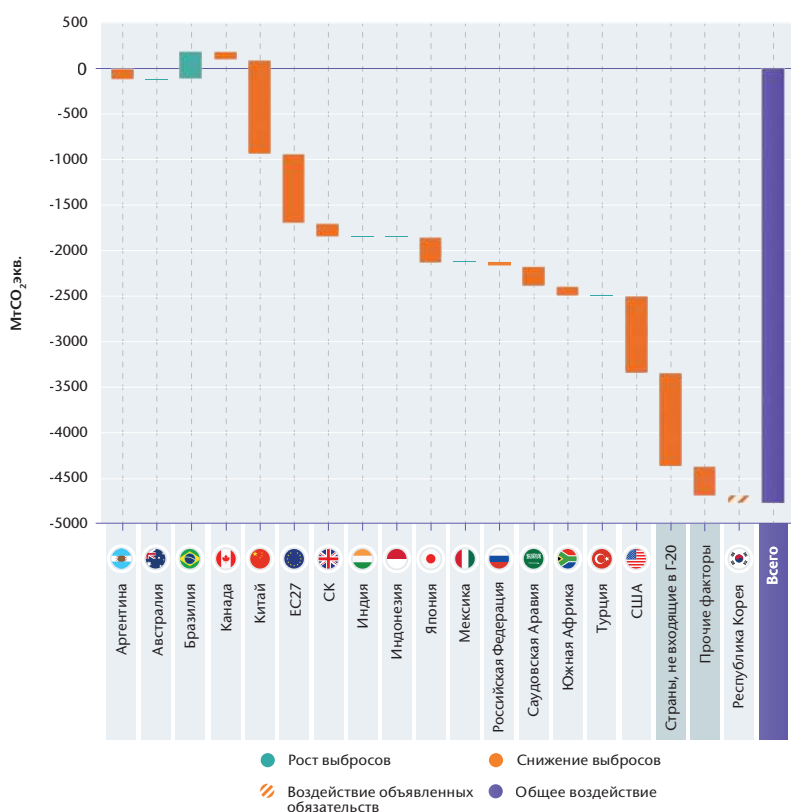


Рисунок 1. Влияние обязательств по предотвращению изменения климата к 2030 году на глобальные выбросы 2030 года по сравнению с более ранними обязательствами. Примечание: рисунок подготовлен с учетом новых или обновленных обязательств по предотвращению изменения климата по состоянию на 4 ноября 2021 года и не включает обновленную цель по ОНУВ Австралии (ЮНЕП, 2021а).

Совокупное воздействие новых или обновленных обязательств по предотвращению изменения климата

ограничено: согласно оценкам, они приведут к общему сокращению глобальных выбросов ПГ всего на 4,8 гигатонн-эквивалента CO₂ (ГтCO₂экв.) в год к 2030 году (рисунок 1). Совокупное сокращение примерно на 0,7 ГтCO₂экв. превышает заявленное в Докладе о разрыве в уровнях выбросов 2021 года (ЮНЕП, 2021b), основанном на объявленных или представленных обязательствах, сообщить о которых можно было до 30 сентября 2021 года.

Разрыв в уровнях выбросов остается значительным

Разрыв в уровнях выбросов в 2030 году (рисунок 2) демонстрирует, что хотя новые и обновленные обязательства по предотвращению изменения климата несколько сокращают разрыв по сравнению с более ранними обязательствами, их крайне недостаточно для преодоления разрыва. В целом, результаты анализа свидетельствуют о том, что объем новых обязательств должен быть в четыре раза выше, чтобы достичь 2 °C, и в семь раз выше, чтобы достичь 1,5 °C.

Согласно оценкам, полное осуществление безусловных обязательств приведет к тому, что разрыв на пути

к достижению цели в 1,5 °C составит 27 ГтCO₂экв. (в диапазоне от 24 до 29 ГтCO₂экв.). Это примерно на 5 ГтCO₂экв. меньше оценки разрыва, приведенной в докладе за 2020 год (ЮНЕП, 2020 г.), благодаря обновленным ОНУВ и объявленным обязательствам по предотвращению изменения климата. Если условные ОНУВ также будут осуществлены полностью, то разрыв в уровнях выбросов сократится еще примерно на 3,5 ГтCO₂экв.

Разрыв в уровнях выбросов между целевыми 2 °C и безусловными ОНУВ и объявленными обязательствами по предотвращению изменения климата составляет около 12,5 ГтCO₂экв. (в диапазоне от 9 до 15 ГтCO₂экв.), что примерно на 2,5 ГтCO₂экв. меньше, чем в прошлом году. Хотя ОНУВ и объявленные обязательства по предотвращению изменения климата сокращают глобальные выбросы примерно на 4,5 ГтCO₂экв. по сравнению с более ранними ОНУВ, оценка обновленного сценария достижения целевых 2 °C к 2030 году оказывается примерно на 2 ГтCO₂экв. ниже, чем в предыдущих докладах о разрыве в уровнях выбросов, что свидетельствует о сокращении разрыва только примерно на 2,5 ГтCO₂экв.

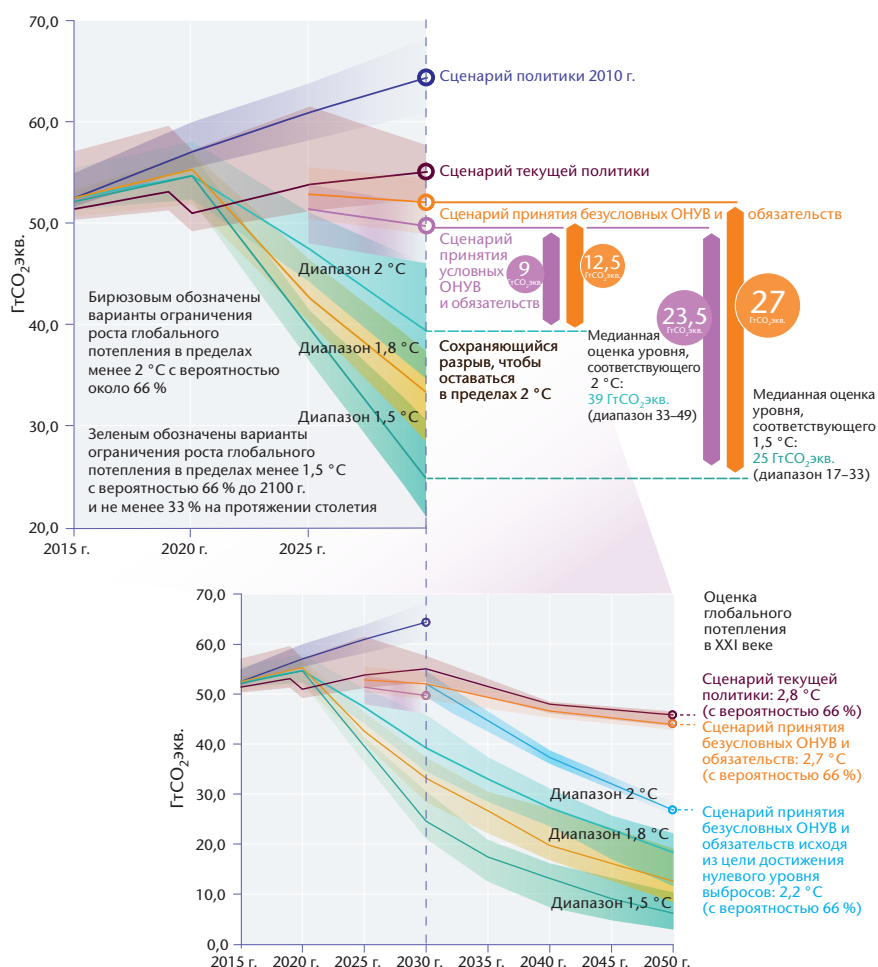


Рисунок 2. Глобальные выбросы парниковых газов при различных сценариях и разрыв в уровнях выбросов в 2030 году (медианная оценка и диапазон от десятого до девяностого процентиля) (ЮНЕП, 2021a; 2021b).

Согласно прогнозам, продолжение текущей политики приведет к тому, что в 2030 году глобальные выбросы ПГ составят около 55 ГтCO₂экв. (в диапазоне от 52 до 58 ГтCO₂экв.). Это на 4 ГтCO₂экв. меньше, чем медианная оценка, приведенная в Докладе о разрыве в уровнях выбросов 2020 года (ЮНЕП, 2020 г.), и на 9 ГтCO₂экв. меньше, чем в сценарии политики 2010 года, из которого видно, как изменились бы уровни глобальных выбросов, если бы с 2010 года не проводилось новой климатической политики. Примерно половина снижения в период между докладами о разрыве в уровнях выбросов за 2020 и 2021 годы отражает прогресс в осуществлении в странах климатической политики, в то время как другая половина объясняется общим замедлением экономики в связи с пандемией COVID-19.

В целом, странам не удается выполнять их новые или обновленные обязательства при той политике, которая осуществляется в настоящее время. Этот разрыв между поставленными задачами и степенью их осуществления составит в 2030 году 3,5 ГтCO₂экв. для безусловных ОНУВ и 7 ГтCO₂экв. для условных ОНУВ. Примечательно, что члены Группы двадцати в целом не выдерживают темпов выполнения ни первоначальных,

Разрыв в уровнях выбросов

Программа ООН по окружающей среде

ни новых обязательств на 2030 год. Только 10 членов Группы двадцати (Аргентина, ЕС27, Индия, Китай, Российская Федерация, Саудовская Аравия, Соединенное Королевство, Турция Южная Африка и Япония) находятся на пути к достижению своих более ранних ОНУВ. Согласно прогнозам, трое из них (Индия, Российская Федерация и Турция) в условиях осуществления текущей политики сократят свои выбросы до уровней, не менее чем на 15 % более низких, чем предусмотрено целями их безусловных ОНУВ, что указывает на значительные возможности этих стран в плане увеличения объема ОНУВ.

Объявление о долгосрочных обязательствах по обеспечению чистого нулевого уровня выбросов – многообещающий шаг

В глобальном масштабе 74 стороны взяли на себя обязательства по обеспечению чистого нулевого уровня выбросов, закрепленного в национальном

законодательстве, программном документе или публичном заявлении правительства или государственного должностного лица высокого уровня. Эти обязательства охватывают 76 % текущих мировых внутренних выбросов ПГ, 83 % валового внутреннего продукта и 64 % населения мира.

В количественном отношении большинство этих целей относится к 2050 году, что соответствует временным рамкам середины столетия, указанным Межправительственной группой экспертов по изменению климата (МГЭИК) как необходимые в глобальном масштабе для того, чтобы ограничить потепление уровнем 1,5 °C. Существующие цели демонстрируют различия в масштабах и большую неопределенность в отношении включения секторов и ПГ. Кроме того, большинство не имеет ясного понимания или не определилось с включением выбросов при международных воздушных и морских перевозках и использованием международных квот.

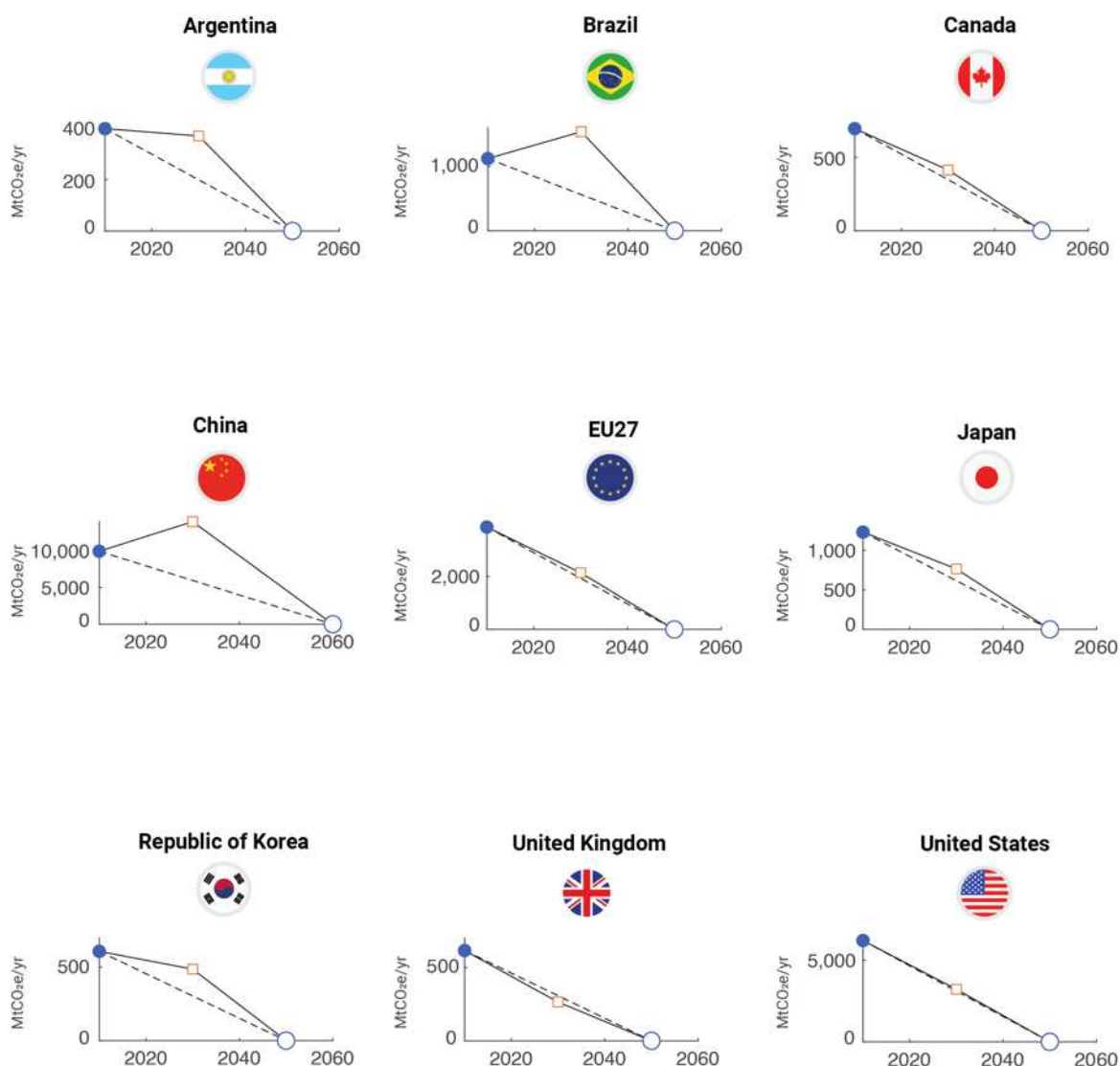


Рисунок 3. Обзор вариантов достижения нулевого уровня выбросов, подразумеваемых климатическими обязательствами отдельных членов Группы двадцати (ЮНЕП, 2021b).

Лишь немногие цели Группы двадцати приближают возможность обеспечения чистого нулевого уровня выбросов

В качестве свидетельства согласованности между действиями, которые необходимо предпринять в обозримом будущем, и целями достижения чистого нулевого уровня выбросов на рисунке 3 показаны пути сокращения выбросов для подгруппы членов Группы двадцати, соответствующие их текущим ОНУВ и целям достижения чистого нулевого уровня выбросов. Из девяти членов Группы двадцати, для которых можно было бы оценить путь сокращения выбросов исходя из стоящей перед ними цели достижения нулевого уровня выбросов и их ОНУВ, ни у одного нет целей ОНУВ, которые бы способствовали ускоренному достижению ими нулевого уровня выбросов. Пятеро из этих девяти членов, на долю которых приходится около одной пятой объема мировых внутренних выбросов ПГ, имеют цели ОНУВ, которые выводят внутренние выбросы стран на линейный путь достижения нулевого уровня выбросов. В остальных четырех случаях ОНУВ обеспечивают к 2030 году уровни выбросов примерно на 25–95 % выше, чем предполагал бы линейный путь достижения целевых показателей нулевого уровня выбросов. С учетом того, что страны находятся в очень разных обстоятельствах, эти страны срочно нуждаются в усиленных и более амбициозных климатических планах на ближайшую перспективу для сохранения возможности достижения целевых показателей нулевого уровня выбросов.

Последствия глобального потепления: мы далеки от достижения цели Парижского соглашения

Согласно прогнозам, в течение XXI века продолжение текущей политики ограничит глобальное потепление до

2,8 °C с вероятностью 66 % в диапазоне от 2,3 до 3,3 °C, в том числе из-за неопределенностей в отношении дальнейшей ситуации с выбросами в период после 2030 года.

Согласно оценкам, дальнейшее осуществление новых или обновленных безусловных ОНУВ и других обязательств к концу столетия ограничит потепление до 2,7 °C (в диапазоне от 2,2 до 3,1 °C) с вероятностью 66 %. Если условные обязательства также будут выполнены в полном объеме, эти оценки снизятся до 2,5 °C (в диапазоне от 2,1 до 3,0 °C). Как отмечалось ранее, в настоящее время разрыв между поставленными задачами и степенью их осуществления в 2030 году составляет для безусловных ОНУВ 3,5 ГтCO₂экв. и для условных ОНУВ – 7 ГтCO₂экв.

Проекции потепления приближаются к цели Парижского соглашения только при условии полного осуществления всех обязательств и заявлений по обеспечению чистого нулевого уровня выбросов, принятых на сегодняшний день, в дополнение к обновленным безусловным и условным ОНУВ. Согласно этому сценарию, потепление в XXI веке прогнозируется в пределах 2,1 °C (в диапазоне от 1,9 до 2,3 °C) и 1,9 °C (в диапазоне от 1,9 до 2,2 °C) с вероятностью 66 %.

При этом имеется несколько оговорок. Учитывая отсутствие прозрачности в обязательствах по обеспечению нулевого уровня выбросов, отсутствие системы отчетности и проверки, а также тот факт, что лишь немногие обязательства на 2030 год выводят страны на ясный путь достижения нулевого уровня выбросов, остается неясным, будут ли выполнимы обязательства по обеспечению нулевого уровня выбросов.

Основные заявления МГЭИК

- Объем прогнозируемых глобальных выбросов ПГ в результате осуществления ОНУВ, объявленных до двадцать шестой сессии Конференции Сторон (КС 26) Рамочной конвенции ООН об изменении климата (РКИКООН), сделает вероятным потепление свыше 1,5 °C, а также затруднит ограничение потепления в пределах менее 2 °C после 2030 года (Рабочая группа III МГЭИК, 2022 г.).
- Согласно прогнозам, пик глобальных выбросов ПГ придется на период с 2020 до наступления 2025 года в рамках глобальных смоделированных вариантов, которые ограничивают потепление 1,5 °C (> 50 %) без всякого превышения или с ограниченным превышением, а также в рамках вариантов, которые ограничивают потепление 2 °C (> 67 %) и предполагают принятие срочных мер. В обоих видах смоделированных вариантов оперативное и существенное сокращение выбросов ПГ происходит на протяжении всего периода 2030, 2040 и 2050 годов (высокая степень достоверности) (Рабочая группа III МГЭИК, 2022 г.).
- Без усиления мер политики, помимо осуществленных к концу 2020 года, согласно прогнозам, выбросы ПГ будут расти и после 2025 года, что приведет к среднему глобальному потеплению на 3,2 °C [2,2–3,5 °C] к 2100 году (средняя степень достоверности) (Рабочая группа III МГЭИК, 2022 г.).

Основные тезисы

- К основным переломным моментам относятся изменения в Атлантической меридиональной опрокидывающей циркуляции, таяние полярных ледяных щитов, миграция крупномасштабных погодно-климатических моделей, высыхание тропических лесов Амазонки или нарушение таких основных погодных систем, как муссоны.
- Совместное воздействие более высоких температур и влажности во время жарких периодов в некоторых регионах может достигать опасных уровней в ближайшие несколько десятилетий, что может привести к переломным моментам, или порогам, за которыми труд человека на открытом воздухе будет физиологически невозможен без технической помощи.
- Дальнейшее исследование этого и других переломных моментов будет иметь первостепенное значение для оказания помощи обществу в понимании издержек, выгод и потенциальных ограничений, присущих мерам по смягчению последствий изменения климата и адаптации к ним в будущем.

Выражение «переломные моменты» стало широко использоваться как сокращенная форма для обозначения многих аспектов нелинейных изменений в сложной системе. То, что мы сейчас называем «переломными моментами в климатической системе», впервые было рассмотрено в Третьем оценочном докладе Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) как «сюрпризы» (Stocker et al., 2001) и включено в раздел «Причины для беспокойства» как «крупномасштабные единичные явления» или «разрывы в климатической системе» (МГЭИК, 2001 г.). Эти переломные моменты имеют как глобальные, так и региональные последствия и включают в себя изменения в Атлантической меридиональной опрокидывающей циркуляции (АМОЦ), таяние полярных ледяных щитов, миграцию крупномасштабных погодно-климатических моделей, а также отмирание тропических лесов Амазонки.

Таким образом, дальнейшее изучение, идентификация сигналов заблаговременных предупреждений о потенциальном переломном моменте в АМОЦ и наблюдение за ними имеют решающее значение (Boers, 2021).

Таяние полярных ледяных щитов в Гренландии и Антарктике уже много лет считается переломным моментом (рисунок 1). Их опрокидывание стало бы особенно опасным, поскольку имело бы глобальные последствия в силу значительного дополнительного повышения уровня моря на временной шкале от столетий до тысячелетий (Clark et al., 2016). В Пятом оценочном докладе МГЭИК сообщается, что преодоление критического порога глобального потепления в диапазоне от 1 до 4 °C приведет к значительному и необратимому таянию ледяного щита Гренландии (Stocker et al., 2013). Однако этот диапазон был пересмотрен до уровня или чуть выше 1,5–2 °C, то есть пределов глобального

Переломные моменты с глобальными последствиями

АМОЦ является важным фактором, определяющим распределение тепла, соли и воды в климатической системе как на региональном, так и на глобальном уровнях. На основании косвенных палеоклиматических данных было высказано предположение, что в современном климате АМОЦ может быть выражена слабее, чем когда-либо за последнее тысячелетие (Caesar et al., 2021). Кроме того, последние модели последовательно указывают на то, что АМОЦ будет ослабевать по мере дальнейшего увеличения концентрации CO₂ (Weijer et al., 2020). Хотя прямые измерения с 2004 года не показывают существенных тенденций (Worthington et al., 2021), модели (Jackson et al., 2022) убедительно свидетельствуют о том, что постоянное долгосрочное ослабление АМОЦ может повысить ее уязвимость к другим изменениям, таким как поступление пресной воды в результате таяния ледяных



Рисунок 1. Прохождение переломных моментов, связанных с нестабильностью ледяного щита в Антарктике или с быстрым расходом льда в ледяных потоках Гренландии, может иметь серьезные глобальные последствия. (Конечная точка ледника Якобсхавн, Гренландия, фото Т.Ф. Стокера).

потепления, установленных Парижским соглашением (Pattyn et al., 2018). При таком уровне потепления Западный антарктический ледяной щит также будет подвержен растущему риску необратимой потери льда (Garbe et al., 2020). Хотя лежащие в основе физические механизмы хорошо изучены и теоретически понятны, определить критические пороги для отдельных ледниковых бассейнов в реальных условиях и реальной топографии бывает очень сложно, и сохраняются значительные неопределенности (Pattyn and Morlighem, 2020).

Переломные моменты регионального уровня

В последнее время в центре внимания оказались переломные моменты регионального характера, в том числе миграция крупномасштабных погодноклиматических моделей, изменение экстремальных и комплексных явлений, высыхание тропических лесов Амазонки. Выражается обеспокоенность по поводу того, что их воздействия могут иметь серьезные последствия для местных сообществ (рисунок 2) и вызвать последующие каскадные воздействия, включая такую обратную связь на мировом уровне, как потенциальное влияние региональных засух на глобальный углеродный цикл (Humphrey et al., 2018). В целом, хотя эти переломные моменты могут возникнуть сначала в нескольких местах на региональном уровне, со временем они способны приобрести глобальный характер с совокупными и усугубляющими воздействиями (например, Kornhuber et al., 2020).

Постепенная миграция крупномасштабных погодноклиматических моделей может быть зафиксирована на региональном уровне как переход к новому режиму. Например, палеоклиматические данные указывают на

этапы, когда муссонный пояс смещался или менял свою интенсивность в ответ на крупномасштабные изменения климата полушария на протяжении последних 30 тысяч лет (Brovkin et al., 2021). Недавно проведенный анализ показывает, что будущее потепление может привести к усилению индийского муссона и его изменчивости, выражающейся, возможно, в более коротких и сильных дождях (Katzenberger et al., 2021).

В регионах, расположенных в средних широтах, изменения влажности почвы могут привести к пороговым воздействиям в режимах испарения и соответствующему нелинейному усилению экстремально жарких температур (Seneviratne et al., 2010; Miralles et al., 2014; Vogel et al., 2018). Кроме того, частота пороговых экстремальных климатических явлений в целом нелинейно увеличивается с ростом глобального потепления, причем наибольшие относительные изменения наблюдаются в отношении наиболее экстремальных явлений (Kharin et al., 2018). Изменения средних региональных климатических условий и интенсивность экстремальных климатических явлений, как правило, подвержены линейной изменчивости в зависимости от глобального потепления (Wartenburger et al., 2017). Однако они также могут привести к пересечению пороговых значений региональных экосистем (Guiot и Cramer 2016; Warren et al., 2018; Ratnayake et al., 2019; Breshears et al., 2020) и к сдвигам климатического режима в сочетании с изменениями в растительности и реакцией общества. Примером может служить период «пыльного котла» в Соединенных Штатах (например, Cowan et al., 2020).

Морская среда также подвержена региональным переломам. Например, морские волны тепла могут возникать чаще и быть более интенсивными (Frölicher et al., 2018). Закисление океана, вызванное поглощением



Рисунок 2. Пороговые и переломные моменты могут все чаще отмечаться в региональных погодных моделях и экстремальных значениях, имеющих последствия для местных общин и экосистемных услуг (Засуха и развивающийся шторм в дельте реки Эбро, Испания, 2020 год. Фото ВМО/Агусты Дескаррега Сола).

растущих концентраций в атмосфере двуокси углерода океаном в качестве поглотителя углерода, может перейти пороговые значения и повлечь за собой обесцвечивание кораллов и другие последствия для морской экосистемы (Hoegh-Guldberg et al., 2019). Переломные моменты регионального уровня, касающиеся морских систем и возникающие в результате потепления, закисления океана и деоксигенации, могут в своей совокупности привести к глобальным последствиям (Heinze et al., 2021).

Тропические леса Амазонки, уникальная экосистема глобального значения и ценности, испытывают большую нагрузку в связи с обезлесением и антропогенным изменением климата. Хотя проекции их будущей эволюции весьма неопределенны, исследования указывают на вероятность дальнейшего высыхания (Baker et al., 2021). Более продолжительные сухие сезоны и экстремальные засухи, а также самоусиливающаяся обратная связь могут привести к дальнейшему сокращению лесных массивов (Zemp et al., 2017) с потенциальным приближением к переломному моменту (Boulton et al., 2022), когда леса потеряют устойчивость. Утрата тропических лесов Амазонки будет иметь потенциально разрушительные последствия для регионального климата, биоразнообразия и социальных систем, а также потенциально окажет более широкое воздействие вследствие изменений гидрологического и углеродного циклов.

Последствия наступления переломных моментов для здоровья и благополучия человека

В связи с большим числом потенциальных угроз все больше внимания уделяется вопросам воздействия изменения климата на здоровье человека (Romanello et al., 2021). Совместное воздействие более высоких температур и влажности во время жарких периодов в некоторых регионах может достигать опасных уровней в ближайшие несколько десятилетий (Pal and Eltahir, 2016), что может привести к переломным моментам, или порогам, за которыми труд человека на открытом воздухе будет физиологически невозможен без технической

помощи. Уже сегодня значительная часть смертности от жары может быть связана с антропогенным потеплением (Vicedo-Cabrera et al., 2021), и эта тенденция возрастает по степени и масштабам. Следовательно, эти явления могут привести к переломным моментам и пороговому поведению в системе Земля, в том числе в отношении биосферы, углеродного цикла и общества, поскольку ожидается, что социально-экономические последствия в промежуточных временных масштабах будут сильными и необратимыми.

В своей совокупности переломные моменты в климатической системе являются научной темой, представляющей большой общественный интерес. ВПИК, например, рассматривает этот вопрос в рамках одного из своих мероприятий «Маяки» через международную платформу для объединения теоретико-математических подходов, мониторинга наблюдений и всеобъемлющих усилий по моделированию климата. В основе переломных моментов лежат нелинейные процессы в климатической системе, поэтому согласованные международные усилия по совмещенному моделированию системы Земля с высоким разрешением с разработкой и использованием инфраструктуры для экзафлопсных вычислений (Slingo et al., 2022; Hewitt et al., 2022) обеспечат улучшенное представление климатической обратной связи и динамических откликов, отвечающих за переломные элементы.

Наконец, официальный научный консенсус в отношении переломных моментов и необратимого изменения климата, который играет центральное значение в оценке климатического риска, но сопряжен с серьезной неопределенностью, имеет политически значимый характер. В последнем докладе МГЭИК дана оценка переломных моментов и очерчены границы современного уровня знаний. Перекрестный специальный доклад рабочих групп МГЭИК *Climate Tipping Points and Consequences for Habitability and Resources* (Переломные моменты в изменении климата и последствия для обитаемости и ресурсов) помог бы укрепить консенсус в отношении данной темы и дать толчок столь необходимому прогрессу в научном понимании для более всестороннего обоснования стратегий адаптации и смягчения последствий.

Основные заявления МГЭИК

- Многие изменения, вызванные прошлыми и будущими выбросами парниковых газов, необратимы в течение столетий и тысячелетий, особенно изменения в океане, ледяных щитах и глобальном уровне моря (Рабочая группа I МГЭИК, 2021 г.).
- Вероятность маловероятных, оказывающих значительное воздействие последствий возрастает при более высоких уровнях глобального потепления (высокая степень достоверности). Нельзя исключать резких реакций и переломных моментов климатической системы, таких как значительное усиление таяния антарктического ледяного щита и отмирание лесов (высокая степень достоверности) (Рабочая группа I МГЭИК, 2021 г.).
- Рост экстремальных погодных и климатических явлений привел к некоторым необратимым последствиям, поскольку природные и антропогенные системы вытесняются за рамки их способности к адаптации (высокая степень достоверности) (Рабочая группа II МГЭИК, 2022 г.).

Основные тезисы

- Города, в которых проживает 55 % населения планеты, или 4,2 миллиарда человек, отвечают за 70 % выбросов, вызванных деятельностью человека, а также крайне уязвимы к воздействиям изменения климата.
- Изменение климата в городах приведет к увеличению количества сильных осадков, ускоренному подъему уровня моря, усилению нерегулярных и систематических наводнений в прибрежных зонах, засухе, повышению температур выше среднегодовых показателей и экстремальным явлениям аномальной жары, что приведет к обострению социально-экономических проблем и неравенства.
- Города играют важную роль в решении проблемы изменения климата путем осуществления инклюзивных, срочных и более масштабных мер по смягчению последствий и повышению адаптивной способности миллиардов городских жителей таким образом, чтобы это способствовало достижению целей в области устойчивого развития (ЦУР) и принесло пользу сельским общинам.

Существует реальная, но быстро ускользающая возможность предпринять значимые глобальные действия по адаптации к изменению климата, смягчению его последствий и повышению устойчивости, чтобы обеспечить пригодное для жизни будущее. Города и поселения будут играть очень важную роль в том, как будет использовано это окно возможностей. Города стали раньше всех реагировать на изменение климата, поскольку на них приходится до 70 % выбросов, вызванных деятельностью человека, а городские кварталы и объекты критически важной инфраструктуры зачастую крайне уязвимы. В настоящее время в них проживает 55 % мирового населения, около 4,2 миллиарда человек, и, по прогнозам, к 2050 году число городских жителей вырастет до 68 % (Организация Объединенных Наций, 2019 г.). Поэтому сейчас самое время интегрировать мероприятия по адаптации и смягчению последствий, в сочетании с устойчивым развитием, в динамично меняющуюся городскую среду.

Климатические проблемы в городах мира

Согласно сценариям моделирования глобального климата, изменение климата в городах будет проявляться в виде направленных сдвигов в климатических оболочках и увеличения частоты и интенсивности экстремальных явлений. Эти изменения климата включают повышение среднегодовой температуры, более продолжительные волны тепла и увеличение количества сильных осадков, а также ускоренный подъем уровня моря и усиление наводнений в прибрежных зонах. Увеличение частоты экстремальных дождевых осадков и сильных ливней уже вызывает более частые наводнения во внутренних прибрежных городах.

Сегодня города сталкиваются с более частыми и более интенсивными волнами тепла по сравнению с условиями 1950-х годов (Rosenzweig et al., 2021). Например, с марта по май 2022 года в Дели, Индия, наблюдалось пять волн

Риски для здоровья городского населения: экстремально жаркие температуры и явные уязвимости

В Шестом оценочном докладе Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) подчеркивается, что в некоторых регионах мира уже превышен международный стандарт безопасных условий труда в самые жаркие месяцы года, поскольку способность человеческого организма к терморегуляции может регулярно подвергаться чрезмерным нагрузкам (МГЭИК, 2022 г.). Чрезмерная жара на рабочих местах представляет серьезную опасность для здоровья, поскольку ухудшает когнитивные функции и физическую работоспособность и увеличивает число больничных листов, что приводит к снижению производительности труда (Jay et al., 2021).

Неравенство с точки зрения доступа к медицинскому обслуживанию в результате воздействия тепла и существующие уязвимости, включая уже имеющиеся заболевания (например, сердечно-сосудистые патологии), социально-экономические аспекты (например, ветхое жилье), демографические факторы (например, возраст и пол), географические аспекты (например, зоны дефицита воды) и социально-политические факторы (например, политическую нестабильность), особенно ярко проявляются в городских условиях. Поскольку характеристики антропогенной среды способствуют колебанию температуры внутри города, было установлено, что интенсивность городского острова тепла хуже сказывалась на цветном населении и малоимущих почти во всех крупных городах США, что подтверждает предыдущие доказательства того, что меньшинства и население с низким уровнем дохода в наибольшей степени страдают от опасностей для здоровья, связанных с усилением жары в городах (Hsu, 2021).

Будущие сценарии МГЭИК с очень высокой степенью достоверности указывают на значительные изменения в состоянии здоровья людей, которые произойдут в результате повышения риска травм, болезней и смерти в связи с ростом интенсивности тепловых волн и пожаров (МГЭИК, 2022 г.). Однако повышение температуры и более частые и интенсивные волны тепла не происходят по отдельности, а должны рассматриваться как часть сложной системы, включающей опасные климатические явления, имеющие усугубляющий и каскадный эффект, прямое и косвенное воздействие на здоровье, а также характеристики и уязвимости, присущие городам. Для того чтобы разобраться в этой системе и найти устойчивые городские решения, остро необходимо интегрировать междисциплинарные и межсекторальные подходы, благодаря которым вопросы здоровья будут в центре внимания городских стратегий и мер.

тепла, сопровождавшихся рекордными температурами до 49,2 °C (120,5 °F). Недавнее исследование по установлению причин пришло к выводу, что изменение климата в 30 раз повысило вероятность наступления подобных продолжительных периодов жаркой погоды, и при аналогичном явлении в доиндустриальном климате температура была бы примерно на 1 °C ниже. Половина жителей Дели проживает в неформальных поселениях с низким уровнем дохода, что повышает уязвимость к явлениям экстремальной жары (Zachariah и др., 2022).

В глобальном масштабе к 2050 м годам более 1,6 миллиарда человек, проживающих в более чем 970 городах, будут регулярно подвергаться воздействиям трехмесячных средних температур, достигающих не менее 35 °C (95 °F) (Rosenzweig et al., 2021). На рисунке 1 показан риск экстремальной жары для нынешнего и прогнозируемого будущего городского населения в городах мира. Одновременное наступление волн тепла и засухи более вероятно в глобальном масштабе как один из примеров многих возможных комбинаций многокомпонентного риска.

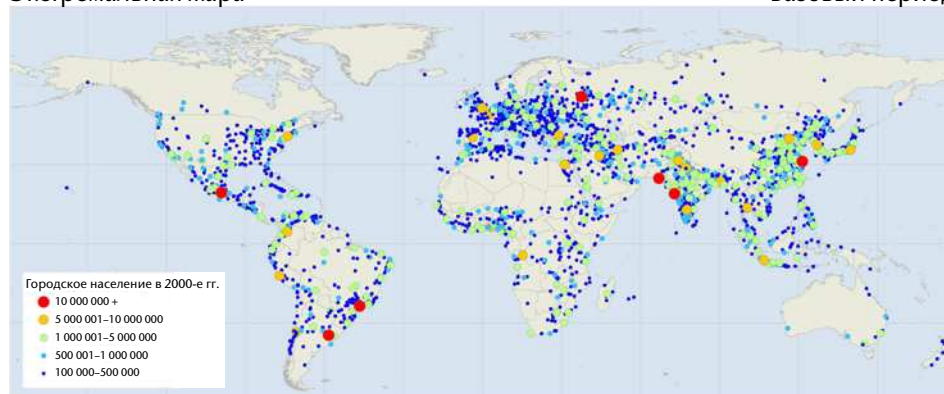
Такие низинные прибрежные города и поселения, как Бангкок (Таиланд), Хьюстон (США) и Венеция (Италия), с большой вероятностью столкнутся с более частыми и

более масштабными наводнениями в прибрежных зонах из-за повышения уровня моря, штормовых нагонов и проседания грунта. Кроме того, городские районы на малых островах в настоящее время не имеют возможности должным образом подготовиться к стихийным бедствиям и реагировать на них. В сентябре 2019 года Нассау и Фрипорт, два крупных города на Багамских островах, подверглись разрушительному воздействию урагана 5 й категории Дориан. Ураган нанес ущерб в размере 3,4 миллиарда долларов США и унес жизни 74 человек (Zegarra et al., 2020). Согласно прогнозам, в ближайшие десятилетия число и тяжесть связанных с климатом бедствий в городах будут расти (Gencer et al., 2018).

Изменение климата не является изолированной проблемой для городов. Оно взаимосвязано с существующими проблемами критически важной инфраструктуры, финансовыми ограничениями и системным неравенством. Продолжая решать климатические проблемы по мере их возникновения, лица, принимающие решения, ставят себя в положение, когда им приходится скорее реагировать, чем принимать упреждающие меры. Существует острая необходимость в удовлетворении насущных потребностей в области экологической, социальной, экономической и климатической справедливости в городах и поселениях.

Экстремальная жара

Базовый период



Экстремальная жара

2050-е гг.

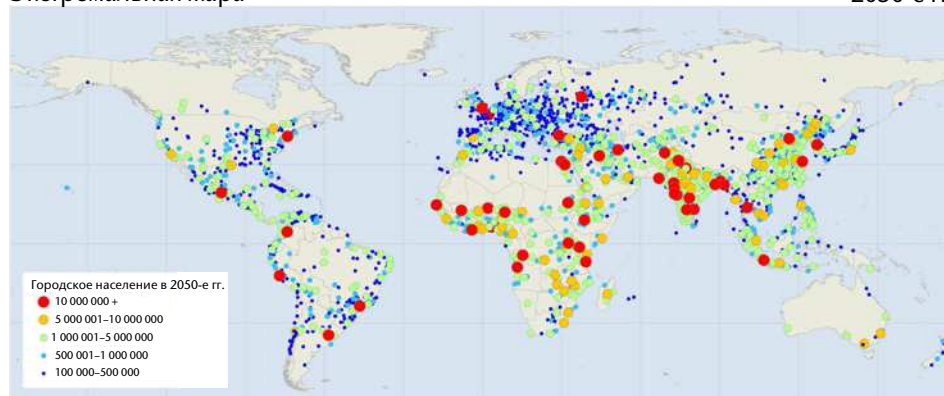


Рисунок 1. Города с населением 100 000 человек и более в 2000 х годах (вверху) и предполагаемая численность городского населения в 2050-х годах (внизу). Источник данных в отношении базовой численности населения в 2000 х годах согласно набору данных «Natural Earth». Источник данных о численности населения в 2050 х годах, рассчитанной исходя из роста численности населения согласно проекту сбора данных о сельском и городском населении относительно данных о базовой численности населения в 2000 х годах согласно набору данных «Natural Earth» (Консорциум Международной сети для передачи информации в области наук о Земле (СИЕСИН), Колумбийский университет (Rosenzweig et al., 2021).



Рисунок 2. Нью-Йоркская система показателей и мониторинга устойчивости к изменению климата (НИКЛИМ) будет отслеживать четыре типа показателей, полученных от учреждений по сбору данных, центров обработки данных, органов городского управления и др., а также меры политики, проекты и программы. Предлагаемая система НИКЛИМ создается совместно учеными, практиками и местными сообществами для определения наиболее полезных показателей для планирования и подготовки к изменению климата в Нью-Йорке (Rosenzweig et al., 2019).

Глобальная ответственность городов и будущие возможности

Города — это площадки, на которых можно быстро проводить эксперименты с принятием решений на инклюзивной основе и многоуровневым управлением. Это создает благоприятные условия для эффективного развития, не зависящего от изменения климата, которое касается как природы, так и людей, включая зеленые насаждения и их преимущества для биоразнообразия и здоровья человека. Городские районы находятся на

стыке принципов подхода «снизу вверх», например, с общественно-ориентированными группами, местным и коренным населением или молодежными движениями, и «сверху вниз» — движущих факторов и мер, связанных с изменением климата. Включение динамических подходов в области климата в городское проектирование необходимо для того, чтобы города могли расширить масштабы планирования мер по борьбе с изменением климата. Устойчивость к изменению климата должна занимать центральное место в каждом финансовом решении, которое принимают города и городские агломерации.

Города и регионы, принявшие обязательства по обеспечению чистого нулевого уровня выбросов

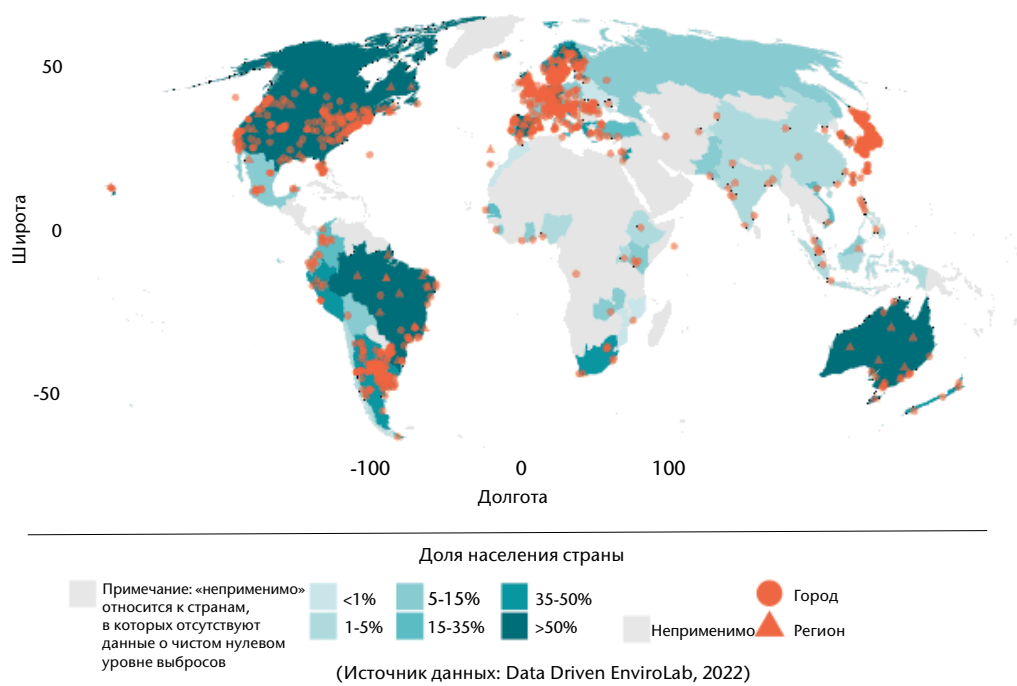


Рисунок 3. Более 14 % городов и регионов взяли на себя обязательства по обеспечению чистого нулевого уровня выбросов (Data-Driven EnviroLab, 2022).

Эффективные стратегии адаптации к изменению климата и осуществления действий по борьбе с изменением климата в городах требуют постоянного, последовательного, надежного пространственного и временного мониторинга ключевых региональных климатических показателей с высоким разрешением. Долговременные городские данные, прошедшие контроль качества, имеют основополагающее значение для понимания проблем в области окружающей среды (Solecki et al., 2022). Совместное производство знаний и исследований при работе с заинтересованными сторонами имеет решающее значение для создания пригодных для использования климатических данных на уровне городов. На рисунке 2 представлен пример Нью-Йорка, где основное внимание уделяется отслеживанию показателей устойчивости и мониторингу во времени.

Из пандемии коронавируса можно извлечь множество уроков, в том числе в части адаптации стандартов в области профилактики заболеваний и унифицированных коммуникаций по вопросам здравоохранения. С отступлением пандемии факторы изменения климата должны стать частью процесса восстановления. Экологически справедливая политика и практика в городах приведут к повышению уровня жизни как с физической, так и с психологической точек зрения, а также к общему снижению уязвимости к изменению климата и будущим пандемиям. Для обеспечения дальнейшего прогресса необходимо уделять больше внимания доступу к зеленым насаждениям и природоохранным решениям.

Города при поддержке таких сетей, как Сеть научных исследований по изменению климата в городах (СНИИКГ), Глобальный пакт мэров (ГПМ), Инициативная группа городов по климатическим вопросам (C40), Международный совет по местным экологическим

инициативам (МСМЭИ), Ассоциация породненных городов и местных органов управления (АПГМО) и другие, могут эффективно развивать управленческий и руководящий потенциал, необходимый для осуществления действий по борьбе с изменением климата в соответствии с требованиями Парижского климатического соглашения и ЦУР 11: Устойчивые города и населенные пункты. В настоящее время 1676 городов и 146 регионов, в которых проживает более 14 % населения планеты, взяли на себя обязательства по обеспечению чистого нулевого уровня выбросов (Data-Driven EnviroLab, 2022, рисунок 3). Это открывает большие перспективы; однако данные 14 % должны перейти от обещания поддержки к масштабным политическим действиям и радикальным преобразованиям.

Планирование с учетом климатических факторов и инвестиции в социальные и экологические системы, зеленую и серую инфраструктуру, медицинское обслуживание и технологические достижения обладают значительными возможностями для повышения адаптивной способности городов. Малообеспеченные и маргинализированные группы, а также близлежащие городские агломерации должны быть включены в процессы принятия решений по климату.

Действовать нужно безотлагательно. Научное понимание изменения климата достигло наивысшей степени достоверности за всю историю наблюдений, а осведомленность о рисках для городов, включая опасные явления, факторы уязвимости и подверженности, возросла. Города должны сыграть важную роль за счет принятия инклюзивных, срочных и масштабных мер по борьбе с изменением климата, необходимых для повышения устойчивости, ограничения градуусов потепления и поддержания жизни на планете.

Основные заявления МГЭИК

- Города усиливают антропогенное потепление на местном уровне, и дальнейшая урбанизация, наряду с более частыми экстремально высокими температурами, приведет к усилению пагубного воздействия волн жары (весьма высокая степень достоверности). Урбанизация также увеличивает средние и сильные осадки над городами и/или с их подветренной стороны (средняя степень достоверности) и итоговую интенсивность стока (высокая степень достоверности). В прибрежных городах сочетание более частых экстремальных явлений, связанных с уровнем моря (из-за повышения уровня моря и штормового нагона), и экстремальных явлений, связанных с дождями/речными потоками, сделает наводнения более вероятными (высокая степень достоверности) (Рабочая группа I МГЭИК, 2021 г.).
- Взаимодействие между меняющейся городской структурой, подверженностью и уязвимостью может привести к возникновению рисков и потерь для городов и поселений, вызванных изменением климата. Однако в ближайшей перспективе глобальная тенденция урбанизации также предоставляет исключительную возможность для продвижения развития, не зависящего от изменения климата (высокая степень достоверности) (Рабочая группа II МГЭИК, 2022 г.).
- Городские районы могут создать возможности для повышения эффективности использования ресурсов и значительного сокращения выбросов ПГ за счет системного перехода инфраструктуры и городской структуры на пути развития с низким уровнем выбросов в направлении чистого нулевого уровня выбросов (Рабочая группа III МГЭИК, 2022 г.).

Экстремальные погодные явления и социально-экономические последствия

Всемирная программа метеорологических исследований ВМО

Основные тезисы

- За последние 50 лет в пять раз увеличилось число бедствий, связанных с метеорологическими, климатическими и гидрологическими явлениями, которые каждый день причиняли ущерб в среднем в размере 202 млн долл. США.
- Экстремальные метеорологические явления вызывают длительные социально-экономические воздействия, особенно в наиболее уязвимых сообществах, которые зачастую наименее приспособлены к реагированию, восстановлению и адаптации.
- В 2022 году антропогенное изменение климата еще больше усугубило значительные экономические потери и гибель людей, связанные с обильными дождевыми осадками и экстремальными явлениями аномальной жары во всем мире.

Экстремальные метеорологические явления вызывают значительные социально-экономические воздействия. ВМО сообщает, что за последние 50 лет в пять раз увеличилось число бедствий, связанных с метеорологическими явлениями, которые в среднем каждый день уносили жизни 115 человек и причиняли ущерб в размере 202 миллионов долларов США (ВМО, 2021 г.). По мере дальнейшего совершенствования атрибутивных знаний укрепляются доказательства связи между изменением климата, вызванным деятельностью человека, и такими наблюдаемыми экстремальными явлениями, как волны тепла, сильные осадки и тропические циклоны (МГЭИК, 2021 г.). И хотя экстремальные метеорологические явления могут затронуть любого человека, больше всего страдает наиболее уязвимое население мира, особенно те, кто живет в нищете и в маргинализированных общинах.

Экстремальные метеорологические явления в 2022 году

Тропический шторм Ана и тропический циклон Батсирай

Сезон тропических циклонов 2021/22 года на юго-западе Индийского океана был очень активным: было

зафиксировано 12 получивших имена штормов, пять из которых достигли статуса интенсивного тропического циклона. Тропический шторм Ана стал первым штормом сезона, принесшим сильные ветры, ливневые дожди и обширные наводнения в Мадагаскаре, Малави, Мозамбике и Зимбабве в конце января 2022 года. Ему на смену пришел Батсирай, еще более сильный тропический циклон, показанный на рисунке 1.

Штормы вызвали серьезные гуманитарные последствия на всей территории одного из самых бедных и уязвимых регионов мира. Например, в Мозамбике почти 64 % населения живет в условиях крайней бедности, а на Мадагаскаре 42 % детей в возрасте до пяти лет страдают от хронического недоедания (Всемирный банк, 2021 г.; Всемирная продовольственная программа, 2021 г.). В результате этих штормов десятки тысяч людей были вынуждены покинуть свои дома, инфраструктура была разрушена, а затопление сельскохозяйственных угодий еще больше усугубило проблему отсутствия продовольственной безопасности (Otto et al., 2022).

Используя опубликованные методы, прошедшие экспертную оценку, в рамках Инициативы по анализу мировой погоды было установлено, что, вероятно, вследствие изменения климата повысилась интенсивность



Рисунок 1. Тропический циклон Батсирай у побережья Мадагаскара в юго-западной части Индийского океана (<https://earthobservatory.nasa.gov/images/149418/cyclone-batsirai>).

Экстремальные погодные явления и социально-экономические последствия

Всемирная программа метеорологических исследований ВМО



осадков, связанных с этими штормами (Otto et al., 2022). По мере потепления атмосферы она удерживает больше воды, что в среднем повышает интенсивность влажных сезонов и явлений. При дальнейшем росте выбросов и повышении температуры эпизоды сильных дождей, подобные тем, что были связаны со штормом *Ана* и циклоном *Батсирай*, станут более частыми.

Уязвимые группы населения, подобные тем, что попали под воздействие штормов *Ана* и *Батсирай*, больше всего страдают от экстремальных метеорологических явлений, поскольку имеют меньше всего ресурсов для реагирования, восстановления и адаптации к меняющемуся климату. Наступление бедствий тормозит прогресс в достижении целей в области устойчивого развития и усугубляет существующую бедность и неравенство. Однако эффективная адаптация, например, осуществление систем заблаговременных предупреждений, может снизить климатические риски, минимизировать потери и ущерб и поддержать развитие, не зависящее от изменения климата (см. главу «Системы заблаговременных предупреждений: поддержка адаптации и снижения риска бедствий») (МГЭИК, 2022 г.).

Наводнение на востоке Австралии

В течение 2022 года на востоке Австралии последовательно сменяли друг друга периоды обильных осадков, что привело к сильным наводнениям. В конце февраля и начале марта 2022 года атмосферная река принесла на побережье Австралии большое количество влаги, что привело к рекордному количеству осадков и одному из самых мощных наводнений в истории страны. В Брисбене, третьем по величине городе Австралии, три дня подряд выпадало более 200 мм дождевых осадков — это первый подобный случай с начала регулярных метеонаблюдений. Впоследствии, с марта по июль

2022 года на пропитанный дождем регион продолжали обрушиваться ливневые осадки, что привело к сильным дополнительным наводнениям (рисунок 2).

Быстроразвивающиеся бурные паводки, вызванные экстремальными дождевыми осадками, привели к обширным разрушениям и экономическим потерям. Общины в Австралии в целом лучше подготовлены к реагированию, восстановлению и адаптации по сравнению с общинами в странах с более низким уровнем дохода, однако наводнения все же высветили социально-экономическое неравенство, которое усугубляет уязвимость. Например, в разоренном городе Лисмор особенно сильно пострадали маргинализированные общины аборигенов, а также малообеспеченные семьи, которые чаще всего живут в местах, подверженных затоплениям, и не могут позволить себе страхование от наводнения (Williamson, 2022).

Разнообразный характер экстремальных дождевых осадков, когда в одних районах ливни продолжались несколько дней, а в других шли короткие, но очень сильные дожди, затрудняет выявление возможной взаимосвязи между этим явлением и изменением климата, вызванным деятельностью человека. Наука о климате указывает на возрастающий риск кратковременных, но экстремальных дождевых осадков при продолжающемся антропогенном потеплении. Такие дополнительные факторы, как лежащие в основе явления Ла-Нинья, также увеличили вероятность возникновения более влажных, чем в среднем, условий в регионе.

Волны тепла в Европе

В июне и июле 2022 года Европа пострадала от двух экстремальных волн тепла, возникших в результате распространения теплого воздуха из северной Африки на север и восток и достигших Центральной Европы



Рисунок 2. Наводнение в пригородах Брисбена Коринде и Оксли, Австралия, 1 марта 2022 года (Getty Images/Bradley Kanaris/Intermittent).

Экстремальные погодные явления и социально-экономические последствия

Всемирная программа метеорологических исследований ВМО

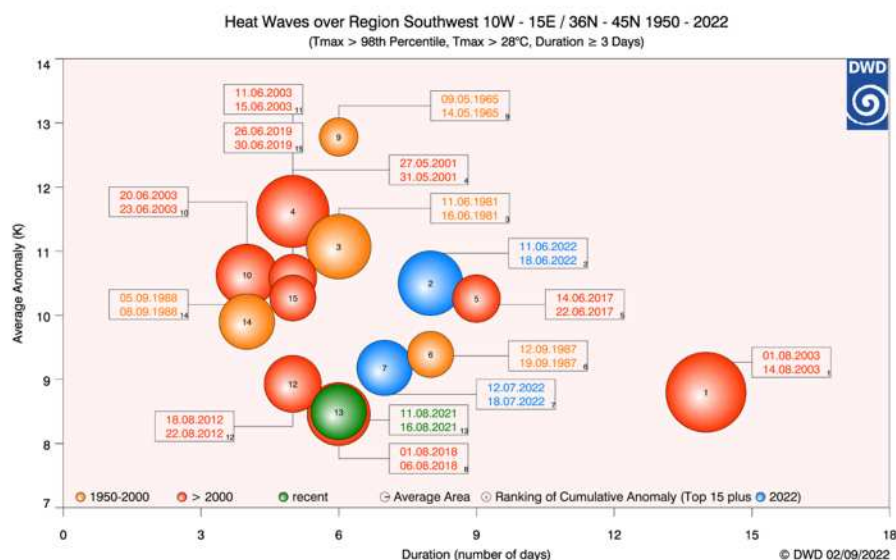


Рисунок 3. Волны тепла в юго-западной Европе (Португалия, Испания, юг Франции, восток Италии) с 1950 по 21 июля 2022 года в зависимости от их продолжительности (ось x) и интенсивности (средняя аномалия, ось y). Размер кружков (радиус) указывает на пространственную протяженность волн тепла, в пояснениях приводятся даты их начала и окончания. Цвет кружков указывает на год возникновения волны: синий — 2022 год, зеленый — последние годы до 2022 года, красный — XXI век, оранжевый — XX век (Deutscher Wetterdienst (DWD), https://www.dwd.de/EN/ourservices/rcccm/int/rcccm_int_hwkltr.html).

и Соединенного Королевства. В некоторых районах Пиренейского полуострова максимальные дневные температуры превышали 40 °C, что на 7–12 °C выше нормы для этого времени года. В Португалии пиковая температура составила 47,0 °C, превысив национальный июльский рекорд в 46,5 °C (1995 г.). Кроме того, впервые на всю историю наблюдений температура в Великобритании превысила 40 °C; предварительный температурный рекорд в Конингсби 19 июля составил 40,3 °C, побив предыдущий рекорд в 38,7 °C, установленный в 2019 году. Согласно инициативе по анализу мировой погоды, изменение климата, вызванное действиями человека, повысило вероятность возникновения в Великобритании тепловой волны как минимум в 10 раз (Zachariah et al., 2022). На рисунке 3 показаны волны тепла, наблюдавшиеся в юго-западной Европе с 1950 по июль 2022 года.

Летние волны тепла представляют собой значительный риск для здоровья человека и экосистемы. Особенно

уязвимы пожилые люди и люди с хроническими заболеваниями, но повышению уязвимости могут также способствовать такие прочие факторы, как социально-экономические условия, условия труда, урбанизация и уровень готовности к подобным явлениям. Например, в Лондоне из-за городского острова тепла температура воздуха в самом городе значительно выше, чем в окружающих районах, а высокие уровни неравенства усугубляют уязвимость (Zachariah et al., 2022). По всей Европе, согласно первым отчетам, волны тепла привели к гибели нескольких тысяч человек, хотя судить об общем числе человеческих жертв от этих экстремальных явлений еще слишком рано. Кроме того, совпавшая по времени морская волна тепла привела к разрушительным последствиям для морской флоры и фауны, а продолжительная засуха на значительной части территории Европы повлияла на пресноводные и другие водные экосистемы из-за низкого уровня воды в реках, стрессового воздействия на растения и лесных пожаров.

Основные заявления МГЭИК

- Антропогенное изменение климата уже влияет на многие метеорологические и климатические экстремальные явления во всех регионах земного шара. Свидетельства наблюдаемых изменений экстремальных явлений, таких как волны тепла, обильные осадки, засуха и тропические циклоны, и, в частности, их атрибуции антропогенному воздействию, стали еще более очевидными со времени публикации Пятого оценочного доклада МГЭИК (Рабочая группа I МГЭИК, 2021 г.).
- Согласно проекциям, при дальнейшем глобальном потеплении в каждом регионе будут происходить одновременные и множественные изменения в климатических факторах воздействия (Рабочая группа I МГЭИК, 2021 г.).
- Все чаще выявляется общее негативное экономическое воздействие, обусловленное изменением климата, включая медленно наступающие и экстремальные метеорологические явления (средняя степень достоверности) (Рабочая группа II МГЭИК, 2021 г.).

Системы заблаговременных предупреждений: поддержка адаптации и снижения риска бедствий ВМО/Управление ООН по снижению риска бедствий

Основные тезисы

- Системы заблаговременных предупреждений спасают жизни, сокращают потери и ущерб, способствуют снижению риска бедствий и поддерживают адаптацию к изменению климата.
- Менее половины всех стран мира заявили о наличии у них систем заблаговременных предупреждений о многих опасных явлениях (СЗПМОЯ), причем охват такими системами особенно низок в Африке, наименее развитых странах и малых островных развивающихся государствах.
- Обеспечение защиты каждого человека на Земле посредством СЗПМОЯ потребует сотрудничества между различными субъектами и инновационных финансовых решений.

Поскольку от 3,3 до 3,6 миллиардов человек живут в условиях, крайне уязвимых к изменению климата (МГЭИК, 2022 г.), сейчас как никогда важно, чтобы международное сообщество приняло решительные меры не только для смягчения воздействия выбросов, но и для адаптации к изменению климата, особенно к экстремальным метеорологическим явлениям и сложным явлениям, которые могут привести к долгосрочным социально-экономическим воздействиям.

Системы заблаговременных предупреждений о многих опасных явлениях (СЗПМОЯ) интегрируют информацию об опасных явлениях в анализ рисков для обеспечения значимых заблаговременных предупреждений, которые позволяют правительствам, общинам и отдельным лицам осознать риски, связанные с надвигающимися явлениями, и принять меры для минимизации воздействий. Эти системы, представленные на рисунке 1, состоят из четырех элементов: знания рисков бедствий; мониторинга и прогнозирования; передачи предупреждений и готовности реагировать. При условии их надлежащего осуществления СЗПМОЯ спасают жизни, сокращают потери и ущерб, способствуют снижению риска бедствий и поддерживают адаптацию к изменению климата. Они также обеспечивают значительную окупаемость инвестиций, как показано ниже во вставке, посвященной социально-экономическим преимуществам систем заблаговременных предупреждений.

СЗПМОЯ признаны важнейшим элементом снижения риска бедствий (СРБ) и адаптации к изменению климата. По этой причине они отражены в Сендайской рамочной программе по снижению риска бедствий на 2015–2030 годы и в Парижском соглашении, а также способствуют

достижению целей в области устойчивого развития ООН. Одна из семи целевых задач Сендайской рамочной программы заключается в том, чтобы «к 2030 году значительно улучшить ситуацию с наличием систем раннего оповещения, охватывающих разные виды угроз, и информации и оценок относительно риска бедствий и расширить доступ к ним людей» (Целевая задача G).



Рисунок 1. Элементы системы заблаговременных предупреждений о многих опасных явлениях (Заблаговременные предупреждения для всех: Глобальная инициатива ООН по заблаговременному предупреждению для осуществления адаптации к изменению климата (обновленная информация, август 2022 г.)).

Социально-экономические преимущества систем заблаговременных предупреждений

Несколько исследований демонстрируют стабильно высокую окупаемость и представляют убедительное экономическое обоснование инвестиций в СЗПМОЯ. Исходя из выводов, представленных Глобальной комиссией по адаптации (2019 г.), среднее соотношение затрат и выгод СЗПМОЯ (9:1) выше, чем у любых других мер по адаптации, рассмотренных в данном исследовании, таких как повышение устойчивости новой инфраструктуры или улучшение производства с/х культур на засушливых землях. Это означает, что каждый доллар США, вложенный в системы заблаговременных предупреждений, в среднем может принести 9 долларов США чистой экономической выгоды. Однако, оценить в полной мере все социально-экономические преимущества СЗПМОЯ, скорее всего, не удастся, поскольку некоторые преимущества, например, жизни, которые могут быть спасены, плохо поддаются монетизации.

Страны, заявившие о наличии СЗПМОЯ, по годам (2015–2021 гг.)

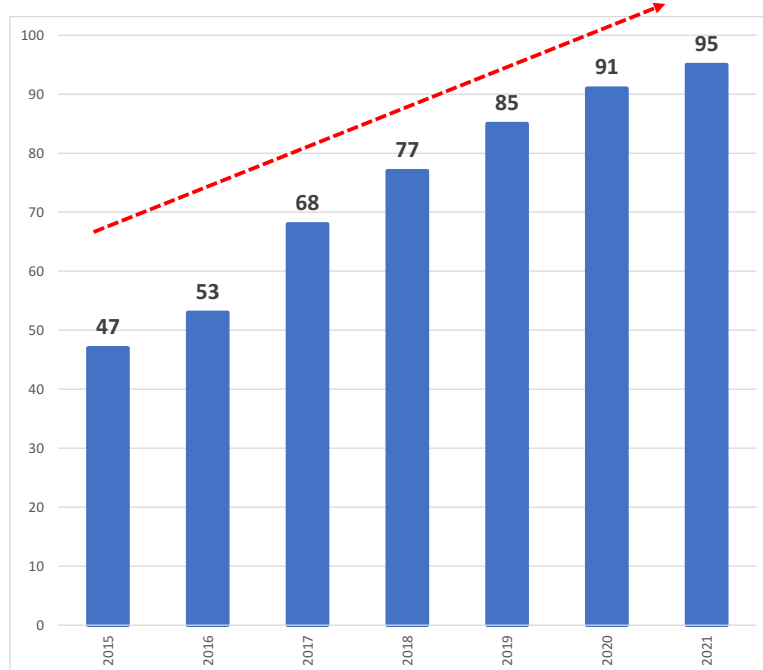


Рисунок 2. Число стран, сообщивших о наличии у них СЗПМОЯ в период с 2015 по 2021 год. Все данные являются совокупными по состоянию на апрель 2022 года (УСРБ ООН: механизм контроля за осуществлением Сендайской рамочной программы, 2022 г.).

Однако по состоянию на апрель 2022 года менее половины всех стран мира заявили о наличии у них СЗПМОЯ, причем охват такими системами особенно низок в Африке. Кроме того, о наличии у них СЗПМОЯ сообщили менее половины наименее развитых стран (НРС) и лишь одна треть малых островных развивающихся государств (МОСТРАГ) (механизм контроля за осуществлением Сендайской рамочной программы, 2022 г.). Кроме того, как показывает анализ результатов кампании по ускоренному сбору данных, проведенной ВМО в июне–июле 2022 года, еще меньше стран располагают СЗПМОЯ, которые были бы основаны на национальном законодательстве и нормативно-правовой базе, необходимых для обеспечения их эффективности. Несмотря на увеличение охвата СЗПМОЯ, наблюдается очень незначительный прогресс в том, чтобы обеспечить учет рисков в рамках этих систем и подготовить меры оперативного реагирования на чрезвычайные ситуации на случай, если будет выпущено или сработает заблаговременное предупреждение.

В целях проработки этого важнейшего вопроса и поддержки адаптации к изменению климата Генеральный секретарь Организации Объединенных Наций Антониу Гутерриш заявил, что ООН инициирует новые действия для обеспечения того, чтобы в течение пяти лет каждый человек на Земле был защищен системами заблаговременных предупреждений. ВМО было предложено возглавить эту инициативу, и она совместно с ключевыми партнерами разрабатывает план действий по реализации инициативы «Заблаговременные предупреждения для всех» по

всей цепочке создания ценности от заблаговременных предупреждений до заблаговременных действий на глобальном, региональном, национальном и местном уровнях.

Эффективное осуществление потребует участия широкого круга субъектов, включая национальные метеорологические и гидрологические службы, национальные управления по предотвращению и ликвидации последствий стихийных бедствий, научные круги, директивные органы и другие учреждения ООН по целому ряду таких смежных вопросов, как технологии, инновации и финансы. Например, УСРБ ООН и ВМО сотрудничают в области анализа состояния систем заблаговременных предупреждений в мире на основе отчетов о ходе осуществления Сендайской рамочной программы и данных ВМО.

Осуществление этого плана действий также потребует новых инновационных и уже существующих финансовых решений. Решающее значение будут иметь инвестиции в [Фонд финансирования систематических наблюдений](#) (ФФСН), Глобальную службу информации о водных ресурсах (ГСИВР) и Инициативу «[Климатические риски и система заблаговременных предупреждений](#)» (КРСЗП). Кроме того, программы по ускоренному инвестированию, проводимые ключевыми многосторонними банками развития (МБР), и новые инновационные финансовые инструменты будут играть важную роль в обеспечении защиты каждого человека на Земле с помощью СЗПМОЯ.

Фонд финансирования систематических наблюдений (ФФСН): основополагающий элемент Глобальной инициативы ООН по заблаговременному предупреждению

Качество заблаговременных предупреждений напрямую зависит от используемых в них данных. В 2021 году была создана Глобальная опорная сеть наблюдений (ГОСН), которая обязывает все страны собирать основные данные о погоде и климате и обмениваться ими. Однако на сегодняшний день НРС и МОСТРАГ предоставляют менее 10 % таких согласованных на международном уровне данных. Эти значительные пробелы в данных препятствуют предоставлению высококачественного климатического обслуживания по всему миру.

По этой причине ВМО, Программа развития ООН и Программа ООН по окружающей среде учредили Фонд финансирования систематических наблюдений (ФФСН) в качестве Многостороннего партнерского целевого фонда Организации Объединенных Наций при поддержке первоначальной группы партнеров по финансированию. ФФСН предоставляет долгосрочную техническую и финансовую поддержку странам с наибольшими пробелами в потенциале для устранения имеющихся у них пробелов в данных ГОСН, уделяя особое внимание НРС и МОСТРАГ. Этот новый механизм способствует достижению целей Парижского соглашения в области адаптации и систематических наблюдений путем улучшения климатических и метеорологических наблюдений, необходимых для эффективного климатического обслуживания и заблаговременных предупреждений.

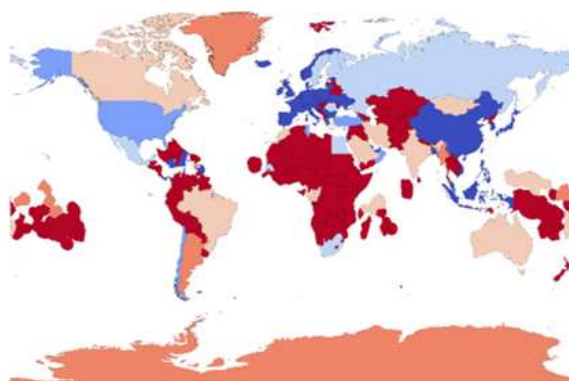


Рисунок 3. Области, выделенные темно-красным, далеки от выполнения важнейших требований ГОСН. Области, выделенные светло-красным, близки к выполнению требований. Области, выделенные синим, соответствуют требованиям или превосходят ожидания (Секретариат ВМО, 2022 г.).

Основные заявления МГЭИК

- Несмотря на достигнутый прогресс, существуют пробелы между текущими уровнями адаптации и уровнями, необходимыми для реагирования на воздействия и снижения климатических рисков (высокая степень достоверности). Наибольшие пробелы в адаптации существуют среди малообеспеченных групп населения (*высокая степень достоверности*) (Рабочая группа II МГЭИК, 2022 г.).
- Адаптация не предотвращает всех потерь и ущерба даже при условии ее эффективности и до достижения ее мягких и жестких пределов. Потери и ущерб неравномерно распределены по системам, регионам и секторам и не учитываются всесторонне в рамках существующих финансовых, управленческих и институциональных механизмов, особенно в уязвимых развивающихся странах (Рабочая группа II МГЭИК, 2022 г.).
- Существует целый ряд вариантов адаптации, таких как менеджмент рисков бедствий, системы заблаговременных предупреждений, распределение и совместное использование климатического обслуживания/совместное несение рисков, которые имеют широкий спектр применения в различных секторах и обеспечивают большую выгоду по сравнению с другими вариантами адаптации в случае их сочетания (*высокая степень достоверности*) (Рабочая группа II МГЭИК, 2022 г.).

Ссылки

Концентрации парниковых газов в атмосфере — Глобальная служба атмосферы ВМО

Всемирная метеорологическая организация, 2021 г.: Бюллетень ВМО по парниковым газам - № 17: Содержание парниковых газов в атмосфере по данным глобальных наблюдений в 2020 году. https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10904

International Energy Agency, 2021: Global energy review: CO₂ emissions in 2020, [https://www.iea.org/articles/global-energy-review-CO₂-emissions-in-2020](https://www.iea.org/articles/global-energy-review-CO2-emissions-in-2020).

IPCC, 2022: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157926

New Zealand Ministry for the Environment, 2021: New Zealand's Greenhouse Gas Inventory 1990-2019. Wellington, <https://environment.govt.nz/publications/new-zealands-greenhouse-gas-inventory-1990-2019/>

Steinkamp, K., S.E. Mikaloff Fletcher, G. Brailsford, D. Smale, S. Moore, E.D. Keller, W.T. Baisden, H. Mukai and B.B. Stephens, 2017: Atmospheric CO₂ observations and models suggest strong carbon uptake by forests in New Zealand. Atmospheric Chemistry and Physics, 17: 47–76, <https://acp.copernicus.org/articles/17/47/2017/>

Gatti, L.V., et al., 2021: Amazonia as a carbon source linked to deforestation and climate change. Nature, 595: 388–393, <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03629-6>.

Глобальные выбросы парниковых газов и бюджеты — Глобальный углеродный проект

Carbon Monitor, 2022: <https://carbonmonitor.org/>

Davis, S.J. et al., 2022: Emissions rebound from the Covid-19 pandemic. Nature Climate Change, 12, 412–414. <https://www.nature.com/articles/s41558-022-01332-6>

Friedlingstein, P., et al., 2022: Global Carbon Budget 2021. Earth System Science Data, 14, 1917–2005. <https://essd.copernicus.org/articles/14/1917/2022/>

Global Carbon Project, 2022: <https://www.globalcarbonproject.org/>

Global Carbon Budget, 2022: <https://globalcarbonbudget.org/>

Hong, C., et al., 2022: Land-use emission embodied in international trade. Science, 376, 597–603. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.abj1572>

Jackson, R.B., et al., 2022: Global fossil carbon emissions rebound near pre-COVID-19 levels. Environmental Research Letters, 17, 031001. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ac55b6>

Le Quéré, C., et al., 2022: Fossil CO₂ emissions in the post-COVID-19 era. Nature Climate Change, 11, 197–199. <https://www.nature.com/articles/s41558-021-01001-0>

Liu, Z., et al., 2022: Global patterns of daily CO₂ emissions reductions in the first year of COVID-19. Nature Geoscience, 15, 615–620. <https://www.nature.com/articles/s41561-022-00965-8>

Состояние глобального климата: 2018–2022 годы — ВМО

Cheng, L., Abraham, J., Trenberth, K.E. et al., 2022: Another Record: Ocean Warming Continues through 2021 despite La Niña Conditions. Advances in Atmospheric Sciences, 39, 373–385. <https://doi.org/10.1007/s00376-022-1461-3>

GISTEMP Team, 2019: GISS Surface Temperature Analysis (GISTEMP), version 4. NASA Goddard Institute for Space Studies, <https://data.giss.nasa.gov/gistemp/>.

Hersbach, H. et al., 2020: The ERA5 Global Reanalysis. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society 146, 1999–2049, doi: <https://doi.org/10.1002/qj.3803>.

Huang, B., et al., 2020: Uncertainty Estimates for Sea Surface Temperature and Land Surface Air Temperature in NOAA GlobalTemp Version 5. Journal of Climate, 33, 1351–1379, <https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/33/4/jcli-d-19-0395.1.xml>.

Lenssen, N.J.L. et al., 2019: Improvements in the GISTEMP Uncertainty Model. Journal of Geophysical Research: Atmospheres 124, 6307–6326, doi: <https://doi.org/10.1029/2018JD029522>.

Kobayashi, S., et al., 2015: The JRA-55 Reanalysis: General Specifications and Basic Characteristics. Journal of the Meteorological Society of Japan Series II 93, 5–48, doi:10.2151/jmsj.2015-001, https://www.jstage.jst.go.jp/article/jmsj/93/1/93_2015-001/_article.

Mallett, R. D. C.; Stroeve, J. C.; Cornish, S. B. et al., 2021: Record winter winds in 2020/21 drove exceptional Arctic sea ice transport. Communications Earth & Environment, 2, 149. <https://doi.org/10.1038/s43247-021-00221-8>.

National Snow and Ice Data Center, <https://nsidc.org/arcticseaicenews/2021/03/arctic-sea-ice-reaches-uneventful-maximum>

Purkey, S. G.; Johnson, G. C. Warming of Global Abyssal and Deep Southern Ocean Waters between the 1990s and 2000s: Contributions to Global Heat and Sea Level Rise Budgets. Journal of Climate 2010, 23, 6336–6351.

Ссылки

Riser, S. C.; Freeland, H. J.; Roemmich, D. et al., 2016: Fifteen years of ocean observations with the global Argo array. *Nature Climate Change*, 6, 145–153. <https://doi.org/10.1038/nclimate2872>.

Roemmich, D., Alford, M. H.; Claustre, H. et al., 2019: On the Future of Argo: A Global, Full-Depth, Multi-Disciplinary Array. *Frontiers in Marine Science*, 6, 439. <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fmars.2019.00439>

Rohde, R. A. and Hausfather, Z., 2020: The Berkeley Earth Land/Ocean Temperature Record. *Earth Systems Science Data*, 12, 3469–3479, <https://doi.org/10.5194/essd-12-3469-2020>.

Trewin, B., et al., 2021: Headline Indicators for Global Climate Monitoring. *Bulletin of the American Meteorological Society*, E20–E37, <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-19-0196.1>

WMO, 2022: The State of the Global Climate 2021, WMO-No.1290, https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=11178

World Glacier Monitoring Service, 2022. <https://wgms.ch/>

Zhang, H.-M., et al., NOAA Global Surface Temperature Dataset (NOAAGlobalTemp), Version 5.0. NOAA National Centers for Environmental Information. doi:10.7289/V5FN144H, <https://www.ncei.noaa.gov/access/metadata/landing-page/bin/iso?id=gov.noaa.ncdc:C00934>.

Глобальные климатические предсказания: 2022–2026 годы — Метеобюро, СК/ВМО/ВПИК

Hermanson, L., et al., 2022: WMO Global Annual to Decadal Climate Update: A prediction for 2021–2025. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 103, E1117–E1129, <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-20-0311.1>

Разрыв в уровнях выбросов — Программа ООН по окружающей среде

United Nations Environment Programme (2021a). Addendum to the Emissions Gap Report 2021: A preliminary assessment of the impact of new or updated nationally determined contributions, other 2030 pledges and net-zero emissions pledges announced or submitted since the cut-off dates of the Emissions Gap Report 2021. Nairobi.

United Nations Environment Programme (2021b). Emissions Gap Report 2021: The Heat Is On – A World of Climate Promises. Not Yet Delivered. Nairobi.

United Nations Environment Programme (2020). Emissions Gap Report 2020. Nairobi, <https://www.unep.org/emissions-gap-report-2020>

Переломные моменты в климатической системе — ВМО/Всемирная программа исследования климата (ВМО/Международный научный совет/МОК-ЮНЕСКО)

Baker, J.C.A., L. Garcia-Carreras, W. Buermann, D.C. de Souza, J.H. Marsham, P.Y. Kubota, M. Gloor, C.A.S. Coelho, and D.V. Spracklen, 2021: Robust Amazon precipitation projections in climate models that capture realistic land-atmosphere interactions. *Environmental Research Letters*, 16, 074002.

Boers, N., 2021: Observation-based early-warning signals for a collapse of the Atlantic Meridional Overturning Circulation. *Nature Climate Change*, 11, 680–688.

Boulton, C.A., T.M. Lenton, and N. Boers, 2022: Pronounced loss of Amazon rainforest resilience since the early 2000s. *Nature Climate Change*, 12, 271–278.

Breshears, D.D., H.D. Adams, D. Eamus, N.G. MacDowell, D.J. Law, R.E. Will, A.P. Williams, and C.B. Zou, 2020: The critical amplifying role of increasing atmospheric moisture demand on tree mortality and associated regional die-off. *Frontiers in Plant Science*, 4, 266, doi: 10.3389/fpls.2013.00266.

Brovkin, V., E. Brook, J.W. Williams, S. Bathiany, T.M. Lenton, M. Barton, R.M. DeConto, J.F. Donges, A. Ganopolski, J. McManus, S. Praetorius, A. de Vernal, A. Abe-Ouchi, H. Cheng, M. Claussen, M. Crucifix, G. Galopin, V. Iglesias, D.S. Kaufman, T. Kleinen, F. Lambert, S. van der Leeuw, H. Liddy, M.F. Loutre, D. McGee, K. Rehfeld, R. Rhodes, A.W.R. Seddon, M.H. Trauth, L. Vanderveken, and Z.C. Yu, 2021: Past abrupt changes, tipping points and cascading impacts in the Earth system. *Nature Geoscience*, 14, 550–558.

Caesar, L., G.D. McCarthy, D.J.R. Thornalley, N. Cahill, and S. Rahmstorf, 2021: Current Atlantic Meridional Overturning Circulation weakest in last millennium. *Nature Geoscience*, 14, 118–120.

Clark, P.U., J.D. Shakun, S.A. Marcott, A.C. Mix, M. Eby, S. Kulp, A. Levermann, G.A. Milne, P.L. Pfister, B.D. Santer, D.P. Schrag, S. Solomon, T.F. Stocker, B.H. Strauss, A.J. Weaver, R. Winkelmann, D. Archer, E. Bard, A. Goldner, K. Lambeck, R.T. Pierrehumbert, and G.-K. Plattner, 2016: Consequences of twenty-first-century policy for multi-millennial climate and sea-level change. *Nature Climate Change*, 6, 360–369.

Cowan, T., G.C. Hegerl, A. Schurer, S.F.B. Tett, R. Vautard, P. Yiou, A. Jezequel, F.E.L. Otto, L.J. Harrington, and B. Ng, 2020: Ocean and land forcing of the record-breaking Dust Bowl heatwaves across central United States. *Nature Communications*, 11, 2870.

Frölicher, T.L., E.M. Fischer, and N. Gruber, 2018: Marine heatwaves under global warming. *Nature*, 560, 560, 360–364.

Garbe, J., Albrecht, T., Levermann, A., Donges, J.F., and R. Winkelmann, 2020: The hysteresis of the Antarctic Ice Sheet. *Nature*, 585, 538–544.

Guiot, J., and W. Cramer, 2016: Climate Change: The 2015 Paris Agreement thresholds and Mediterranean basin ecosystems. *Science*, 354, 465–468.

Ссылки

- Heinze, C., T. Blenckner, H. Martins, D. Rusiecka, R. Doscher, M. Gehlen, N. Gruber, E. Holland, O. Hov, F. Joos, J.B.R. Matthews, R. Rodven, and S. Wilson, 2021: The quiet crossing of ocean tipping points, *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 118, e2008478118.
- Hewitt, H., B. Fox-Kemper, B. Pearson, M. Roberts, and D. Klocke, 2022: The small scales of the ocean may hold the key to surprises. *Nature Climate Change*, 12, 496–499.
- Hoegh-Guldberg, O., D. Jacob, M. Taylor, T. Guillen Bolanos, M. Bindi, S. Brown, I.A. Camilloni, A. Diedhiou, R. Djalante, K. Ebi, F. Engelbrecht, J. Guiot, Y. Hijikata, S. Mehrotra, C.W. Hope, A.J. Payne, H.-O. Portner, S.I. Seneviratne, A. Thomas, R. Warren, and G. Zhou, 2019: The human imperative of stabilizing global climate change at 1.5°C. *Science*, 365, eaaw6974.
- Humphrey, V., J. Zscheischler, P. Ciais, L. Gudmundsson, S. Sitch, and S.I. Seneviratne, 2018: Sensitivity of atmospheric CO₂ growth rate to observed changes in terrestrial water storage. *Nature*, 560, 628–631.
- IPCC, Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, [J.J. McCarthy, et al. (eds.)], 1031 pp., Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, 2001.
- IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 3–32, doi:10.1017/9781009157896.001.
- IPCC, 2022: Summary for Policymakers [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem (eds.)]. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 3–33, doi:10.1017/9781009325844.001.
- Jackson, L.C., A. Biastoch, M.W. Buckley, D.G. Desbruyeres, E. Frajka-Williams, B. Moat, and J. Robson, 2022: The evolution of the North Atlantic Meridional Overturning Circulation since 1980. *Nature Reviews Earth & Environment*, 3, 241–254.
- Kharin, V. V., Flato, G. M., Zhang, X., Gillett, N. P., Zwiers, F., & Anderson, K. J., 2018: Risks from climate extremes change differently from 1.5°C to 2.0°C depending on rarity. *Earth's Future*, 6, 704–715. <https://doi.org/10.1002/2018EF000813>
- Katzenberger, A., J. Schewe, J. Pongratz, and A. Levermann, 2021: Robust increase of Indian monsoon rainfall and its variability under future warming in CMIP6 models. *Earth System Dynamics*, 12, 367–386.
- Kornhuber, K., D. Coumou, E. Vogel, C. Lesk, J. F. Donges, J. Lehmann, and R. M. Horton, 2020: Amplified Rossby waves enhance risk of concurrent heatwaves in major breadbasket regions. *Nature Climate Change*, 10, 48–53.
- Miralles, D. G., Teuling, A. J., Van Heerwaarden, C. C., Vilà-Guerau de Arellano, J. G. Mega-heatwave temperatures due to combined soil desiccation and atmospheric heat accumulation, 2014. *Nature Geoscience*, 7, 345–349.
- Pal, J.S., and E.A.B. Eltahir, 2016: Future temperature in southwest Asia projected to exceed a threshold for human adaptability. *Nature Climate Change*, 6, 197–200.
- Pattyn, F., and M. Morlighem, 2020: The uncertain future of the Antarctic Ice Sheet. *Science*, 367, 1331–1335.
- Pattyn, F., et al., 2018: The Greenland and Antarctic ice sheets under 1.5 °C global warming. *Nature Climate Change*, 8, 1053–1061.
- Ratnayake, H.U., M.R. Kearney, P. Govekar, D. Karoly, and J.A. Welbergen, Forecasting wildlife die-offs from extreme heat events. *Animal Conservation*, 22, 386–395, 2019.
- Riahi, K., et al., 2017, The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview, *Global Environmental Change*, 42, 153–168, doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.05.009.
- Romanello, M., et al., 2021: The 2021 report of the Lancet Countdown on health and climate change: code red for a healthy future., *Lancet*, 398, 1619–1662.
- Seneviratne, S.I., T. Corti, E.L. Davin, M. Hirschi, E.B. Jaeger, I. Lehner, B. Orlowsky, and A.J. Teuling, 2010: Investigating soil moisture-climate interactions in a changing climate: A review. *Earth-Science Reviews*, 99, 125–161, doi:10.1016/j.earscirev.2010.02.004.
- Slingo, J., P. Bates, P. Bauer, S. Belcher, T. Palmer, G. Stephens, B. Stevens, T. Stocker, and G. Teutsch, 2022: Ambitious partnership needed for reliable climate prediction. *Nature Climate Change*, 12, 499–503.
- Stocker, T.F., G.K.C. Clarke, H. Le Treut, R.S. Lindzen, V.P. Meleshko, R.K. Mugara, T.N. Palmer, R.T. Pierrehumbert, P.J. Sellers, K.E. Trenberth, and J. Willebrand, Physical Climate Processes and Feedbacks, in *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, edited by J.T. Houghton, et al., pp. 417–470, Cambridge University Press, 2001.
- Stocker, T.F., et al., 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*, edited by T.F. Stocker, et al., pp. 33–115, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2013.

Ссылки

Trusel, and M. van den Broeke, 2018: The Greenland and Antarctic ice sheets under 1.5 °C global warming. *Nature Climate Change*, 8, 1053–1061.

Vicedo-Cabrera, A.M., et al., 2021: The burden of heat-related mortality attributable to recent human-induced climate change. *Nature Climate Change*, 11, 492–500.

Vogel, M.M., J. Zscheischler, and S.I. Seneviratne, 2018: Varying soil moisture-atmosphere feedbacks explain divergent temperature extremes and precipitation in central Europe. *Earth System Dynamics*, 9, 1107–1125.

Warren, R., J. Price, E. Graham, N. Forstenhaeusler, and J. VanDerWal, 2018: The projected effect on insects, vertebrates, and plants of limiting global warming to 1.5°C rather than 2°C. *Science*, 360, 791–795.

Wartenburger, R., M. Hirschi, M.G. Donat, P. Greve, A.J. Pitman, and S.I. Seneviratne, 2017: Changes in regional climate extremes as a function of global mean temperature: an interactive plotting framework. *Geoscience Model Development*, 10, 3609–3634.

Weijer, W., W. Cheng, O.A. Garuba, A. Hu, and B.T. Nadiga, 2020: CMIP6 models predict significant 21st century decline of the Atlantic Meridional Overturning Circulation. *Geophysical Research Letters*, 47, 10.1029/2019GL086075.

Worthington, E.L., B.I. Moat, D.A. Smeed, J.V. Mecking, R. Marsh, and G.D. McCarthy, 2021: A 30-year reconstruction of the Atlantic Meridional Overturning Circulation shows no decline. *Ocean Science*, 17, 285–299.

Zemp, D.C., C.F. Schleussner, H.M.J. Barbosa, M. Hirota, V. Montade, G. Sampaio, A. Staal, L. Wang-Erlandsson, and A. Rammig, 2017: Self-amplified Amazon forest loss due to vegetation-atmosphere feedbacks. *Nature Communications*, 8, 14681, 10.1038/ncomms14681.

Изменение климата и города — Сеть научных исследований по изменению климата в городах

Gencer, E., Folorunsho, R., Linkin, M., Wang, X., Natenzon, C. E., Wajih, S., Mani, N., Esquivel, M., Ali Ibrahim, S., Tsuneki, H., Castro, R., Leone, M., Panjwani, D., Romero-Lankao, P., and Solecki, W. 2018: Disasters and risk in cities. In Rosenzweig, C., W. Solecki, P. Romero-Lankao, S. Mehrotra, S. Dhakal, and S. Ali Ibrahim (eds.), *Climate Change and Cities: Second Assessment Report of the Urban Climate Change Research Network*. Cambridge University Press. New York. 61–98, https://uccrn.ei.columbia.edu/sites/default/files/content/pubs/ARC3.2-PDF-Chapter-3-Disasters-and-Risk-wecompress.com_.pdf

Hsu, A., et al., 2021: Disproportionate exposure to urban heat island intensity across major US cities. *Nature Communications*, 12, 2721.

IPCC, 2022: Summary for Policymakers [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem (eds.)]. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 3–33, doi:10.1017/9781009325844.001.

Jay, Ol., et al., 2021: Reducing the health effects of hot weather and heat extremes: from personal cooling strategies to green cities. *The Lancet* 398, 10301, P709–724.

Data-Driven EnviroLab, Global climate action from cities, regions and businesses. Utrecht University, German Institute of Development and Sustainability (IDOS), CDP, Blavatnik School of Government, University of Oxford. 2022 edition, forthcoming.

Rosenzweig, C., et al., 2019: New York Panel on Climate Change 2019 Report Executive Summary. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1439:1, 11–21. doi.org/10.1111/nyas.14008

Rosenzweig, C., et al., 2021: The Future We Don't Want: <https://www.c40.org/what-we-do/scaling-up-climate-action/adaptation-water/the-future-we-dont-want/>

Solecki, W., et al., 2022: *Climate Change and U.S. Cities: Urban Systems, Sectors, and Prospects for Action*. Island Press, Washington, D.C., USA, 269–300.

United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2019: *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision (ST/ESA/SER.A/420)*. New York: United Nations, <https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-Report.pdf>

Zachariah, M., et al., 2022: Climate change made devastating early heat in India and Pakistan 30 times more likely: https://www.worldweatherattribution.org/wp-content/uploads/India_Pak-Heatwave-scientific-report.pdf

Zegarra, M.A., et al., 2020: Impact of Hurricane Dorian in The Bahamas: A View from the Sky: https://publications.iadb.org/publications/english/document/Impact_of_Hurricane_Dorian_in_The_Bahamas_A_View_from_the_Sky.pdf, <https://dx.doi.org/10.18235/0002163>

Экстремальные метеорологические явления и социально-экономические последствия — ВМО/Всемирная программа метеорологических исследований

Bissolli, P., et al., 2022: Trockenheit in Europa 2022: https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/duerre/20220706_trockenheit_europa_2022.pdf?__blob=publicationFile&v=7

Deutscher Wetterdienst, 2022: Hitzewelle endet historisch: https://www.dwd.de/DE/wetter/thema_des_tages/2022/7/21.html

Imbery, F., et al., 2022: Intensive Hitzewelle im Juni 2022 in Deutschland und Mitteleuropa, 2022: https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/temperatur/20220629_temperatur_hitzewelle-juni.pdf?__blob=publicationFile&v=5

Ссылки

Instituto Português do Mar e da Atmosfera, 2022: Tempo muito quente - 18 de Julho: https://www.ipma.pt/pt/media/noticias/news.detail.jsp?f=pt/media/noticias/textos/Tempo_muito_quente_julho_2022.html

IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Chapter 11 Sonia I. Seneviratne (Switzerland), Xuebin Zhang (Canada), Muhammad Adnan (Pakistan), Wafae Badi (Morocco), Claudine Dereczynski (Brazil), Alejandro Di Luca (Australia/Canada/Argentina), Subimal Ghosh (India), Iskhaq Iskandar (Indonesia), James Kossin (United States of America), Sophie Lewis (Australia), Friederike Otto (United Kingdom/Germany), Izidine Pinto (South Africa/Mozambique), Masaki Satoh (Japan), Sergio M. Vicente-Serrano (Spain), Michael Wehner (United States of America), Botao Zhou (China).

IPCC, 2022: Summary for Policymakers [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem (eds.)]. In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 3–33, doi:10.1017/9781009325844.001.

Met Office, UK, 2022: Unprecedented extreme heatwave, July 2022, 2022: 2022_03_july_heatwave (metoffice.gov.uk), https://www.metoffice.gov.uk/binaries/content/assets/metofficegovuk/pdf/weather/learn-about/uk-past-events/interesting/2022/2022_03_july_heatwave.pdf

Otto, F.E.L., et al., 2022: Climate change increased rainfall associated with tropical cyclones hitting highly vulnerable communities in Madagascar, Mozambique & Malawi: <https://www.worldweatherattribution.org/wp-content/uploads/WWA-MMM-TS-scientific-report.pdf>

Williamson, B., 2022: Like many disasters in Australia, Aboriginal people are over-represented and under-resourced in the NSW floods: <https://theconversation.com/like-many-disasters-in-australia-aboriginal-people-are-over-represented-and-under-resourced-in-the-nsw-floods-178420>

World Bank Group, 2021: Poverty and Equity Brief, Mozambique: https://databank.worldbank.org/data/download/poverty/987B9C90-CB9F-4D93-AE8C-750588BF00QA/SM2021/Global_POVEQ_MOZ.pdf

World Food Programme, 2021: WFP Madagascar Country Brief: https://docs.wfp.org/api/documents/WFP-0000131081/download/?_ga=2.241612164.701433475.1631606348-1055501472.1562658913

World Meteorological Organization, 2021: WMO Atlas of Mortality and Economic Losses from Weather, Climate and Water Extremes (1970–2019): https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=21930#.YS9GdY4zbiW

World Meteorological Organization Regional Association VI, Regional Climate Centre (RCC) Network, www.rccra6.org

Zachariah, M., et al., 2022. Without human-caused climate change temperatures of 40°C in the UK would have been extremely unlikely: <https://www.worldweatherattribution.org/wp-content/uploads/UK-heat-scientific-report.pdf>

Системы заблаговременных предупреждений: поддержка адаптации и снижения риска бедствий — ВМО/Управление ООН по снижению риска бедствий

IPCC, 2022: Summary for Policymakers [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem (eds.)]. In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 3–33, doi:10.1017/9781009325844.001

Global Commission on Adaptation, 2019: Adapt Now: A Global Call for Leadership on Climate Resilience. https://gca.org/wp-content/uploads/2019/09/GlobalCommission_Report_FINAL.pdf

UNDRR analysis based on Sendai Framework Monitor reports as of April 2022: <https://sendaimonitor.undrr.org>

Основные заявления МГЭИК — МГЭИК

IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 3–32, doi:10.1017/9781009157896.001.

IPCC, 2022: Summary for Policymakers [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem (eds.)]. In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 3–33, doi:10.1017/9781009325844.001.

IPCC, 2022: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [P.R. Shukla, J. Skeea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157926.001



Дополнительную информацию можно получить по ссылке:
public.wmo.int/en/resources/united_in_science