

Состояние глобального климата в 2021 году



ПОГОДА КЛИМАТ ВОДА



ВСЕМИРНАЯ
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ
ОРГАНИЗАЦИЯ

ВМО-№ 1290

ВМО-№ 1290

© Всемирная метеорологическая организация, 2022

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

Тел.: +41 (0) 22 730 84 03

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

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

ISBN 978-92-63-41290-4

Иллюстрация на обложке из Adobe Stock: Icebergs (Фото предоставлено: z576); Forest fires, red and orange forest fires at night in the dry season (Фото предоставлено: prirach); Shallow Coral Reef and Island in Raja Ampat (Фото предоставлено: ead72); Flooded terrain in lowland of Great river (Фото предоставлено: Vladimir Melnikov). iSTOCK: Terre de sécheresse au coucher du soleil. Ciel dramatique de désert. changement climatique (Фото предоставлено: mycola).

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 | 2 |
| Предисловие | 3 |
| Глобальные климатические показатели | 4 |
| Базовые периоды | 4 |
| Парниковые газы. | 4 |
| Температура | 6 |
| Океан. | 7 |
| Криосфера | 12 |
| Стратосферный озон | 19 |
| Факторы, влияющие на краткосрочную изменчивость климата. | 20 |
| Явления со значительными последствиями в 2021 году. | 24 |
| Волны тепла и лесные пожары. | 24 |
| Волны холода и снег. | 25 |
| Осадки. | 26 |
| Паводки | 27 |
| Засуха | 28 |
| Тропические циклоны | 29 |
| Сильные штормы. | 31 |
| Соотнесение | 31 |
| Риски и воздействия | 33 |
| Продовольственная безопасность | 33 |
| Гуманитарные последствия и перемещение населения | 35 |
| Воздействие климата на экосистемы | 38 |
| <i>Летние экстремальные явления в Северном полушарии: роль квазистационарных планетарных волн и арктическое усиление потепления.</i> | <i>40</i> |
| <i>Наблюдательная база для мониторинга климата</i> | <i>44</i> |
| <i>Могут ли межсезонные прогнозы повысить готовность к рискам стихийных бедствий в регионе Юго-Восточной Азии?</i> | <i>46</i> |
| <i>Обзор тематического исследования 20–26 сентября 2021 года</i> | <i>46</i> |
| Наборы данных и методы | 47 |
| Список сторон, предоставивших материалы | 53 |

Наиболее важные факты



Глобальная средняя температура в 2021 году была примерно на $1,11 \pm 0,13$ °C выше средней доиндустриальной температуры 1850–1900 годов. 2021 год был менее теплым в сравнении с некоторыми из последних лет из-за влияния Ла-Нинья в начале и конце года. Последние семь лет, с 2015 по 2021 год, стали самыми теплыми за всю историю наблюдений.



Глобальный средний уровень моря достиг нового рекордного максимума в 2021 году, повышаясь в среднем на 4,5 мм в год в период 2013–2021 годов.



В 2021 году озоновая дыра в Антарктике достигла максимальной площади в 24,8 млн км². Эта необычно глубокая и масштабная озоновая дыра была вызвана сильным и устойчивым полярным вихрем и более холодными, чем обычно, условиями в нижней стратосфере.



В середине августа в Гренландии отмечалось исключительное таяние и выпал первый за всю историю зарегистрированных наблюдений дождь на станции «Верхний лагерь», самой высокой точке Гренландского ледяного щита, расположенной на высоте 3 216 м над уровнем моря.



Беспрецедентные волны тепла побили рекорды на западе Северной Америки и в Средиземноморье. В Долине Смерти, штат Калифорния, 9 июля температура достигла 54,4 °C, сравнявшись с аналогичным значением 2020 года, самой высокой температурой, зарегистрированной в мире по крайней мере с 1930-х годов. В Сиракузах на Сицилии была зафиксирована температура 48,8 °C.



Ураган «Ида» стал самым значительным за сезон ураганов в районе Северной Атлантики. 29 августа он вышел на сушу в штате Луизиана как самый сильный за историю наблюдений для штата и повлек за собой экономический ущерб, который оценивается в 75 млрд долларов США.



В китайской провинции Хэнань смертоносное и разорительное наводнение привело к экономическим потерям в размере 17,7 млрд долларов США, а Западная Европа в середине июля пережила одно из самых сильных наводнений за всю историю наблюдений. Связанный с ним экономический ущерб для Германии превысил 20 млрд долларов США.



Засуха затронула многие регионы мира, включая районы Канады, США, Исламской Республики Иран, Афганистана, Пакистана, Турции и Туркменистана. В Канаде сильная засуха привела к тому, что прогнозируемый уровень производства пшеницы и канолы оказался на 35–40 % ниже уровня 2020 года, а в США уровень озера Мид на реке Колорадо в июле упал до 47 м ниже нормального подпорного уровня, что стало самым низким показателем за всю историю наблюдений.



Комплексное воздействие конфликтов, экстремальных погодных явлений и экономических потрясений, дополнительно усугубленное пандемией COVID-19, отрицательно сказалось на десятилетиях прогресса в деле повышения продовольственной безопасности во всем мире.



Опасные гидрометеорологические явления оставались одной из причин внутреннего перемещения населения. Странами с наибольшим числом перемещенных лиц, зарегистрированных по состоянию на октябрь 2021 года, являются Китай (более 1,4 млн), Вьетнам (более 664 тыс.) и Филиппины (более 600 тыс.).

Предисловие



Заявление Всемирной метеорологической организации о состоянии глобального климата в 2021 году публикуется через несколько месяцев после выхода материалов Рабочих групп I, II и III для Шестого оценочного доклада Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК). В настоящем заявлении ВМО содержится обновленная информация о состоянии климата в 2021 году и демонстрируются сохраняющиеся тенденции (о которых также сообщается в докладах МГЭИК) по основным показателям. К ним относятся концентрация парниковых газов, глобальная среднегодовая приземная температура, глобальный средний уровень моря, теплосодержание океана, закисление океана, протяженность морского льда и изменение массы ледяных щитов и ледников. В то время как основные показатели свидетельствуют о продолжающемся изменении климата, информация о социально-экономических последствиях подчеркивает уязвимость населения к текущим погодным и климатическим явлениям. Сообщается об убытках и ущербе на сумму более 100 млрд долларов США, а также о серьезных последствиях для продовольственной безопасности и гуманитарных аспектов вследствие погодных и климатических явлений со значительным воздействием.

Рост атмосферной концентрации CO_2 в 2019–2020 гг. был чуть менее значительным, чем тот, что наблюдался в 2018–2019 гг., однако это

увеличение все же превысило среднегодовые темпы роста за последнее десятилетие. Оно происходило несмотря на снижение выбросов CO_2 от сжигания ископаемых видов топлива примерно на 5,6 % в 2020 году из-за ограничений, связанных с пандемией COVID-19.

Стабилизация средней глобальной температуры на уровне от 1,5 °C до 2 °C выше доиндустриального (1850–1900 гг.) к концу этого столетия потребует амбициозного сокращения выбросов парниковых газов, которое должно ускориться в течение этого десятилетия.

Для адаптации к изменению климата различным секторам крайне необходимы системы заблаговременных предупреждений. Однако менее половины Членов сообщают о наличии таких систем. ВМО и ее Члены тесно сотрудничают для существенного улучшения ситуации в ближайшем будущем.

Пользуясь случаем, я хочу поблагодарить экспертов и ведущего автора, которые составили настоящий доклад с использованием анализа физических данных и оценки воздействия. Я благодарю всех авторов, особенно национальные метеорологические и гидрологические службы Членов ВМО, региональные климатические центры и учреждения ООН, за их сотрудничество и участие. Настоящий доклад призван помочь нашим организациям ознакомить мировых лидеров и граждан с последней информацией о состоянии системы Земля, погодных и климатических условиях в 2021 году, а также о последствиях погодных и климатических явлений. ВМО остается привержена поддержке этой публикации и ее широкому распространению с данной целью.



(проф. Петтери Таалас)
Генеральный секретарь

Глобальные климатические показатели

Глобальные климатические показатели¹ дают широкое представление об изменении климата в глобальном масштабе, включая состав атмосферы, изменения энергии, реакции суши, океана и льда. Эти показатели тесно взаимосвязаны. Например, рост содержания CO₂ и других парниковых газов в атмосфере приводит к дисбалансу энергии и, следовательно, к потеплению атмосферы и океана. Потепление океана, в свою очередь, приводит к повышению уровня моря, происходящему также в результате таяния льда на суше вследствие повышения температуры атмосферы. Глобальные показатели опираются на широкий спектр наборов данных, которые приводятся в конце настоящего доклада и основаны на многочисленных системах наблюдений (см. раздел «[Наблюдательная база для мониторинга климата](#)»). В совокупности эти показатели создают целостную картину потепления в мире, которое затрагивает все части системы Земля.

Связь между глобальными климатическими показателями и Целями в области устойчивого развития была освещена в публикации *Климатические показатели и устойчивое развитие: демонстрация взаимосвязи* (ВМО-№ 1271). В докладе прослеживаются прямые и обратные связи между основными показателями климата как физической системы и каскадные риски для большинства из 17 Целей в области устойчивого развития. Поэтому мониторинг глобальных климатических показателей, а также связанных с ними рисков и последствий, имеет важнейшее значение для достижения Целей в области устойчивого развития к 2030 году.

БАЗОВЫЕ ПЕРИОДЫ

Базовые периоды представляют собой определенный промежуток времени, обычно охватывающий одно или несколько десятилетий, который используется в качестве фиксированного периода, с которым можно сравнивать текущие условия. В настоящем

докладе используются различные базовые периоды, указанные в тексте и в подписях к рисункам, когда это необходимо.

Во всех возможных случаях для согласованного представления информации в качестве базового периода используется стандартная климатическая норма ВМО за 1981—2010 годы². Однако в отношении некоторых показателей использовать этот базовый период невозможно либо ввиду отсутствия измерений в течение всего периода, либо потому, что для расчета репрезентативных статистических данных требуется более длительный срок.

Существует два заметных исключения. Во-первых, для средней глобальной температуры используется базовый период с 1850 по 1900 год. Эта точка отсчета используется в последних докладах МГЭИК (Шестой оценочный доклад³, Специальный доклад «Глобальное потепление на 1,5 °C⁴») в качестве базового периода для доиндустриальной температуры; она важна для понимания прогресса в деле достижения целей Парижского соглашения. Во-вторых, концентрацию парниковых газов в атмосфере можно оценить за гораздо более ранние периоды времени, используя газовые пузырьки, содержащиеся в ледяных кернах. Поэтому в данном докладе для представления доиндустриальных концентраций парниковых газов используется 1750 год.

ПАРНИКОВЫЕ ГАЗЫ

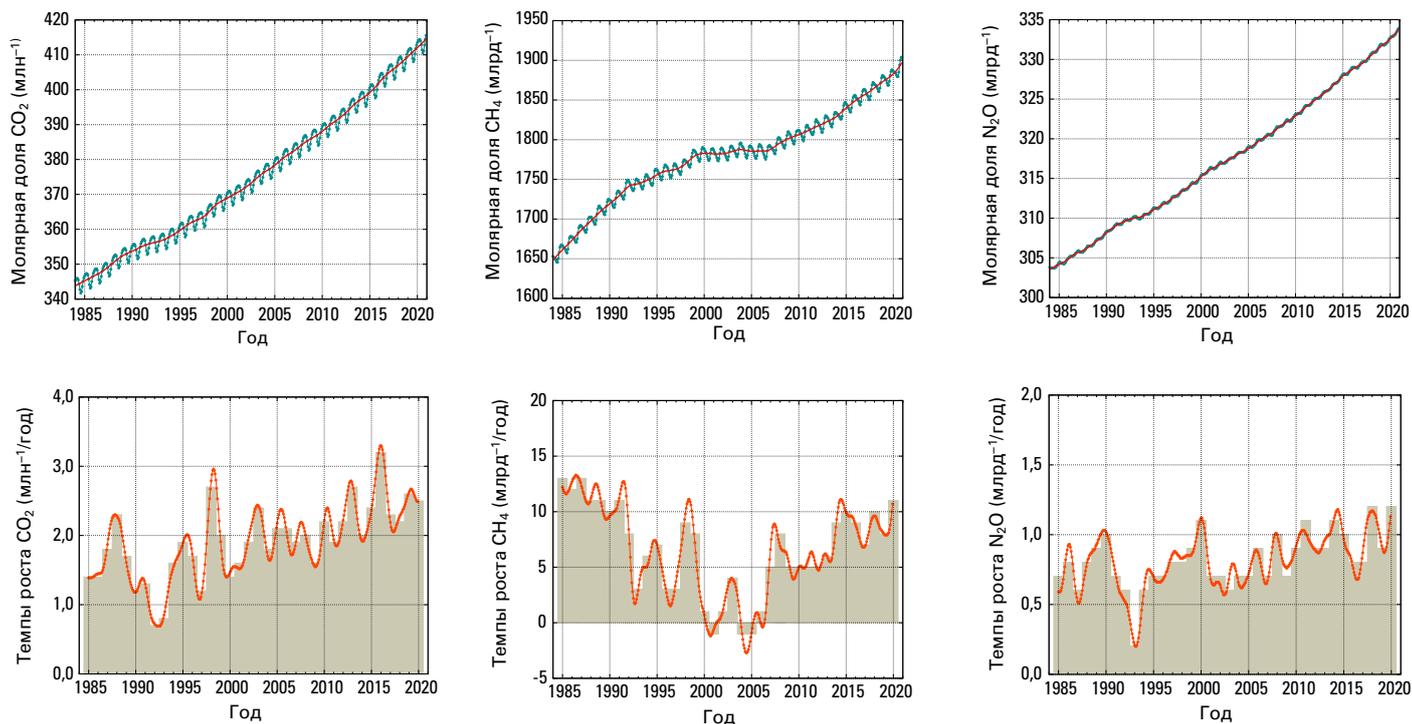
Концентрация парниковых газов в атмосфере отражает баланс между антропогенными выбросами и выбросами из естественных источников и их поглощением биосферой и океанами. Повышение уровня парниковых газов в атмосфере в результате деятельности человека является основным фактором изменения климата с середины XX века. Глобальные усредненные молярные доли парниковых газов рассчитываются на основе наблюдений *in situ*

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://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/102/1/BAMS-D-19-0196.1.xml>.

² Использование периода 1981—2010 гг., а не 1991—2020 гг. позволяет обеспечить согласованность климатической отчетности Членов ВМО, не все из которых еще перешли на использование более позднего периода.

³ Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК), 2021: ОД6 «Изменение климата, 2021 год: физическая научная основа», <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>.

⁴ Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК), 2018: Специальный доклад МГЭИК «Глобальное потепление на 1,5 °C», <https://www.ipcc.ch/sr15/>.



на множестве площадок в рамках Программы Глобальной службы атмосферы (ГСА) ВМО и партнерских сетей.

В 2020 году молярные доли парниковых газов достигли новых максимумов: глобальные усредненные приповерхностные молярные доли двуокиси углерода (CO_2) составили $413,2 \pm 0,2$ частей на миллион (млн^{-1}), метана (CH_4) — 1889 ± 2 части на миллиард (млрд^{-1}) и закиси азота (N_2O) — $333,2 \pm 0,1$ млрд $^{-1}$, что представляет собой 149, 262 и 123 % от доиндустриальных уровней соответственно. Рост концентрации CO_2 в атмосфере в 2019–2020 гг. был чуть менее значительным, чем тот, что наблюдался в 2018–2019 гг., однако это увеличение все же превысило среднегодовые темпы роста за последнее десятилетие. Оно происходило несмотря на снижение выбросов CO_2 от сжигания ископаемых видов топлива примерно на 5,6 % в 2020 году из-за ограничений, связанных с пандемией COVID-19⁵. Что касается CH_4 и N_2O , рост их концентрации в 2019–2020 гг. был выше, чем в 2018–2019 гг., и выше среднегодовых темпов роста за последнее десятилетие.

Данные в режиме реального времени из некоторых местоположений, включая Мауна-Лоа

(Гавайи) и Кейп-Грим (Тасмания), показывают, что уровни CO_2 , CH_4 и N_2O в 2021 году продолжали расти.

Концентрация метана (CH_4) в атмосфере вызывает обеспокоенность, поскольку он является не только мощным парниковым газом, но и прекурсором тропосферного озона с последствиями для здоровья человека, сельского хозяйства и экосистем⁶. Среднегодовой прирост CH_4 снизился с приблизительно 12 млрд $^{-1}$ /год в конце 1980-х годов до почти нулевого значения в период с 1999 по 2006 год. С 2007 года количество атмосферного CH_4 растет, и в 2020 году оно увеличилось на 11 млрд $^{-1}$ по сравнению с уровнем 2019 года. Исследования, основанные на данных измерений CH_4 ГСА, указывают на то, что вероятной причиной этого недавнего роста является увеличение выбросов CH_4 из водно-болотных угодий в тропиках, а также выбросов из антропогенных источников в средних широтах Северного полушария⁷. В этих исследованиях также указывалось на краткосрочные климатические выгоды и экономическую рентабельность смягчения воздействия выбросов CH_4 . Подобные меры по смягчению последствий были представлены в оценке метана, проведенной Программой ООН

Рисунок 1. Верхний ряд: глобально усредненная молярная доля (мера концентрации) в период с 1984 по 2020 год: CO_2 в частях на миллион (слева), CH_4 в частях на миллиард (посередине) и N_2O в частях на миллиард (справа). Красной линией обозначена среднемесячная молярная доля без учета сезонных колебаний; голубыми точками и линиями показаны среднемесячные значения. Нижний ряд: темпы прироста, представляющие собой последовательное увеличение среднегодовых молярных долей, показаны в виде серых столбцов для CO_2 в частях на миллион в год (слева), для CH_4 — в частях на миллиард в год (посередине) и для N_2O — в частях на миллиард в год (справа). Источник: Глобальная служба атмосферы ВМО

⁵ https://public.wmo.int/en/resources/united_in_science; https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=21946

⁶ <https://www.unep.org/resources/report/global-methane-assessment-benefits-and-costs-mitigating-methane-emissions>

⁷ Nisbet, E. G.; Manning, M. R.; Dlugokencky, E. J. et al. Very Strong Atmospheric Methane Growth in the 4 Years 2014–2017: Implications for the Paris Agreement. *Global Biogeochemical Cycles* **2019**, *33*(3), 318–342. <https://doi.org/10.1029/2018GB006009>.

по окружающей среде (ЮНЕП)⁸; они касаются основных секторов, выбрасывающих метан, а именно нефтегазовой отрасли, сельского хозяйства и удаления отходов.

ТЕМПЕРАТУРА

Глобальная средняя температура в 2021 году была на $1,11 \pm 0,13$ °C выше средней температуры 1850–1900 годов (рисунок 2). Шесть наборов данных, использованных в анализе (см. «[Данные о глобальной температуре](#)»), помещают 2021 год между пятым и седьмым самым теплым годом в мире, и все шесть показывают, что последние семь лет, с 2015 по 2021 год, были семью самыми теплыми годами в истории наблюдений.

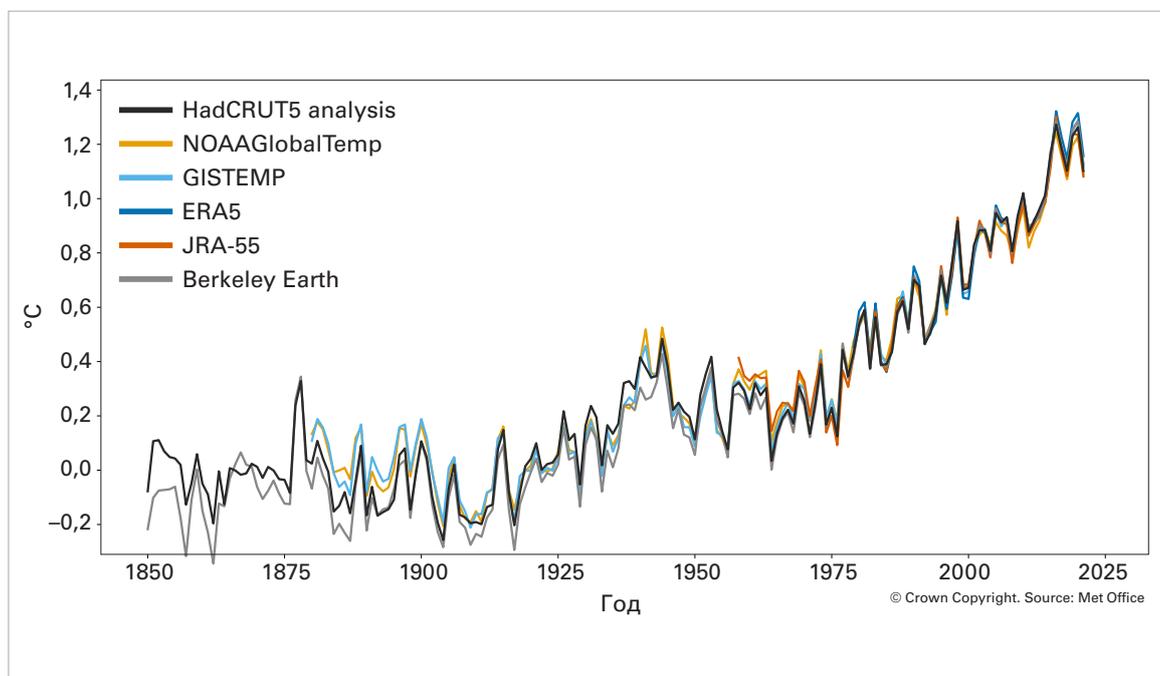
2021 год был менее теплым, чем некоторые последние годы из-за влияния умеренных явлений Ла-Нинья в начале и в конце года, известных как «двойной удар» Ла-Нинья (см. раздел «[Факторы, влияющие на краткосрочную изменчивость климата](#)»). Ла-Нинья оказывает временное снижающее воздействие на глобальную среднюю температуру, проявляющееся сильнее всего в

год, следующий за явлением. Не считая слабого явления Ла-Нинья 2018 года, в последний раз значительное явление Ла-Нинья возникло в 2011 году. 2021 год примерно на $0,22–0,29$ °C теплее, чем 2011 год. 2016 год, на начало которого пришлось сильное явление Эль-Ниньо, остается самым теплым годом за всю историю наблюдений в большинстве исследованных наборов данных.

Для расчета аномалий глобальной температуры относительно базового уровня 1850–1900 годов используется метод, который был обновлен после выпуска предыдущих докладов о состоянии глобального климата. В качестве основы для оценки изменений, произошедших с 1850 по 1900 год, в новом методе используется оценка изменения температуры и его неопределенности из Шестого оценочного доклада МГЭИК. Подробности приводятся в разделе «[Данные о глобальной температуре](#)».

В «Резюме для политиков» Шестого оценочного доклада МГЭИК⁹ точки пересечения температур, то есть точки, в которых долгосрочное потепление превышает определенный уровень, были оценены с использованием 20-летнего среднего значения с центром в точке

Рисунок 2. Изменение глобальной среднегодовой температуры в сравнении с доиндустриальными условиями (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](#)». Источник: Метеобюро, Соединенное Королевство.

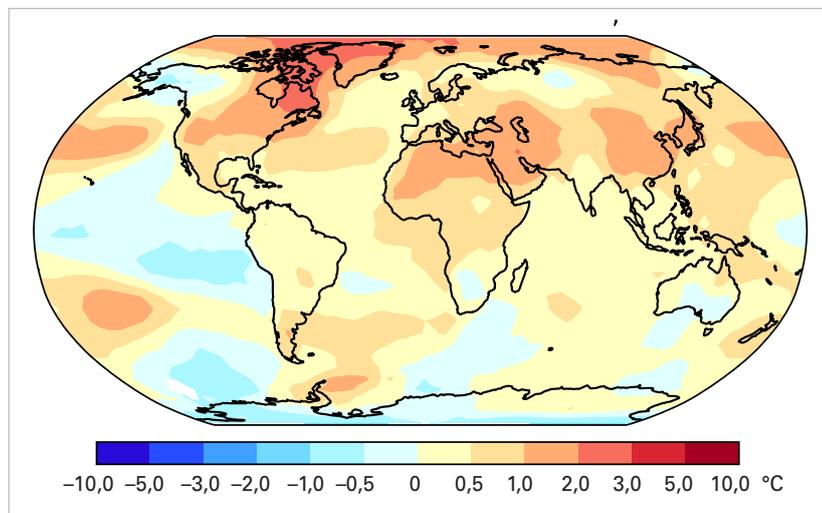


⁸ <https://www.unep.org/resources/report/global-methane-assessment-benefits-and-costs-mitigating-methane-emissions>

⁹ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2021: Summary for Policymakers. In: *AR6 Climate Change 2021: The Physical Science Basis*, https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM_final.pdf.

пересечения. Для периода 2001–2020 годов среднее значение оценивалось¹⁰ в 0,99 [0,84–1,10] °С. Предварительное 20-летнее среднее значение для периода 2002–2021 годов, основанное на среднем значении шести наборов данных, использованных в настоящем докладе, было на 1,01 ± 0,12 °С выше среднего значения 1850–1900 годов.

Приземные температуры в 2021 году были выше средних значений 1981–2010 годов в обширных зонах Северной Америки и Гренландии, северной и тропической Африки, Ближнего Востока и Южной Азии (рисунок 3). К районам с температурой ниже среднего относятся части северной Азии, Австралии, юга Африки и северо-запада Северной Америки. В 2021 году влияние Ла-Нинья отчетливо наблюдалось в тропической зоне Тихого океана. Более прохладные условия в южной части Африки, Индии и восточной Австралии являются характерными последствиями Ла-Нинья. Более прохладная, чем в среднем, погода в северной части Азии выделяется на фоне 2020 года, когда в регионе наблюдались исключительно высокие температуры. Частично это объясняется различными фазами Арктического колебания, устойчиво положительной в начале 2020 года и устойчиво отрицательной в начале 2021 года (см. раздел «Арктическое колебание (АК)»), которые наложили отпечаток на среднее значение за весь год.



повышением глобальной средней температуры поверхности моря и участвовавшими случаями морских волн тепла. По мере увеличения концентрации CO₂ в атмосфере увеличивается и концентрация CO₂ в океане. Это влияет на химический состав океана, снижая средний уровень pH воды, что представляет собой процесс, известный как закисление океана. Все эти изменения приводят к широкому спектру последствий и взаимодействий¹¹ в океане и прибрежных районах.

Рисунок 3. Отклонения приземной температуры в 2021 г. от среднего значения за 1981–2010 гг. На карте показана медианная аномалия, рассчитанная на основе пяти наборов данных: HadCRUT5, ERA5, GISTEMP, NOAA GlobalTemp и Berkeley Earth. Источник: Метеобюро, Соединенное Королевство.

ОКЕАН

Более 90 % избыточной энергии, накапливаемой в системе Земля в результате увеличения концентрации парниковых газов, поглощается океаном. Дополнительная энергия нагревает океан, и последующее тепловое расширение воды приводит к повышению уровня моря, к которому добавляется таяние льда на суше. Поверхностные слои океана нагревались быстрее, чем глубокие, что обернулось

ТЕПЛОСОДЕРЖАНИЕ ОКЕАНА

Увеличение антропогенных выбросов CO₂ и других парниковых газов вызывает положительный радиационный дисбаланс в верхних слоях атмосферы (энергетический дисбаланс Земли (EEI)), который приводит к накоплению энергии в виде тепла в системе Земля и содействует глобальному потеплению^{12,13,14}. Около 90 % накопленного в системе Земля тепла хранится в океане и измеряется по теплосодержанию океана (ТСО).

¹⁰ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2021: Summary for Policymakers. In: *AR6 Climate Change 2021: The Physical Science Basis*, https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM_final.pdf. Среднее значение МГЭИК основано на четырех наборах данных: HadCRUT5, NOAA GlobalTemp—Interim, Berkeley Earth and Kadow, C.; Hall, D. M.; Ulbrich, U. Artificial Intelligence Reconstructs Missing Climate Information. *Nature Geoscience* **2020**, 13(6), 408–413. <https://doi.org/10.1038/s41561-020-0582-5>. Значения в скобках указывают на доверительный интервал 5–95 %.

¹¹ Gruber, N.; Boyd, P. W.; Frölicher, T. L. et al. Biogeochemical extremes and compound events in the ocean. *Nature* **2021**, 600, 395–407. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03981-7>.

¹² 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>.

¹³ Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК), 2013: Изменение климата, 2013 г.: физическая научная основа, глава 3, <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>.

¹⁴ 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>.

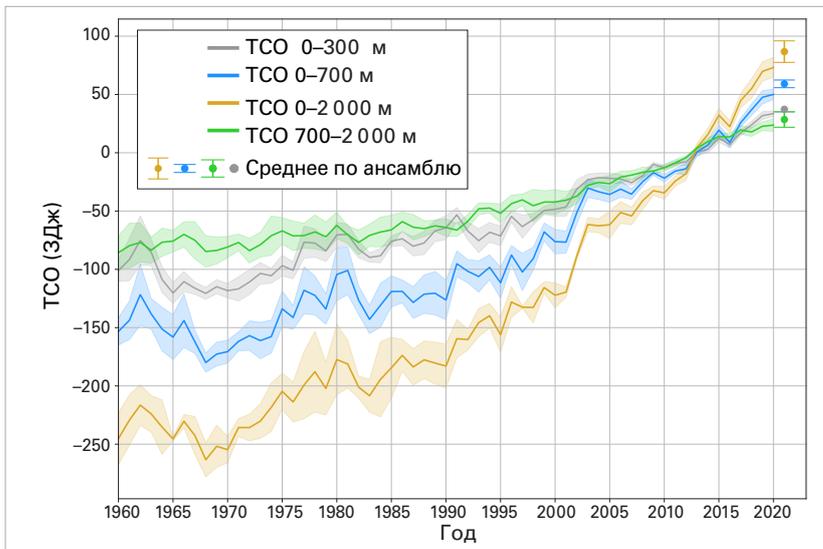


Рисунок 4. Средние временные ряды ансамбля 1960–2021 гг. и стандартное отклонение глобальных аномалий (2 стандартных отклонения, заштриховано) TCO относительно средних показателей 2005–2017 гг. для 0–300 м (серый), 0–700 м (синий), 0–2 000 м (желтый) и 700–2 000 м (зеленый). Среднее значение по ансамблю представляет собой обновленную информацию о результатах согласованных международных усилий по сбору и анализу данных (см. сноску 24), и ссылки на все использованные продукты приводятся в разделе «Данные о теплосодержании океана». 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 TCO (0–2 000 м) для 2021 года, которые были добавлены в виде отдельных точек вместе с ансамблевым разбросом, основаны на четырех продуктах из перечня «Данных о теплосодержании океана». Источник: обновлено по данным von Schuckmann et al., 2016 (см. сноску 22).

Положительное значение EEI сигнализирует о том, что климатическая система Земли все еще реагирует на текущее воздействие¹⁵ и что потепление будет продолжаться, даже если воздействие не будет увеличиваться дальше¹⁶. Это, в свою очередь, ведет к дальнейшему повышению теплосодержания океана. МГЭИК пришла к выводу, что влияние человека однозначно привело к потеплению атмосферы, океана и суши, и что крайне вероятно, что

антропогенное влияние было основным фактором нагревания океана, наблюдаемого с 1970-х годов¹⁷.

Исторические измерения подповерхностной температуры, начиная с 1940-х годов, в значительной степени опирались на судовые измерительные системы, которые ограничивают доступность наблюдений за температурой подповерхностного слоя в глобальном масштабе и на глубине¹⁸. С развертыванием сети автономных ныряющих буев Арго, которая достигла целевого практически глобального охвата в 2006 году, стало возможным регулярное измерение изменений TCO на глубине до 2000 м^{19,20}.

Различные исследовательские группы разработали оценки глобального TCO, и все результаты свидетельствуют о продолжающемся потеплении океана (рис. 4). Расхождения в оценках в годовом и десятилетнем масштабе возникают из-за различных статистических методов обработки пробелов в данных, выбора климатологии и подходов, используемых для учета инструментальных погрешностей^{21,22,23}. Были предприняты согласованные усилия по предоставлению международной точки зрения на глобальную эволюцию потепления океана до 2021 года²⁴.

¹⁵ Hansen, J.; Nazarenko, 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>.

¹⁶ Hansen, J.; Sato, M.; Kharecha, P. et al. Young people's burden: requirement of negative CO₂ emissions. *Earth System Dynamics* **2017**, *8* (3), 577–616. <https://doi.org/10.5194/esd-8-577-2017>.

¹⁷ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2021: Summary for Policymakers. In: *AR6 Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM_final.pdf.

¹⁸ Abraham, J. P.; Barlinger, M.; Bindoff, N. L. et al. A review of global ocean temperature observations: Implications for ocean heat content estimates and climate change. *Reviews of Geophysics* **2013**, *51* (3), 450–483. <https://doi.org/10.1002/rog.20022>.

¹⁹ Riser, S. C.; Freeland, H. J.; Roemmich, D. et al. Fifteen years of ocean observations with the global Argo array. *Nature Climate Change* **2016**, *6* (2), 145–153. <https://doi.org/10.1038/nclimate2872>.

²⁰ Roemmich, D.; Alford, M. H.; Claustre, H. et al. On the Future of Argo: A Global, Full-Depth, Multi-Disciplinary Array. *Frontiers in Marine Science* **2019**, *6*, 439. <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fmars.2019.00439>.

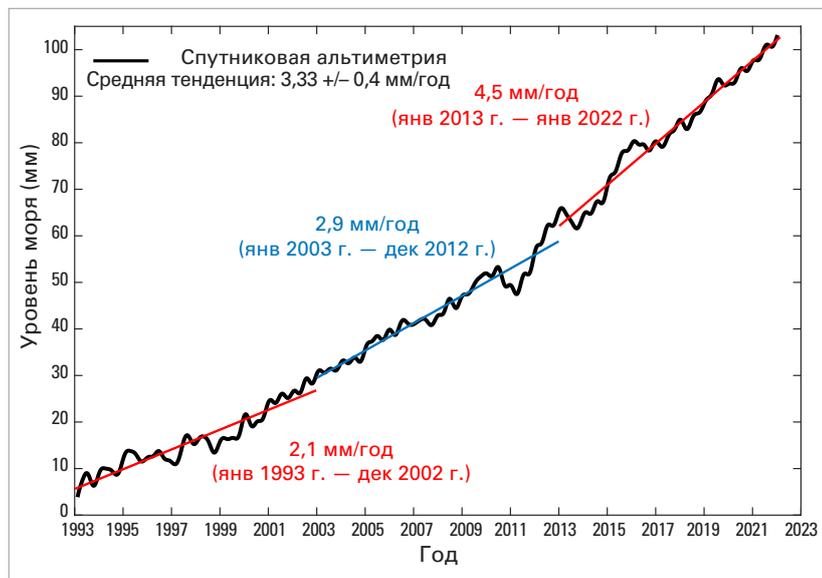
²¹ Boyer, T.; Domingues, C. M.; Good, S. A. et al. Sensitivity of Global Upper-Ocean Heat Content Estimates to Mapping Methods, XBT Bias Corrections, and Baseline Climatologies. *Journal of Climate* **2016**, *29* (13), 4817–4842. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-15-0801.1>.

²² 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>.

²³ Cheng, L.; Abraham, J.; Goni, G. et al. XBT Science: Assessment of Instrumental Biases and Errors. *Bulletin of the American Meteorological Society* **2016**, *97* (6), 924–933. <https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/97/6/bams-d-15-00031.1.xml>.

²⁴ 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>.

Температура океана на глубине до 2000 м продолжала повышаться в 2021 году, и ожидается, что она будет расти и в дальнейшем; такое изменение принимает необратимый характер в масштабах от столетий до тысячелетий^{25,26}. Теплосодержание океана в 2021 году было самым высоким за всю историю наблюдений, превысив значение 2020 года на 14 ± 9 ЗДж (рис. 4). Все наборы данных указывают на то, что темпы потепления океана особенно возросли в последние два десятилетия. Темпы потепления океана на глубине от 0 до 2000 м (относительно поверхности океана) достигли $1,0 (0,6) \pm 0,1$ Вт/м² за период 2006–2021 гг. (1971–2021 гг.) Для сравнения, значения для глубины до 700 м составляют $0,7 (0,4) \pm 0,1$ Вт/м² за период 2006–2021 гг. (1971–2021 гг.). На глубине свыше 2000 м океан также нагревался, хотя и более медленными темпами²⁷, $0,07 \pm 0,04$ Вт/м².



УРОВЕНЬ МОРЯ

Глобальный средний уровень моря (ГСУМ) является отражением изменений, происходящих во многих компонентах климатической системы. Во временных масштабах от межгодовых до нескольких десятилетий изменения в ГСУМ происходят в результате потепления океана за счет теплового расширения морской

воды, таяния льда на суше и обмена водой с водоемами на суше. Измеряемый с начала 1990-х годов высокоточными спутниковыми альтиметрами, ГСУМ повышался на 2,1 мм в год в период с 1993 по 2002 год и на 4,5 мм в год в период с 2013 по 2021 год. Другими словами, произошло двукратное увеличение темпов, в основном из-за ускоренной потери массы

Рисунок 5. Изменение глобального среднего уровня моря с января 1993 года по январь 2022 года (черная кривая) на основе данных высокоточной спутниковой альтиметрии. Цветные прямые представляют собой средний линейный тренд за три последовательных периода времени (с января 1993 по декабрь 2002 г.; с января 2003 по декабрь 2012 г.; с января 2013 по январь 2022 г.).
Источник: альтиметрия AVISO (<https://www.avis.altimetry.fr>).

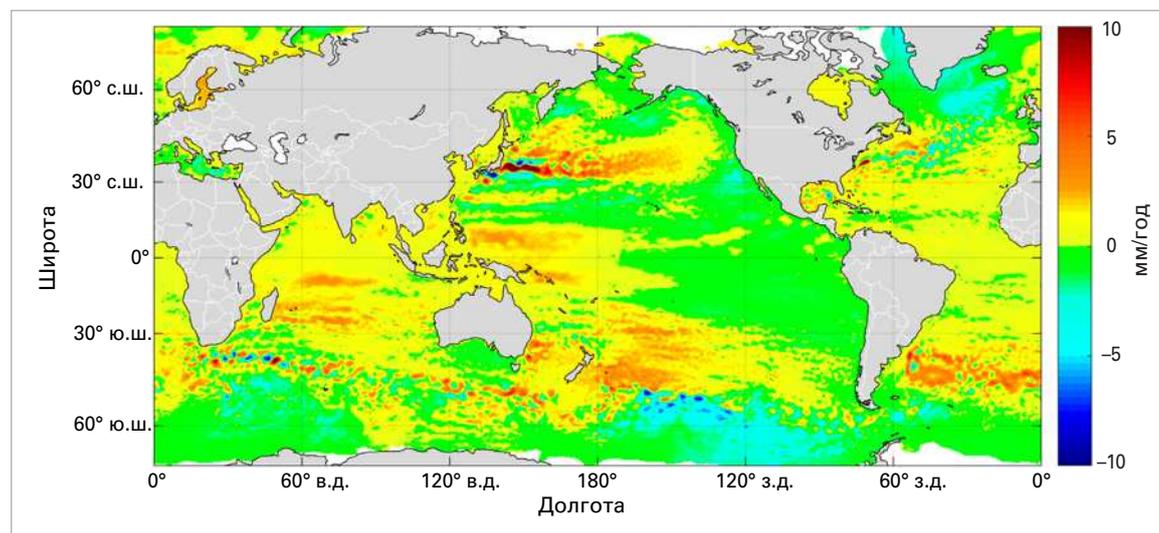


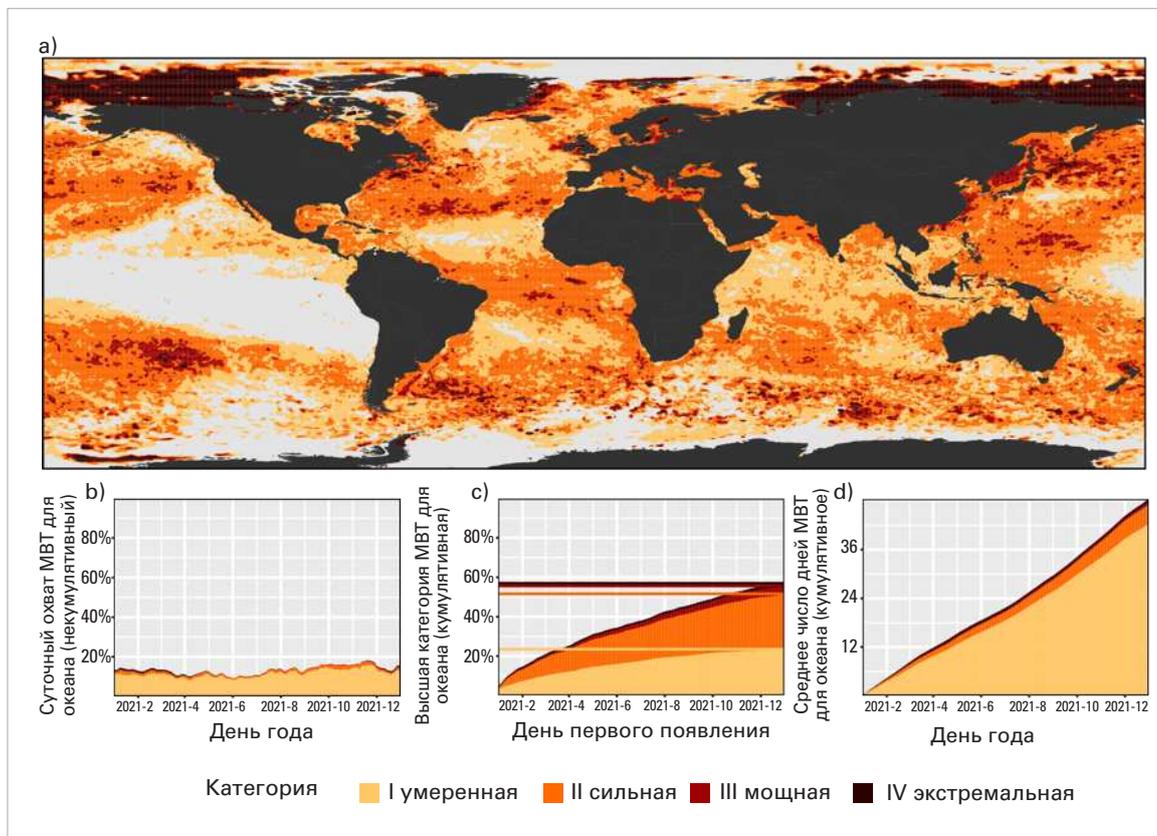
Рисунок 6. Региональные тенденции изменения уровня моря после исключения глобальной средней тенденции (мм/год), с 1993 по 2020 г., на основе данных спутниковой альтиметрии. Следует отметить практически повсеместное повышение фактического уровня моря.
Источник: Служба по вопросам изменения климата в рамках программы «Коперник» (<https://climate.copernicus.eu>).

²⁵ Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК), 2019: Резюме для политиков // Специальный доклад МГЭИК «Океан и криосфера в условиях изменяющегося климата», https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2020/07/SROCC_SPM_ru.pdf.

²⁶ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2021: Summary for Policymakers. In: *AR6 Climate Change 2021: The Physical Science Basis*, https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM_final.pdf.

²⁷ Обновление Purkey, S. G.; Johnson, G. C. Warming of Global Abyssal and Deep Southern Ocean Waters between the 1990s and 2000s: Contributions to Global Heat and Sea Level Rise Budgets. *Journal of Climate* **2010**, *23*, 6336–6351. <https://doi.org/10.1175/2010JCLI3682.1>.

Рисунок 7. а) Глобальная карта, показывающая наивысшую категорию MBT (определения см. в разделе «[Данные о морских волнах тепла и холода](#)»), наблюдавшуюся в каждом пикселе в 2021 г. (базовый период 1982–2011 гг.). Светло-серый цвет означает, что за весь год в пикселе не было зафиксировано ни одной MBT. б) Диаграмма с накоплением, показывающая процент поверхности океана, на которой в любой данный день года наблюдалась MBT. в) Диаграмма с накоплением, показывающая суммарный процент поверхности океана, на которой в течение года наблюдалась MBT. Примечание: значения соответствуют моменту года, когда в пикселе впервые наблюдалась наивысшая категория MBT, таким образом, каждый пиксель учитывается лишь один раз. Горизонтальные линии на этом рисунке показывают итоговые процентные соотношения для каждой категории MBT. д) Диаграмма с накоплением, показывающая совокупное число дней MBT, усредненное по поверхности океана. Примечание: это среднее рассчитывается путем деления взвешенной кумулятивной суммы дней MBT/пиксель на площадь поверхности этих пикселей. Данные набора NOAA OISST (Оптимальной интерполяции температуры поверхности моря, Национальное управление по исследованию океанов и атмосферы).
Источник: Роберт Шлегель.



льда ледяных щитов²⁸. В 2021 году ГСУМ достиг нового рекордного уровня. По сравнению с предыдущими годами Эль-Ниньо и Ла-Нинья (например, 1997/98, 2010/11, 2015/16), в течение которых ГСУМ демонстрировал временные положительные или отрицательные аномалии в несколько миллиметров, 2021 год был отмечен повышением ГСУМ, близким к долгосрочной тенденции (рис. 5).

Хотя с 1993 года уровень моря повысился почти везде, не везде он повышался равномерно. Региональные особенности изменения уровня моря определяются локальными изменениями теплосодержания и солёности океана. В ряде регионов темпы повышения уровня моря по-прежнему значительно превышают среднемировые (см. рис. 6, иллюстрирующий разницу между локальным и глобальным уровнем моря). Это особенно характерно для западной тропической части Тихого океана, юго-западной части Тихого океана, северной части Индийского океана и Южной Атлантики. В других регионах, например, вокруг Гренландии и к

югу от Исландии, а также в Южном океане вокруг Антарктиды, локальный уровень моря повышался медленнее, чем среднемировой. За последние 30 лет эпохи альтиметрии характер тенденций изменения уровня моря менялся лишь незначительно, и изменения от года к году были несущественными.

МОРСКИЕ ВОЛНЫ ТЕПЛА И ХОЛОДА

По аналогии с волнами тепла и холода на суше, морские волны тепла (MBT) и морские волны холода (MBX) — это длительные периоды экстремального тепла или холода, которые воздействуют на океан. MBT, участвовавшие в XX веке, могут иметь целый ряд последствий для морской флоры и фауны и зависимых от нее сообществ²⁹. Мониторинг MBT и MBX, которые в данном случае классифицируются как умеренные, сильные, мощные или экстремальные (см. определения в разделе «[Данные о морских волнах тепла и холода](#)»), осуществляется посредством спутниковых данных о температуре поверхности моря.

²⁸ Группа ВПИК по изучению глобального баланса уровня моря. Global sea-level budget 1993–present. *Earth System Science Data* **2018**, 10(3), 1551–1590, <https://doi.org/10.5194/essd-10-1551-2018>.

²⁹ Smale, D. A.; Wernberg, T.; Oliver, E. C. J. et al. Marine heatwaves threaten global biodiversity and the provision of ecosystem services. *Nature Climate Change* **2019**, 9(4), 306–312. <https://www.nature.com/articles/s41558-019-0412-1>.

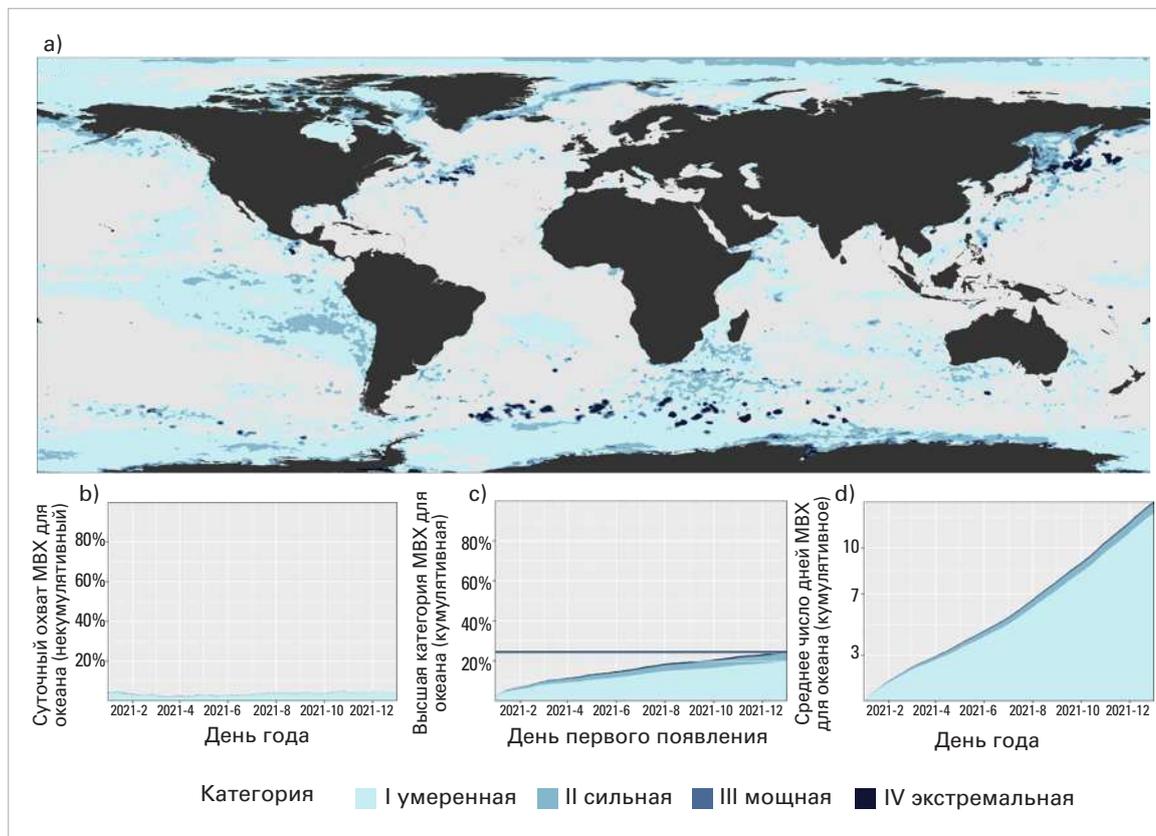


Рисунок 8. Данные как и на рисунке 7, но для MBX, а не MBT. Данные набора NOAA OISST (Оптимальной интерполяции температуры поверхности моря, Национальное управление по исследованию океанов и атмосферы).
Источники: Роберт Шлегель.

В течение 2021 года на большей части океана отмечалась по крайней мере одна сильная MBT (рис. 7). Ввиду того, что под воздействием «двойного удара» Ла-Нинья (см. «Эль-Ниньо / Южное колебание (ЭНСО)») температуры поверхности моря были ниже средних, становится заметным отсутствие MBT в восточной части экваториальной части Тихого океана, которая также была одним из немногих регионов глобального океана, где наблюдалось широкое присутствие MBX (рис. 8). В море Лаптевых и море Бофорта с января по апрель 2021 года наблюдались мощные и экстремальные MBT. В районах кромки льда к востоку от Гренландии (в августе), к северу от Шпицбергена (в октябре) и в восточной части моря Росса (в декабре) наблюдались заметные экстремальные MBT. В 2021 году почти все MBX были умеренными, за исключением областей с высокой изменчивостью, таких как расширение Гольфстрима к полюсу.

Среднесуточный охват MBT в 2021 году составил 13%, что меньше рекордного показателя в 17%

в 2016 году и 16% в 2020 году. Восьмой год подряд самой распространенной категорией MBT в 2021 году была «сильная» (28%). В целом, на 57% поверхности океана в течение 2021 года наблюдалась по крайней мере одна MBT (рис. 7 с). Это меньше, чем рекордные 65% в 2016 году, и самый низкий годовой охват с 2012 года (57%).

Среднесуточный охват Мирового океана MBX в 2021 году составил 4% (рис. 8 b), что ниже рекордного показателя 1982 года (7%) и сопоставимо с показателем 2020 года (4%). В общей сложности в течение 2021 года на 25% поверхности океана была отмечена по крайней мере одна MBX (рис. 8 с), что сопоставимо с 2020 годом (25%), но гораздо меньше, чем в рекордном 1985 году (63%).

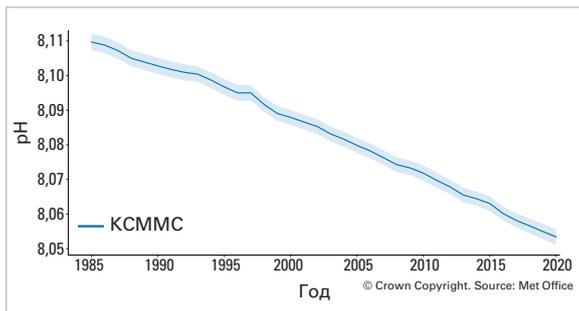
ЗАКИСЛЕНИЕ ОКЕАНА

Океан поглощает около 23% годового объема выбросов антропогенного CO₂ в атмосферу^{30,31}.

³⁰ Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК), 2019: «Резюме для политиков» // Специальный доклад МГЭИК «Океан и криосфера в условиях изменяющегося климата», https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2020/07/SROCC_SPM_ru.pdf.

³¹ Всемирная метеорологическая организация (ВМО), Бюллетень ВМО по парниковым газам (Бюллетень по ПГ) — № 15 — *Содержание парниковых газов в атмосфере по данным глобальных наблюдений в 2018 г.* — Женева, 2019 г.

Рисунок 9. Глобальный средний pH поверхности океана (обозначен голубым) за период 1985–2020 гг. Затененная область указывает на предполагаемую неопределенность каждой оценки. Данные Службы мониторинга морской среды программы «Коперник». *Источник:* Метеобюро, Соединенное Королевство.



Хотя это замедляет рост концентрации CO_2 в атмосфере³², CO_2 вступает в реакцию с морской водой и снижает pH океана³³, запуская процесс, известный как закисление океана (рис. 9). Текущие глобальные темпы закисления океана превышают по крайней мере на порядок темпы, предполагаемые для палеоцен-эоценового термального максимума (ПЭТМ), который наблюдался около 56 миллионов лет назад и был связан с масштабными нарушениями глобального углеродного цикла³⁴. В Шестом оценочном докладе МГЭИК сделан вывод о том, что «с весьма высокой степенью достоверности pH поверхности открытого океана в настоящее время является самым низким за последние 26 тысяч лет, и текущие темпы изменения pH являются беспрецедентными, по крайней мере, с того времени». По мере снижения pH океана его способность поглощать CO_2 из атмосферы также снижается³⁵.

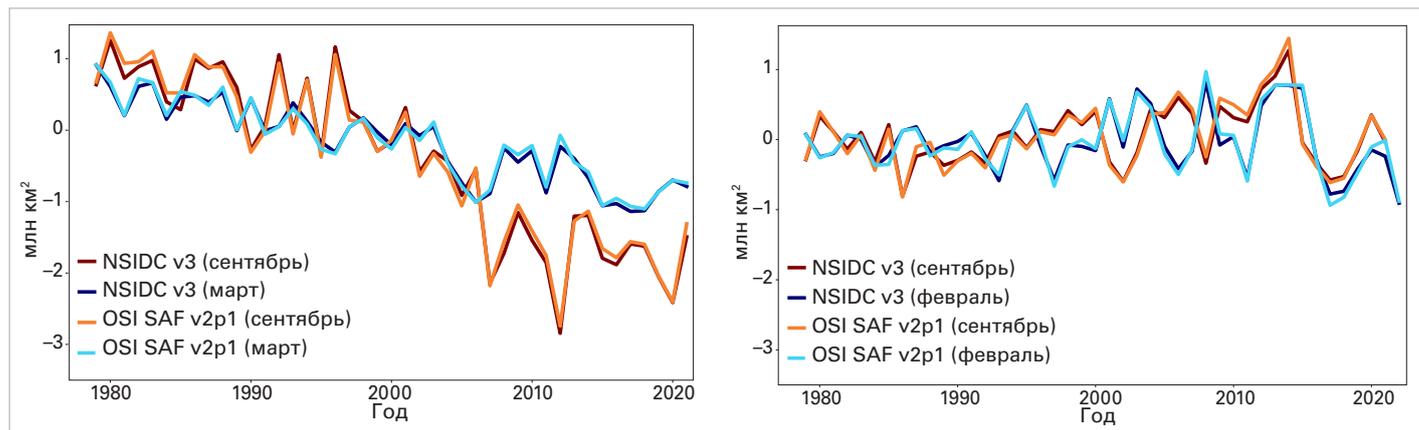
Закисление океана угрожает организмам и экосистемным услугам, а значит,

продовольственной безопасности, туризму и защите прибрежных районов. Локальное и региональное закисление имеет большое значение для морских организмов и биологических процессов. Однако в прибрежных районах наблюдается высокая изменчивость, обусловленная целым рядом факторов, влияющих на уровень CO_2 . Национальные наборы данных наблюдений за закислением океана, представленные для достижения Цели в области устойчивого развития (ЦУР) 14.3 и соответствующего показателя ЦУР 14.3.1 («Средняя кислотность (pH) морской воды, измеряемая в согласованной группе репрезентативных станций отбора проб»), подчеркивают необходимость устойчивых и регулярных наблюдений и измерений закисления океана вдоль береговой линии и в открытом океане. Хотя в настоящее время все еще существуют пробелы в глобальном охвате наблюдений, усилия по наращиванию потенциала расширяют возможности многих стран в области измерений, обработки и представления данных о закислении океана, что подтверждается растущим числом стран, участвующих в сборе данных по показателю ЦУР 14.3.1.

КРИОСФЕРА

Криосфера включает в себя замерзшие части Земли. Сюда входят морской лед, ледники, ледяные щиты, снег и вечная мерзлота.

Рисунок 10. Отличие показателей протяженности льда от средних значений за 1981–2010 гг. в Арктике (слева) и Антарктике (справа) для месяцев с максимальной протяженностью (Арктика: март; Антарктика: сентябрь) и для месяцев с минимальной протяженностью (Арктика: февраль; Антарктика: февраль) за период с 1979 по 2021 гг. *Источник:* Данные EUMETSAT OSI SAF v2p1 и Национальный центр данных по снегу и льду (НЦДСЛ) v3 (Феттерер и др., 2017) (более подробно см. в разделе «Данные о морском льде»).



³² Le Quéré, C.; Andrew, R. M.; Friedlingstein, P. et al. Global carbon budget 2017. *Earth System Science Data* **2018**, *10*, 405–448. <https://doi.org/10.5194/essd-10-405-2018>.

³³ Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК), 2021: Изменение климата, 2021 год: физическая научная основа, <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/#FullReport>.

³⁴ Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК), 2021: Изменение климата 2021: физическая научная основа, глава 2, раздел 2.3.3.5 pH океана, <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>.

³⁵ Middelburg, J. J.; Soetaert, K.; Hagens, M. Ocean Alkalinity, Buffering and Biogeochemical Processes. *Reviews of Geophysics* **2020**, *58*, e2019RG000681. <https://doi.org/10.1029/2019RG000681>.

МОРСКОЙ ЛЕД

Арктический морской лед

В арктическую зиму 2020–2021 гг. наблюдалось аномально высокое давление на уровне моря над центральной частью Северного Ледовитого океана (см. «Арктическое колебание (АО)»). Возникший в итоге антициклонический ветровой режим унес более толстый многолетний лед в море Бофорта³⁶. Протяженность арктического морского льда достигла³⁷ максимального значения за год 21 марта и составила 14,8 млн км². В марте 2021 года была зафиксирована девятая или десятая самая низкая протяженность за всю историю наблюдений (1979–2021 гг.), в зависимости от источника данных (рис. 10). Более подробную информацию о наборах данных см. в разделе «Данные о морском льде».

В начале сезона таяния скорость таяния была близка к средним показателям 1981–2010 гг. Однако в июне и начале июля протяженность морского льда в море Лаптевых и восточных районах Гренландского моря стала стремительно сокращаться. В результате в первой половине июля протяженность морского льда в Арктике была рекордно низкой. Среднемесячный показатель за июль находился на втором-четвертом месте среди самых низких за всю историю наблюдений (как и в 2012 и 2019 гг.), с сильными региональными контрастами³⁸ (рис. 11). В море Бофорта и Чукотском море наблюдалось больше льда, чем обычно (1981–2010 гг.), но в сибирском и европейском секторах (море Лаптевых и восточные районы Гренландского моря) морского льда было намного меньше, чем обычно. Исключением стала восточная часть Карского моря, где часть морского льда сохранялась на протяжении всего сезона. По окончании июля условия быстро изменились, и в Северном Ледовитом океане наступил длительный период более холодной погоды. Это замедлило таяние морского льда, и в августе 2021 года его протяженность оказалась на десятом месте среди самых низких за историю наблюдений.

С замедлением таяния в августе сентябрьская протяженность льда оказалась выше показателей прошлых лет, но осталась при этом значительно ниже среднего уровня 1981–2010 гг. и заняла двенадцатую позицию в ряду самых низких показателей протяженности за 43 года спутниковых наблюдений (рис. 10). Наименьшая протяженность морского льда в

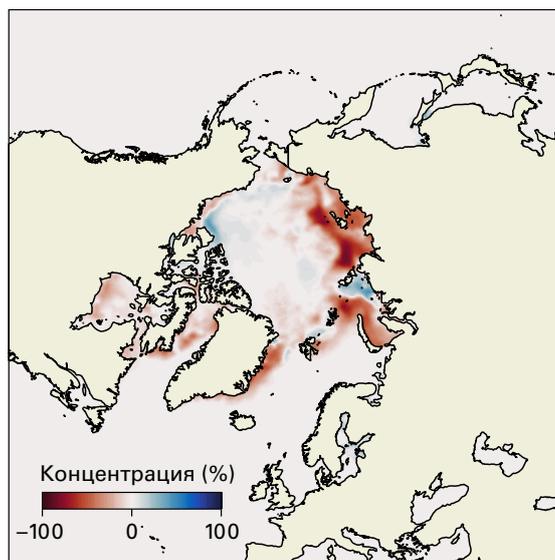


Рисунок 11. Аномалии концентрации арктического морского льда для июля 2021 года (отклонения от среднего значения за 1981–2010 гг.). Красным цветом обозначены участки, где льда меньше, чем обычно, синим – где больше. Источник: данные EUMETSAT OSI SAF с вкладом НИОКР Инициативы, связанной с изменением климата, Европейского космического агентства (ИИК ЕКА).

2021 году наблюдалась³⁹ 16 сентября и составила 4,72 млн км², а средняя протяженность в сентябре составила 4,92 млн км², что значительно ниже среднего значения за 1981–2010 гг.

Антарктический морской лед

Протяженность морского льда в Южном океане в 2021 году была в целом ниже среднего показателя за 1981–2010 годы: она оставалась ниже средней вплоть до февральского минимума, несколько превышала средние значения в течение большей части зимы, характеризовалась исключительно ранним максимумом в конце августа и установлением ледяного покрова значительно ниже среднего к концу года.

Минимум годового цикла 2021 года пришелся на 19 февраля, когда протяженность морского льда составила 2,6 млн км², что является пятнадцатым показателем среди самых низких за всю историю наблюдений (с 1979 года по настоящее время). Годовые минимумы протяженности льда начали расти в начале 1990-х годов, достигнув максимума в 3,68 млн км² в 2013 году, после чего резко снизились до 2,08 млн км² в 2017 году, что стало самым низким показателем протяженности льда за период 1979–2021 гг. С тех пор годовые минимумы протяженности льда медленно увеличивались. В феврале большая часть антарктического морского льда находилась в море Уэдделла, поэтому годовые минимумы

³⁶ Mallett, R. D. C.; Stroeve, J. C.; Cornish, S. B. et al. Record winter winds in 2020/21 drove exceptional Arctic sea ice transport. *Communications Earth & Environment* **2021**, 2, 149. <https://doi.org/10.1038/s43247-021-00221-8>.

³⁷ <https://nsidc.org/arcticseaicenews/2021/03/arctic-sea-ice-reaches-uneventful-maximum>

³⁸ Морской ледяной покров в июле 2021 г.: <https://climate.copernicus.eu/sea-ice-cover-july-2021>

³⁹ <https://nsidc.org/arcticseaicenews/2021/09/arctic-sea-ice-at-highest-minimum-since-2014>

протяженности морского льда в значительной степени отражают региональные изменения в этом районе.

Протяженность антарктического морского льда достигла своего максимума в 18,8 млн км² 30 августа 2021 года. Эти показатели были близки к среднему значению и по данным за 43 года занимали двадцать второе место. Однако он стал вторым в истории самым ранним августовским максимумом после максимума, наблюдавшегося в августе 2016 года.

Со второй половины сентября протяженность морского льда во всем Южном океане оставалась стабильно ниже среднего уровня, а 24 декабря протяженность льда сократилась до 6,77 млн км², что на 1,82 млн км² ниже среднего уровня и является третьим самым низким показателем для этого дня за всю историю наблюдений. В этот период протяженность льда была ниже средней во всех секторах континента, но отсутствие льда в морях Уэдделла, Беллинсгаузена и Росса оказало наибольшее влияние на общеантарктическую аномалию.

ЛЕДНИКИ

Ледники формируются из снега, который, уплотняясь, образует лед, способный

деформироваться и стекать вниз на более низкие и теплые высоты, где он тает. Если ледник выходит в озеро или океан, потеря льда также происходит за счет таяния при контакте льда и воды или за счет обрушения фронта ледника с образованием айсбергов. Ледники чувствительны к изменениям температуры, осадкам и солнечному свету, а также к другим факторам, таким как изменения в смазке основания, потепление воды океана или утрата опорного ледяного шельфа.

В период 2000–2019 гг. глобальные ледники и ледяные шапки (за исключением Гренландского и Антарктического ледяных щитов) в среднем теряли массу⁴⁰ 267 ± 16 Гт в год. Потеря массы была выше, 298 ± 24 Гт в год, в конце периода 2015–2019 гг. С 2015 по 2019 год ледники в нескольких районах средних широт истончились более чем в два раза быстрее, чем в среднем по миру ($0,52 \pm 0,03$ м в год). В качестве примера можно привести истончение на 1,52 м в год в Новой Зеландии, 1,24 м в год на Аляске, 1,11 м в год в Центральной Европе и 1,05 м в год на западе Северной Америки (не включая Аляску).

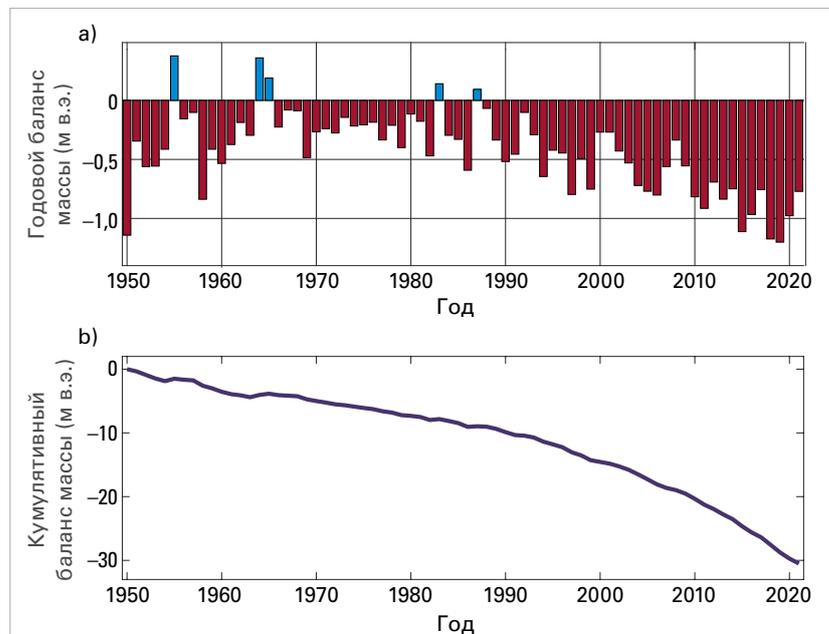
Всемирная служба мониторинга ледников собирает и анализирует данные о глобальном балансе ледниковой массы, включая группу из 42 эталонных ледников с долгосрочными наблюдениями. В отношении 2020/21 гляциологического года предварительные данные, полученные по 32 из этих эталонных ледников, указывают на средний глобальный баланс массы в $-0,77$ м водного эквивалента (м в.э.⁴¹, рис. 12). Это меньшая потеря массы, чем в среднем за последнее десятилетие ($-0,94$ м в.э. с 2011 по 2020 г.), но большая, чем средняя потеря массы за период 1991–2020 гг., $-0,66$ м в.э.

Хотя гляциологический год 2020/21 характеризовался уменьшением отрицательного баланса массы ледников по сравнению с прошлыми годами, наблюдается четкая тенденция к ускорению потери массы во временных масштабах до нескольких десятилетий (рис. 12). В среднем, с 1950 года эталонные ледники истончились на 33,5 м (в ледовом эквиваленте), причем 76 % этого истончения (25,5 м) произошло с 1980 года.

Исключительная потеря массы ледников в западной Канаде

Сокращение массы североамериканских ледников ускорилось за последние два

Рисунок 12. Глобальный баланс ледниковой массы в 1950—2021 гг., группа из примерно 40 глобальных эталонных ледников. а) Среднегодовой баланс массы для группы эталонных ледников. б) Кумулятивный баланс массы с 1950 г. Единицей измерения служат м в.э. Источник: данные предоставлены Всемирной службой мониторинга ледников, <http://www.wgms.ch>.



⁴⁰ Hugonnet, R.; McNabb, R.; Berthier, E. et al. Accelerated global glacier mass loss in the early twenty-first century. *Nature* **2021**, 592 (7856), 726–731. <https://www.nature.com/articles/s41586-021-03436-z>.

⁴¹ Метры водного эквивалента – это глубина воды, которая образовалась бы, если бы утраченный лед был растоплен и распределен по всей площади поверхности ледника.

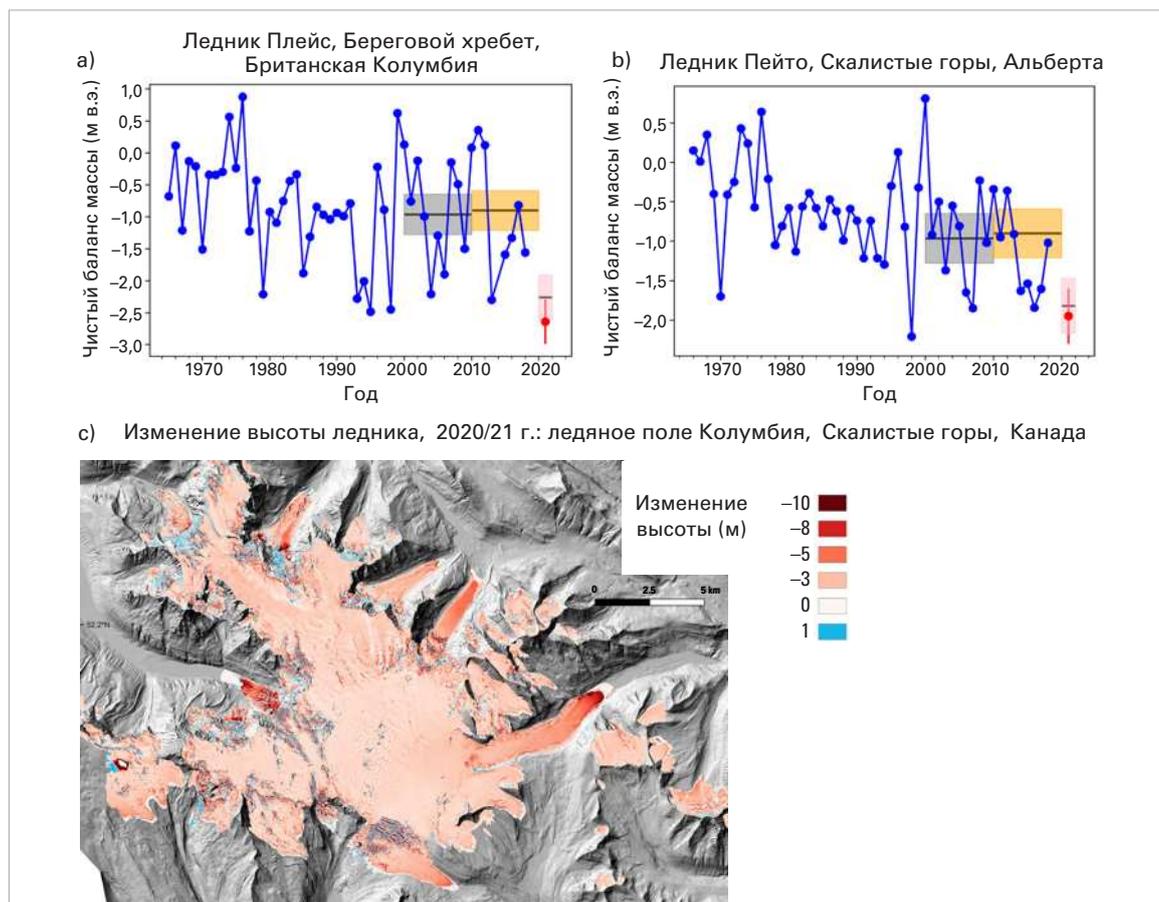


Рисунок 13. Данные наблюдений за балансом массы ледников а) Плейс, Британская Колумбия, и б) Пейто, Альберта, с 1965 по 2021 гг. Данные за 1965–2019 гг. предоставлены Всемирной службой мониторинга ледников. Оценка баланса массы за 2021 год получена на основе лидарных наблюдений с поправками на плотность фирна по Пелто и др. (2019) (см. «Данные о балансе массы ледников»). Синие и желтые горизонтальные черты представляют средние десятилетние значения для региона по данным Хюгоннет и др. (2021) (см. «Данные о балансе массы ледников»). Данные за 2021 год показывают неопределенность (розовая черта), расчет баланса массы на основе актуальной площади ледника, полученной по лидарным наблюдениям (красные круги) и удельный баланс массы, рассчитанный по площади/внешним границам ледников из Каталога ледников Рэндольфа, как приводится у Хюгоннет и др. (2021) (черное перекрестие). в) Изменение высоты ледяного поля Колумбия, канадские Скалистые горы, рассчитанное на основе лидарных измерений, для 2020/21 года баланса массы.

десятилетия. Потеря массы ледников в западной части Северной Америки увеличилась с 53 ± 13 Гт в год за период 2000–2004 гг. до 100 ± 17 Гт в год за 2015–2019 гг.⁴²

Исключительно теплое и сухое лето в Северном полушарии в 2021 году (см. «Волны тепла и лесные пожары») ускорило потерю массы у большинства ледников в Альберте и южной части Британской Колумбии в Канаде, а также на тихоокеанском северо-западе Соединенных Штатов Америки. Ледники Плейс и Хелм Берегового хребта в Британской Колумбии потеряли больше массы за 2020–2021 гг., чем за любой год с момента начала измерений в 1965 году (рис. 13а). В канадских Скалистых горах потеря массы ледника Пейто стала второй по масштабам с 1965 года, после сильного Эль-Ниньо 1998 года (рис. 13б). Повторные лидарные наблюдения⁴³ показывают, что баланс массы ледников Плейс, Хелм и Пейто составляет

–2,66, –3,30 и –1,95 м в.э. соответственно. Это примерно в два раза превышает средние региональные темпы истончения в период с 2015 по 2019 год.

К середине августа 2021 года на большинстве горных ледников этого региона оставалось мало снега, и многие из этих ледников утратили свою фирновую зону, в которой многолетний снег трансформируется из снега в ледниковый лед. Осаждение твердых частиц, включая сажу и пепел, в результате обширных региональных лесных пожаров летом 2021 года означало, что поверхность ледников была аномально темной в июле и августе и поглощала больше солнечного света, чем обычно, что способствовало крайне высокой потере массы. В 2021 году ледник Кокани, Британская Колумбия, потерял 5–6 % своего общего объема, а ледяное поле Колумбия, крупнейшее ледяное поле в Скалистых горах (210 км²), потерял около 0,34 Гт льда (рис. 13с).

⁴² Hugonnet, R.; McNabb, R.; Berthier, E. et al. Accelerated global glacier mass loss in the early twenty-first century. *Nature* **2021**, 592 (7856), 726–731. <https://www.nature.com/articles/s41586-021-03436-z>.

⁴³ Pelto, B. M.; Menounos, B.; Marshall, S. J. Multi-year evaluation of airborne geodetic surveys to estimate seasonal mass balance, Columbia and Rocky Mountains, Canada. *The Cryosphere* **2019**, 13, 1709–1727. <https://doi.org/10.5194/tc-13-1709-2019>.

ЛЕДЯНЫЕ ЩИТЫ

Ледяные щиты – это обширные площади ледникового льда протяженностью более 50 000 км². В современном климате существует два ледяных щита – в Гренландии и Антарктиде.

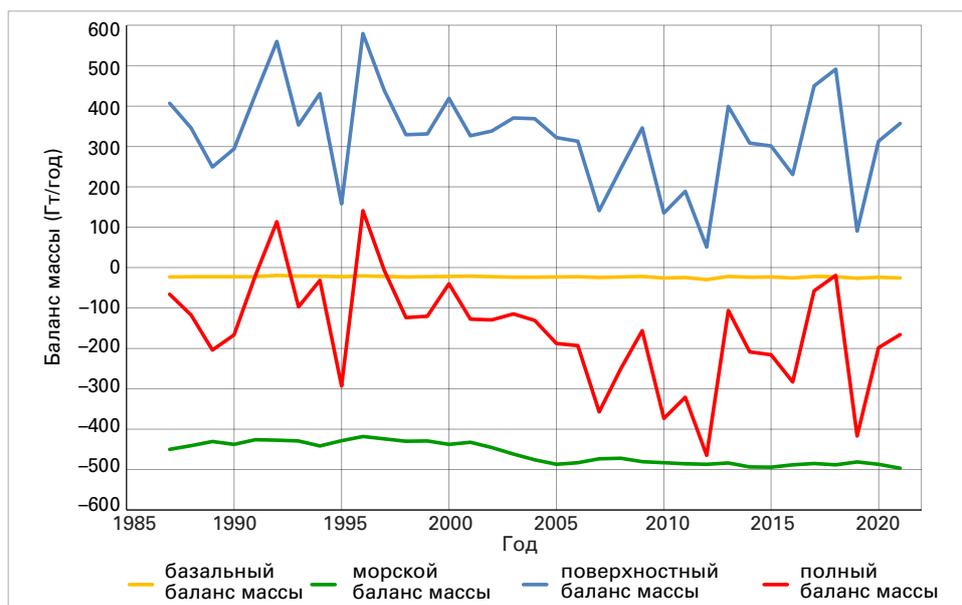
Гренландский ледяной щит

Изменения полного баланса массы Гренландского ледяного щита – это следствие сочетания таких факторов, как поверхностный баланс массы, определяемый как разность между снежными осадками и стоком талой воды с ледяного щита; морской баланс массы, который представляет собой сумму потерь массы на периферии вследствие откалывания айсбергов и таяния языков ледников при контакте с океаном; и базальный баланс массы, который состоит из базального таяния под воздействием геотермального тепла и теплоты трения вследствие скольжения в основании ледника и деформации льда.

Совокупность региональных климатических моделей для Гренландии⁴⁴ дает оценку полного баланса массы⁴⁵ в –166 Гт в 2021 году (за год с 1 сентября 2020 г. по 31 августа 2021 г.). Оценки на основе спутниковых наблюдений и сети метеостанций приземного наблюдения PROMICE дают полный баланс массы –85 Гт за тот же период⁴⁶. Гравиметрические данные со спутника GRACE, обработанные НАСА⁴⁷, показывают общий баланс массы –126 Гт за этот же период⁴⁸. Оценки масштабов потери массы разнятся из-за расхождений в методах и предположениях, однако существует согласие относительно того, что баланс массы Гренландского ледяного щита был отрицательным двадцать пятый год подряд.

За период с сентября 1986 по август 2021 года, по результатам климатического моделирования, Гренландский ледяной щит потерял в общей сложности 5511 Гт льда⁴⁹, теряя в среднем 157 Гт в год (рис. 14). В последние два десятилетия уменьшение массы ледников ускорилось. По гравиметрическим данным со спутников GRACE

Рисунок 14. Компоненты полного баланса массы Гренландского ледяного щита 1987–2021 гг. Синий: поверхностный баланс массы (ПБМ); зеленый: морской баланс массы (МБМ, также называемый расходом льда); оранжевый/желтый: базальный баланс массы (ББМ), красный: полный баланс массы (ПБМ), являющийся суммой ПБМ, МБМ и ББМ (см. сноску 44).
Источник: Mankoff, K. D.; Solgaard, A.; Colgan, W. et al. Greenland Ice Sheet solid ice discharge from 1986 through March 2020. *Earth System Science Data* 2020, 12(2), 1367–1383. <https://doi.org/10.5194/essd-12-1367-2020>.



⁴⁴ На основе среднего значения, выведенного из 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>.

⁴⁵ Отрицательный баланс массы свидетельствует о потере массы льда; положительный баланс массы указывает на прирост.

⁴⁶ Moon, T. A.; Tedesco, M.; Box, J. E. et al. Greenland Ice Sheet. In *Arctic Report Card 2021*; Moon, T. A.; Druckenmiller, M. L.; Thoman, R. L., Eds.; National Oceanic and Atmospheric Administration, 2021. <https://doi.org/10.25923/546g-ms61>.

⁴⁷ <https://climate.nasa.gov/vital-signs/ice-sheets/>.

⁴⁸ 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, PO.DAAC, CA, USA. <http://dx.doi.org/10.5067/TEMSC-3MJ62>.

⁴⁹ На основе среднего значения, выведенного из 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>.

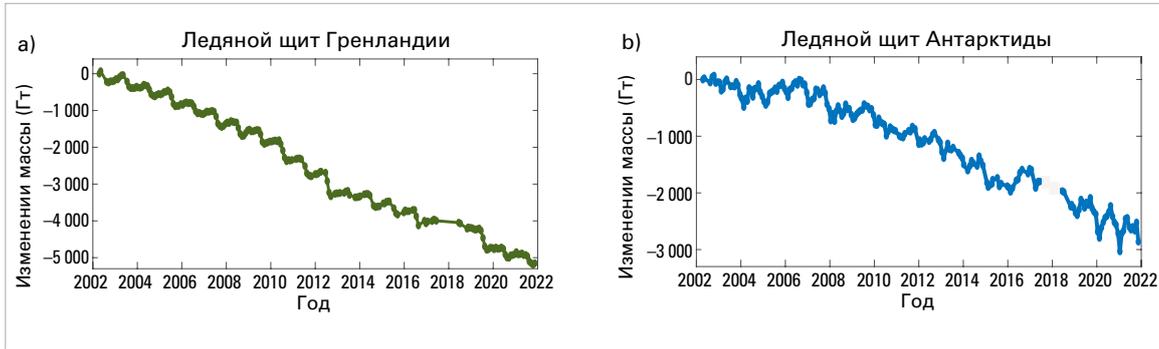


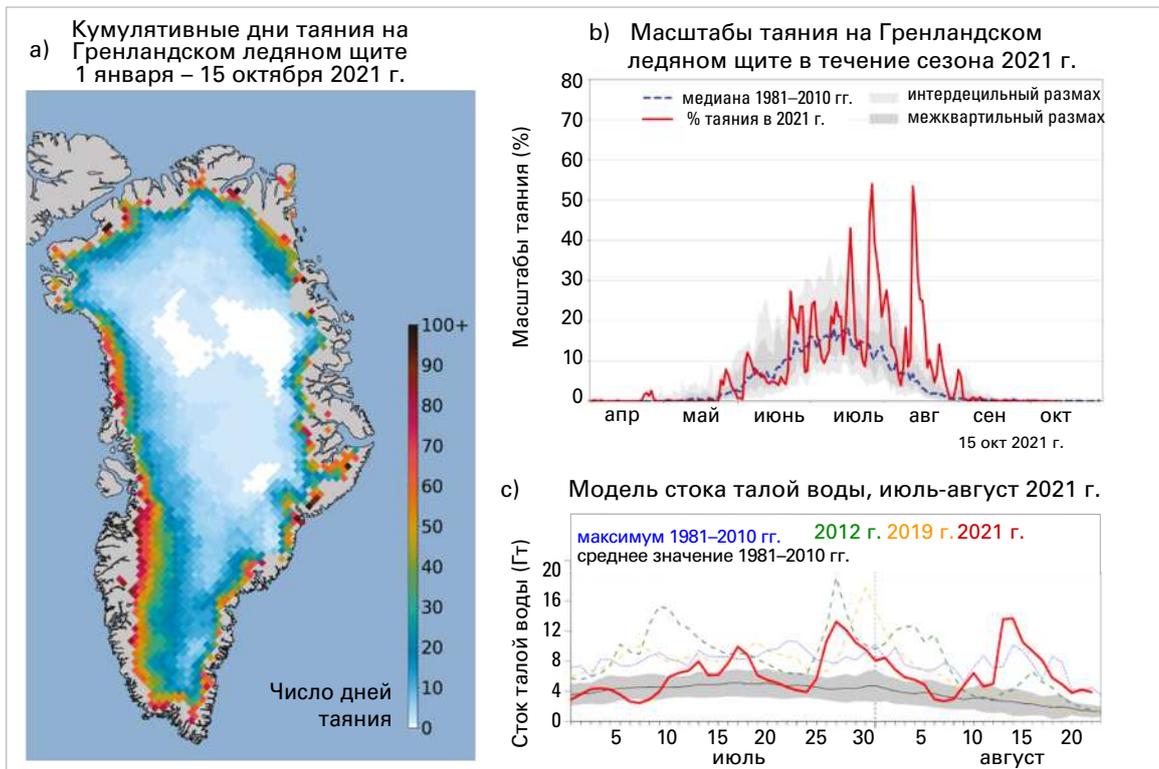
Рисунок 15. Гравиметрические данные со спутников GRACE и GRACE-FO об изменении массы ледяных щитов Гренландии и Антарктиды с апреля 2002 по ноябрь 2021 года (см. сноску 48). За этот период Гренландский ледяной щит потерял массу со средней скоростью 276 Гт в год, в то время как средняя скорость убывания массы в Антарктиде составляла 152 Гт в год. В совокупности это эквивалентно глобальному повышению уровня моря примерно на 1,2 мм за год.

и GRACE-FO⁵⁰, с апреля 2002 по ноябрь 2021 года Гренландия потеряла 5151 Гт льда, таким образом сокращение массы шло со средней скоростью 276 Гт в год (рис. 15). В Гренландии баланс массы в 2021 году был близок к 35-летней норме, но потеря массы была ниже среднего за период 2002–2020 гг., по которому есть спутниковые гравиметрические данные.

среднему многолетнему значению, однако температуры и сток талой воды в конце июля и августе 2021 года существенно превысили норму (рис. 16)⁵¹. Августовское явление было вызвано теплой, влажной воздушной массой, переместившейся из Баффинова залива и охватившей большую часть юго-западной и центральной Гренландии. 14 августа на станции «Верхний лагерь», самой высокой точке ледяного щита Гренландии (3216 м), в течение нескольких часов наблюдался дождь, при этом температура

В сезон таяния летом 2021 года в Гренландии масштабы таяния в начале были близки к

Рисунок 16. а) Кумулятивные дни таяния на Гренландском ледяном щите, 2021 год, показывающие воздействие таяния на большую часть ледяного щита летом 2021 года. б) Масштабы таяния (%) ледяного щита в течение сезона таяния 2021 года в Гренландии по сравнению с медианой за 1981–2010 гг. в) Сток талой воды в Гренландии в июле-августе 2021 г. в сравнении с последними масштабными сезонами таяния 2012 и 2019 гг., указывающий на рекордный объем позднесезонного таяния ледяного щита, связанного с выпадением дождевых осадков в середине августа на станции «Верхний лагерь». Источник: все изображения предоставлены Национальным центром данных по снегу и льду США <http://nsidc.org/greenland-today/> при поддержке Теда Скамбоса и команды Greenland Ice Sheet Today. Анализ в а) и б) проведен Томасом Моутом, Университет Джорджии, США, а оценка стока талых вод в с) сделана на основании региональной климатической модели MARv3.12 при участии Ксавье Феттвейса, Университет Льежа, Бельгия.



⁵⁰ 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, PO.DAAC, CA, USA. <http://dx.doi.org/10.5067/TEMSC-3MJ62>.
⁵¹ <http://nsidc.org/greenland-today/2021/08/rain-at-the-summit-of-greenland/>

воздуха оставалась выше точки замерзания около девяти часов^{52,53}. Это первое сообщение о выпадении осадков на станции и самая поздняя дата в году, когда здесь были зарегистрированы температуры выше точки замерзания. Явления таяния в районе станции также наблюдались в 1995, 2012 и 2019 годах. Данные ледяных кернов показывают, что до 1995 года последний раз таяние происходило здесь в конце XIX века⁵⁴.

Антарктический ледяной щит

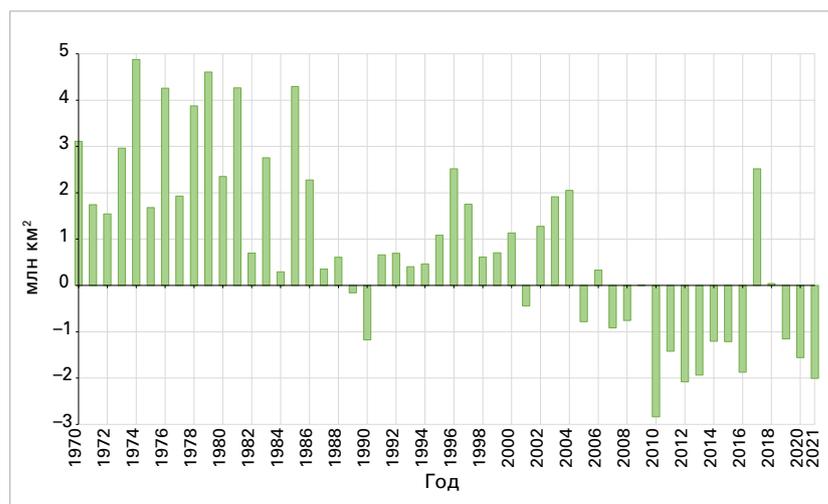
Антарктический ледяной щит теряет незначительные объемы льда по сравнению с Гренландией, однако таяние все равно происходит – обычно на Антарктическом полуострове в период с ноября по февраль, а также на некоторых низколежащих шельфовых ледниках и в прибрежных зонах. Летний сезон таяния 2020/21 гг. в Антарктиде был умеренным, с показателями ниже средних за период 1990–2020 гг.⁵⁵ Северная часть шельфового ледника Фильхнера в море Уэдделла пережила

сильное, но краткое таяние в середине декабря 2020 года. Летний сезон таяния в Антарктиде завершился в середине февраля 2021 года. Самые сильные положительные аномалии таяния в этом году наблюдались над остатками шельфовых ледников Ларсен В и С на Антарктическом полуострове; в большинстве других мест наблюдалась близкие к норме масштабы таяния в сравнении со средними условиями за 1990–2020 гг.

Несмотря на то, что поверхностное таяние в Антарктиде летом 2020/21 года оставалось практически на уровне нормы, гравиметрические данные со спутника GRACE-FO показывают, что в начале 2021 года Антарктический ледяной щит продолжал терять массу (рис. 15), что связано с откалыванием и таянием морского ледяного щита в секторе моря Амундсена в Западной Антарктиде. Потеря массы Антарктического ледяного щита с 2010 года в основном обусловлена истончением и отступлением линии налегания ледника Туэйтса, вызванными потеплением океана в этом секторе ледяного щита⁵⁶. Данные GRACE-FO⁵⁷ указывают на то, что в Антарктиде потеря массы с ноября 2020 по ноябрь 2021 года составила 296 Гт, что примерно вдвое превышает среднюю скорость потери льда в Антарктиде с 2002 по 2021 год (рис. 15).

Рисунок 17.

Майская аномалия протяженности снежного покрова (ПСП) в Северном полушарии (СП) за период 1970–2021 гг. по отношению к среднему значению за 1991–2020 гг. Источник: продукт Rutgers Northern Hemisphere Snow Cover Extent product: <https://snowcover.org>.



СНЕГ

Наблюдается долгосрочная тенденция сезонного снижения снежного покрова в Северном полушарии (СП) в конце весны и летом, при этом данные свидетельствуют об относительной стабильности или даже увеличении протяженности снежного покрова осенью⁵⁸. Протяженность снежного покрова (ПСП) в 2021 году подтверждает эти долгосрочные тенденции: аномалия снежного покрова в СП в мае составила -2 млн км², что

⁵² Moon, T. A.; Tedesco, M.; Box, J. E. et al. Greenland Ice Sheet. In *Arctic Report Card 2021*; Moon, T. A.; Druckenmiller, M. L.; Thoman, R. L., Eds.; National Oceanic and Atmospheric Administration, 2021. <https://doi.org/10.25923/546g-ms61>.

⁵³ <http://nsidc.org/greenland-today/2021/08/rain-at-the-summit-of-greenland/>

⁵⁴ Meese, D. A.; Gow, A. J.; Grootes, P. et al. The Accumulation Record from the GISP2 Core as an Indicator of Climate Change Throughout the Holocene. *Science* **1994**, *266* (5191), 1680–1682. <https://doi.org/10.1126/science.266.5191.1680>.

⁵⁵ <http://nsidc.org/greenland-today/2021/04/the-antarctic-2020-to-2021-melt-season-in-review/>

⁵⁶ Velicogna, I.; Mohajerani, Y.; Landerer, G. A. F. 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* (8), e2020GL087291. <https://doi.org/10.1029/2020GL087291>. See also Rignot, E.; Mouginot, J.; Scheuchl, B. et al. Four decades of Antarctic Ice Sheet mass balance from 1979–2017. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **2019**, *116* (4) 1095–1103. <https://doi.org/10.1073/pnas.1812883116>.

⁵⁷ 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, PO.DAAC, CA, USA. <http://dx.doi.org/10.5067/TEMSC-3MJ62>.

⁵⁸ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2021: Summary for Policymakers. In: *AR6 Climate Change 2021: The Physical Science Basis*, https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM_final.pdf.



Рисунок 18. Нестабильность склонов, наблюдавшаяся недавно под воздействием таяния многолетней мерзлоты, включая сплывы активного слоя и ретрогрессивные оплывины при оттаивании. На переднем плане виден сход значительного объема грунта в реку с формированием языка, состоящего из обломков. Предгорья гор Маккензи к югу от Норман-Уэлс, северо-западная Канада. Фото правительства Северо-Западных территорий, Канада.

стало третьим самым низким показателем ПСП за 1970–2021 гг. (рис. 17), по итогам анализа данных продукта Rutgers Northern Hemisphere Snow Cover Extent⁵⁹. Сокращение протяженности весеннего снежного покрова в Северном полушарии последовательно зафиксировано во всех наборах данных, и в 2021 году это было обусловлено тем, что снежный покров в высоких широтах Евразии был ниже нормы. В мае и июне 2021 года протяженность снежного покрова в евразийской Арктике находилась на пятой и третьей самой низкой позиции за период 1967–2021 гг.⁶⁰

МНОГОЛЕТНЯЯ МЕРЗЛОТА

Многолетняя мерзлота залегает примерно под одной восьмой частью поверхности суши Земли. Это земля, температура которой остается на уровне 0 °С или ниже в течение как минимум двух лет подряд. Таяние многолетней мерзлоты может привести к нестабильности ландшафта и другим последствиям, включая выброс парниковых газов из ранее замерзшего органического материала. Когда температура многолетней мерзлоты приближается к 0 °С, изменения температуры в богатом льдом грунте затормаживаются из-за фазового перехода ото льда к воде. В то время как рост температуры может стабилизироваться и оставаться около 0 °С на протяжении нескольких

лет или десятилетий из-за фазового перехода, воздействие потепления и таяния многолетней мерзлоты на устойчивость грунта (включая проседание и движение масс), гидрологию, экосистемы и инфраструктуру зачастую прослеживается очень четко (рис. 18).

Начиная с 1990-х годов Глобальная сеть наблюдений за поверхностью суши — многолетняя мерзлота (ГСНПС-ММ) располагает наборами данных о температуре многолетней мерзлоты (измеренной в скважинах) и толщине активного слоя (максимальной толщине сезонно оттаивающего слоя над вечной мерзлотой). Деятельность, связанная с продуктами ГСНПС-ММ, в основном зависит от исследовательских проектов. Долгосрочные ряды данных из национальных и региональных сетей, действующих в горных и полярных районах, свидетельствуют о развитии отмеченных в прошлом тенденций потепления вплоть до 2020 года, последнего, за который имеются данные.

СТРАТОСФЕРНЫЙ ОЗОН

Благодаря успеху Монреальского протокола, как сообщалось, использование галонов и хлорфторуглеродов (ХФУ) было прекращено, хотя их уровни в атмосфере продолжают

⁵⁹ <https://snowcover.org>

⁶⁰ Mudryk, L.; Chereque, A. E.; Derksen, C. et al. Terrestrial Snow Cover. In *Arctic Report Card 2021*; Moon, T. A.; Druckenmiller, M. L.; Thoman, R. L., Eds.; National Oceanic and Atmospheric Administration, 2021. <https://doi.org/10.25923/16xy-9h55>.

Рисунок 19. Слева: площадь озоновой дыры (млн км²). Справа: минимальный уровень озона, содержание в атмосферном столбе менее 220 единиц Добсона. 2021 год показан красным цветом. Самые последние годы приводятся для сравнения, как указано в условных обозначениях. Плавная жирная серая линия представляет собой среднее значение за 1979–2020 гг. Затененная голубым цветом область отображает с 10-го по 90-й процентилю, а затененная зеленым область — с 30-го по 70-й за период 1979–2020 гг. Тонкие черные кривые показывают максимальные и минимальные значения для каждого дня в период 1979–2020 гг. Источник: график составлен ВМО на основе данных, загруженных с веб-сайта НАСА «Ozone Watch» (слежение за озоном), <https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/>. Данные НАСА основаны на спутниковых наблюдениях при помощи приборов OMI и TOMS.

отслеживаться. Ввиду продолжительного срока жизни этих соединений в атмосфере они будут сохраняться в ней на протяжении многих десятилетий. Даже в отсутствие новых выбросов в атмосфере все еще содержится более чем достаточное количество хлора и брома для того, чтобы вызвать полное разрушение озонового слоя над Антарктикой в период с августа по декабрь. В результате образование антарктической озоновой дыры, представляющей собой область с низкой концентрацией озона, продолжает оставаться ежегодным весенним явлением, при этом изменение ее размеров и глубины от года к году в значительной степени зависит от метеорологических условий.

Антарктическая озоновая дыра 2021 года образовалась относительно рано и продолжала расти, в результате чего стала большой и глубокой. 24 сентября она расширилась до 24 млн км² и оставалась близкой к этому значению до середины октября 2021 года. Формирование дыры, ее масштабы и серьезность были близки к показателям сезонов 2020 и 2018 годов. Озоновая дыра достигла максимальной площади в 24,8 млн км² 7 октября 2021 года, что аналогично площадям в 2020 и 2018 годах и близко к самым высоким значениям, наблюдавшимся в предыдущие годы, таким как 28,2 млн км² в 2015 году и 29,6 млн км² в 2006 году, согласно анализу Национального управления по авиации и исследованию космического пространства (НАСА) (рис. 19, слева).

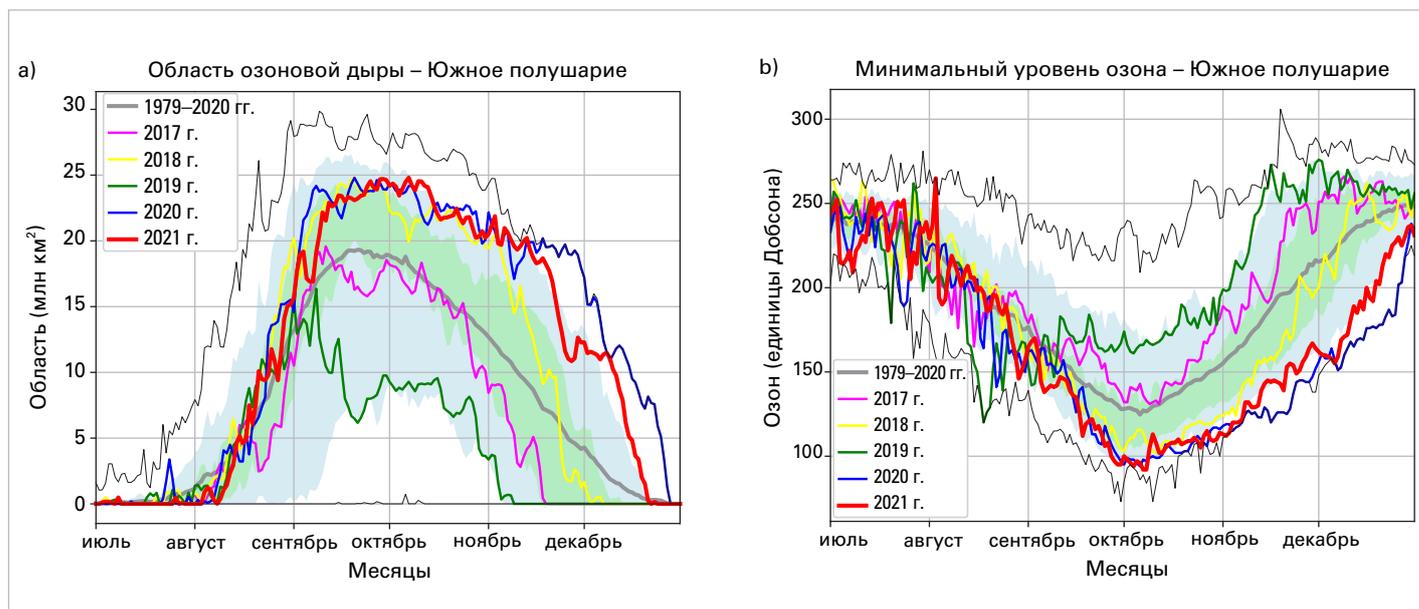
Что касается общего содержания озона в атмосферном столбе, НАСА сообщило о минимальном содержании озона в 92 ед

(единицы Добсона) 7 октября 2021 года, что стало самым низким значением для сезона 2021 года и за последние 17 лет (рис. 19, справа). После сентября 2021 года концентрация стратосферного озона устойчиво снизилась до почти нулевых значений на высоте от 15 до 20 км над Антарктидой. По данным Национального управления по исследованию океана и атмосферы (НУОА), эти значения, наравне со значениями сезона 2020 года, стали одними из самых низких, когда-либо измеренных с помощью зондов на антарктических станциях.

Дыра 2021 года была больше и глубже, чем 70 % озоновых дыр с 1979 года, и оставалась таковой до своего закрытия во второй половине декабря. Она занимает тринадцатое место по площади среди озоновых дыр и шестое место по минимальному количеству озона. Эта необычно глубокая и масштабная озоновая дыра 2021 года была вызвана сильным и устойчивым полярным вихрем и более холодными, чем обычно, условиями в стратосфере.

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА КРАТКОСРОЧНУЮ ИЗМЕНЧИВОСТЬ КЛИМАТА

Существует множество различных природных явлений, часто называемых климатическими режимами или климатическими модами, которые влияют на погоду в масштабах времени от нескольких дней до нескольких месяцев. Температуры поверхности океана меняются относительно медленно, поэтому



повторяющиеся закономерности в температуре поверхности моря можно использовать для понимания и, в некоторых случаях, для прогнозирования более быстро меняющихся погодных режимов над сушей в сезонных временных масштабах. Аналогичным образом, хотя изменения давления в атмосфере происходят более быстрыми темпами, они могут объяснить некоторые региональные режимы погоды.

В 2021 году Эль-Ниньо/Южное колебание (ЭНЮК), индоокеанский диполь (ИОД), Арктическое колебание (АК) и Южный кольцевой режим (ЮКР) внесли свой вклад в важные погодные и климатические явления в различных частях мира. Более подробная информация о них приводится ниже.

ЭЛЬ-НИНЬО/ЮЖНОЕ КОЛЕБАНИЕ

ЭНЮК является одним из наиболее важных движущих факторов, определяющих межгодовую изменчивость глобальных погодных режимов. Он связан с такими опасными явлениями, как проливные дожди, паводки и засуха. Явления Эль-Ниньо, характеризующиеся более высокой, чем в среднем, температурой поверхности моря в восточной части Тихого океана и ослаблением пассатов, как правило, приводят к повышению глобальных температур. Ла-Нинья, которая характеризуется температурой поверхности моря ниже средней в центральной и восточной частях Тропической зоны Тихого океана и усилением пассатов, имеет противоположный эффект.

Условия Ла-Нинья возникли в середине 2020 года и достигли своего пика в октябре-декабре с умеренной силой, при этом средняя температура поверхности моря была на 1,3 °C ниже нормы 1991–2020 годов в районе Ниньо 3.4 (5° ю. ш. — 5° с. ш.; 170—120° з. д.). Ла-Нинья ослабевала в течение первой половины 2021 года, достигнув в мае нейтрального с точки зрения ЭНЮК состояния (температура в пределах 0,5 °C от нормы), согласно океаническим и атмосферным показателям. Однако во втором полугодии температура морской поверхности снизилась и к июлю-сентябрю вновь достигла пороговых значений Ла-Нинья. К октябрю-декабрю средние температуры поверхности моря вновь достигли умеренной силы и были на 1,0 °C ниже нормы.

Помимо того, что Ла-Нинья оказывает временное снижающее воздействие на глобальную температуру Земли, она ассоциируется с более

сухими, чем обычно, условиями в Восточной Африке. На протяжении трех сезонов подряд (в конце 2020, начале 2021 и конце 2021 года) в Кении, Эфиопии и Сомали наблюдались сезоны дождей слабее обычных, что привело к засухе в регионе. В начале 2021 года количество осадков превышало норму на Морском континенте⁶¹ (климатологически важном регионе, в который входят острова и моря между материковой частью Юго-Восточной Азии и Австралией, а также между Индийским и Тихим океанами) и оставалось ниже нормы в Патагонии в начале года, что характерно для Ла-Нинья. Кроме того, условия Ла-Нинья могут способствовать повышенной ураганной активности в Северной Атлантике, где в сезон ураганов 2021 года наблюдался 21 тропический циклон с присвоенными именами (средний показатель за весь сезон в 1981–2010 гг. составляет 14). С Ла-Нинья также связывают более теплые и сухие условия в районах южной части территории Соединенных Штатов Америки. В декабре в большинстве штатов этого региона отмечались рекордные или практически рекордные температуры, а в нескольких штатах было суше, чем обычно.

ИНДООКЕАНСКИЙ ДИПОЛЬ

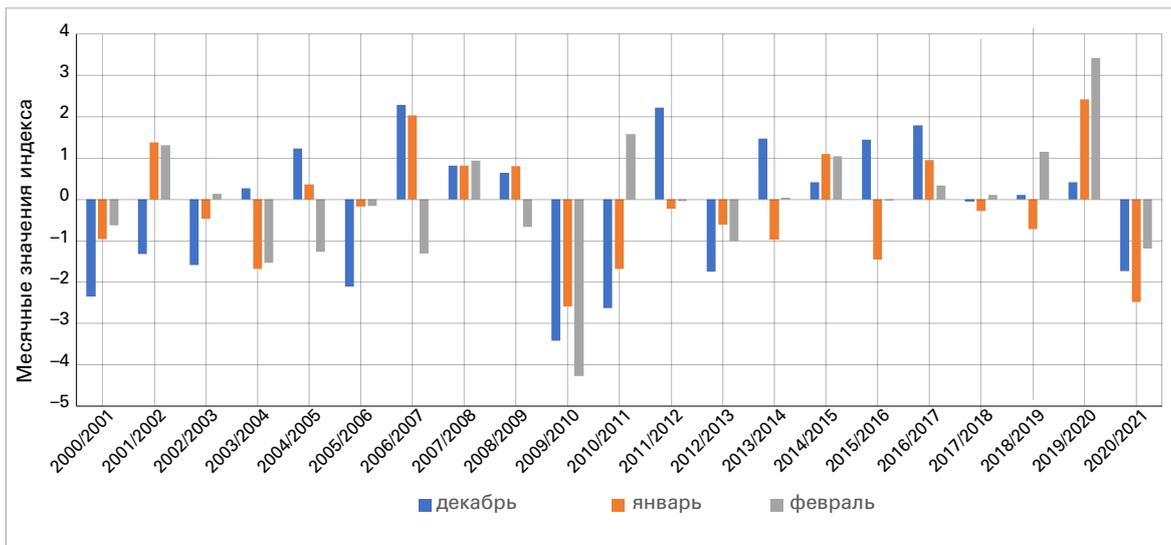
Положительная фаза индоокеанского диполя (ИОД) характеризуется температурами поверхности моря ниже средних в восточной части Индийского океана и температурами выше средних в его западной части. Отрицательная фаза представляет собой обратную картину. Возникающее в результате изменение градиента температуры поверхности моря по всему бассейну океана оказывает влияние на погоду на окружающих континентах, в первую очередь в Южном полушарии. Положительные проявления ИОД часто ассоциируются с Эль-Ниньо, а отрицательные – с Ла-Нинья⁶².

В июле 2021 года наблюдалась отрицательная фаза ИОД, которая к концу года вернулась к нейтральным, хотя и близким к отрицательным значениям. Она стала первой отрицательной фазой ИОД с 2016 года. В сочетании с Ла-Нинья эта фаза способствовала влажным условиям на большей части Австралии в конце австралийской зимы и весной. В юго-западной части Западной Австралии, а также во многих районах Южной Австралии в июле было зафиксировано самое большое количество осадков с 1996 года. В Австралии в целом весна

⁶¹ Ramage, C. S. Role of a Tropical "Maritime Continent" in the Atmospheric Circulation. *Monthly Weather Review* 1968, 96(6), 365–370. https://journals.ametsoc.org/view/journals/mwre/96/6/1520-0493_1968_096_0365_roatmc_2_0_co_2.xml.

⁶² <http://www.bom.gov.au/climate/enso/history/In-2010-12/IOD-what.shtml>

Рисунок 20. Месячные значения индекса Арктического колебания для зимних месяцев Северного полушария 2000—2021 гг. Декабрь показан синим цветом, январь – оранжевым, февраль – серым. Источник: Центр климатического прогнозирования Национального управления по исследованию океанов и атмосферы (НУОА).



стала десятой из самых влажных за 122-летний период наблюдений, а в штате Новый Южный Уэльс – четвертой. Ноябрь как в Новом Южном Уэльсе, так и в Австралии в целом стал самым влажным со времени начала наблюдений⁶³. И наоборот, отрицательная фаза ИОД, опять же в сочетании с Ла-Нинья, по всей вероятности, способствовала экстремальным засушливым условиям в Восточной Африке.

АРКТИЧЕСКОЕ КОЛЕБАНИЕ

Арктическое колебание (АК) – это крупномасштабная атмосферная модель, которая влияет на погоду во всем Северном полушарии⁶⁴. Его положительная фаза характеризуется атмосферным давлением ниже среднего над Арктикой и выше среднего над северной частью Тихого океана и над Атлантикой. Струйное течение проходит параллельно линиям широты со смещением на север, удерживая холодный арктический воздух; к северу от своих обычных путей могут смещаться и штормы. В средних широтах Северной Америки, Европы, Сибири и Восточной Азии, как правило, наблюдается меньше вторжений фронтов холодного воздуха, чем обычно во время положительной фазы АК. Отрицательная фаза АК имеет противоположный эффект, сопровождаемый более меандрирующим струйным течением и проникновением холодного воздуха на юг, в средние широты, где струйное течение смещается к югу.

В течение зимы 2020/21 года в Северном полушарии АК было отрицательным, с самой сильной сезонной отрицательной фазой из всех зарегистрированных с зимы 2009/10 года (рис. 20). Струйный поток над Северной Америкой принес на континент самый холодный февраль с 1994 года. Однако тот же волновой струйный поток способствовал экстремальному теплу в северных и восточных районах Азии в феврале 2021 года, когда он прошел над территорией в северном направлении. В некоторых регионах Монголии, Китая, Японии и Республики Корея были зафиксированы рекордно высокие для этого времени года температуры. Контраст между положительной фазой АК (зима 2019/20 г.) и отрицательной (зима 2020/21 г.) может объяснить некоторые различия между температурными режимами в первых кварталах 2020 и 2021 годов. Отрицательная зимняя фаза Арктического колебания также связана с более умеренной потерей арктического морского льда следующим летом⁶⁵ (см. «Арктический морской лед»).

ЮЖНЫЙ КОЛЬЦЕВОЙ РЕЖИМ

На противоположной стороне земного шара Южный кольцевой режим (ЮКР) (также называемый Антарктическим колебанием, ААК) – это крупномасштабная атмосферная модель, которая влияет на погоду в Южном полушарии. Он измеряется движением с севера на юг пояса западных ветров, который огибает

⁶³ <http://www.bom.gov.au/climate/current/statements/scs75.pdf>

⁶⁴ Thompson, D. W. J.; Wallace, J. M. The Arctic Oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields. *Geophysical Research Letters* **1998**, 25 (9), 1297–1300.

⁶⁵ Rigor, I. G.; Wallace, J. M.; Colony, R. L. Response of Sea Ice to the Arctic Oscillation. *Journal of Climate* **2002**, 15 (18), 2648–2663. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2002\)015%3C2648:ROSITT%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2002)015%3C2648:ROSITT%3E2.0.CO;2).

Антарктиду и господствует в средних и высоких широтах Южного полушария. Положительная фаза характеризуется поясом сильных западных ветров, сдвигающихся в сторону Антарктиды, и связана с фазой Ла-Нинья ЭНЮК. Во время положительной фазы ЮКР теплый и влажный западный поток над северной частью полуострова приводит к феновому потеплению на восточной стороне и аномальному теплу. Отрицательная фаза, напротив, характеризуется расширением пояса сильных западных ветров в сторону экватора⁶⁶. Примечательно, что ЮКР может оказывать значительное влияние на приземную температуру в Антарктике, циркуляцию океана и режим осадков в некоторых районах Австралии.

В течение всего 2021 года ЮКР был преимущественно положительным или

нейтральным, а в начале года и ближе к его концу – устойчиво положительным⁶⁷. Этот положительный режим с аномально низкой скоростью ветра, направлением ветра преимущественно с северо-востока на полюсе и невозможностью для теплых воздушных масс проникнуть в этот район, по всей вероятности, способствовал установлению рекордно холодной зимы в Южном полушарии и холодному сезону апреля-сентября на Южном полюсе. И наоборот, на станции Эсперанса, расположенной на северо-востоке Антарктического полуострова, был зафиксирован самый теплый год за всю историю наблюдений со средним значением температуры $-2,6$ °C. 18 декабря температура достигла $14,6$ °C, что стало рекордным декабрьским максимумом для этой станции.

⁶⁶ <http://www.bom.gov.au/climate/sam/>

⁶⁷ <http://www.nerc-bas.ac.uk/icd/gjma/sam.html>

Явления со значительными последствиями в 2021 году

Хотя понимание широкомасштабных изменений климата имеет большое значение, наиболее сильное воздействие погоды и климата чаще всего ощущается во время экстремальных метеорологических явлений, таких как проливные дожди и обильные снегопады, засухи, волны тепла и холода и штормы, включая тропические штормы и циклоны. Это может привести к другим явлениям со значительными последствиями, таким как наводнения, оползни, лесные пожары и лавины, или усугубить их. Настоящий раздел в большой степени основан на вкладе Членов ВМО. Более широкие социально-экономические риски и последствия этих явлений описаны в разделе «[Риски и воздействия](#)».

ВОЛНЫ ТЕПЛА И ЛЕСНЫЕ ПОЖАРЫ

В июне и июле в западной части Северной Америки несколько раз наблюдались беспрецедентные волны тепла. Согласно некоторым данным наблюдений, наиболее экстремальной стала волна в конце июня на северо-западе США и западе Канады. В Литтоне, на юге центральной части Британской Колумбии, 29 июня температура достигла 49,6 °C, превысив предыдущий национальный рекорд на 4,6 °C, при этом столбик термометра достигал 45-градусной отметки далеко на западе страны, вплоть до восточных пригородов Ванкувера и внутренних районов острова Ванкувер. Кроме того, эта температура более чем на 5 °C превысила предыдущий известный рекорд к северу от 50° с. ш. Это привело к большому количеству смертей в результате жары: только в Британской Колумбии в период с 20 июня по 29 июля⁶⁸ было зарегистрировано 569 смертей, а в Альберте – 185⁶⁹. За схожий период сообщалось о 154 связанных с жарой случаях смерти в Вашингтоне⁷⁰ и минимум о 83 – в Орегоне⁷¹. Многие станции с длинным рядом наблюдений зафиксировали превышение рекордных температур на 4–6 °C, включая Портленд, штат Орегон (46,7 °C). Многочисленные волны тепла наблюдались также в юго-западной части Соединенных Штатов Америки. В Долине Смерти, штат Калифорния, 9 июля температура достигла 54,4 °C, сравнявшись с аналогичным значением 2020 года, которое стало самой высокой температурой, зарегистрированной

в мире по крайней мере с 1930-х годов. Установилось самое жаркое лето за всю историю наблюдений в среднем по континентальной части Соединенных Штатов Америки.

Во время и по окончании волн тепла произошло множество крупных лесных пожаров (один из которых практически полностью уничтожил Литтон на следующий день после того, как была зафиксирована рекордная температура). До того, как пожар «Дикси», начавшийся 13 июля в северной Калифорнии, был локализован в октябре, он уничтожил около 390 000 гектаров, став самым крупным пожаром в истории наблюдений в Калифорнии. Редкое явление, зимний лесной пожар, нанес крупный материальный ущерб к востоку от Боулдера, штат Колорадо, 30 декабря: были уничтожены или повреждены более 1000 домов и строений. Общая площадь, выгоревшая за сезон в Соединенных Штатах, была немного ниже средней⁷², однако в Канаде она значительно превысила средние показатели, причем в Онтарио была выжжена самая большая площадь за сезон, а в Британской Колумбии – третья по величине. Продолжительное загрязнение дымом затронуло летом многие регионы Северной Америки, при этом в Калгари были зафиксированы рекордные 512 часов дыма или задымленности, по сравнению со средним многолетним показателем в 12 часов.

Во второй половине лета в Северном полушарии экстремальная жара неоднократно охватывала весь Средиземноморский регион. Самая экстремальная жара наблюдалась во вторую неделю августа. 11 августа на агрометеорологической станции на Сицилии близ Сиракуз, Италия, был установлен предварительный европейский рекорд, 48,8 °C, а в Кайруане, Тунис, температура достигла беспрецедентных 50,3 °C. 14 августа в Монторо, Испания, был установлен национальный рекорд, 47,4 °C, и в тот же день в Мадриде (аэропорт Барахас), где наблюдалось 42,7 °C, был побит предыдущий местный температурный рекорд. Ранее, 20 июля, в турецком городе Джизре был установлен национальный рекорд (49,1 °C), а в Тбилиси (Грузия) зафиксирован самый жаркий день в истории наблюдений (40,6 °C). Масштабные лесные пожары охватили многие части региона; особенно пострадали Алжир,

⁶⁸ <https://www2.gov.bc.ca/gov/content/life-events/death/coroners-service/news-and-updates/heat-related>

⁶⁹ <https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/top-ten-weather-stories/2021.html>

⁷⁰ <https://www.doh.wa.gov/Emergencies/BePreparedBeSafe/SevereWeatherandNaturalDisasters/HotWeatherSafety/HeatWave2021#heading88455>

⁷¹ Бюро судебно-медицинской экспертизы штата Орегон, цитируется в сообщениях СМИ, <https://flashalert.net/id/OSP0re/146352>

⁷² <https://www.nifc.gov/>

южная часть Турции и Греция. В результате пожаров в Алжире погибло более 40 человек⁷³. Франция, Италия, Северная Македония, Ливан, Израиль, Ливия, Тунис и Марокко также пережили значительные лесные пожары в течение этого периода.

Июнь был исключительно теплым во многих частях Восточной и Центральной Европы. Национальные июньские рекорды были установлены в Эстонии (34,6 °C) и Беларуси (37,1 °C), кроме того, самые жаркие июньские дни за всю историю наблюдений были зафиксированы в Санкт-Петербурге (35,9 °C) и Москве (34,8 °C), и тот, и другой – 23 июня, в Ереване (Армения, 41,1 °C) 24 числа и Баку (Азербайджан, 40,5 °C) 26 числа. В Тампере, Финляндия, самая высокая температура за историю наблюдений наблюдалась 22 июня (33,2 °C). В Латвии были самые жаркие из известных июнь и лето в целом. И в более отдаленных регионах, в частности, в Ливии, в конце июня также наблюдалась продолжительная волна тепла. Позднее этим же летом аномальное тепло достигло и северо-западной Европы; 31,3 °C в Каслдерге 21 июля стали рекордной температурой для Северной Ирландии. В июле в Ирландии наблюдались две тропические ночи, при этом в графстве Керри суточные минимальные температуры превышали 20 °C.

Третий год подряд в Сибири, особенно в Республике Саха в районе Якутска, летом происходят крупные лесные пожары. Согласно отчету Федерального агентства лесного хозяйства России, количество пожаров в Якутии достигло к концу лета 2295, при этом с начала сезона лесных пожаров выгорела площадь около 8,9 млн га.

Пик пожарной активности в Амазонии в сезон августа-сентября был ниже, чем в 2019 или 2020 годах⁷⁴, но в других частях Бразилии, включая Пантанал, пожарная активность была масштабной.

ВОЛНЫ ХОЛОДА И СНЕГ

В середине февраля во многих районах центральной части Соединенных Штатов Америки и северной Мексики установились аномально холодные условия. Наиболее сильное воздействие отмечалось в Техасе, где в целом были зафиксированы самые низкие

температуры по меньшей мере с 1989 года, причем в некоторых районах температура держалась на отметке ниже нуля в течение 6–9 дней. 16 февраля в Оклахома-Сити было –25,6 °C, а в Далласе –18,9 °C, что стало самой низкой температурой с 1899 и 1949 годов соответственно. Подача электроэнергии осуществлялась со значительными перебоями, в результате чего на пике отключения было затронуто до 10 миллионов человек. Замерзшие трубы стали еще одной из основных причин нанесенного ущерба. В результате этого шторма, нанесшего наибольший ущерб за всю историю наблюдений за зимними штормами в США, погибло 226 человек, а экономический ущерб составил 24 млрд долларов США⁷⁵.

Зима 2020/21 года была холодной во многих частях Северной Азии. В Российской Федерации наблюдалась самая холодная зима с 2009/10 года. В конце декабря и начале января на большей части территории Японии температурные значения были ниже средних, местами прошли сильные снегопады. В начале января в ряде мест на побережье Японского моря на острове Хонсю прошел самый сильный 72-часовой снег за всю историю наблюдений. На большей части территории Китая в этот период также было необычно холодно: 7 января температура воздуха в Пекине опустилась до –19,6 °C, что стало самой низкой температурой с 1966 года.

В период с 7 по 10 января на многие районы Испании обрушилась снежная буря, после которой в течение недели держались холода. В центральном районе Мадрида, Ретиро, выпало в общей сложности 53 см снега; обильные снегопады также отмечались во многих других районах Испании⁷⁶. После снежного шторма в некоторых местах, включая Толедо (–13,4 °C) и Теруэль (–21,0 °C), 12 января были зафиксированы самые низкие температуры в истории наблюдений. Со сбоями работал наземный и воздушный транспорт. Ближе к концу зимы, во вторую неделю февраля, в Нидерландах прошла самая сильная снежная буря с 2010 года, сильный снег также выпал в Германии, Польше и Великобритании. 12 февраля, после снегопада, температура в Бремаре опустилась до –23,0 °C, став самой низкой температурой в Соединенном Королевстве с 1995 года. Что касается Юго-Восточной Европы, 15 февраля в Афинах прошел самый сильный снегопад с 2009 года. С 15 по 21 февраля в Ливии шли нехарактерные снегопады, которые вновь наблюдались на возвышенностях в конце декабря.

⁷³ <https://www.emdat.be/>

⁷⁴ https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal-static/estatisticas_estados/

⁷⁵ <https://www.ncdc.noaa.gov/billions/events/US/2021>

⁷⁶ http://www.aemet.es/en/conocermas/borrascas/2020-2021/estudios_e_impactos/filomena

В начале апреля многие регионы Европы находились под влиянием аномального весеннего похолодания. Рекордно низкие апрельские температуры отмечались во Франции: $-7,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ в Сент-Этьене 8 апреля и $-6,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ в Бове 6 апреля. В Белграде (Сербия) 7 числа выпал самый обильный апрельский снег за всю историю наблюдений. В Польше стоял самый холодный апрель в XXI веке. Национальные рекорды для апреля были установлены на высокогорье в Швейцарии ($-26,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ на Юнгфрауих) и в Словении ($-20,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ в Нова-Вас-на-Блоках). Эти рекорды последовали за очень теплым концом марта. Так, например, 31 марта во Франции стало самым теплым мартовским днем за всю историю наблюдений. Ущерб, нанесенный заморозками сельскому хозяйству, был масштабным и тяжелым; потери, связанные с виноградниками и другими культурами, только во Франции превысили 4,6 млрд долларов США. В Великобритании была зафиксирована самая низкая апрельская среднемесячная температура с 1922 года.

ОСАДКИ

По сравнению с температурой, осадки характеризуются большей пространственной и временной изменчивостью. В 2021 году крупными регионами с количеством осадков выше нормы в сравнении с выбранным климатологическим периодом (1951–2000 гг.) были Восточная Европа, Юго-Восточная Азия, Морской континент, районы северной части Южной Америки и юго-восточной части

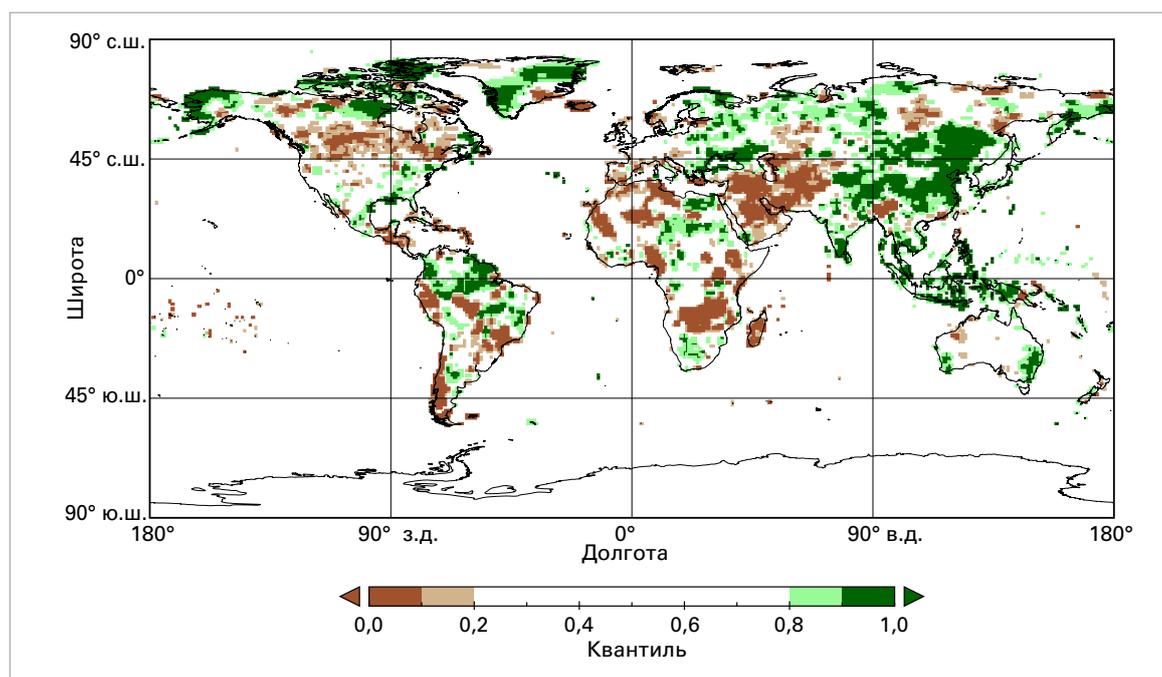
Северной Америки (рис. 21). Крупные регионы с дефицитом осадков включали Юго-Западную Азию и Ближний Восток, части юга Африки и юга Южной Америки, а также районы центральной части Северной Америки.

Наблюдалось позднее наступление западноафриканского муссона. Позднее в сезоне количество дождевых осадков превысило норму, особенно в западном муссонном регионе. В целом, сезонное количество осадков было близко к норме. На юге Африки, в районе Замбии, количество осадков в сезон дождей до мая было ниже среднего многолетнего уровня. По меньшей мере второй год подряд количество осадков на Мадагаскаре оставалось ниже нормы; ежегодное количество осадков, начиная с 2011 года, в большинстве случаев было ниже среднего. Кроме того, оба сезона дождей (апрель-май и октябрь-ноябрь) в регионе Большого Африканского Рога были более сухими, чем обычно.

Количество осадков выше среднего наблюдалось на Аляске и севере Канады, а также на юго-востоке США и в некоторых районах Карибского бассейна. Между этими двумя полосами с влажностью выше среднего располагалась зона аномально сухих условий, простирающаяся по всей ширине континента.

Необычно большое количество осадков, по сравнению с базовым периодом, было зарегистрировано на юго-западе и юго-востоке Австралии. С другой стороны, аномально низкое количество осадков выпало на Северном острове Новой Зеландии.

Рисунок 21. Суммарные осадки в 2021 году, выраженные в процентилях к базовому периоду 1951–2010 гг., при этом коричневые зоны отражают наиболее сухие 20 %, а зеленые зоны — наиболее влажные 20 % лет за базовый период. Более темные оттенки коричневого и зеленого цвета указывают на участки с осадками в наиболее сухие и наиболее влажные 10 % лет соответственно. *Источник:* Глобальный центр климатологии осадков (ГЦКО), Метеорологическая служба Германии.



Аномально низкое количество осадков выпало в районе Средиземного моря, в то время как нехарактерно высокое количество осадков отмечалось в районе Черного моря и в некоторых частях Восточной Европы.

ПАВОДКИ

Экстремальные дождевые осадки, усиленные притоком влаги в преддверии тайфуна *Ин-фа*, обрушились на провинцию Хэнань в центральном Китае с 17 по 21 июля. Наиболее сильно пострадали окрестности города Чжэнчжоу (столица провинции Хэнань), где 20 июля за один час выпало 201,9 мм осадков (национальный рекорд Китая), а за 6 часов – 382 мм. В целом дожди принесли в район 720 мм осадков, что превышает среднегодовую норму. Город пережил сильнейший быстроразвивающийся паводок, в результате которого были затоплены многие здания, дороги и метро. Из-за наводнения погибло или пропало без вести 380 человек, а экономический ущерб составил 17,7 млрд долларов США⁷⁷. В начале октября в провинциях Шаньси и Хэбэй также произошли позднесезонные наводнения.

В середине июля в Западной Европе произошло одно из самых сильных наводнений за всю историю наблюдений. Больше всего пострадали обширные территории западной Германии и восточной Бельгии, где на почву, которая и так была необычно влажной после обильных недавних дождей, 14 и 15 июля выпало от 100 до 150 мм осадков. В Хагене (Германия) за 22 часа выпал 241 мм осадков. На многих реках наблюдались сильные паводки, затопившие несколько городов, кроме того, сошло несколько оползней. Франция, Нидерланды, Люксембург и Швейцария также пережили значительные наводнения. Число погибших в Германии и Бельгии составило 183 и 36 человек соответственно, а экономический ущерб в Германии превысил 20 млрд долларов США⁷⁸.

Продолжительные проливные дожди в середине марта привели к крупным наводнениям в восточной части Нового Южного Уэльса в Австралии⁷⁹. Неделя с 18 по 24 марта была самой влажной за всю историю наблюдений

в среднем по прибрежной части Нового Южного Уэльса. Наиболее сильный паводок произошел на реках Гастингс, Каруа и Мэннинг к северу от Сиднея, однако значительные паводки наблюдались и в других районах, в том числе в западной части Сиднея. Паводки также отмечались на многих внутренних реках, что привело к существенному пополнению водохранилищ, сильно истощенных засухой 2017–2019 годов. Экономический ущерб составил не менее 2,1 млрд долларов США.

В 2021 году в Афганистане произошло два быстроразвивающиеся паводка, связанных с локальными сильными дождями: в начале мая в районе Герата на западе и 28–29 июля в Нуристане на востоке. В обоих случаях они привели к значительным человеческим жертвам: погибло 61 и 113 человек соответственно⁸⁰.

На побережьях Средиземного и Черного морей несколько раз возникали быстроразвивающиеся паводки. Наиболее сильное воздействие стихия оказала на черноморское побережье Турции 10 августа, где нескольким городам был нанесен серьезный ущерб и было зарегистрировано 77 смертей. В Бозкурте за сутки выпало 399,9 мм осадков. Это было связано с черноморским «Медиканом» – штормом, формирующимся вне тропиков, который, тем не менее, имеет характеристики тропического шторма. Экстремальные дождевые осадки и наводнения также отмечались на Черноморском побережье Российской Федерации с 12 по 14 августа.

4 октября в прибрежных районах Лигурии (северо-запад Италии) выпали исключительно обильные осадки, в том числе 496,0 мм за 6 часов в Монтенотте Инфериоре и 740,6 мм за 12 часов в Россильоне.

В первом полугодии затяжные дождевые осадки выше среднего значения в некоторых северных районах Южной Америки, особенно в северной части бассейна Амазонки, привели к значительным и продолжительным наводнениям в регионе. Уровень воды в реке Риу-Негру в районе города Манаус (Бразилия) достиг рекордно высокого значения, которое составило 30,02 м 20 июня⁸¹. Наиболее масштабные паводки были зафиксированы на севере Бразилии, но пострадали также Гайана, Боливарианская Республика Венесуэла и Колумбия.

⁷⁷ 114,3 млрд юаней, из национального вклада Китая.

⁷⁸ Национальный вклад Германии.

⁷⁹ <http://www.bom.gov.au/climate/current/statements/scs74.pdf?20210621>

⁸⁰ <https://reliefweb.int/disaster/fl-2021-000050-afg>

⁸¹ http://www.cprm.gov.br/sace/boletins/Amazonas/20211022_11-20211025%20-%20114229.pdf

Продвижение и окончание индийского муссона происходили позже обычного, но в целом количество выпавших осадков было близко к средним значениям, при этом осадки выше среднего на западе компенсировались значениями ниже среднего на северо-востоке. С сезонными наводнениями были связаны 529 смертей в Индии и 198 в Пакистане (по состоянию на 30 сентября); смертельные случаи также были зарегистрированы в Бангладеш и Непале⁸². В сезон северо-восточных муссонов в октябре и ноябре в восточной Индии и Непале вновь произошли наводнения. В регионе Восточной Азии количество осадков в восточном Китае (за исключением Хэнаня) в сезон муссонов в целом было меньше, чем в 2020 году, однако август в Японии был экстремально влажным. В западной части Японии стоял самый влажный август за всю историю наблюдений⁸³: в период с 11 по 26 августа в некоторых районах выпало более 1400 мм осадков. Тропическая депрессия вышла на сушу в Малайзии 16 декабря. Это привело к сильным наводнениям в Селангоре и Куала-Лумпуре, в результате которых погибли по меньшей мере 52 человека. В международном аэропорту Куала-Лумпура 17–18 декабря за 12 часов выпало 230 мм осадков⁸⁴.

Сезон дождей в африканском Сахеле в целом характеризовался близкими к средним значениями (1951–2000 гг.) и меньшей влажностью, чем в некоторые последние годы, хотя значительные паводки все еще отмечались в Нигере, Судане и Южном Судане и Мали. В Восточной Африке в мае озеро Танганьика поднялось более чем на 3 м выше своего нормального уровня⁸⁵, в результате чего жители Бурунди были вынуждены покинуть прибрежные районы, а озеро Виктория поднялось до самого высокого уровня с момента начала регистрации спутниковых данных в 1992 году, превысив пик предыдущего года. Паводковый сток Нила ниже озера Виктория, а также значительное количество стоячей воды, оставшейся после паводков 2020 года, способствовали дальнейшему затоплению некоторых районов Южного Судана и Судана, несмотря на близкое к норме количество осадков в 2021 году. На юге Африки, большая часть которой испытывала длительную засуху, количество осадков в сезон

дождей 2020/21 г. было выше среднего и вызвало наводнения в некоторых регионах, включая северную часть Южной Африки и Зимбабве, однако в более северных районах количество осадков приближалось к средним показателям или было ниже нормы.

Западная Канада пострадала от сильных наводнений в ноябре. Во многих местах на юге Британской Колумбии за 60 часов выпало от 200 до 300 мм осадков, что привело к наводнениям и оползням (в некоторых случаях усугубленным стоками с территорий, пострадавших от пожаров). Работа транспорта была серьезно нарушена; большинство основных маршрутов, связывающих Ванкувер с остальной Канадой, были закрыты в течение нескольких недель; некоторые населенные пункты были частично или полностью затоплены. Сообщалось о 6 погибших, а экономические потери превысили 2 млрд канадских долларов. Наводнения также затронули прилегающие районы северо-запада США. В Сиэтле и Ванкувере наблюдалась самая влажная осень за всю историю наблюдений.

ЗАСУХА

Второй год подряд масштабная засуха поражала большую часть субтропической Южной Америки. На значительной территории центральной части и юга Бразилии⁸⁶, Парагвая, Уругвая и севера Аргентины количество осадков было значительно ниже среднего. Обусловленные засухой значительные потери в сельском хозяйстве усугубились из-за резкого похолодания в конце июля, когда в течение пяти дней максимальные температуры на возвышенностях южной Бразилии держались на отметке ниже 10 °C, вследствие чего понесли ущерб многие регионы Бразилии, занимающиеся выращиванием кофе. Низкий уровень воды в реках также привел к снижению выработки гидроэлектроэнергии⁸⁷ и нарушил работу речного транспорта. Правительство Бразилии объявило о критической нехватке водных ресурсов в гидрографическом регионе Парана, где уровень воды в многочисленных водохранилищах находился на самом низком

⁸² Национальные вклады Индии и Пакистана. В базе EM-DAT зарегистрировано 120 смертей в Непале в результате двух инцидентов и 21 смерть в Бангладеш в результате одного инцидента.

⁸³ https://ds.data.jma.go.jp/tcc/tcc/news/press_20210924.pdf

⁸⁴ <https://reliefweb.int/disaster/fl-2021-000209-mys>

⁸⁵ <https://reliefweb.int/disaster/fl-2021-000039-bdi>

⁸⁶ <https://clima.inmet.gov.br/prec>

⁸⁷ <http://www.ons.org.br/Paginas/Noticias/20210707-escassez-hidrica-2021.aspx>

уровне за последние 20 лет или близко к нему⁸⁸. 24-месячный стандартизированный индекс осадков (СИО) над регионом находился на самом низком уровне с 1960-х. 6 октября уровень воды в реке Парагвай у Асунсьона упал до рекордного минимума, став на 0,75 м ниже исходного уровня и на 0,21 м ниже предыдущего рекорда, установленного в 2020 году. В Чили, где в течение последнего десятилетия сохранялась длительная засуха, 2021 год стал еще одним засушливым годом с количеством осадков как минимум на 30 % ниже среднего в большинстве районов. В ряде районов к югу от Сантьяго, в частности, в Консепсьоне, Вальдивии и Пуэрто-Монте, 2021 год стал самым засушливым за всю историю наблюдений, с общим количеством осадков на 40–50 % ниже нормы (559,2, 949,0 и 921,7 мм соответственно).

Крупномасштабная засуха в западной части Северной Америки, установившаяся в 2020 году, распространилась и усилилась в 2021 году. Несмотря на определенное ослабление засухи с июля в некоторых внутренних юго-западных районах, вызванное активным летним муссоном, к сентябрю засухой – от экстремальной до исключительной – была охвачена большая часть территории США над Скалистыми горами и к западу от них. Засуха от экстремальной до исключительной также распространилась на восток по обе стороны границы США и Канады, затронув северные пограничные штаты вплоть до Миннесоты и регион Канадских Прерий. В юго-западной части США двадцать месяцев с января 2020 по август 2021 года стали самыми сухими в истории наблюдений⁸⁹; по сравнению с предыдущим зарегистрированным минимумом количество осадков уменьшилось более чем на 10 %. Прогнозируемый уровень производства пшеницы и канолы в Канаде в 2021 году был на 35–40 % ниже уровня 2020 года⁹⁰, а в США уровень озера Мид на реке Колорадо в июле упал до 47 м ниже нормального подпорного уровня, что стало самым низким значением с момента ввода водохранилища в эксплуатацию. Ситуация с засухой в Калифорнии стала менее острой после обильных дождей, прошедших в конце октября и декабря. 24 октября в Сакраменто наблюдался самый влажный день в истории наблюдений, когда выпало 138 мм осадков всего через несколько дней после

окончания рекордного 211-дневного периода без ощутимых осадков. Однако в конце года засуха продолжалась вдали от западного побережья и распространилась дальше на восток через южно-центральную часть США.

В 2021 году сильная засуха охватила обширные территории юго-западной части Азии. Объем осадков значительно ниже среднего выпал в прохладный сезон 2020/21 г.в региона, включающих большую часть Исламской Республики Иран, Афганистан, Пакистан, юго-восточную Турцию и Туркменистан. В Пакистане наблюдался третий самый сухой за историю наблюдений февраль и пятый самый сухой январь-март. Снежный покров в горах также был существенно меньше среднего, а протяженность снежного покрова в Исламской Республике Иран в течение большей части января и февраля составляла примерно половину от долгосрочного среднего значения, что привело к снижению стока рек, зависящих от таяния снега, и уменьшению количества воды для орошения.

В течение года в регионе Большого Африканского Рога, особенно в Сомали, Кении и некоторых районах Эфиопии, после трех подряд сезонов дождей, бывших менее обильными, чем в среднем, развилась засуха. Сезон дождей в октябре-декабре был особенно скудным, несмотря на несколько дождей, прошедших в Кении в конце сезона.

Сильная засуха, которая началась не менее двух лет назад, все еще сохраняется на юге Мадагаскара⁹¹. Количество дождевых осадков, выпавших в регионе за 12 месяцев с октября 2010 по сентябрь 2011 года, было на 50–80 % ниже нормы. В регионе отмечались значительные проблемы с продовольственной безопасностью: по данным Всемирной продовольственной программы, в августе 2021 года 1,14 млн человек нуждались в срочной помощи⁹².

ТРОПИЧЕСКИЕ ЦИКЛОНЫ

Активность тропических циклонов по всему миру в 2021 году была близка к средней (за 1981–2010 гг.). Второй год подряд сезон в

⁸⁸ <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/noticias-e-eventos/noticias/ana-declara-situacao-de-escassez-quantitativa-dos-recursos-hidricos-da-regiao-hidrografica-do-parana>

⁸⁹ <https://www.drought.gov/news/new-noaa-report-exceptional-southwest-drought-exacerbated-human-caused-warming>

⁹⁰ <https://www150.statcan.gc.ca/n1/daily-quotidien/210914/dq210914b-eng.htm>

⁹¹ <https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/cb7310en.pdf>

⁹² <https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/WFP%20Madagascar%20Country%20Brief%20-%20August%202021.pdf>

Северной Атлантике был крайне активным: там прошел 21 шторм с присвоенным именем, что намного превысило средний за 1981–2010 годы показатель 14. Сезон был также активным в северной части Индийского океана, при этом активность в северо-западной и северо-восточной части Тихого океана была близка к среднему уровню или ниже его. Сезон 2020/21 г. в Южном полушарии был также несколько слабее как в Тихом, так и в Индийском океанах.

Самым значительным ураганом североатлантического сезона стала *Ида*. 29 августа *Ида* вышла на сушу в Луизиане (США) как система категории 4 с 1-минутным устойчивым ветром 240 км/ч, что соответствует самому сильному в истории штата выходу на сушу, с большими разрушениями от ветра и затоплением в результате штормовых нагонов. Затем система продолжила движение на северо-восток над сушей, сопровождаясь значительными наводнениями, особенно в окрестностях Нью-Йорка. В Нью-Йорке, который двумя неделями ранее уже пережил наводнение, вызванное ураганом *Генри*, выпало рекордное часовое количество осадков – 80 мм, а в отдельных районах города их совокупное суточное количество превысило 200 мм. Прежде чем превратиться в тропический циклон, система-предвестник *Иды* также вызвала значительные наводнения в Венесуэле. В общей сложности, непосредственно из-за *Иды* погибло 72 человека, 43 смерти в США и Венесуэле были косвенно связаны с ней, а понесенный США экономический ущерб оценивается в 75 млрд долларов США⁹³. Еще одним значительным ураганом, вышедшим на сушу в течение сезона, стал *Грейс*, который обрушился на Веракрус (Мексика) как ураган 3-й категории. С его воздействием в виде наводнений ранее столкнулись Гаити (где он затруднил работы по восстановлению после землетрясения), Доминиканская Республика, Ямайка и Тринидад и Тобаго.

В Южном полушарии самым значительным циклоном 2021 года⁹⁴ стал апрельский *Сероя*. *Сероя* сформировался к югу от Индонезии и переместился на юго-восток в сторону Западной Австралии. 11 апреля он вышел на сушу недалеко от Калбарри как циклон

(австралийской) категории 3, став самым сильным циклоном, вышедшим на сушу на юге Западной Австралии с 1956 года. Наиболее тяжелые последствия *Сероя* были связаны с наводнениями и вызванными ими оползнями после прохождения системы-предшественницы в Тиморе-Лешти и индонезийском регионе Восточная Нуса-Тенггара. В Купанге (Тимор) за четыре дня с 2 по 5 апреля выпало 700,4 мм осадков. В общей сложности из-за *Сероя* погибло 226 человек: 181 в Индонезии, 44 в Тиморе-Лешти и один в Австралии⁹⁵. В январе циклон *Элоиза* вызвал наводнения на юге Африки; сообщалось об ущербе и жертвах в Мозамбике, ЮАР, Зимбабве, Эсватини и на Мадагаскаре. В южной части Тихого океана *Ана* и *Ниран* привели к наводнениям и отключению электроснабжения на Фиджи и в Новой Каледонии соответственно.

В северной части Индийского океана самым сильным в сезоне стал циклон *Тауктае*, который двигался на север у западного побережья Индии с максимальным 3-минутным устойчивым ветром⁹⁶ 50–53 м/с, а 17 мая вышел на сушу в Гуджарате с интенсивностью немного ниже максимальной, став самым сильным из известных выходов на сушу в Гуджарате. Сообщалось по меньшей мере о 144 погибших в Индии и 4 – в Пакистане⁹⁷. Позднее в этом сезоне, в конце сентября, циклон *Гулаб* пересек восточное побережье Индии со стороны Бенгальского залива; остаточная система пересекла Индию, после чего возникла и вновь усилилась в Аравийском море, где была переименована в *Шахин*. *Шахин* вышел на сушу 3 октября на северном побережье Омана к северо-западу от Маската, став первым с 1890 года циклоном, вышедшим на сушу в этом районе. В Аль-Сувейхе за 24 часа выпало 294 мм осадков, что примерно в три раза превышает среднегодовую норму в регионе. Сообщалось в общей сложности о 39 погибших в Индии, Пакистане, Омане и Исламской Республике Иран, в основном в результате наводнений.

Наиболее значительным тропическим циклоном сезона в северо-западной части Тихого океана стал тайфун *Рай* (*Одетт*), который 16 декабря пересек центральные Филиппины, выйдя на сушу почти с максимальной интенсивностью, с минимальным давлением в центре 915 гПа,

⁹³ <https://www.ncdc.noaa.gov/billions/events/US/2021>

⁹⁴ Тропический циклон *Яса* (декабрь 2020 года) входит в сезонную статистику 2020/2021 года, но о нем сообщалось в докладе о состоянии климата за 2020 год.

⁹⁵ <https://reliefweb.int/disaster/tc-2021-000033-idn>

⁹⁶ https://rsmcnewdelhi.imd.gov.in/uploads/report/26/26_e0cc1a_Preliminary%20Report%20on%20ESCS%20TAUKTAE-19july.pdf

⁹⁷ Национальные вклады.

после быстрого усиления перед выходом на сушу. Он вновь усилился 18 декабря после выхода в Южно-Китайское море, затем ослаб и рассеялся, не совершив дальнейшего выхода на сушу. Филиппины, где погибли по меньшей мере 406 человек, пострадали от масштабных разрушений; во Вьетнаме произошли наводнения. В числе других значительных выходов на сушу был, прежде всего, тайфун *Чанту* на островах Батанес (Филиппины). И *Чанту*, и тайфун *Ин-фа* в июле привели к наводнению и сбоям в судоходстве в районе Шанхая, в то время как *Дяньму* в сентябре после выхода на сушу во Вьетнаме вызвал наводнения в Таиланде.

СИЛЬНЫЕ ШТОРМЫ

Во второй половине июня и в июле в Западной и Центральной Европе наблюдался ряд мощных грозных явлений. Торнадо категории F4⁹⁸, обрушившийся на несколько деревень в южной Моравии 24 июня, принес с собой значительные разрушения и повлек гибель шести человек. Он стал сильнейшим торнадо за историю наблюдений в Чешской Республике. В течение месяца также сообщалось о торнадо в Бельгии, Франции и Польше. Крупный град (6–8 см в диаметре) выпал во многих странах, включая Чешскую Республику, Словакию, Швейцарию и Германию. Только в Чешской Республике ущерб составил около 700 млн долларов США.

По предварительным данным, в США в 2021 году было зарегистрировано 1376 торнадо, что выше среднего показателя 1991–2010 годов. Значительная серия торнадо обрушилась на юго-восток 25 марта с наиболее сильными последствиями в Алабаме и западной части Джорджии. Погибло шесть человек, экономический ущерб составил 1,8 млрд

долларов США. В декабре 2021 года было подтверждено 193 сообщения о торнадо, что примерно в восемь раз превышает средний показатель декабря 1991–2010 годов, составляющий 24. Новый рекорд вдвое превысил предыдущий рекорд 2002 года, 97. 10 декабря в нескольких юго-восточных и центральных штатах наблюдалась историческая серия торнадо, в результате которой погибли 93 человека, а экономический ущерб составил 3,9 млрд долларов США. Она стала самой смертоносной декабрьской серией торнадо в США, превзойдя последствия торнадо, который привел к гибели 38 человек в Висксбурге, штат Миссисипи, 5 декабря 1953 года. В Техасе и Оклахоме 27–28 апреля прошел ливень с градом, нанеся убытки в размере 3,3 млрд долларов США.

СООТНЕСЕНИЕ

Соотнесение отдельных экстремальных явлений часто может занимать несколько месяцев ввиду необходимости завершения экспертной оценки. Однако оценки соотнесения практически в режиме реального времени, все более осуществимые благодаря методам, прошедшим экспертную оценку, позволяют сделать выводы всего за несколько дней после установления погодного рекорда. Такие исследования «оперативного соотнесения» были проведены для июньской и июльской волны тепла на западе Северной Америки^{99,100,101}, наводнений в Западной Европе в июле¹⁰² и ноябрьских наводнений в Британской Колумбии¹⁰³. Исследования волны тепла в западной части Северной Америки показали, что хотя это и редкое явление в современном климате, его возникновение было бы практически невозможным без изменения климата.

⁹⁸ По шкале Фудзиты и расширенной шкале Фудзиты торнадо, наносящий разрушительный ущерб, классифицируется как торнадо 4-й категории (F4 и EF4 соответственно). Шкалы различаются по скорости ветра, соотносящейся с «разрушительным ущербом», при этом в расширенной системе для эквивалентного ущерба предполагается более низкая скорость ветра.

⁹⁹ <https://www.worldweatherattribution.org/western-north-american-extreme-heat-virtually-impossible-without-human-caused-climate-change/>

¹⁰⁰ Philip, S. Y.; Kew, S. F.; van Oldenborgh, G. J. et al. Rapid Attribution Analysis of the Extraordinary Heatwave on the Pacific Coast of the US and Canada June 2021. *Earth System Dynamics Discussions*, In review, 1–34. Preprint: <https://doi.org/10.5194/esd-2021-90>.

¹⁰¹ Christidis N., 2021. *Using CMIP6 Multi-model Ensembles for Near Real-time Attribution of Extreme Events*; Hadley Centre Technical Notes 107. United Kingdom Met Office Hadley Centre: Exeter, 2021. https://digital.nmla.metoffice.gov.uk/10_e2e76d02-d72e-49d6-8419-728fb313d075/; <https://blog.metoffice.gov.uk/2021/06/29/heatwave-record-for-pacific-north-west/>

¹⁰² <https://www.worldweatherattribution.org/heavy-rainfall-which-led-to-severe-flooding-in-western-europe-made-more-likely-by-climate-change/>

¹⁰³ Gillett, N.; Cannon, A.; Malinina, E. et al. *Human Influence on the 2021 British Columbia Floods*; SSRN Scholarly Paper ID 4025205; Social Science Research Network: Rochester, 2022. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4025205>.

Проведение оперативного соотнесения в отношении наводнений в Западной Европе показало, что выявление тенденций, связанных с экстремальными осадками, в масштабе рассматриваемого события представляется затруднительным, и что водонасыщение грунта и местная гидрология также являлись факторами этого явления. Однако определенные тенденции выпадения экстремальных осадков были обнаружены для более обширной территории Западной Европы. Авторы исследования пришли к выводу, что в рамках более широкого региона изменение климата под влиянием человека увеличило вероятность экстремальных осадков, сравнимых с наблюдавшимися.

В целом такие явления вписываются в более широкую картину изменений. По оценке МГЭИК¹⁰⁴, аномально высокие температуры в западной и северо-западной части Северной Америки повышаются, и со средней степенью уверенности можно утверждать, что в этом росте есть роль человека. Аналогичным образом, по оценке МГЭИК, в регионе Западной и Центральной Европы, пострадавшем от наводнений, количество сильных осадков увеличилось, однако в настоящее время степень уверенности в том, что это изменение обосновано антропогенным влиянием, низка.

¹⁰⁴ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2021: Summary for Policymakers. In: *AR6 Climate Change 2021: The Physical Science Basis*, https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM_final.pdf.

Риски и воздействия

Риск связанных с климатом воздействий зависит от сложного взаимодействия между связанными с климатом опасными явлениями и уязвимостью, подверженностью воздействию и способностью к адаптации антропогенных и естественных систем. Связанные с климатом явления создают гуманитарные риски для общества, оказывая влияние на здоровье, продовольственную и водную безопасность, а также на безопасность человека, его мобильность, средства к существованию, экономику, инфраструктуру и биоразнообразие. Климат и экстремальные погодные явления также влияют на использование и распределение природных ресурсов по регионам и внутри стран и оказывают масштабное негативное воздействие на окружающую среду. Такие негативные экологические последствия включают воздействия на земли в форме засух, пожаров в лесных и торфяных районах, деградации земель, песчаных и пыльных бурь, опустынивания, наводнений и береговой эрозии. При текущих уровнях глобальных выбросов парниковых газов мир продолжает идти по пути превышения согласованных пороговых значений в 1,5 °C или 2 °C выше доиндустриальной температуры, что увеличивает риски повсеместных последствий изменения климата, выходящих за масштабы уже наблюдаемых.

ПРОДОВОЛЬСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

ГЛОБАЛЬНАЯ ПРОДОВОЛЬСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В 2021 ГОДУ

Комплексное воздействие конфликтов, экстремальных погодных явлений и экономических потрясений, дополнительно усугубленное пандемией COVID-19, вело к нарастанию голода и отрицательно сказалось на десятилетиях прогресса в деле повышения продовольственной безопасности (рис. 22). Усугубление гуманитарных кризисов в 2021 году также привело к росту числа стран, которым угрожает голод. Из общего числа страдавших от недоедания в 2020 году более половины проживает в Азии (418 млн) и треть – в Африке (282 млн). После достижения пикового числа недоедающих в 2020 году (768 млн человек), прогнозы указывают на снижение голода в глобальном масштабе до примерно 710 млн голодавших в 2021 году (9 % населения мира)¹⁰⁵. Однако по состоянию на октябрь 2021 года эти показатели во многих странах уже превысили показатели за 2020 год. Это резкое увеличение в основном затронуло группы населения, уже пострадавшие от продовольственного или

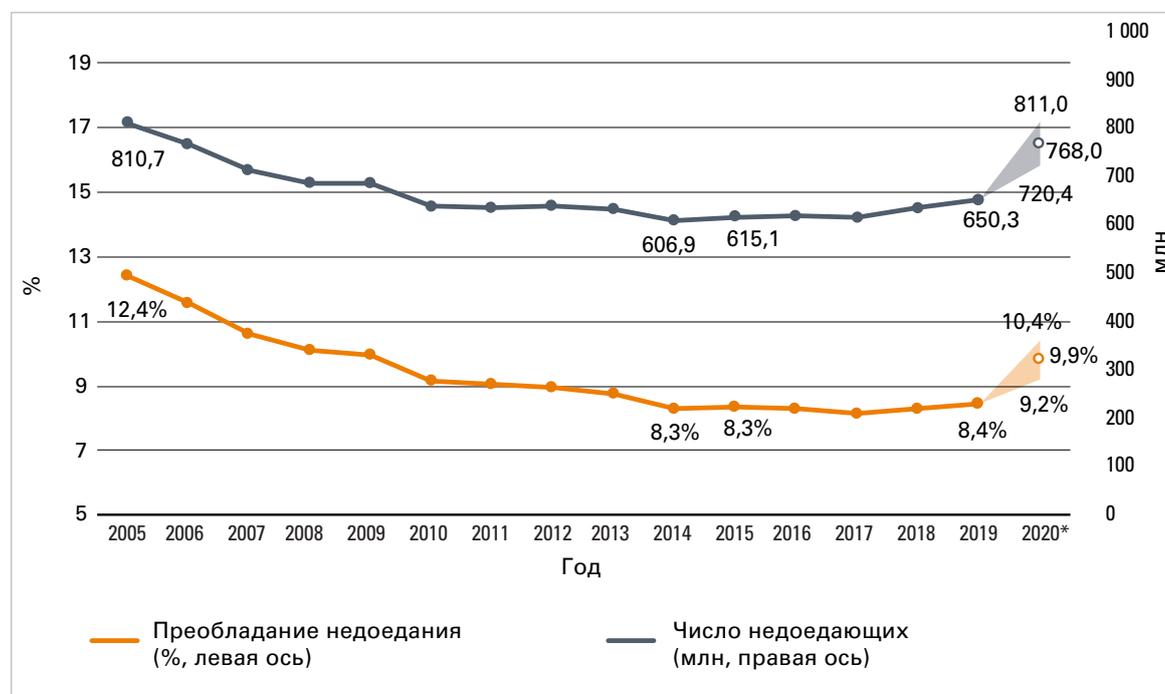


Рисунок 22. Во время пандемии COVID-19 число недоедающих людей в мире значительно возросло, увеличившись с 650 млн человек в 2019 году до 768 млн человек в 2020 году. Точечная диаграмма с прямыми отрезками и незаштрихованные кружки иллюстрируют прогнозируемые значения на рисунке. *Источник:* Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций (ФАО).

¹⁰⁵ Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных наций (ФАО), 2021: Положение дел в области продовольственной безопасности и питания в мире: Преобразование продовольственных систем в интересах обеспечения продовольственной безопасности, улучшения питания и экономической доступности здоровых рационов питания для всех, https://docs.wfp.org/api/documents/WFP-0000130141/download/?_ga=2.47516911.931354890.1634299853-763856357.1633873374.

иного, более тяжелого, кризиса (фаза 3 или выше согласно Интегрированной классификации фаз продовольственной безопасности, IPC/CH¹⁰⁶); количество людей в этих группах увеличилось с 135 млн в 2020 году до 161 млн к сентябрю 2021 года, то есть на 19 %¹⁰⁷. Еще одним последствием этих потрясений стал рост числа людей, столкнувшихся с голодом и полной утратой средств к существованию (фаза 5 IPC/CH); всего в эту группу попали 584 000 человек, в основном в Эфиопии, Южном Судане, Йемене и на Мадагаскаре. В первом квартале 2021 года также наблюдались самые высокие за последние шесть лет мировые потребительские цены на продовольственные товары, в первую очередь в Латинской Америке и странах Карибского бассейна¹⁰⁸. В Западной Африке выросли цены на фуражное зерно, что в ряде стран повлекло за собой рост цен на продовольствие до рекордных или близких к рекордным значений. Рост цен усугублялся отсутствием безопасности и ливневыми дождями. Благодаря субсидиям, предотвратившим рост цен на многие основные виды товаров, темпы продовольственной инфляции в 2021 году в Северной Африке оставались умеренными.

ВОЗДЕЙСТВИЕ ОПАСНЫХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ НА ПРОИЗВОДСТВО ПРОДОВОЛЬСТВИЯ

Ла-Нинья 2020/21 года изменила режим сезона дождей, оставив людей без средств к существованию и нарушив проведение сельскохозяйственных кампаний по всему миру. Сопутствующие экстремальные погодные, гидрологические и климатические явления в сезон дождей 2021 года усугубили шоковые потрясения предыдущих лет, что делает все более затруднительной количественную оценку воздействия, вызванного одним явлением.

Постоянные засухи на обширной территории Африки, Азии и Латинской Америки, вызванные в некоторых местах «двойным ударом» Ла-Нинья, а также региональные последствия сильных штормов, циклонов и ураганов существенно повлияли на источники средств к существованию и возможность восстановления после повторяющихся потрясений, связанных с экстремальными погодными явлениями.

Засушливые условия на обширных территориях Южной Америки могут привести к еще большему снижению урожайности сельскохозяйственных культур в регионе. Однако увеличение посевных площадей в значительной степени компенсировало потери урожайности по всему континенту (–3,6 % в 2021 году по сравнению с 2020 годом)¹⁰⁹. Расположенное в Карибском бассейне Гаити пострадало сразу от трех факторов – землетрясения, нерегулярных дождей и политической нестабильности, что нанесло ущерб сельскому хозяйству и привело к значительному ухудшению ситуации с продовольственной безопасностью.

Наводнения и засушливые периоды в Западной Африке привели к частичной гибели и потере урожая в отдельных районах, что вызвало незначительный спад производства в 2021 году, однако прогнозируемый совокупный объем производства для всего африканского континента остался выше среднего (+2,9 % в 2021 году по сравнению с 2020 годом)¹¹⁰. На первый урожай сезона 2021 года в центральных и южных районах Восточной Африки негативно повлияли продолжительные засухи, в основном в Кении, где объемы урожая кукурузы, по официальным оценкам, были на 42–70 % ниже среднего¹¹¹. В северных районах Восточной Африки сезонные наводнения и их последствия для урожайности были менее масштабны, чем в 2020 году. На юге Африки, на Мадагаскаре, второй подряд сезон

¹⁰⁶ Интегрированная классификация фаз продовольственной безопасности (ИКФ) – это общая глобальная шкала классификации тяжести и масштабов отсутствия продовольственной безопасности и недоедания. <https://www.ipcinfo.org/ipcinfo-website/resources/ipc-manual/en/>. Гармонизированная рамочная основа (Cadre Harmonisé, CH) – это унифицированный инструмент классификации характера и степени тяжести текущей и прогнозируемой острой нехватки продовольствия и питания.

¹⁰⁷ Global Network Against Food Crises, 2021: *Global Report on Food Crises: Joint Analysis for Better Decisions. September 2021 Update*, http://www.fightfoodcrises.net/fileadmin/user_upload/fightfoodcrises/doc/resources/FINAL_GRFC2021_Sept_Update.pdf.

¹⁰⁸ Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2021: *The State of Food Security and Nutrition in the World 2021: Transforming Food Systems for Food Security, Improved Nutrition and Affordable Healthy Diets for All*, https://docs.wfp.org/api/documents/WFP-0000130141/download/?_ga=2.47516911.931354890.1634299853-763856357.1633873374.

¹⁰⁹ Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2021: *Crop Prospects and Food Situation: Quarterly Global Report*, <https://www.fao.org/3/cb6901en/cb6901en.pdf>.

¹¹⁰ Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2021: *Crop Prospects and Food Situation: Quarterly Global Report*, <https://www.fao.org/3/cb6901en/cb6901en.pdf>.

¹¹¹ Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2021: *Crop Prospects and Food Situation: Quarterly Global Report*, <https://www.fao.org/3/cb6901en/cb6901en.pdf>.

дождей характеризовался количеством осадков ниже среднего, что привело к существенному сокращению производства основных видов сельскохозяйственной продукции и уменьшению поголовья скота. Кроме того, ожидалось, что связанные с погодой опасные явления, вредители и болезни приведут к резкому сокращению урожайности, которая, по прогнозам, уменьшится на 50–70 % по сравнению со средним пятилетним показателем¹¹². В Мозамбике циклон *Элоиза* вышел на сушу в конце января, во время «скудного сезона» с максимальной уязвимостью региона, и затронул сообщества, которые еще находились в процессе восстановления после циклона *Идай*, прошедшего всего два года назад. По данным правительства Мозамбика, более 441 000 человек пострадали от циклона, в результате которого около 44 000 человек были вынуждены покинуть свои дома и было уничтожено более 45 000 гектаров пахотных угодий¹¹³.

Условия засухи в Юго-Западной Азии и на Ближнем Востоке привели к уменьшению производства зерновых до уровня ниже среднего, что усугубило воздействие на сельское хозяйство и продовольственную безопасность в нестабильных условиях, в основном в Афганистане и Сирийской Арабской Республике. В то время как объемы производства зерновых сократились на Ближнем Востоке, производство пшеницы в Восточной Азии в 2021 году достигло рекордного уровня, а производство риса-сырца оставалось на высоком уровне благодаря подходящим погодным условиям. Центральный Китай в свою очередь пострадал в середине июля 2021 года от проливных дождей, повлекших значительные человеческие жертвы и материальный ущерб. Это вызвало обеспокоенность по поводу запасов продовольствия в стране, так как пострадал 1 млн гектаров пахотных земель – в основном кукуруза, соя и арахис, – треть которых была уничтожена ливневыми дождями.

ГУМАНИТАРНЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ И ПЕРЕМЕЩЕНИЕ НАСЕЛЕНИЯ

Беженцы, внутренне перемещенные лица и лица без гражданства зачастую относятся к тем, кто наиболее уязвим к опасным явлениям, связанным с климатом и погодой. Многие уязвимые лица, ставшие вынужденными переселенцами, в конечном итоге поселяются в районах повышенного

риска, где они подвергаются воздействию климатических и погодных угроз разного масштаба. Гидрометеорологические опасные явления и мобильность людей могут также накладываться в сложных условиях на социально-политическую напряженность и конфликты. Следовательно, требуется комплексный подход к мерам по снижению риска бедствий, связанных с многими опасностями, включая системы заблаговременных предупреждений и обеспечения готовности, а также учет более долгосрочных проблем устойчивого развития, таких как землепользование и городское планирование.

ОПАСНЫЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ КАК ОСНОВНАЯ ПРИЧИНА НОВЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ НАСЕЛЕНИЯ

На протяжении всего года экстремальные погодные, гидрологические и климатические явления и условия оказывали серьезное и многообразное воздействие на перемещение населения и уязвимость уже перемещенных лиц. От Афганистана до Центральной Америки засуха, наводнения и другие экстремальные погодные явления наносили удар по тем, кто менее всего приспособлен к восстановлению и адаптации¹¹⁴. Как и в предыдущие годы, многие из самых масштабных перемещений в 2021 году произошли в густонаселенных азиатских странах. Большинство перемещений по причине стихийных бедствий в 2021 году было вызвано тропическими штормами и наводнениями в Восточной Азии и Тихоокеанском регионе, Южной Азии, Северной и Южной Америке и Африке к югу от Сахары.

В течение 2021 года опасные гидрометеорологические явления и ухудшение состояния окружающей среды еще больше способствовали перемещению миллионов людей, находившихся в незащищенном и уязвимом положении. Они ощущали воздействие как внезапно наступающих явлений, таких как наводнения, штормы и лесные пожары, так и медленно развивавшихся процессов, таких как засуха и опустынивание. Это оказывало влияние на безопасность людей и их способность удовлетворять свои основные потребности для выживания, которые включают наличие пищи, воды, прочного жилья и плодородной земли. В первой половине года в Афганистане, например, стихийные бедствия привели примерно к 22 500 новым случаям перемещения населения,

¹¹² Famine Early Warning Systems Network (FEWSNET), 2021: *Madagascar Food Security Alert*, <https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/Madagascar%20Food%20Security%20Alert%20-%20June%2010%2C%202021.pdf>.

¹¹³ <https://www.fao.org/mozambique/news/detail-events/en/c/1393190/>

¹¹⁴ <https://www.unhcr.org/news/stories/2021/4/60806d124/data-reveals-impacts-climate-emergency-displacement.html>

в основном связанным с наводнениями¹¹⁵. В июне, когда 80 % территории страны были затронуты засухой категории «суровая» или «серьезная», правительство объявило о национальной засухе на фоне эскалации конфликта, отсутствия продовольственной безопасности, а также санитарных и социально-экономических последствий COVID-19; при этом гуманитарные организации, организации, занимающиеся вопросами развития, и правительственные структуры прогнозировали, что семьи фермеров, скорее всего, будут вынуждены стать переселенцами¹¹⁶. Люди, которым пришлось покинуть свои дома, были вынуждены продавать свое имущество и в целях выживания заниматься опасной работой; дети иногда отправлялись работать в другие районы или в соседние страны, организовывались их браки для уменьшения финансового бремени¹¹⁷. Перемещенные лица в Сирийской Арабской Республике, опустошенной более чем десятилетним конфликтом, также столкнулись с наводнением после сильных дождей, причем в середине января 2021 года пострадало около 142 000 внутренне перемещенных лиц¹¹⁸. В Индии более 100 000 человек были вынуждены покинуть свои дома в период с ноября по декабрь 2021 года¹¹⁹.

В соответствии с установившимися тенденциями, в 2021 году подавляющее большинство новых перемещений, связанных с опасными погодными явлениями, происходило в пределах национальных границ. Большинство этих внутренних перемещений было вызвано тропическими циклонами, наводнениями, землетрясениями и извержениями вулканов, особенно в Восточной Азии и Тихоокеанском регионе. Странами с наибольшим количеством перемещений, зарегистрированных по состоянию на октябрь 2021 года, были Китай (более 1,4 млн перемещений, зарегистрированных в июле), Вьетнам (более 664 000, зарегистрированных в сентябре) и Филиппины (более 214 000 в июле и более 386 000 в октябре)¹²⁰.

В Восточной Африке наводнения и засухи привели к масштабному перемещению населения, особенно в Сомали и Эфиопии. Многие из пострадавших уже жили в переполненных и небезопасных лагерях для внутренне перемещенных лиц, где позже были размещены многочисленные новые перемещенные в результате наводнений люди. Фермеры, чьи посевы были уничтожены пустынной саранчой, также были вынуждены перемещаться в поисках помощи для выживания¹²¹. В ноябре 2021 года был затоплен паводковыми водами лагерь беженцев Алганаа в Судане, в результате чего 35 000 беженцев из Южного Судана нуждались в срочной помощи¹²².

Пострадали также страны с высоким уровнем дохода. В западных районах США и Канады беспрецедентные волны тепла, засуха и лесные пожары заставили тысячи людей покинуть свои дома. Лесные пожары также обострили риски, связанные с другими опасностями, что еще больше увеличило риск перемещения населения. Например, в январе 2021 года в Калифорнии 15 000 человек были вынуждены покинуть свои дома, следуя распоряжениям об обязательной упреждающей эвакуации после сильных дождей¹²³.

ЗАТЯЖНЫЕ, ДЛИТЕЛЬНЫЕ И ПОВТОРЯЮЩИЕСЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ, ВЫЗВАННЫЕ ОПАСНЫМИ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИМИ ЯВЛЕНИЯМИ

Многие перемещения, вызванные гидрометеорологическими явлениями, приобрели длительный или затяжной характер для тех, кто не может вернуться в свои прежние дома или не имеет возможности интегрироваться или обосноваться в другом месте. По данным Центра наблюдения за процессами внутреннего перемещения (ЦНВП), в начале 2021 года не менее 7 млн человек оказались в ситуации внутреннего перемещения после бедствий¹²⁴, связанных с опасными природными

¹¹⁵ <https://story.internal-displacement.org/2021-midyear-review/index.html>

¹¹⁶ <https://prod.drc.ngo/about-us/for-the-media/press-releases/2021/7/drought-crisis-in-afghanistan-intensifies-risk-of-displacement>

¹¹⁷ <https://prod.drc.ngo/about-us/for-the-media/press-releases/2021/7/drought-crisis-in-afghanistan-intensifies-risk-of-displacement>

¹¹⁸ <https://reliefweb.int/disaster/fl-2021-000007-syr>

¹¹⁹ <https://www.internal-displacement.org/global-displacement-map>

¹²⁰ <https://www.internal-displacement.org/global-displacement-map>

¹²¹ <https://www.unhcr.org/news/stories/2021/8/611a2bca4/displaced-somalis-refugees-struggle-recover-climate-change-brings-new-threats.html>

¹²² <https://www.unhcr.org/news/stories/2021/11/619c9aea4/refugees-count-losses-floods-destroy-camp-sudan.html>

¹²³ <https://story.internal-displacement.org/2021-midyear-review/index.html>

¹²⁴ https://www.internal-displacement.org/sites/default/files/publications/documents/grid2021_idmc.pdf

явлениями в предыдущие годы. Наибольшее число людей в такой ситуации проживало в Афганистане, Индии и Пакистане, за которыми следуют Эфиопия, Судан, Бангладеш, Нигер и Йемен¹²⁵.

Из-за сохраняющегося или растущего риска в районах их происхождения (и возвращения) или размещения люди, перемещенные в результате гидрометеорологических явлений, могут также подвергаться повторным и частым перемещениям без возможности полноценного восстановления между потрясениями. Например, в Индонезии в первой половине года было зарегистрировано 557 000 новых перемещений в результате стихийных бедствий, вызванных в основном масштабными наводнениями в сезон дождей. Деятельность человека, ведущая к обезлесению, урбанизации и деградации земель, снизила способность некоторых регионов Индонезии поглощать обильные осадки. В период с октября по ноябрь 2021 года, задолго до пика сезона дождей, ливни и наводнения привели к перемещению более 50 000 человек, что вдвое превышает показатель 2020 года¹²⁶. Такая ситуация подчеркивает не только важность готовности к стихийным бедствиям и управления рисками, но и важность поддержки устойчивых, ориентированных на жизнестойкость людей, решений по перемещению населения, которое в противном случае может столкнуться со все большим ухудшением условий жизни в результате повторяющихся стихийных бедствий и перемещений.

ОПАСНЫЕ ЯВЛЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ КАК ФАКТОР УСУГУБЛЕНИЯ МНОГОЧИСЛЕННЫХ РИСКОВ, С КОТОРЫМИ СТАЛКИВАЮТСЯ ВНУТРЕННЕ ПЕРЕМЕЩЕННЫЕ ЛИЦА И БЕЖЕНЦЫ В СТРАНАХ, ЗАТРОНУТЫХ КОНФЛИКТАМИ

В Йемене уязвимость населения еще более усугубилась в результате таких опасных явлений, как наводнения и засуха, которые привели к разрушению жилищ и инфраструктуры, ограничили доступ к рынкам и основным услугам,

лишили людей средств к существованию, способствовали распространению смертельных заболеваний и повлекли за собой человеческие жертвы. В середине апреля в результате сильных дождей и наводнений в нескольких районах страны пострадали 7000 человек, 75 % из которых были внутренне перемещенными лицами, живущими в неблагоприятных условиях¹²⁷. Это способствовало перемещению населения в ситуации, которая уже являлась четвертым по масштабам кризисом внутреннего перемещения в мире, когда было внутренне перемещено более чем 4 млн лиц. Ежегодный сезон дождей сопровождается обильными осадками, сильными ветрами и наводнениями, особенно в прибрежных районах. В 2021 году тысячи семей пострадали от быстроразвивающихся паводков. Помимо прочего, наводнения также блокируют дороги, препятствуя доставке жизненно важной помощи¹²⁸.

В Мозамбике многочисленные тропические штормы и наводнения, а также периодические вспышки заболеваний и конфликты значительно повысили уязвимость пострадавших людей¹²⁹, включая тысячи семей, все еще перемещенных после циклонов *Идай* и *Кеннет* в 2019 году. В январе сильные ветры и наводнения, вызванные тропическим штормом *Шалан*, а затем циклоном *Элоиза*, повредили или разрушили убежища более 8700 таких внутренне перемещенных семей и нанесли ущерб школам и больницам¹³⁰. Это повлекло за собой новые перемещения населения. Так, в результате циклона *Элоиза* более 43 300 человек стали перемещенными лицами¹³¹. Десятки тысяч людей все еще перемещены и лишены возможности восстановления¹³². Последствия усугубляющих друг друга бедствий, повторяющихся вспышек заболеваний и конфликтов значительно повысили уязвимость людей в этом регионе. Эту, а также аналогичные ситуации в других регионах можно улучшить путем активизации усилий по снижению климатической уязвимости и рисков в нестабильных и затронутых конфликтами условиях, а также за счет укрепления готовности на уровне общин¹³³.

¹²⁵ <https://www.internal-displacement.org/global-displacement-map>

¹²⁶ <https://story.internal-displacement.org/10-internal-displacement-situations-to-watch-in-2022/index.html>

¹²⁷ https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/Humanitarian%20Update_May%202021%20v4.pdf

¹²⁸ <https://reliefweb.int/report/yemen/climate-crisis-exacerbates-humanitarian-situation-yemen-enar>

¹²⁹ <https://www.unhcr.org/news/briefing/2021/4/606c17bf4/unhcr-scales-response-thousands-flee-attacks-northern-mozambique.html>

¹³⁰ <https://displacement.iom.int/reports/mozambique-%E2%80%93-flash-report-16-tropical-cyclone-eloise-january-2021?close=true>

¹³¹ <https://reliefweb.int/report/afghanistan/internal-displacement-mid-year-10-situations-review>

¹³² <https://www.unhcr.org/news/stories/2020/3/5e6a6e50b/year-people-displaced-cyclone-idai-struggle-rebuild.html>

¹³³ <https://www.unhcr.org/news/stories/2020/3/5e6a6e50b/year-people-displaced-cyclone-idai-struggle-rebuild.html>

Нигерия также пережила засуху и наводнения, нанеся урон сельскохозяйственной деятельности, что привело к потере крова и повышению уязвимости людей, уже перемещенных в результате конфликта на северо-востоке страны. Ситуация продолжала ухудшаться в первой половине 2021 года: в период с января по июнь было зарегистрировано около 294 000 новых перемещений¹³⁴.

Муссонные дожди вызвали сильные наводнения и привели к перемещению миллионов людей в Бангладеш в мае и июне 2021 года после циклона *Яас*. Наводнение в июле 2021 года в местах размещения беженцев рохинджа в Кокс-Базаре повредило более 6000 убежищ, и более 25 000 беженцев были вынуждены укрываться в коммунальных объектах или у других семей¹³⁵. От наводнений также серьезно пострадали жители Китая, Непала и Филиппин, где тысячи людей были вынуждены покинуть свои дома из-за тайфуна *Ин-фа* в июле 2021 года. Без мер по обеспечению готовности на территории лагерей, включая укрепление убежищ, строительство подпорных сооружений на склонах холмов и модернизацию дренажа, дорог и мостов, эти последствия были бы значительно тяжелее.

ВОЗДЕЙСТВИЕ КЛИМАТА НА ЭКОСИСТЕМЫ

Экосистемы, включая наземные, пресноводные, прибрежные и морские экосистемы, а также обслуживание, которые они обеспечивают, в большей или меньшей степени подвержены влиянию меняющегося климата¹³⁶. Кроме того,

некоторые экосистемы разрушаются с беспрецедентной скоростью. Это ведет к ограничению их способности поддерживать благосостояние человека и наносит ущерб их адаптационному потенциалу в области повышения устойчивости¹³⁷.

Например, горные экосистемы, «водонапорные башни мира», уязвимы и могут серьезно пострадать от изменения климата из-за их низкой способности к адаптации. Это может оказать воздействие на 1,9 млрд человек, живущих непосредственно в горных районах или ниже¹³⁸. Изменение климата может усугубить водный стресс, особенно в районах, где выпадает меньше осадков и где грунтовые воды уже истощены: это скажется на сельскохозяйственном производстве, пахотных землях и на более чем 2 млрд человек, которые уже испытывают дефицит воды¹³⁹.

Изменение климата также влияет на чувствительные к климату биологические виды. Есть свидетельства того, что чувствительные к температуре растения цветут и выпускают листья все раньше весной и сбрасывают листья все позже осенью¹⁴⁰. Кроме того, произошел явный сдвиг в сроках нереста морских и пресноводных рыб и миграции животных во всем мире. Существенные изменения в численности и распределении видов могут в свою очередь повлиять на взаимодействие между ними^{141,142}. Связанные с вредителями, патогенами и болезнями риски для экосистем и отдельных видов претерпевают изменения. Изменение климата усугубляет и другие риски для биоразнообразия. Количество видов, которые, по прогнозам, вымрут, резко возрастает

¹³⁴ <https://www.unhcr.org/news/stories/2020/3/5e6a6e50b/year-people-displaced-cyclone-idai-struggle-rebuild.html>

¹³⁵ <https://www.unhcr.org/news/stories/2021/7/6103c43c4/floods-bring-new-misery-rohingya-refugees-bangladesh-camps.html>

¹³⁶ United Nations Environment Programme (UNEP), 2021: *Adaptation Gap Report 2020*, <https://www.unep.org/resources/adaptation-gap-report-2020>.

¹³⁷ United Nations Environment Programme (UNEP), 2021: *Making Peace with Nature: A Scientific Blueprint to Tackle the Climate, Biodiversity and Pollution Emergencies*, <https://www.unep.org/resources/making-peace-nature>.

¹³⁸ Immerzeel, W. W.; Lutz, A. F.; Andrade, M. et al. Importance and Vulnerability of the World's Water Towers. *Nature* **2020**, 577 (7790), 364–369. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1822-y>.

¹³⁹ United Nations Environment Programme (UNEP), 2021: *Making Peace with Nature: A Scientific Blueprint to Tackle the Climate, Biodiversity and Pollution Emergencies*, <https://www.unep.org/resources/making-peace-nature>.

¹⁴⁰ Hemming, D.L.; Garforth, J.; Park, T. et al. Phenology of Primary Producers. In *State of the Climate in 2020*, supplement. *Bulletin of the American Meteorological Society* **2021**, 102 (8), S57–S60. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-21-0098.1>.

¹⁴¹ Scheffers, B. R.; De Meester, L.; Bridge, T.C. et al. The Broad Footprint of Climate Change from Genes to Biomes to People. *Science* **2016**, 354 (6313), aaf7671. <https://doi.org/10.1126/science.aaf7671>.

¹⁴² Thackeray, S. J.; Henrys, P. A.; Hemming, D. et al. Phenological Sensitivity to Climate across Taxa and Trophic Levels. *Nature* **2016**, 535 (7611), 241–245. <https://doi.org/10.1038/nature18608>.

по мере повышения глобальной температуры: при потеплении на 2 °С оно на 30 % выше, чем при потеплении на 1,5 °С¹⁴³.

Между тем, в морских экосистемах наблюдаются такие масштабные изменения, как снижение продуктивности океана, миграция видов в более высокие широты и на большие высоты, а также повреждение коралловых рифов и мангровых зарослей. Потепление на 1,5 °С приведет к повышению температуры воды и изменению химического состава океана (например, закислению), в результате чего будут формироваться новые экосистемы. Прогнозируется, что виды, наименее приспособленные к перемещению, будут страдать от высокого уровня смертности и сокращения численности¹⁴⁴. Изменение климата также влияет на ледяные щиты Гренландии и Антарктики и увеличивает вероятность того,

что Северный Ледовитый океан летом будет свободен ото льда, что еще больше нарушит циркуляцию океана и арктические экосистемы¹⁴⁵.

Повышение температуры увеличивает риск необратимой потери морских и прибрежных экосистем, включая участки дна, заросшие водорослями, и заросли ламинарии. Коралловые рифы особенно уязвимы к изменению климата. По прогнозам, они потеряют от 70 до 90 % своей прежней площади при потеплении на 1,5 °С и более 99 % при повышении температуры на 2 °С. В зависимости от того, насколько быстро будет повышаться уровень моря, от 20 до 90 % нынешних прибрежных водно-болотных угодий рискуют быть утраченными к концу этого века. Это поставит под еще больший удар обеспечение продовольствием, туризм и защиту побережья, среди прочих экосистемных услуг¹⁴⁶.

¹⁴³ United Nations Environment Programme (UNEP), 2021: *Making Peace with Nature: A Scientific Blueprint to Tackle the Climate, Biodiversity and Pollution Emergencies*, <https://www.unep.org/resources/making-peace-nature>.

¹⁴⁴ Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК), 2019: «Резюме для политиков» // Специальный доклад МГЭИК о последствиях глобального потепления на 1,5 °С выше доиндустриальных уровней и о соответствующих траекториях глобальных выбросов парниковых газов в контексте укрепления глобального реагирования на угрозу изменения климата, а также устойчивого развития и усилий по искоренению нищеты, <https://www.ipcc.ch/sr15/chapter/spm/>.

¹⁴⁵ United Nations Environment Programme (UNEP), 2021: *Making Peace with Nature: A Scientific Blueprint to Tackle the Climate, Biodiversity and Pollution Emergencies*, <https://www.unep.org/resources/making-peace-nature>.

¹⁴⁶ United Nations Environment Programme (UNEP), 2021: *Making Peace with Nature: A Scientific Blueprint to Tackle the Climate, Biodiversity and Pollution Emergencies*, <https://www.unep.org/resources/making-peace-nature>.

Летние экстремальные явления в Северном полушарии: роль квазистационарных планетарных волн и арктическое усиление потепления

Хосе Альваро Сильва (ВМО)

ЭКСТРЕМУМЫ СЕВЕРНОГО ПОЛУШАРИЯ В 2021 ГОДУ: КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ

В 2021 году, во время бореального лета, в среднеширотных регионах Северного полушария (СП) наблюдалось несколько экстремальных погодных и климатических явлений. Рекордно жаркие дни и волны тепла, сильная засуха, мощные и разрушительные лесные пожары и ливневые дожди нанесли значительный ущерб и привели к большому числу погибших, о чем подробно рассказывается в разделе [«Явления со значительными последствиями в 2021 году»](#).

Жаркое лето началось рано, и в июне в нескольких регионах СП, включая Северную Африку, Восточную Европу и Ближний Восток, стояла экстремальная жара. В конце июня особенно высокая температура наблюдалась на северо-западе США и западе Канады (рис. 23). В Литтоне, в Британской Колумбии, 29 июня было зарегистрировано 49,6 °С, что стало новым рекордом для Канады. 9 июля, во время одной из многочисленных волн тепла, охвативших летом юго-запад США, температура на метеостанции Фернас Крик (Долина Смерти, Калифорния)

второй год подряд достигла 54,4 °С (самая высокая зарегистрированная температура в мире по меньшей мере за последние 90 лет).

14 и 15 июля в некоторых странах западной части Европы произошли исключительно сильные наводнения. От продолжительных сильных осадков больше всего пострадали районы западной Германии и восточной Бельгии. Всего несколько дней спустя, в период с 17 по 21 июля, в китайской провинции Хэнань в Чжэнчжоу выпало больше осадков, чем выпадает в среднем за год, а 20 июля за один час выпало 201,9 мм осадков, что стало новым рекордом для Китая.

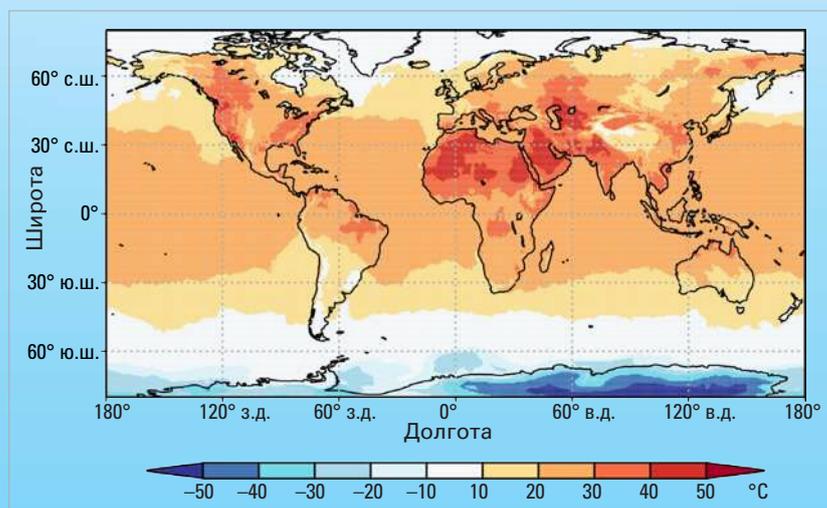
В августе экстремальная жара сопровождалась мощными и разрушительными лесными пожарами, которые затронули некоторые страны Средиземноморья. 11 августа на станции возле Сиракуз, на Сицилии, Италия, температура достигла 48,8 °С, что стало предварительным европейским рекордом.

ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ПРИЧИНЫ И МЕХАНИЗМЫ ЛЕТНИХ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ЯВЛЕНИЙ В СЕВЕРНОМ ПОЛУШАРИИ

В соответствии с тенденцией, наметившейся в последние десятилетия, летом 2021 года в СП наблюдалось множество экстремальных погодных и климатических явлений. Но каковы могут быть причины увеличения числа и усиления летних экстремальных явлений в СП?

Изменение климата ведет к тому, что частота определенных видов экстремальных погодных и климатических явлений растет¹, при этом некоторые исследования соотношения^{2,3,4,5,6,7,8} показали, что многие отдельные недавние явления стали более интенсивными. Некоторые из этих исследований позволяют предположить, что в эволюцию экстремальных явлений вовлечено широкое разнообразие пространственно-временных масштабов и атмосферных процессов, но обычно именно аномальные режимы крупномасштабной циркуляции задают фон для их возникновения, и здесь важную роль играют квазирезонансные режимы циркуляции.

Рисунок 23. Реанализ ERA5 максимальной температуры воздуха (°С) 29 июня 2021 года.
Источник: Служба по вопросам изменения климата в рамках программы «Коперник» и KNMI Climate Explorer.



КВАЗИРЕЗОНАНСНОЕ УСИЛЕНИЕ

Появляется все больше данных, свидетельствующих о том, что физические механизмы, включающие динамику атмосферы, в частности, динамику планетарных волн, могут объяснить характеристики, связанные с постоянными возмущениями в полярном струйном течении и летними экстремальными явлениями в СП^{9,10,11}. Волны Россби¹² (рис. 24), особенно квазирезонансное усиление (КРУ)¹³ этих среднеширотных высокоамплитудных волн (зональные волновые числа 6–8), являются важным механизмом, определяющим условия, связанные с экстремальными явлениями^{14,15,16}. Струйное течение играет основную роль в формировании режимов погоды, и когда оно ослабевает и становится более волнообразным, в сочетании с этими медленно движущимися волнами, движение воздуха с запада на восток замедляется, что приводит к блокирующим ситуациям, когда режимы погоды остаются почти стационарными в течение длительного периода, который может длиться несколько недель^{17,18}.

АРКТИЧЕСКОЕ УСИЛЕНИЕ ПОТЕПЛЕНИЯ

В последние 50 лет температура в Арктике повышалась более чем в два раза быстрее по сравнению с общемировыми темпами¹⁹, что является характерной особенностью изменения климата, известной как арктическое усиление (АУ)²⁰. АУ влияет на летнюю атмосферную циркуляцию в средних широтах, ослабляя шторм-треки, смещая струйное течение и усиливая квазистационарные волны. Хотя некоторая неопределенность относительно того, как эти динамические изменения влияют на региональные погодные условия, сохраняется²¹, общепризнано, что в последние десятилетия формирование условий, благоприятных для КРУ^{22,23}, способствовало возникновению устойчивых экстремальных погодных явлений, которые могут быть связаны с усиленным потеплением Арктики, и что, таким образом, влияние изменения климата происходит через усиленное потепление Арктики²⁴. Тем не менее наблюдения и расчеты по климатическим моделям, как утверждается, не позволяют установить четкие причинно-следственные отношения, что затрудняет подтверждение неоспоримой взаимосвязи.

Причины АУ еще не до конца понятны, но, как подчеркивается в главе 4 вклада Рабочей группы I в Шестой оценочный доклад МГЭИК, за последнее десятилетие понимание физических механизмов, вызывающих АУ, улучшилось, и результаты нескольких исследований, упомянутых в докладе, указывают на разнообразие

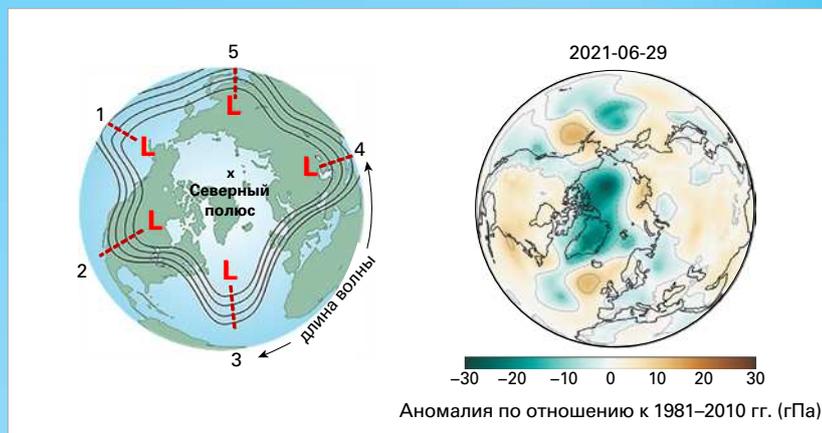
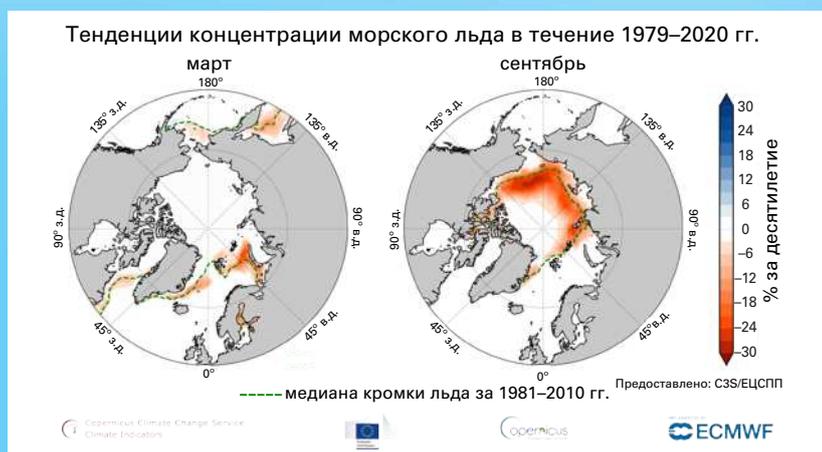


Рисунок 24. Слева: схематический пример волновой картины из пяти планетарных волн. Источник: НУОА/НМС. Справа: Аномалия давления на уровне моря 29 июня 2021 года (в сравнении с 1981–2010 гг.), связанная с медленным и меандрирующим струйным течением. Данные продукта реанализа ERA5. Источник: Служба по вопросам изменения климата в рамках программы «Коперник».

процессов и положительных обратных связей, способствующих этим явлениям²⁵. Первый связан с потерей морского льда (рис. 25), вызывающей изменение альbedo поверхности (отражающая поверхность льда уступает место более темному океану), и это приводит к большему поглощению тепла от солнечной радиации. Это явление называется обратной связью альbedo морского льда. Другими важными атмосферными процессами, вызывающими АУ, являются температура (как обратная связь Планка, так и вертикальный температурный градиент), а также обратная связь облаков и водяного пара²⁶. Увеличение атмосферного и океанического переноса тепла и влаги от экватора к полюсу также было признано движущей силой АУ.

Таким образом, необходимы дальнейшие исследования летней циркуляции и изменения климата для заполнения значительных пробелов в знаниях, но имеются доказательства в поддержку идеи о том, что изменения летней циркуляции в средних широтах (усиленные и более стационарные планетарные волны, более слабое и волнообразное струйное течение) вследствие потепления Арктики могут быть связаны с усилением блокирующих ситуаций, способствующих возникновению экстремальных явлений в СП.

Рисунок 25. Тенденции концентрации морского льда в марте и сентябре, 1979–2020 гг. Источник: C3S, <https://climate.copernicus.eu/climate-indicators/sea-ice>.



ССЫЛКИ

1. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2021: *AR6 Climate Change 2021: The Physical Science Basis*, <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>.
2. Philip, S. Y.; Kew, S. F.; van Oldenborgh, G. J. et al. Rapid Attribution Analysis of the Extraordinary Heatwave on the Pacific Coast of the US and Canada June 2021. *Earth System Dynamics Discussions*, In review, 1–34. Preprint: <https://doi.org/10.5194/esd-2021-90>.
3. Kreienkamp, F.; Philip, S. Y.; Tradowsky, J. S. et al. *Rapid Attribution of Heavy Rainfall Events Leading to the Severe Flooding in Western Europe During July 2021*. World Weather Attribution, 2021. <https://www.worldweatherattribution.org/wp-content/uploads/Scientific-report-Western-Europe-floods-2021-attribution.pdf>.
4. van Oldenborgh, G. J.; van der Wiel, K.; Kew, S. et al. Pathways and Pitfalls in Extreme Event Attribution. *Climatic Change* **2021**, *166* (1), 13. <https://doi.org/10.1007/s10584-021-03071-7>.
5. Herring, S. C.; Christidis, N.; Hoell, A. et al., Eds.; Explaining Extreme Events of 2017 from a Climate Perspective. *Bulletin of the American Meteorological Society* **2019**, *100* (1), S1–S117. <https://doi.org/10.1175/BAMS-ExplainingExtremeEvents2017.1>.
6. Lu, C.; Lott, F.; Sun Y. et al. Detectable Anthropogenic Influence on Changes in Summer Precipitation in China. *Journal of Climate* **2020**, *33* (13), 5357–5369. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-19-0285.1>.
7. Kahraman, A.; Kendon, E. J.; Chan, S. C. et al. Quasi-stationary Intense Rainstorms Spread across Europe under Climate Change. *Geophysical Research Letters* **2021**, *48* (13), e2020GL092361. <https://doi.org/10.1029/2020GL092361>.
8. Sun, Y.; Dong, S.; Zhang X. et al. Anthropogenic Influence on the Heaviest June Precipitation in Southeastern China since 1961. In: *Explaining Extremes of 2017 from a Climate Perspective*, supplement. *Bulletin of the American Meteorological Society* **2019**, *100* (1), S79–S84. <https://doi.org/10.1175/BAMS-ExplainingExtremeEvents2017.1>.
9. Mann, M. E.; Rahmstorf, S.; Kornhuber, K. et al. Projected Changes in Persistent Extreme Summer Weather Events: The Role of Quasi-resonant Amplification. *Sci. Advance* **2018**, *4* (10), eaat3272. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aat3272>.
10. Coumou, D.; Petoukhov, V.; Rahmstorf, S. et al. Quasi-resonant Circulation Regimes and Hemispheric Synchronization of Extreme Weather in Boreal Summer. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **2014**, *111* (34), 12331–12336. <https://doi.org/10.1073/pnas.1412797111>.
11. Petoukhov, V.; Petri, S.; Rahmstorf, S. et al. Role of Quasiresonant Planetary Wave Dynamics in Recent Boreal Spring-to-autumn Extreme Events. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **2016**, *113* (25), 6862–6867. <https://doi.org/10.1073/pnas.1606300113>.
12. Волна Россби – это большая горизонтальная атмосферная волна, связанная с полярным струйным течением и отделяющая холодный полярный воздух от теплого тропического. Эти планетарные волны играют важную роль в переносе энергии и влаги в направлении полюсов.
13. Усиленные волны Россби, связанные с меандрирующим струйным течением, становятся медленными и вызывают волновой резонанс, известный как квазирезонансное усиление (КРУ).
14. Petoukhov, V.; Rahmstorf, S.; Petri, S. et al. Quasiresonant Amplification of Planetary Waves and Recent Northern Hemisphere Weather Extremes. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **2013**, *110* (14), 5336–5341. <https://doi.org/10.1073/pnas.1222000110>.
15. Kornhuber, K.; Petoukhov, V.; Petri, S. et al. Evidence for Wave Resonance as a Key Mechanism for Generating High-amplitude Quasi-stationary Waves in Boreal Summer. *Climate Dynamics* **2016**, *49* (5), 1961–1979. <https://doi.org/10.1007/s00382-016-3399-6>.
16. Kornhuber, K.; Coumou, D.; Vogel, E. et al. Amplified Rossby Waves Enhance Risk of Concurrent Heatwaves in Major Breadbasket Regions. *Nature Climate Change* **2020**, *10* (1), 48–53. <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0637-z>.
17. Teng, H.; Branstator, G.; Wang, H. et al. Probability of US Heat Waves Affected by a Subseasonal Planetary Wave Pattern. *Nature Geoscience* **2013**, *6* (12), 1056–1061. <https://doi.org/10.1038/ngeo1988>.
18. Grams, C. M.; Binder, H.; Pfahl, S. et al. Atmospheric Processes Triggering the Central European Floods in June 2013. *Natural Hazards and Earth System Sciences* **2014**, *14* (7), 1691–1702. <https://doi.org/10.5194/nhess-14-1691-2014>.
19. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2021: *AR6 Climate Change 2021: The Physical Science Basis*, <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>.

20. Francis, J. A.; Vavrus, S. J. Evidence Linking Arctic Amplification to Extreme Weather in Mid-latitudes. *Geophysical Research Letters* **2012**, *39* (6), L06801. <https://doi.org/10.1029/2012GL051000>.
21. Coumou, D.; Di Capua, G.; Vavrus, S. et al. The Influence of Arctic Amplification on Mid-latitude Summer Circulation. *Nature Communications* **2018**, *9* (1), 2959. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-05256-8>.
22. Petoukhov, V.; Rahmstorf, S.; Petri, S. et al. Quasiresonant Amplification of Planetary Waves and Recent Northern Hemisphere Weather Extremes. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **2013**, *110* (14), 5336–5341. <https://doi.org/10.1073/pnas.1222000110>.
23. Kornhuber, K.; Petoukhov, V.; Petri, S. et al. Evidence for Wave Resonance as a Key Mechanism for Generating High-amplitude Quasi-stationary Waves in Boreal Summer. *Climate Dynamics* **2016**, *49* (5), 1961–1979. <https://doi.org/10.1007/s00382-016-3399-6>.
24. Mann, M.; Rahmstorf, S.; Kornhuber, K. et al. Influence of Anthropogenic Climate Change on Planetary Wave Resonance and Extreme Weather Events. *Scientific Reports* **2017**, *7* (1), 45242. <https://doi.org/10.1038/srep45242>.
25. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2021: *AR6 Climate Change 2021: The Physical Science Basis*, <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>.
26. Previdi, M.; Smith, K. L.; Polvani, L. M. Arctic Amplification of Climate Change: A Review of Underlying Mechanisms. *Environmental Research Letters* **2021**, *16* (9), 093003. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac1c29>.

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 (рисунок 26). Состояние наблюдательной базы для этих ВКлП публикуется

в регулярных информационных отчетах. ГСНК также определяет, что необходимо для улучшения системы, в отчетах по осуществлению деятельности.

В дополнение к наблюдениям, обеспечиваемым координируемыми ГСНК Сетью приземных наблюдений ГСНК (СПНГ) и Аэрологической сетью ГСНК (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 мониторинг климата.

В целях оказания необходимой финансовой и технической помощи для внедрения и функционирования ГОСН в беднейших и менее всего охваченных наблюдениями районах земного шара ВМО и члены Альянса

| Важнейшие климатические переменные (ВКлП) 2016 г. | | | | | | |
|---|--|---|---|------|---|---|
| Атмосфера | Поверхность | Океан | Физические | Суша | Гидрология | |
| | Осадки, приземное давление, баланс поверхностного излучения, скорость и направление приземного ветра, температура поверхности, водяной пар у поверхности | | | | Тепловой поток на поверхности океана, морской лед, уровень моря, состояние моря, соленость поверхности моря, температура поверхности моря, подповерхностные течения, соленость подповерхностного слоя, температура подповерхностного слоя | Подземные воды, озера, речной сток, почвенная влага |
| | Верхние слои атмосферы | | | | Биохимические | Криосфера |
| | Баланс излучения Земли, молнии, температура верхних слоев атмосферы, скорость и направление ветра в верхних слоях атмосферы | | | | Неорганический углерод, закись азота, цвет океана, кислород, подвижные трассеры | Ледники, ледовые щиты и шельфовые ледники, многолетняя мерзлота, снег |
| Состав | Биологические/экосистемы | Биосфера | Использование природных ресурсов человеком | | | |
| Характеристики аэрозолей, углерод диоксид, метан и другие парниковые газы, характеристики облаков, озон, прекурсоры аэрозолей и озона | Характеристики морского ареала обитания, планктон | Биомасса на земной поверхности, альbedo, пожары, доля поглощенного фотосинтетически активного излучения, почвенно-растительный покров, температура поверхности почвы, скрытые и явные тепловые потоки, индекс листовой поверхности, почвенный углерод | Потоки парниковых газов, вызванные деятельностью человека, антропогенное воздействие на водопользование | | | |

Рисунок 26. Важнейшие климатические переменные (ВКлП), определенные ГСНК

для развития в области гидрометеорологии^а создают Фонд финансирования систематических наблюдений (ФФСН).

Дополняя наблюдения за физическими и динамическими характеристиками атмосферы, Глобальная служба атмосферы (ГСА) ВМО координирует измерения состава атмосферы, обеспечивая получение надежных и точных данных их измерений, производимых 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^б 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 отчитываются перед ГСНК. Соглашения об обмене данными, как правило, менее разработаны для наземных сетей, и многие важные наблюдения не предоставляются международным пользователям.

Совместная рабочая группа по климату (РГ-Климат) Комитета по спутниковым наблюдениям за Землей/Координационной группы по метеорологическим спутникам (КЕОС/КГМС) основывает развитие спутниковых наблюдений за климатом на требованиях в отношении ВКлП, установленных ГСНК. Она подготовила перечень ВКлП, который включает данные 766 записей климатических данных для 33 ВКлП, охватывающих 72 отдельных вида продукции ВКлП, с планируемым увеличением. Спутниковые наблюдения имеют некоторые преимущества — они имеют почти глобальное покрытие — но оптические наблюдения могут быть прерваны облаками. Используемые вместе с наземными наблюдениями, либо в качестве дополнительных наборов данных, или для валидации и калибровки, они составляют бесценную часть глобальной системы наблюдений.

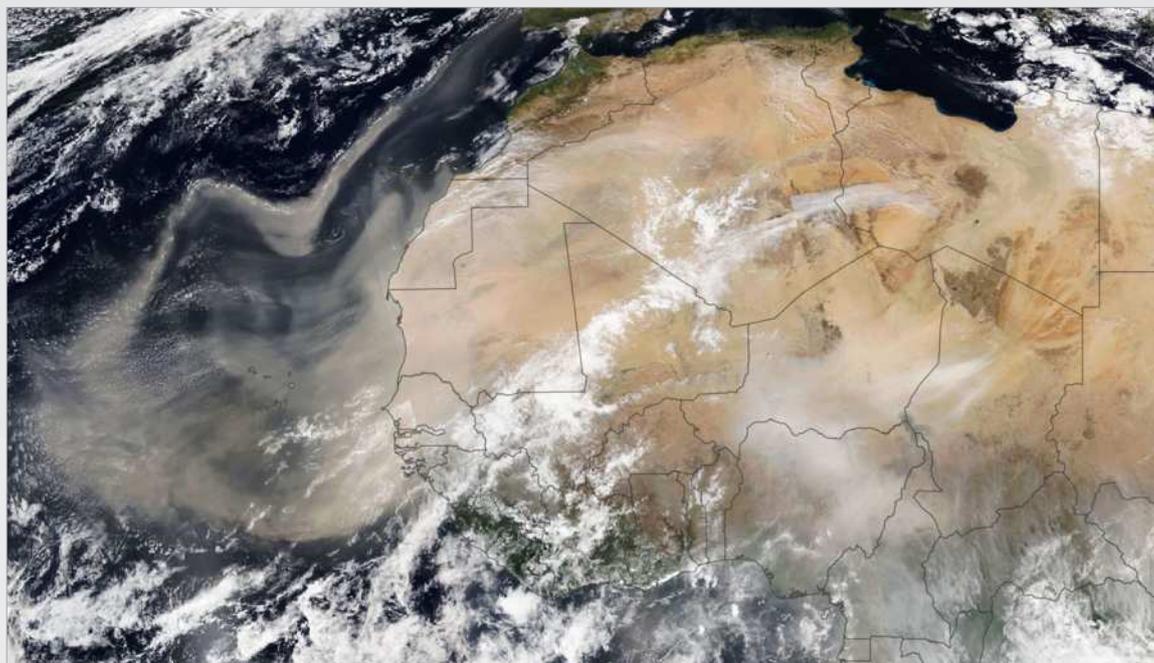


Рисунок 27. Пыльная буря в пустыне Сахара 18 февраля 2021 года. Это событие привело к повсеместному ухудшению качества воздуха в течение нескольких дней и последовало за другим, наступившим в начале месяца, когда снег в Пиренеях и Альпах покрылся песком, а небо в некоторых частях Европы, включая Францию, Германию и Швейцарию, стало оранжевым.

^а <https://public.wmo.int/en/our-mandate/how-we-do-it/partnerships/wmo-office-of-development-partnerships>

^б <https://www.ocean-ops.org/>

Могут ли межсезонные прогнозы повысить готовность к рискам стихийных бедствий в регионе Юго-Восточной Азии?

Обзор тематического исследования 20–26 сентября 2021 года

Эстель де Конинг¹, Теа Туркингтон², Фредерик Витарт³, Эндрю Робертсон⁴, Райан Канг², Ви Ленг Тан²

¹ ВМО

² Национальное агентство по охране окружающей среды, Сингапур

³ Сопредседатель проекта ССП, Европейский центр среднесрочных прогнозов погоды

⁴ Сопредседатель проекта ССП, Международный научно-исследовательский институт по климату и обществу

Юго-Восточная Азия (ЮВА) находится в оптимальной позиции в плане извлечения преимуществ из обслуживания в сфере субсезонного-сезонного прогноза (ССП) климата, поскольку регион обладает одной из самых высоких успешностью прогнозов в масштабе времени от субсезонного до сезонного. Специализированный метеорологический центр Ассоциации государств Юго-Восточной Азии (СМЦА АСЕАН) вместе с партнерами (ЭСКАТО ООН^a РИМЕС^b Центр «АНА»^c) работает над созданием продуктов ССП в ЮВА для снижения риска бедствий в рамках пилотного проекта ССП ЮВА, который является частью пилотной инициативы ССП в реальном времени, предпринятой ВМО, Всемирной программой метеорологических исследований (ВПМИ) и Всемирной программой исследований климата (ВПИК). Цель проекта – изучить полезность прогнозов ССП для снижения риска бедствий.

В период с 20 по 26 сентября 2021 года более 50 000 человек^d пострадали от наводнений на Филиппинах, а также на Сулавеси и восточном Борнео в Индонезии. На той же неделе в некоторых районах Вьетнама, Камбоджи и Таиланда тропический циклон *Дяньму* привел к сильным наводнениям, от которых пострадали более 180 000 человек^e. В соответствии с прогнозами пилотного проекта ССП ЮВА, в юго-восточной части Индонезии ожидалось небольшое

повышение вероятности экстремальных осадков за три недели до недели тематического исследования. За неделю до явления вероятность повысилась до умеренной для Сулавеси, островов Малуку и Западного Папуа и расширилась до небольшого повышения вероятности над частями Таиланда, Лаосской Народно-Демократической Республики, Вьетнама, а также над южными Филиппинами, южной Суматрой, восточным Борнео и Явой. Этот прогноз, содержащийся в еженедельном отчете Центра «АНА»^f, был доведен до сведения национальных организаций по борьбе со стихийными бедствиями и ряда других структур и помог подготовиться к *Дяньму*^g и другим опасным явлениям, что стало, наряду с последующими прогнозами погоды, примером региональных мер, ориентированных на интегрированное прогнозирование.

Эти результаты типичны для сделанных к настоящему времени выводов пилотного проекта, согласно которым увеличение вероятности экстремальных дождевых осадков на Морском континенте является хорошим индикатором того, что в общем районе может ожидать одно или несколько опасных явлений за три недели до них. Однако этот индикатор менее надежен для материковой части Юго-Восточной Азии, где зачастую прогнозы предусматривают повышение вероятности лишь за неделю до самого явления. Повышение вероятности опасных явлений также свидетельствует о повышенной вероятности бедствий. Хотя субсезонные временные масштабы не всегда включают признаки надвигающихся опасных явлений, относительно небольшое количество ложных тревог означает, что в этих временных масштабах можно принять такие меры, как целенаправленный мониторинг развития явлений и заблаговременная активизация институциональных процессов, обеспечивающих большую эффективность готовности и реагирования.

^a Экономическая и социальная комиссия для Азии и Тихого океана Организации Объединенных Наций: <https://www.unescap.org/>

^b Региональная комплексная система заблаговременного предупреждения о многих опасных явлениях: <https://www.rimes.int/>

^c Координационный центр АСЕАН по оказанию гуманитарной помощи: <https://ahacentre.org/>

^d <https://adinet.ahacentre.org>

^e <https://adinet.ahacentre.org>

^f https://ahacentre.org/wp-content/uploads/2021/09/DWeek_37_13-19Sep2021.pdf

^g <https://ahacentre.org/flash-update/flash-update-no-01-tropical-depression-21w-twentyone-viet-nam-23-september-2021/>

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 частей на миллион (млн^{-1}), CH_4 — 722 частей на миллиард (млрд^{-1}), а N_2O — 270 частей на миллиард (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 — № 17 — *Содержание парниковых газов в атмосфере по данным глобальных наблюдений в 2020 г.* Женева, 2021 г.

Мировой центр данных по озону и ультрафиолетовому излучению под управлением Министерства окружающей среды и изменения климата Канады, <https://woudc.org/home.php>.

ДАННЫЕ О ГЛОБАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ

ВРЕМЕННЫЕ РЯДЫ СРЕДНЕЙ ГЛОБАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ

Для расчета аномалий средней глобальной температуры относительно базового уровня 1850–1900 годов используется метод, который был обновлен после выпуска доклада «Состояние глобального климата в 2020 году». Обновление метода было сделано с учетом оценки долгосрочных изменений и их неопределенности, предложенной Рабочей группой I в ее вкладе в Шестой оценочный доклад МГЭИК. Новый метод также использует более широкий спектр более коротких наборов данных, регулярно обновляемых для обеспечения авторитетной оценки последних изменений температуры.

В докладе за 2020 год (и более ранних докладах) изменения относительно базового уровня 1850–1900 гг. рассчитаны на основе набора данных HadCRUT4, который является единственным набором данных, охватывающим период до 1850 года. Другие наборы данных были скорректированы, чтобы соответствовать среднему значению HadCRUT4 за период 1880–1900 гг. (NASA GISTEMP и NOAA GlobalTemp) или 1981–2010 гг. (ERA5, JRA-55).

В 2021 году Рабочая группа I Шестого оценочного доклада МГЭИК провела оценку изменений, которые произошли относительно 1850–1900 гг. в другие периоды. Использовалось среднее значение четырех наборов данных — HadCRUT5, Berkeley Earth, NOAA-Interim и Kadow et al. (2020), все из которых охватывают период до 1850 года. Оценка неопределенности проводилась путем изучения диапазона из четырех оценок, от нижней границы диапазона неопределенности самого холодного набора данных до верхней границы диапазона неопределенности самого теплого. Используя четыре набора данных, охватывающих период с 1850 года, Рабочая группа I смогла сделать более комплексную оценку неопределенности.

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 гг. и текущим годом на основе шести наборов данных для расчета аномалий для 2021 года относительно 1850–1900 гг.

Поскольку период с 1981–2010 гг. до настоящего времени хорошо охвачен наблюдениями, шесть наборов данных по изменениям в этот промежуток времени согласуются между собой хорошо, хотя и не идеально. Дополнительная умеренная неопределенность, обусловленная разбросом данных из шести наборов, комбинируется с результатами оценки неопределенности изменений с 1850–1900 по 1981–2010 гг., проведенной МГЭИК.

Точнее говоря, при расчете глобальной температуры использовались шесть наборов данных (приведенных ниже). Аномалии средней глобальной температуры были рассчитаны относительно базового периода 1850–1900 гг. с использованием следующих шагов:

1. Отправной точкой послужил временной ряд среднегодовых глобальных температур для каждого набора данных, предоставленный поставщиками данных. Аномалии были представлены по отношению к разным базовым периодам.
2. Для каждого набора данных аномалии относительно среднего значения за 1981–2010 гг. рассчитывались путем вычитания среднего значения за период 1981–2010 гг.
3. Исходя из предполагаемой разницы между 1850–1900 и 1981–2010 гг., к каждой серии было добавлено 0,69 °C в соответствии с расчетами по методу Рабочей группы I из Шестого оценочного доклада МГЭИК (приводится в подписи к рисунку 1.12 в 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 2021 год ($1,11 \pm 0,13$ °C), приводимое в настоящем докладе, причем 1,11 °C является средним шести оценок.

Карты годовых температур

Был также обновлен метод составления карты годовых температурных аномалий. В докладе за 2020 год карта с описанием аномалий относительно 1981–2010 гг. была составлена на основе одного набора данных (ERA5). В то время, как при составлении карты использовался лишь один набор данных, сопутствующая оценка основывалась на всех имеющихся наборах данных.

Для карты температурных аномалий за 2021 год было использовано медианное значение пяти наборов данных – HadCRUT5, ERA5, NOAA GlobalTemp, Berkeley Earth и GISTEMP, – пересчитанное под пространственную сетку наборов данных с наименьшим разрешением (наборы данных NOAA GlobalTemp и HadCRUT5), которые представлены на широтно-долготной сетке с разрешением 5° широты и 5° долготы. Использование медианы предпочтительнее использования среднего значения для минимизации влияния потенциальных резко отклоняющихся значений. Полудиапазон наборов данных дает представление о неопределенности. Наибольший разброс между наборами данных наблюдается в высоких широтах и в Центральной Африке, другими словами, в регионах с редким охватом наблюдениями.

Были использованы следующие шесть наборов данных:

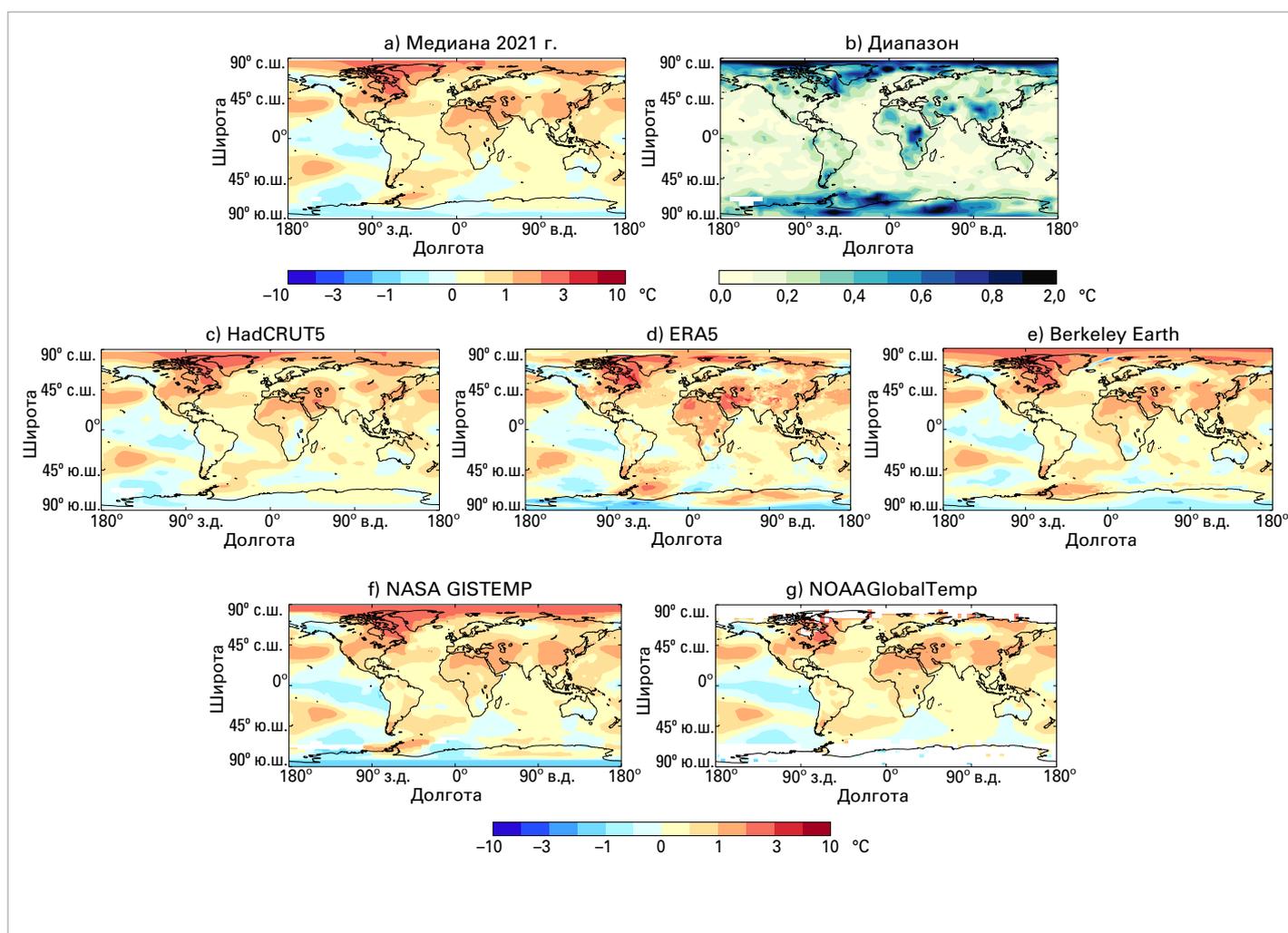
- Berkeley Earth – Rohde, R. A.; Hausfather, Z. The Berkeley Earth Land/Ocean Temperature Record. *Earth System Science Data* **2020**, *12*, 3469–3479. <https://doi.org/10.5194/essd-12-3469-2020>.
- ERA5 — Hersbach, H.; Bell, B.; Berrisford, P. et al. The ERA5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* **2020**, *146* (730), 1999–2049. <https://doi.org/10.1002/qj.3803>.
- 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* (12): 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 (3), e2019JD032361. <https://doi.org/10.1029/2019JD032361>. HadCRUT.5.0.1.0 data were obtained from <http://www.metoffice.gov.uk/hadobs/hadcrut5> on 24 October 2021 and are © British Crown Copyright, Met Office 2021, provided under an Open Government License, <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 (1), 5–48. <https://doi.org/10.2151/jmsj.2015-001>, https://www.jstage.jst.go.jp/article/jmsj/93/1/93_2015-001/_article.

NOAAGlobalTemp v5 — Zhang, H.-M., et al., NOAA Global Surface Temperature Dataset (NOAAGlobalTemp), Version 5.0. NOAA National Centers for Environmental Information. doi:10.7289/V5FN144H. 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 (4), 1351–1379. <https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/33/4/jcli-d-19-0395.1.xml>.

Рисунок 28. а) Аномалии приземной температуры воздуха в 2021 году относительно среднего значения медианы пяти наборов данных на сетке 5° за 1981–2010 гг. б) Диапазон пяти оценок; аномалии приземной температуры на сетке с исходным разрешением набора данных для с) HadCRUT5 (разрешение 5°), d) ERA5 (0,25°), e) Berkeley Earth (1°), f) GISTEMP (2°) и г) NOAAGlobalTemp (5°).



ДАННЫЕ О ТЕПЛОСОДЕРЖАНИИ ОКЕАНА

Данные, использованные для оценок до 2021 года:

- 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>.
- 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>.
- 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 (5), 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 (6), 783–791. <https://doi.org/10.5194/os-7-783-2011>.

Кроме того, данные, которые использовались до 2020 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 (19), 310–356. <https://doi.org/10.1002/2016GL070413>.
- 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 (4), 1305–1323. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-15-0028.1>.
- 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>.
- 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 (10), L10603. <https://doi.org/10.1029/2012GL051106>.
- 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 (2), 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 (2), 81–100. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2009.03.004>.
- von Schuckmann, K.; Le Traon, P.-Y.; Smith, N. et al., Eds. Copernicus Marine Service Ocean State Report, *Journal of Operational Oceanography* **2018**, 11, S1–S142. <https://doi.org/10.1080/1755876X.2018.1489208>.

ДАННЫЕ ОБ УРОВНЕ МОРЯ

ГСУМ от КНЕС/Авизо+ <https://www.aviso.altimetry.fr/en/data/products/ocean-indicators-products/mean-sea-level/data-acces.html#c12195>

ДАННЫЕ О МОРСКИХ ВОЛНАХ ТЕПЛА И ХОЛОДА

Морские волны тепла (МВТ) характеризуются как умеренные, когда температура поверхности моря (ТПМ) превышает 90-й процентиль климатологического распределения на протяжении пяти и более дней. Определение последующим категориям дается с учетом разницы между ТПМ 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 морских волн холода (МВХ) определяются аналогично, но в их классификации используется температура поверхности моря 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 ТПМ, на котором он основан, 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://doi.org/10.5670/oceanog.2018.205>.

NOAA OISST v2: Optimum Interpolation Sea Surface Temperature (OISST): 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 БАЛАНСЕ МАССЫ ЛЕДНИКОВ

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 2020–2021 гг. являются предварительными и основаны на подгруппе из 32 (из общего числа ~42) эталонных ледников ВСМЛ. Данные о балансе массы ледников для западной Канады основаны на многолетних, проводимых два раза в год (апрель и сентябрь) повторных лидарных наблюдениях Брайана Менуноса из Университета Северной Британской Колумбии, Канада, как описано в Pelto et al. (2019).

Pelto, B. M.; Menounos, B.; Marshall, S. J. Multi-year evaluation of airborne geodetic surveys to estimate seasonal mass balance, Columbia and Rocky Mountains, Canada. *The Cryosphere* **2019**, 13 (6), 1709–1727. <https://doi.org/10.5194/tc-13-1709-2019>.

Hugonnet, R.; McNabb, R.; Berthier, E. et al. Accelerated global glacier mass loss in the early twenty-first century. *Nature* **2021**, 592, 726–731. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03436-z>.

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 гг. основаны на среднем значении трех региональных моделей климата и баланса массы, описанных в Mankoff et al. (2021). Альтернативная оценка баланса массы за 2021 год приведена в Докладе о состоянии Арктики НУОА (Moon et al., 2021), основанном на спутниковых наблюдениях за площадью таяния и моделях баланса поверхностной массы при поддержке сети метеостанций приземного наблюдения PROMICE. Гравиметрические данные со спутников о полном балансе массы ледяных щитов, полученные в ходе миссий GRACE и GRACE-FO, доступны в Wiese et al. (2019, обновлено вплоть до 2021). Эти данные имеются как по Гренландскому, так и по Антарктическому ледяному щиту.

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>.

Moon, T. A.; Tedesco, M.; Box, J. E. et al. Greenland Ice Sheet. In *Arctic Report Card 2021*; Moon, T. A.; Druckenmiller, M. L.; Thoman, R. L., Eds.; National Oceanic and Atmospheric Administration, 2021. <https://doi.org/10.25923/546g-ms61>.

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, PO.DAAC, CA, USA. <http://dx.doi.org/10.5067/TEMSC-3MJ62>.

ДАННЫЕ О СНЕГЕ

Данные о снеге и таблицы временных рядов месячных аномалий доступны на сайте: <https://climate.rutgers.edu/snowcover/files/wmo/rutgers-nh-sce-anomalies-2020-21-data.xlsx>

ДААННЫЕ О МОРСКОМ ЛЬДЕ

В разделе, посвященном морскому льду, используются данные индекса морского льда ОСИ-САФ ЕВМЕТСАТ, версия 2.1 (OSI-SAF, на основе Lavergne et al., 2019), и индекса морского льда NSIDC v3 (Fetterer et al., 2017). Концентрация морского льда оценивается на основании микроволнового излучения, измеренного со спутников. Протяженность морского льда рассчитывается как 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 данные НЦДСЛ представлены в абсолютном выражении (например, «18,95 млн км²») для обеспечения согласованности с предыдущими отчетами, 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. <https://osi-saf.eumetsat.int/products/osi-420>.

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://doi.org/10.7265/N5K072F8>.

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>.

ДААННЫЕ О МНОГОЛЕТНЕЙ МЕРЗЛОТЕ

Noetzli, J.; Christiansen, H. H.; Hrbáček, F. et al. Global Climate Permafrost Thermal State. In *State of the Climate in 2020*; Dunn, R. J., Aldred, H., F., Gobron, N. Eds.; *Bulletin of the American Meteorological Society* **2021**, 102 (8); S42–S44. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-21-0098.1>.

Smith, S. L.; Romanovsky, V. E.; Isaksen, K. et al. Permafrost. In *State of the Climate in 2020*; Druckenmiller, M. L., Moon, T., Thoman, R., Eds.; *Bulletin of the American Meteorological Society*, **2021**, 102 (8); S293–S297. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-21-0086.1>.

ДААННЫЕ ОБ ОСАДКАХ

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

- First Guess Monthly, doi: 10.5676/DWD_GPCC/FG_M_100.
- Monitoring Product (Version 2020), doi: 10.5676/DWD_GPCC/MP_M_V2020_100.
- Full Data Monthly (Version 2020), doi: 10.5676/DWD_GPCC/FD_M_V2020_100.
- First Guess Daily, doi: 10.5676/DWD_GPCC/FG_D_100.
- Full Data Daily (Version 2020), doi: 10.5676/DWD_GPCC/FD_D_V2020_100.

Список сторон, предоставивших материалы

ЧЛЕНЫ (ГОСУДАРСТВА И ТЕРРИТОРИИ)

Австралия, Австрия, Алжир, Андорра, Аргентина, Армения, Барбадос, Бахрейн, Беларусь, Белиз, Бельгия, Болгария, Босния и Герцеговина, Ботсвана, Британские Карибские территории, Буркина-Фасо, Венгрия, Гамбия, Гвинея, Гвинея-Бисау, Германия, Гонконг, Гренада, Греция, Грузия, Китай, Дания, Египет, Зимбабве, Израиль, Индия, Иордания, Ирландия, Исламская Республика Иран, Испания, Италия, Казахстан, Камерун, Канада, Кения, Кипр, Китай, Колумбия, Латвия, Либерия, Ливия, Литва, Люксембург, Маврикий, Макао, Китай, Мадагаскар, Мали, Мальта, Марокко, Нигер, Нигерия, Нидерланды, Новая Зеландия, Норвегия, Объединенная Республика Танзания, Пакистан, Перу, Польша, Португалия, Республика Молдова, Российская Федерация, Руанда, Румыния, Саудовская Аравия, Северная Македония, Сенегал, Сент-Винсент и Гренадины, Сент-Китс и Невис, Сербия, Сирийская Арабская Республика, Словакия, Словения, Соединенное Королевство, Соединенные Штаты Америки, Судан, Таиланд, Того, Тринидад и Тобаго, Тунис, Турция, Узбекистан, Украина, Уругвай, Филиппины, Финляндия, Франция, Хорватия, Чешская Республика, Чили, Швейцария, Швеция, Эстония, Южная Африка, Япония

ЦЕНТРЫ И УЧРЕЖДЕНИЯ

Центр исследования экстремальных климатических явлений Совета по научным исследованиям Австралии, Университет Тасмании, Австралия; Бирмингемский институт лесных исследований, Бирмингемский университет, Великобритания; Британская антарктическая служба (БАС); Австралийское бюро метеорологии (АБМ), Австралия; Углеродный портал, Лундский университет, Швеция; Национальный центр космических исследований (КНЕС), Франция; Mercator Ocean international, Франция; Обсерватория Миди-Пиренеи (OMP), Франция; IFREMER, Франция; Брестский университет, Франция; Национальный центр научных исследований (СНПС), Франция; Научно-исследовательский институт для целей развития (ИРД), Франция; Лаборатория физической и пространственной океанографии (ЛФПО), Франция; Лаборатория исследований в области пространственной геофизики и океанографии (ЛЕГОС), Франция; Европейский университетский институт морских исследований (ЕУИМС), Франция; CELAD, Франция; Университет Сорбонна, Франция; Лаборатория океанографии Вильфранш, Франция; Центр океанических меганаук, Китайская академия наук; Служба по вопросам изменения климата в рамках программы «Коперник» (СЗС); CSIRO Oceans and Atmosphere, Австралия; Датский метеорологический институт (ДМИ); Глобальный центр климатологии осадков (ГЦКО), Метеорологическая служба Германии (GRCC, DWD); Министерство окружающей среды и изменения климата Канады (ЕССС); Федеральный институт технологии, Цюрих, Швейцария; Европейский центр среднесрочных прогнозов погоды (ЕЦСПП); Университет Джорджа Вашингтона, США; Гонконгская обсерватория; Институт физики атмосферы Китайской академии наук (ИФА, КАН); Японское Агентство по морским и наземным наукам и технологиям (JAMSTEC); Объединенный институт морских и атмосферных исследований, Гавайский университет (JIMAR), США; Центр им. Гадлея Метеобюро Соединенного Королевства; Отдел исследований по моделированию атмосферы, океана и земных систем, Институт метеорологических исследований, Япония; Национальное агентство по охране окружающей среды (НАОС), Сингапур; Национальные центры информации об окружающей среде Национального управления по исследованию океанов и атмосферы (НЦИОС НУОА), США; НУОА, Тихоокеанские лаборатории НУОА по морской окружающей среде (PMEL), США; Национальный океанографический центр (НОС), Соединенное Королевство; Министерство природных ресурсов Канады; Норвежский метеорологический институт; Университет Рутгерса, США; Институт океанографии Скриппса, США; Токийский климатический центр, Японское метеорологическое агентство (ТКЦ, ЯМА); Федеральный университет Рио-де-Жанейро, Бразилия; Университет Эксетера, Соединенное Королевство; Университет Виктории, Канада; Океанографический институт Вудс-Хоул, США; Всемирная программа исследований климата (ВПИК); Мировой центр данных о парниковых газах (МЦДПГ)

УЧРЕЖДЕНИЯ СИСТЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ

Управления Организации Объединенных Наций по снижению риска бедствий (УСРБ ООН), Программа Организации Объединенных Наций по окружающей среде (ЮНЕП), Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций (ФАО), Верховный комиссар ООН по делам беженцев (УВКБ ООН), Международная организация по миграции (МОМ), Всемирная продовольственная программа (ВПП), Межправительственная океанографическая комиссия – ООН (МОК-ЮНЕСКО)

ОТДЕЛЬНЫЕ ЭКСПЕРТЫ

Сигне Аабоз (Норвежский метеорологический институт), Хорхе Альвар-Белтран (ФАО), Омар Баддур (координатор публикаций ВМО), Джессика Бланден (НЦИОС НУОА), Тим Бойер (НЦИОС НУОА), Анни Казенав (ЛЕГОС КНЕС и ОМР), Лицзин Чэн (ИФА; Центр океанических меганаук, Китайская академия наук), Луи Клеман (Национальный океанографический центр), Кайл Клем (Университет Виктории), Эстель де Конинг (ВМО), Дамьен Дебрюйер (ИФРЕМЕР, СНРС, ИРД, Лаборатория физической и пространственной океанографии), Макс Дилли (ВМО), Роберт Данн (Центр им. Гадлея Метеобюро Соединенного Королевства), Саймон Эгглстон (ВМО/ГСНК), Томас Эстилоу (Университет Рутгерса), Флоранс Жофруа (УВКБ ООН), Доната Джильо (Университет Колорадо), Натан Джиллетт (ЕССС), Джон Гилсон (Институт океанографии Скриппса, Калифорнийский университет), Лоретта Хибер Жирарде (УСРБ ООН), Ацуши Гото (КЦ, ЯМА), Иван Гузенес (ЛЕГОС и ОМР), Стефан Грубер (Карлтонский университет), Дебби Жемминг (Центр им. Гадлея Метеобюро Соединенного Королевства, Бирмингемский институт лесных исследований), Ана Эрё (ФАО), Шигеки Хосода (JAMSTEC), Маттиас Хусс (Федеральный институт технологии, Цюрих), Кирстен Изенс (МОК ЮНЕСКО), Грегори С. Джонсон (НУОА, ПМЕЛ), Райан Канг (НАОС), Мартен Каппелле (ЮНЕП), Джон Кеннеди (ведущий автор, Центр им. Гадлея Метеобюро Соединенного Королевства), Валентина Хан (Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации), Рейчел Киллик (Центр им. Гадлея Метеобюро Соединенного Королевства), Брайан А. Кинг (НОЦ), Анимеш Кумар (УСРБ ООН), Микаэль Куусела (Университет Карнеги Меллон), Джернот Лаганда (ВПП), Томас Лавернь (Норвежский метеорологический институт), Юэхуа Ли (Университет Нового Южного Уэльса), Рената Либонати (Федеральный университет Рио-де-Жанейро), Юрг Лютербахер (ВМО), Джон Лайман (НУОА, ПМЕЛ), Шон Маршалл (ЕССС и Университет Калгари), Джесси Мейсон (ВПП), Брайан Менунос (Университет Северной Британской Колумбии), Одри Миньер (Меркатор Осан Интернасьональ), Маева Монье (СЕЛАД/Меркатор Осан Интернасьональ), Колин Морис (Центр им. Гадлея Метеобюро Соединенного Королевства), Лев Неретин (ФАО), Стойка Нетчева (ВМО), Родика Ниту (ВМО), Жаннет Нетцли (Институт исследования снега и лавин), Бен Пелто (Университет Северной Британской Колумбии), Клер Рэнсом (ВМО), Эндрю Робертсон (сопредседатель проекта ССП, ИРИ), Дэвид Робертсон (Университет Рутгерса), Дин Реммих (Институт океанографии Скриппса), Канако Сато (JAMSTEC), Кацунари Сато (ЯМА), Юсуке Сава (ЯМА, МЦДПГ), Роберт В. Шлегель (Университет Сорбонна, СНРС, Лаборатория океанографии Вильфранша), Катерина Шу (МОК ЮНЕСКО), Карина фон Шукманн (Меркатор Осан Интернасьональ), Рауль Сенгупта (УСРБ ООН), Фуми Сезаки (ТКЦ, ЯМА), Хозе Альваро Сильва (ВМО), Шерон Смит (Министерство природных ресурсов Канады), Майкл Спэрроу (ВПИК), Мартин Стендел (ДМИ), Питер Стотт (Центр им. Гадлея Метеобюро Соединенного Королевства, Эксетерский университет), Дмитрий Стрелецкий (Университет Джорджа Вашингтона), Тошио Суга (JAMSTEC, Университет Тохоку), Танги Шекели (OceanScore), Ве Лен Тан (НАОС), Оксана Тарасова (ВМО), Блэр Тревин (АБМ), Тэа Туркингтон (НАОС, Сингапур), Джон Тернер (БАС), Фрея Вамборг (ЕЦСПП), Алекс Вермелен (Углеродный портал, Лундский университет), Фредерик Витар (сопредседатель проекта ССП, ЕЦСПП), Инь Ван (ЮНЕП), Мишель Йонетани (УВКБ ООН), Чживэй Чжу (Нанкинский университет информации, науки и технологий), Маркус Зизе (Метеорологическая служба Германии)



Food and Agriculture Organization
of the United Nations



UNHCR
The UN Refugee Agency



UNDRR
UN Office for Disaster Risk Reduction



World Food
Programme



United Nations
Educational, Scientific and
Cultural Organization



Intergovernmental
Oceanographic
Commission

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

Эл. почта: communications@wmo.int

public.wmo.int