СОСТОЯНИЕ ГЛОБАЛЬНОГО КЛИМАТА В 2022 ГОДУ

ПОГОДА КЛИМАТ ВОДА

ВСЕМИРНАЯ
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ
ОРГАНИЗАЦИЯ

ВМО-№ 1316

Нам важен ваш отзыв

В этом году ВМО организовала процесс сбора обратной связи о докладах «Состояние климата» и областях, требующих улучшения. После ознакомления с публикацией мы просим вас направить свой отзыв, ответив на этот краткий опросник. Мы глубоко признательны вам за отклик.

ВМО-№ 1316

© Всемирная метеорологическая организация, 2023

Право на опубликование в печатной, электронной или какой-либо иной форме на каком-либо языке сохраняется за ВМО. Небольшие выдержки из публикаций ВМО могут воспроизводиться без разрешения при условии четкого указания источника в полном объеме. Корреспонденцию редакционного характера и запросы в отношении частичного или полного опубликования, воспроизведения или перевода настоящей публикации следует направлять по адресу:

Chair, Publications Board
World Meteorological Organization (WMO)
7 bis, avenue de la Paix

P.O. Box 2300
CH-1211 Geneva 2, Switzerland

Тел.: +41 (0) 22 730 84 03

Факс: +41 (0) 22 730 81 17
Эл. почта: publications@wmo.int

ISBN 978-92-63-41316-1

Иллюстрация на обложке из Adobe Stock: Lightning storm over city in purple light (фото предоставлено: stnazkul, 84059942); Healthy Corals and Beautiful Islands in Wayag, Raja Ampat (фото предоставлено: ead72, 134052652); Forest fire (фото предоставлено: Kirk Atkinson, 180656803); Drought cracked landscape, dead land due to water shortage (фото предоставлено: AA+W, 537083081); Antarctica beautiful landscape, blue icebergs, nature wilderness (фото предоставлено: Song_about_summer, 217568993); Haboob dust storm in the Arizona desert (фото предоставлено: JSirlin, 256749173); Hurricane from space. The atmospheric cyclone. Elements of this image furnished by NASA (фото предоставлено: Viks_jin, 529897598)

ПРИМЕЧАНИЕ

Обозначения, употребляемые в публикациях ВМО, а также изложение материала в настоящей публикации не означают выражения со стороны ВМО какого бы то ни было мнения в отношении правового статуса какой-либо страны, территории, города или района или их властей, а также в отношении делимитации их границ.

Упоминание отдельных компаний или какой-либо продукции не означает, что они одобрены или рекомендованы ВМО и что им отдается предпочтение перед другими аналогичными, но не упомянутыми или не прорекламированными компаниями или продукцией.

Заключения, мнения и выводы, представленные в публикациях ВМО с указанием авторов, принадлежат этим авторам и не обязательно отражают точку зрения ВМО или ее Членов.

Содержание

Наиболее важные факты . . . . . **ii**

Предисловие . . . . . **iii**

Глобальные климатические показатели **1**

Базовые периоды 1

Парниковые газы 1

Температура 3

Океан 4

Криосфера 12

Стратосферный озон и озоноразрушающие газы 19

Осадки 20

Краткосрочные факторы, определяющие климат 21

Экстремальные явления **24**

Жара, засуха и лесные пожары 24

Экстремально низкие температуры 27

Наводнения и проливные дожди 28

Тропические циклоны 29

Сильные штормы 31

Социально-экономические последствия **32**

Продовольственная безопасность 32

Перемещение населения 34

Воздействие климата на экосистемы и окружающую среду 36

Обновление климатологической нормы до 1991—2020 гг. ***38***

Наблюдательная база для мониторинга климата ***40***

Наборы данных и методы **42**

Список сторон, предоставивших материалы **48**

Наиболее важные факты

Глобальная средняя температура в 2022 году была на 1,15 [1,02—1,28] °C выше средней температуры 1850–1900 годов. Годы с 2015 по 2022 стали восемью самыми теплыми за 173-летнюю историю инструментальных наблюдений. Несмотря на сохраняющиеся условия Ла-Ниньи 2022 год стал пятым или шестым самым теплым годом за всю историю наблюдений.

В 2022 году третий год подряд наблюдались условия Ла-Ниньи, что случалось всего три раза за последние 50 лет.

Концентрация трех основных парниковых газов — диоксида углерода, метана и закиси азота — достигла рекордно высоких значений в 2021 году, последнем году, за который имеются сводные глобальные значения (1984—2021 гг.). Годовой прирост концентрации метана с 2020 по 2021 год стал самым высоким за всю историю наблюдений. Данные в режиме реального времени из ряда конкретных местоположений указывают на то, что уровни концентрации всех трех парниковых газов в 2022 году продолжали расти.

Около 90 % энергии, задерживаемой в климатической системе парниковыми газами, попадает в океан. Теплосодержание океана, с помощью которого измеряется этот прирост энергии, в 2022 году достигло нового рекордного уровня.

Несмотря на сохраняющиеся условия Ла-Ниньи, 55 % поверхности океана в 2022 году подверглись воздействию как минимум одной морской волны тепла. Похолодание же, напротив, наблюдалось только над 25 % поверхности океана.

Глобальный средний уровень моря продолжал расти в 2022 году, достигнув нового рекордного уровня за все время существования спутниковой альтиметрии (1993—2022 гг.). Скорость повышения глобального среднего уровня моря увеличилась вдвое между первым десятилетием спутниковых наблюдений (1993—2002 гг., 2,27 мм в год) и последующим (2013—2022 гг., 4,62 мм в год).

В 2021/22 гидрологическом году средний баланс массы группы эталонных ледников, по которым имеются многолетние наблюдения, составил –1,18 метра водного эквивалента (м в. э.). Эта убыль намного превышает средние показатели за последнее десятилетие. Шесть из десяти лет с самым высоким отрицательным балансом массы за всю историю наблюдений (1950—2022 гг.) пришлись на период с 2015 года. Суммарная убыль льда с 1970 года превысила 26 м в. э.

В Восточной Африке количество осадков было ниже среднего в течение пяти влажных сезонов подряд, что является самым продолжительным периодом за последние 40 лет. Согласно оценкам, по состоянию на август 2022 года 37 млн человек в регионе столкнулись с острой нехваткой продовольствия из-за последствий засухи и других потрясений.

Рекордные дожди в июле и августе привели к масштабным наводнениям в Пакистане. Погибло не менее 1 700 человек, 33 млн человек пострадали, почти 8 млн были вынуждены покинуть свои дома. Общий ущерб и экономические потери были оценены в 30 млрд долларов США.

Летом в Китае и Европе наблюдались рекордные волны тепла. В некоторых районах экстремальная жара сочеталась с исключительно засушливыми условиями. В Испании, Германии, Соединенном Королевстве, Франции и Португалии количество избыточных смертей, связанных с жарой в Европе, в совокупности превысило 15 000.

Предисловие

В данном докладе сообщается, что концентрация парниковых газов в атмосфере продолжает бить рекорды, способствуя потеплению суши и океана, таянию ледяных щитов и ледников, повышению уровня моря, потеплению и закислению океанов. Значительные пробелы в сетях наблюдения за погодой и климатом, особенно в наименее развитых странах (НРС) и малых островных развивающихся государствах (МОСТРАГ) являются препятствием для базового мониторинга климата, особенно в региональном и национальном масштабах, а также для предоставления заблаговременных предупреждений и адекватного климатического обслуживания. Вместе с Членами и партнерами ВМО работает над улучшением наблюдений за климатом с помощью Глобальной системы наблюдений за климатом (ГСНК) и путем обеспечения адекватных финансовых механизмов для наблюдений за погодой и климатом посредством Фонда финансирования систематических наблюдений (ФФСН).

В то время как объем выбросов продолжает расти, а климат продолжает меняться, уязвимые группы населения продолжают испытывать серьезное воздействие экстремальных погодных и климатических явлений. Например, в 2022 году продолжающаяся засуха в Восточной Африке, рекордные осадки в Пакистане и рекордные волны тепла в Китае и Европе затронули десятки миллионов людей, вызвали отсутствие продовольственной безопасности, привели к массовой миграции и обошлись в миллиарды долларов в виде убытков и ущерба. В то же время сотрудничество между учреждениями ООН доказало свою эффективность в преодолении гуманитарных последствий воздействия экстремальных погодных и климатических явлений, особенно в снижении связанной с ними смертности и экономических потерь.

Инициатива Организации Объединенных Наций «Заблаговременные предупреждения для всех», возглавляемая ВМО, направлена на восполнение существующего пробела в потенциале для обеспечения того, чтобы каждый человек на Земле был охвачен обслуживанием заблаговременными предупреждениями. Достижение этой крупномасштабной цели требует адекватных наблюдений и регулярного обновления ключевых климатических показателей, которые представлены в данном докладе.

ВМО также готовит новую схему мониторинга поглотителей и источников основных парниковых газов на основе моделирования и наземных и спутниковых измерений. Эта схема обеспечит лучшее понимание неопределенностей, связанных с силой поглотителей углерода и источников, характерных для землепользования, а также неопределенностей, обусловленных источниками метана.

Пользуясь случаем, хочу поздравить и поблагодарить экспертов и ведущего автора, которые совместно составили этот доклад с использованием анализа физических данных и оценки воздействия, а также поблагодарить всех, кто участвовал в подготовке публикации, особенно национальные метеорологические и гидрологические службы, входящие в состав ВМО, региональные климатические центры и учреждения Организации Объединенных Наций, за сотрудничество и вклад.

(Проф. Петтери Таалас)
Генеральный секретарь

Глобальные климатические показатели

Глобальные климатические показатели дают общее представление об изменениях в климатической системе[1]. Представленный здесь набор взаимосвязанных физических показателей устанавливает связь изменения состава атмосферы с изменениями энергии в климатической системе и реакцией суши, океана и льда.

Глобальные показатели основаны на самых разнообразных наборах данных, которые включают данные, поступающие с многочисленных систем наблюдений, включая спутники и сети *in-situ* (подробнее о наборах данных, использованных в докладе, см. раздел «Наборы данных и методы»).

В настоящем докладе содержатся многочисленные ссылки на вклад Рабочей группы I в Шестой оценочный доклад МГЭИК[2] (далее — РГ I ОД6 МГЭИК) и Специальный доклад МГЭИК «Океан и криосфера в условиях изменяющегося климата»[3].

БАЗОВЫЕ ПЕРИОДЫ

Базовые периоды представляют собой промежуток времени, обычно охватывающий три десятилетия или более, который используется в качестве фиксированного ориентира, с которым можно сравнить текущие условия. В силу научных, политических и практических причин в настоящем докладе используется несколько различных базовых периодов, которые указываются как в тексте, так и на рисунках. В целях согласованного представления информации в качестве базового периода по мере возможности используется климатологическая стандартная норма ВМО за 1981—2010 годы. В этом году впервые использовалась новая норма, 1991—2020 гг.; различия описаны в разделе «Обновление климатологической нормы до 1991—2020 гг.».

Однако для некоторых показателей использовать стандартную норму невозможно ввиду отсутствия измерений в начале периода. В отношении некоторых других показателей, например осадков, для расчета репрезентативных статистических данных необходим более длительный период. Кроме того, существуют также два особых исключения. Во-первых, для временного ряда глобальной средней температуры, и *только* для него, используется базовый период с 1850 по 1900 год. Этот базовый период используется в РГ I ОД6 МГЭИК в качестве точки отсчета для доиндустриальной температуры; он необходим для понимания прогресса в контексте Парижского соглашения. Во-вторых, концентрацию парниковых газов можно оценить за гораздо более ранние периоды благодаря газовым пузырькам, сохранившимся в ледяных кернах. Поэтому в данном докладе для представления доиндустриальных концентраций парниковых газов используется 1750 год.

ПАРНИКОВЫЕ ГАЗЫ

Концентрация парниковых газов (ПГ) в атмосфере отражает баланс между антропогенными выбросами, выбросами из природных источников и поглотителями. Повышение уровня парниковых газов в атмосфере в результате деятельности человека является основным фактором изменения климата по меньшей мере со времен промышленной революции. Глобальные усредненные молярные доли парниковых газов, для простоты называемые здесь «концентрацией» в атмосфере, рассчитываются на основе наблюдений *in-situ*, проводимых на множестве площадок в рамках Программы Глобальной службы атмосферы (ГСА) ВМО и партнерских сетей.

---

[1] Trewin, B.; Cazenave, A.; Howell, S. et al. Headline Indicators for Global Climate Monitoring, *Bulletin of the American Meteorological Society* **2021** *102* (1), E20–E37. https://doi.org/10.1175/BAMS-D-19-0196.1.

[2] Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК), 2021: Резюме для политиков. ОД6: Изменение климата, 2021 год: Физическая научная основа, https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WG1_SPM_Russian.pdf.

[3] Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК), 2019: Резюме для политиков. Специальный доклад МГЭИК об океане и криосфере в условиях изменяющегося климата, https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2020/07/SROCC_SPM_ru.pdf.

В 2021 году, последнем, за который имеются сводные глобальные данные, уровни концентрации парниковых газов в атмосфере достигли новых максимумов (рис. 1), при этом глобальные усредненные приповерхностные молярные доли диоксида углерода (CO_2) достигли 415,7 ± 0,2 частей на миллион (млн$^{-1}$), метана (CH_4) — 1908 ± 2 части на миллиард (млрд$^{-1}$) и закиси азота (N_2O) — 334,5 ± 0,1 млрд$^{-1}$, что представляет собой 149, 262 и 124 % от доиндустриальных уровней (1750 г.) соответственно. Данные в режиме реального времени из некоторых местоположений, включая Мауна-Лоа[4] (Гавайи, США) и Кеннаук/Кейп-Грим[5] Тасмания, Австралия) показывают, что уровни CO_2, CH_4 и N_2O в 2022 году продолжали расти.

Повышение содержания CO_2 в атмосфере с 2020 по 2021 год было таким же, как и увеличение, наблюдавшееся с 2019 по 2020 год, и более значительным, чем среднегодовые темпы роста, наблюдавшиеся за последнее десятилетие. В то время как долгосрочный рост концентрации CO_2 обусловлен антропогенными выбросами, колебания этого показателя от года к году в значительной степени связаны с естественной изменчивостью поглотителей углерода на суше и в океане. Рекордный годовой прирост в 2016 году был связан с сильным Эль-Ниньо 2015/16 года[6].

Годовое увеличение содержания CH_4 с 2020 по 2021 год составило 18 млрд$^{-1}$. Это самый большой ежегодный прирост за всю историю наблюдений, и его причины все еще выясняются. Измерения атмосферной нагрузки CH_4 и изотопного отношения стабильного углерода $^{13}C/^{12}C$ позволяют предположить, что наибольший вклад в возобновление роста CH_4 с 2007 года вносят микробные/биогенные источники, но остается неясным, какой вклад в это увеличение

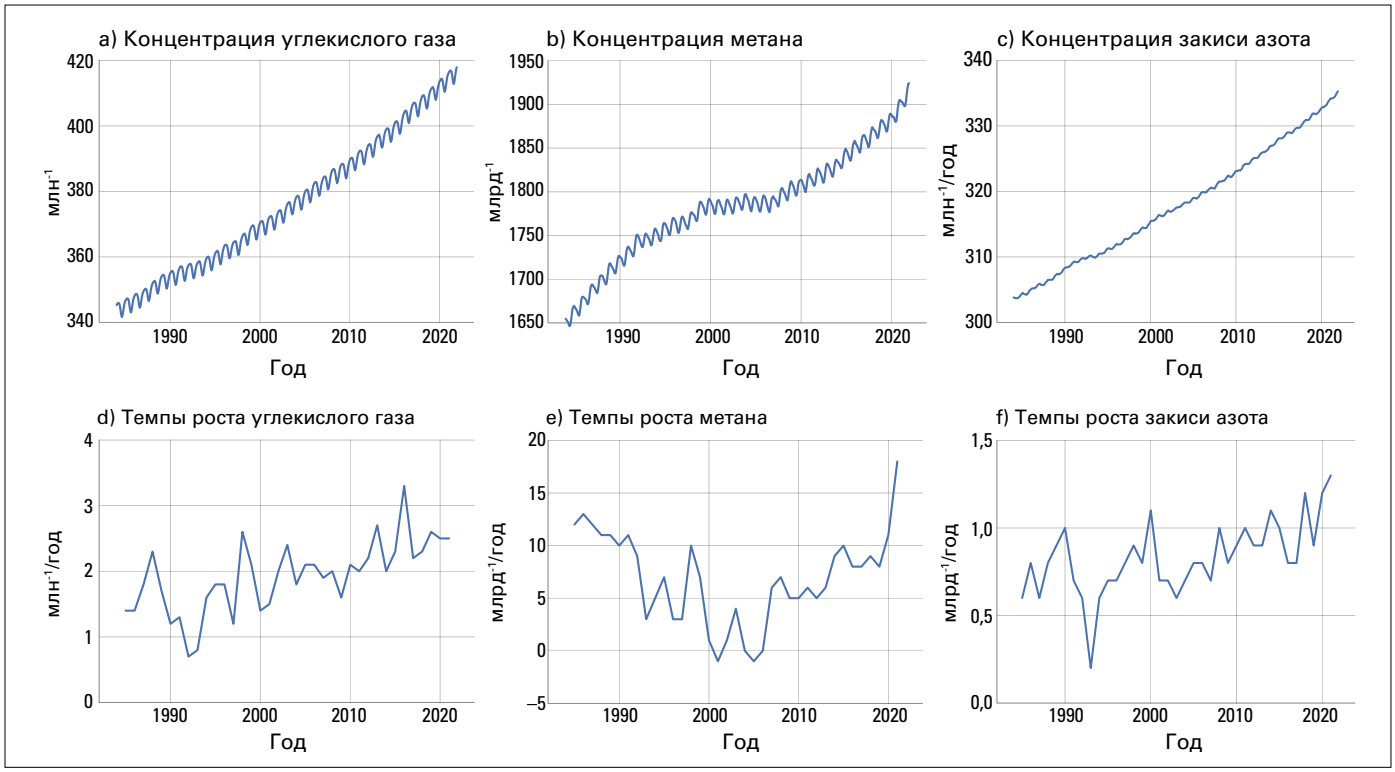


Рисунок 1. Верхний ряд: месячная глобально усредненная молярная доля (мера концентрации в атмосфере) в период с 1984 по 2021 год: а) CO_2 в частях на миллион, б) CH_4 в частях на миллиард и в) N_2O в частях на миллиард. Нижний ряд: темпы прироста, представляющие собой увеличение последовательных среднегодовых молярных долей: d) CO_2 в частях на миллион в год, e) CH_4 в частях на миллиард в год (посередине) и f) N_2O в частях на миллиард в год (справа).

[4] www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/mlo.html

[5] https://www.csiro.au/greenhouse-gases/

[6] Betts, R.; Jones, C.; Knight, J. et al. El Niño and a Record CO_2 Rise. *Nature Climate Change* **2016**, *6*, 806–810. https://doi.org/10.1038/nclimate3063.

вносят антропогенные и природные источники[7,8]. Совершенствование сетей наблюдений в чувствительных к климату районах, таких как тропические водно-болотные угодья и Арктика, является одним из способов обеспечить лучшее понимание процессов, приводящих к изменениям в концентрации ПГ. Такие знания могут использоваться для поддержки эффективных стратегий смягчения последствий.

ТЕМПЕРАТУРА

В 2022 году глобальная средняя температура, которая объединяет измерения приземной температуры суши и океана, была на 1,15 [1,02—1,28] °C выше среднего доиндустриального уровня 1850—1900 годов (рис. 2). Согласно шести наборам данных, использованным в анализе, 2022 год станет пятым или шестым из числа самых теплых за всю историю наблюдений (1850—2022 гг.). Расхождения между наборами данных и, следовательно, классификацией на их основе возникают из-за различий в методах и неточностей в исходных данных, а также потому, что некоторые области Земли все еще недостаточно охвачены наблюдениями. Восемь лет с 2015 по 2022 год стали самыми теплыми за всю историю наблюдений согласно всем наборам данных (подробнее см. раздел «Наборы данных и методы»).

Условия Ла-Нинья сохранялись третий год, сформировавшись в конце 2020 года (см. «Краткосрочные факторы, определяющие климат»). Ла-Нинья обычно связана с временным снижением глобальной средней температуры, и 2021 и 2022 годы были менее теплыми, чем 2019 и 2020, вследствие перехода к условиям Ла-Нинья. Тем не менее, 2021 и 2022 годы были теплее, чем 2011 год (когда глобальная средняя температура была на 0,87 [0,74—0,99] °C выше средней за 1850—1900 гг.), последний из затронутых значительным явлением Ла-Нинья, и теплее, чем любой год до 2015 года. В большинстве наборов данных 2016 год, который был связан с исключительно сильным явлением Эль-Ниньо, остается самым теплым за всю историю наблюдений в мире (с глобальным средним значением на 1,28 [1,15—1,40] °C превышающим среднее значение за 1850—1900 гг.).

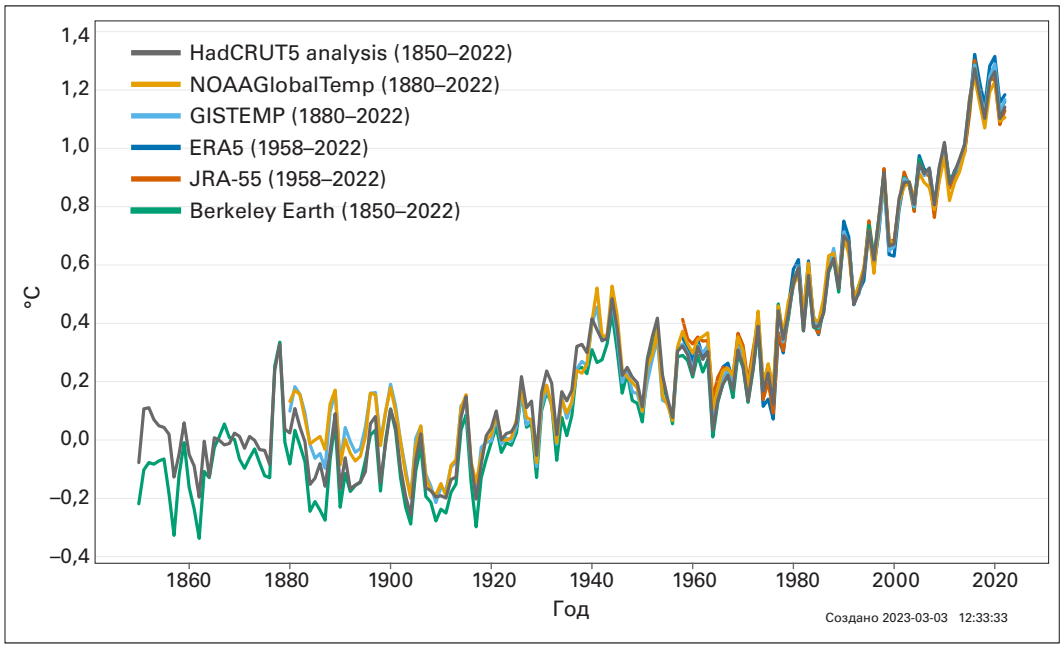


Рисунок 2. Аномалии глобальной среднегодовой температуры по отношению к доиндустриальным условиям (1850–1900 гг.) для шести наборов данных о глобальной температуре (1850–2021 гг.). Более подробную информацию о наборах данных и их обработке см. в разделе «Наборы данных и методы».

[7] Lunt, M. F.; Palmer, P. I.; Feng, L., et al. An Increase in Methane Emissions from Tropical Africa Between 2010 and 2016 Inferred from Satellite Data. *Atmospheric Chemistry and Physics* **2019**, *19*, 14721–14740. https://doi.org/10.5194/acp-19-14721-2019.

[8] Feng, L.; Palmer, P. I.; Zhu, S. et al. Tropical Methane Emissions Explain Large Fraction of Recent Changes in Global Atmospheric Methane Growth Rate. *Nature Communications* **2022**, *13* (1), 1–8. https://doi.org/10.1038/s41467-022-28989-z.

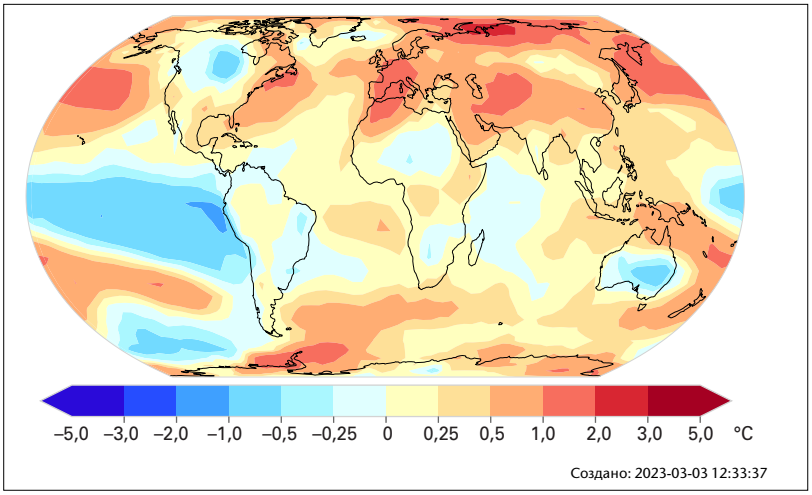


Рисунок 3. Отклонения приземной температуры в 2022 г. от среднего значения за 1991–2020 гг. На карте показана медианная аномалия, рассчитанная на основе шести наборов данных. Более подробную информацию о наборах данных и их обработке см. в разделе «Наборы данных и методы».

В докладе РГ I ОД6 МГЭИК для определения масштабов долгосрочного потепления использовались многолетние средние значения[9]. Согласно оценкам, средняя температура за десятилетие, охватывающее с 2011 по 2020 год, превысила среднюю температуру 1850—1900 гг. на 1,09 [0,95—1,20] °C. На основе использованных здесь наборов данных среднее значение за десятилетний период 2013—2022 гг. оценивается в 1,14 [1,02—1,27] °C, что свидетельствует о продолжающемся потеплении.

Рекордно высокие приземные среднегодовые температуры (рис. 3) были отмечены в Западной Европе (где в ряде стран, включая Соединенное Королевство Великобритании и Северной Ирландии, Францию, Ирландию, Португалию, Испанию, Бельгию, Люксембург, Италию, Германию и Швейцарию, был зафиксирован самый теплый год в истории наблюдений), западной части Средиземноморского региона, некоторых районах Центральной и Восточной Азии и Новой Зеландии. В океане распространение рекордно высоких температур затронуло обширные районы северной и южной частей Тихого океана, а также районы Южного океана.

В 2022 году ни в одном районе не было зафиксировано рекордно низких годовых температур (рис. 3). Более низкие температуры, чем в среднем за 1991—2020 годы, наблюдались в Канаде, некоторых районах Южной и Северной Африки, некоторых районах Австралии (в Новом Южном Уэльсе был самый холодный год с 1996 года) и некоторых районах Южной Америки. Ла-Нинья связана с «холодным языком» более прохладных, чем в среднем, приповерхностных вод в центральной и восточной экваториальной части Тихого океана. Этот язык обычно окружен областями более теплых, чем в среднем, вод, которые перемещаются из северной части Тихого океана вдоль западного края в юго-западную часть Тихого океана. В 2022 году на обширных территориях северной и юго-западной части Тихого океана было зафиксировано рекордное потепление.

ОКЕАН

Океан, покрывающий около 70 % поверхности Земли, является важной частью климатической системы. Он поглощает как CO_2, так и тепло, тем самым замедляя темпы глобального потепления в атмосфере. В то же время вызванные этим изменения химического состава и температуры сопровождаются серьезными последствиями, снижая уровень pH океана, повышая уровень моря, изменяя океанические течения, влияя на морскую жизнь и биоразнообразие, а также на людей, для которых океан является источником средств к существованию[10].

[9] РГ I ОД6 МГЭИК использовала четыре набора данных: HadCRUT5, NOAA Interim, Berkeley Earth and Kadow et al.

[10] Cheng, L.; von Schuckmann, K.; Abraham, J.P. et al. Past and Future Ocean Warming. *Nature Reviews Earth and Environment* **2022**, *3*, 776–794. https://doi.org/10.1038/s43017-022-00345-1.

ТЕПЛОСОДЕРЖАНИЕ ОКЕАНА

Увеличение антропогенных выбросов CO_2 и других парниковых газов вызывает положительный радиационный дисбаланс в верхних слоях атмосферы, что приводит к накоплению энергии в виде тепла в системе Земля и является причиной глобального потепления[11,12]. Около 90 % накопленного тепла хранится в океане, приводя к его потеплению. Теплосодержание океана (ТСО) — это показатель, измеряющий накопленное тепло. Положительный энергетический дисбаланс сигнализирует о том, что климат все еще реагирует на текущее воздействие и что потепление будет продолжаться, даже если воздействие не будет увеличиваться дальше[13]. В недавнем докладе МГЭИК пришла к выводу, что «*практически не вызывает сомнений*, что с 1970-х годов произошло потепление верхнего слоя Мирового океана (0—700 м), и *крайне вероятно*, что основным фактором является влияние человека»[14].

Верхние 2000 м океана продолжали нагреваться в 2022 году[15] и ожидается, что они будут продолжать нагреваться в будущем, вызывая изменения, необратимые в масштабах времени от столетнего до тысячелетнего[16,17]. В 2022 году ТСО стало самым высоким за всю историю наблюдений (рис. 4), превысив значение 2021 года на 17 ± 9 ЗДж[18]. Все наборы данных сходятся в том, что темпы потепления океана были особенно высокими в последние два десятилетия:

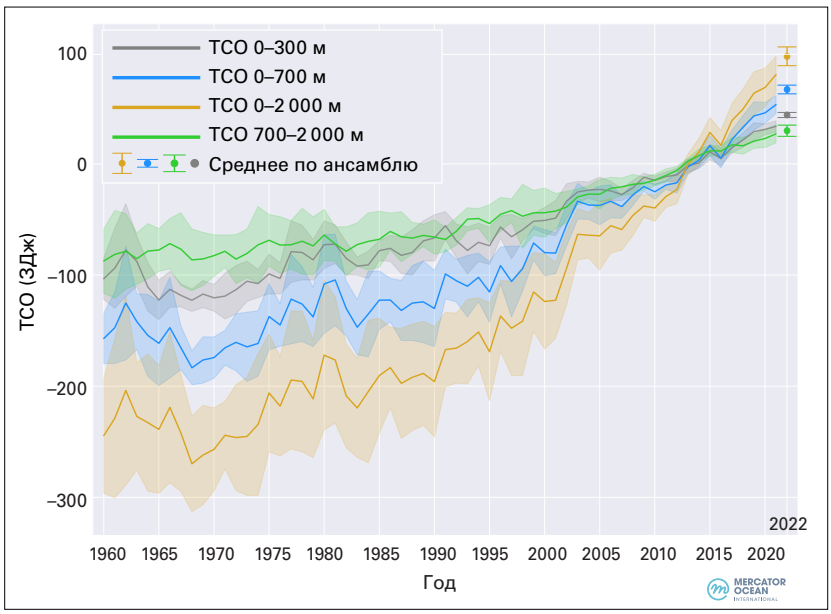


Рисунок 4. Средние временные ряды ансамбля 1960–2021 гг. и стандартное отклонение глобальных аномалий (2 стандартных отклонения, заштриховано) ТСО относительно средних показателей 2005–2021 гг. для 0–300 м (серый), 0–700 м (синий), 0–2000 м (желтый) и 700–2000 м (зеленый). Среднее значение по ансамблю представляет собой обновленную информацию о результатах согласованных международных усилий (см. von Schuckmann, K.; Minère, A.; Gues, F. et al. Heat Stored in the Earth System 1960–2020: Where Does the Energy Go? *Earth System Science Data* **2022** [preprint]. https://doi.org/10.5194/essd-2022-239), и ссылки на все использованные продукты приводятся в разделе «Наборы данных и методы». Необходимо отметить, что значения приведены для площади поверхности океана между 60° ю. ш. и 60° с. ш. и ограничены 300-метровой батиметрией каждого продукта. Средние по ансамблю аномалии ТСО для 2022 года, которые были добавлены в виде отдельных точек вместе с ансамблевым разбросом, основаны на восьми продуктах, перечисленных в разделе «Наборы данных и методы».

Источник: Mercator Ocean International

[11] Hansen, J.; Sato, M.; Kharecha, P. et al. Earth's Energy Imbalance and Implications. *Atmospheric Chemistry and Physics* **2011**, *11* (24), 13421–13449. https://doi.org/10.5194/acp-11-13421-2011.

[12] von Schuckmann, K.; Palmer, M. D.; Trenberth, K. E. et al. An Imperative to Monitor Earth's Energy Imbalance. *Nature Climate Change* **2016**, *6*, 138–144. https://doi.org/10.1038/nclimate2876.

[13] Hansen, J.; Nazazarenko, L.; Ruedy, R. et al. Earth's Energy Imbalance: Confirmation and Implications. *Science* **2005**, *308* (5727), 1431–1435. https://doi.org/10.1126/science.1110252.

[14] Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК), 2021: Резюме для политиков. ОД6: Изменение климата, 2021 год: Физическая научная основа, https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WG1_SPM_Russian.pdf.

[15] von Schuckmann, K.; Cheng, L.; Palmer, M. D. et al. Heat Stored in the Earth System: Where Does the Energy Go? *Earth System Science Data* **2020**, *12* (3), 2013–2041. https://doi.org/10.5194/essd-12-2013-2020.

[16] Cheng, L.; Trenberth, K. E.; Fasullo, J. et al. Improved Estimates of Ocean Heat Content from 1960 to 2015. *Science Advances* **2017**, *3* (3), e1601545. https://doi.org/10.1126/sciadv.1601545.

[17] Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК), 2019: Резюме для политиков. Специальный доклад МГЭИК об океане и криосфере в условиях изменяющегося климата, https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2020/07/SROCC_SPM_ru.pdf.

[18] Теплосодержание океана измеряется в зеттаджоулях. Зеттаджоуль равен 10^{21} джоулю, что составляет 1 000 000 000 000 000 000 000 джоулей.

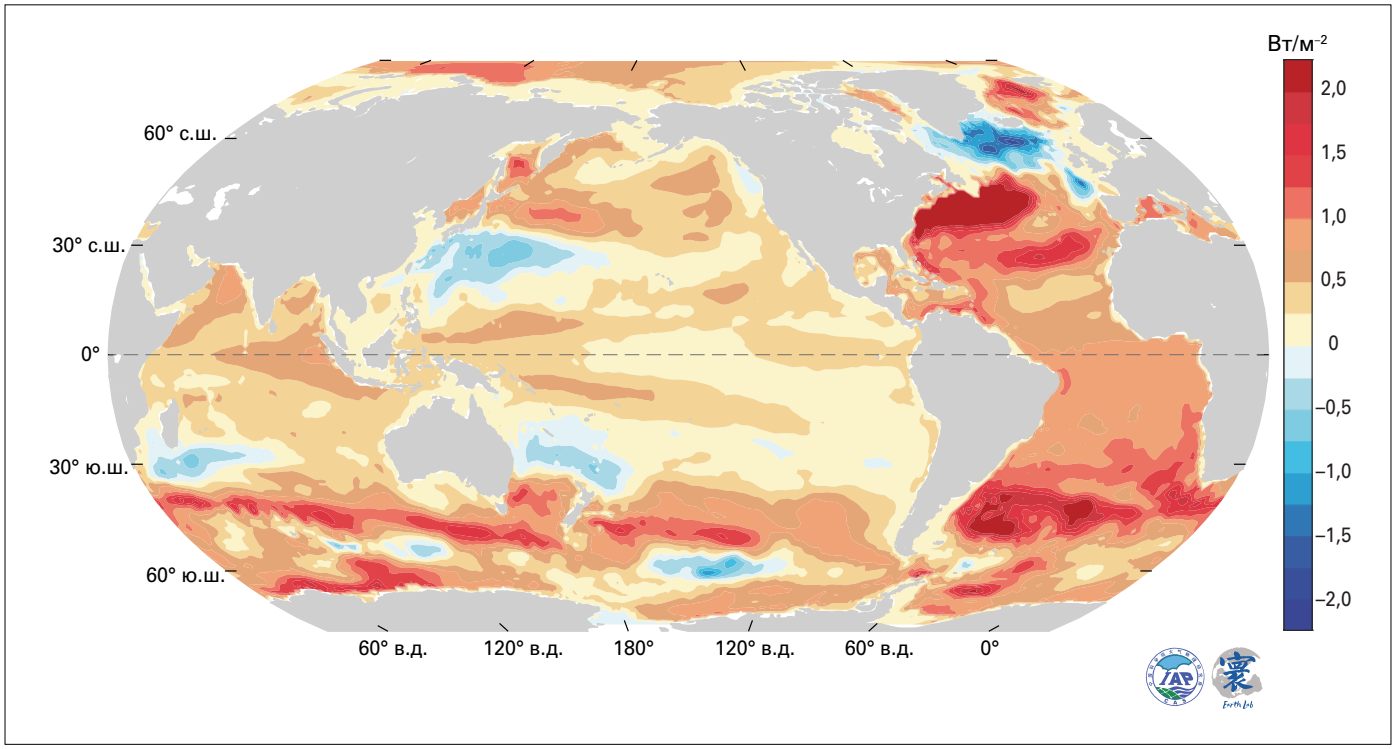


Рисунок 5. Оценка тенденции наблюдаемых изменений ТСО (Вт/м^2) в верхних 2000 м за период с 1958 по 2022 г.

Источник: данные обновлены на основе Cheng, L.; Trenberth, K. E.; Fasullo, J. et al. Improved Estimates of Ocean Heat Content from 1960 to 2015. *Science Advances* **2017**, *3* (3), e1601545. https://doi.org/10.1126/sciadv.1601545.

скорость потепления океана на глубине до 2000 м составляла 0,7 ± 0,1 Вт/м^2 с 1971 по 2022 год, но 1,2 ± 0,2 Вт/м^2 с 2006 по 2022 год. Потепление глубинных слоев океана на глубине свыше 2000 м оценивается в 0,0725 ± 0,1 Вт/м^2 с 1992 по 2022 год.

Хотя глобальное среднее ТСО сильно увеличилось, темпы потепления океана не везде были одинаковыми[19]. Самое сильное потепление в верхних 2000 м произошло в Южном океане, Северной Атлантике и Южной Атлантике, где местами оно превысило 2 Вт/м^2 (рис. 5). Южный океан является крупнейшим резервуаром тепла, на который приходится около 36 % глобального повышения ТСО в верхних 2000 м с 1958 года. Это сильное потепление связано с поглощением холодными глубинными водами, поднимающимися на поверхность, антропогенного тепла, которое затем переносится к северному краю Антарктического циркумполярного течения фоновой опрокидывающей циркуляцией.

Ограниченное число регионов утрачивает тепло и охлаждается, включая субполярный Атлантический океан, простирающийся от поверхности до глубины > 800 м (кроме того, это единственная зона, где наблюдается столетнее охлаждение у поверхности). Контрастная картина похолодания (50° с. ш. — 70° с. ш.) и потепления (20° с. ш. — 50°с. ш.) в Северной Атлантике связана с замедлением Атлантической меридиональной опрокидывающей циркуляции и локальным взаимодействием между воздухом и морем.

[19] Cheng, L.; von Schuckmann, K.; Abraham, J. P. et al. Past and Future Ocean Warming. *Nature Reviews Earth and Environment* **2022**, *3*, 776–794. https://doi.org/10.1038/s43017-022-00345-1.

УРОВЕНЬ МОРЯ

В 2022 году глобальный средний уровень моря (ГСУМ) продолжал расти (рис. 6). По оценкам, за 30 лет спутниковых альтиметрических измерений (1993—2022 гг.) повышение ГСУМ составило 3,4 ± 0,3 мм в год, при этом скорость удвоилась в период между первым десятилетием наблюдений (1993–2002 гг.) и последним (2013–2022 гг.), в течение которого она превысила 4 мм в год. Повышение ГСУМ идет с ускорением, которое оценивается в 0,12 ± 0,05 мм год$^{-2}$ за 30-летний период. Повышение уровня моря происходит не везде одинаково, и различия частично обусловлены локальными изменениями ТСО (рис. 7).

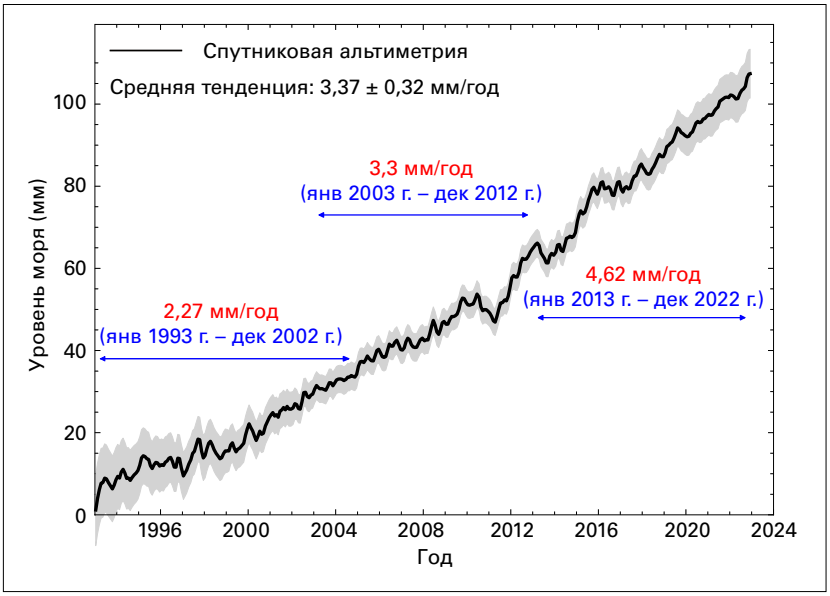


Рисунок 6. Изменение ГСУМ с января 1993 года по декабрь 2022 года (черная кривая), с соответствующей неопределенностью (заштрихованная область), на основе спутниковой альтиметрии. Горизонтальные цветные прямые представляют собой средние линейные тренды за три последовательных периода времени.

Источник: Laboratoire d'Etudes en Géophysique et Océanographie Spatiales (LEGOS); data from AVISO altimetry (https://www.aviso.altimetry.fr).

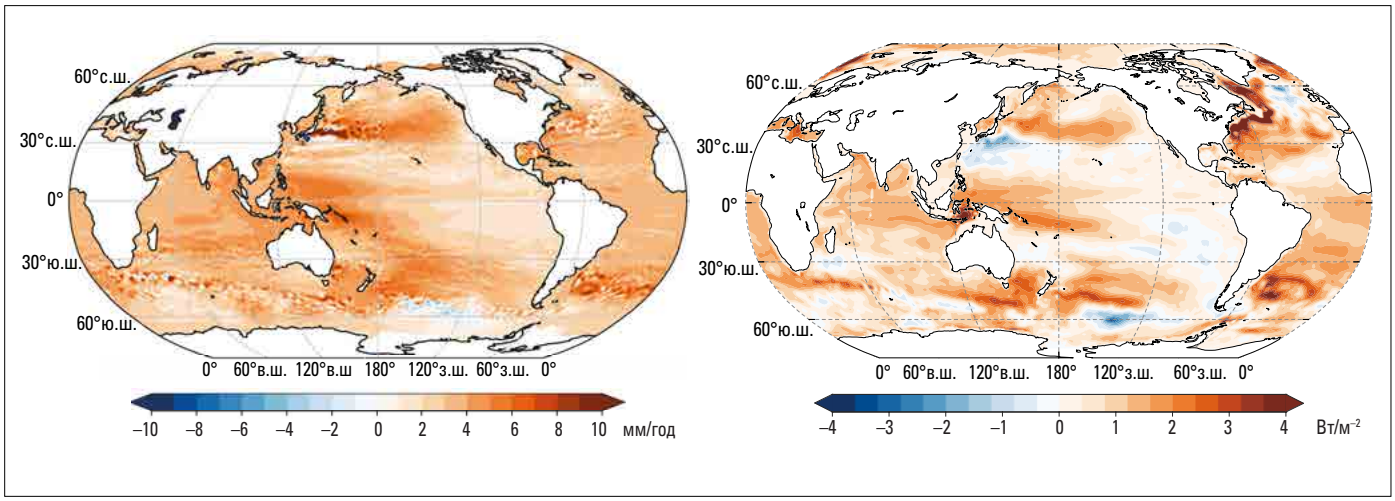


Рисунок 7. Слева: тенденции изменения уровня моря (мм/год) за период 1993–2022 гг.

Источник: LEGOS, данные Службы по вопросам изменения климата в рамках программы «Коперник» (https://climate.copernicus.eu).

Справа: тенденции изменения ТСО (Вт/м^2) для глубины 0–2000 м за период 1993–2022 гг.

Источник: данные обновлены на основе Cheng, L.; Trenberth, K. E.; Fasullo, J. et al. Improved Estimates of Ocean Heat Content from 1960 to 2015. *Science Advances* **2017**, *3* (3), e1601545. https://doi.org/10.1126/sciadv.1601545.

Потепление океана, потеря льда из ледников и ледяных щитов, а также изменения запасов воды на суше — все это способствует изменению уровня моря. Баланс ГСУМ отражает сумму оценок отдельных составляющих в сравнении с общим ГСУМ, измеренным спутниками. Если сумма совпадает с общим ГСУМ, бюджет считается «закрытым». Недавно бюджет был обновлен[20], и теперь бюджет ГСУМ может быть закрыт до конца 2020 года в пределах неопределенности данных (рис. 8). За период 2005—2019 гг., когда можно рассчитать индивидуальный вклад в общей массе, общая потеря материкового льда из ледников, Гренландии и Антарктиды внесла 36 % в повышение ГСУМ, а потепление океана (за счет теплового расширения) — 55 %. Вклад изменения запасов воды на суше составил менее 10 %.

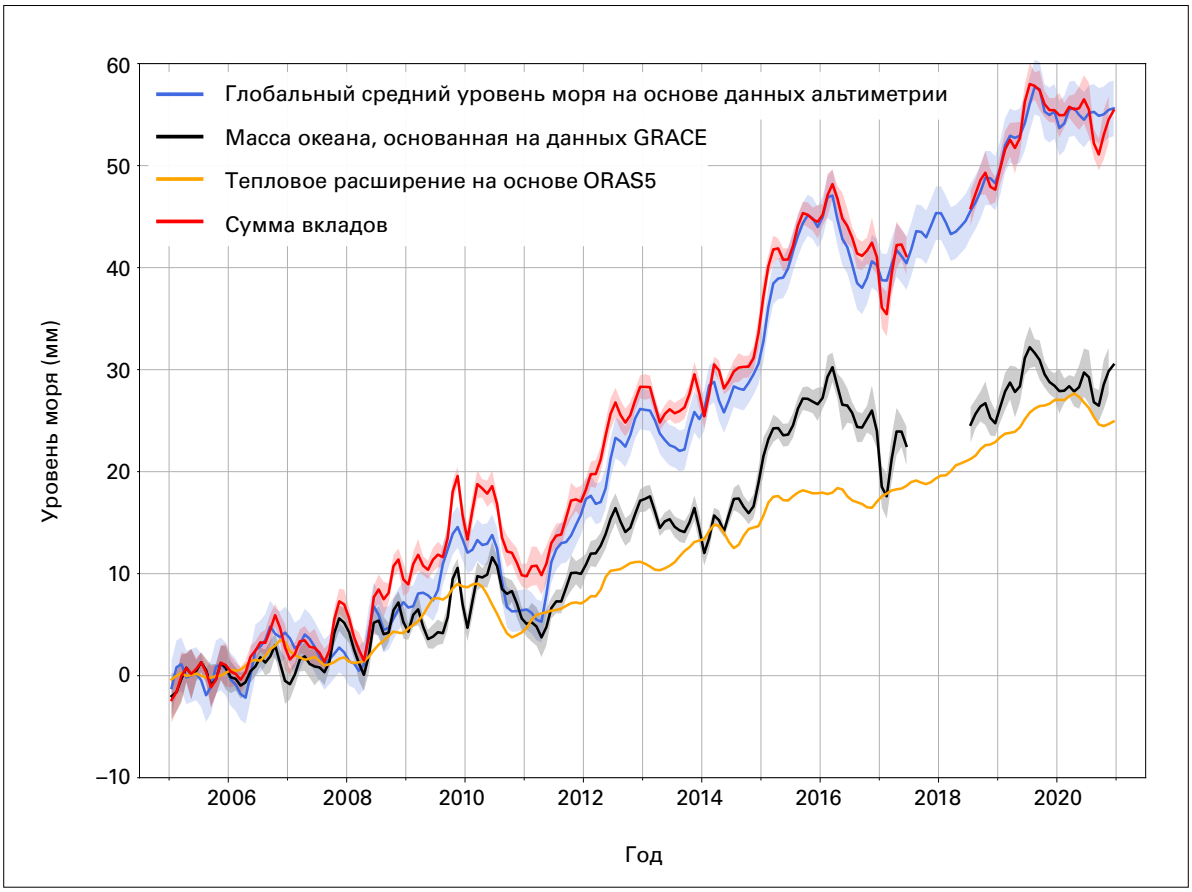


Рисунок 8. Баланс ГСУМ за период с января 2005 г. по декабрь 2020 г. Данные Jason-3, используемые для расчета ГСУМ начиная с 2008 года, скорректированы на дрейф радиометра на борту. Необходимо отметить, что маска, примененная к данным об уровне моря, отличается от той, что использовалась на рис. 6, поэтому некоторые детали могут отличаться. Масса океана, основанная на данных GRACE, представляет собой среднее ансамбля из шести различных решений. Тепловое расширение основано на реанализе ORAS5.

Источник: Barnoud A., Pfeffer J., Cazenave A. et al. Revisiting the global ocean mass budget over 2005-2020. *Ocean Sciences*, **2023**, *19* (2), 321–334. https://doi.org/10.5194/os-19-321-2023.

[20] Barnoud, A.; Pfeffer, J.; Cazenave, A. et al. Revisiting the Global Mean Ocean Mass Budget over 2005–2020. *Ocean Sciences* **2023**, *19* (2), 321–334. https://doi.org/10.5194/os-19-321-2023.

МОРСКИЕ ВОЛНЫ ТЕПЛА И ХОЛОДА

По аналогии с волнами тепла и холода на суше, морские волны тепла (МВТ) и морские волны холода (МВХ) — это длительные периоды экстремального тепла или холода в морях и океанах с потенциально широким спектром воздействия на морскую флору и фауну и зависимые от нее сообщества[21]. МВТ участились в конце XX и начале XXI века (рис. 9d), а МВХ стали менее частыми (рис. 10d). Спутниковые данные о температуре поверхности моря (ТПМ) используются для глобального мониторинга МВТ и МВХ, которые в данном случае классифицируются как умеренные, сильные, мощные или экстремальные (определения см. в разделе «Наборы данных и методы»).

В целом, на 58 % поверхности океана в течение 2022 года наблюдалась по крайней мере одна МВТ (рис. 9d), что меньше, чем рекордные 65 % в 2016 году и сравнимо с 2021 годом (57 %). В общей сложности в течение 2022 года на 25 % поверхности океана была отмечена по крайней мере одна МВХ, что сопоставимо с 2021 годом (25 %) и намного меньше, чем в рекордном 1985 году (63 %).

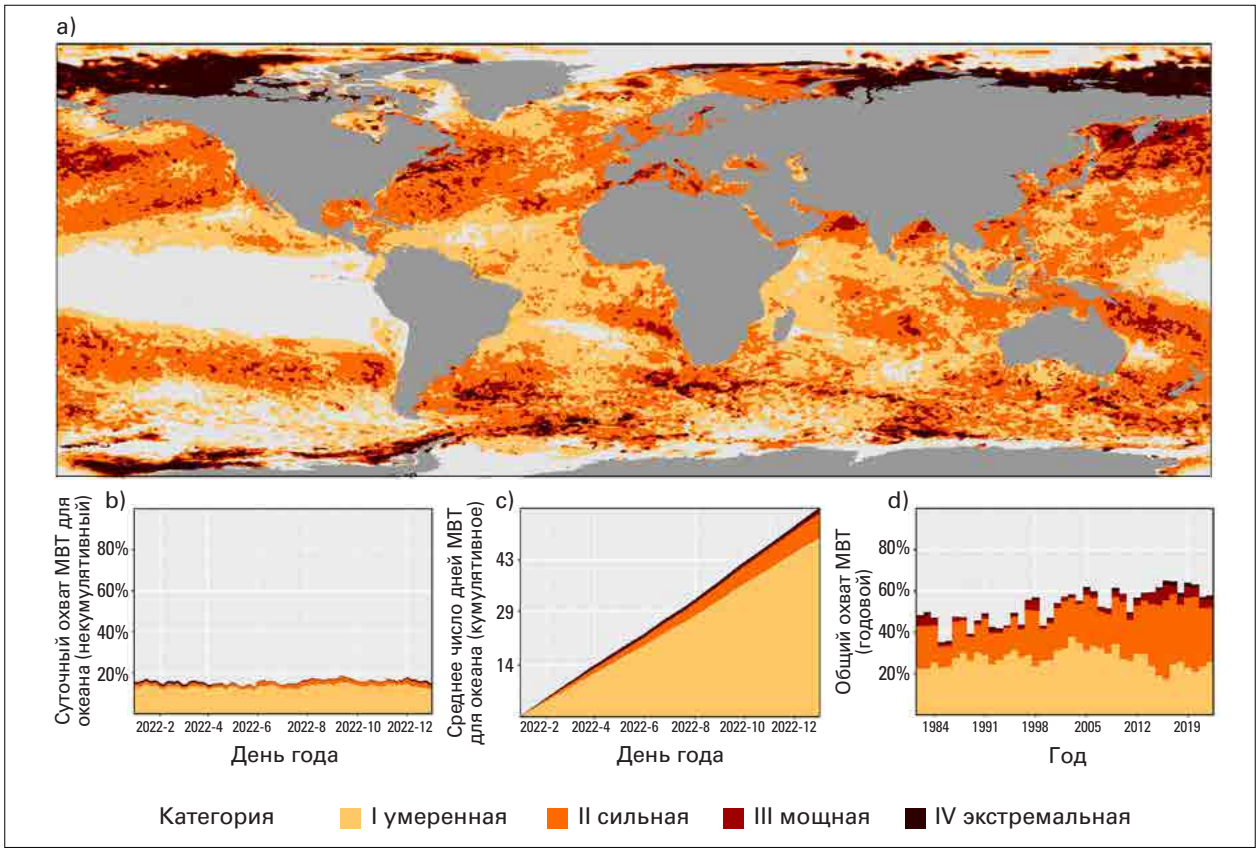


Figure 9. a) Глобальная карта, показывающая наивысшую категорию МВТ (определения см. в разделе «Наборы данных и методы»), наблюдавшуюся в каждом пикселе (разрешение 0,25° x 0,25°) в 2022 г. (базовый период 1982–2011 гг.). Светло-серый цвет означает, что за весь год в пикселе не было зафиксировано ни одной МВТ. b) Диаграмма с накоплением, показывающая процент поверхности океана, на которой в любой данный день года наблюдалась МВТ. c) Диаграмма с накоплением, показывающая совокупное число дней МВТ, усредненное по поверхности океана.

Примечание: среднее значение рассчитывается путем деления взвешенной кумулятивной суммы дней МВТ/пиксель на площадь поверхности этих пикселей. d) Ежегодная общая площадь поверхности океана, на которой наблюдалась МВТ в период с 1982 по 2022 г. Данные набора NOAA OISST (Оптимальной интерполяции температуры поверхности моря, Национальное управление по исследованию океанов и атмосферы).

Источник: Robert Schlegel.

[21] Smith, K. E.; Burrows, M. T.; Hobday, A. J. et al. Biological Impacts of Marine Heatwaves. *Annual Review of Marine Science* **2023**, 15 (1), 119–145. https://doi.org/10.1146/annurev-marine-032122-121437.

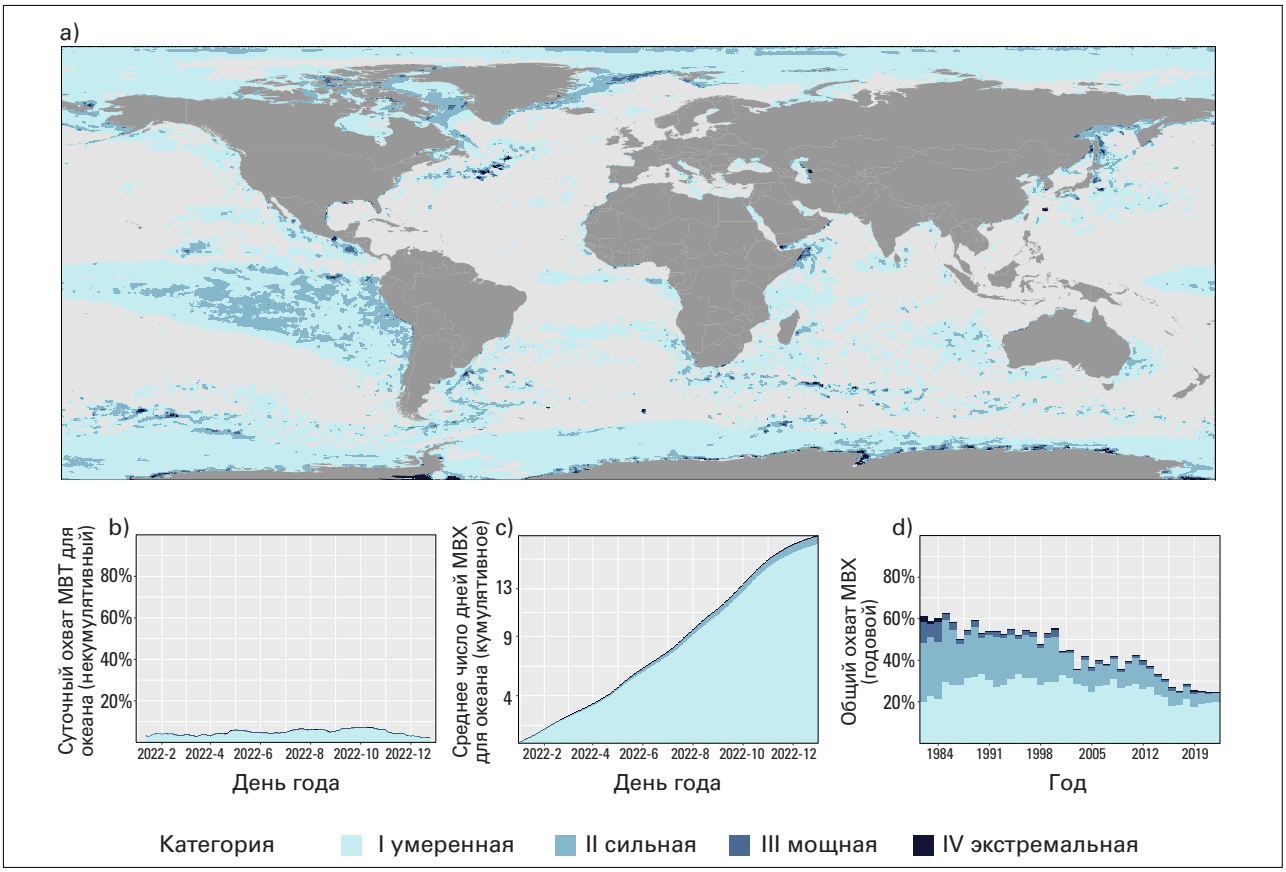


Рисунок 10. Как и на рис. 9, но показаны МВХ, а не МВТ. Данные набора NOAA OISST.

Источник: Robert Schlegel.

Ла-Нинья и связанные с ней ТПМ ниже среднего означают, что экваториальная часть Тихого океана была одним из немногих районов океана, где в 2022 году наблюдались широко распространенные сильные МВХ (рис. 10). Южный океан, однако, является единственным регионом, в котором наблюдается долгосрочное увеличение продолжительности МВХ, хотя и в ограниченных районах[22]. В Арктике в морях Лаптевых и Бофорта с весны по осень 2022 года наблюдались мощные и экстремальные МВТ. У кромки льда к северу от Шпицбергена и к востоку от моря Росса второй год подряд наблюдаются заметные экстремальные значения МВТ.

ЗАКИСЛЕНИЕ ОКЕАНА

С 1960 по 2021 год океан поглощал около 25 % ежегодных выбросов антропогенного CO_2 в атмосферу, тем самым помогая частично смягчить последствия изменения климата[23]. Однако негативное воздействие на океан велико; CO_2 вступает в реакцию с морской водой, что приводит к снижению pH океана, называемому закислением. Закисление океана угрожает организмам и экосистемным услугам[24]. По мере повышения кислотности океана снижается его способность

[22] Wang, Y.; Kajtar, J. B.; Alexander, L. V. et al. Understanding the Changing Nature of Marine Cold-spells. *Geophysical Research Letters* **2022**, *49*, e2021GL097002. https://doi.org/10.1029/2021GL097002.

[23] Friedlingstein, P.; O'Sullivan, M.; Jones, M. W. et al. Global Carbon Budget 2022, *Earth System Science Data* **2022**, *14*, 4811–4900. https://doi.org/10.5194/essd-14-4811-2022.

[24] Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК), 2019: Резюме для политиков. Специальный доклад МГЭИК об океане и криосфере в условиях изменяющегося климата, https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2020/07/SROCC_SPM_ru.pdf.

поглощать CO_2 из атмосферы, что потенциально препятствует роли океана в сдерживании изменения климата[25]. Значимость закисления океана отражена в показателе 14.3.1 цели в области устойчивого развития (ЦУР)[26], и в настоящее время предпринимаются глобальные усилия по мониторингу закисления.

Ограниченный объем долгосрочных наблюдений в открытом океане показал снижение pH (рис. 11, слева), причем с конца 1980-х среднее изменение глобального pH поверхности океана составляло 0,017—0,027 единиц pH в десятилетие[27]. В ОД6 МГЭИК содержится вывод о том, что «существует очень высокая степень достоверности, что pH поверхности открытого океана в настоящее время является самым низким за последние 26 000 лет, а текущие темпы изменения pH беспрецедентны, по крайней мере, с того времени»[28]. Наблюдения за закислением океана в прибрежных районах представляют более разнообразную картину (рис. 11, справа), что объясняется сложным взаимодействием таких факторов, как приток пресной воды, биологическая активность и антропогенное воздействие в прибрежных морских зонах.

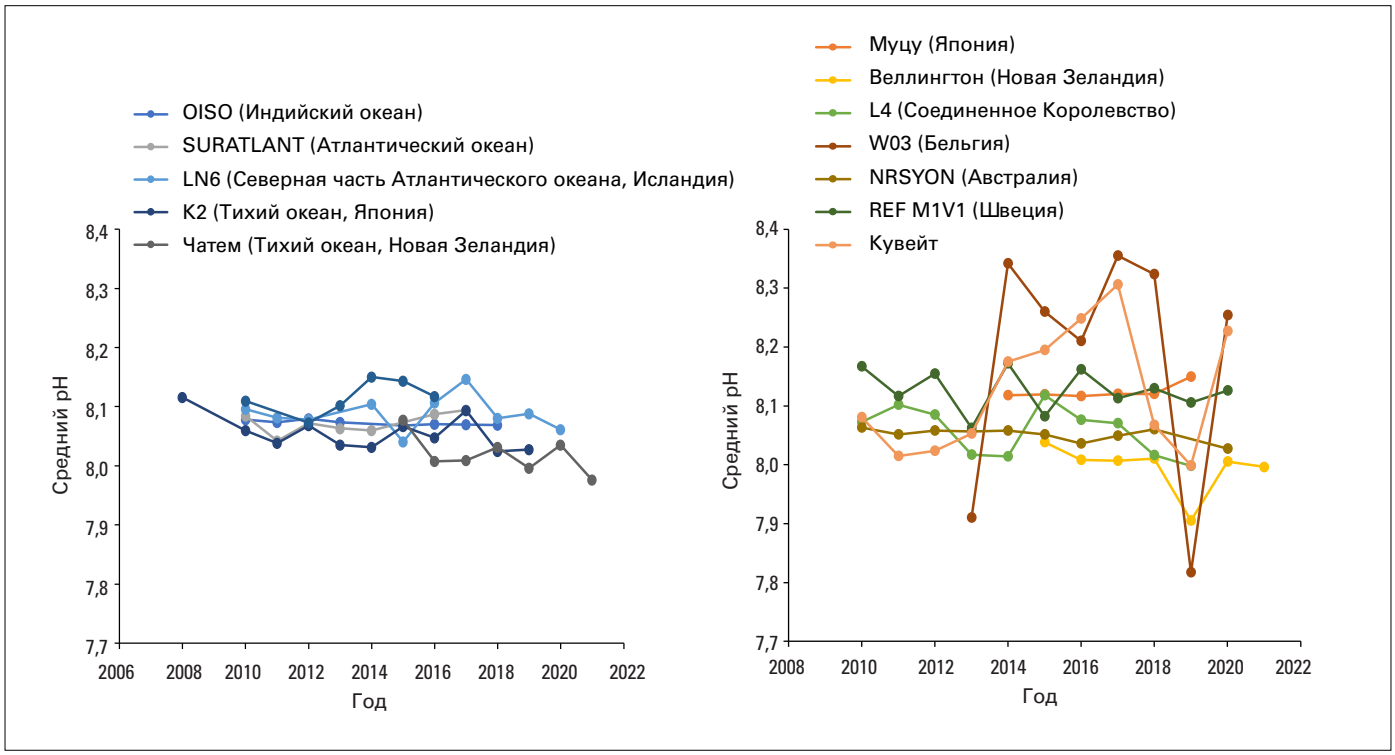


Рисунок 11. Изменения среднегодовых значений pH на основе данных ряда репрезентативных станций отбора проб в открытых водах, 2008–2021 гг. (слева) и в прибрежных водах, 2010–2021 гг. (справа). Подробную информацию о станциях см. в разделе «Наборы данных и методы».

Источник: IOC/UNESCO.

[25] Gruber, N.; Bakker, D. C. E.; DeVries, T. et al. Trends and Variability in the Ocean Carbon Sink. *Nature Reviews Earth and Environment* **2023** *4*, 119–134. https://doi.org/10.1038/s43017-022-00381-x.

[26] Показатель ЦУР 14.3.1 находится в ведении Межправительственной океанографической комиссии (МОК) Организации Объединенных Наций по вопросам образования, науки и культуры (ЮНЕСКО).

[27] Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК), 2019: Резюме для политиков. Специальный доклад МГЭИК об океане и криосфере в условиях изменяющегося климата, https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2020/07/SROCC_SPM_ru.pdf.

[28] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis, Chapter 2, section 2.3.3.5 Ocean pH, https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/.

КРИОСФЕРА

Криосфера включает в себя замерзшие части Земли: ледники и ледяные щиты, морской лед, снег и многолетнюю мерзлоту. Негостеприимная и часто удаленная среда, в которой они образуются, означает, что проводить долгосрочные измерения этих явлений бывает непросто.

МОРСКОЙ ЛЕД

Протяженность арктического морского льда в 2022 году оставалась ниже среднего значения 1991—2020 годов в течение большей части года, при этом весенний месячный максимум составил 14,59 млн км² в марте 2022 года, что на 0,44 млн км² ниже многолетнего среднего значения (рис. 12). Минимальная месячная протяженность в сентябре составила 4,87 млн км², что на 0,71 млн км² меньше многолетнего среднего значения. Минимальная протяженность льда превышала средние минимальные значения за последнее десятилетие (2012—2021 гг.), что соответствует умеренному летнему периоду таяния арктического морского льда, но все еще занимает одиннадцатое место среди самых низких месячных значений протяженности льда за всю историю спутниковых наблюдений. Наименьшая суточная протяженность в этом году, 4,67 млн км², была зафиксирована 18 сентября 2022 года и стала десятой по величине годовой минимальной суточной протяженностью[29].

За последние 10 лет площадь морского льда в Антарктике достигала как рекордных максимумов (2014 год), так и рекордных минимумов (2017—2022 годы). 25 февраля 2022 года протяженность антарктического морского льда снизилась до минимума за всю историю наблюдений, 1,92 млн км², что на 1 млн км² ниже среднего многолетнего значения (1991—2020 гг.)[30]. Истоки потери льда можно проследить до октября/ноября 2021 года, когда к западу от Антарктического полуострова прошла серия штормов. Этот район находится под сильным влиянием Эль-Ниньо/Южное

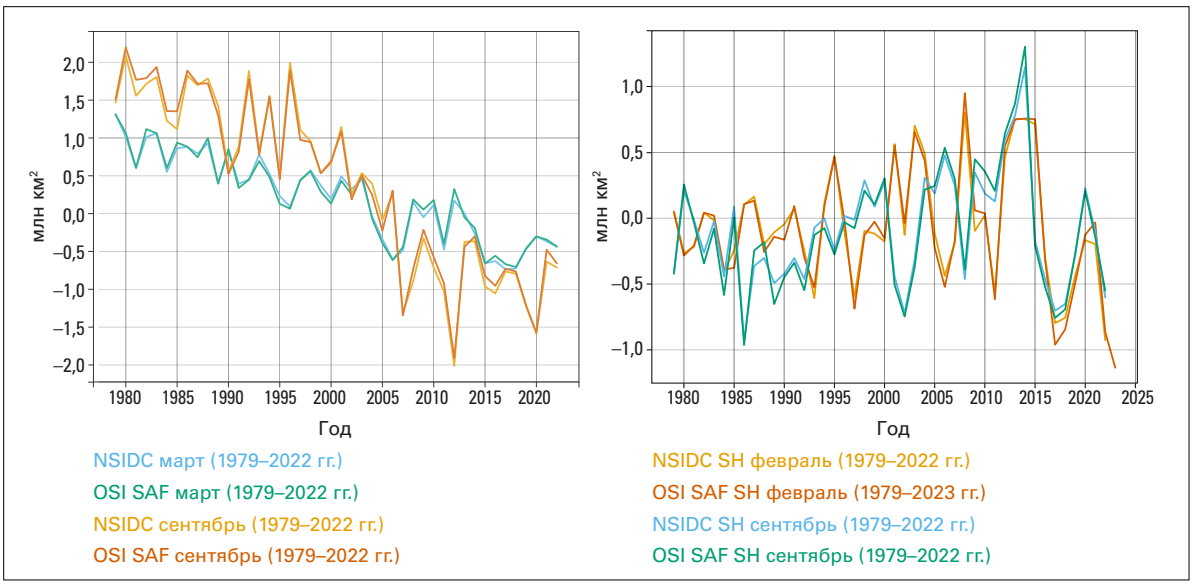


Рисунок 12. Аномалии протяженности морского льда с 1979 по 2022 г. (относительно среднего значения 1991–2020 гг.) для Арктики (слева) и Антарктики (справа). Синими/зелеными линиями показаны аномалии годовой максимальной протяженности льда (март или сентябрь), а оранжевые/красные линии соответствуют годовой минимальной протяженности льда (сентябрь или февраль).

Источник: данные EUMETSAT OSI SAF v2p1 and National Snow и Ice Data Centre (NSIDC) v3 (Fetterer et al., 2017) (см. подробности в разделе «Наборы данных и методы»).

---

[29] https://nsidc.org/arcticseaicenews/2022/09/arctic-sea-ice-minimum-ties-tenth-lowest/

[30] Turner, J.; Holmes, C.; Caton Harrison, T. et al. Record Low Antarctic Sea Ice Cover in February 2022. *Geophysical Research Letters* **2022**, *49*, e2022GL098904. https://doi.org/10.1029/2022GL098904.

колебание (ЭНЮК), и штормы соответствуют сложившимся в то время условиям Ла-Нинья. Южные ветры со скоростью до 30 м·с$^{-1}$ отогнали морской лед от побережья Западной Антарктиды, создав область открытой воды площадью 1 млн км^2, известную как полынья. Открытый океан быстро нагревался под летним солнцем, что вело к дальнейшей убыли морского льда.

По достижении ежегодного минимума протяженности в феврале общая площадь антарктического морского льда оставалась неизменно ниже среднего 30-летнего уровня (1991—2020 гг.) вплоть до конца 2022 года, включая периоды с рекордными для июня и июля минимумами. Максимальная годовая протяженность антарктического морского льда в октябре 2022 года была на 0,8 млн км^2 ниже среднего максимального значения.

ЛЕДНИКИ

Ледники формируются из снега, который, уплотняясь, образует лед, который затем деформируется и стекает вниз на более низкие и теплые высоты, где он тает. Если ледники выходят в озеро или океан, потеря льда также происходит за счет таяния при контакте льда и воды и за счет обрушения частей ледника.

В 2021/22 гидрологическом году примерно 40 ледников, по которым у Всемирной службы мониторинга ледников имеются данные многолетних наблюдений, имели средний баланс массы –1,18 м водного эквивалента (м в. э.)[31]. Эта потеря намного больше, чем в среднем за последнее десятилетие (рис. 13). Кумулятивный баланс массы с 1970 года составляет более 26 м в. э. Наблюдались сильные региональные различия: в европейских Альпах произошло рекордное таяние ледников (см. ниже), однако в Исландии и северной Норвегии наблюдался определенный прирост массы, связанный с большим, чем в среднем, количеством осадков и относительно прохладным летом. Измерения на ледниках в высокогорной Азии[32], западной части Северной Америки, Южной Америке и некоторых частях Арктики также свидетельствуют о значительной потере массы ледников. Масштабное таяние ледников в большинстве регионов

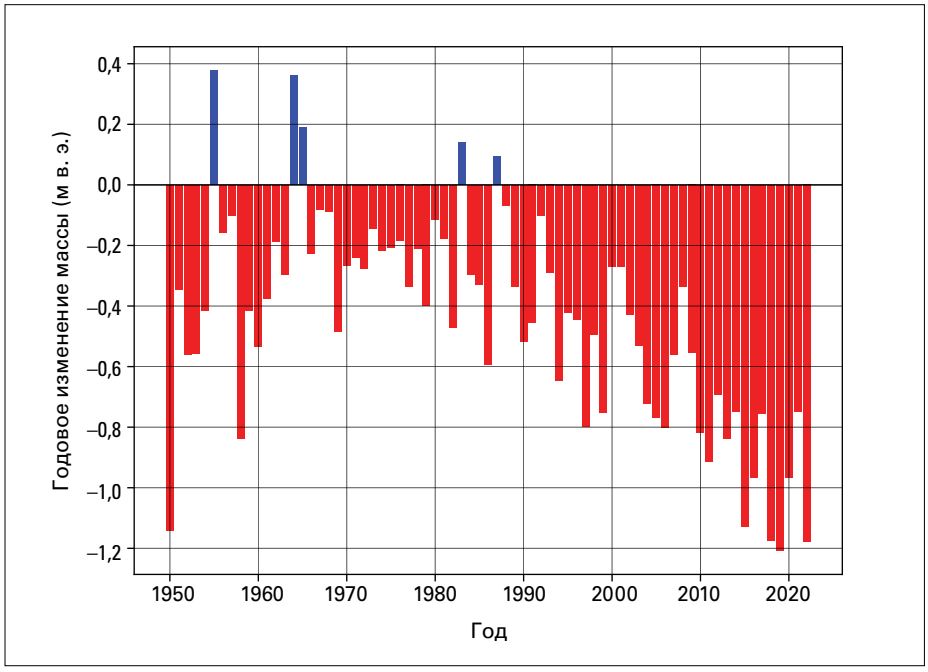


Рисунок 13. Глобальное годовое изменение массы в группе из примерно 40 эталонных ледников по всему миру за период 1950–2022 гг.

Источник: данные предоставлены Всемирной службой мониторинга ледников (www.wgms.ch)

[31] Единица измерения м в.э. представляет собой глубину воды, которую можно получить, растопив снег или лед и заполнив им географическую территорию, покрытую ледниками.

[32] Под высокогорной Азией понимаются высокогорные районы Азии, включая Тибетское нагорье, которые простираются от Гиндукуша и Тянь-Шаня на западе до самой восточной части Гималаев.

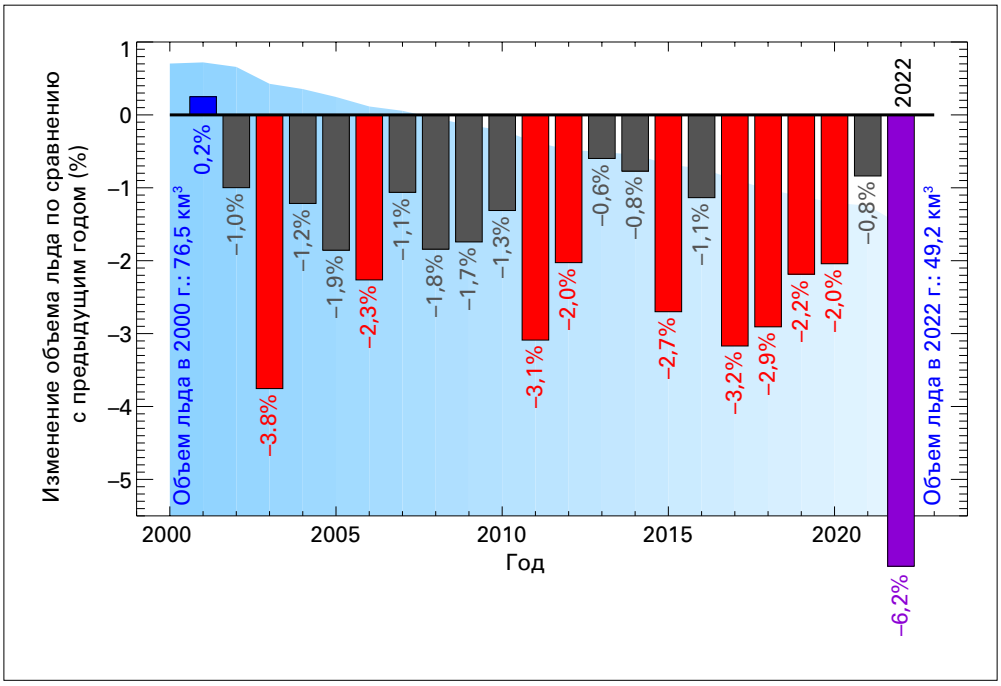


Рисунок 14. Общая ежегодная убыль ледников в Швейцарии относительно текущего объема льда, 2002–2022 гг. Вертикальные столбцы показывают процентное изменение объема льда по сравнению с предыдущим годом. Красные и фиолетовые столбцы представляют собой 10 самых больших относительных потерь массы за всю историю наблюдений. Фиолетовым столбцом представлена относительная потеря массы для 2022 года. Синяя затененная область на заднем плане представляет собой общий объем льда.

Источник: Маттиас Хусс на основе данных Glacier Monitoring Switzerland, 2022: *Swiss Glacier Mass Balance (Release 2022)*, https://doi.org/10.18750/massbalance.2022.r2022.

в 2022 году согласуется с долгосрочным ускорением потери массы ледников: шесть из десяти лет с самым высоким отрицательным балансом массы, включая 2022 год, пришлись на период с 2015 года.

В европейских Альпах в 2022 году предыдущие рекорды потери массы ледников были побиты с большим отрывом. Потери массы вышли далеко за пределы исторической изменчивости[33]. По всей территории Альп были зафиксированы средние изменения толщины от 3 до более 4 метров, что значительно больше, чем в предыдущем рекордном 2003 году. В Швейцарии в период с 2021 по 2022 год было потеряно 6 % объема льда ледников (рис. 14). Существует три причины, объясняющие такое экстремальное таяние ледников. Во-первых, зима была почти бесснежной, что означало, что в начале лета лед был незащищен. Во-вторых, в марте 2022 года в Альпы принесло пыль из Сахары. Пыль затемнила поверхность снега (уменьшила его альбедо), увеличив, соответственно, поглощаемое им солнечное тепло, что еще больше ускорило таяние снега. В-третьих, к масштабной потере льда привели волны тепла в период с мая по начало сентября 2022 года. Снег на ледниках начал таять примерно на месяц раньше, чем обычно, и впервые в истории снега не сохранилось по окончании летнего сезона таяния даже в самых высоких точках измерений, а значит, не произошло накопления свежего льда. В период с 2001 по 2022 год объем льда швейцарских ледников сократился с 77 км³ до 49 км³, то есть более чем на треть.

Летом нулевая температурная отметка в европейских Альпах поднялась на высоту более 5000 метров над уровнем моря. При подъеме метеорологического зонда 25 июля в Пайерне в Швейцарии 0 °C был зафиксирован на высоте 5184 м, что стало самым высоким показателем за 69 лет наблюдений и вторым случаем, когда отметка в ноль градусов была зафиксирована на высоте, превысившей 5000 м[34]. Новые рекордные температуры были зафиксированы на вершине Монблана. Из-за жары наблюдались сильные камнепады; ледниковая лавина и обрушение ледника, вызванные талыми водами в Мармоладе, Италия, унесли жизни 11 альпинистов.

[33] Хотя самые старые записи были сделаны более 100 лет назад, систематические долгосрочные наблюдения на ряде других ледников начались в 1950-х годах.

[34] https://www.meteoschweiz.admin.ch/dam/jcr:f8acdbc9-ba7e-4ddb-ae70-8404f5374632/alpenklima_DE_20221205.pdf

В 2022 году ледники западной части Северной Америки потеряли массу, аналогичную среднему балансу массы за последние два десятилетия. Однако в начале осени 2022 года в этом регионе (так же, как и в Гренландии, см. ниже) наблюдался нетипичный отрицательный баланс массы, связанный с высокими температурами в сентябре и октябре. В течение этих месяцев ледники на юго-западе Канады оставались свободными от снега и потеряли еще ~0,6 м в. э. льда, что приблизительно удвоило чистую годовую потерю массы с этих ледников за гидрологический год с сентября 2021 по август 2022 года после завершения сезона. Такая потеря массы не учитывается в ходе типичных полевых кампаний, в которых исследуются изменения в конце летнего сезона таяния, например, в начале сентября.

ЛЕДЯНЫЕ ЩИТЫ

Ледяной щит[35] — это лед на суше, площадь которого превышает 50 000 км^2. В современном климате существуют два ледяных щита: Гренландский ледяной щит и Антарктический ледяной щит. Полный баланс массы (TMB) ледяного щита представляет собой сумму трех компонентов: поверхностного баланса массы (SMB), морского баланса массы (MMB) и базального баланса массы (BMB). SMB — это разность между накоплением снега и стоком талой воды с ледяного щита. MMB — это потеря массы на кромке ледяного щита в результате откалывания айсбергов и таяния льда, соприкасающегося с океаном. BMB заключается в таянии у ложа ледяного щита под воздействием геотермального тепла и трения при скольжении льда по земле под ним. Отрицательный баланс массы указывает на потерю массы льда; положительный баланс массы указывает на прирост.

Для Гренландского ледяного щита[36], расчетный TMB в 2022 году баланса массы (с 1 сентября 2021 года по 31 августа 2022 года) составил –85 Гт[37], что является чистым сокращением массы льда. SMB 2021—2022 гг. составил около 420 Гт, что является десятым по величине значением в наборе данных (1980—2022 гг.) (рис. 15). Тем не менее, у Гренландского ледяного щита двадцать шестой год подряд наблюдался отрицательный TMB, в основном из-за сильного

Рисунок 15. Компоненты полного баланса массы (TMB) Гренландского ледяного щита, 1987–2022 гг. Синий: поверхностный баланс массы (SMB); зеленый: морской баланс массы (MMB); оранжевый: базальный баланс массы (BMB); красный: TMB, сумма SMB, MMB и BMB.

Источник: Mankoff et al. (2021), обновлено M. Stendel, DMI.

[35] https://www.ipcc.ch/srocc/chapter/glossary/

[36] Основано на среднем значении трех региональных моделей климата и баланса массы. См. Mankoff, K. D.; Fettweis, X.; Langen, P.L. et al. Greenland Ice Sheet Mass Balance from 1840 through Next Week. *Earth System Science Data* **2021**, *13*, 5001–5025. https://doi.org/10.5194/essd-13-5001-2021

[37] Гигатонна (Гт) равна 1 000 000 000 тонн; 1 Гт льда соответствует объему около 1,09 км^3.

отрицательного ММВ в –480 Гт. Независимое измерение ТМВ доступно с 2002 года благодаря спутниковым миссиям GRACE и GRACE Follow-on (FO). Данные GRACE-FO свидетельствуют о ТМВ в –305 Гт (рис. 17a), что намного больше потери массы согласно оценке региональных моделей баланса массы, –85 Гт. Это обусловлено применением различных методов, и, кроме того, может учитывать дополнительные потери массы в сентябре, зафиксированные GRACE-FO.

В 2022 году сезоны таяния и абляции в Гренландии начались поздно, и лето было относительно прохладным по сравнению с предыдущими годами. Однако в конце июля 2022 года наблюдался период высоких температур с интенсивным таянием на больших участках ледяного щита. Сентябрь 2022 года также был необычайно теплым, с аномальным таянием на протяжении всего месяца (рис. 16). На станции «Верхний лагерь», самой высокой точке Гренландии (высота 3200 м), сентябрь стал самым теплым в истории наблюдений (с 1991 года); 3 сентября 2022 года, впервые в этом месяце, здесь наблюдались условия таяния[38]. Позже в сентябре на ледяной щит обрушился сильный дождь, связанный с пост-тропическим циклоном «Фиона», что также произошло впервые в сентябре. Сентябрьская потеря массы не включена в приведенные выше –85 Гт, поскольку концом сезона таяния в Гренландии условно считается 31 августа.

Рисунок 16. Площадь таяния Гренландского ледяного щита в течение сезона таяния 2022 г.

Источник: любезно предоставлено NSIDC. Изображение и анализ любезно предоставлены Томасом Моте, Университет Джорджии.

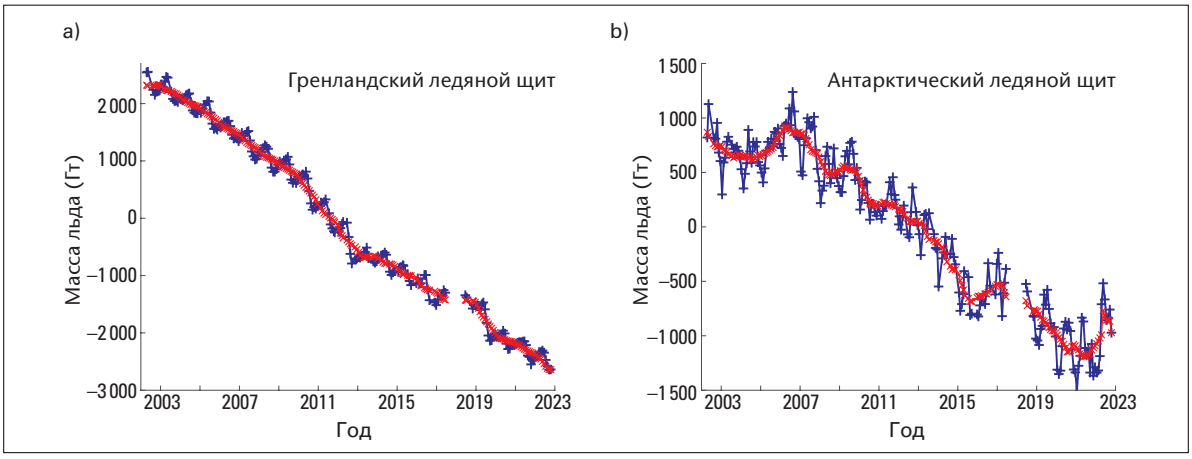


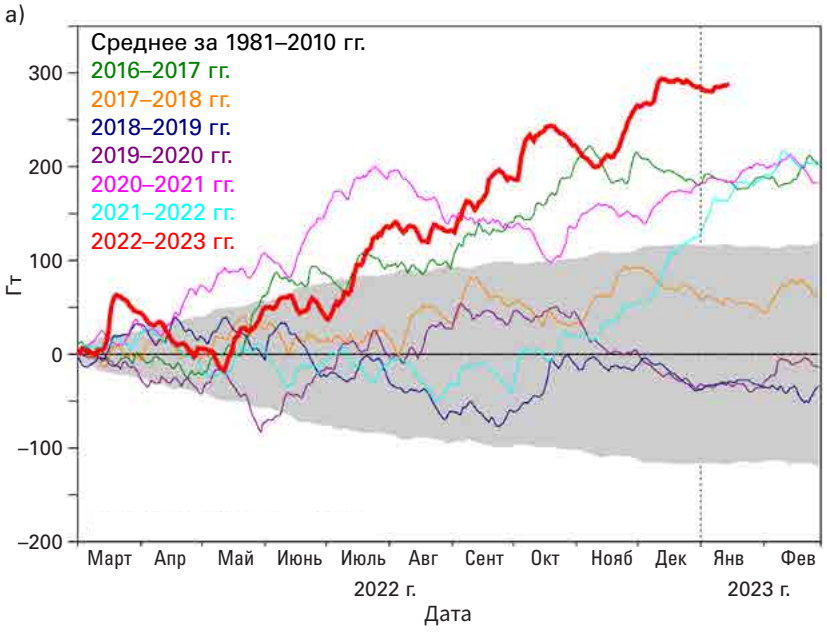
Рисунок 17. a) данные миссий НАСА GRACE и GRACE-FO о балансе массы a) Гренландского и b) Антарктического ледяных щитов, 2002–2022 гг. Исходные данные GRACE (приблизительно ежемесячные) показаны синим цветом, а красные символы отображают скользящее среднее за 13 месяцев, которое сглаживает сезонный цикл и часть шума в сигнале, лучше отражая годовой баланс массы.

Источник: данные и анализ любезно предоставлены Изабеллой Великонья, Калифорнийский университет, Ирвайн.

[38] https://nsidc.org/greenland-today/

У Антарктического ледяного щита также имеется долгосрочная тенденция потери массы, со средней скоростью изменения массы –117 ± 57 Гт в год за период наблюдений со спутника GRACE, с апреля 2002 года по октябрь 2022 года (рис. 17b). В 2022 году Антарктический ледяной щит отклонился от этой долгосрочной тенденции и набрал массу, при этом изменение массы с января по октябрь 2022 года оценивается в +110 Гт. Годы с положительным TMB не являются необычными в наблюдениях со спутника GRACE (см., например, 2004, 2005 и 2016 гг.), однако предварительные результаты за период до октября 2022 года указывают на то, что ледяной щит пережил наибольший прирост массы с 2005 года.

Увеличение массы произошло в результате аномально обильных снегопадов и SMB (рис. 18). С марта по декабрь 2022 года накопление снега превысило норму почти на 300 Гт, что связано с более высокими, чем обычно, температурами и большим количеством снега на западе Антарктического полуострова, Земле Уилкса и большей части Восточно-Антарктического плато (рис. 18c). Антарктический ледяной щит всегда имеет положительный SMB (больше накопления снега, чем таяния), который компенсируется таянием при контакте с океаном и айсберговым стоком. Последнее сокращение массы в Антарктике (рис. 17b), составляющее около –100 Гт в год, обусловлено высокими темпами таяния при контакте с океаном и айсберговым стоком на побережье моря Амундсена. Прирост SMB в размере около 300 Гт оказался достаточен для компенсации, что привело к положительному значению TMB в 2022 году.



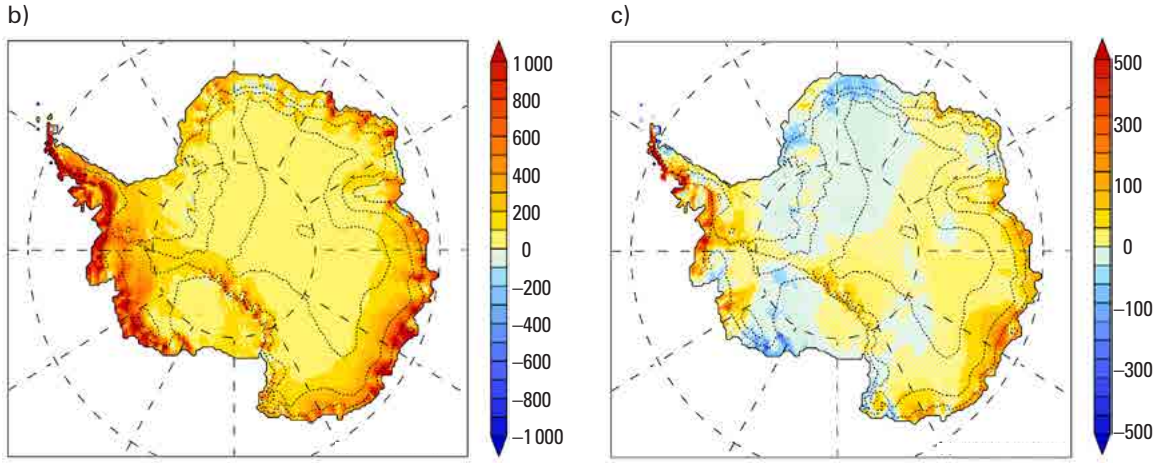


Рисунок 18. Поверхностный баланс массы (SMB) Антарктического ледяного щита в 2022 году, основанный на региональной климатической модели MAR, с последующим климатическим реанализом ERA5. a) Накопленная аномалия поверхностного баланса массы относительно среднего значения за 1981–2010 гг. (Гт) Серым цветом обозначено стандартное отклонение долгосрочного ряда наблюдений. На графиках b) и c) показана пространственная диаграмма SMB и аномалии (мм в. э.) за период с 1 марта 2022 г. по 10 января 2023 г.

Источник: изображение и анализ любезно предоставлены Ксавье Феттвейсом, Университет Льежа, и NSIDC.

СНЕЖНЫЙ ПОКРОВ

В Северном полушарии отмечается долгосрочное снижение сезонного снежного покрова в конце весны и летом. Площадь снежного покрова (ПСП) в 2022 году приближалась к среднему значению за 2001—2020 гг. и соответствовала вышеупомянутой долгосрочной тенденции. По итогам анализа продукта Rutgers northern hemisphere SCE[39] среднесуточная ПСП в снежный сезон с августа 2021 по июль 2022 года была на 2,5 % ниже среднего значения за 2001—2020 годы, с наибольшими аномалиями в июне 2022 года, когда протяженность снежного покрова составила –1,68 млн км^2, что на 21 % ниже среднего. Сокращение площади снежного покрова весной в Северном полушарии обнаруживается во всех наборах данных. В июне 2022 года протяженность снежного покрова ниже среднего была обусловлена тем, что снежный покров был ниже нормы как в Северной Америке, так и в Евразии: июньские значения ПСП находились на втором и третьем месте среди самых низких за период 1967—2022 гг.[40] соответственно.

МНОГОЛЕТНЯЯ МЕРЗЛОТА

Многолетняя мерзлота — это грунт (почва и горная порода), температура которого по меньшей мере два года подряд остается ниже 0 °C. Многолетняя мерзлота может содержать значительное количество льда, а ее потепление и таяние может иметь существенные последствия для стабильности ландшафта, гидрологии, экосистем и целостности инфраструктуры. В замерзшей почве также может содержаться углерод, который может высвобождаться при оттаивании, оказывая воздействие на концентрацию ПГ и климатические обратные связи. В докладе РГ I ОД6 МГЭИК содержится вывод о том, что «повышение температуры многолетней мерзлоты в верхних 30 м наблюдается с начала программ наблюдений в течение последних трех-четырех десятилетий во всех регионах многолетней мерзлоты (*высокая степень достоверности*)»[41].

Замеры температуры многолетней мерзлоты делаются в многочисленных скважинах по всей Арктике, причем на некоторых участках — на протяжении более четырех десятилетий. Температура на глубине, находящейся на уровне минимальных сезонных изменений или близком к нему, указывает на потепление многолетней мерзлоты с 1970-х годов (рис. 19),

Рисунок 19. Средние отклонения температуры многолетней мерзлоты (измеренной в верхних 20–30 метрах) с 1974 по 2022 годы от базового уровня, установленного во время Международного полярного года (2007–2009 гг.), для арктических регионов.

См. Smith et al., 2022 (сноска 42), о расположении участков в каждом регионе и темпах изменения температуры на отдельных участках. Некоторые участки были созданы после 2000 года.

[39] https://snowcover.org

[40] Mudryk, L.; Chereque, A. E.; Derksen, C. et al. Terrestrial Snow Cover. In *Arctic Report Card 2022;* Druckenmiller, M. L.; Thoman, R. L.; Moon, T. A., Eds.; National Oceanic and Atmospheric Administration, 2022. https://doi.org/10.25923/yxs5-6c72.

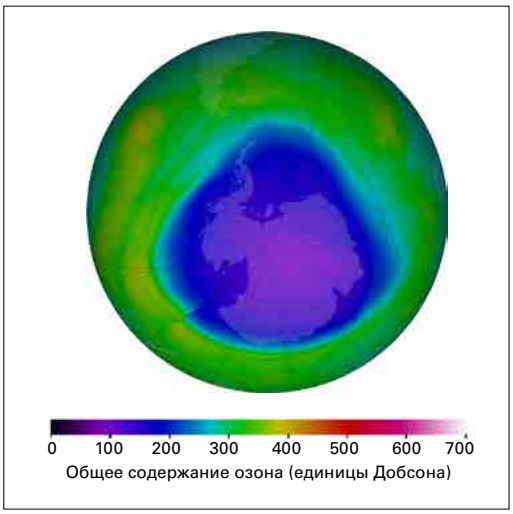
[41] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis, Chapter 2, section 2.3.2.5, Terrestrial Permafrost, *https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/*.

и согласно последним доступным данным, на многих участках зафиксированы рекордно высокие значения[42]. Более высокие темпы потепления многолетней мерзлоты (от 0,4 до 0,6 °C за десятилетие) обычно характерны для более холодной многолетней мерзлоты (< –2 °C) западной части североамериканской Арктики, высоких широт канадской Арктики, региона северных стран и Российской Федерации/Сибири. В более теплой многолетней мерзлоте с температурой, близкой к 0 °C, в таких регионах, как внутренние районы Аляски и центральная часть долины Маккензи в Канаде, темпы потепления были более низкими (< 0,2 °C за десятилетие). Более медленный темп повышения температуры обусловлен фазовым переходом при таянии подземного льда. Хотя изменение температуры во времени может быть незначительным, когда температура многолетней мерзлоты приближается к 0 °C, таяние грунтового льда оказывает большое влияние на прочность почвы и устойчивость грунта.

Толщина деятельного слоя (ТДС) — это максимальная толщина сезонно оттаивающего поверхностного слоя. Глубина деятельного слоя растет во всем мире. Из всех арктических регионов тенденция к увеличению была наименее выраженной в регионе моря Бофорта и Чукотского моря, где рост составил < 0,3 см в год в период с 2000 по 2021 год. Ситуация во внутренних районах Аляски и Канады совершенно иная, там ТДС увеличивается на 0,9 см в год. С 2018 по 2021 год глубина оттаивания была значительно больше средней, а ТДС в 2021 году была второй по величине (после 2020 года) за период с 2000 года. ТДС в горных районах сильно варьируется. На участках Европейских Альп наблюдается увеличение ТДС (> 1 см в год), в то время как в Норвежских Альпах значимость тенденции ничтожно мала. В Антарктике мало активных участков, и имеющиеся данные свидетельствуют об относительно небольших изменениях, однако с 2013 года ТДС на Антарктическом полуострове увеличилась.

СТРАТОСФЕРНЫЙ ОЗОН И ОЗОНОРАЗРУШАЮЩИЕ ГАЗЫ

Благодаря успеху Монреальского протокола, как сообщалось, производство и потребление галонов и хлорфторуглеродов (ХФУ) было прекращено, но их уровни в атмосфере продолжают отслеживаться. Ввиду продолжительного срока жизни ХФУ они будут сохраняться в атмосфере на протяжении многих десятилетий, и даже в отсутствие новых выбросов содержания хлора и брома было бы более чем достаточно, чтобы вызвать почти полное разрушение озона в нижней стратосфере над Антарктикой с августа по декабрь. В результате образование антарктической озоновой «дыры» продолжает происходить каждую весну, причем ее площадь



Искусственный цветной вид общего содержания озона над Южным полюсом 1 октября 2022 г. Фиолетовые и синие цвета указывают на области с наименьшим содержанием озона, а желтые и красные цвета показывают области с более высоким содержанием озона. Фильм, демонстрирующий изменение содержания озона на протяжении всего 2022 г., доступен по адресу: https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/ozone_maps/movies/OZONE_D2022-07-01%25P1D_G%5e360X240.IOMPS_PNPP_V21_MMERRA2_LSH.mp4.

[42] Smith, S. L.; O'Neill, H. B.; Isaksen, K. et al. The Changing Thermal State of Permafrost. *Nature Reviews Earth and Environment* **2022** *3*, 10–23. https://doi.org/10.1038/s43017-021-00240-1.

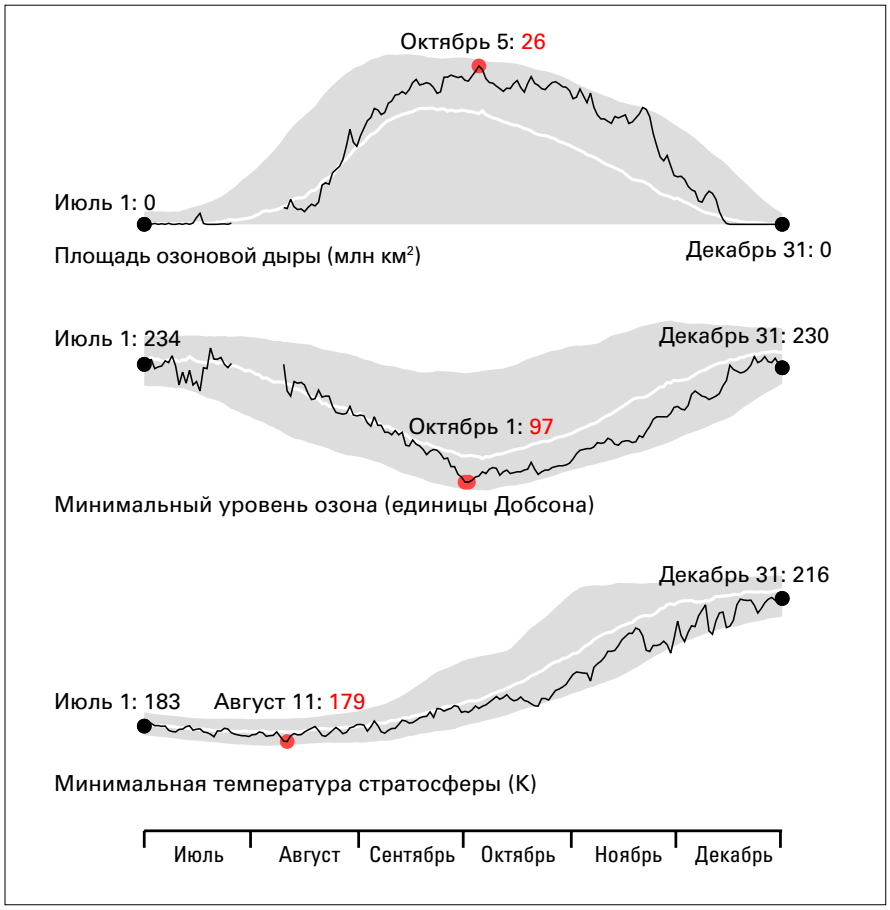


Рисунок 20. Вверху: Площадь озоновой дыры (млн км²). Посередине: Минимальный уровень озона (единицы Добсона). Внизу: Минимальная температура стратосферы (K) на уровне 50 гПа (высота ~20 км) с 1 июля по 31 декабря 2022 г. Красные числа указывают на наивысшее (площадь озоновой дыры) или наименьшее (минимальное содержание озона, минимальная стратосферная температура) значение для каждого показателя в течение сезона.

Источник: НАСА «Ozone Watch»

и глубина в значительной степени зависят от метеорологических условий. Это не дыра в строгом смысле, но область, где общее содержание озона в атмосферном столбе на уровне стратосферы опускается ниже 220 единиц Добсона.

Эволюция озоновой дыры в 2022 году была схожа с ее эволюцией в 2021 году. Дыра образовалась относительно рано и продолжала расти, в результате чего стала большой и глубокой. 5 октября она достигла 26 млн км², что сопоставимо с 2020 и 2021 годами и близко к максимальной площади, наблюдавшейся ранее, например, в 2015 году (28,2 млн км²) и 2006 году (29,6 млн км²)[43] (рис. 20). НАСА сообщило о минимальном содержании озона в атмосферном столбе, 97 единиц Добсона, 1 и 2 октября 2022 года. Концентрация стратосферного озона устойчиво снизилась до почти нулевых значений на высоте 15-20 км над Антарктидой в конце сентября 2022 года, что, наряду со значениями сезона 2021 года, является одним из самых низких показателей, когда-либо измеренных с помощью зондов на антарктических станциях[44]. Необычайно глубокая и большая озоновая дыра была вызвана сильным, устойчивым полярным вихрем и температурами в стратосфере ниже средних.

ОСАДКИ

Суммарное количество осадков превысило многолетнее среднее значение (1951—2000 гг.) в Северо-Восточной Азии, регионе западного индийского летнего муссона, Юго-Восточной Азии, на Морском континенте, в северных районах Южной Америки, в некоторых частях

[43] https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/

[44] Источник данных: Национальное управление по исследованию океанов и атмосферы (НУОА).

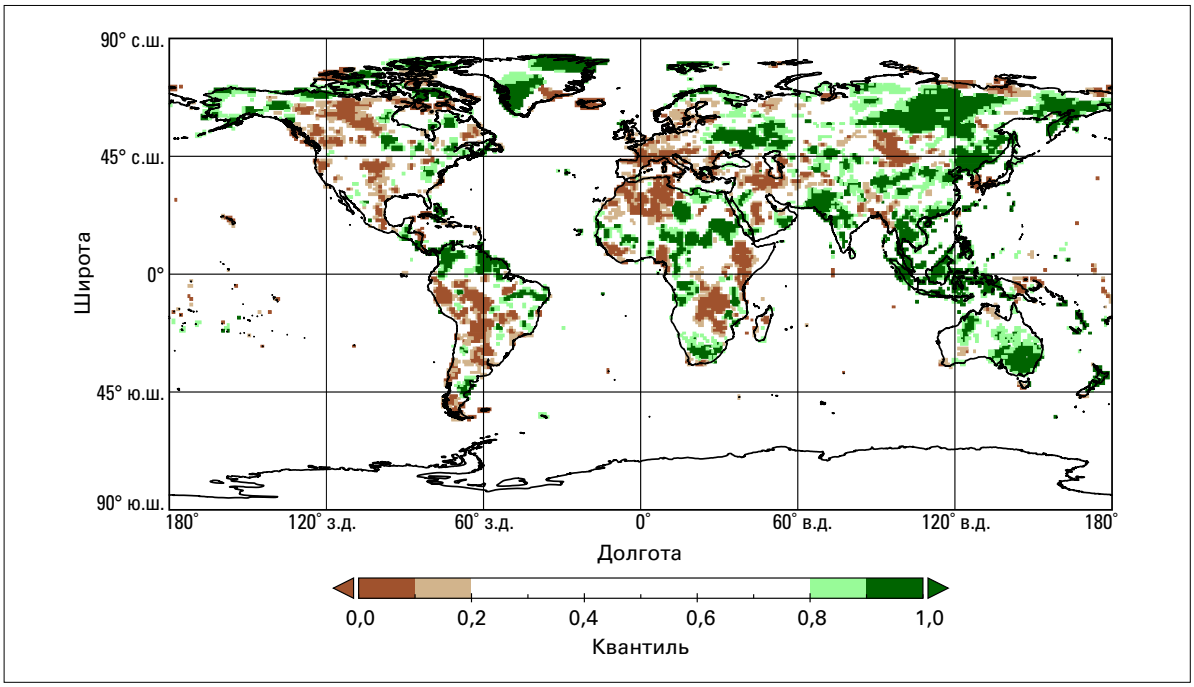


Рисунок 21. Общее количество осадков в 2022 г., выраженное в процентилях относительно базового периода 1951–2000 гг., для областей, которые были среди самых сухих 20 % (коричневый) и самых влажных 20 % (зеленый) лет в течение этого периода. Более темные оттенки коричневого и зеленого обозначают самые сухие и самые влажные 10 % соответственно.

Источник: Глобальный центр климатологии осадков (ГЦКО), Метеорологическая служба Германии

Северной Америки и Карибского бассейна, в восточной части Сахеля, в южной части Африки, Судане, Восточной Европе, Новой Зеландии и Австралии (рис. 21). Регионы с выраженным дефицитом дождевых осадков включают значительную часть Европы, Средиземноморский регион и Северо-Западную Африку, а также части Ближнего Востока, Центральную Азию и Гималаи, Восточную Африку и Мадагаскар, центральную и южную части Южной Америки, а также центральную и западную части Северной Америки (рис. 21).

В 2022 году индийский муссон наступил раньше, а отступил позже, чем обычно. На большей части индийского субконтинента условия были более влажные, чем в среднем, и муссон распространился дальше на запад, чем обычно, затронув Пакистан, где произошли масштабные наводнения. Наступление западноафриканского муссона задержалось, как и в 2021 году. Позднее, в сезон западноафриканского муссона, количество дождевых осадков превысило норму. В целом сезонное количество осадков было близко к норме, за исключением восточных и западных прибрежных районов.

КРАТКОСРОЧНЫЕ ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ КЛИМАТ

Климатические моды — это повторяющиеся закономерности, связанные, как правило, с давлением или температурой поверхности океана (ТПО), и обычно характеризующиеся отрицательными и положительными фазами, каждая из которых оказывают характерное влияние на распределение дождевых осадков, температуру и другие метеорологические элементы в масштабах времени от нескольких дней до сезонов и дольше.

В 2022 году два таких климатических режима — Эль-Ниньо/Южное колебание (ЭНЮК) и индоокеанский диполь (ИОД) — способствовали возникновению значительных погодных и климатических явлений на обширных территориях Земли. Примеры приводятся в следующих разделах.

ЭЛЬ-НИНЬО/ЮЖНОЕ КОЛЕБАНИЕ (ЭНЮК)

ЭНЮК является одним из наиболее важных движущих факторов, определяющих межгодовую изменчивость глобальных погодных режимов. Он связан с гидрометеорологическими опасными явлениями, такими как проливные дожди, паводки и засуха. Эль-Ниньо, характеризующийся более высокими, чем в среднем, значениями ТПО в восточной части тропической зоны Тихого океана и ослаблением пассатов в регионе, как правило, приводит к повышению глобальных температур. Ла-Нинья, для которой характерны температура ниже среднего в центральной и восточной частях тропической зоны Тихого океана и усиление пассатов, имеет противоположный эффект.

Условия Ла-Нинья возникли в середине 2020 года и сохранялись в 2021 году, при этом ТПО ненадолго стали нейтральными с точки зрения ЭНЮК (в пределах 0,5 °C от нормы), хотя все еще ниже средних в течение большей части лета в Северном полушарии. ТПО снова понизились, и Ла-Нинья вновь сформировалась в июле-сентябре 2021 года, быстро достигнув умеренной силы и сохранившись до конца 2022 года (рис. 22). Условия Ла-Нинья сохранялись третий год подряд[45], что стало третьим случаем за последние 50 лет, после 1973—1976 и 1998—2001 годов, когда наблюдалось явление, неофициально называемое «тройной» Ла-Нинья.

Помимо временного влияния на глобальную среднюю температуру Ла-Нинья часто, хотя и не всегда, ассоциируется с характерными режимами осадков. В некоторых регионах картина аномалий осадков в 2022 году была типичной для Ла-Нинья: более сухие, чем обычно, условия в Патагонии и на юго-западе Северной Америки и более влажные, чем обычно, на юге Африки, севере Южной Америки, на Морском континенте и в восточной части Австралии. В начале декабря недельная жара с засушливыми условиями и рекордными максимальными температурами охватила Аргентину, которая уже третий год подряд страдает от засухи. В то же время в некоторых районах южного и центрального Чили продолжается засуха, которая сохраняется уже более десяти лет[46]. Ла-Нинья также ассоциируется с более интенсивными и продолжительными муссонными осадками в Юго-Восточной Азии. В июле и августе в Пакистане выпали рекордные дождевые осадки. Ла-Нинья и отрицательная фаза ИОД связаны с более сухими, чем

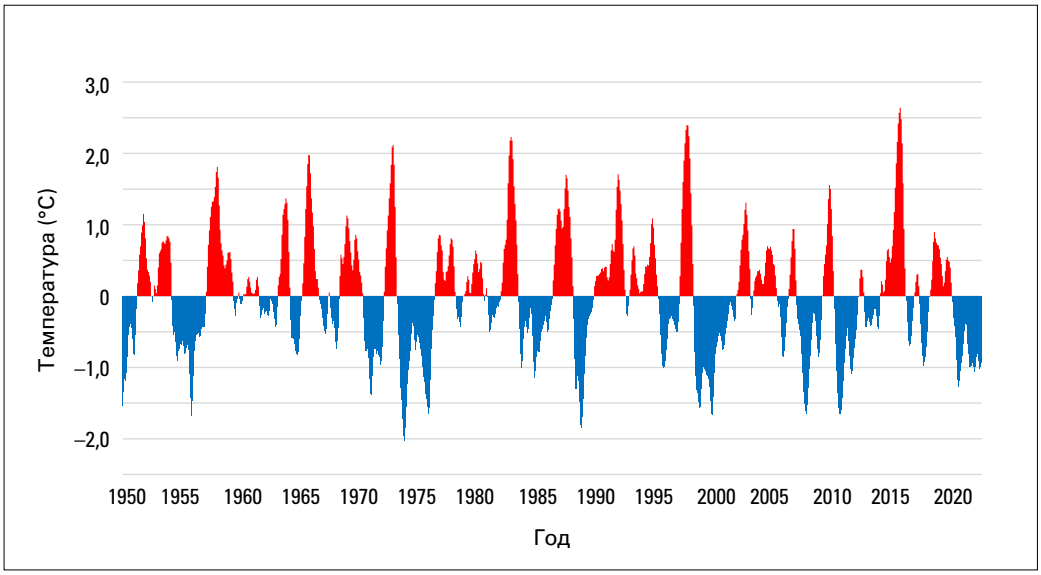


Рисунок 22. Временной ряд океанического индекса Ниньо НУОА с 1950 по декабрь 2022 г., показывающий наличие условий ниже среднего (синий цвет) и выше среднего (красный цвет) по трехмесячным периодам среднего значения.

Источник: Национальные центры информации об окружающей среде НУОА (НЦИОС НУОА)

[45] https://public.wmo.int/en/our-mandate/climate/el-ni%C3%B1o-la-ni%C3%B1a-update

[46] Garreaud, R. D.; Alvarez-Garreton, C.; Barichivich, J. et al. The 2010–2015 Megadrought in Central Chile: Impacts on Regional Hydroclimate and Vegetation. *Hydrology and Earth System Sciences* **2017**, *21*, 6307–6327. https://doi.org/10.5194/hess-21-6307-2017.

обычно, условиями в Восточной Африке[47]. В большинстве районов Кении, Эфиопии и Сомали уже пять сезонов подряд наблюдаются осадки ниже среднего, и это привело к серьезным гуманитарным последствиям.

Хотя Ла-Нинья обычно понижает глобальную температуру, со снижением температуры она ассоциируется не везде. В Новой Зеландии она обычно сопряжена с теплыми, влажными воздушными массами. В стране зафиксирована самая теплая и влажная зима за всю историю наблюдений и третья подряд зима с сезонным температурным рекордом, а 2022 год стал самым теплым за историю наблюдений, превысив на 0,2 °C рекорд, установленный в 2021 году.

ИНДООКЕАНСКИЙ ДИПОЛЬ

Положительная фаза ИОД характеризуется ТПО ниже средней в восточной части Индийского океана и выше средней — в его западной части. Отрицательная фаза представляет собой обратную картину. Возникающее в результате изменение градиента ТПО по всему бассейну океана оказывает влияние на погоду на окружающих континентах, в первую очередь в Южном полушарии. Положительные проявления ИОД часто, но не всегда связаны с Эль-Ниньо, а отрицательные — с Ла-Нинья.

Второй год подряд в ходе зимы в Южном полушарии наблюдался отрицательный ИОД. В сочетании с Ла-Нинья эта фаза способствовала влажным условиям на большей части территории Австралии в конце зимы Южного полушария и весной. Весна и октябрь в Новом Южном Уэльсе и Виктории стали самыми влажными за всю историю наблюдений, а весна в стране в целом — второй из самых влажных после весны 2010 года. От сильных весенних наводнений пострадало множество регионов, особенно обширные районы восточной Австралии. С началом лета в Южном полушарии ИОД из отрицательного вернулся к нейтральному.

Как отмечалось ранее, отрицательный ИОД в сочетании с Ла-Нинья способствовал сохранению засушливых условий в Восточной Африке. Более подробную информацию можно найти в разделах «Экстремальные явления» и «Социально-экономические последствия».

[47] См., например, Anderson, W.; Cook, B. I.; Slinski, K. et al. Multiyear La Niña Events and Multiseason Drought in the Horn of Africa, *Journal of Hydrometeorology* **2023**, *24* (1), 119–131. https://doi.org/10.1175/JHM-D-22-0043.1.

Экстремальные явления

Несмотря на значимость широкомасштабных изменений климата, воздействие погоды и климата наиболее отчетливо ощущается во время экстремальных явлений, таких как проливные дожди и снег, засухи, волны тепла и холода и штормы, включая тропические штормы и циклоны. Эти метеорологические и климатологические экстремальные явления по отдельности, в сочетании и в совокупности с другими факторами могут вызывать другие явления, такие как наводнения, оползни, лесные пожары и сложные экстремальные явления. Все вместе они оказывают широкомасштабное воздействие на антропогенные и природные системы. Настоящий раздел с описанием ряда экстремальных явлений за 2022 год в значительной степени основан на материалах, полученных от Членов ВМО. Более широкие социально-экономические риски и воздействия описаны в разделе «Социально-экономические последствия». Дополнительная информация получена из EM-DAT[48].

ЖАРА, ЗАСУХА И ЛЕСНЫЕ ПОЖАРЫ

Китай пережил самую обширную и продолжительную волну тепла с начала проведения национальных наблюдений: она продолжалась с середины июня до конца августа и привела к самому жаркому лету в истории наблюдений с превышением предыдущего рекорда более чем на 0,5 °C. Это лето также стало вторым самым засушливым за историю наблюдений, причем на большей территории южной части Китая (кроме провинции Гуандун) сезонное количество осадков было на 20—50 % ниже среднего. По всей стране в 366 населенных пунктах была зафиксирована самая высокая температура за всю историю наблюдений. Жара была особенно сильной в долине реки Янцзы, которая также пострадала от значительной засухи во время самого сухого лета в истории наблюдений. Уровень воды в реке Янцзы в Ухане упал до самого низкого для августа значения. В регионе также возникли многочисленные лесные пожары. В других регионах Восточной Азии наблюдались значительные волны тепла, включая рекордные девять последовательных дней, когда с 25 июня по 3 июля 2022 года температура воздуха в Токио превышала 35 °C.

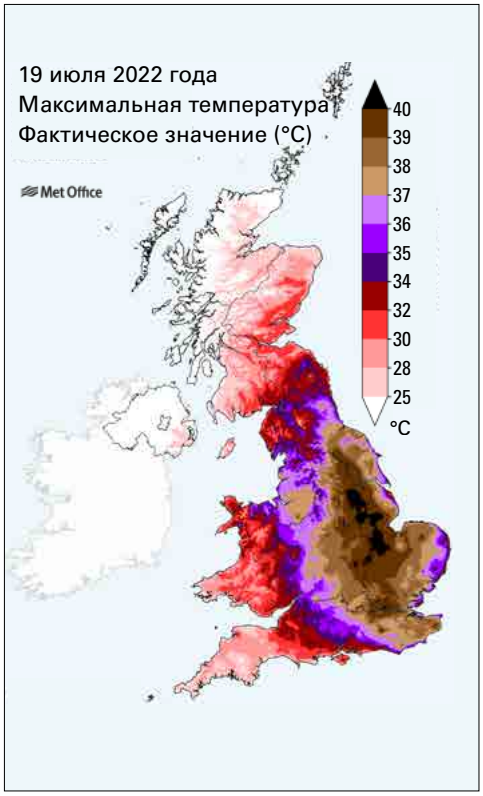


Рисунок 23. Максимальные температуры в Соединенном Королевстве 19 июля.

Источник: Метеобюро, Соединенное Королевство

Европа также пережила многочисленные волны тепла, причем значительные волны тепла имели место в течение каждого из трех летних месяцев. За лето аномальной жарой было вызвано около 4600 смертей в Испании, 4500 в Германии[49], 2800 в Соединенном Королевстве[50] (среди лиц в возрасте 65 лет и старше), 2800 во Франции[51] и 1000 в Португалии. Самая исключительная волна тепла наблюдалась в середине июля. В Соединенном Королевстве температура впервые поднялась до 40 °C (рис. 23): 19 июля в Конингсби она составила 40,3 °C[52]. Зафиксированная 18 июля в Феникс-парке (Дублин) температура 33,0 °C стала самой высокой в Ирландии с 1887 года. Во многих местах, в частности на севере Англии и на западе Франции, предыдущие рекорды были превышены

[48] https://www.emdat.be/

[49] https://www.rki.de/DE/Content/Infekt/EpidBull/Archiv/2022/42/Art_01.html

[50] https://www.ons.gov.uk/peoplepopulationandcommunity/birthsdeathsandmarriages/deaths/articles/excessmortalityduringheatperiods/englandandwales1juneto31august2022

[51] https://www.santepubliquefrance.fr/presse/2022/bilan-canicule-et-sante-un-ete-marque-par-des-phenomenes-climatiques-multiples-et-un-impact-sanitaire-important

[52] https://www.metoffice.gov.uk/about-us/press-office/news/weather-and-climate/2022/july-heat-review

более чем на 3 °C. Гамбург-Нойвиденталь, где 20 июля отмечалась температура 40,1 °C, стал самым северным населенным пунктом Германии, в котором когда бы то ни было был зафиксирован показатель 40 °C. Жара распространилась до севера Швеции, где 21 июля в Молилле было 37,2 °C, что стало самой высокой температурой в стране с 1947 года.

Средиземноморский регион пережил сильные волны тепла в июне и августе. В Италии был установлен ряд температурных рекордов, в том числе 40,0 °C 26 июня в Урбе (Рим). В Тунисе стоял самый жаркий июнь за всю историю наблюдений, в августе в некоторых местах были установлены исторические рекорды. В Смаре (Марокко) 10 июля был зафиксирован рекордный максимум в 49,1 °C. В середине августа Северо-Восточная Европа пережила сильные волны тепла; рекорды были установлены в Финляндии и Эстонии. Почти все Средиземное море было затронуто морскими волнами тепла, которые продолжались с марта по декабрь, ставя новые рекорды по суммарной интенсивности в регионе.

Многие районы Европы и Средиземноморья пострадали от засухи (рис. 24). В Европе наиболее тяжелые условия сложились в августе, когда уровень воды в реках, включая Рейн, Луару и Дунай, упал до критически низкого уровня, что привело к значительным нарушениям в работе речного транспорта. Во Франции низкий речной сток и высокая температура воды

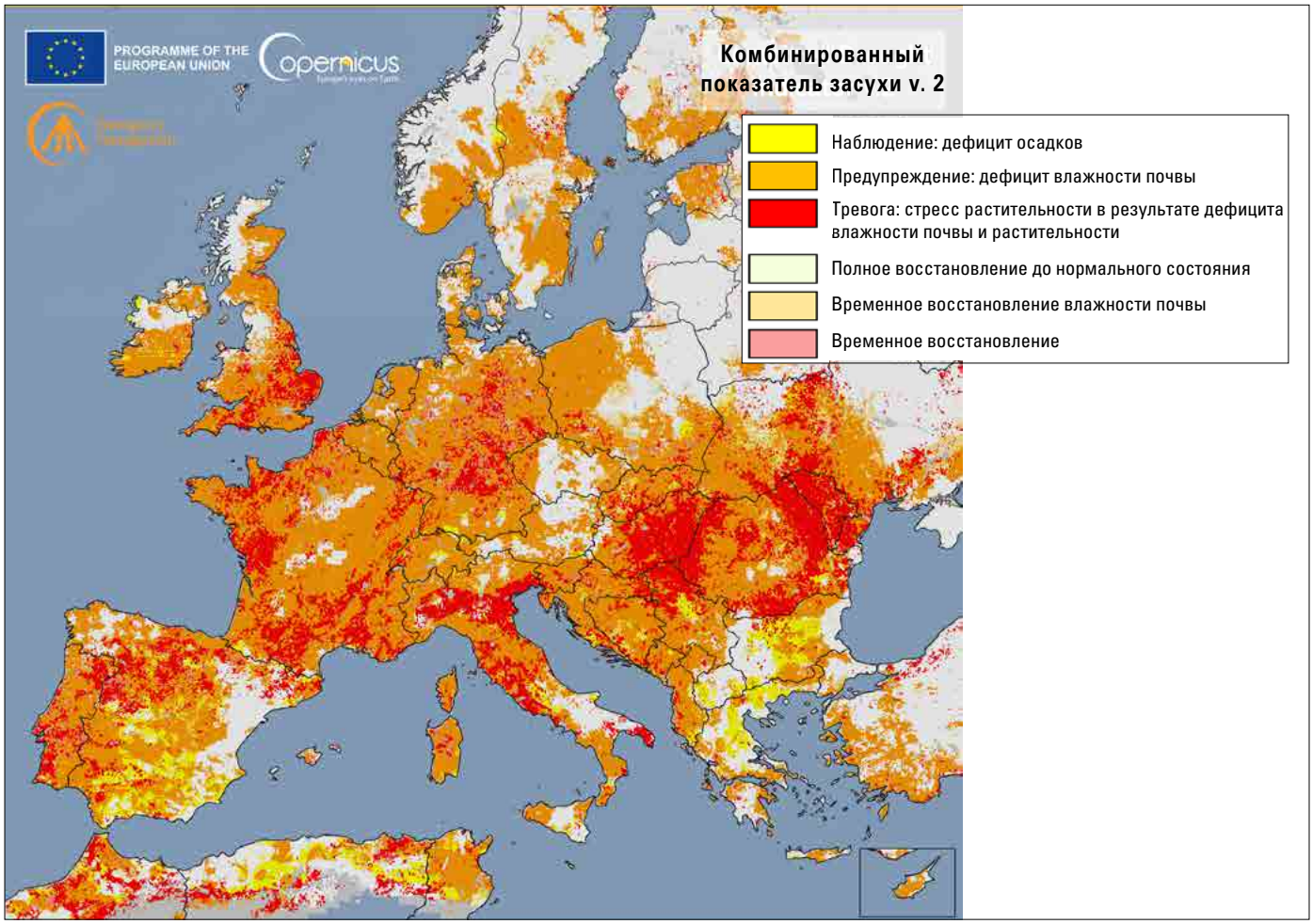


Рисунок 24. Европейская засуха – Комбинированный показатель засухи Службы управления чрезвычайными ситуациями программы «Коперник» за период с 1 по 10 августа 2022 года. Желтые области находятся в состоянии «наблюдения» и указывают на дефицит осадков, оранжевые области находятся в состоянии «предупреждения» и указывают на дефицит влажности почвы, а красные области находятся в состоянии «тревоги» и указывают на стресс растительности в результате дефицита влажности почвы и осадков.

Источник: https://edo.jrc.ec.europa.eu/documents/news/GDO-EDODroughtNews202208_Europe.pdf, лицензия CC-BY 4.0

в реках привели к снижению мощности на некоторых атомных электростанциях[53]. В трех землях в западно-центральной части Германии, в регионе, который предыдущим летом пережил экстремальное наводнение, стояло самое засушливое лето в истории наблюдений. Во Франции период с января по сентябрь был самым сухим с 1976 года, период с января по август в Великобритании и Уккеле (Бельгия) — с 1976 года, а период в 12 месяцев, который закончился в августе 2022 года, стал самым сухим в Марокко как минимум за 40 лет. Зимой 2021/22 года условия в Северной Италии и на Пиренейском полуострове были исключительно сухими, при этом весна была суше среднего на значительной части территории Европы. Сильная засуха по-прежнему сохраняется в некоторых частях Юго-Западной Азии, особенно в Исламской Республике Иран и Ираке. С сентября 2021 года по май 2022 года в Багдаде выпало 24,3 мм осадков, что на 78 % ниже многолетнего среднего значения.

Юго-запад Франции сильно пострадал от лесных пожаров, в результате которых сгорело более 62 000 га. Второй год подряд лесные пожары приводят к большим человеческим жертвам в Алжире, где с 16 по 18 августа было погибло 44 человека.

Предмуссонный период оказался исключительно жарким в Индии и Пакистане. Пакистан пережил самый жаркий март и апрель за всю историю наблюдений, причем средняя температура по стране в эти месяцы более чем на 4 °C превышала многолетнее среднее значение. В Индии из-за сильной жары снизился урожай зерновых и произошло несколько лесных пожаров, в частности в штате Уттаракханд.

Засуха усилилась в регионе Большого Африканского Рога, в основном в Кении, Сомали и южной части Эфиопии. В дождливые сезоны марта-мая и октября-декабря количество осадков в регионе было значительно ниже среднего, таким образом они стали четвертым и пятым подряд сезонами с низким уровнем осадков со второго полугодия 2020 года и самым длинным подобным рядом за последние 40 лет, что сильно отразилось на сельском хозяйстве и продовольственной безопасности. Как и во время предыдущей продолжительной засухи в 2010—2012 гг., Ла-Нинья и отрицательный ИОД внесли существенный вклад в засушливые условия. В 2021—2022 гг. во многих районах южной части Африки выпали значительные осадки, что привело к некоторому ослаблению длительной засухи, от которой страдает южная часть Мадагаскара.

Первая половина января во многих частях субтропической Южной Америки была чрезвычайно жаркой. Температура 44,0 °C, зарегистрированная в Пайсанду 14 января, стала национальным рекордом для Уругвая. На севере Аргентины и Парагвая также наблюдались обширные и продолжительные лесные пожары; в провинции Корриентес с начала января по конец февраля сгорело более 900 000 га[54]. Во многих частях региона продолжалась сильная засуха. Хотя количество осадков в Чили в 2022 году, по сравнению со средними показателями, сократилось не так сильно, как в предыдущие годы, местами оно все же было значительно ниже среднего[55]. В Буэнос-Айресе впервые за всю историю наблюдений в июне не выпало дождевых осадков, а большая часть северо-восточной Аргентины от Буэнос-Айреса и севернее к концу года оказалась в состоянии сильной засухи. В этом регионе, как и в Уругвае, третий год подряд количество осадков было значительно ниже среднего. После прохладной осени и зимы экстремальная жара вернулась в регион в конце года, когда в ноябре и декабре наблюдались волны тепла и был установлен декабрьский рекорд максимальной температуры в 46,0 °C 7 декабря в Ривадавии (Аргентина). Пожарная активность в бразильской Амазонии была близка к средней за 1998—2021 гг., находясь при этом в числе самых высоких за последнее десятилетие[56]. По оценкам, выбросы углерода от лесных пожаров в штате Амазонас были самыми высокими по меньшей мере за последние 20 лет[57].

---

[53] 2022 State of Climate Services: Energy («Состояние климатического обслуживания в 2022 году — энергия») (WMO-No. 1301).

[54] https://twitter.com/INTARNaturales/status/1497310851052630016

[55] Garreaud, R. D.; Boisier, J. P.; Rondanelli, R. et al. The Central Chile Mega Drought (2010–2018): A Climate Dynamics Perspective. *International Journal of Climatology* **2020**, *40*, 421–439. https://doi.org/10.1002/joc.6219.

[56] https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/aq1km/

[57] https://atmosphere.copernicus.eu/wildfires-amazonas-records-highest-emissions-20-years

Значительная засуха сохранялась на большей части западной половины Северной Америки. В США засуха охватила многие западные и южные штаты, хотя летние муссонные дожди принесли некоторое облегчение внутренним юго-западным районам, в то время как дожди в конце года немного ослабили засуху в Калифорнии и нижней части долины Миссисипи. Общие экономические потери от засухи оценивались в 18 млрд долларов США. В Техасе, где период с января по июль стал вторым самым сухим за всю историю наблюдений, и в прилегающих районах северной Мексики было особенно сухо. В Калифорнии январь-октябрь был самым сухим за всю историю наблюдений (на 65 % ниже среднего уровня 1901—2000 гг.) с сохранением долгосрочной засухи, при которой количество осадков за 36 месяцев, закончившихся в октябре 2022 года, стало самым низким за всю историю наблюдений. В конце июля уровень воды в озере Мид в бассейне реки Колорадо опустился до минимума с момента заполнения водохранилища в 1938 году. В течение года засуха распространилась на многие другие районы юга США. В октябре уровень воды в реках в среднем и нижнем течении Миссисипи стал рекордно низким, и более 82 % прилегающей территории США — рекордный показатель за 23-летнюю историю мониторинга засухи в США — к середине октября находились в аномально сухих условиях. Обильные весенние осадки ослабили засуху в северо-центральной части США и провинциях прерий Канады.

Общая площадь, выжженная в сезон лесных пожаров в США, была немного выше среднего. Один из самых активных сезонов в истории был отмечен на Аляске, а самый крупный зарегистрированный пожар — в Нью-Мексико, при этом число жертв и материальный ущерб были меньше, чем в последние годы. Период с июля по сентябрь был самым жарким за всю историю наблюдений для многих районов западной части США.

Исключительно высокие региональные температуры наблюдались над Восточно-Антарктическим плато в середине марта, когда атмосферная река, берущая начало вблизи Австралии, принесла теплый влажный воздух на Антарктический континент. 18 марта температура достигла –10,1 °C на Куполе-С и –17,7 °C на станции Восток. Оба эти значения более чем на 15 °C превысили предыдущие мартовские рекорды в этих местах и на 35 °C — средние мартовские значения, причем показания на Куполе-С были самыми высокими в истории наблюдений за любое время года.

ЭКСТРЕМАЛЬНО НИЗКИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ

Значительных рекордов холода в 2022 году в мире отмечалось мало. В конце декабря сильное похолодание затронуло многие районы США и Канады. Сильные снежные бури, обрушившиеся на Буффало и прилегающие районы, привели к многочисленным жертвам. Снежная буря продолжалась 36 часов, и общее количество выпавшего снега составило 132 см. Западнее, в Каспере (штат Вайоминг), была зафиксирована самая низкая температура за всю историю наблюдений (–41,1 °C). В некоторых частях Европы, особенно на севере и северо-западе, декабрь также был холодным. 12 декабря максимальная температура в Бреморе составила –9,3 °C, что стало самым низким максимумом в Великобритании с декабря 2010 года. В Исландии стоял самый холодный декабрь с 1973 года.

В конце января и в середине марта в Греции прошли два сильных снегопада. Оба раза похолодание затронуло и другие районы восточного Средиземноморья, и, например, в Ливии на высоте более 600 м выпал снег. Второй год подряд обширные заморозки в начале апреля привели к потере урожая в Западной Европе, в частности во Франции. 29 января прибрежный циклон принес с собой 60 см снега в Бостон, США, что стало суточным рекордом. В аргентинской Патагонии зима была снежной: в северной Патагонии протяженность снежного покрова стала второй по величине в XXI веке, а в южной Патагонии — третьей. Июльское похолодание привело к тому, что в Пуэрто-Наталес (Чили) наблюдалась вторая самая низкая температура за всю историю наблюдений, –16,2 °C, в то время как в Эль-Калафате (Аргентина) она опустилась до –16,5 °C.

НАВОДНЕНИЯ И ПРОЛИВНЫЕ ДОЖДИ

Пакистан пережил разрушительный паводок (рис. 25) в сезон муссонов, пик которого пришелся на конец августа. Июль (181 % выше нормы) и август (243 % выше нормы) стали самыми влажными в истории наблюдений в стране. Особенно сильно пострадала провинция Синд, также большой ущерб был нанесен Белуджистану. Согласно предварительным спутниковым данным, 75 000 км^2, или около 9 % территории Пакистана, были затоплены на определенном этапе в течение августа[58]. Пострадали также прилегающие районы Афганистана. В Пакистане сообщалось о гибели более 1 700 человек, было повреждено или разрушено более 2 млн жилых домов, в результате чего в той или иной степени пострадали более 33 млн человек[59]. Потери урожая и скота также были серьезными, поскольку от наводнений пострадала большая часть сельскохозяйственных угодий страны. Общий ущерб и экономические потери оцениваются в 30 млрд долларов США[60]. Последствия наводнений были в целом схожи с последствиями

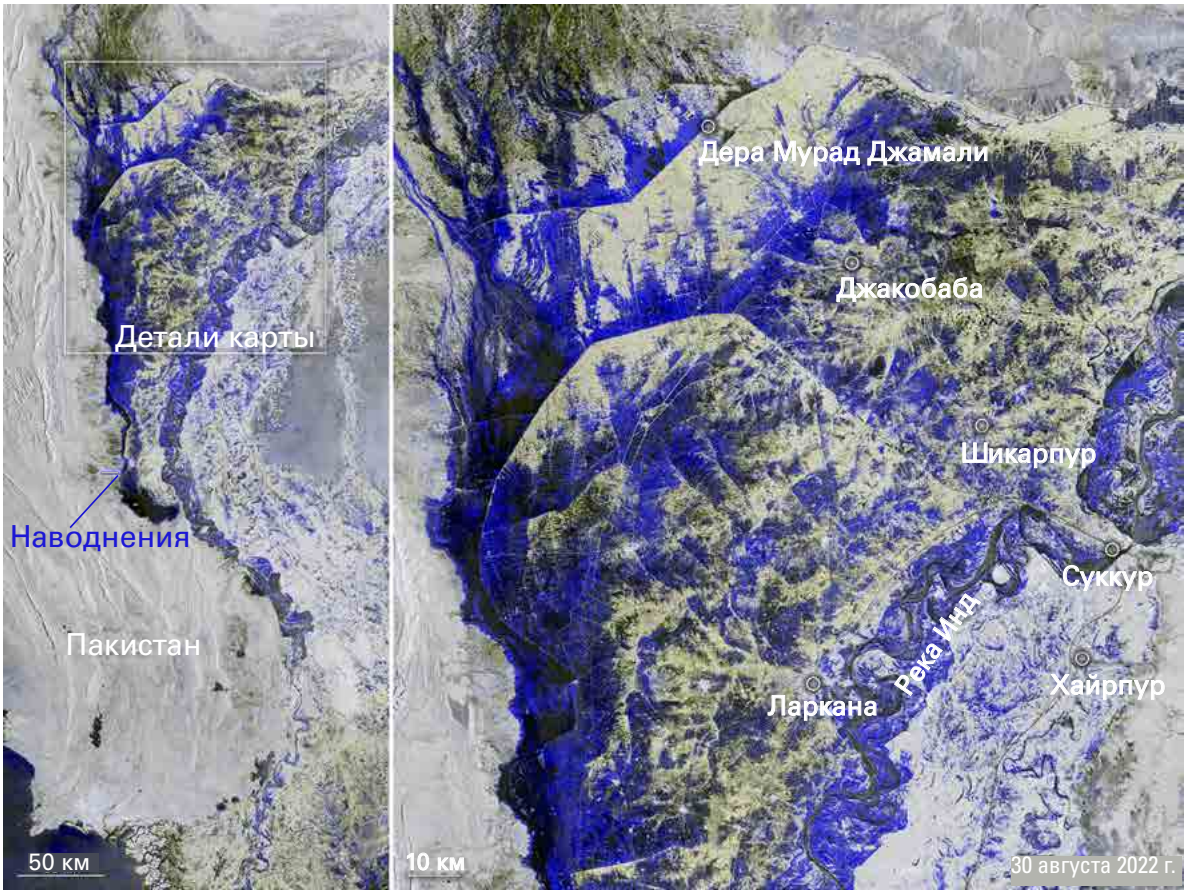


Рисунок 25. Спутниковое изображение наводнения в Пакистане 30 августа. Левая часть изображения показывает широкий обзор пострадавшей территории, а правая часть показывает увеличенный вид территории между Дера Мурад Джамали и Ларканой. Цвета от голубого до черного показывают затопленные участки земли.

Источник: изображение со спутника Copernicus Sentinel-1. Содержит измененные данные Copernicus Sentinel (2022), обработанные ESA, CC BY-SA 3.0 IGO (https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2022/09/Pakistan_inundated)

[58] https://www.unitar.org/maps/map/3604

[59] https://reliefweb.int/report/pakistan/ndma-monsoon-2022-daily-situation-report-no-115-dated-6th-oct-2022
https://reliefweb.int/report/pakistan/ndma-monsoon-2022-daily-situation-report-no-129-dated-20th-oct-2022

[60] https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/2022-12/Pakistan%20PDNA%20Main%20Report%20-%20Final.pdf

наводнений 2010 года. В Индии на различных этапах сезона муссонов также наблюдались значительные паводки, особенно на северо-востоке в июне, при этом в течение сезона было зарегистрировано более 700 смертей от наводнений и оползней, и еще 900 — от удара молнии.

В течение года восточная часть Австралии неоднократно пережила наводнения. Наиболее сильные наводнения произошли в конце февраля и начале марта, затронув восточные прибрежные районы юго-восточного Квинсленда, север Нового Южного Уэльса и окрестности Сиднея. Самое сильное наводнение произошло к югу от Брисбена, где уровень воды в реке Уилсонс превысил предыдущий рекордный уровень примерно на 2 м. В западной части Сиднея уровень воды в реках Хоксбери и Непин достиг самой высокой отметки с 1978 года. Сообщалось о 22 смертельных случаях, а страховые убытки составили около 4 млрд долларов США. В начале июля в регионе Сиднея также произошло крупное наводнение. В последнем квартале года во многих районах юго-восточной части Австралии, в частности в бассейне рек Мюррей и Дарлинг, произошли новые сильные наводнения. В Новом Южном Уэльсе и Виктории стояла самая влажная весна за всю историю наблюдений. Наводнения в нижней части бассейна рек Мюррей и Дарлинг продолжались до начала 2023 года, поскольку вода уходила медленно вниз по течению, при этом на некоторых участках реки Мюррей в Южной Австралии уровень был самым высоким с 1956 года. За год в Сиднее выпало 2530 мм осадков, что значительно превышает предыдущий годовой рекорд, 2194 мм.

Дважды за несколько недель, 15 февраля и 20 марта, город Петрополис на востоке Бразилии пострадал от экстремальных осадков и быстроразвивающихся паводков. В феврале за три часа выпало 250 мм осадков, а в марте за 10 часов — 415 мм. Из-за февральского явления погибло двести тридцать человек, многие из которых — в результате оползней. Значительное наводнение произошло на северо-востоке Бразилии в мае, а позже, после проливных дождей в октябре и ноябре, от наводнений пострадали многие районы Венесуэлы. В самом трагическом одиночном инциденте, после оползня в Техериасе 8 октября 2022 года, погибло 50 человек и 56 человек пропали без вести.

В сезон муссонов, особенно ближе к его концу, многие районы Сахеля, в частности на востоке, были затронуты значительным наводнением. Нигерия, Нигер, Чад и южная половина Судана были среди тех, кто пострадал особенно сильно. Наводнение в Нигерии усилилось после сильных местных дождей и прихода паводковых вод с верховьев реки. За сезон в результате наводнения погибло 603 человека в Нигерии и 159 в Нигере; экономический ущерб в Нигерии составил 4,2 млрд долларов США. В период с октября по декабрь в столице Чада, Нджамене, было перемещено более 250000 человек[61]. Хотя количество осадков в Южном Судане, пережившем в 2020 и 2021 годах продолжительные наводнения, было близко к норме или ниже нормы, обширные наводнения продолжались в результате прихода воды с верховьев реки.

ТРОПИЧЕСКИЕ ЦИКЛОНЫ

В 2022 году активность тропических циклонов в большинстве регионов была близка к средней или ниже ее, за исключением южной части Индийского океана, где активность циклонов в целом была высока, несмотря на необычно позднее начало. В южной части Индийского океана сформировалась одна из самых мощных систем сезона; субтропическая депрессия «Исса» в сочетании с отсеченным циклоном вызвала экстремальные наводнения в апреле в провинции Квазулу-Натал на востоке ЮАР, где 11–12 апреля за 24 часа выпало до 311 мм осадков. В результате наводнения погибло более 400 человек[62] и 40000 человек стали переселенцами. В конце января и в феврале на Мадагаскаре в течение месяца произошло четыре выхода циклонов на

[61] https://www.fmhds.gov.ng/news/flood-fg-begins-delivery-of-12000-metric-tonnes-of-food-items-to-anambra-jigawa-others/

[62] Hendriks, S. L.; Benton, T.; de la Mata, G. C. et al. Global Environmental Climate Change, Covid-19, and Conflict Threaten Food Security and Nutrition. *British Medical Journal* **2022**, *378*, e071534. https://doi.org/10.1136/bmj-2022-071534.

Рисунок 26. Циклон «Батсирай», 4 февраля 2022 г., перед выходом на сушу на восточном побережье Мадагаскара.

Источник: изображение NASA Earth Observatory, являющееся общественным достоянием (https://earthobservatory.nasa.gov/images/149420/bracing-for-batsirai)

сушу. «Ана» (в январе) и «Батсирай» (в феврале, рис. 26) унесли множество жизней, причем сильное воздействие «Аны» также проявилось в форме наводнений в Мозамбике и Малави. «Гомбе» (март) принес в Мозамбик наводнение, обернувшееся значительными жертвами.

Начало сезона ураганов в Северной Атлантике было неактивным по сравнению с последними годами, но в сентябре произошло два крупных выхода на сушу. Ураган «Иэн» пересек западную часть Кубы, затем усилился до категории 4 и 28 сентября вышел на сушу на юго-западе Флориды. «Иэн» вызвал обширные затопления в результате штормовых нагонов в низколежащих прибрежных районах и речные наводнения на северо-востоке, где в районе Дейтона-Бич за четыре дня выпало более 500 мм осадков. Благодаря устойчивому ветру в 10-минутном интервале в 241 км/час «Иэн» стал четвертым по силе выхода на сушу во Флориде за всю историю наблюдений. Экономический ущерб от «Иэна» в США оценивался в 113 млрд долларов США, что сделало его третьим самым разорительным тропическим циклоном в истории, а 152 погибших представляют собой самое большое число жертв тропического циклона во Флориде с 1930-х годов[63,64].

В сентябре ураган «Фиона» прошел через Доминиканскую Республику, Пуэрто-Рико и острова Теркс и Кайкос, вызвав значительные наводнения и повсеместные отключения электроэнергии, после чего он усилился и двинулся на север в сторону Канады. Он вышел на сушу как переходный внетропический шторм в Новой Шотландии 24 сентября с расчетным давлением в центре 931 гПа. На острове Харт сообщалось о давлении 932,7 гПа — самом низком давлении, приведенном к среднему уровню моря, зарегистрированном на какой-либо канадской станции. В прибрежных районах, в частности на юго-западе Ньюфаундленда, наблюдались широкомасштабные повреждения от ветра и перебои в подаче электроэнергии, а также значительные наводнения из-за штормового нагона и волн.

Активность сезона в западной части севера Тихого океана была ниже средней в плане интенсивности циклонов, но все же с рядом значительных последствий. Обе наиболее разрушительные системы обладали интенсивностью тропических штормов в момент, когда

[63] https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/monthly-report/national/202209/supplemental/page-5

[64] https://www.ncei.noaa.gov/access/billions/events/US/2022

они обрушились на Филиппины, но, несмотря на это, они привели к большим человеческим жертвам из-за сильных наводнений и оползней. Тропический шторм «Меги» («Агатон») пересек Филиппины 10—12 апреля, а «Налджи» («Паенг») — 29–30 октября. «Меги» привел к гибели 200 человек, а «Налджи» — к более чем 150 смертям[65], причем самые сильные последствия «Меги» отмечались в районе Себу, в то время как от «Налджи» пострадали многие районы страны. В последнюю неделю декабря наводнения на Минданао, связанные с муссонными дождями, также обернулись значительными человеческими жертвами.

Две самые сильные системы сезона сформировались в сентябре. Тайфун «Хиннамнор» привел к значительным последствиям после того, как он достиг Корейского полуострова в начале сентября, несмотря на некоторое ослабление перед выходом на сушу, а тайфун «Нанмадол» затронул южную часть Японии. Также в сентябре тайфун «Мербок», хотя и имел ограниченное воздействие будучи тропической системой, после преобразования во внетропическую систему и продвижения на северо-восток вызвал крупное затопление побережья на западе Аляски.

СИЛЬНЫЕ ШТОРМЫ

Исключительное *деречо*[66] затронуло части Южной и Центральной Европы 18 августа, принеся с собой сильные ветры и ливневые дожди вдоль траектории протяженностью 1 600 км от Балеарских островов (Испания) через Корсику (Франция), Италию, Словению, Австрию до Чехии. Система достигла пика своей силы над Корсикой, где отмечались порывы ветра 225 км/ч, что является самым сильным достоверно зарегистрированным порывом ветра на европейской территории Франции[67]. Сообщалось о пяти смертях. Значительный ущерб понесла также Италия, где выпал град, достигавший 8 см в диаметре. 23 октября торнадо категории EF3 пронесся над северной Францией, причинив значительный ущерб; длина его пути составила 206 км, составив максимум, зарегистрированный во Франции. Самым сильным штормом сезона в Западной Европе стал «Юнис», который прошел над Англией и Уэльсом 18 февраля. Порыв ветра 196 км/ч в Нидлс (на острове Уайт) стал рекордным в истории наблюдений в Англии. Во время шторма в Великобритании погибли четыре человека, в Королевстве Нидерландов — четыре, еще два — в Бельгии, при этом более миллиона домохозяйств в Англии и Уэльсе остались без электричества.

В сезон торнадо в США количество торнадо было близко к среднему, несмотря на большую активность в марте, однако число жертв было ниже многолетних средних показателей. В течение лета в различных частях страны произошло множество быстроразвивающихся паводков, в том числе в Йеллоустонском национальном парке в июне, в Сент-Луисе и восточных районах Кентукки в июле, Долине Смерти 5 августа и Даллас-Форт-Уэрте 22 августа. В Кентукки, где количество суточных дождевых осадков составляло от 100 до 200 мм, было зарегистрировано не менее 37 смертей, а в Далласе в некоторых районах за 12 часов выпало более 300 мм осадков. В конце августа затопление очистных сооружений привело к прекращению подачи воды в Джексоне (Миссисипи).

Аномальные дождевые осадки и штормовая активность затронули Юго-Западную Азию и Аравийский полуостров в конце июля и начале августа, обычно сухой для региона период. В порту Фуджейра (Объединенные Арабские Эмираты) за два дня, 27 и 28 июля, выпало 255,2 мм осадков. Во многих местах произошли быстроразвивающиеся паводки; сообщалось о многочисленных жертвах в Йемене и Иране. В ноябре продолжились интенсивные осадки с быстроразвивающимися паводками; в Джидде (Саудовская Аравия) 24 ноября за шесть часов выпало 179 мм осадков, что примерно в три раза превышает среднегодовое количество.

---

[65] https://www.typhooncommittee.org/17IWS/docs/Members%20REport/Philippines/2022_IWS%20Member%20Report%20-%20Philippines.pdf

[66] Согласно Американскому метеорологическому обществу (American Meteorological Society), *деречо* – это «охватывающий большое пространство конвективно вызванный прямолинейный штормовой ветер».

[67] https://meteofrance.fr/sites/meteofrance.fr/files/files/editorial/Bilan%20%C3%A9t%C3%A9%202022%202e%20partie_C.pdf

Социально-экономические последствия

Риски, связанные с погодными и климатическими угрозами, носят комплексный характер и зависят от контекста, уязвимости, подверженности воздействию и способности к адаптации антропогенных и природных систем. Погодные и климатические явления создают многочисленные гуманитарные риски для общества. Климат и экстремальные погодные явления также влияют на использование и распределение природных ресурсов по регионам и внутри стран и оказывают большое негативное воздействие на окружающую среду.

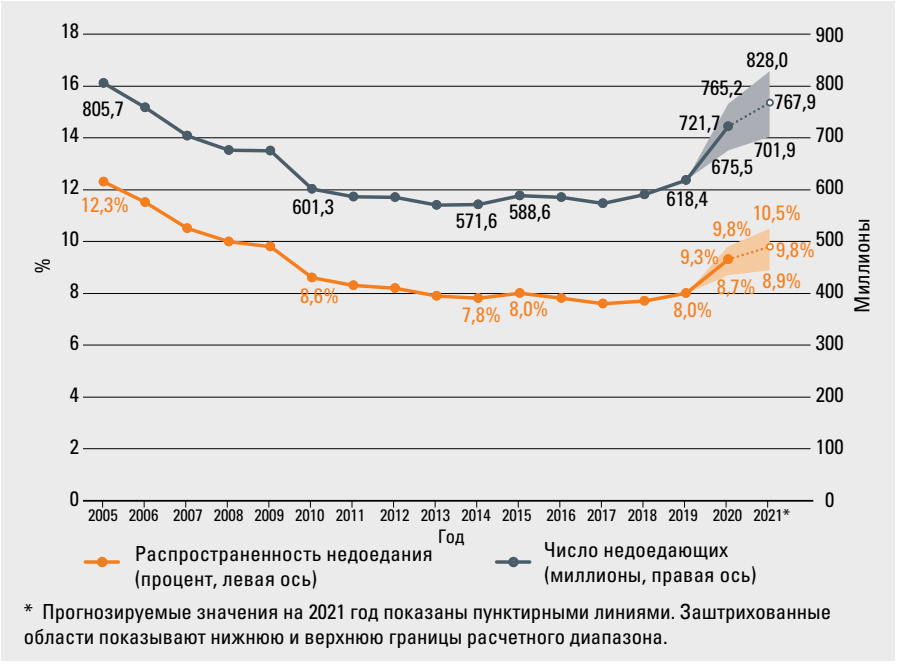
Перед лицом глобальных системных рисков, таких как изменение климата, необходимо, чтобы общество изменило свой подход к решению проблем риска бедствий[68]. Правительства последовательно предпринимают усилия по уменьшению рисков бедствий и изменения климата и повышению устойчивости к ним. Около 125 стран разработали национальные стратегии снижения риска бедствий (Задача *E* Сендайской рамочной программы)[69]. Однако международное сотрудничество и финансирование в области снижения риска бедствий остаются на низком уровне[70]. Одним из основных компонентов уменьшения воздействия бедствий является наличие эффективных систем заблаговременных предупреждений о многих опасных явлениях (СЗПМОЯ), а также действия людей в свете предупреждений. Существуют данные, свидетельствующие о том, что в странах с надлежащим охватом СЗПМОЯ уровень смертности ниже, чем в странах с низким охватом или его отсутствием[71]. Генеральный секретарь ООН поручил ВМО возглавить действия по обеспечению того, чтобы через пять лет каждый человек на Земле был защищен системами заблаговременных предупреждений[72].

ПРОДОВОЛЬСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

По состоянию на 2021 год 2,3 млрд человек сталкивались с проблемой отсутствия продовольственной безопасности, из них 924 млн — с острым отсутствием продовольственной безопасности. Согласно оценкам (рис. 27), в 2021 году 767,9 млн человек, 9,8 % населения

Рисунок 27. Процент недоедания (оранжевый цвет, левая ось) и количество недоедающих людей (серая линия, правая ось) на глобальном уровне.

Источник: ФАО, МФСР, ЮНИСЕФ, ВПП, ВОЗ (2022) (см. сноску 73)



* Прогнозируемые значения на 2021 год показаны пунктирными линиями. Заштрихованные области показывают нижнюю и верхнюю границы расчетного диапазона.

[68] https://www.undrr.org/gar2022-our-world-risk

[69] https://www.undrr.org/publication/global-status-multi-hazard-early-warning-systems-target-g

[70] https://www.undrr.org/publication/international-cooperation-disaster-risk-reduction-target-f

[71] https://www.undrr.org/publication/global-status-multi-hazard-early-warning-systems-target-g

[72] https://public.wmo.int/en/earlywarningsforall

планеты, страдало от недоедания. Половина из 767,9 млн проживает в Азии и треть — в Африке[73]. Увеличение масштабов недоедания усугубляется комплексным воздействием опасных гидрометеорологических явлений и COVID-19 на здоровье, продовольственную безопасность, доходы и равенство, а также последствиями затяжных конфликтов и насилия[74]. По состоянию на октябрь 2022 года в нескольких странах Африки и Азии (таких как Эфиопия, Нигерия, Южный Судан, Сомали, Йемен и Афганистан) и Карибского бассейна (Гаити) наблюдались случаи голода или смерти, которые требовали срочных гуманитарных действий (Фаза 5 ИКФ: катастрофа[75]). В этих странах основными движущими силами и факторами, усугубляющими острое отсутствие продовольственной безопасности, стали конфликты/отсутствие безопасности, экономические потрясения, политическая нестабильность, перемещение населения, засушливые условия и циклоны.

В 2022 году волны тепла в период, предшествующий наступлению муссонов, вызвали снижение урожайности сельскохозяйственных культур в Индии и Пакистане. В сочетании с запретом на экспорт пшеницы и ограничениями на экспорт риса в Индии после начала конфликта на Украине это поставило под угрозу наличие и доступность основных продуктов питания и стабильность их поставок на международные продовольственные рынки, создав высокие риски для стран, уже пострадавших от нехватки основных продуктов питания[76]. Сильные муссонные дожди вызвали масштабные наводнения и оползни в Пакистане, что привело к распространению заболеваний, передающихся через воду, причем в наибольшей степени пострадали самые уязвимые и не обеспеченные продовольствием регионы южного и центрального Пакистана. Погибло более 1700 человек[77] и 936000 голов скота. Был нанесен ущерб большим площадям пахотных земель[78], а вызванные дождями наводнения и оползни также существенно нарушили транспортную и строительную инфраструктуру[79,80].

Затяжные условия Ла-Нинья, сохранявшиеся с 2020 по начало 2023 года, могли усилить засухи и, как следствие, увеличить потери урожая и скота в Центральной Азии, подобно затяжным условиям Ла-Нинья 1998—2001 гг.[81,82] По состоянию на сентябрь 2022 года проблемы отсутствия продовольственной безопасности стояли максимально остро в Афганистане, где около 18,9 млн человек (45 % населения), как ожидалось, должны были пережить уровень 3 (*кризис*)

---

[73] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), International Fund for Agricultural Development (IFAD), United Nations Children's Fund (UNICEF), World Food Programme (WFP), World Health Organization (WHO), 2022: *The State of Food Security and Nutrition in the World 2022: Repurposing Food and Agricultural Policies to Make Healthy Diets More Affordable*, https://www.fao.org/documents/card/en/c/cc0639en.

[74] World Food Programme (WFP), Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2022: *Hunger Hotspots: FAO-WFP Early Warnings on Acute Food Insecurity – June to September 2022 Outlook*, https://docs.wfp.org/api/documents/WFP-0000139904/download/.

[75] Интегрированная классификация фаз продовольственной безопасности (ИКФ) (Integrated Food Security Phase Classification (IPC)) – это общая глобальная шкала классификации тяжести и масштабов отсутствия продовольственной безопасности и недоедания. Системой предусмотрено пять уровней острой формы отсутствия продовольственной безопасности: 1) минимальный/отсутствует; 2) умеренное нарушение продовольственной безопасности; 3) кризис; 4) чрезвычайная ситуация; 5) катастрофа/голод. Существуют аналогичные шкалы для хронического отсутствия продовольственной безопасности и острого недоедания.

[76] Hendriks, S. L.; Benton, T.; de la Mata, G. C. et al. Global Environmental Climate Change, Covid-19, and Conflict Threaten Food Security and Nutrition. *British Medical Journal* **2022**, *378*, e071534. http://dx.doi.org/10.1136/bmj-2022-071534.

[77] https://reliefweb.int/report/pakistan/ndma-monsoon-2022-daily-situation-report-no-141-dated-1st-nov-2022

[78] https://reliefweb.int/report/pakistan/wfp-pakistan-situation-report-19-september-2022

[79] World Food Programme (WFP), Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2022: *Hunger Hotspots:* FAO-WFP *Early Warnings on Acute Food Insecurity – October 2022 to January 2023 Outlook*, https://www.wfp.org/publications/hunger-hotspots-fao-wfp-early-warnings-acute-food-insecurity-october-2022-january-2023.

[80] https://thedocs.worldbank.org/en/doc/40ebbf38f5a6b68bfc11e5273e1405d4-0090012022/related/Food-Security-Update-LXX-September-29-2022.pdf

[81] Barlow, M.; Cullen, H.; Lyon, B. Drought in Central and Southwest Asia: La Niña, the Warm Pool, and Indian Ocean Precipitation. *Journal of Climate* **2002**, 15 (7), 697–700. https://doi.org/10.1175/1520-0442(2002)015%3C0697:DICASA%3E2.0.CO;2.

[82] World Food Programme (WFP), Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2022: *Hunger Hotspots:* FAO-WFP Early W*arnings on Acute Food Insecurity – October 2022 to January 2023 Outlook*, https://www.wfp.org/publications/hunger-hotspots-fao-wfp-early-warnings-acute-food-insecurity-october-2022-january-2023.

или худший уровень острого отсутствия продовольственной безопасности с июня по ноябрь 2022 года. В Сирийской Арабской Республике в сезоне 2021—2022 гг. выпало мало осадков и наблюдались засушливые периоды, что ограничило урожайность сельскохозяйственных культур второй сезон подряд. Зимний период вегетации 2022 года, начиная с ноября, также характеризовался количеством осадков ниже среднего, что в сочетании с высокими затратами на сельскохозяйственные средства производства и ограниченным доступом к воде для орошения привело к более низкому, чем в среднем, урожаю зерновых в 2022 году[83].

В районе Большого Африканского Рога дожди не шли пятый сезон подряд с конца 2020 года. По оценкам, по состоянию на январь 2023 года в регионе Восточной Африки — в Эфиопии, Кении и Сомали — под воздействием засухи и других потрясений 22,5–23,4 млн человек столкнулись с кризисом или худшим уровнем острого отсутствия продовольственной безопасности[84,85]. Проливные дожди и наводнения в регионе Дарфур и бассейне реки Нил в Судане, а также на болотах Судд в Южном Судане усугубили ущерб сельскохозяйственным культурам, перемещение населения, конфликтные ситуации и отсутствие продовольственной безопасности, в результате чего по состоянию на июль 2022 года риск кризиса или худшего уровня острого отсутствия продовольственной безопасности затронул более 7 млн человек[86]. Ожидалось, что наводнения, происходящие в Южном Судане четвертый год подряд, а также макроэкономические проблемы приведут к экстремальному уровню отсутствия продовольственной безопасности. По оценкам, из-за повсеместных наводнений и продолжительных засух урожайность в 2022 году должна была оказаться ниже среднего показателя.

По состоянию на июнь 2022 года в Латинской Америке и Карибском бассейне 28 млн человек были зарегистрированы как лица, не имеющие продовольственной безопасности, и такое отсутствие продовольственной безопасности усугублялось воздействием ураганов и штормов. Сельскохозяйственный сектор в Гондурасе и Гватемале оказался затронут ростом международных цен на сельскохозяйственную продукцию и продовольствие, при этом 4,6 млн человек в Гватемале и 2,6 млн человек в Гондурасе, согласно прогнозам, должны были столкнуться с кризисом или худшим уровнем отсутствия продовольственной безопасности[87].

ПЕРЕМЕЩЕНИЕ НАСЕЛЕНИЯ

В течение всего года опасные явления и условия, связанные с климатом и погодой, играли значительную роль в новых перемещениях населения. Большинство из тех, кто был перемещен в результате климатических или погодных явлений, остались на территории, где они проживали, при этом в некоторых ситуациях люди были вынуждены пересекать международные границы в поисках безопасности и помощи. В то же время опасные климатические и погодные явления ухудшили положение многих из 95 млн человек, уже находившихся в начале года в условиях перемещения, что продлевало ситуацию перемещения[88].

Африканский Рог столкнулся с самой сильной засухой за последние 40 лет, при этом особенно сильно пострадали Эфиопия, Кения и Сомали[89]. В Сомали почти 1,2 млн человек[90] стали

---

[83] https://reliefweb.int/report/syrian-arab-republic/giews-country-brief-syrian-arab-republic-11-january-2023

[84] https://www.fao.org/3/cc4326en/cc4326en.pdf

[85] https://reliefweb.int/report/ethiopia/amid-record-drought-and-food-insecurity-east-africas-protracted-humanitarian-crisis-worsens

[86] https://reliefweb.int/report/ethiopia/amid-record-drought-and-food-insecurity-east-africas-protracted-humanitarian-crisis-worsens

[87] https://reliefweb.int/report/world/latin-america-caribbean-weekly-situation-update-27-june-3-july-2022-4-july-2022

[88] https://www.unhcr.org/globaltrends.html and https://www.internal-displacement.org/global-report/grid2022/

[89] OCHA https://reliefweb.int/report/ethiopia/horn-africa-drought-regional-humanitarian-overview-call-action-published-4-july-2022, https://reliefweb.int/report/ethiopia/unhcr-drought-response-emergency-appeal-horn-africa

[90] https://unhcr.github.io/dataviz-somalia-prmn/index.html#reason=Drought%20related&month=&need=&pregion=&pdistrictmap=&cregion=&cdistrictmap=&year=2022

внутренне перемещенными лицами из-за катастрофического воздействия засухи на средства к существованию скотоводов и фермеров, а также голода в течение года[91]. За тот же период более 60 000 человек, спасаясь от совокупного воздействия засухи и конфликта, пересекли границу Эфиопии и Кении[92]. Одновременно с этим Сомали приняла почти 35 000 беженцев и лиц, ищущих убежища, в пострадавших от засухи районах, включая более 2 600 вновь прибывших из Эфиопии[93]; при этом в конце 2021 года почти 3 млн человек уже жили в условиях внутреннего перемещения, вызванного конфликтом[94]. Дополнительные 512 000 внутренних перемещений, связанных с засухой, были зарегистрированы в Эфиопии. В результате нехватки финансирования и глобального роста цен на продовольствие более 3,5 млн беженцев в регионе (75 % от общего числа беженцев) пострадали от значительных сокращений продовольственной помощи[95].

В Сирийской Арабской Республике от сильных зимних метелей, обильных снегопадов и наводнений пострадали места размещения переселенцев, что привело ко вторичному перемещению более 5 000 человек[96]. В июле опустошительные наводнения в Йемене усугубили уязвимость и проблемы защиты более чем 10 000 перемещенных семей, поскольку пострадал их кров, были уничтожены продукты питания и предметы домашнего обихода[97].

В конце августа Пакистан пережил рекордные осадки и сильнейшее за последние десятилетия наводнение. Пострадало около 33 млн человек, в том числе около 800 000 афганских беженцев, размещенных в затронутых районах. В результате наводнений к октябрю около 8 млн человек стали внутренне перемещенными лицами, из которых около 585 000 человек нашли убежище в пунктах гуманитарной помощи[98]. К концу года, с наступлением трудных зимних условий, когда паводковые воды еще не полностью отошли, около 5 млн человек по-прежнему подвергались воздействию наводнений или жили вблизи затопленных районов, из них примерно 205 000 человек по-прежнему относились к числу внутренне перемещенных лиц в провинциях Синд и Белуджистан[99]. Люди, перемещенные в результате наводнений и находившиеся в неофициальных лагерях, неформальных поселениях или временном жилье, были особенно уязвимы к холодной погоде, в то время как многие вернувшиеся к месту постоянного проживания и те, кто остался в пострадавших от наводнений районах, жили в поврежденных, едва утепленных домах[100].

В Бангладеш сезон муссонов принес самые сильные за последние 20 лет наводнения, от которых пострадали почти 7,2 млн человек[101]. К июню было зарегистрировано 663 000 перемещений в Ассаме[102] и 481 000 в Силхете и Майменсингхе[103], а в Кокс-Базаре сильные дожди усугубили положение почти 60 000 беженцев и вызвали вторичное перемещение[104]. Связанные с погодой опасные явления также способствовали значительному перемещению населения в Северной

---

[91] https://www.unhcr.org/news/stories/somalis-abandon-their-homes-search-food-water-and-aid-drought-deepens

[92] https://data.unhcr.org/en/documents/download/98367

[93] https://data.unhcr.org/en/documents/download/98367

[94] www.internal-displacement.org

[95] https://reporting.unhcr.org/document/2953

[96] https://story.internal-displacement.org/2022-mid-year-update/index.html

[97] https://reliefweb.int/report/yemen/yemen-situation-update-humanitarian-impact-flooding-27-july-2022-enar

[98] https://reliefweb.int/report/pakistan/unhcr-urgently-seeks-us66-million-communities-devastated-pakistan-floods, https://www.iom.int/sites/g/files/tmzbdl486/files/situation_reports/file/IOM%20External%20Sitrep_Pakistan%20floods_23September_Final.pdf, https://pakistan.iom.int/sites/g/files/tmzbdl1121/files/documents/IOM%20Pakistan%20-%20Flood%20Flash%20Appeal%20-%20Revised.pdf

[99] https://reliefweb.int/attachments/188ac936-db00-46cf-bd95-898b9df526ea/Pakistan%20Floods%20Response%20SitRep%20No.13%20As%20of%206%20January%202023.pdf

[100] https://reliefweb.int/report/pakistan/pakistan-2022-monsoon-floods-situation-report-no-13-6-january-2023

[101] https://story.internal-displacement.org/2022-mid-year-update/index.html

[102] https://story.internal-displacement.org/2022-mid-year-update/index.html

[103] https://story.internal-displacement.org/2022-mid-year-update/index.html

[104] https://www.humanitarianresponse.info/en/operations/bangladesh/document/iscg-flash-update-6-monsoon-response-25-august-2022

и Южной Америке, главным образом в Бразилии. В первой половине 2022 года Бразилия пережила наводнения и штормы, которые вызвали рекордное количество — 656000 — внутренних перемещений[105].

В 2022 году некоторые погодные явления со значительными последствиями происходили одно за другим, не оставляя времени для восстановления между потрясениями и усугубляя ситуацию с повторными и затяжными перемещениями. На юг Африки в течение двух месяцев обрушилась серия из пяти циклонов, вследствие чего резко возросла потребность в защите и крове. Сотни тысяч людей испытали на себе их воздействие, включая тех, кто уже были беженцами и внутренне перемещенными лицами. В Малави более 190000 человек, которые потеряли или покинули свое жилье во время тропического шторма «Ана» в конце января, все еще находились в статусе перемещенных лиц в апреле[106]. Спустя два месяца после того, как «Ана» разрушила дома и убежища более 20000 ранее существовавших домохозяйств внутренне перемещенных лиц в Мозамбике[107], тропический циклон «Гомбе» усугубил ее воздействие, затронув более 736000 человек, повредив или разрушив около 142000 домов во многих из изначально пострадавших районов и вынудив более 23000 человек искать убежища в официальных укрытиях[108]. Оценка существующих мест убежища для внутренне перемещенных лиц в Нампуле показала, что около 40 % временных убежищ были разрушены[109]. Тем временем в провинции Софала ситуация перемещения сохранялась для более 129000 человек, которые были вынуждены покинуть свои дома из-за тропического циклона «Идай» в 2019 году[110].

ВОЗДЕЙСТВИЕ КЛИМАТА НА ЭКОСИСТЕМЫ И ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Изменение климата имеет важные последствия для экосистем и окружающей среды. Например, недавняя оценка уникальной высокогорной области вокруг Тибетского нагорья[111], так называемого третьего полюса мира и крупнейшего хранилища снега и льда за пределами Арктики и Антарктики, показала, что глобальное потепление вызывает расширение умеренной зоны.

ФЕНОЛОГИЯ

Фенология — это изучение[112] повторяющихся явлений природы, таких как цветение деревьев или миграция птиц, и того, как на них влияет климат. Было установлено, что антропогенное изменение климата вызывает фенологические сдвиги в наземных и водных экосистемах[113]. Например, цветение сакуры, которое отслеживалось в Японии с 801 г. н. э., с конца XIX века[114,115]

---

[105] https://story.internal-displacement.org/2022-mid-year-update/index.html

[106] https://www.unhcr.org/news/stories/urgent-help-needed-malawi-rebuild-lives-wrecked-tropical-storm-ana

[107] https://dtm.iom.int/reports/mozambique-tropical-storm-ana-flash-report-03-02-february-2022-0

[108] https://reliefweb.int/report/mozambique/mozambique-tropical-cyclone-gombe-flash-update-no6-25-march-2022

[109] https://reliefweb.int/report/mozambique/mozambique-tropical-cyclone-gombe-flash-update-no6-25-march-2022

[110] https://data.unhcr.org/en/documents/details/98415, https://dtm.iom.int/mozambique

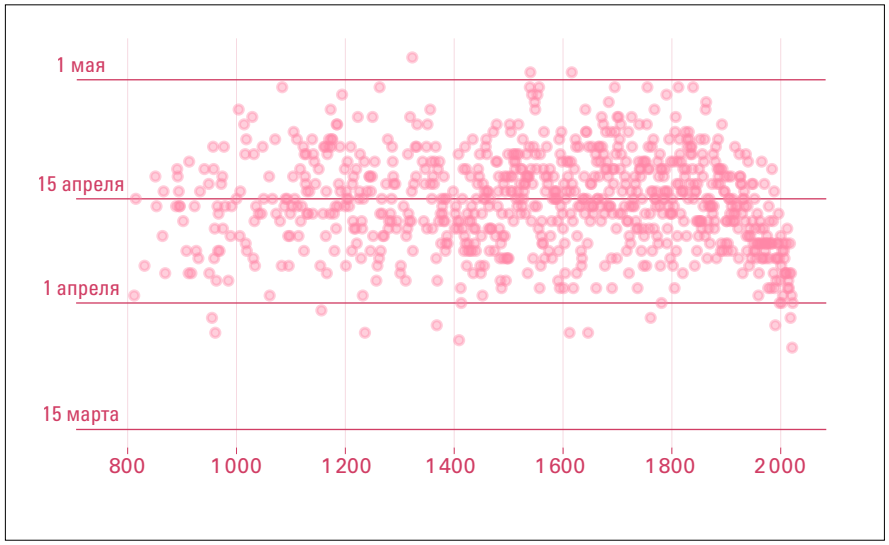
[111] United Nations Environment Programme (UNEP), 2022: *A Scientific Assessment of the Third Pole Environment*, https://www.unep.org/resources/report/scientific-assessment-third-pole-environment.

[112] Hemming, D. L.; Abernethy, R.; Armitage, C. et al. Phenology of Terrestrial and Freshwater Primary Producers [in "State of the Climate in 2017"]. *Bulletin of the American Meteorological Society* **2018**, *99* (8), S63–S66. https://doi.org/10.1175/2018BAMSStateoftheClimate.1.

[113] United Nations Environment Programme (UNEP), 2022: *Frontiers 2022: Noise, Blazes and Mismatches*, https://www.unep.org/resources/frontiers-2022-noise-blazes-and-mismatches.

[114] Aono, Y. Cherry Blossom Phenological Data Since the Seventeenth Century for Edo (Tokyo), Japan, and Their Application to Estimation of March Temperatures. *International Journal of Biometeorology* **2015**, *59*, 427–434. https://doi.org/10.1007/s00484-014-0854-0.

[115] Primack, R. B.; Higuchi, H.; Miller-Rushing, A. J. The Impact of Climate Change on Cherry Trees and Other Species in Japan. *Biological Conservation* **2009**, *142* (9), 1943–1949. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.03.016.



Дата полного цветения сакуры в Киото, Япония, с 812 г. н. э. по 2022 г.

Данные Aono, Y. Long-term Change in Climate and Floral Phenophase [на японском]. *Chikyu Kankyo (Global Environment)* **2012**, *17*, 21–29.

Источник: Джон Кеннеди

смещалось на все более ранние даты под воздействием изменения климата и урбанизации[116]. В 2021 году дата полного цветения пришлась на 26 марта, что стало самым ранним сроком за более чем 1200 лет (рис. 28). В 2022 году датой цветения стало 1 апреля[117].

Не все виды в экосистеме реагируют на одни и те же климатические воздействия и не все реагируют на них с одинаковой скоростью, что может привести к фенологическому рассогласованию, которое десинхронизирует экологические взаимодействия и угрожает функционированию экосистемы[118]. Например, время весеннего прилета 117 европейских видов перелетных птиц за пять десятилетий[119] показывает растущий уровень фенологического рассогласования с другими весенними явлениями, такими как распускание листвы и появление насекомых, которые важны для выживания птиц. Такие несоответствия, вероятно, способствовали сокращению численности популяций мигрирующих видов, особенно тех, которые зимуют в Африке к югу от Сахары.

[116] Christidis, N.; Aono Y.; Stott P. A. Human Influence Increases the Likelihood of Extremely Early Cherry Tree Flowering in Kyoto. *Environmental Research Letters* **2022**, *17*, 054051 https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac6bb4

[117] https://www.metoffice.gov.uk/about-us/press-office/news/weather-and-climate/2022/kyoto-cherry-blossom-dates-shifted-by-human-influence

[118] Thackeray, S.; Henrys, P.; Hemming, D. et al. Phenological Sensitivity to Climate Across Taxa and Trophic Levels. *Nature* **2016**, *535*, 241–245. https://doi.org/10.1038/nature18608.

[119] Saino, N. ; Ambrosini, R. ; Rubolini, D. et al. Climate Warming, Ecological Mismatch at Arrival and Population Decline in Migratory Birds. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* **2011**, *278* (1707), 835–842. https://doi.org/10.1098/rspb.2010.1778.

Обновление климатологической нормы до 1991—2020 гг.

Джон Кеннеди

Климатологические нормы используются в качестве эталона, с которым можно сравнивать условия[120] (см., например, рис. 3). Как правило, они основаны на средних данных за 30 лет. В руководящих принципах ВМО рекомендуется использование 30-летнего периода, заканчивающегося годом «0», и последний период охватывает 1991—2020 гг.

В настоящем докладе впервые использован период 1991—2020 гг., заменивший базовый период 1981—2010 гг. На рис. 29 приводятся среднегодовые температуры для 2022 года в сравнении с обоими базовыми периодами. Различия между базовыми периодами (рис. 30) обычно меньше, чем изменчивость годовых аномалий, но в целях облегчения сравнения на обоих рисунках используется одна и та же цветовая шкала. Сами температуры и их ранжирование не меняются, но новый базовый период влияет на аномалии: более крупные области оказываются ближе к новому базовому периоду или холоднее его. Это делает более очевидными закономерности, связанные с естественной изменчивостью, включая Ла-Нинью и отрицательную фазу индоокеанского диполя (см. «Краткосрочные факторы, определяющие климат»), которые присутствовали на протяжении большей части 2022 года.

Разница между нормой за разные периоды может дать представление о долгосрочных изменениях, хотя у этих двух периодов есть общее двадцатилетие. Долгосрочное потепление в период 1981—2010 гг. и 1991—2020 гг. (рис. 30, слева) в целом было более значительным на суше, чем в океане, превысив 0,5 °C в западной части Евразии и на Ближнем Востоке, и стало

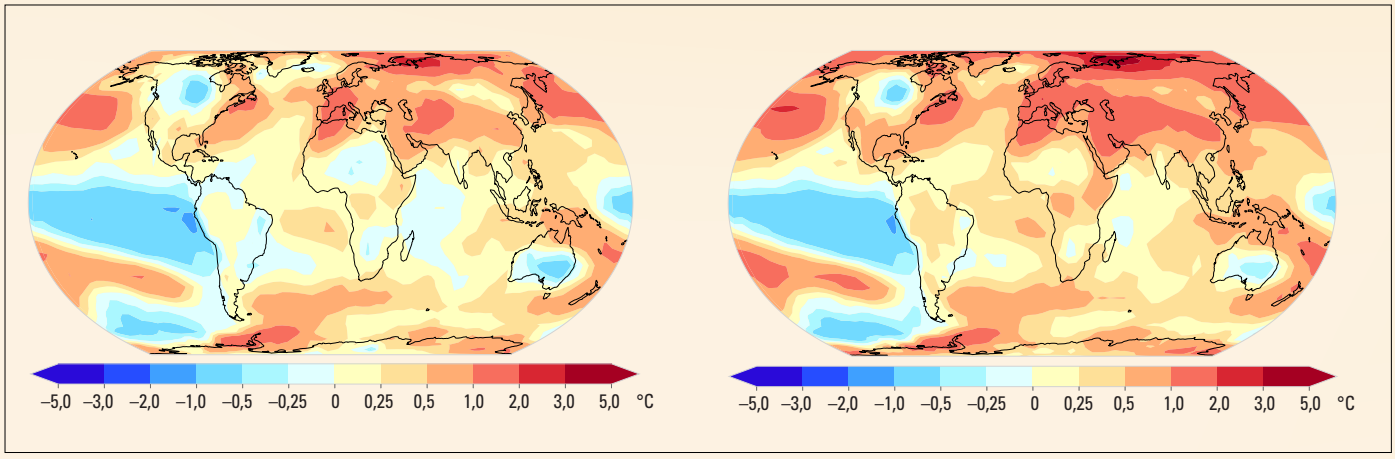


Рисунок 29. Аномалии среднегодовой температуры для 2022 года относительно базового периода 1991–2020 гг. (слева) и базового периода 1981–2010 гг. (справа). На основе медианы шести наборов данных.

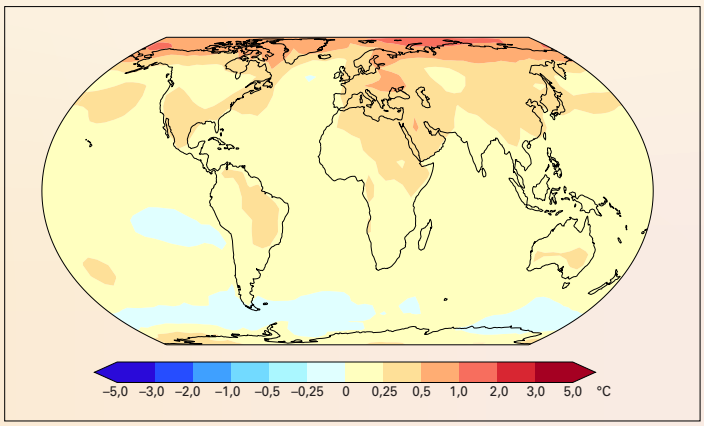


Рисунок 30. Разница в температуре между средними значениями за периоды 1991–2020 гг. и 1981–2010 гг. Показанная температура является медианой шести наборов данных.

[120] World Meteorological Organization (WMO). *The Role of Climatological Normals in a Changing Climate* (WMO/TD-No. 1377). WCDMP-No. 61. Geneva, 2007.

самым высоким в Арктике, где локально потепление превысило 1 °C. Наблюдались также ограниченные области незначительных изменений или слабого похолодания, в основном в Южном океане.

В океане наиболее сильное долговременное потепление было отмечено в северной и юго-западной частях Тихого океана. Также наблюдалась ограниченная область похолодания в восточной части Тихого океана. Эта закономерность обусловлена десятилетними изменениями, связанными с переходом от положительной фазы Тихоокеанского декадного колебания[121] (примерно с 1980 по 2000 год) к отрицательной фазе (с 2000 года по настоящее время) в сочетании с долгосрочным потеплением.

Временной ряд глобальной температуры в основной части доклада показан относительно базового периода 1850—1900 гг. В период с 1981 по 2010 год и с 1991 по 2020 год глобальная средняя температура выросла на 0,22 °C, с 0,77 °C до 0,99 °C выше среднего значения за 1850—1900 гг., что соответствует долгосрочной скорости изменения температуры, составляющей около 0,2 °C за десятилетие.

Этот период 1850—1900 гг. используется в качестве аппроксимации значений доиндустриальных температур, хотя истинные доиндустриальные условия, скорее всего, были несколько холоднее[122]. По оценкам РГ I ОД6 МГЭИК, разница между 1850—1900 и 1981—2010 годами составляет 0,69 °C. Для расчета аномалий относительно более раннего периода мы взяли аномалии по каждому набору данных относительно периода 1981—2010 гг. и добавили 0,69 °C. Неопределенность в аномалиях относительно базового уровня 1850—1900 гг. возникает в основном из-за разницы между двумя базовыми периодами и составляет 0,12 °C. Рассчитать достоверный базовый уровень 1850–1900 гг. для многих регионов мира не представляется возможным из-за отсутствия данных.

[121] Newman, M.; Alexander, M. A.; Ault, T. R. et al. The Pacific Decadal Oscillation, Revisited. *Journal of Climate* **2016**, *29* (12), 4399–4427. https://doi.org/10.1175/JCLI-D-15-0508.1.

[122] Hawkins, E.; Ortega, P.; Suckling, E. et al. Estimating Changes in Global Temperature since the Preindustrial Period. *Bulletin of the American Meteorological Society* **2017**, *98* (9), 1841–1856. https://doi.org/10.1175/BAMS-D-16-0007.1

Наблюдательная база для мониторинга климата

Мониторинг климата осуществляется системой систем наблюдений, охватывающих атмосферу, океан, гидрологию, криосферу и биосферу. Каждая из этих областей контролируется различными способами целым рядом организаций. Спутниковые наблюдения, охватывающие все эти области, вносят существенный вклад в глобальный мониторинг климата.

В 1992 году ВМО, Межправительственная океанографическая комиссия (МОК) Организации Объединенных Наций по вопросам образования, науки и культуры (ЮНЕСКО), Программа Организации Объединенных Наций по окружающей среде (ЮНЕП) и Международный научный совет (МНС) создали Глобальную систему наблюдений за климатом (ГСНК) в целях координации и содействия развитию и совершенствованию глобальных наблюдений за климатом. ГСНК определила набор важнейших климатических переменных (ВКлП), которые в совокупности дают информацию, необходимую для понимания, моделирования и прогнозирования эволюции климата, а также для планирования стратегий смягчения последствий и адаптации к ним (рис. 31). Состояние наблюдательной базы для этих ВКлП публикуется в регулярных информационных отчетах. ГСНК также определяет, что необходимо для улучшения системы, в отчетах по осуществлению деятельности.

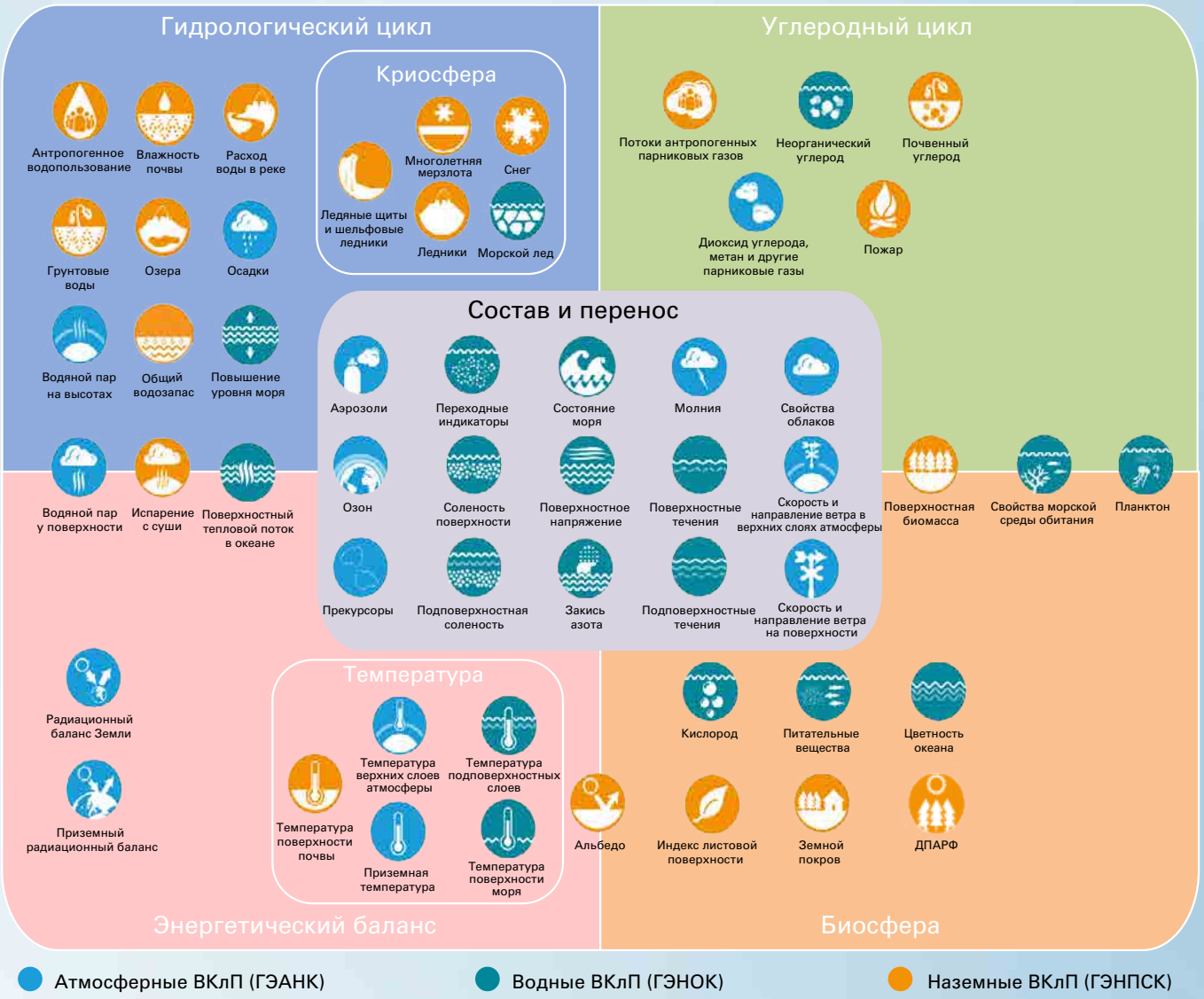


Рисунок 31. Важнейшие климатические переменные (ВКлП), выделенные ГСНК

В 2022 году ГСНК выпустила свой последний План осуществления с учетом выводов отчета о ходе работы ГСНК за 2021 год, последствий, вытекающих из Шестого оценочного доклада МГЭИК, и последних научных исследований климатических циклов. В публикации содержатся рекомендации по созданию устойчивой и отвечающей своим целям Глобальной системы наблюдений за климатом.

В дополнение к наблюдениям, обеспечиваемым координируемыми ГСНК Сетью приземных наблюдений (СПН) и Аэрологической сетью (ГУАН), национальные метеорологические и гидрологические службы (НМГС) Членов ВМО обеспечивают более полную и широкомасштабную сеть наблюдений, получаемых, в основном, для оперативного прогнозирования погоды. Глобальная опорная сеть наблюдений ВМО (ГОСН) — глобальная сеть с предписанными возможностями и расписанием наблюдений, для которой обязателен международный обмен данными, обеспечит критически необходимые наблюдения для численного прогнозирования погоды и поможет существенно укрепить реанализ климата.

ВМО, Программа развития ООН (ПРООН) и ЮНЕП, в целях оказания необходимой финансовой и технической помощи для внедрения и функционирования ГОСН в беднейших и менее всего охваченных наблюдениями районах земного шара, создали Фонд финансирования систематических наблюдений (ФФСН). ФФСН мобилизовал значительные средства для поддержки наблюдений в наименее развитых странах и малых островных развивающихся государствах и перешел к этапу реализации в 2023 году.

Дополняя наблюдения за физическими и динамическими свойствами атмосферы, Глобальная служба атмосферы (ГСА) ВМО координирует измерения состава атмосферы, обеспечивая получение надежных и точных данных их измерений, проводимых Членами ВМО, научно-исследовательскими институтами и/или агентствами и другими содействующими сетями.

Океанические наблюдения за физикой, биогеохимией, биологией и экосистемами океана координируются в рамках Глобальной системы наблюдений за океаном (ГСНО). Группа по координации наблюдений ГСНО (ГКН) следит за эффективностью этих наблюдений[123] и выпускает ежегодный отчет о системе наблюдений за океаном. Наблюдения за океаном, как правило, широко доступны для международных пользователей.

В области наблюдений за сушей существует более широкая группа сетей наблюдений. Гидрологические наблюдения, как правило, осуществляются НМГС и координируются через ВМО. Ряд специализированных глобальных сетей наблюдений за поверхностью суши (ГСНПС), например, по гидрологии, многолетней мерзлоте, ледникам, землепользованию и биомассе, также вносят свой вклад в ГСНК. Соглашения об обмене данными, как правило, менее разработаны для наземных сетей, и многие важные наблюдения не предоставляются международным пользователям

[123] https://www.ocean-ops.org/

Наборы данных и методы

ДАННЫЕ О ПАРНИКОВЫХ ГАЗАХ

Доиндустриальные условия представлены расчетными концентрациями за 1750 год. Расчеты допускают, что в доиндустриальный период молярная доля CO_2 составляла 278,3 млн$^{-1}$, CH_4 — 729,2 млрд$^{-1}$, а N_2O — 270,1 млрд$^{-1}$.

Мировой центр данных по парниковым газам, управляемый Японским метеорологическим агентством https://gaw.kishou.go.jp/.

Всемирная метеорологическая организация (ВМО). *Бюллетень ВМО по парниковым газам — № 18 — Содержание парниковых газов в атмосфере по данным глобальных наблюдений в 2021 г.* Женева, 2022 г.

ДАННЫЕ О ТЕМПЕРАТУРЕ

ВРЕМЕННЫЕ РЯДЫ ГЛОБАЛЬНОЙ СРЕДНЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ

Метод расчета аномалий глобальной средней температуры относительно базового уровня 1850—1900 гг. основан на оценке долгосрочных изменений и их неопределенности, проведенной Рабочей группой I в ее вкладе в Шестой оценочный доклад МГЭИК (РГ I ОД6 МГЭИК). Метод использует более короткие наборы данных, регулярно обновляемых для обеспечения оценки последних изменений температуры.

В 2021 году РГ I ОД6 МГЭИК провела оценку изменений, которые произошли относительно 1850—1900 гг. в другие периоды на основе среднего значения четырех наборов данных — HadCRUT5, Berkeley Earth, NOAA Interim и Kadow et al. (2020), все из которых охватывают период, начиная с 1850 года. Поскольку два из четырех наборов данных МГЭИК не обновляются регулярно, в настоящем докладе оценка изменения температуры между 1850—1900 и 1981—2010 гг., сделанная МГЭИК, объединена с оценкой изменений между 1981—2010 и текущим годом на основе шести наборов данных для расчета аномалий для 2022 года относительно 1850—1900 гг.

Шесть наборов данных по изменениям с 1981—2010 гг. до настоящего времени хорошо согласуются между собой, поскольку это период времени хорошо охвачен наблюдениями. Дополнительная неопределенность, обусловленная разбросом данных из шести наборов, комбинируется с результатами оценки неопределенности изменений с 1850—1900 по 1981—2010 гг., проведенной МГЭИК.

Аномалии глобальной средней температуры были рассчитаны относительно базового периода 1850—1900 гг. с использованием следующих шагов, начиная с временных рядов глобальных среднемесячных температур для каждого набора данных:

1. Для каждого набора данных аномалии относительно среднего значения за 1981—2010 гг. рассчитывались путем вычитания среднего значения за период 1981—2010 гг. для каждого месяца отдельно.

2. Среднегодовое значение рассчитывалось на основе среднемесячных показателей.

3. К каждому ряду было добавлено 0,69 °C, исходя из предполагаемой разницы между 1850—1900 и 1981—2010 годами, в соответствии с расчетами по методу РГ I ОД6 МГЭИК (см. подпись к рисунку 1.12 в упомянутом докладе).

4. Были рассчитаны среднее значение и стандартное отклонение шести оценок.

5. Неопределенность в оценке МГЭИК комбинировалась со стандартным отклонением при том понимании, что эти два показателя являются независимыми и что диапазон неопределенности МГЭИК (0,54—0,79 °C) представляет собой 90 % доверительный интервал (1,645 стандартных отклонений).

Таким образом было рассчитано значение за 2022 год (1,15 ± 0,13 °C), приводимое в настоящем докладе, причем 1,15 °C является средним шести оценок.

КАРТЫ ГОДОВЫХ ТЕМПЕРАТУР

Для карты температурных аномалий за 2022 год было использовано медианное значение шести наборов данных, пересчитанное под пространственную сетку наборов данных с наименьшим разрешением (NOAAGlobalTemp и HadCRUT5), которые представлены на широтно-долготной сетке с разрешением 5° широты и 5° долготы. Медиана используется вместо среднего значения для минимизации влияния потенциальных резко отклоняющихся значений в отдельных ячейках сетки. Полудиапазон наборов данных дает представление о неопределенности. Наибольший разброс между наборами данных наблюдается в высоких широтах и в Центральной Африке, то есть в регионах с редким охватом данными.

Были использованы следующие шесть наборов данных:

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

ERA5: Hersbach, H.; Bell, B.; Berrisford, P. et al. *ERA5 Monthly Averaged Data on Single Levels from 1940 to Present*; Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS), 2023. https://doi.org/10.24381/cds.f17050d7.

GISTEMP v4: GISTEMP Team, 2022: *GISS Surface Temperature Analysis (GISTEMP), version 4*. NASA Goddard Institute for Space Studies, https://data.giss.nasa.gov/gistemp/.
Lenssen, N.; Schmidt, G.; Hansen, J. et al. Improvements in the GISTEMP Uncertainty Model. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* **2019**, *124*, 6307–6326. https://doi.org/10.1029/2018JD029522.

HadCRUT.5.0.1.0: Morice, C. P.; Kennedy, J. J.; Rayner, N. A. et al. An Updated Assessment of Near-Surface Temperature Change From 1850: The HadCRUT5 Data Set. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* **2021**, *126*, e2019JD032361. https://doi.org/10.1029/2019JD032361.
Данные HadCRUT.5.0.1.0 получены с сайта http://www.metoffice.gov.uk/hadobs/hadcrut5 1 марта 2023 года, © British Crown Copyright, Met Office 2023, и предоставлены по открытой государственной лицензии, http://www.nationalarchives.gov.uk/doc/open-government-licence/version/3/.

JRA-55: Kobayashi, S.; Ota, Y.; Harada, Y. et al. The JRA-55 Reanalysis: General Specifications and Basic Characteristics. *Journal of the Meteorological Society of Japan*. Ser. II **2015**, *93*, 5–48. https://doi.org/10.2151/jmsj.2015-001.

NOAAGlobalTemp v5: Zhang, H.-M.; Huang, B.; Lawrimore, J. H. et al. *NOAA Global Surface Temperature Dataset (NOAAGlobalTemp), Version 5.0*. NOAA National Centers for Environmental Information. https://doi.org/10.25921/9qth-2p70.

Huang, B.; Menne, M. J.; Boyer, T. et al. Uncertainty Estimates for Sea Surface Temperature and Land Surface Air Temperature in NOAAGlobalTemp Version 5. *Journal of Climate* **2020**, *33*, 1351–1379. https://doi.org/10.1175/JCLI-D-19-0395.1.

Два дополнительных набора данных, использованных РГ I ОД6 МГЭИК:

NOAA Interim: Vose, R. S.; Huang, B.; Yin, X. et al. Implementing Full Spatial Coverage in NOAA's Global Temperature Analysis. *Geophysical Research Letters* **2021**, *48*, e2020GL090873. https://doi.org/10.1029/2020GL090873.

Kadow et al.: Kadow, C.; Hall, D. M.; Ulbrich, U. Artificial Intelligence Reconstructs Missing Climate Information. *Nature Geoscience* **2020** *13*, 408–413. https://doi.org/10.1038/s41561-020-0582-5.

ДАННЫЕ О ТЕПЛОСОДЕРЖАНИИ ОКЕАНА

ДАННЫЕ, ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ДЛЯ ОЦЕНОК ДО 2022 ГОДА:

Cheng, L.; Trenberth, K. E.; Fasullo, J. et al. Improved Estimates of Ocean Heat Content from 1960 to 2015. *Science Advances* **2017**, *3*, e1601545. https://doi.org/10.1126/sciadv.1601545.

Gaillard, F.; Reynaud, T.; Thierry, V. et al. In Situ–Based Reanalysis of the Global Ocean Temperature and Salinity with ISAS: Variability of the Heat Content and Steric Height. *Journal of Climate* **2016**, *29*, 1305–1323. https://doi.org/10.1175/JCLI-D-15-0028.1.

Ishii, M.; Fukuda, Y.; Hirahara, S. et al. Accuracy of Global Upper Ocean Heat Content Estimation Expected from Present Observational Data Sets. *SOLA* **2017**, *13*, 163–167. https://doi.org/10.2151/sola.2017-030.

Kuusela, M.; Giglio, D. Global Ocean Heat Content Anomalies based on Argo Data (2.0.0). *Zenodo* **2023**. https://doi.org/10.5281/zenodo.7562281.

Levitus, S.; Antonov, J. I.; Boyer, T. P. et al. World Ocean Heat Content and Thermosteric Sea Level Change (0-2 000 m) 1955–2010. *Geophysical Research Letters* **2012**, *39*, L10603. https://doi.org/10.1029/2012GL051106.

Lyman, J. M.; Johnson, G. C. Estimating Global Ocean Heat Content Changes in the Upper 1800 m since 1950 and the Influence of Climatology Choice. *Journal of Climate* **2014**, *27*, 1945–1957. https://doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00752.1.

von Schuckmann, K.; Le Traon, P.-Y. How Well Can We Derive Global Ocean Indicators from Argo Data? *Ocean Science* **2011**, *7*, 783–791. https://doi.org/10.5194/os-7-783-2011. Данные доступны по адресу: https://marine.copernicus.eu/access-data/ocean-monitoring-indicators.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ДАННЫЕ, ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ДЛЯ ОЦЕНОК ДО 2021 ГОДА:

Desbruyères, D. G.; Purkey, S. G.; McDonagh, E. L. et al. Deep and Abyssal Ocean Warming from 35 Years of Repeat Hydrography. *Geophysical Research Letters* **2016**, *43*, 310–356. https://doi.org/10.1002/2016GL070413.

Desbruyères, D.; McDonagh, E. L.; King, B. A. et al. Global and Full-Depth Ocean Temperature Trends during the Early Twenty-First Century from Argo and Repeat Hydrography. *Journal of Climate* **2017**, *30*, 1985–1997. https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0396.1.

Good, S. A.; Martin, M. J.; Rayner, N. A. EN4: Quality Controlled Ocean Temperature and Salinity Profiles and Monthly Objective Analyses with Uncertainty Estimates. *Journal of Geophysical Research: Oceans* **2013**, *118*, 6704–6716. https://doi.org/10.1002/2013JC009067.

Hosoda, S.; Ohira, T.; Nakamura, T. A Monthly Mean Dataset of Global Oceanic Temperature and Salinity Derived from Argo Float Observations. *JAMSTEC Report of Research and Development* **2008**, *8*, 47–59. https://www.jstage.jst.go.jp/article/jamstecr/8/0/8_0_47/_article.

Kuusela M.; Stein, M. L. Locally Stationary Spatio-temporal Interpolation of Argo Profiling Float Data. *Proceedings of the Royal Society A* **2018**, *474*, 20180400. http://dx.doi.org/10.1098/rspa.2018.0400.

Li, H.; Xu, F.; Zhou, W. et al. Development of a Global Gridded Argo Data Set with Barnes Successive Corrections. *Journal of Geophysical Research: Oceans* **2017**, *122*, 866–889, https://doi.org/10.1002/2016JC012285.

Roemmich, D.; Gilson, J. The 2004–2008 Mean and Annual Cycle of Temperature, Salinity, and Steric Height in the Global Ocean from the Argo Program. *Progress in Oceanography* **2009**, *82*, 81–100. https://doi.org/10.1016/j.pocean.2009.03.004.

Roemmich, D.; Church, J.; Gilson, J. et al. Unabated Planetary Warming and its Ocean Structure Since 2006. *Nature Climate Change* **2015**, *5*, 240. https://doi.org/10.1038/nclimate2513.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ДАННЫЕ, ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ДЛЯ ОЦЕНОК ДО 2020 ГОДА:

Church, J. A.; White, N. J.; Konikow, L. F. et al. Revisiting the Earth's Sea-level and Energy Budgets from 1961 to 2008. *Geophysical Research Letters* **2011**, *38*. https://doi.org/10.1029/2011GL048794.

Domingues, C. M.; Church, J. A.; White, N. J. et al. Improved Estimates of Upper-ocean Warming and Multi-decadal Sea-level Rise. *Nature* **2008**, *453*, 1090–1093. https://doi.org/10.1038/nature07080.

Li, Y.; Church, J. A.; McDougall, T. J. et al. Sensitivity of Observationally Based Estimates of Ocean Heat Content and Thermal Expansion to Vertical Interpolation Schemes. *Geophysical Research Letters* **2022**, *49*, e2022G. https://doi.org/10.1029/2022GL101079.

Wijffels, S.; Roemmich, D.; Monselesan, D., et al. Ocean Temperatures Chronicle the Ongoing Warming of Earth. *Nature Climate Change* **2016**, 6, 116–118. https://doi.org/10.1038/nclimate2924.

ДАННЫЕ ОБ УРОВНЕ МОРЯ

ГСУМ из CNES/Aviso+ https://www.aviso.altimetry.fr/en/data/products/ocean-indicators-products/mean-sea-level/data-acces.html#c12195

Copernicus Climate Change Service (C3S), 2018: *Sea Level Daily Gridded Data from Satellite Observations for the Global Ocean from 1993 to Present*. C3S Climate Data Store (CDS), https://doi.org/10.24381/cds.4c328c78.

ДАННЫЕ О МОРСКИХ ВОЛНАХ ТЕПЛА И ХОЛОДА

Морские волны тепла (МВТ) характеризуются как умеренные, когда температура поверхности океана (ТПО) превышает 90-й процентиль климатологического распределения на протяжении пяти или более дней. Определение последующим категориям дается с учетом разницы между ТПО и средним для климатологического распределения. Волны характеризуются как сильные, мощные или экстремальные, если эта разница, соответственно, более чем в два, три или четыре раза превышает разницу между 90-м процентилем и средним для климатологического распределения (Hobday et al., 2018). Категории МВХ определяются аналогично, но подсчет дней ведется с использованием температуры ниже 10-го процентиля.

В качестве базового периода для МВТ и МВХ используются 1982—2011 гг., что является сдвигом на год по сравнению с периодом стандартных норм 1981—2010 гг., поскольку первый полный год спутниковых данных о ТПО, на котором он основан (Banzon et al. 2016), приходится на 1982 год.

Hobday, A. J.; Oliver, E. C. J.; Sen Gupta, A. et al. Categorizing and Naming Marine Heatwaves. *Oceanography* **2018**, *31* (2), 1–13. https://www.jstor.org/stable/26542662.

Banzon, V.; Smith, T. M.; Chin, T. M. et al. A Long-Term Record of Blended Satellite and in Situ Sea-Surface Temperature for Climate Monitoring, Modeling and Environmental Studies. *Earth System Science Data* **2016**, *8* (1), 165–176. https://doi.org/10.5194/essd-8-165-2016.

ДАННЫЕ О ЗАКИСЛЕНИИ ОКЕАНА

Станции открытой воды: OISO — Франция, Индийский океан (данные за 2010—2018 гг.); SURLATLANT — Франция, Атлантический океан (данные за 2010—2018 гг.); LN6 — Исландия, Исландское море, северная часть Атлантического океана (данные за 2010—2020 гг.); K2 — Япония, северная часть Тихого океана (данные за 2010—2018 гг.); Остров Чатем — Новая Зеландия, южная часть Тихого океана (данные за 2015—2021 гг.).

Станции прибрежных вод: Муцу — Япония, порт Секинегама (данные за 2014—2019 гг.); Веллингтон — Новая Зеландия (данные за 2015—2021 гг.); L4 — Соединенное Королевство, Обсерватория Западного канала (данные за 2010—2019 гг.); W03 — Бельгия, эстуарий Шельды (данные за 2013—2020 гг.); NRSYON — Австралия, Национальная опорная станция Йонгала (данные за 2010—2020 гг.); REF M1V1 — Швеция, опорная станция (данные за 2010—2020 гг.); Кувейт — Кувейтский залив (данные за 2010—2020 гг.).

ДАННЫЕ О МОРСКОМ ЛЬДЕ

Используются данные индекса морского льда ОСИ-САФ EBMETCAT, версия 2.1 (OSI-SAF, на основе Lavergne et al., 2019, https://osisaf-hl.met.no/v2p1-sea-ice-index) и индекса морского льда NSIDC v3 (Fetterer et al., 2017). Концентрация морского льда оценивается на основании микроволнового излучения, измеренного со спутников. Протяженность морского льда — это площадь ячеек океанической сетки с концентрацией морского льда свыше 15 %. Хотя между наборами данных существуют относительно большие различия в абсолютных показателях, они хорошо согласуются между собой в отношении межгодовых изменений и тенденций. В настоящем докладе значения НЦДСЛ представлены в абсолютном выражении, при этом рейтинги представлены для обоих наборов данных.

EUMETSAT Ocean and Sea Ice Satellite Application Facility, Sea-ice Index 1979-Onwards (v2.1, 2020), OSI-420, Data Extracted from OSI SAF FTP Server: 1979–2020, Northern and Southern Hemisphere.

Fetterer, F.; Knowles, K.; Meier, W. N. et al., 2017, updated daily. Sea Ice Index, Version 3. Boulder, Colorado, USA. National Snow and Ice Data Center (NSIDC), https://nsidc.org/data/G02135/versions/3.

Lavergne, T. Sørensen, A. M.; Kern, S. et al. Version 2 of the EUMETSAT OSI SAF and ESA CCI Sea-Ice Concentration Climate Data Records. *The Cryosphere* **2019**, *13* (1), 49–78. https://doi.org/10.5194/tc-13-49-2019.

ДАННЫЕ О ЛЕДНИКАХ

Данные о балансе массы ледников для глобальной сети эталонных ледников доступны во Всемирной службе мониторинга ледников (ВСМЛ), https://www.wgms.ch. Данные о балансе массы за 2021—2022 гг. являются предварительными и основаны на подгруппе из 37 (из общего числа ~42) эталонных ледников ВСМЛ.

ДАННЫЕ О ЛЕДЯНЫХ ЩИТАХ ГРЕНЛАНДИИ И АНТАРКТИКИ

Данные о балансе массы Гренландского ледяного щита поступают из трех источников. Моделируемые изменения поверхностного баланса массы и полного баланса массы с 1985 по 2021 год основаны на среднем значении трех региональных моделей климата и баланса массы, описанных в Mankoff et al. (2021).

Временные ряды массы льда, полученные в ходе миссий GRACE и GRACE-FO, рассчитаны с использованием сферических гармонических функций из JPL RL06v1 по Velicogna et al. (2020). Термины первой степени для геоцентра рассчитываются с использованием метода, предложенного Sutterley and Velicogna (2019), при этом коэффициенты C2,0 и C3,0 взяты из работы Loomis et al. (2019). Данные GRACE/GRACE-FO скорректированы на долгосрочную тенденцию ледниковой изостатической компенсации твердой Земли с использованием региональной модели IJ05 R2 GIA Ivins et al. (2013) для Антарктиды и модели Симпсона и др. (2009) для Гренландии.

Ivins, E. R.; James, T. S.; Wahr, J. et al. Antarctic Contribution to Sea Level Rise Observed by GRACE with Improved GIA Correction. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* **2013**, *118*, 3126–3141. https://doi.org/10.1002/jgrb.50208.

Loomis, B. D.; Rachlin, K. E.; Luthcke, S. B. Improved Earth Oblateness Rate Reveals Increased Ice Sheet Losses and Mass-driven Sea Level Rise. *Geophysical Research Letters* **2019,** *46*, 6910–6917. https://doi.org/10.1029/2019GL082929.

Mankoff, K. D.; Fettweis, X.; Langen, P. L. et al. Greenland Ice Sheet Mass Balance from 1840 through Next Week. *Earth System Science Data* **2021**, *13* (10), 5001–5025. https://doi.org/10.5194/essd-13-5001-2021.

Simpson, M. J.; Milne, G. A.; Huybrechts, P. et al. Calibrating a Glaciological Model of the Greenland Ice Sheet from the Last Glacial Maximum to Present-day Using Field Observations of Relative Sea Level and Ice Extent. *Quaternary Science Reviews* **2009**, *28* (17), 1631–1657. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2009.03.004.

Sutterley, T. C.; Velicogna, I. Improved Estimates of Geocenter Variability from Time-variable Gravity and Ocean Model Outputs. *Remote Sensing* **2019**, *11* (18), 2108. https://doi.org/10.3390/rs11182108.

Velicogna I.; Mohajerani Y.; A, G. et al. Continuity of Ice Sheet Mass Loss in Greenland and Antarctica from the GRACE and GRACE Follow-On Missions, *Geophysical Research Letters* **2020,** *47*, e2020GL087291. https://doi.org/10.1029/2020GL087291.

Wiese, D. N.; Yuan, D.-N.; Boening, C. et al., 2019: JPL GRACE and GRACE-FO Mascon Ocean, Ice, and Hydrology Equivalent Water Height RL06M CRI Filtered Version 2.0, Ver. 2.0, Physical Oceanography Distributed Active Archive Center (PO.DAAC). http://dx.doi.org/10.5067/TEMSC-3MJ62.

МНОГОЛЕТНЯЯ МЕРЗЛОТА

Программа мониторинга циркумполярного деятельного слоя (CALM) Глобальной сети наблюдений за поверхностью суши — многолетняя мерзлота (ГСНПС-ММ) представляет собой основной глобальный архив данных о толщине деятельного слоя (ТДС), участки которого расположены в Арктике, Антарктике и высокогорных регионах многолетней мерзлоты.

ДАННЫЕ ОБ ОСАДКАХ

В анализе использовались следующие наборы данных Глобального центра климатологии осадков (ГЦКО):

- First Guess Monthly, https://doi.org/10.5676/DWD_GPCC/FG_M_100
- Monitoring Product (Version 2022), https://doi.org/10.5676/DWD_GPCC/MP_M_V2022_100
- Full Data Monthly (Version 2022), https://doi.org/10.5676/DWD_GPCC/FD_M_V2022_100
- Precipitation Climatology (Version 2022), https://doi.org/10.5676/DWD_GPCC/CLIM_M_V2022_100

На рис. 21 Исландия представлена как страна с более засушливыми условиями по сравнению с многолетним средним значением. На самом деле в Исландии в течение года условия были более влажными, чем в среднем (см. годовой отчет Исландии https://www.vedur.is/um-vi/frettir/tidarfar-arsins-2022). Такое расхождение, вероятнее всего, связано с изменением способа обработки данных в режиме реального времени.

Список сторон, предоставивших материалы

ЧЛЕНЫ ВМО

Австралия, Алжир, Аргентина, Армения, Бангладеш, Барбадос, Бахрейн, Бельгия, Бенин, Болгария, Босния и Герцеговина, Бразилия, Британские Карибские территории, Венгрия, Вьетнам, Гватемала, Германия, Гонконг (Китай), Гренада, Греция, Грузия, Дания, Доминика, Доминиканская Республика, Египет, Замбия, Израиль, Индия, Индонезия, Исламская Республика Иран, Исландия, Ирак, Ирландия, Италия, Иордания, Казахстан, Каймановы острова, Камерун, Канада, Китай, Колумбия, Коста-Рика, Кот-д'Ивуар, Кения, Королевство Нидерланды, Латвия, Ливия, Литва, Люксембург, Макао (Китай), Мадагаскар, Мальдивы, Мали, Маврикий, Мексика, Монголия, Черногория, Марокко, Мьянма, Намибия, Новая Зеландия, Норвегия, Объединенная Республика Танзания, Пакистан, Папуа-Новая Гвинея, Парагвай, Перу, Польша, Португалия, Республика Молдова, Российская Федерация, Руанда, Саудовская Аравия, Сейшельские Острова, Сент-Китс и Невис, Сент-Винсент и Гренадины, Северная Македония, Сенегал, Сербия, Сирийская Арабская Республика, Словакия, Словения, Соединенное Королевство, Соединенные Штаты Америки, Таиланд, Того, Тринидад и Тобаго, Тунис, Турция, Уганда, Узбекистан, Украина, Уругвай, Филиппины, Финляндия, Франция, Хорватия, Чешская Республика, Чили, Швейцария, Швеция, Шри-Ланка, Эквадор, Эстония, Южная Африка, Япония.

УЧРЕЖДЕНИЯ

Британская антарктическая служба (БАС); Бюро метеорологии, Австралия; Карлтонский университет, Оттава, Канада; Университет Карнеги-Меллон, Питтсбург, США; СЕЛАД, Меркатор Осеан Интернасьональ, Тулуза, Франция; Центр океанических меганаук, Китайская академия наук, Китай; Центр полярных наблюдений и моделирования (ЦПНМ), Университет Лидса, Великобритания; Кооперативный институт метеорологических спутниковых исследований (КИМСИ), Университет Мэриленда, США; КСИРО - океаны и атмосфера, Хобарт, Тасмания, Австралия; Датский метеорологический институт (ДМИ); Метеорологическая служба Германии (ДВД); Министерство окружающей среды и изменения климата Канады (МОСИКК); Швейцарский федеральный технологический институт, Цюрих, Швейцария; Европейский центр среднесрочных прогнозов погоды (ЕЦСПП); Геологическая служба Канады, Оттава, Канада; ГЕОМАР, Киль, Германия; Университет Джорджа Вашингтона, Вашингтон, округ Колумбия, США; Глобальный центр климатологии осадков (ГЦКО); Портал по углероду КСНУ, Лундский университет, Швеция; Французский научно-исследовательский институт по изучению моря (IFREMER), Брестский университет, Национальный центр научных исследований (CNRS), Французский научно-исследовательский институт для целей развития (ИРД), Лаборатория физики и пространственной океанографии, Брест, Франция; Швейцарский институт исследования снега и лавин, SLF, Швейцария; Институт физики атмосферы (ИФА), Китайская академия наук, Пекин, Китай; Центр наблюдения за процессами внутреннего перемещения лиц (ЦНВП); Японский морской научно-технологический центр (JAMSTEC), Япония; Японское метеорологическое агентство (ЯМА), Япония; Лаборатория исследований в области геофизики и океанографии – Национальный центр космических исследований (LEGOS CNES), Франция; Магеллиум, Франция; Масариков университет, Брно, Чешская Республика; Меркатор Осеан Интернасьональ, Тулуза, Франция; Метеобюро, Соединенное Королевство; Национальное управление по исследованию океанов и атмосферы, Лаборатория глобального мониторинга (ЛГМ НУОА), США; Национальные центры информации об окружающей среде Национального управления по исследованию океана и атмосферы (НЦИОС НУОА), США; Национальное управление по исследованию океанов и атмосферы, Тихоокеанская лаборатория по морской окружающей среде (ТЛМОС НУОА), Сиэттл, США; Национальный океанографический центр, Саутгемптон, Великобритания (НОЦ); Норвежский метеорологический институт; Обсерватория Миди-Пиренеи (OMP), Франция; Ocean Scope, Брест, Франция; Государственный университет Рутгерса, Нью-Джерси, США; Школа наук о Земле, Юньнаньский университет, Куньмин, Китай; Science Systems and Applications, Inc., Центр космических полетов НАСА имени Годдарда, США; Институт океанографии имени Скриппса, Калифорнийский университет, Сан-Диего, США; Сорбоннский университет, Национальный центр научных исследований (CNRS), Лаборатория океанографии в Вильфранш, Франция; Университет Тохоку, Япония; Брестский университет, Франция; Университет Калгари, Канада; Калифорнийский университет, Ирвайн, США; Университет Колорадо, Боулдер, США; Университет Нового Южного Уэльса, Сидней, Австралия; Университет Северной Британской Колумбии, Канада; Амстердамский свободный университет, Королевство Нидерландов; Океанографический институт Вудс-Хоул, Массачусетс, США; Мировой центр данных по парниковым газам (МЦДПГ), ЯМА, Япония

УЧРЕЖДЕНИЯ ООН

Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций (ФАО), Межправительственная океанографическая комиссия Организации Объединенных Наций по вопросам образования, науки и культуры (МОК ЮНЕСКО), Международная организация по миграции (МОМ), Программа Организации Объединенных Наций по окружающей среде (ЮНЕП), Управление Верховного комиссара Организации Объединенных Наций по делам беженцев (УВКБ), Управление Организации Объединенных Наций по снижению риска бедствий (УСРБ ООН), Всемирная продовольственная программа (ВПП)

ОТДЕЛЬНЫЕ ЭКСПЕРТЫ

Сигне Аабоэ (Норвежский метеорологический институт), Ахмат Юнус Абдель-Латиф (ВПП ООН), Хорхе Альвар-Белтран (ФАО), Висенте Анцеллини (ЦНВП), Крис Аткинсон (Метеобюро, Соединенное Королевство), Омар Баддур (координатор публикаций, ВМО), Пол М. Баркер (Университет Нового Южного Уэльса), Анн Барну (Магеллиум), Хамза Бенлараби (МОМ), Яна Бирнер (УВКБ ООН), Джессика Бланден (НЦИОС), Рожерио Бонифасио (ВПП), Тим Бойер (НЦИОС НУОА), Анни Казенав (LEGOS CNES и ОМР), Сюань Че (УСРБ ООН), Лицзин Чэн (ИФА, Центр океанических меганаук), Джон Черч (Университет Нового Южного Уэльса), Дамьен Дебрюйер (IFREMER), Эд Длугокенски (НУОА), Катя М. Домингес (НОЦ), Роберт Данн (Метеобюро, Соединенное Королевство), Томас Эстилоу (Государственный университет Рутгерса, Нью-Джерси), Арианна Джалетти (ФАО), Доната Джильо (Университет Колорадо), Джон Е. Гилсон (Институт океанографии имени Скриппса), Ацуши Гото (ВМО), Иван Гузен (LEGOS и ОМР), Флора Гэс (СЕЛАД, Меркатор Осеан Интернасьональ), Дебби Хемминг (Метеобюро, Соединенное Королевство), Лоретта Хибер Жирарде (УСРБ ООН), Шигеки Хосода (JAMSTEC), Сандер Хувелинг (Амстердамский свободный университет), Филип Грбачек (Масариков университет), Матиас Хюсс (Швейцарский федеральный технологический институт, Цюрих), Кетиль Исаксен (Норвежский метеорологический институт), Кирстен Изензее (МОК-ЮНЕСКО), Грегори С. Джонсон (ТЛМОС НУОА), Маартен Каппелле (ЮНЕП), Джон Кеннеди (ведущий автор, ВМО), Рейчел Киллик (Метеобюро, Соединенное Королевство), Брайан Кинг (НОЦ), Николас Колодзейчик (IFREMER), Анимеш Кумар (УСРБ ООН), Микаэль Куусела (Университет Карнеги-Меллон), Томас Лаверн (Норвежский метеорологический институт), Ланцелот Леклерк (LEGOS), Юэхуа Ли (Школа наук о Земле), Рикардо Локарнини (НЦИОС), Джон Лайман (ТЛМОС НУОА), Шон Маршалл (ведущий специалист, отдел криосферы, МОСИКК и Университет Калгари), Джесси Мейсон (ВПП), Тревор Макдугалл (Университет Нового Южного Уэльса), Брайан Менунус (Университет Северной Британской Колумбии), Одри Минер (Меркатор Осеан Интернасьональ), Дидье Паоло Монселезан (КСИРО — океаны и атмосфера), Колин Морис (Метеобюро, Соединенное Королевство), Эрик Р. Нэш (Science Systems and Applications, Inc., Центр космических полетов НАСА имени Годдарда), Лев Неретин (ФАО), Жюльен Николя (ЕЦСПП), Жаннетт Ноцли (Швейцарский институт исследования снега и лавин), Инес Отосака (ЦПНМ), Джанкарло Пини (ВПП), Сильвен Понсерр (ЦНВП), Сара Перки (Институт океанографии имени Скриппса), Клер Рэнсом (посредник по проекту, ВМО), Джеймс Рейган (НЦИОС), Дэвид Робинсон (Государственный университет Рутгерса, Нью-Джерси), Дин Реммих (Институт океанографии имени Скриппса), Канако Сато (JAMSTEC), Кацунари Сато (ЯМА), Абишек Савита (ГЕОМАР), Юсуке Сава (ЯМА, МЦДПГ), Роберт В. Шлегель (Сорбоннский университет, CNRS, Лаборатория океанографии в Вильфранш), Катерина Шу (МОК-ЮНЕСКО), Рауль Сенгупта (УСРБ ООН), Хозе Альваро Мендес Пимпао Альвес Сильва (ВМО), Шерон Смит (Геологическая служба Канады), Мартин Стендель (ДМИ), Питер Стоит (Метеобюро, Соединенное Королевство), Дмитрий Стрелецкий (Университет Джорджа Вашингтона), Тошио Суга (Университет Тохоку; JAMSTEC), Танги Секели (Ocean Scope), Оксана Тарасова (ВМО), Блер Тревин (ведущий специалист, секция экстремальных явлений, Бюро метеорологии), Джон Тернер (БАС), Фрейя Вамборг (ЕЦСПП), Изабелла Великонья (Калифорнийский университет, Ирвайн), Алекс Вермелен (Портал по углероду КСНУ), Карина фон Шукманн (ведущий специалист, секция теплосодержания океана), Инг Ванг (ЮНЕП), Сьюзан Е. Виффельс (КСИРО — океаны и атмосфера; Океанографический институт Вудс-Хоул), Мишель Йонетани (УВКБ ООН), Маркус Зизе (ГЦКО, ДВД)

За дополнительной информацией просьба обращаться::

World Meteorological Organization

7 bis, avenue de la Paix – P.O. Box 2300 – CH 1211 Geneva 2 – Switzerland

Strategic Communications Office
Cabinet Office of the Secretary-General

Тел.: +41 (0) 22 730 83 14 – Факс: +41 (0) 22 730 80 27

Эл. почта: communications@wmo.int

public.wmo.int

JN 23422