

Состояние климата в Европе в 2021 году



ПОГОДА КЛИМАТ ВОДА



ВСЕМИРНАЯ
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ
ОРГАНИЗАЦИЯ

ВМО-№ 1320



PROGRAMME OF THE
EUROPEAN UNION



IMPLEMENTED BY



Climate
Change Service
climate.copernicus.eu

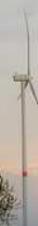


Фото на обложке: вымеобразное облако, фото сделано Борисом Йорданом (Германия), конкурс фотографий для календаря ВМО на 2021 год

ВМО-№ 1320

© Всемирная метеорологическая организация, 2023

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

Chair, Publications Board

World Meteorological Organization (WMO)
7 bis, avenue de la Paix
P.O. Box 2300
CH-1211 Geneva 2, Switzerland

Тел.: +41 (0) 22 730 84 03
Эл. почта: publications@wmo.int

ISBN 978-92-63-41320-8

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	3
Предисловие	4
Вступление	5
Глобальный климат	6
Региональный климат	7
Температура	7
Осадки.	8
Криосфера	9
Океан	11
Основные режимы атмосферной циркуляции в регионе в 2022 году	14
Экстремальные явления и их воздействия	15
Общий обзор	15
Сильные осадки и паводки	15
Волны тепла и лесные пожары.	17
Морские волны тепла	18
Волны холода, сильные снегопады и заморозки	19
Сильные штормовые ветры	20
Политика в области климата и действия по борьбе с изменением климата в энергетическом секторе	21
Переход к низкоуглеродной энергии	21
Возобновляемые источники энергии – обязательства.	21
Потенциал возобновляемых источников энергии	22
Климатическое обслуживание энергетического сектора	22
Атомная энергетика	24
Воздействия экстремальных погодных условий на энергетический сектор	25
Использование возобновляемых источников энергии для агропродовольственных систем	26
Основные компоненты наблюдений для мониторинга климата	27
Комплекты данных и методы	29
Список сторон, предоставивших материалы	34
Примечания	35

Наиболее важные факты



Европа является самым быстротеплеющим из всех регионов ВМО, с 1980-х годов темпы потепления вдвое превышают среднемировой показатель. В 2022 году среднегодовая температура была между вторым и четвертым самыми высокими показателями за всю историю наблюдений, в зависимости от используемого набора данных, а лето было самым теплым. Во многих странах Западной и Юго-Западной Европы 2022 год стал самым теплым за всю историю наблюдений.



Количество осадков в 2022 году на большей части региона было ниже среднего. Это был четвертый подряд сухой год для Пиренейского полуострова и третий подряд сухой год для горных регионов Альп и Пиренеев.



Отсутствие осадков, в частности, снега в зимний сезон, в сочетании с высокими летними температурами способствовало самой большой потере ледникового льда, зарегистрированной в Европейских Альпах.

В течение 2022 года Гренландский ледяной щит продолжал терять массу, а в сентябре исключительно теплые условия привели к повсеместному таянию поверхности.



В 2022 году температура поверхности моря в районе Северной Атлантики в Европейском регионе ВМО была самой высокой за всю историю наблюдений, и значительная часть морей региона подверглась воздействию сильных или даже суровых и экстремальных морских волн тепла. Темпы потепления поверхностного слоя океана, особенно в восточной части Средиземного моря, Балтийском и Черном морях, а также в южной части Арктики более чем втрое превышали среднемировой показатель.



В 2022 году метеорологические и климатические явления со значительными воздействиями и последствиями привели к гибели более 16000 человек, практически полностью обусловленной исключительно сильными волнами тепла, которые Европа пережила летом. Наиболее сильные волны тепла наблюдались в середине июля, когда во многих местах были зафиксированы рекордные температуры. Впервые в Великобритании температура достигла 40 °C, а в Конингсби 19 июля она составила 40,3 °C.



Засуха также затронула большую часть региона, особенно весной и летом. Сочетание засушливых условий и экстремальной жары способствовало возникновению многочисленных лесных пожаров и привело к образованию второй по величине выжженной площади в регионе за всю историю наблюдений. Крупные лесные пожары возникли во Франции, Испании, Португалии, Словении и Чехии.



Штормы и паводки привели к гибели десятков людей, при этом наблюдались многочисленные случаи локального затопления, вызванного интенсивными дождями, явлением «деречо» (продолжительная полоса гроз и разрушительных ветров), которое в августе затронуло районы южной и центральной Европы, и тремя последовательными штормами за одну неделю февраля на северо-западе Европы.



Несмотря на то, что этот год характеризовался теплыми условиями, в некоторых регионах, включая Турцию, Сирийскую Арабскую Республику, Грецию и Черногорию, наблюдались похолодания и сильные снегопады. Широкомасштабное похолодание также затронуло большую часть северной и западной Европы в декабре. В Рейкьявике, Исландия, зафиксирован самый холодный декабрь за последние 100 лет.



В 2022 году на ветровую и солнечную энергию пришлось 22,3 % выработки электроэнергии в Европейском союзе, что впервые превысило показатель по природному газу (20 %). За счет этих двух возобновляемых ресурсов было выработано больше электроэнергии, чем за счет любого другого источника энергии. Мониторинг и понимание их временной и пространственной изменчивости становятся все более важными в связи с их растущим значением для европейской структуры энергопотребления.



Информация о климате является важным элементом повышения устойчивости и улучшения функционирования энергетических систем. Хотя 80 % Членов ВМО в Европе предоставляют определенную климатическую информацию для энергетического сектора, менее 50 % предоставляют прогнозы климата от месячных до сезонных для энергетического сектора. Это говорит о неиспользованном потенциале НМГС для поддержки энергетического перехода и повышения климатической устойчивости энергетического сектора.

Предисловие



Доклад ВМО «Состояние климата в Европе в 2022 году» является вторым в ежегодной серии докладов, успешно запущенной в прошлом году. В данной совместной публикации Региональной ассоциации VI (Европа) ВМО (РА VI ВМО) и Службы по вопросам изменения климата в рамках программы «Коперник» приводится описание состояния климата, а также экстремальных метеорологических и климатических явлений со значительными воздействиями и последствиями для территории РА VI (Европа) ВМО в 2022 году в условиях долгосрочной изменчивости и изменения климата.

В настоящем докладе использованы результаты работы систем наблюдений за климатом и собраны ценные материалы, полученные от Членов ВМО в процессе обслуживания их потребностей в области мониторинга климата, изменения климата и климатического обслуживания. Последние данные

и информация о воздействиях, рисках и политике, полученные от учреждений Организации Объединенных Наций и партнеров Европейского союза (ЕС), дополняют обзор физической науки. В настоящем докладе также рассматриваются научно обоснованные выводы последнего Шестого оценочного доклада (ОД6)¹ и Обобщающего доклада ОД6² Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК), а также доклада о состоянии климата в Европе в 2022 году программы «Коперник»³.

Европа является самым быстротеплеющим из шести регионов, определенных ВМО, и во многих странах западной и юго-западной Европы 2022 год стал самым теплым годом за всю историю наблюдений. Лето было самым жарким за всю историю наблюдений: высокие температуры усугубили суровые и широко распространенные условия засухи, вызвали сильные лесные пожары, которые привели к образованию второй по величине выжженной площади за всю историю наблюдений и к тысячам случаев избыточной смерти, связанных с жарой.

Заблаговременные предупреждения составляют основу прогнозирования и уменьшения воздействий растущего числа экстремальных явлений. ВМО совместно с Управлением Организации Объединенных Наций по снижению риска бедствий (УСРБ ООН), Международным союзом электросвязи (МСЭ) и Международной федерацией обществ Красного Креста и Красного Полумесяца (МФКК) возглавляет инициативу ООН «Заблаговременные предупреждения для всех», выдвинутую Генеральным секретарем Организации Объединенных Наций Антониу Гутерришем в ходе Саммита мировых лидеров на Конференции Организации Объединенных Наций по изменению климата 2022 года, КС 27. План действий позволит укрепить возможности наблюдений и мониторинга системы Земля, прогнозирования и предупреждений во всем мире, что принесет пользу населению и экономическим секторам.

Особое внимание в разделе, посвященном политике в области климата в настоящем докладе «Состояние климата в Европе в 2022 году», уделяется энергетике, и здесь есть хорошие новости. Впервые в ЕС за счет ветра и солнца было выработано больше электроэнергии, чем за счет природного газа. Возрастающее использование возобновляемых и низкоуглеродных источников энергии имеет решающее значение для снижения зависимости от ископаемого топлива и обеспечивает важный вклад в достижение климатической нейтральности и смягчение последствий антропогенного изменения климата. Климатическое обслуживание играет ключевую роль в обеспечении устойчивости энергетических систем к климатическим потрясениям, в планировании оперативной деятельности и в обосновании мер повышения энергоэффективности наряду с другими соответствующими применениями.

Пользуясь случаем, я хотел бы поздравить ведущих авторов, экспертов и ученых с их исключительным вкладом в подготовку данного доклада. Я также выражаю благодарность национальным метеорологическим и гидрологическим службам (НМГС), Сети региональных климатических центров ВМО для Европы, Службе по вопросам изменения климата в рамках программы «Коперник» (С3S), родственным учреждениям Организации Объединенных Наций, партнерами ЕС и всем учреждениям, предоставившим материалы, за их выдающуюся поддержку данной публикации.

Проф. Петтери Таалас
Генеральный секретарь ВМО

Вступление



Общественная значимость систематического анализа изменяющегося климата становится все более очевидной, поскольку он позволяет нам лучше предупреждать будущие экстремальные явления и подготовиться к воздействиям глобального потепления.

Еще раз, доклад «Состояние климата в Европе в 2022 году» содержит подробное и точное описание серии беспрецедентных климатических явлений, затронувших наш регион. Межгодовая изменчивость климата очевидна, если сравнить доклад за 2021 год, в котором наше внимание было неизбежно акцентировано на сильных штормах и разрушительных паводках, затронувших Западную Европу, и текущий доклад, в котором на передний план вышли экстремально высокие температуры и продолжительная засуха.

Рекордный тепловой стресс, который европейцы испытали в 2022 году, стал одним из основных факторов, влияющих на число случаев избыточной смерти в Европе в связи с погодными условиями. К сожалению, это нельзя считать единичным случаем или климатическим несоответствием. Согласно нашему текущему пониманию климатической системы и ее эволюции, ясно изложенному в последнем докладе Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК), подобные явления являются частью закономерности, которая приведет к тому, что экстремальные тепловые стрессы станут более частыми и более интенсивными во всем регионе.

С устойчивым ростом доли возобновляемых источников энергии в европейской структуре энергопотребления повышается зависимость нашей системы от изменчивости погоды и климата. Описание этих изменений и понимание движущих факторов, стоящих за такими колебаниями, становится все более важным. Настоящий доклад содержит ценную информацию о климате как ресурсе для поддержки нашего перехода к обществу с чистыми нулевыми выбросами.

Я призываю читателей не ограничиваться показательными цифрами и точными статистическими выкладками, представленными на этих страницах, а воспринять это как стимул для фундаментального изменения нашего взгляда на данные, описывающие окружающий нас мир.

Служба по вопросам изменения климата в рамках программы «Коперник» (C3S), финансируемая Европейской комиссией, работает совместно с ВМО над практическим внедрением климатического обслуживания, чтобы каждый житель региона имел беспрепятственный доступ к высококачественным, открытым и бесплатным данным о мире, в котором мы живем. Настоящий доклад является ключевым шагом в этом процессе, поскольку он позволяет этим данным говорить самим за себя. Климат быстро меняется, и нам необходимо использовать все имеющиеся у нас инструменты для адаптации к условиям, с которыми мы столкнемся в ближайшие годы.

Доклад является результатом коллективных усилий многих людей и учреждений во всем регионе. Я хотел бы поблагодарить ведущих авторов и редакционную группу, а также многих людей, выполняющих незаметную работу, которые обеспечили возможность публикации данного доклада.

Д-р Карло Буонтемпо
Директор, Служба по вопросам изменения климата в рамках программы «Коперник»
Европейский центр среднесрочных прогнозов погоды (ЕЦСПП)

Глобальный климат

Глобальная среднегодовая приземная температура в 2022 году была на 1,15 °C [от 1,02 °C до 1,28 °C] выше средней доиндустриальной температуры 1850–1900 годов. 2022 год стал пятым или шестым самым теплым годом за всю историю наблюдений согласно шести наборам данных⁴, несмотря на охлаждающий эффект Ла-Нинья. Годы с 2015 по 2022 стали восемью самыми теплыми годами за всю историю наблюдений во всех наборах данных⁵.

Атмосферные концентрации трех основных парниковых газов достигли новых рекордных максимумов в 2021 году, последнем году, за который имеются сводные глобальные данные, при этом уровень диоксида углерода (CO₂) составил 415,7 ± 0,2 частей на миллион (млн⁻¹), уровень метана (CH₄) – 1908 ± 2 частей на миллиард (млрд⁻¹), а уровень закиси азота (N₂O) – 334,5 ± 0,1 млрд⁻¹ – соответственно 149 %, 262 % и 124 % относительно доиндустриальных (до 1750 года) уровней (рисунок 1). Данные в реальном времени, полученные из конкретных мест, включая Мауна Лоа⁶ (Гавайи, США) и Кеннаок/Кейп Грим⁷ (Тасмания, Австралия), показывают, что уровни CO₂, CH₄ и N₂O продолжали расти в 2022 году.

За последние два десятилетия скорость потепления океана увеличилась, а теплосодержание океана в 2022 году было самым высоким за всю историю наблюдений. Потепление океана и ускоренная потеря массы льда ледяных щитов способствовали повышению глобального среднего уровня моря на 4,62 мм в год в период с 2013 по 2022 год, достигшего в 2022 году нового рекордного максимума. В период с 1960 по 2021 год океан поглотил около 25 % ежегодных антропогенных выбросов CO₂, выброшенных в атмосферу⁸, а CO₂ вступает в реакцию с морской водой и понижает ее pH. Ограниченное число долгосрочных наблюдений в открытом океане показало снижение pH, причем с конца 1980-х годов среднее значение глобального pH поверхности океана снижалось на 0,017–0,027 единиц pH за десятилетие. Данный процесс, известный как закисление океана, влияет на многие организмы и экосистемные услуги⁹ и угрожает продовольственной безопасности, ставя под угрозу рыболовство и аквакультуру.

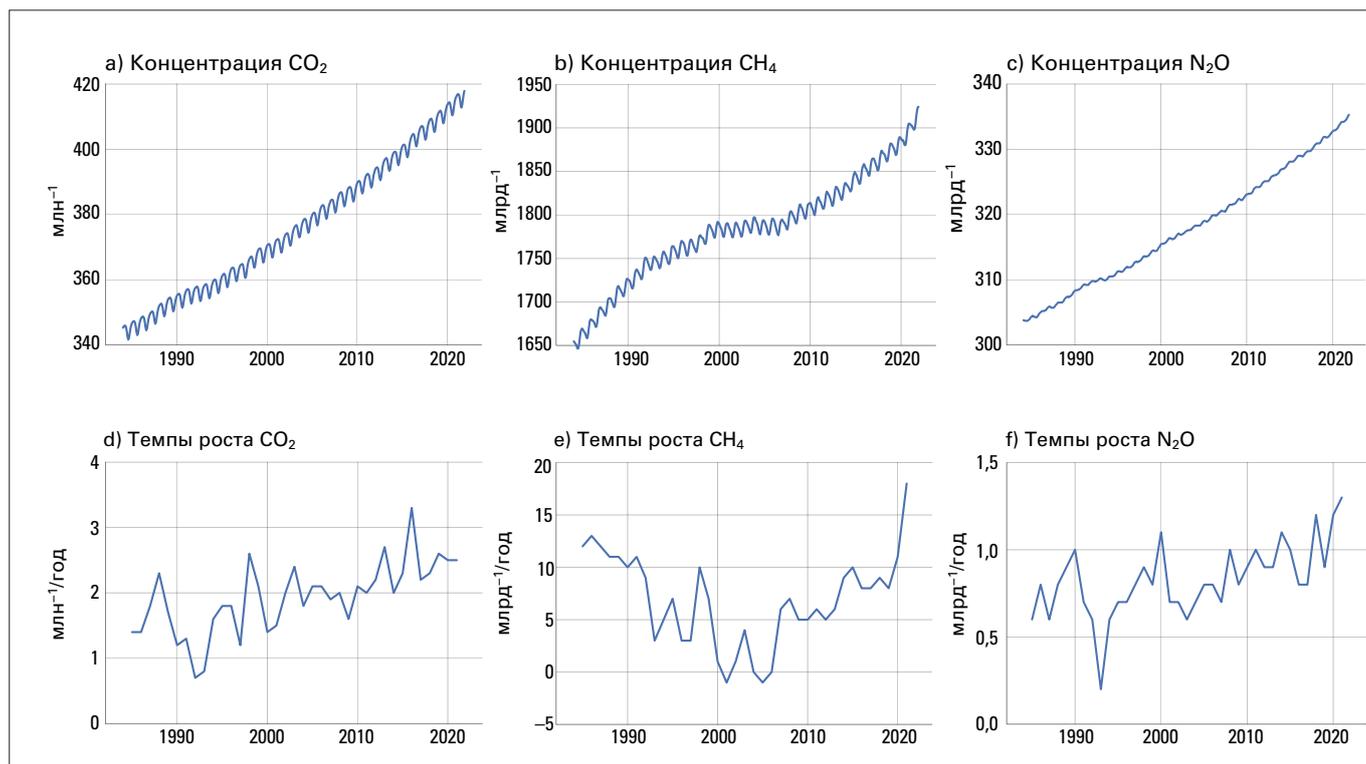


Рисунок 1. Верхний ряд: месячная глобально усредненная молярная доля (мера атмосферной концентрации) а) CO₂ в частях на миллион, б) CH₄ в частях на миллиард и в) N₂O в частях на миллиард в период с 1984 по 2018 год. Нижний ряд: темпы прироста, представляющие собой увеличение последующих среднегодовых молярных долей д) CO₂ в частях на миллион в год, е) CH₄ в частях на миллиард в год и ф) N₂O в частях на миллиард в год.

Региональный климат

В следующих разделах проанализированы основные показатели состояния климата в Европе (Регион VI (Европа) ВМО; см. карту регионов в подразделе «Территория региона» в разделе «Наборы данных и методы» в конце доклада). Один из таких особенно важных показателей – температура – описывается в терминах аномалий или отклонений от базового периода. Что касается средней глобальной температуры, то в Шестом оценочном докладе (ОД6) Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК)¹⁰ для расчета аномалий относительно доиндустриальных уровней используется базовый период 1850–1900 гг. Однако данный доиндустриальный период не может использоваться во всех регионах в качестве базового для расчета региональных аномалий из-за недостаточного объема данных для расчета средних региональных показателей до 1900 года. Вместо этого для расчета аномалий температуры и других показателей используется базовый период климатологических стандартных норм 1991–2020 гг. Региональные аномалии температуры также могут быть выражены относительно базового периода 1961–1990 гг. Это фиксированный базовый период, рекомендованный ВМО для оценки долгосрочного изменения температуры. В настоящем докладе исключения в отношении использования этих базовых периодов для расчета аномалий, если они имеются, четко отмечены.

ТЕМПЕРАТУРА

Приземная температура воздуха влияет на человеческие и природные системы. Она может влиять на здоровье, сельское хозяйство и спрос на энергию, а также на циклы роста в природных средах. Экстремальные температуры оказывают особое влияние на здоровье человека. В индустриальную эпоху температура в Европе значительно повысилась. С 1980-х годов темпы потепления в Европе составляют +0,5 °C за десятилетие, более чем вдвое превышая среднемировой показатель, что делает ее самым быстротеплеющим регионом ВМО¹¹.

В 2022 году среднегодовая температура в Европе¹² была между вторым и четвертым самыми высокими показателями за всю историю наблюдений, при этом аномалия была на 0,79 °C [0,70 °C–0,91 °C] выше среднего значения за 1991–2020 годы (рисунок 2a) и на 1,83 °C [1,73 °C–1,92 °C] выше среднего значения за 1961–1990 годы. Почти на всей территории региона среднегодовые температуры в 2022 году были более чем на 0,5 °C выше средней температуры за 1991–2020 годы; только на северо-западе Исландии и в небольшой части Турции наблюдались температуры немного ниже средней. Наибольшие отклонения от среднего значения наблюдались в европейской части Арктики и в юго-западных районах региона. Температура в большей части Юго-Западной Европы в 2022 году была более чем на 1 °C выше среднего значения за 1991–2020 годы, а в некоторых районах – более чем на 2 °C выше среднего значения (рисунок 2b)).

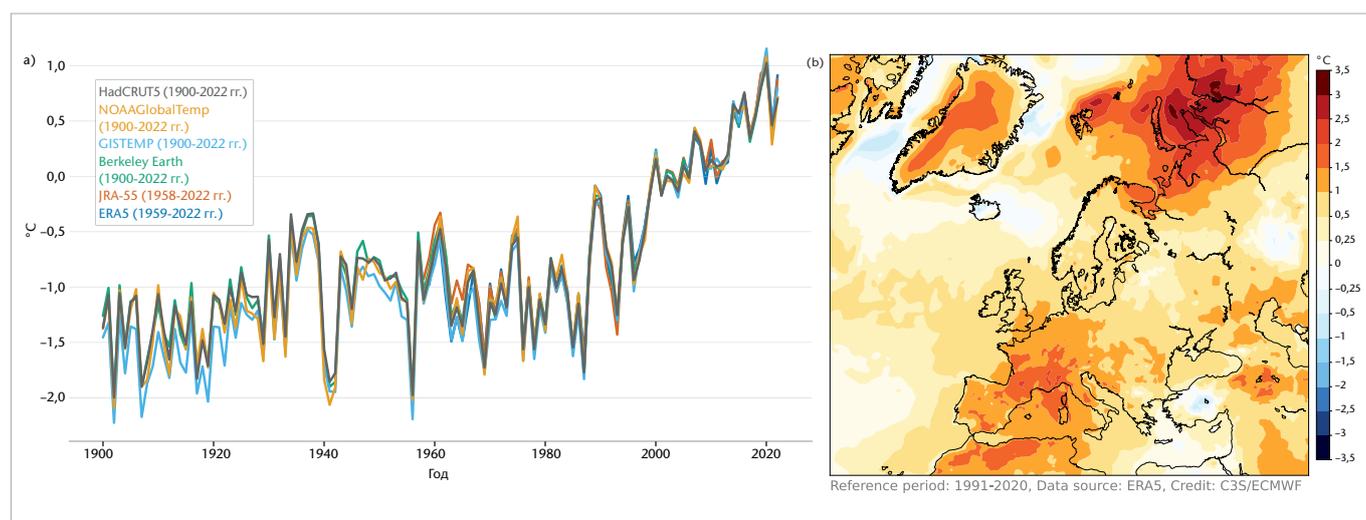


Рисунок 2. а) Аномалия среднегодовой приземной температуры воздуха (°C) в Европе для Региона VI ВМО (см. подраздел «Территория региона» в разделе «Наборы данных и методы») за 1900–2022 гг. по данным из шести наборов данных (только для суши) и б) за 2022 г. по данным реанализа ERA5 по сравнению с базовым периодом 1991–2020 гг.

Источник: а) ВМО. Примечание: HadCRUT5, Berkeley Earth, NOAA GlobalTemp и GISTEMP основаны на наблюдениях *in situ*. ERA-5 и JRA-55 являются наборами данных реанализа. б) Реанализ ERA5 Службы по вопросам изменения климата в рамках программы «Коперник»/Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды (ЕЦСПП). Подробная информация о наборах данных и построении графиков представлена в подразделе «Температура» в разделе «Наборы данных и методы» в конце настоящего доклада.

В Европе в целом также наблюдалось самое теплое лето за всю историю наблюдений (на основе сезонных аномалий, начиная с 1950 года)¹³. Рекордно высокие годовые температуры были зарегистрированы в Западной и Юго-Западной Европе (где в нескольких странах наблюдался самый теплый год, включая Бельгию, Францию, Германию, Ирландию, Италию, Люксембург, Португалию, Испанию, Швейцарию и Соединенное Королевство Великобритании и Северной Ирландии). С 1990-х годов темпы потепления в Арктике значительно превышают среднемировой показатель, а над Северо-Западной Сибирью в 2022 году среднегодовые температуры были более чем на 3 °C выше среднего значения за 1991–2020 гг.

ОСАДКИ

Осадки, являющиеся важнейшей переменной для мониторинга климата, обычно подвержены большей пространственной и временной изменчивости, чем температура. Отсутствие осадков приводит к засухам, а их избыток может привести к паводкам и/или высокому расходу воды в реке и высокому уровню влажности почвы.

В среднем на большей части территории Региона VI ВМО количество осадков в 2022 году было ниже среднего по сравнению с базовым периодом 1991–2020 гг. (рисунок 3а). Наибольший годовой дефицит осадков наблюдался к югу от Финского залива, на юге Франции и северо-западе Италии, а также на островах в Эгейском море и на Ближнем Востоке. И наоборот, наибольший годовой избыток осадков наблюдался вдоль северного побережья Скандинавии, от Припятских болот (юг Беларуси, северо-запад Украины) до Приволжской возвышенности (европейская часть Российской Федерации), в районе Коста-Бланки (Испания), Крита (Греция), Внешних Гебридских островов (северо-запад Шотландии) и на Фарерских островах (Дания). 2022 год стал четвертым годом подряд для Пиренейского полуострова, в течение которого наблюдались условия засушливее среднего, и третьим годом подряд в горных регионах Альп и Пиренеев, в течение которого наблюдались условия засушливее среднего.

Аномалии наибольшего суточного количества осадков за год (RX1) относительно среднего многолетнего значения за 1991–2020 гг. показаны на рисунке 3б). Крупнейшие регионы с положительными аномалиями RX1, отмеченные синим цветом, расположены в Восточной Европе. В других частях Европы также наблюдались

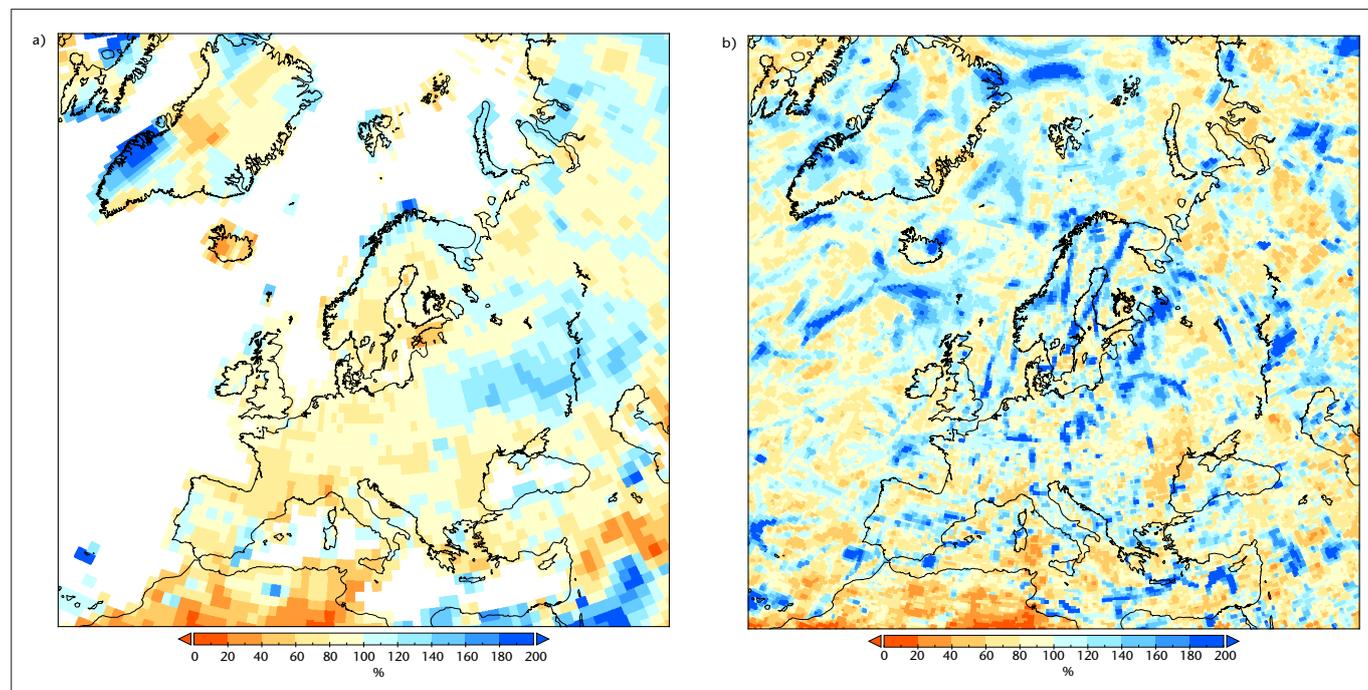


Рисунок 3. а) Относительная аномалия годового количества осадков в 2022 году по сравнению с 1991–2020 гг. Желтым, оранжевым и красным цветами показан дефицит осадков, а в регионах, отмеченных синим цветом, наблюдался избыток осадков. б) Отклонение наибольшего суточного количества осадков (RX1) в 2022 году от базового периода 1991–2020 гг. Синим цветом обозначены регионы, где RX1 выше среднегодового значения, а в регионах, отмеченных коричневым цветом, RX1 было ниже среднего многолетнего значения.

Источник: а) Глобальный центр климатологии осадков (ГЦКО), Метеорологическая служба Германии (DWD), Германия; б) ERA5 ЕЦСПП

положительные аномалии RX1, несмотря на то, что годовая сумма осадков была ниже нормы (например, в Западной, Южной и Центральной Европе). С другой стороны, не во всех регионах с годовым количеством дождевых осадков выше нормы наблюдались положительные аномалии RX1 (например, в районе Коста-Бланки).

КРИОСФЕРА

Криосфера – это замерзшая водная часть системы Земля, включающая ледяные щиты, ледяные шельфы, ледники, снежный покров, многолетнюю мерзлоту (мерзлый грунт), морской лед, речной и озерный лед, все из которых можно обнаружить на территории региона. Криосфера претерпевает значительные изменения по мере потепления Земли, и она играет важную роль в климатической системе, как это кратко описано ниже¹⁴.

ЛЕДНИКИ И ГРЕНЛАНДСКИЙ ЛЕДЯНОЙ ЩИТ

Лед на суше в виде ледяных щитов и ледников играет важную роль в климатической системе Земли благодаря своей способности накапливать огромное количество воды вдали от океанов в течение длительных периодов времени, а также благодаря своему влиянию на альбедо поверхности, отражая приходящую коротковолновую радиацию. Любое изменение массы льда, хранящегося на суше, например, когда ледяные щиты и ледники увеличиваются или сокращаются, оказывает влияние не только на местный климат, но и на глобальный средний уровень моря. Ледники и ледяные щиты набирают массу за счет накопления снега, а теряют массу в основном за счет поверхностного таяния при взаимодействии с атмосферой или во фронтальных областях при взаимодействии с озерной или океанической водой.

С 1997 по 2022 год ледники в Европе потеряли в объеме около 880 км³ льда. Больше всего льда за этот период потеряли ледники в Альпах, где толщина льда уменьшилась в среднем на 34 м (рисунок 4)¹⁵. В 2022 году ледники в европейских Альпах пережили новый рекорд потери массы – более 3 м водного эквивалента за один год, что обусловлено очень малым количеством снега в зимний сезон и очень теплым летом. Несколько пыльных бурь привели к значительному выпадению пыли, принесенной из пустыни Сахара, на многие европейские ледники, что способствовало ускоренному таянию зимнего снежного покрова¹⁶.

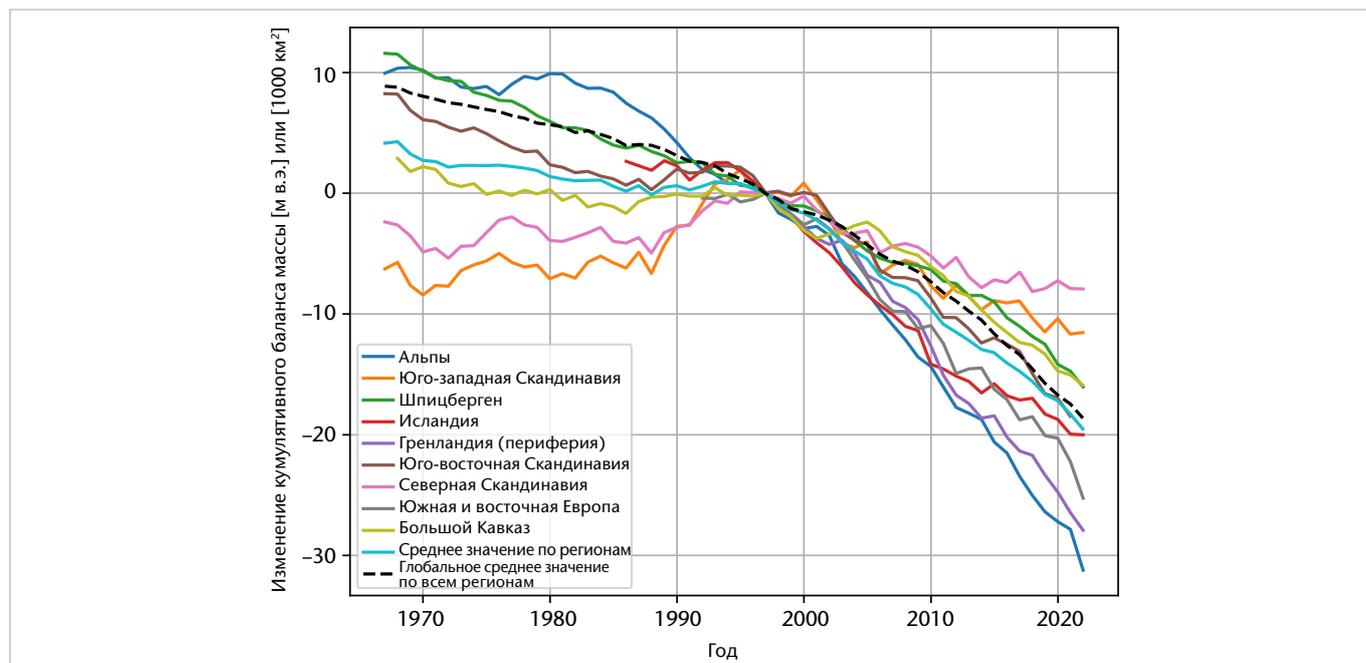


Рисунок 4. Изменения кумулятивного баланса массы ледников в Европе с 1967 по 2022 год, для ледников, по которым имеются многолетние ряды наблюдений, в девяти разных регионах. Значения баланса массы приведены в метрах водного эквивалента (м в.э.) относительно 1997 г. *Источник:* данные Всемирной службы мониторинга ледников (ВСМЛ) (2021 г., обновлено). График, первоначально опубликованный в рамках Climate Indicators – Glacier Indicator (Климатические индикаторы – ледники) C3S, по состоянию на 20 апреля 2023 года: <https://climate.copernicus.eu/climate-indicators/glaciers>.

В период с 1972 по 2021 год Гренландский ледяной щит потерял 5362 ± 527 Гт площади льда, что способствовало повышению глобального среднего уровня моря на $14,9 \pm 1,5$ мм¹⁷. В 2021 году, последнем году, за который имеются сводные данные (рисунок 5), Гренландский ледяной щит потерял 234 ± 86 Гт льда, что меньше, чем в рекордном 2019 году, в течение которого потери льда в Гренландии достигли пикового значения в 444 ± 93 Гт из-за интенсивного поверхностного таяния. Согласно независимым оценкам из различных источников в течение 2022 года Гренландский ледяной щит продолжил терять массу¹⁸. Кроме того, в сентябре 2022 года в Гренландии наблюдалось повсеместное поверхностное таяние, причем в сентябре наблюдалось самое большое таяние за более чем два десятилетия.

МОРСКОЙ ЛЕД

Протяженность морского льда в европейском секторе Арктики¹⁹ оставалась относительно близкой к среднему значению за 1991–2020 гг. с января до середины мая, затем быстро снизилась до уровня ниже среднего в начале июня и выровнялась около середины июля (рисунок 6). В сентябре во время годового минимума среднемесячная протяженность была на 6 % ниже средней, что является четырнадцатым самым низким показателем за весь период спутниковых наблюдений за 1979–2022 гг. Затем, начиная с октября, она оставалась стабильно ниже среднего значения. Сентябрь 2022 года резко контрастировал с сентябрем 2021 года, когда морской лед в европейском секторе Арктики достиг самой низкой за всю историю наблюдений протяженности – на 40 % ниже среднего значения. Рекорд 2021 года был достигнут благодаря рекордно низкой протяженности в Гренландском море. В 2022 году протяженность морского льда в этой части региона оставалась относительно близкой к среднему значению в течение всего года. Резкое сокращение в конце мая и начале июня 2022 года стало следствием теплых южных ветров над Баренцевым морем, которые вызвали быстрый дрейф и отступление кромки морского льда по направлению к северу. Протяженность морского льда в этой части европейского сектора Арктики оставалась ниже среднего значения до конца года, в основном из-за того, что площадь морского ледяного покрова между Шпицбергом (Норвегия) и Землей Франца-Иосифа (Российская Федерация) была значительно ниже среднего значения.

Протяженность морского льда в Балтийском море часто характеризуется его максимальной протяженностью в зимний сезон. Зимой 2021/22 гг. максимальная протяженность порядка 93 000 км² была зафиксирована в начале февраля, поэтому данный сезон охарактеризован как «слабая ледовая зима»²⁰. Это был десятый самый низкий максимум протяженности за последние четыре десятилетия и пятьдесят пятый самый низкий показатель за всю историю регистрации данных за более чем 300 лет²¹.

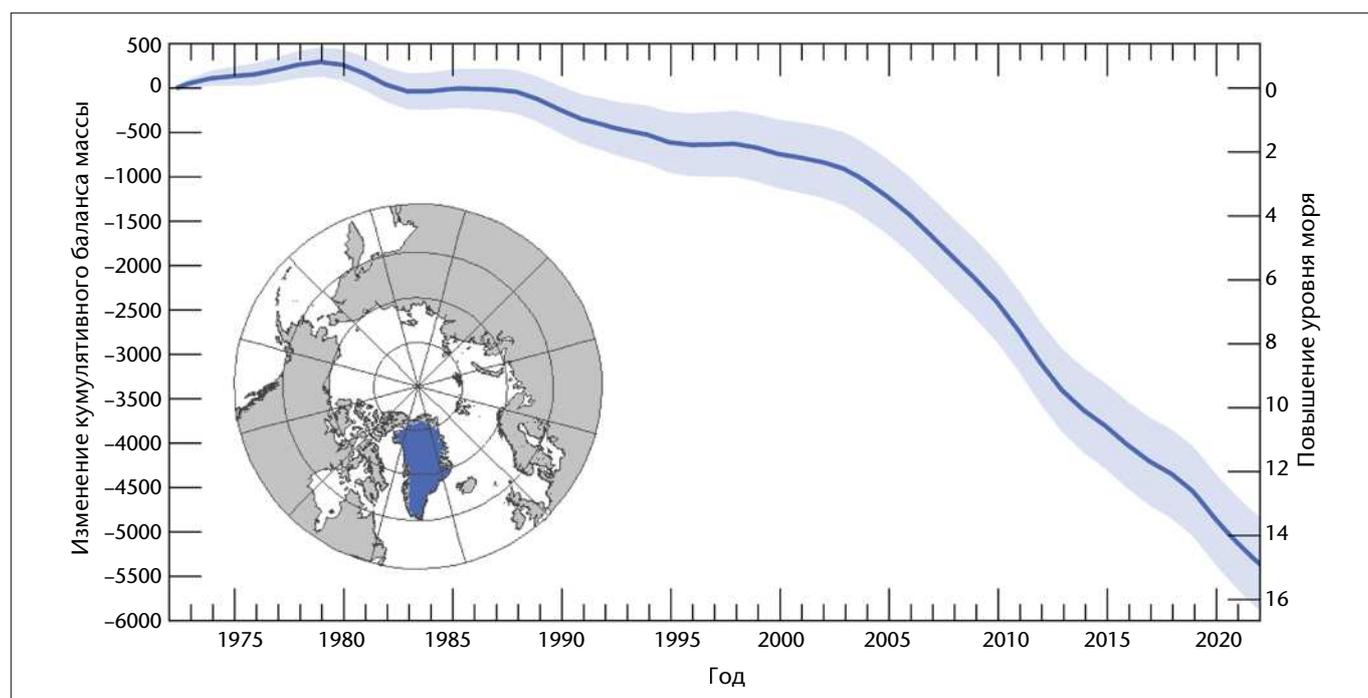


Рисунок 5. Кумулятивный баланс массы Гренландского ледяного щита и соответствующий вклад в глобальный средний уровень моря в период с 1972 по 2021 гг. (метка года указывает на начало года). Затенением обозначена совокупная неопределенность.

Источник: данные Сравнительного анализа баланса массы ледяного щита (IMBIE): <http://imbie.org/>

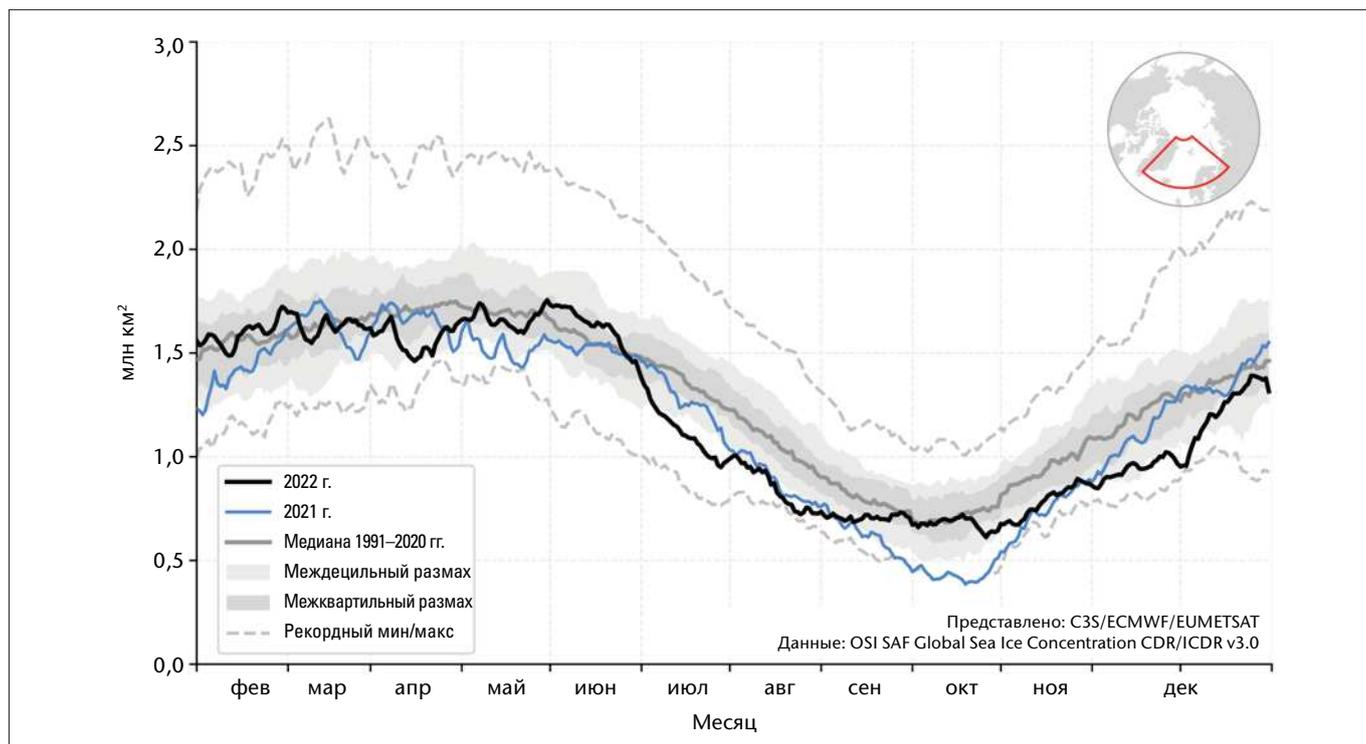


Рисунок 6. Суммарная суточная протяженность морского льда в европейском секторе Арктики в 2021 г. (синим цветом) и 2022 г. (черным цветом). На графике серыми оттенками показаны суточная медиана (сплошная линия), междуцельный размах (светлое затенение) и межквартильный размах (темное затенение) за базовый период 1991–2020 годов, а также суточный минимум и максимум за 1979–2022 гг. (штриховые линии). Европейский сектор Арктики обведен красным цветом на карте-врезке.

Источник: протяженность морского льда, полученная на основе данных EUMETSAT Ocean and Sea Ice Satellite Application Facilities (OSI SAF) Global Sea Ice Concentration (Interim) Climate Data Record v3.0: <https://osi-saf.eumetsat.int/products/osi-430-a>

ОКЕАН

Регион VI ВМО включает несколько крупных океанических бассейнов, субрегионов и крупных озер: восточную часть Атлантического сектора Арктики, Северное, Балтийское, Средиземное и Черное моря, а также часть Каспийского моря. Они играют важную роль в определении климатических и погодных условий в регионе и находятся под сильным влиянием глобальных и региональных изменений климата.

ТЕМПЕРАТУРА ПОВЕРХНОСТИ МОРЯ

Поверхность моря представляет собой границу между океаном и атмосферой. Ее температура имеет ключевое значение для мониторинга потоков энергии между ними и для понимания роли, которую играют океаны в формировании погоды и климата. Температура поверхности моря (ТПМ) является основным показателем потепления океана, а теплосодержание океана дает информацию о потеплении на глубине. В индустриальную эпоху наблюдалось общее потепление всех основных океанических бассейнов региона, хотя темпы потепления различаются.

2022 год стал самым теплым за всю историю наблюдений с точки зрения средней ТПМ в районе Северной Атлантики Европейского региона ВМО, следуя долгосрочному тренду повышения на $0,23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,04\text{ }^{\circ}\text{C}$ за десятилетие (рисунок 7b), 1)). Для сравнения отмечается, что глобальная средняя ТПМ за последние десятилетия увеличивалась со скоростью $0,15\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,01\text{ }^{\circ}\text{C}$ за десятилетие. Тренд ТПМ по заданному району превышен на субрегиональном уровне, при этом самые высокие темпы наблюдались в Черном море на уровне $0,54\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,10\text{ }^{\circ}\text{C}$ за десятилетие, затем в Балтийском море на уровне $0,48\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,11\text{ }^{\circ}\text{C}$ за десятилетие, а затем в Средиземном море на уровне $0,38\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,05\text{ }^{\circ}\text{C}$ за десятилетие (рисунок 7b), 2)–4)). Аналогичным образом, самые высокие темпы потепления поверхностного слоя океана в региональном масштабе, превышающие средние темпы глобального потепления в 3–4 раза, наблюдаются в восточной части региона, например, в южной части Арктики, на всем Балтийском и Черном морях и в восточном бассейне Средиземного моря

(рисунок 7a)). На остальной части Средиземноморского бассейна потепление в 2-3 раза превышает глобальную среднюю скорость потепления поверхности океана, в то время как северо-западная часть Европейского шельфа нагревается со скоростью $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}-0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ за десятилетие. На самой западной окраине за последнюю четверть десятилетия отмечается незначительное похолодание, которое связано с колебаниями в этой области, называемыми североатлантической «дырой потепления» или североатлантическим «холодным пузырем», и которое более подробно рассматривается в разделе «Теплосодержание океана».

ТЕПЛОСОДЕРЖАНИЕ ОКЕАНА

Океаны приняли на себя до 90 % дополнительного тепла, обусловленного антропогенными выбросами парниковых газов. Это привело к заметному потеплению, которое будет необратимым в масштабах от столетия до тысячелетия^{22,23,24}. МГЭИК пришла к выводу о том, что «практически достоверно, что с 1970-х годов произошло потепление верхнего слоя Мирового океана (0–700 м), и крайне вероятно, что основным фактором является влияние человека»²⁵.

В последние годы среднее потепление верхнего слоя океана (глубина 0–700 м) в регионе (см. область, выделенную черной линией, как показано на рисунке 8a)) находилось под преобладающим влиянием межгодовой изменчивости в субполярной Северной Атлантике, накладываясь на долгосрочный тренд потепления²⁶. Неопределенность скорости потепления высока, и данный тренд не является значительным (рисунок 8b)). В региональном масштабе такое потепление наиболее очевидно в Средиземном море, достигая более $2\text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$ в восточном бассейне. На атлантической окраине региональные темпы потепления океана составляют около $0,5-1,0\text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$. Точнее говоря, область на самом западном краю Региона VI ВМО характеризуется похолоданием в десятилетнем масштабе, которое достигает более $-2\text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$ за период 1993–2022 гг. (рисунок 8a)). Изменения в этой области связаны с так называемой североатлантической «дырой потепления», также называемой североатлантическим «холодным пузырем» – особенностью, которую связывают с такими явлениями, как изменения в высокоширотной океанической циркуляции и процессами «воздух-море», которые связаны с изменениями в облаках нижнего яруса^{27,28}.

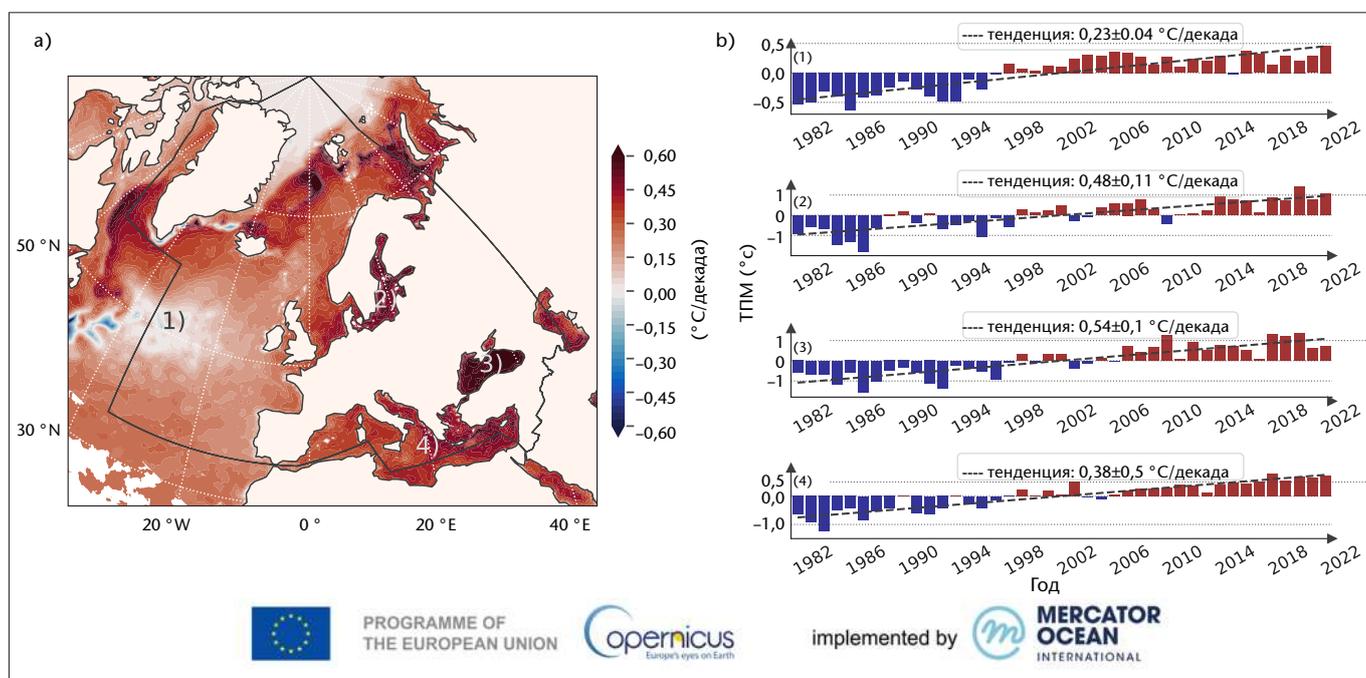


Рисунок 7. а) Тренды ТПМ ($^{\circ}\text{C}$ за десятилетие) за период 1982–2022 гг. б) Усредненные по площади временные ряды аномалий ТПМ ($^{\circ}\text{C}$) относительно базового периода 1982–2022 гг. для областей, указанных на рисунке 7а): 1) Северной Атлантики; 2) Балтийского моря; 3) Черного моря; и 4) Средиземного моря. Европейский регион ВМО обозначен черной линией.

Источник: Служба данных о морской среде программы «Коперник»/Меркатор Осеан Интернасьональ, Франция. Получены на основе продукции дистанционного зондирования за 1982–2021 гг. (см. <https://doi.org/10.48670/moi-00168>) и за 2022 г. (см. <https://doi.org/10.48670/moi-00165>), загруженной с портала Службы данных о морской среде программы «Коперник».

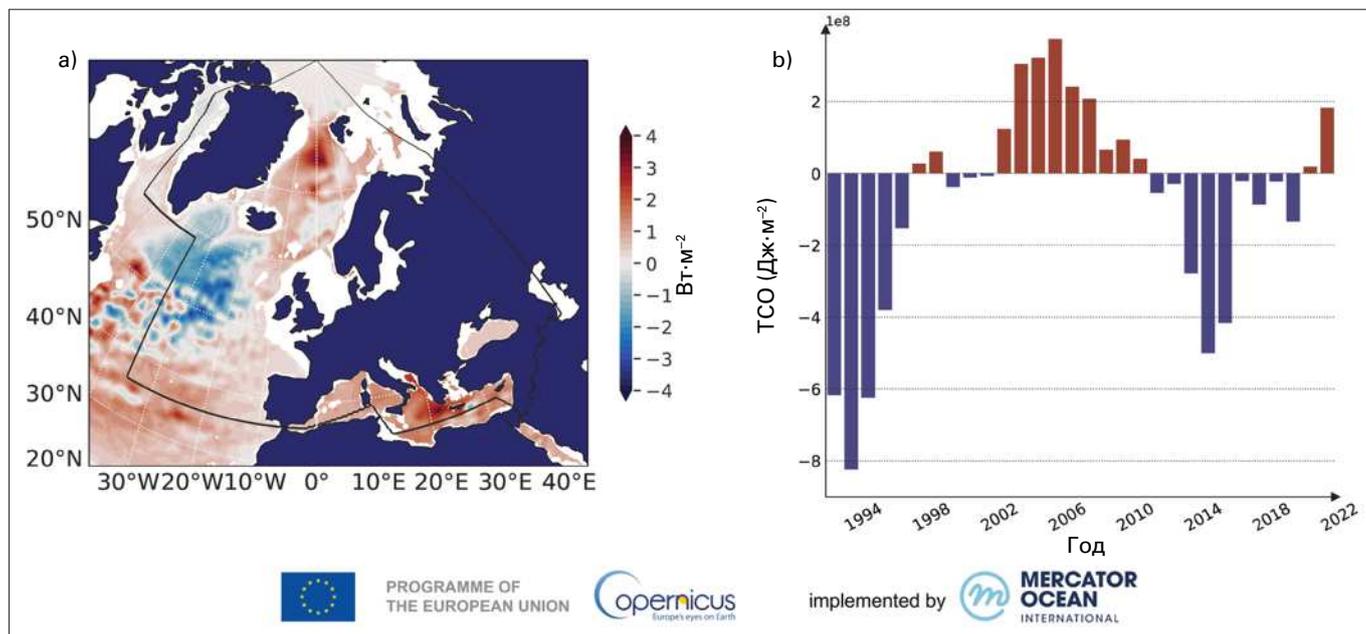


Рисунок 8. а) Региональные аномалии теплосодержания океана (глубина 0–700 м) за 2022 г. (относительно климатологии за 2005–2022 гг.). Европейский регион ВМО обозначен черной линией. Белые области – это регионы, где океан мельче 300 м, которые были исключены из данного анализа из-за ограничений плотности океанических измерений. б) Годовые аномалии теплосодержания океана за период 1993–2022 гг. (относительно климатологии за 2005–2022 гг.). Источник: Служба данных о морской среде программы «Коперник»/Меркатор Осеан Интернасьональ, Франция. Получены на основе продукции с использованием данных наблюдений, распространяемой Службой данных о морской среде программы «Коперник» (<https://doi.org/10.48670/moi-00052>)

УРОВЕНЬ МОРЯ

Изменения среднего уровня моря отражают как тепловое расширение океана вследствие потепления, так и потерю массы ледяных щитов и ледников²⁹. Долгосрочные и межгодовые колебания уровня моря

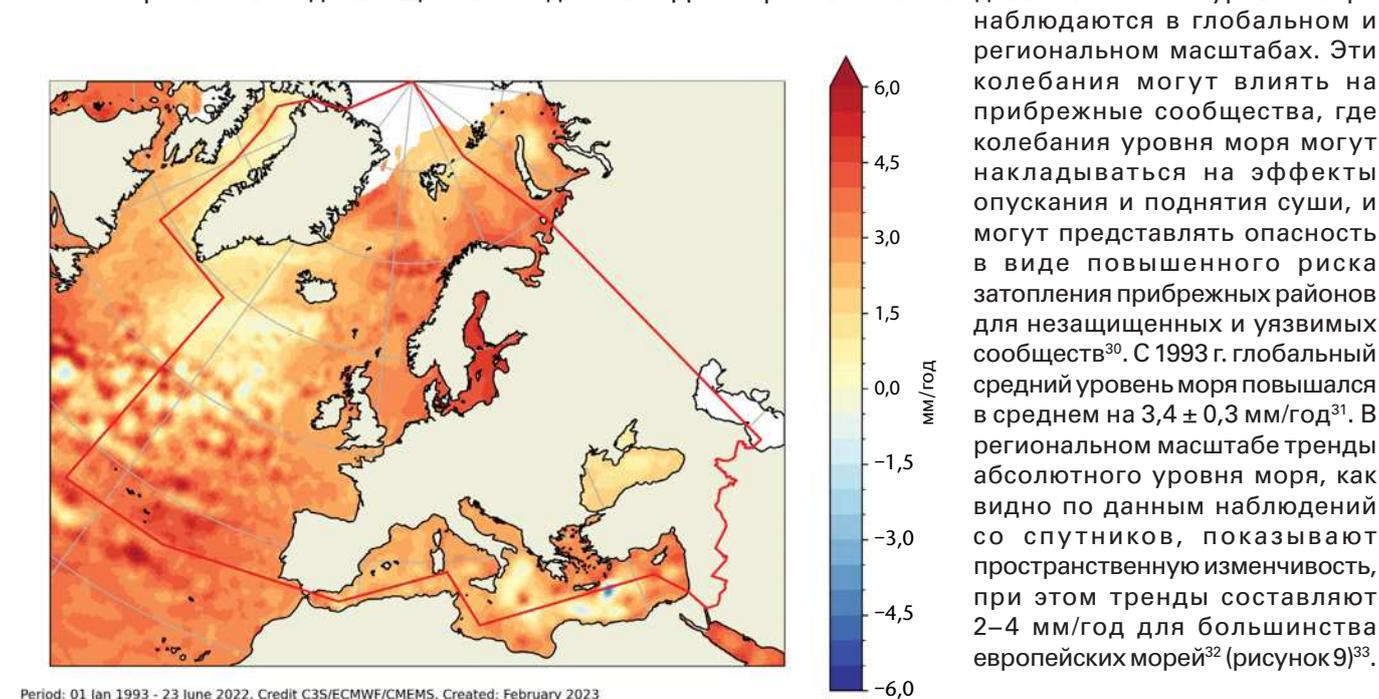


Рисунок 9. Тренды уровня моря (мм/год) по данным спутниковой альтиметрии с января 1993 г. по июнь 2022 г. Данные не были скорректированы с учетом ледниковой изостатической коррективы и инструментального дрейфа TOPEX-A. Красной линией обозначен Регион VI ВМО (Европа). Источник: Показатель мониторинга океана Службы мониторинга морской среды программы «Коперник» (CMEMS), на основе продукции C3S по уровню моря.

Основные режимы атмосферной циркуляции в регионе в 2022 году

Что касается регионального климата, то, несмотря на тренды потепления в десятилетнем масштабе, межгодовая изменчивость все же случается как реакция на определенные климатические факторы. На протяжении большей части 2022 года среднемесячная температура, усредненная по Региону VI ВМО, была выше нормы. Североатлантическое колебание (САК), описывающее изменения силы двух повторяющихся режимов давления в атмосфере над Северной Атлантикой, играет ключевую роль в изменчивости климата в Европейском регионе.

САК было положительным с начала года и до марта, способствуя тому, что начало года выдалось теплым на большей части Европы, и потеплению в Северной Европе в марте (см. рисунок 10, ежемесячный индекс САК в 2022 г.). Связанное с этим сильное струйное течение принесло некоторые из названных штормов в феврале, а с блокирующими условиями, возникшими весной 2022 г., было связано резкое похолодание в апреле.

В течение лета полоса высокого давления, простирающаяся над центральной частью Северной Атлантики, Западной Европой и Северо-Восточной Европой, в соответствии с положительным индексом САК способствовала установлению рекордных температур и формированию засушливых условий в этих регионах. Длительные периоды антициклонических условий и постоянное отсутствие осадков на больших территориях Европы с зимы до лета усилили возникновение волн тепла в летний период.

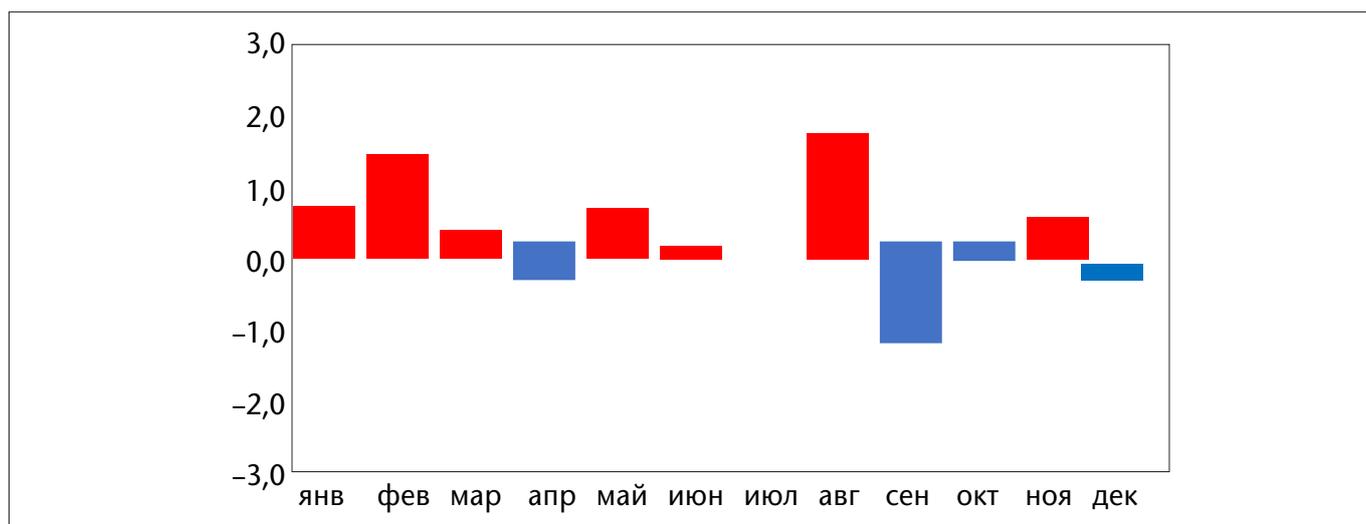


Рисунок 10. Среднемесячные значения индекса Североатлантического колебания (САК) в 2022 г.

Источник: данные Центра прогнозирования климата (ЦПК) Национального управления по исследованию океанов и атмосферы (НУОА)

Экстремальные явления и их воздействия

ОБЩИЙ ОБЗОР

В регионе в 2022 году наблюдалось несколько экстремальных явлений, связанных с погодой, климатом и водой. Описание некоторых явлений исключительных масштабов представлено в следующих подразделах.

Согласно информации, содержащейся в Международной базе данных о чрезвычайных ситуациях (EM-DAT)³⁴, в 2022 году в Европе было зарегистрировано 40 опасных метеорологических, гидрологических и связанных с климатом явлений, в результате которых погибло 16 365 человек и непосредственно пострадало 156 000 человек (рисунок 11). Около 67 % явлений были связаны с паводками и штормами, которые привели к десяткам погибших и на которые пришлось 99,9 % общего экономического ущерба (около 2 млрд долларов США, что гораздо меньше по сравнению с 50 млрд долларов США в 2021 году, в основном из-за паводков в июле 2021 года в Западной и Центральной Европе). Гораздо более серьезными с точки зрения смертности были волны тепла (13 % всех явлений), которые привели к 16 305 избыточных случаев смерти, что составляет 99,6 % всех случаев смерти. Воздействия экстремальных явлений в 2022 году могли бы быть хуже, если бы они не были включены в базу данных из-за отсутствия данных.



Рисунок 11. Экстремальные явления, связанные с погодой, климатом и водой, в Европе в 2022 году. Примечание: численные показатели воздействий некоторых бедствий могут отсутствовать из-за недостатка данных. О некоторых транснациональных явлениях пострадавшие страны могут сообщать отдельно.

Источник: данные EM-DAT

СИЛЬНЫЕ ОСАДКИ И ПАВОДКИ

11 января шторм «Диомед» над Восточным Средиземноморьем вызвал сильные дожди, особенно в Греции, в частности, в восточном регионе Фессалии, на Спорадских островах и в соседних префектурах Македонии. Метеорологическая станция Национальной обсерватории Афин в деревне Портария зарегистрировала более 340 мм дождевых осадков за 16 часов, что приближается к годовой сумме осадков в Афинах (378 мм на станции Фиссио недалеко от центра Афин). Два человека погибли в результате паводков в регионе Центральной Македонии, еще один человек погиб в городе Кардица в регионе Фессалии.

В сентябре в некоторых районах Южной Европы прошли сильные дожди и паводки. В центральной Италии 15–16 сентября проливные дожди вызвали паводок в регионе Марке. Многие районы остались без электричества, телекоммуникаций и питьевой воды. Люди укрывались на крышах домов и на деревьях, спасаясь от паводка. За 12 часов выпало 419 мм осадков, что эквивалентно среднему значению осадков за четыре месяца. Несколько водотоков и рек вышли из берегов. 16 сентября Совет министров Италии объявил чрезвычайное положение сроком на 12 месяцев. В Хорватии в Риеке в конце сентября в общей сложности выпало 287,5 мм осадков за 24 часа (с 05:00 ВСУ 28 сентября до 05:00 ВСУ 29 сентября). Это превышает предыдущую максимальную сумму осадков за 24 часа, зарегистрированную на этой станции в сентябре 2013 года (248,9 мм). Дождь вызвал разрушительные быстроразвивающиеся паводки, один человек погиб в Риеке.

В ноябре сильные дожди и град причинили серьезный ущерб в восточной и центральной Испании. Сообщалось о паводках в регионах Валенсия, Кастилия и Леон. Аэропорт Валенсии был закрыт из-за затопления. В нескольких местах в этих регионах за 48 часов в общей сложности выпало 150–300 мм осадков, в том числе, например, 208,4 мм в аэропорту Валенсии. В ноябре в аэропорту было побито несколько рекордов по осадкам: самый интенсивный ливень (66,1 мм за один час), суточная сумма осадков (148,4 мм) и общая сумма осадков за ноябрь (211,1 мм).

12 декабря шторм «Гайя» принес сильные дожди – более 200 мм за 24 часа, вызвав затопление в некоторых районах провинции Анталия в Турции. В Финике в Анталии за 24 часа выпало 253,8 мм осадков. Дождь вызвал переполнение нескольких водотоков, что привело к разрушительным паводкам и проблемам с транспортом. В результате паводка был нанесен ущерб примерно 500 транспортным средствам, около 100 домам и более 1200 гектарам посевов и сельскохозяйственных угодий.

ЗАСУХА

В течение всего года большая часть Европы страдала от засухи. Из-за положительной фазы САК и блокирующих условий в зимний сезон (с декабря 2021 г. по февраль 2022 г.) в крупных регионах Юго-Западной Европы преобладала засуха (рисунок 12а)). К концу февраля 96 % территории Португалии находилось в условиях сильной или экстремальной засухи.

Весной дефицит осадков и почвенной влаги отмечался на весьма обширных территориях Европы, за исключением Пиренейского полуострова, где осадки привели к временному улучшению условий (рисунок 12б)). Масштабы засухи достигли своего пика в начале августа. Это произошло после того, как Западная и Центральная Европа также недавно пережили засуху летом 2018, 2019 и 2020 годов.

Был зафиксирован меженный сток некоторых крупных рек Европы. Низкий уровень воды в реке По сказался на производстве сельскохозяйственных культур и позволил морской воде проникнуть почти на 40 км вглубь материковой части, что негативно повлияло на речные экосистемы. Крайне скудный сезон снегопадов также способствовал критически низкому уровню воды в реке По и других реках. Правительство Италии 4 июля объявило чрезвычайное положение в пяти регионах, в которых проживает 42 % населения Италии. Недостаточное количество воды привело к сокращению производства как гидро-, так и термоэлектроэнергии. В некоторых регионах, например, в Ломбардии, недостаток осадков привел к снижению общих запасов воды (озера, водохранилища и водный эквивалент снега) ниже минимума, наблюдавшегося за последние 15 лет.

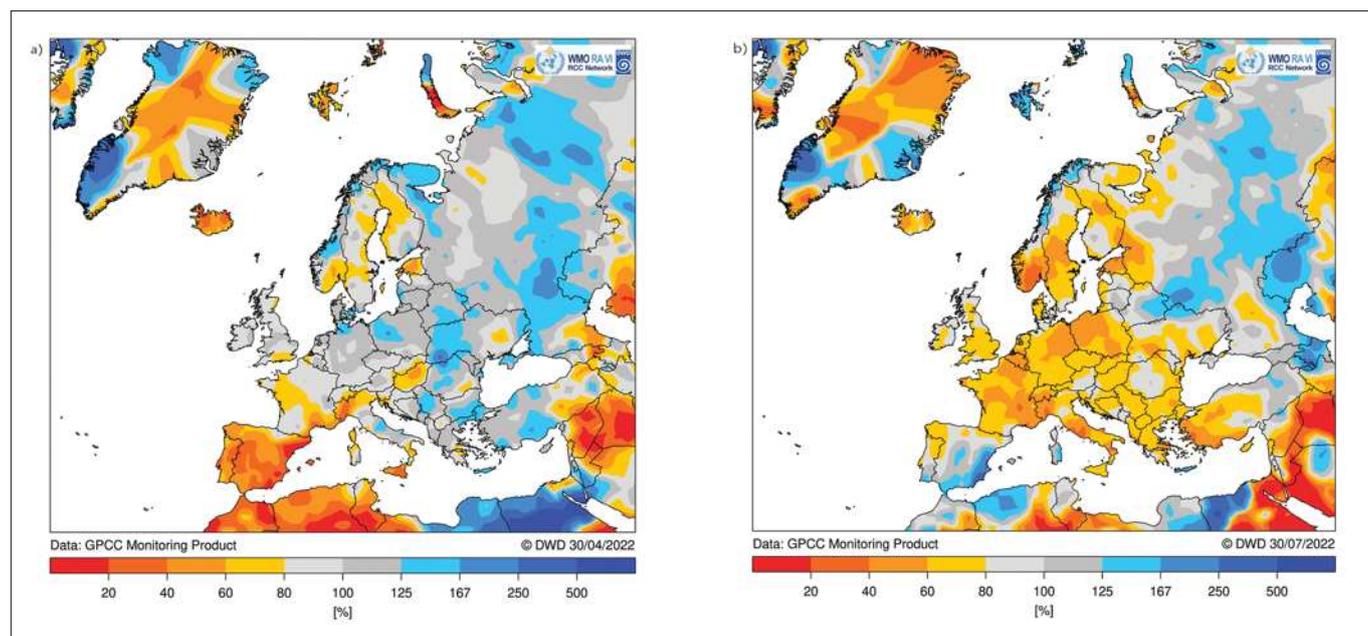


Рисунок 12. а) Осадки (в процентах от среднего значения за 1991–2020 гг.) за зиму 2021/22 гг. и б) весну 2022 г.
Источник: [Глобальный центр климатологии осадков \(ГЦКО\)](#), Метеорологическая служба Германии (DWD), Германия

В континентальной Франции к середине августа в 71 из 96 департаментов были введены ограничения на использование воды в связи с предупреждениями о засухе. В некоторых районах полностью отсутствовала водопроводная вода. Фермеры больше не могли орошать свои поля, что имело серьезные последствия для сельскохозяйственного производства. Во Франции период с января по сентябрь, а в Соединенном Королевстве и Уккеле (Бельгия) период с января по август стали самыми сухими с 1976 года.

Производство как гидро-, так и термоэлектроэнергии было снижено из-за осадков значительно ниже среднего уровня, что привело к снижению уровня воды в реках и водохранилищах. Во Франции низкий речной сток и высокая температура воды в реках привели к снижению мощности на некоторых атомных электростанциях³⁵.

В Португалии и Испании дефицит осадков в гидрологическом году (с октября 2021 г. по сентябрь 2022 г.) отразился на уровне воды в водохранилищах. К 26 июля запасы воды в Испании сократились до 41,9 % от общего объема, а в некоторых бассейнах, таких как Гвадалквивир на юге Испании, их объем еще меньше – 25,6 %.

Засуха также была обширной в центральной Европе, что сказалось на сельском хозяйстве. В Германии был сокращен сбор урожая зерновых культур, а позднее летом – сахарной свеклы, кукурузы и винограда. На некоторых участках реки Рейн был зарегистрирован новый рекордно низкий уровень воды. В трех штатах в западно-центральной части Германии было зарегистрировано самое засушливое лето за всю историю наблюдений, в регионе, который предыдущим летом пережил экстремальные паводки. В Польше около 64 % гидрометрических станций национальной сети наблюдений зафиксировали низкий уровень воды в реках. Период с мая по середину августа был вторым самым сухим периодом в западной Швейцарии с момента начала измерений в 1864 году.

Второе самое засушливое лето, а затем вторая самая теплая осень привели к формированию засушливых условий и дефициту воды в Армении с конца июля по сентябрь. К концу года в Турции началась сильная засуха, которая распространилась на Сирийскую Арабскую Республику. Продолжающиеся необычайно засушливые условия привели к дефициту воды. Цены на продовольствие в Сирийской Арабской Республике выросли почти вдвое по сравнению с 2021 г., и эта ситуация еще больше усугубилась из-за конфликта в Украине. В Сирийской Арабской Республике 13,9 миллионов человек (64 % населения) столкнулись с проблемой отсутствия продовольственной безопасности³⁶.

ВОЛНЫ ТЕПЛА И ЛЕСНЫЕ ПОЖАРЫ

В течение лета Европа пережила несколько исключительно сильных волн тепла (рисунок 13). Наиболее суровые волны тепла наблюдались в середине июля, когда во многих местах были зафиксированы рекордные температуры. Температура впервые достигла 40 °C в Великобритании, при этом 19 июля в Конингсби она составила 40,3 °C, что на 1,6 °C выше предыдущего национального рекорда (38,7 °C в Кембриджском ботаническом саду 25 июля 2019 г.). В Ирландии температура 33,0 °C 18 июля в Феникс-парке, графство Дублин, была самой высокой с 1887 г. Во многих местах, особенно на севере Англии и на западе Франции, были побиты предыдущие рекорды более чем на 3 °C. Среднесуточная температура воздуха в центральной Англии была на 2,8 °C выше ее предыдущего максимального значения за 250 лет ежедневных наблюдений. В Германии в Гамбурге-Нойвидентале 20 июля показатель 40,1 °C стал самым северным показателем, достигшим 40 °C, за всю историю наблюдений. Жара распространилась далеко на север Швеции, где 21 июля в Мелилле температура 37,2 °C была самой высокой в стране с 1947 г. В середине августа в Северо-Восточной Европе наблюдались сильные волны тепла, при этом были установлены рекорды в Финляндии, Эстонии, Латвии и на западе Российской Федерации, где температура достигла 31,1 °C в Санкт-Петербурге.

Жара также распространилась на восток и юг. В Словакии суточная максимальная температура воздуха 21 июля (40,0 °C) является третьим по величине значением за июль и четвертым по величине значением за всю историю измерений в этой стране. Новый месячный рекорд был установлен 23 июля в Словении (39,4 °C), а второй самый жаркий день с 1881 г. был зарегистрирован в Загребе в Хорватии (39,1 °C). В Португалии в июле в Пиньяне температура достигла 47,0 °C, что является самой высокой температурой июля, зарегистрированной в стране. В Италии был установлен ряд температурных рекордов за июнь, в том числе 40,0 °C на станции Рома-Урбе (Рим) 27 июня. В Испании на Балеарских островах 13 августа были побиты многочисленные рекорды самых высоких месячных максимальных и минимальных температур. Впервые температура на станции аэропорта Ибицы превысила 40 °C.

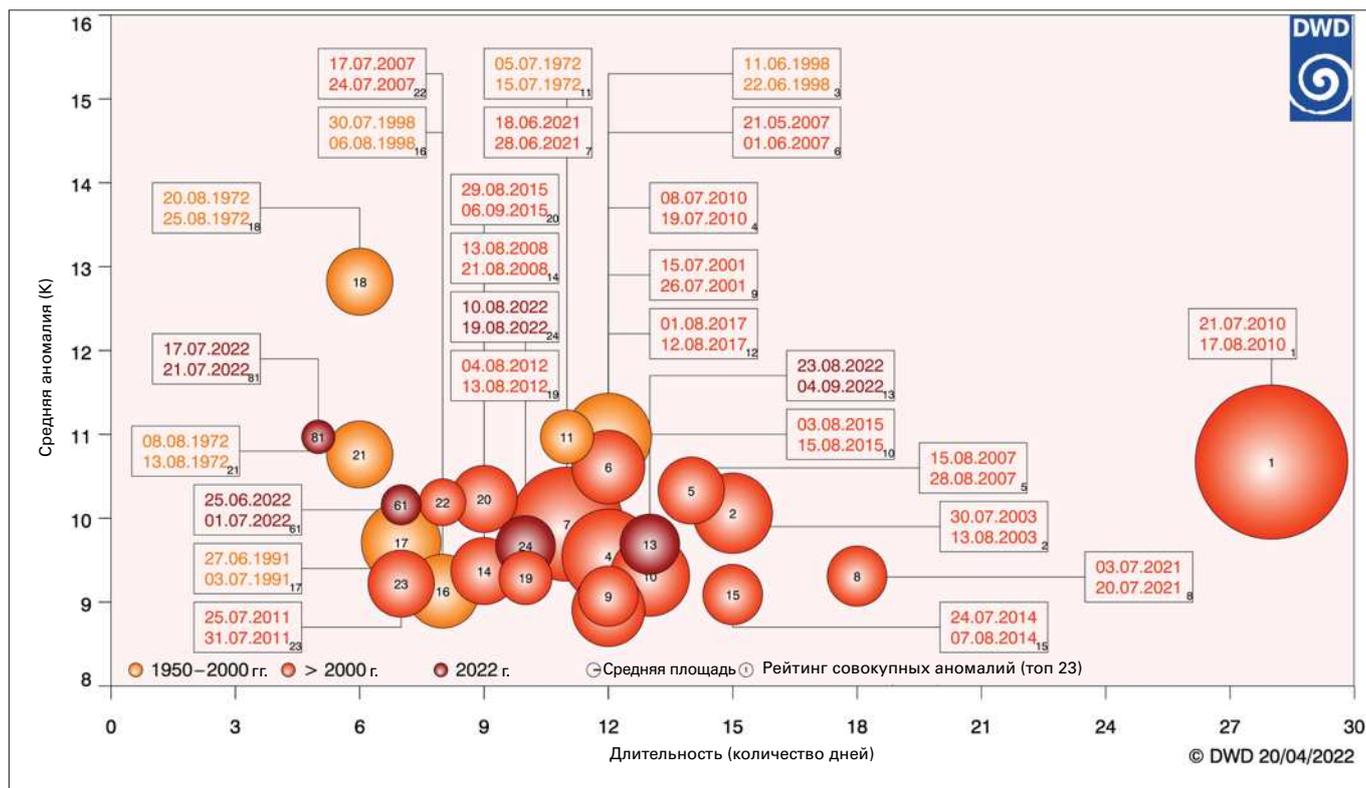


Рисунок 13. 23 наиболее суровые волны тепла в Европе за 1950–2022 годы, пронумерованные в порядке степени суровости от 1 до 23. Волны тепла в 2022 г. обозначены темно-красным цветом.

Источник: Метеорологическая служба Германии (DWD): https://www.dwd.de/EN/ourservices/rcccm/int/rcccm_int_hwkltr.html. См. также примечание о методологии [здесь](#).

Оценку смертности только из-за жары установить трудно, поскольку на показатели смертности также повлияла коронавирусная инфекция COVID-19.

Тем не менее, по официальным оценкам избыточная смертность составила приблизительно 4600 человек в Испании³⁷, 4500 человек в Германии³⁸, 2800 человек в Соединенном Королевстве (среди лиц в возрасте 65 лет и старше)³⁹, 2800 человек во Франции⁴⁰ и 1000 человек в Португалии⁴¹.

Жара и засуха способствовали возникновению многочисленных лесных пожаров по всему региону, которые привели к образованию второй по величине выжженной площади за всю историю наблюдений (после 2017 г.). Крупные лесные пожары произошли во Франции, Испании, Португалии, Словении и Чехии, и во многих других странах в 2022 году площадь выжженных территорий также превышала средние показатели. По оценкам Европейской системы информации о лесных пожарах (EFFIS) общая площадь выжженных территорий по всему ЕС составляет более 800 000 гектаров⁴².

Армения пережила вторую самую теплую осень с 1935 года, а потепление, наблюдавшееся во второй половине ноября, привело к рекордным суточным максимальным температурам на более чем 10 станциях. Температура на станциях, расположенных выше 1 км над уровнем моря, достигала 22 °С.

МОРСКИЕ ВОЛНЫ ТЕПЛА

Морская волна тепла – это относительно длительный период необычайно высокой температуры океана в том или ином регионе⁴³. Такие волны тепла становятся широко распространенным фактором стресса для морских экосистем во всем мире. Морские волны тепла представляют угрозу для важных экосистем на уровне особей, популяций и сообществ, особенно для коралловых рифов и растительного слоя морского дна. Они могут вызвать миграцию видов и массовое вымирание, а также привести к значительным экономическим потерям в рыболовстве и аквакультуре. Частота, продолжительность и интенсивность морских волн тепла значительно увеличиваются в связи с происходящим антропогенным глобальным потеплением⁴⁴.

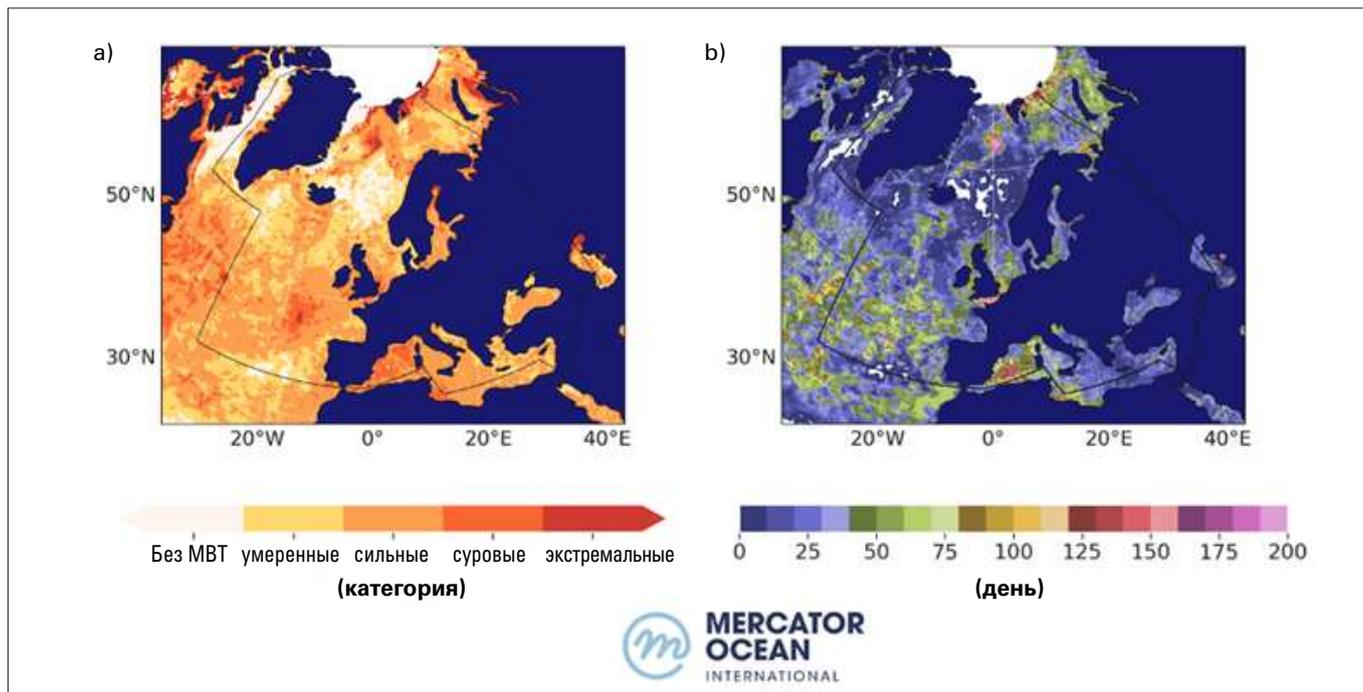


Рисунок 14. Карта, показывающая а) наивысшую категорию морских волн тепла (определения см. в подразделе «Морские волны тепла и периоды морских похолоданий» в разделе «Наборы данных и методы»), наблюдаемую на каждом пикселе в 2022 году, и б) максимальную продолжительность морских волн тепла в течение 2022 года.

Источник: Меркатор Осеан Интернасьональ, Франция. Получены на основе продукции дистанционного зондирования <https://doi.org/10.48670/moi-00168> за 1982–2021 гг. и <https://doi.org/10.48670/moi-00165> за 2022 год, загруженной с портала Службы данных о морской среде программы «Коперник».

В 2022 году значительная часть региона пострадала от сильных или даже суровых и экстремальных морских волн тепла. Некоторые периоды морских волн тепла длились примерно 4–5 месяцев, например, в западной части Средиземного моря, Ла-Манше, южной части Арктики и северной части Баренцева и Карского морей (рисунок 14). Другие районы, которые были подвержены суровым или экстремальным морским волнам тепла, длящимся около 1–2 месяцев, включают западную часть Средиземного моря, Баренцево и Карское моря, юго-западную часть Балтийского моря, Северное море и крупные районы северной части Атлантического океана (в том числе к юго-западу от Ирландии и в районе Бискайского залива). Например, в Средиземном море аномалии температуры поверхности моря летом 2022 года (июнь–август) достигли значений $+4,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ в некоторых местах, превысив значения лета 2003 года, которые были рекордно высокими⁴⁵. Интенсивность волны тепла была максимальной в северных частях западного Средиземноморья, снижаясь к югу и востоку. В Лигурийском море максимальная интенсивность волны тепла была достигнута 21 июля и сохранялась до сентября.

ВОЛНЫ ХОЛОДА, СИЛЬНЫЕ СНЕГОПАДЫ И ЗАМОРОЗКИ

Хотя 2022 год характеризовался многочисленными периодами потепления, было зафиксировано несколько значительных похолоданий и сильных снегопадов.

В юго-восточной части Турции из-за снегопада и низких температур 18–19 января автомобили застряли на крупной автомагистрали, и помощь оказывалась вертолетами. Такие погодные условия являются редкостью для региона, при этом в Газиантепе (где средний минимум за 1991–2020 гг. составляет $0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$) была зарегистрирована температура $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$, а в районе Озалп, расположенном на возвышенности, была зарегистрирована температура $-34,4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Эти зимние условия также затронули северо-запад Сирийской Арабской Республики и сотни лагерей беженцев, расположенных вдоль турецкой границы. Температура в Алеппо упала до $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$, а в Камышли до $-9,8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Многие палатки не выдерживали тяжести выпавшего снега.

В Греции, в том числе в Афинах, 24–26 января прошел суровый зимний шторм под названием «Элпиди» (или Элпис), температура воздуха опустилась до $-14\text{ }^{\circ}\text{C}$ и пошел сильный снег. Власти закрыли школы,

государственные учреждения и все частные предприятия в столице, за исключением супермаркетов, аптек и автозаправочных станций. По меньшей мере 200 000 домов и предприятий в Афинах остались без электричества, некоторые из них – на несколько дней. Хотя в центральных Афинах и на островах Эгейского моря снег бывает редко, это был второй случай за 12 месяцев, когда в этом регионе наблюдалась сильная снежная буря и нарушилось движение транспорта. Предыдущий случай произошел в феврале 2021 года.

Шторм «Элпис» также затронул Израиль, принеся сильный снег. В Иерусалиме выпало самое большое количество снега с 2015 года, при этом высота снежного покрова достигала 15–25 см.

Второй год подряд повсеместные заморозки в начале апреля привели к потере урожая в Западной и Центральной Европе. Ущерб сельскому хозяйству был широкомасштабным, но не таким значительным, как во время аналогичного эпизода в 2021 году. Больше всего пострадали Франция, Германия, Испания и Австрия, при этом особенно сильно пострадали сады и виноградники. Средняя по стране минимальная температура во Франции 4 апреля опустилась до $-1,5$ °C, и это было самое холодное апрельское утро в стране с 1947 года.

В декабре на северо-западе Европы также наблюдалось похолодание, которое стало самым значительным с декабря 2010 года. В Исландии зафиксирован самый холодный декабрь с 1973 года, а в столице Рейкьявике – самый холодный декабрь за последние 100 лет.

СИЛЬНЫЕ ШТОРМОВЫЕ ВЕТРЫ

В последнюю неделю января штормы из более высоких широт миновали Скандинавию и продолжили движение на юго-восток, пройдя через восточную часть Центральной Европы. Самым мощным из них был шторм «Малик», который прошел через восточную часть Центральной Европы 29–30 января. По меньшей мере шесть человек погибли после того, как зимний шторм принес ураганные ветры в Северную и Центральную Европу, вызвав штормовые нагоны в прибрежной зоне и оставив сотни тысяч людей без электричества. Больше всего пострадали Соединенное Королевство, Дания, Польша и Германия, где были разрушены дома и автомобили, закрыты мосты, отменены поезда и пришвартованы паромы, поскольку прибрежные штормовые нагоны привели к затоплению. В прибрежных районах и на островах в Северном и Балтийском морях на территории Германии были зафиксированы порывы около 110–140 км/ч, а между Гамбургом и Берлином – около 100 км/ч. Ураган также нанес ущерб в Польше и Чехии, став причиной гибели людей и повсеместного отключения электроэнергии. На холме Янош, Будапешт, была зарегистрирована скорость ветра 127,4 км/ч, что стало новым национальным рекордом для Венгрии (предыдущий рекорд был зафиксирован на станции Эрсед, Будапешт, в 1979 году).

С 16 по 21 февраля три штормовых ветра один за другим прошли через Западную Европу и северную часть Центральной Европы. Самым значительным из них был шторм «Юнис», который прошел через Ирландию, Англию и Уэльс 18 февраля. Порыв в 196 км/ч на скалах Нидлс (на острове Уайт) стал самым мощным за всю историю наблюдений в Англии. Во время шторма четыре человека погибли в Соединенном Королевстве, один человек погиб в Ирландии и еще два – в Бельгии, а в Англии и Уэльсе более миллиона домохозяйств остались без электричества.

Исключительно сильное «деречо», продолжительная полоса гроз и разрушительных ветров, 18 августа затронуло районы Южной и Центральной Европы, принеся с собой сильные ветры и сильные дожди на пути, растянувшись на 1600 км от Балеарских островов (Испания) до Корсики (Франция), Италии, Словении, Австрии и Чехии. Данная система достигла пика своей силы над Корсикой, где были зарегистрированы порывы ветра 225 км/ч, самые сильные достоверно измеренные порывы ветра для метрополии Франции. Сообщалось о пяти погибших. Значительный ущерб был нанесен и в Италии, где град достигал 8 см в диаметре.

23 октября торнадо категории EF3 (третий по интенсивности торнадо по расширенной шкале Фуджиты) прошелся по северу Франции и причинил значительный ущерб. Длина его пути составила 206 км, и это самый длинный путь, зарегистрированный во Франции.

Политика в области климата и действия по борьбе с изменением климата в энергетическом секторе

Основной акцент в докладе за этот год сделан на политике в области климата и действиях по борьбе с изменением климата в энергетическом секторе в связи с важностью этого сектора для обеспечения перехода к низкоуглеродной энергии. Ниже приводится более подробная информация с последующим анализом предпринимаемых усилий по внедрению возобновляемых источников энергии, а также анализом метеорологического потенциала для использования возобновляемых источников энергии. Подчеркивается важность предоставления климатического обслуживания для энергетического сектора, особенно в том, что касается возобновляемых ресурсов, таких как солнце и ветер, и атомной энергии, а также растущих воздействий экстремальных погодных явлений. Данный раздел дополнен вставкой, посвященной использованию возобновляемых источников энергии для агропродовольственных систем.

ПЕРЕХОД К НИЗКОУГЛЕРОДНОЙ ЭНЕРГИИ

Одной из основных целей Парижского соглашения, ратифицированного 195 сторонами, является усиление глобального реагирования на угрозу изменения климата путем удержания повышения глобальной температуры в этом столетии на уровне значительно ниже 2 °C сверх доиндустриального уровня, а также продолжение усилий по ограничению повышения температуры до 1,5 °C. В ОД6 МГЭИК сделан вывод о том, что в глобальных смоделированных вариантах, ограничивающих потепление до 1,5 °C (правдоподобие > 50 %) без превышения определенного значения или с его ограниченным превышением глобальные выбросы CO₂ достигнут «чистого нуля» в начале 2050-х годов⁴⁶. В связи с этим многие правительства в Европе взяли на себя обязательство следовать пути достижения углеродной («климатической») нейтральности к 2050–2070 гг. при глубоком сокращении выбросов в энергетическом секторе и компенсации оставшихся выбросов за счет улавливания углерода и увеличения поглотителей в секторе землепользования. Энергетические системы должны интегрировать технологии с низким и нулевым уровнем выбросов углерода путем совместного использования различных технологий. Сочетание технологий и устойчивых источников энергии, таких как ветер и солнце, подчеркивает важность совместного использования технологий наряду с инновациями, научными исследованиями и глобальным сотрудничеством для достижения углеродной нейтральности к 2050 году.

Переход к низкоуглеродным энергетическим системам требует внедрения чистых энергетических технологий и инфраструктуры. Это, в частности, подразумевает интеграцию возобновляемых источников энергии и технологий хранения энергии, а также совершенствование сетевой инфраструктуры при обеспечении доступности и безопасности энергии. Для достижения углеродной нейтральности необходимо принять меры по максимальному использованию этих технологий. Таким образом, необходимы усилия по определению правильных вариантов совместного использования технологий посредством повышения осведомленности, разработки политических механизмов и финансирования справедливого перехода к углероднейтральным энергетическим системам.

ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ – ОБЯЗАТЕЛЬСТВА

ЕС согласился повысить обязательную для достижения цели по использованию возобновляемых источников энергии с 32 % до как минимум 42,5 % к 2030 году, что означает увеличение их доли почти вдвое по сравнению с уровнем 2019 года⁴⁷. Кроме того, другие европейские стороны Парижского соглашения включили цели по возобновляемым источникам энергии в свои определяемые на национальном уровне вклады (ОНУВ). Например, Албания обязалась достичь 42 %-ной доли возобновляемых источников энергии в конечном энергопотреблении к 2030 году.

Для достижения этих целей еще предстоит пройти долгий путь. В 2019 г. в Европе глобальная доля возобновляемых источников энергии составила 14,3 % от общего конечного потребления энергии (рисунок 15). В 2022 году в Европе доля ветровой и солнечной генерации в производстве электроэнергии ЕС составила 22,3 %, впервые обогнав ископаемый газ (20 %) и угольную энергию (16 %)⁴⁸. Это произошло благодаря сочетанию факторов, включая значительное увеличение мощностей солнечной энергетики, установленных в 2022 году. Кроме того, годовая приземная солнечная радиация, зарегистрированная в Европе в 2022 году, была самой высокой за всю историю наблюдений с 1983 года (начало регистрации спутниковых данных), что на 4,9 % выше среднего показателя за базовый период 1991–2020 годов^{49,50}.

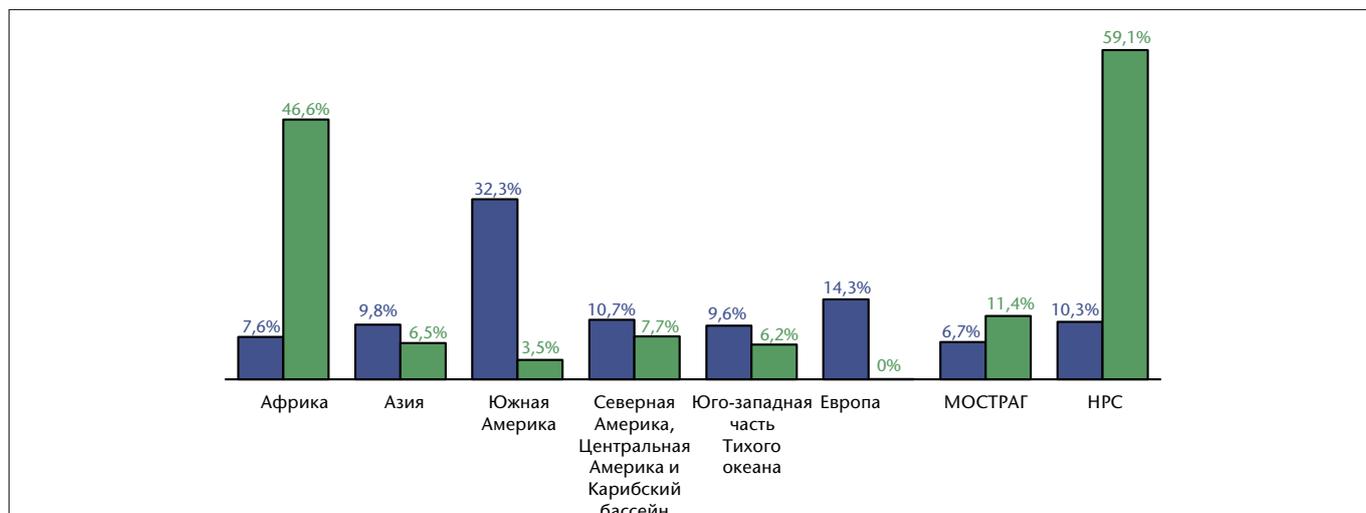


Рисунок 15. Процентная доля современных систем возобновляемой энергии и других систем возобновляемой энергии в 2019 году, по регионам
 Источник: Данные по достижению Цели в области устойчивого развития (ЦУР) 7.2 – Возобновляемые источники энергии – получены от Международного энергетического агентства (МЭА), Международного агентства по возобновляемой энергии (МАВЭ) и Статистического отдела Организации Объединенных Наций (СОООН) и проанализированы ВМО в соответствии с ее региональной классификацией.

ПОТЕНЦИАЛ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Производство энергии с нулевыми выбросами за счет солнечной, ветровой и гидроэнергии приобретает все большее значение. Поэтому анализ сопутствующих метеорологических переменных – приземной солнечной радиации, скорости ветра и осадков – также представляет все больший интерес.

На рисунке 16 показан средний долгосрочный потенциал энергии, выработанной с использованием фотоэлектрических элементов (ФЭ), ветровой энергии и гидроэнергии^{51,52,53}. Приземной солнечной радиации, как правило, больше на юге Европы из-за угла возвышения Солнца и меньшей облачности. Потенциал ветровой энергии, как правило, выше над океаном, особенно у побережья Ирландии и Португалии. Кроме того, в Эгейском море более высокая скорость ветра, что может представлять интерес для новых ветроэнергетических установок. Гидроэнергия напрямую связана с рельефом Европы.

Поскольку эти возобновляемые источники энергии являются прерывистыми по своей природе, важно также изучить их изменчивость, которая сильно различается по трем метеорологическим переменным, определяющим потенциал этих источников энергии. Это видно по среднемесячным значениям скорости ветра (от –40 % до +80 %) и осадков (± 30 %), которые гораздо более изменчивы, если сравнивать со средним многолетним значением, чем приземная солнечная радиация (около ± 15 %)⁵⁴. Солнце и ветер, как правило, дополняют друг друга в течение года: солнечная радиация выше поздней весной и летом, а интенсивность ветра обычно выше зимой. Мониторинг и понимание временной и пространственной изменчивости этих двух важных возобновляемых источников энергии играют все более важную роль в связи с их растущим значением для европейской структуры энергопотребления.

За 30-летний период 1991–2020 гг. приземная солнечная радиация показывает четкий положительный тренд для Европы, в то время как скорость ветра и осадки значительного тренда не показывают⁵⁵. В течение последних пяти лет фиксировалось постоянное увеличение приземной радиации, а количества осадков за тот же период было заметно меньше, что имело последствия для производства гидроэнергии в некоторых регионах.

КЛИМАТИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СЕКТОРА

Изменчивость климата в масштабах от нескольких месяцев до нескольких сезонов и лет, а также долгосрочное изменение климата влияют на все аспекты энергетического сектора: объем и способы потребления энергии («спрос»); производительность каждой энергогенерирующей технологии («предложение») и объединенную

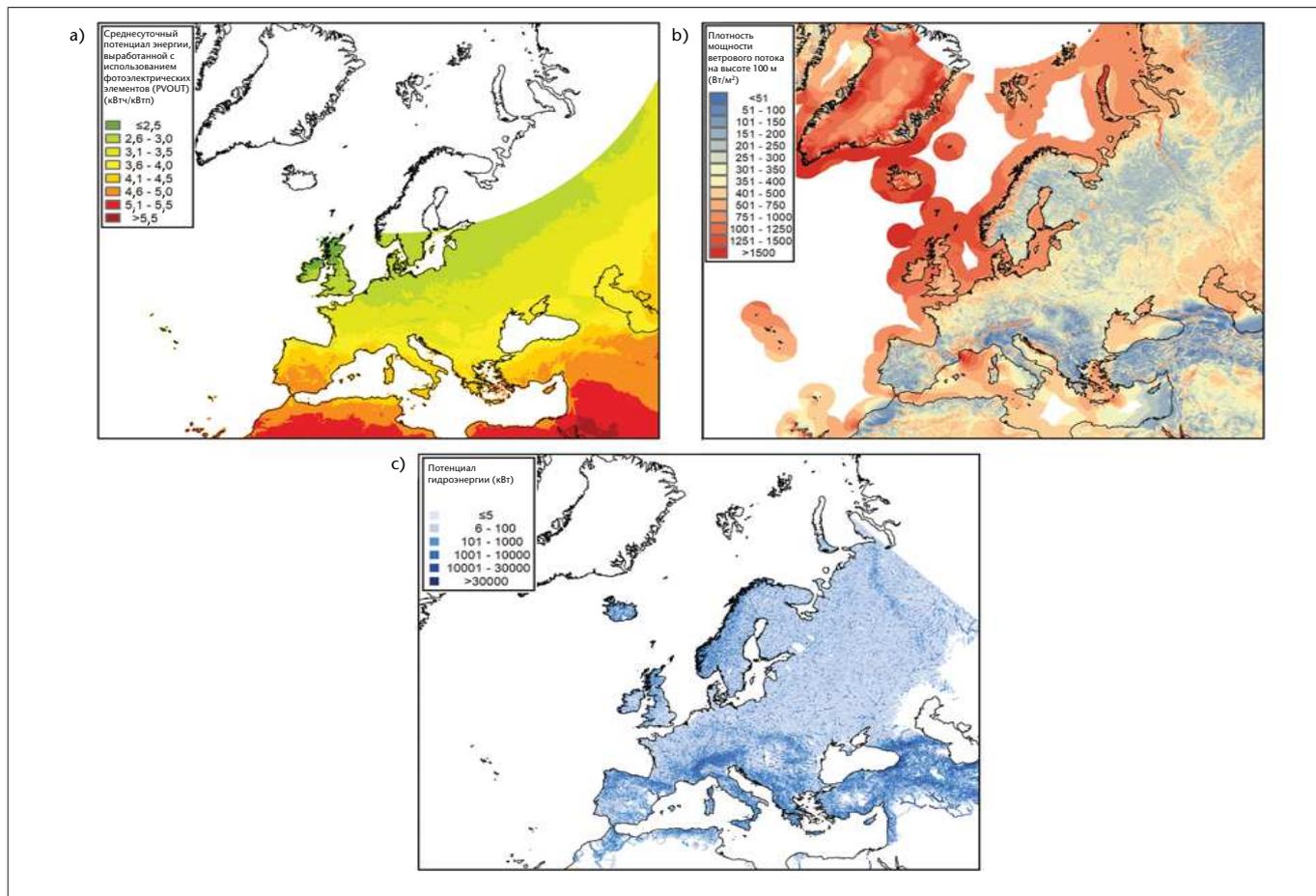


Рисунок 16. а) Многолетняя среднесуточная сумма производства электроэнергии от подключенной к сети солнечной фотоэлектрической энергоустановки с пиковой мощностью 1 кВт за период 1994–2018 гг.; б) Оценка средней плотности мощности ветрового потока на высоте 100 м над уровнем поверхности в глобальном масштабе за период 1998–2017 гг.; в) оценка потенциальной гидроэнергии (гидроэнергетическая мощность)

Источник: а) Глобальный солнечный атлас 2.0; б) Глобальный атлас ветров в.3; в) Набор данных исследований мест расположения потенциальных глобальных гидроэнергетических объектов

физическую и нефизическую инфраструктуру, обеспечивающую безопасное и надежное функционирование («энергосеть»). Неспособность учесть весь спектр вариантов энергетических технологий с нулевым уровнем выбросов углерода, устойчивых к изменению климата, может помешать миру достичь нулевого уровня выбросов углерода при сохранении безопасности энергоснабжения. Принятие решений, нормативные акты, конструкции установок и методы эксплуатации в энергетическом секторе должны быть адаптированы к климатически изменчивому будущему.

Климатическое обслуживание – предоставление и использование климатической информации при принятии решений, включающее сбор данных, мониторинг, анализ, предсказания и проекции климатических переменных – играет ключевую роль в поддержке глобального энергетического перехода для достижения «чистого нуля». Климатическое обслуживание имеет существенное значение для возобновляемых источников энергии, в том числе для: выбора площадки, оценки ресурсов и финансирования; эксплуатации, технического обслуживания и управления энергетическими системами; интеграции электроэнергии в энергосеть; и оценки воздействий энергетических систем.

Кроме того, климатическое обслуживание необходимо для обеспечения устойчивости энергетических систем к потрясениям, связанным с климатом, и для обоснования мер повышения энергоэффективности. Оценка рисков, связанная с планированием и заблаговременным предупреждением экстремальных явлений, влияющих на предложение энергии и спрос на нее, может помочь отрасли предвидеть неблагоприятные воздействия, смягчать их, приспосабливаться к ним и восстанавливаться после их наступления.

Согласно опросу национальных метеорологических и гидрологических служб (НМГС), проведенному ВМО, 83 % Членов ВМО в Европе сообщили о предоставлении климатического обслуживания для энергетического сектора. Только менее половины Членов ВМО предоставляют климатические прогнозы для энергетического сектора (рисунок 17), что указывает на нереализованный потенциал НМГС в поддержке энергетического перехода, а также на усилия, необходимые для повышения устойчивости энергетического сектора.

АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Растущая повторяемость экстремальных погодных условий и быстрорастущая доля производства энергии из возобновляемых источников обуславливают растущую потребность в источниках энергии, устойчивых к изменению климата. Разнообразная и устойчивая энергетическая основа, которую составляют такие декарбонизированные источники энергии, как атомная энергия, гидроэнергия, геотермальная энергия и др., будет играть важную роль в обеспечении возобновляемых источников энергии и успешной декарбонизации глобальных энергетических систем.

В глобальном масштабе перерывы в работе атомных электростанций из-за неблагоприятных климатических условий увеличились за последние три десятилетия, причем наиболее резкое увеличение наблюдалось в 2003–2006 гг., а затем в 2010–2018 гг., однако они по-прежнему составляют небольшую долю от общего объема выработки атомных электростанций по всему миру. Связанные с климатом потери энергии составляют очень малую, но растущую со временем долю от общего числа отключений атомных электростанций. В 2022 г. зарегистрированные производственные потери, связанные с погодными условиями, составили приблизительно 0,35 % от мирового объема выработки атомной энергии по сравнению с 0,29 % пятью годами ранее. Почти 60 % производственных потерь атомной энергии из-за погодных условий, зарегистрированных с 2017 г., были связаны со станциями, расположенными у рек или озер. Основными факторами перебоев в работе станций в Западной Европе из-за неблагоприятных климатических условий являются низкий речной сток, но главным образом повышение температуры и экстремально жаркие условия.

Недавний анализ, связывающий локальные климатические проекции МГЭИК и места расположения объектов атомной отрасли, показывает, что при ухудшении климатических сценариев в долгосрочной перспективе в южной части Европы может быть зафиксирован один из самых высоких процентных показателей роста экстремальных температур выше 40 °С и количества следующих подряд сухих дней. Данный результат, особенно для мест расположения потенциальных атомных электростанций в южной части Европы, подчеркивает необходимость разработки положений по адаптации, связанных с принятием пересмотренных строгих

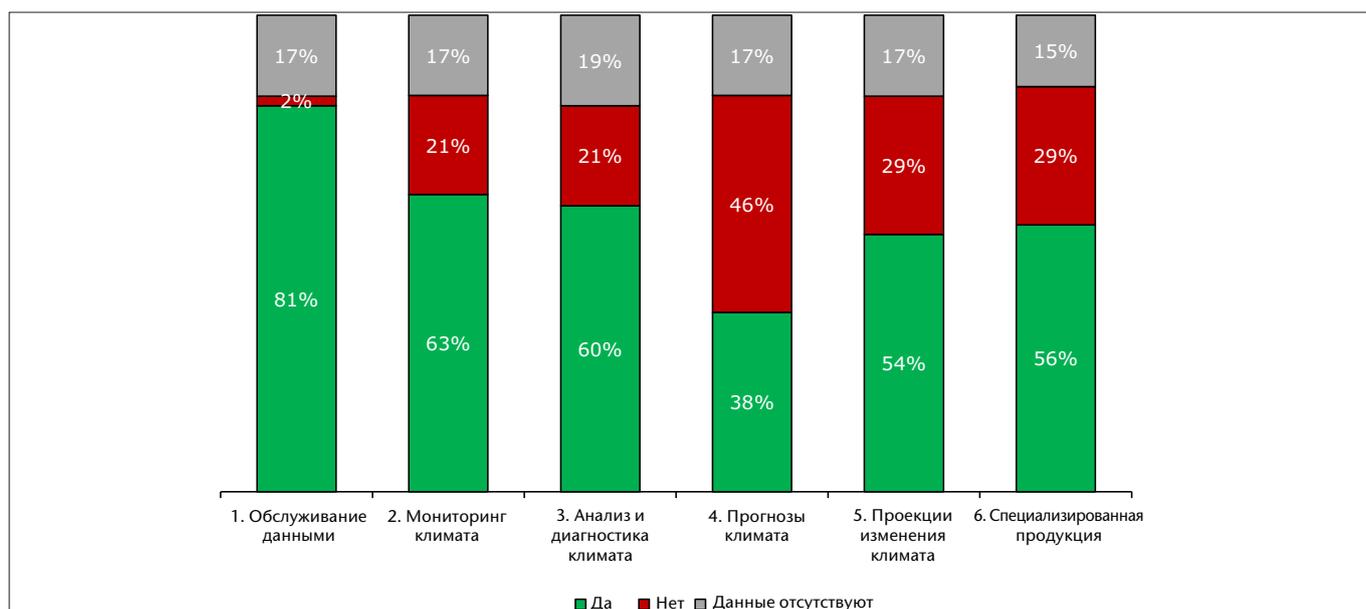


Рисунок 17. Процентная доля НМГС Европы, предоставляющих климатическое обслуживание для энергетического сектора, по видам продукции

норм безопасности, если будет принято решение о дальнейшей эксплуатации станций. Стоит отметить, что из 100 ГВт атомных мощностей, строящихся в настоящее время или планируемых государствами – членами МАГАТЭ, более 60 % расположены на морском побережье, поэтому меньше подвержены проблемам с водой для охлаждения.

ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ СЕКТОР

Все более частые и разрушительные погодные условия оказывают все большее влияние на предложение, спрос и инфраструктуру мировой энергетической системы. Экстремальная жара, сильные осадки, засухи, затопления прибрежных районов, речные паводки и тропические циклоны сделают разработку и реализацию планов по обеспечению климатической устойчивости глобальной энергетической системы еще более сложной, но тем более необходимой. Что касается спроса, то данные и сценарии воздействий климата помогут операторам скорректировать мониторинг систем для удовлетворения новых моделей спроса, которые претерпели изменение с учетом изменения климата. Сезонные и субсезонные прогнозы могут помочь выявить (с разной степенью достоверности) аномальные конфигурации и условия климата, связанные с потенциальным развитием таких экстремальных климатических явлений, как волны тепла и засухи, тем самым способствуя заблаговременному принятию решений и обеспечению непрерывности обслуживания энергосети. Что касается предложения, то моделирование климата и энергетических систем становится все более необходимым для операторов станций и энергосетей, причем информация требуется на конкретных участках и на различных временных горизонтах, чтобы учесть риски изменения климата.

Системный подход имеет первостепенное значение, включая совершенствование эффективных мер управления рисками с привлечением широкого круга заинтересованных сторон для обеспечения повышенного уровня координации.

Использование возобновляемых источников энергии для агропродовольственных систем⁵⁶

Энергия необходима для обеспечения продовольственной безопасности и развития. Поиск экологичных и устойчивых решений, способных обеспечить устойчивое преобразование агропродовольственных систем и их инновационное развитие, является важной целью. Однако предстоит решить важную задачу: отделить использование ископаемого топлива от преобразования продовольственных систем без ущерба для продовольственной безопасности.

Возобновляемые источники энергии могут играть важную роль в удовлетворении потребностей в электроэнергии не только в первичном производстве, но и во вторичной деятельности, такой как сушка, охлаждение, хранение, транспортировка и распределение продовольственных продуктов. Различные применения возобновляемых источников энергии, внедряемые в агропродовольственных цепочках, демонстрируют преимущества таких решений. Например, для улучшения доступа к воде широко используется ирригация с использованием солнечной энергии. По оценкам, выбросы от насосов для перекачки воды, работающих на солнечной энергии, на протяжении всего жизненного цикла на 95–98 % ниже, чем от насосов, работающих от электросети или дизельного топлива.

В Европе за последние два десятилетия потребление энергии в сельском хозяйстве оставалось стабильным, даже при росте производства, благодаря повышению эффективности и прогрессу в агрономии (рисунок 18). В период с 2000 по 2012 год энергоёмкость сельского хозяйства снизилась на 20 % (рост энергоэффективности). В то же время, дальнейшее удовлетворение энергетических потребностей за счет ископаемого топлива создает значительные проблемы с точки зрения доступности, приемлемости по затратам, устойчивости к нарушению предложения и ценовому шоку, а также экологических последствий, в особенности изменения климата.

Агропродовольственный сектор является одним из источников выбросов парниковых газов, которые необходимо значительно сократить по всей агропродовольственной цепочке. Стратегии смягчения воздействий кроме всего прочего основываются на повышении энергоэффективности. В Европе значительные возможности для повышения энергоэффективности можно найти в производственной деятельности. Помимо смягчения воздействий интеграция возобновляемых источников энергии в агропродовольственные системы также способствует адаптации, повышая устойчивость к экстремальным погодным явлениям и нехватке ресурсов, обусловленным изменением климата.

Расширение масштабов использования возобновляемых источников энергии в агропродовольственных системах потребует согласованных усилий правительств, частного сектора, финансовых учреждений, научных кругов, международных и неправительственных организаций. Правительства будут продолжать играть решающую роль, обеспечивая государственное финансирование для содействия внедрению и инвестируя в благоприятную экосистему, способствующую технологическим инновациям; установлению стандартов и обеспечению качества; обмену знаниями и навыками; повышению осведомленности заинтересованных сторон и общественности и созданию инфраструктуры для доступа на рынок. При эффективной разработке и реализации использование возобновляемых источников энергии в агропродовольственных системах способно внести вклад в достижение многих целей в области устойчивого развития.

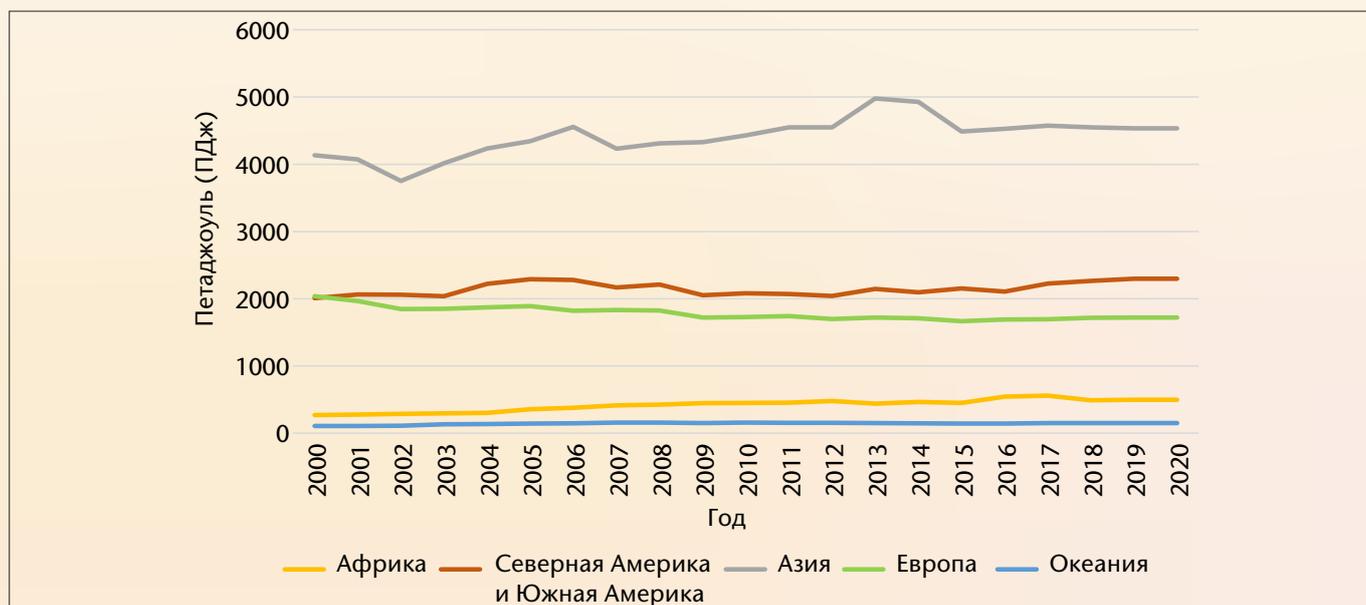


Рисунок 18. Использование энергии на фермах (энергопотребление) в агропродовольственных системах, по регионам, 2000–2020 гг. Источник: данные из Базы основных статистических данных Продовольственной и сельскохозяйственной организации (ФАОСТАТ)

Основные компоненты наблюдений для мониторинга климата

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

В 1992 г. 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 совет по науке (МСН) создали Глобальную систему наблюдений за климатом (ГСНК) для координации и обеспечения развития и совершенствования глобальных наблюдений за климатом. ГСНК определила набор важнейших климатических переменных (ВКлП), которые в совокупности дают информацию, необходимую для понимания, моделирования и прогнозирования траектории климата, а также для планирования стратегий смягчения воздействий и адаптации (рисунок 19). Состояние базы наблюдений за этими ВКлП публикуется в регулярных отчетах о состоянии дел. ГСНК в отчетах по осуществлению также определяет, что необходимо для улучшения системы.

В 2022 г. ГСНК выпустила свой последний План осуществления⁵⁷ в соответствии с выводами, вытекающими из Отчета о состоянии ГСНК за 2021 год, выводами Шестого оценочного доклада МГЭИК и результатами последних научных исследований климатических циклов. В этой публикации содержатся рекомендации по обеспечению устойчивой и отвечающей своим целям Глобальной системы наблюдений за климатом.

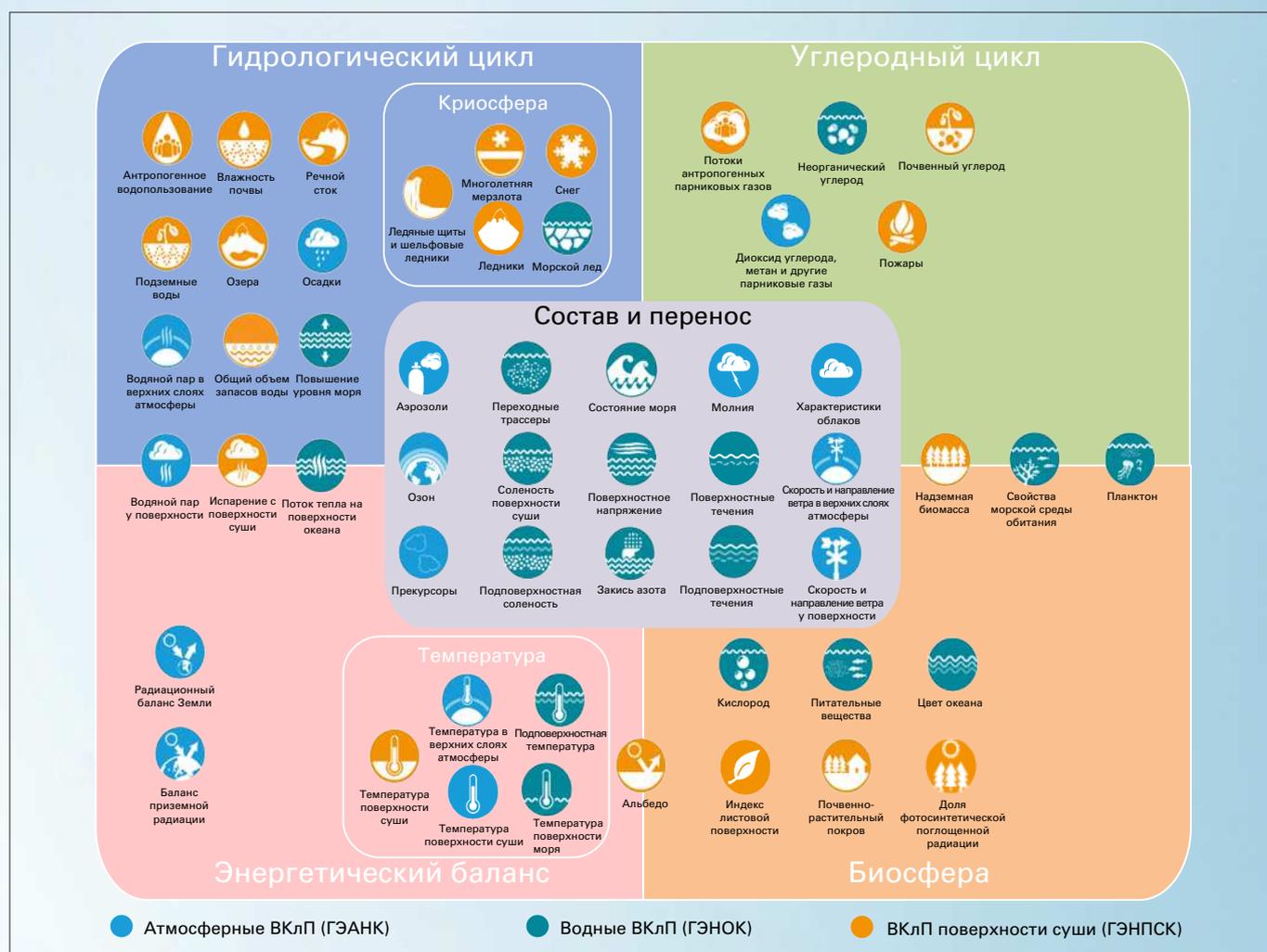


Рисунок 19. ВКлП, установленные ГСНК, и климатические циклы. Многие ВКлП вносят вклад в понимание нескольких различных циклов – на данном рисунке показаны только основные связи.

В дополнение к наблюдениям, которые обеспечиваются координируемой ГСНК Глобальной сетью приземных наблюдений (СПНГ) и Глобальной аэрологической сетью (ГУАН), национальные метеорологические и гидрологические службы (НМГС) Членов ВМО поддерживают более полную и широкую сеть наблюдений, обеспечиваемых в основном для оперативного прогнозирования погоды. Глобальная опорная сеть наблюдений (ГОСН) ВМО – глобально спроектированная сеть с предусмотренными функциональными возможностями и графиками производства наблюдений, данные которой подлежат обязательному международному обмену, будет обеспечивать крайне необходимые наблюдения для численного прогнозирования погоды и поможет существенно улучшить реанализ климата.

С целью предоставления необходимой финансовой и технической помощи для внедрения и эксплуатации ГОСН в самых бедных районах земного шара и районах, меньше всего охваченных наблюдениями, ВМО, Программа развития ООН (ПРООН) и ЮНЕП создали Фонд финансирования систематических наблюдений (ФФСН). ФФСН собрал значительные средства для поддержки наблюдений в наименее развитых странах и малых островных развивающихся государствах и в 2023 г. начал этап осуществления.

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

Наблюдения за физикой, биогеохимией, биологией и экосистемами океана координируются в рамках Глобальной системы наблюдений за океаном (ГСНО). Группа по координации наблюдений (ГКН) ГСНО отслеживает эффективность этих наблюдений⁵⁸ и ежегодно выпускает Ocean Observing System Report Card (Отчет о состоянии Системы наблюдений за океаном). Наблюдения за океаном, как правило, широко доступны международным пользователям.

На территории суши функционирует более широкая группа сетей наблюдений. Гидрологические наблюдения, как правило, осуществляются НМГС и координируются ВМО. Ряд специализированных глобальных сетей наблюдений за поверхностью суши (ГСНПС), например, по гидрологии (включая озера и реки), вечной мерзлоте, ледникам, землепользованию и биомассе, также вносят свой вклад в работу ГСНК. Соглашения об обмене данными сетей наблюдений за поверхностью суши, как правило, недостаточно разработаны, и многие важные наблюдения не предоставляются международным пользователям.

Совместная рабочая группа по климату (РГ-Климат) Координационной группы по метеорологическим спутникам/Комитета по спутниковым наблюдениям за Землей (КЕОС/КГМС) в развитии спутниковых наблюдений за климатом опирается на требования к ВКлП, установленные ГСНК. Она выпустила перечень ВКлП, включающий записи 766 климатических рядов данных по 33 ВКлП, охватывающие 72 отдельных продукта по ВКлП, и планируется еще больше. РГ-Климат также работает над действиями, предусмотренными Планом осуществления. Спутниковые наблюдения имеют почти глобальный охват. Используемые вместе с наземными наблюдениями либо в качестве дополнительных наборов данных, либо с целью валидации и калибровки, они составляют неотъемлемую часть глобальной системы наблюдений.

Комплекты данных и методы

ТЕРРИТОРИЯ РЕГИОНА

В центре внимания настоящего доклада находится Регион VI ВМО, протяженность которого можно увидеть на карте, представленной на рисунке 20^{59,60}.

В тех случаях, когда это возможно, числовые показатели для Европы относятся к данному региону; однако в некоторых случаях агрегированные данные относятся к другим аналогичным, но немного отличающимся регионам, таким как Европейский Союз⁶¹, Европейский регион Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ)⁶² или регион Европейской экономической комиссии ООН (ЕЭК ООН)⁶³. В этом случае название региона указывается конкретно.

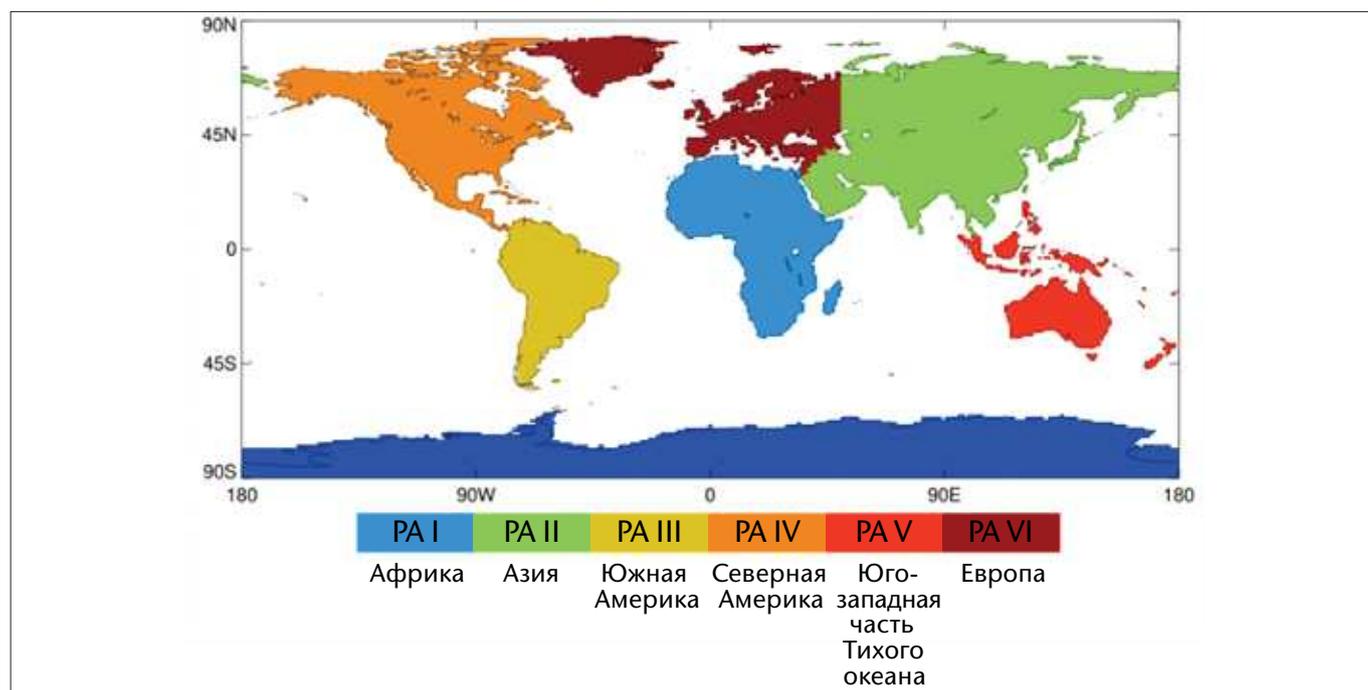


Рисунок 20. Карта региональных ассоциаций (РА) ВМО. В центре внимания настоящего доклада находится Регион VI ВМО.

ТЕМПЕРАТУРА

При расчете региональной температуры использовались шесть наборов данных (приведены ниже). Региональные аномалии средней температуры были рассчитаны относительно базовых уровней 1961–1990 гг. и 1991–2020 гг. с выполнением следующих шагов:

1. Считать набор данных с географической привязкой;
2. Привести данные к разрешению 1° широты \times 1° долготы. Если данные в узлах сетки имеют более высокое разрешение, то взять среднее значение ячеек сетки в пределах каждой ячейки сетки $1^\circ \times 1^\circ$. Если данные в узлах сетки имеют более низкое разрешение, то скопировать значение ячейки сетки низкого разрешения в каждую ячейку сетки $1^\circ \times 1^\circ$, которая находится в пределах ячейки сетки низкого разрешения;
3. Для каждого месяца рассчитать среднее значение по региону, используя только те ячейки сетки $1^\circ \times 1^\circ$, центры которых находятся над сушей в пределах региона;
4. Для каждого года взять среднее значение месячных средних по площади значений, чтобы получить годовое среднее по площади значение;

5. Рассчитать среднее значение годовых средних по площади значений за периоды 1961–1990 гг. и 1981–2010 гг.;
6. Вычтите среднее значение за 30-летний период из каждого года, чтобы получить аномалии относительно этого базового периода.

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>. С данными можно ознакомиться [здесь](#).

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>. С данными можно ознакомиться [здесь](#).

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>. С данными можно ознакомиться [здесь](#).

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). <https://doi.org/10.1029/2019JD032361>. С данными можно ознакомиться [здесь](#).

JRA55 – Kobayashi, S.; Ota, Y.; Harada, Y. et al. The JRA55 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. С данными можно ознакомиться [здесь](#).

NOAAGlobalTemp v5 – Zhang, H-M.; Huang, B.; Lawrimore, J. et al. NOAA Global Surface Temperature Dataset (NOAAGlobalTemp), Version 5.0. *NOAA National Centers for Environmental Information*. doi: 10.25921/9qth-2p70. Huang, B.; Menne, M. J.; Boyer, T. et al. Uncertainty Estimates for Sea Surface Temperature and Land Surface Air Temperature in NOAAGlobalTemp Version 5. *Journal of Climate* **2020**, *33* (4), 1351–1379. <https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/33/4/jcli-d-19-0395.1.xml>. С данными можно ознакомиться [здесь](#).

Также использовались данные *in situ* по температуре национальных метеорологических и гидрологических служб.

ОСАДКИ

ГЦКО: см. описание наборов данных ГЦКО по адресу <https://gpcc.dwd.de>

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>. С данными можно ознакомиться [здесь](#).

Также использовались данные *in situ* по осадкам национальных метеорологических и гидрологических служб.

Примечание: на рисунке 3а) Исландия показана более засушливой относительно среднего многолетнего значения. На самом деле в Исландии в течение года наблюдались более влажные, чем в среднем, условия (см. годовой отчет Исландии: <https://www.vedur.is/um-vi/frettir/tidarfar-arsins-2022>). Это расхождение, вероятно, связано с изменением способа обработки данных в реальном времени.

ЛЕДНИКИ

Рассматриваемые здесь оценки кумулятивного баланса массы получены на основе данных долгосрочных наблюдений *in situ*, собираемых Всемирной службой мониторинга ледников (ВСМЛ) в ходе ежегодных запросов на получение данных от сети научного сотрудничества, действующей в более чем 40 странах мира. Приведенные здесь оценки получены на основе подмножества данных о мировых и европейских эталонных ледниках (WGMS 2021, обновленные и более ранние отчеты).

ГРЕНЛАНДСКИЙ ЛЕДЯНОЙ ЩИТ

Временные ряды изменения массы Гренландского ледяного щита составлены на основе 27 спутниковых оценок баланса массы ледяного щита в рамках Сравнительного анализа баланса массы ледяного щита (IMBIE) (<http://imbie.org/>) и размещены в свободном доступе по адресу <https://data.bas.ac.uk/metadata.php?id=GB/NERC/BAS/PDC/01477>.

ТЕМПЕРАТУРА ПОВЕРХНОСТИ МОРЯ

Использовались четыре набора данных с географической привязкой о температуре морской поверхности (ТПМ):

ERSSTv5: [данные](#) и [документация](#)

ESA CCI/C3S SST Climate Data Record v2.1: [данные](#) и [документация](#)

HadISST1: [данные](#) и [документация](#)

HadSST.4.0.1.0: [данные](#) и [документация](#)

Графики и информация о ТПМ региональных морей Европы представлены по адресу <https://climate.copernicus.eu/climate-indicators/sea-surface-temperature>.

МОРСКОЙ ЛЕД

В разделе «Морской лед» используются временные ряды протяженности морского льда, полученные на основе данных EUMETSAT OSI SAF Global Sea Ice Concentration Climate Data Record (CDR) и Interim CDR v3.0 (OSI-450-a и OSI-430-a), а также данные о максимальной протяженности морского льда в зимний сезон для Балтийского моря из Финского метеорологического института: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/maximum-extent-of-ice-cover-2>. Протяженность морского льда рассчитывается как площадь ячеек сетки океана, в которых сплоченность морского льда превышает 15 %.

Описание ледяного покрова Балтийского моря в зимний сезон доступно по адресу: https://www.bsis-ice.de/Beschreibung_Eiswinter2022/Eiswinter2022en.html

ТЕПЛОСОДЕРЖАНИЕ ОКЕАНА

Показатель мониторинга океана CMEMS на основе продукции C3S по уровню моря:

<https://climate.copernicus.eu/climate-indicators/about-data#Sealevelindicator> и

<https://marine.copernicus.eu/access-data/ocean-monitoring-indicators/global-ocean-mean-sea-level-trend-map-observations>

УРОВЕНЬ МОРЯ

Показатель мониторинга океана CMEMS на основе продукции C3S по уровню моря:

<https://climate.copernicus.eu/climate-indicators/about-data#Sealevelindicator> и

<https://marine.copernicus.eu/access-data/ocean-monitoring-indicators/global-ocean-mean-sea-level-trend-map-observations>

МОРСКИЕ ВОЛНЫ ТЕПЛА И ПЕРИОДЫ МОРСКИХ ПОХОЛОДАНИЙ

Морские волны тепла (МВТ) классифицируются как умеренные, когда температура поверхности моря (ТПМ) превышает 90-й процентиль климатологического распределения в течение пяти дней или больше. Последующие категории определяются в зависимости от разницы между ТПМ и средним климатологическим распределением: сильные, суровые или экстремальные, если эта разница, соответственно, более чем в два, три или четыре раза превышает разницу между 90-м процентилем и средним климатологическим распределением (Hobday et al., 2018). Категории периодов морских похолоданий (ПМП) определяются аналогичным образом, но классифицируются с учетом температуры поверхности моря ниже 10-го процентиля. Базовый период, используемый для МВТ и ПМП – 1982–2011 гг.

Hobday, A. J.; Oliver, E. C. J.; Sen Gupta, A. et al. Categorizing and Naming Marine Heatwaves. *Oceanography* **2018**, 31 (2), 162–173. <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>.

СЕВЕРОАТЛАНТИЧЕСКОЕ КОЛЕБАНИЕ (САК)

<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/pna/nao.shtml>

ЗАСУХА

Данные ГЦКО (<https://gpcc.dwd.de> и https://www.dwd.de/EN/ourservices/rcccm/int/rcccm_int_spi.html), данные *in situ* национальных метеорологических и гидрологических служб, а также информация из Узла Оффенбах по мониторингу климата (Узел-МК РКЦ) Сети региональных климатических центров (РКЦ) PA VI ВМО (https://www.dwd.de/EN/ourservices/rcccm/int/rcccm_int_sse.html)

ЛЕСНЫЕ ПОЖАРЫ

Информация из Узла-МК РКЦ PA VI: https://www.dwd.de/EN/ourservices/rcccm/int/rcccm_int_sse.html

Индекс выжженной площади EFFIS для Европы: <https://effis.jrc.ec.europa.eu/apps/effis.statistics/estimates/EU/2021/2006/2020>

ПЕРИОДЫ ПОХОЛОДАНИЙ И СНЕГ

Использовались данные *in situ* национальных метеорологических и гидрологических служб.

СУРОВЫЕ ШТОРМЫ С СИЛЬНЫМ ВЕТРОМ

Использовались данные *in situ* по ветру национальных метеорологических и гидрологических служб.

ДААННЫЕ EM-DAT

Использовались данные EM-DAT для ретроспективных расчетов воздействий климата: <http://www.emdat.be>. EM-DAT – это глобальная база данных о бедствиях природного и техногенного характера, содержащая важнейшие основные данные о возникновении и последствиях более 21000 бедствий в мире, начиная с 1900 года по настоящее время. EM-DAT поддерживается Центром исследований эпидемиологии бедствий (ЦИЭБ) при Школе общественного здравоохранения Лувенского католического университета, расположенного в Брюсселе, Бельгия.

В качестве показателей, используемых применительно к смертности, числу пострадавших людей и экономическому ущербу, были общее число смертей, число пострадавших и общий ущерб ('000 долларов США), соответственно.

КЛИМАТИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ

Сеть региональных климатических центров (РКЦ) PA VI ВМО предоставляет данные, обслуживание в области мониторинга и долгосрочного прогнозирования климата Членам ВМО в регионе. Доступ к обслуживанию осуществляется через сайт <https://www.rccra6.org>.

Служба по вопросам изменения климата в рамках программы «Коперник» (C3S) предоставляет данные и ведет мониторинг климата для Европы, Арктики и всего земного шара. К основным видам продукции мониторинга относятся ежемесячный [Климатический бюллетень](#) и ежегодный [доклад «Состояние климата в Европе»](#).

2022 State of Climate Services: Energy (WMO-No. 1301)

Анализ ВМО ОНУВ, основанный на анализе ВМО ОНУВ сторон и дополненный Обобщающим докладом Рамочной конвенции ООН об изменении климата (РКИК ООН): UNFCCC. *Nationally Determined Contributions (NDC) under the Paris Agreement: Synthesis Report by the Secretariat*; UNFCCC: Glasgow, 2021.

Контрольный лист по осуществлению климатического обслуживания (потенциал Членов в области климатического обслуживания, определенный на основе ответов на контрольный лист, можно посмотреть [здесь](#) во вкладке «Services» (Обслуживание))

Список сторон, предоставивших материалы

НАЦИОНАЛЬНЫЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ И ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ СЛУЖБЫ ЧЛЕНОВ ВМО

Андорра, Армения, Австрия, Беларусь, Бельгия, Босния и Герцеговина, Болгария, Хорватия, Кипр, Чехия, Дания, Эстония, Финляндия, Франция, Грузия, Германия, Греция, Венгрия, Ирландия, Израиль, Италия, Иордания, Казахстан, Латвия, Литва, Люксембург, Мальта, Нидерланды (Королевство), Северная Македония, Норвегия, Польша, Португалия, Республика Молдова, Румыния, Российская Федерация, Сербия, Словакия, Словения, Испания, Швеция, Швейцария, Сирийская Арабская Республика, Турция, Украина, Великобритания

ОРГАНИЗАЦИИ

Administration des services techniques de l'agriculture (ASTA), Люксембург; Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH), Германия; Бюро метеорологии (БМ), Австралия; Центр полярных наблюдений и моделирования (СПОМ), Нортумбрийский университет, Великобритания; Centre national d'études spatiales (CNES), Франция; Collecte Localisation Satellites (CLS), Франция; Метеорологическая служба Германии (DWD), Германия; Служба по вопросам изменения климата в рамках программы «Коперник», Европейский центр среднесрочных прогнозов погоды (ЕЦСПП) (СЗС, ЕЦСПП); Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций (ФАО); Государственная некоммерческая организация «Центр гидрометеорологии и мониторинга» Министерства окружающей среды (ЦГМ МОС), Армения; Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ); Тематическая коалиция по вопросам устойчивых продовольственных систем; Тематическая коалиция по вопросам окружающей среды и изменения климата; Европейская комиссия (ЕК), Объединенный исследовательский центр (ОИЦ); Laboratoire d'études en géophysique et océanographie spatiales (LEGOS), Франция; Меркатор Осеан Интернасьональ, Франция; Центр им. Гадлея Метеобюро Соединенного Королевства, СК; Национальное управление по исследованию океанов и атмосферы (НУОА), США; Европейская экономическая комиссия Организации Объединенных Наций (ЕЭК ООН); Программа Организации Объединенных Наций по окружающей среде (ЮНЕП); Университет Рединга, СК; Всемирная служба мониторинга ледников (ВСМЛ)

ЛИЦА, ВНЕСШИЕ ВКЛАД В ПОДГОТОВКУ ДОКЛАДА

Ребекка Эмертон (ведущий автор-координатор, ЕЦСПП); Эндрю Ферроне (ведущий автор-координатор, ASTA); Штефан Роснер (ведущий автор-координатор, DWD); Омар Баддур (ВМО); Наталия Берги (ВМО); Петер Биссоли (DWD); Роксана Бояриу (Национальное метеорологическое управление, Румыния); Роберта Босколо (ВМО); Ива Бркич (ЕЭК ООН); Уокер Дарке (ЕЭК ООН); Франк Дентенер (ЕК-ОИЦ); Эван Данлоп (ЕК-ОИЦ); Яннис Фожер (CLS); Валентина Гасбарри (ФАО); Ацуши Гото (ВМО); Вероника Грассо (ВМО); Шарлотта Гриффитс (ЕЭК ООН); Пер Хехлер (ВМО); Джон Кеннеди (ВМО); Сари Лаппи (ВМО); Дэвид Лаверс (ЕЦСПП); Брианна Лацервиц (МАГАТЭ); Дарио Лигути (ЕЭК ООН); Ацуши Минами (ЯМА); Накиете Мсемо (ВМО); Бенуа Мейсиньяк (LEGOS); Сергей Невмывани (ФАО); Жюльен Николя (ЕЦСПП); Инес Отосака (СПОМ); Хенри Пайлер (МАГАТЭ); Фрэнк Пол (Цюрихский университет, ВСМЛ); Корнелия Радикс (ВМО); Клэр Рэнсом (ВМО); Энтони Ри (ВМО); Маарит Робелинг (DWD); Таня Сантиванез (ФАО); Рейнхард Шиманн (Университет Рединга); Джерард ван дер Шриер (Королевский нидерландский метеорологический институт, КНМИ); Карина фон Шукманн (Меркатор Осеан); Серхат Сенсой (Главное управление метеорологии (MGM), Турция); Хосе Альваро Силва (ВМО); Андреа Торети (ЕК-ОИЦ); Блэр Тревин (БМ); Хари Тулсидас (ЕЭК ООН); Михаэль Земп (Цюрихский университет, WGMS); Маркус Цизе (DWD)

Примечания

- 1 <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar6/>
- 2 <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/>
- 3 Copernicus Climate Change Service (C3S). *European State of the Climate 2022*; C3S, 2023. <https://climate.copernicus.eu/esotc/2022>
- 4 Данные взяты из следующих наборов данных: Berkeley Earth, ERA5, GISTEMP v4, HadCRUT.5.0.1.0, JRA-55, NOAA GlobalTemp v5. Для получения более подробной информации см. раздел Наборы данных и методы в докладе *Состояние глобального климата в 2022 году* (ВМО-№ 1316).
- 5 Всемирная метеорологическая организация (ВМО): *Состояние глобального климата в 2022 году* (ВМО-№ 1316). Женева, 2023 год.
- 6 <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/mlo.html>
- 7 <https://www.csiro.au/greenhouse-gases/>
- 8 Friedlingstein, P.; O'Sullivan, M.; Jones, M. W. et al. Global Carbon Budget 2022, *Earth System Science Data* **2022**, 14, 4811–4900. <https://doi.org/10.5194/essd-14-4811-2022>.
- 9 Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). *Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*; Pörtner, H.-O.; Roberts, D. C.; Masson-Delmotte, V. et al., Eds.; Cambridge University Press: Cambridge, UK and New York, USA, 2019. <https://www.ipcc.ch/srocc/>.
- 10 Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*; Masson-Delmotte, V.; Zhai, P.; Pirani, A. et al., Eds.; Cambridge University Press: Cambridge, UK and New York, USA, 2021. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>.
- 11 График, показывающий тренд для земного шара и для различных Регионов ВМО за различные 30-летние периоды, представлен по адресу https://www.metoffice.gov.uk/hadobs/monitoring/regional/wmo_ra_vi.html. Температуры для Регионов ВМО определяются только над территорией суши, а глобальные температуры определяются над всеми поверхностями.
- 12 Определяется над всей территорией суши Региона VI ВМО (см. карту в разделе «Наборы данных и методы»). Данный регион включает Гренландию на западе и простирается далее на восток почти на 20° долготы в отличие от определения Европы, используемого для доклада «Состояние климата в Европе в 2022 году» Службы по вопросам изменения климата в рамках программы «Коперник» (C3S) и Показателя температуры Европейского агентства по окружающей среде (ЕАОС). Поэтому следует ожидать некоторых различий в рейтинге.
- 13 Сезонные аномалии и рейтинги получены на основе данных реанализа ERA5 с 1950 г. с использованием несколько иного определения Европы, как описано в сноске (2) в докладе «Состояние климата в Европе в 2022 году» C3S: <https://climate.copernicus.eu/esotc/2022/temperature>.
- 14 Краткий обзор криосферы и ее компонентов представлен по адресу <https://climate.copernicus.eu/climate-indicators/cryosphere>. Исчерпывающий обзор состояния знаний обо всех компонентах криосферы представлен в: Integrated Global Observing Strategy (IGOS). *Cryosphere Theme Report: For the Monitoring of our Environment from Space and from Earth* (WMO/TD-No. 1405). WMO: Geneva, 2007. См. также Lemke, P.; Ren, J.; Alley, R. B. et al. Observations: Changes in Snow, Ice and Frozen Ground. In *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*; Solomon, S.; Qin, D.; Manning, M., Eds.; Cambridge University Press: Cambridge, UK and New York, USA, 2007. <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4-wg1-chapter4-1.pdf>. См. также United Nations Environment Program (UNEP). *Global Outlook for Ice and Snow*; 2007. <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/13696>. См. также Vaughan, D. G.; Comiso, J. C.; Allison, I. et al. Observations: Cryosphere. In *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*; Stocker, T. F.; Qin, D.; Plattner, G.-K. et al, Eds.; Cambridge University Press: Cambridge, UK and New York, USA, 2013. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_Chapter04_FINAL.pdf. См. также Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). *Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*; Pörtner, H.-O.; Roberts, D. C.; Masson-Delmotte, V. et al., Eds.; Cambridge University Press: Cambridge, UK and New York, USA, 2019. <https://www.ipcc.ch/srocc/>. См. также Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*; Masson-Delmotte, V.; Zhai, P.; Pirani, A. et al., Eds.; Cambridge University Press: Cambridge, UK and New York, USA, 2021. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>.
- 15 Изменение массы на –1,0 м водного эквивалента в год эквивалентно потере толщины льда примерно на 1,1 м в год и соответствует потере массы в одну тонну на квадратный метр.
- 16 Akademie der Naturwissenschaften Schweiz (SCNAT). *Schlimmer als 2003: Schweizer Gletscher Schmolzen Wie Noch Nie* [Press release]. 28 September 2022. https://scnat.ch/de/uuid/i/2e076759-0234-567e-9bfb-2cdfebd6ff34-Schlimmer_als_2003_Schweizer_Gletscher_schmolzen_wie_noch_nie.

- 17 Поскольку Гренландский ледяной щит занимает обширную площадь в 1,7 млн км² (Morlighem, M.; Williams, C. N.; Rignot, E. et al. *BedMachine v3: Complete Bed Topography and Ocean Bathymetry Mapping of Greenland From Multibeam Echo Sounding Combined With Mass Conservation*. *Geophysical Research Letters* **2017**, *44* (21), 11 051–11 061. <https://doi.org/10.1002/2017GL074954>), только спутниковые наблюдения могут обеспечить мониторинг изменения массы всего ледяного щита. Используемая здесь оценка баланса массы Гренландского ледяного щита является оценкой в рамках Сравнительного анализа баланса массы ледяного щита (IMBIE), обновленной за 2021 год. Оценка IMBIE является результатом комбинации 27 спутниковых оценок баланса массы ледяного щита, полученных на основе спутниковых наблюдений изменения объема ледяного щита методом спутниковой альтиметрии, изменения гравитационного поля ледяного щита по данным спутниковой гравиметрии и изменения скорости льда в сочетании с модельной оценкой баланса массы поверхности методом «вход-выход» (Otosaka, I. N.; Shepherd, A.; Ivins, E. R. et al. *Mass Balance of the Greenland and Antarctic Ice Sheets from 1992 to 2020*. *Earth System Science Data* **2022**, *15* (4), 1 597–1 616. <https://doi.org/10.5194/essd-15-1597-2023>).
- 18 2022 год, за который составлен баланс массы, длится с 1 сентября 2021 года по 31 августа 2022 года. См. источники данных и более подробную информацию на стр. 15 доклада [Состояние глобального климата в 2022 году](#) (ВМО-№ 1316).
- 19 Европейский сектор Арктики здесь определяется как океаническая зона в пределах 44° з. д. – 50° в. д., 63° – 85° с. ш. (исключая Балтийское море).
- 20 Более подробная информация о состоянии морского льда в Балтийском море представлена по адресу https://www.bsis-ice.de/Beschreibung_Eiswinter2022/Eiswinter2022en.html.
- 21 Используемые здесь данные о максимальной протяженности морского льда в Балтийском море в зимний сезон, полученные Финским метеорологическим институтом, насчитывают более 300 лет, начиная с зимы 1719/1720 года.
- 22 Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК). Резюме для политиков. В: *Изменение климата, 2021 год: Физическая научная основа. Вклад Рабочей группы I в Шестой оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата*; В. Массон-Дельмонтт; П. Чжай; А. Пирани и др. ред.; Кембридж юниверсити пресс: Кембридж, СК, и Нью-Йорк, США, 2021 г. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM.pdf.
- 23 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>.
- 24 Cheng, L.; Trenberth, K. E.; Fasullo, J. T. et al. *Evolution of Ocean Heat Content Related to ENSO*. *Journal of Climate* **2019**, *32* (12), 3 529–3 556. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-18-0607.1>.
- 25 Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК). Резюме для политиков. В: *Изменение климата, 2021 год: Физическая научная основа. Вклад Рабочей группы I в Шестой оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата*; В. Массон-Дельмонтт; П. Чжай; А. Пирани и др. ред.; Кембридж юниверсити пресс: Кембридж, СК, и Нью-Йорк, США, 2021 г. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM.pdf.
- 26 Josey, S. A.; Sinha, B. *Subpolar Atlantic Ocean Mixed Layer Heat Content Variability is Increasingly Driven by an Active Ocean*. *Communications Earth Environment* **2022**, *3*. <https://doi.org/10.1038/s43247-022-00433-6>.
- 27 Keil, P.; Mauritsen, T.; Jungclaus, J. et al. *Multiple Drivers of the North Atlantic Warming Hole*. *Nature Climate Change* **2020**, *10*, 667–671. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0819-8>.
- 28 Holliday, N. P.; Bersch, M.; Berx, B. et al. *Ocean Circulation Causes the Largest Freshening Event for 120 Years in Eastern Subpolar North Atlantic*. *Nature Communications* **2020**, *11*. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-14474-y>.
- 29 Обзор изменения уровня моря в условиях потепления климата представлен в *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*; Masson-Delmotte, V.; Zhai, P.; Pirani, A. et al., Eds.; Cambridge University Press: Cambridge, UK, and New York, USA, 2021. <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-i/>.
- 30 Nicholls, R. J.; Lincke, D.; Hinkel, J. et al. *A Global Analysis of Subsidence, Relative Sea-Level Change and Coastal Flood Exposure*. *Nature Climate Change* **2021**, *11*, 338–342. doi.org/10.1038/s41558-021-00993-z.
- 31 Всемирная метеорологическая организация (ВМО): [Состояние глобального климата в 2022 году](#) (ВМО-№ 1316). Женева, 2023 год.
- 32 Неопределенность тренда глобального среднего уровня моря с 1993 года оценивается на уровне от ±0,3 мм/год до 0,9 мм/год в Европейской зоне. Более подробная информация представлена на сайте <https://climate.copernicus.eu/climate-indicators/about-data#Sealevelindicator>, в разделе “Uncertainty estimates” (Оценки неопределенности).

- 33 Вблизи побережья колебания уровня моря и соответствующие тренды по данным альтиметрии носят более неопределенный характер, чем в открытом океане. Это связано с местными факторами, например, искажением эхо-сигнала радиовысотомера элементами береговой полосы, большей неопределенностью некоторых поправок высотомера (например, океанские приливы), другими локальными процессами, которые не фиксируются спутниками (например, как далеко волны омывают берег), и пространственным разрешением спутниковых данных.
- 34 Международная база данных о чрезвычайных ситуациях (EM-DAT) Центра исследований эпидемиологии бедствий (ЦИЭБ): <https://www.emdat.be/>
- 35 *2022 State of Climate Services: Energy* (WMO-№. 1301)
- 36 <https://erccportal.jrc.ec.europa.eu/ECHO-Products/Echo-Flash#/daily-flash-archive/4637>
- 37 Международная база данных о чрезвычайных ситуациях (EM-DAT) Центра исследований эпидемиологии бедствий (ЦИЭБ): <https://www.emdat.be/>
- 38 Robert Koch Institut, Germany: *Hitzebedingte Mortalität in Deutschland 2022*
- 39 Office for National Statistics (ONS) and UK Health Security Agency (UKHSA): *Excess Mortality During Heat-periods: 1 June to 31 August 2022*
- 40 Santé Publique, France: *Bilan Canicule et Santé: Un Été Marqué par des Phénomènes Climatiques Multiples et un Impact Sanitaire Important*
- 41 Международная база данных о чрезвычайных ситуациях (EM-DAT) Центра исследований эпидемиологии бедствий (ЦИЭБ): <https://www.emdat.be/>
- 42 San-Miguel-Ayanz, J.; Durrant, T.; Voca, R. et al. *Advance Report on Forest Fires in Europe, Middle East and North Africa 2022*; Publications Office of the European Union: Luxembourg, 2023. doi:10.2760/091540, JRC133215.
- 43 Морская волна тепла определяется как период продолжительностью не менее пяти дней, в течение которого температура поверхности моря превышает 90-й перцентиль температур, зарегистрированных за 30-летний период сравнения за то же количество календарных дней и в том же регионе: Hobday, A. J.; Alexander, L. V.; Perkins, S. E. et al. A Hierarchical Approach to Defining Marine Heatwaves. *Progress in Oceanography* **2016**, 141, 227–238. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2015.12.014>.
- 44 Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК). Резюме для политиков. В: Изменение климата, 2021 год: Физическая научная основа. Вклад Рабочей группы I в Шестой оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата; В. Массон-Дельмонтт; П. Чжай; А. Пирани и др. ред.; Кембридж юниверсити пресс: Кембридж, СК, и Нью-Йорк, США, 2021 г. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WG1_SPM_Russian.pdf.
- 45 <https://www.mercator-ocean.eu/actualites/marine-heatwaves-mediterranean-summer-2022/>
- 46 Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). *Climate Change 2021: Synthesis Report of the IPCC Sixth Assessment Report (AR6)*. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>.
- 47 https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-targets_en.
- 48 <https://ember-climate.org/insights/research/european-electricity-review-2023/>
- 49 <https://climate.copernicus.eu/esotc/2022/wind-solar-energy-resources>
- 50 https://www.dwd.de/DWD/klima/rcccm/int/rcc_eude_eur_sun_anos_2022_17.png
- 51 Карта загружена из Глобального солнечного атласа 2.0, бесплатного веб-приложения, разработанного и поддерживаемого компанией Solargis s.r.o. от имени Группы Всемирного банка, с использованием данных Solargis, при финансировании, предоставленном Программой помощи в области управления энергетическим сектором (ESMAP). Дополнительная информация представлена по адресу: <https://globalsolaratlas.info>.
- 52 Карта загружена из Глобального атласа ветров 3.0, бесплатного веб-приложения, разработанного и поддерживаемого Техническим университетом Дании (DTU) и находящегося в его собственности. Глобальный атлас ветров 3.0 выпущен в партнерстве с Группой Всемирного банка на основе данных, предоставленных компанией Vortex, при финансировании, предоставленном Программой помощи в области управления энергетическим сектором (ESMAP). Дополнительная информация представлена по адресу: <https://globalwindatlas.info>. Глобальный атлас ветров 3.0 был разработан группой, в которую вошли Jake Badger, J.; Bauwens, I.; Casso, P. et al.
- 53 На основе набора данных о местоположении станций (от микро- до крупных гидроэлектростанций) и данных о линиях перегиба (высота местности) Глобального набора данных о высоте местности с переменным разрешением за 2010 год (GMTED2010), а также данных по стоку Глобального центра данных по стоку. Hoes, O. A. C. *Global Potential Hydropower Locations*; Version 1. 4TU.ResearchData dataset, 2014. <https://doi.org/10.4121/uuid:99b42e30-5a69-4a53-8e77-c954f11dbc76>.

- 54 На основе временных рядов (с 1983 года) приземной радиации по среднемесячным данным SARAH-2.1, скорости ветра на уровне 100 м и общего количества осадков по среднемесячным данным ERA5: <https://cds.climate.copernicus.eu#!/home>.
- 55 <https://climate.copernicus.eu/esotc/2022/wind-solar-energy-resources>
- 56 На основе International Renewable Energy Agency (IRENA); Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). *Renewable Energy for Agri-food Systems – Towards the Sustainable Development Goals and the Paris Agreement*; IRENA and FAO: Abu Dhabi and Rome, 2021. <https://doi.org/10.4060/cb7433en>.
- 57 <https://gcos.wmo.int/en/publications/gcos-implementation-plan2022>
- 58 <https://www.ocean-ops.org/>
- 59 Информация о территории Региональной ассоциации VI ВМО доступна в интерактивном режиме по адресу <https://www.arcgis.com/apps/mapviewer/index.html?layers=2848c7bbd9bf479f9d810d8f1c32e2f5>.
- 60 <https://public.wmo.int/en/about-us/members>
- 61 https://european-union.europa.eu/principles-countries-history/country-profiles_en
- 62 https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0020/215660/The-World-Health-Organization-in-the-European-Region-Eng.pdf
- 63 <https://unece.org/geographical-scope>



За дополнительной информацией просьба обращаться по адресу:

World Meteorological Organization

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

Strategic Communications Office

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

Эл. почта: sra@wmo.int

public.wmo.int