

Особенности температурного режима у поверхности земного шара в 2024 году. Современное состояние глобального потепления

Э.Я. Ранькова¹⁾, О.Ф. Самохина¹⁾, У.И. Антипина^{1,2)}, В.Д. Смирнов¹⁾

¹⁾ Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля,
РФ, 107258, г. Москва, ул. Глебовская, д. 20Б

²⁾ Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова Российской академии наук,
РФ, 119017, г. Москва, Пыжевский пер., д. 3

* Адрес для переписки: firankova@gmail.com

Реферат. Анализируется состояние температурного режима у поверхности Земного шара в 2024 году и его изменчивость в течение 1850-2024 гг. (с акцентом на состоянии современного глобального потепления). Используются 4 набора данных: базовый массив ИГКЭ (T3288, суша) и данные Великобритании: CRUTEM5, HadSST4, HadCRUT5 (суша, море, суша+море). Все данные продлены по декабрь 2024 г. и выражены в аномалиях относительно 1991-2020 гг.

Показано, что 2024 год стал самым теплым в истории наблюдений (с 1850 г.). Глобальная среднегодовая аномалия приповерхностной температуры составила в 2024 г. $+0.593^{\circ}\text{C}$, что на 0.06°C выше рекорда 2023 года и на 1.437°C выше доиндустриального уровня (1850-1900 гг.). Непрерывный период месячных рекордов длился 14 месяцев подряд (с мая 2023 по июнь 2024 гг.), и более половины станций (53%) зафиксировали в 2024 году значения среднегодовой температуры выше 95-го перцентиля (5%-е экстремумы тепла). Локальные оценки тренда 1976-2024 гг. уверенно подтверждают тенденцию потепления: 97% всех оценок положительны. Наибольшая интенсивность потепления отмечается в среднем по Арктическому широтному поясу ($0.56^{\circ}\text{C}/10$ лет) и по территории Европы ($0.59^{\circ}\text{C}/10$ лет).

В XX-XXI столетиях прослеживаются два периода потепления: с 1910-х гг. до середины 1940-х (потепление Арктики) и современное, с середины 1970-х (глобальное потепление), а между ними – ненаправленные флуктуации со слабым нисходящим трендом. Согласно оценкам тренда, современное потепление (1976-2024: $+0.193^{\circ}\text{C}/10$ лет) несколько интенсивнее арктического (1911-1945: $+0.140^{\circ}\text{C}/10$ лет), а в период 1946-1975 гг. тренд близок к нулю. Глобальное потепление (1976-2024 гг.) на суше протекает почти вдвое активнее, чем на поверхности океанов, и в Северном полушарии вдвое интенсивнее, чем в Южном (на акваториях – в 1.8 раз).

Показано, что статистически значимый восходящий тренд глобальной температуры (у поверхности) имеет место на любых отрезках времени от 10 до 100 лет (в рамках периода 1901-2024 гг.), завершившихся не раньше середины 1970-х гг. *На наш взгляд, этот тренд и означает «современное глобальное потепление», активная фаза которого началась именно в середине 70-х гг. прошлого столетия и продолжается до сих пор.*

Таким образом, современное глобальное потепление – реальный факт; началось в океанах Южного полушария в начале 1970-х гг., стало глобальным в 1990-х, усилилось сначала в 2000-х, затем – в 2010-х и продолжается в настоящем времени; активнее всего протекает на континентах Северного полушария.

Представляется, что процессы в Южном полушарии, особенно в южных полярных и умеренных широтах, требуют повышенного внимания как возможные предвестники ослабления потепления.

Ключевые слова. Климат, мониторинг климата, изменение климата, приземная температура, линейный тренд, глобальное потепление.

Features of the surface temperature regime over the Globe in 2024. Current status of global warming

E.Ya. Rankova^{1)}, O.F. Samokhina¹⁾, U.I. Antipina^{1,2)}, V.D. Smirnov¹⁾*

¹⁾Yu.A. Izrael Institute of Global Climate and Ecology,
20B, Glebovskaya str., 107058, Moscow, Russian Federation

²⁾A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics of Russian Academy of Sciences,
3, Pyzhevsky, 119017, Moscow, Russian Federation

*Correspondence address: firankova@gmail.com

Abstract. This study presents an analysis of surface temperature conditions over the Globe in 2024, along with long-term variability 1850-2024 (with a focus on the state of global warming). Four datasets are used: the IGCE basic dataset (T3288, land-only), and UK datasets (CRUTEM5 (land), HadSST4 (sea only), HadCRUT5 (land + sea)). All time series were updated through December 2024 and expressed as anomalies relative to the 1991-2020 reference period.

Results indicate that 2024 became the warmest year on record (since 1850). The global annual anomaly of near-surface temperature reached in 2024 +0.593°C. This value exceeds the 2023 record by 0.06°C and surpasses the pre-industrial (1850-1900) baseline by 1.437°C. A continuous sequence of monthly global records lasted for 14 consecutive months, from May 2023 through June 2024 and more than half of all observation stations (53%) recorded extreme annual values of temperature in 2024, exceeding the 95th percentile (5% heat extremes). Local trend estimates for 1976-2024 confirm the warming tendency with high confidence: 97% of all estimates are positive. The highest intensity of warming is observed on average in the Arctic latitudinal belt (+0.56°C per decade) and in Europe (+0.59°C per decade).

Two distinct periods of warming can be traced in the 20th and 21st centuries: from the 1910^s to the mid-1940^s (warming of Arctic) and the modern, from the mid-1970^s (global warming). These periods are separated by non-directional fluctuations with weak downward trends from 1940 to 1975. According to linear trend estimates, the modern warming (1976-2024: +0.193°C per decade) is somewhat stronger than the Arctic warming (1911-1945: +0.140°C per decade) and in the period 1940-1975, the trend was close to zero. Global warming (1976-2024) has proceeded almost twice as fast over land as on ocean aquatories, and has been about twice as strong in the Northern Hemisphere compared to the Southern Hemisphere (1.8 times stronger in ocean areas).

It is shown that a statistically significant upward trend in global surface temperature occurs on any time interval from 10 to 100 years (within the period 1901-2024), ending no earlier than the mid-1970^s. *In our opinion, this trend means namely the “modern global warming”, whose active phase began in the mid-1970^s and continues to this day.*

In conclusion, modern global warming is a well-established fact; it began in the early 1970^s in the oceans of the Southern Hemisphere, became global in the 1990^s, intensified first in the 2000^s, then in the 2010^s, and continues into the present. The most intense warming is observed on the continents of the Northern Hemisphere. Processes occurring in the Southern Hemisphere – particularly in southern polar and mid-latitude regions – warrant increased attention as potential indicators of upcoming weakening of global warming.

Keywords. Climate, climate monitoring, climate change, surface temperature, linear trend, global warming.

Введение

Статья продолжает серию ежегодных публикаций в настоящем журнале в течение 2014-2024 гг. (Груза и др., 2015; Ранькова и др., 2024) о современном состоянии температурного режима Земного шара (приземная температура) на основе данных регулярного мониторинга климата в ФГБУ «ИГКЭ» (ЦМКП, 2016; Груза и др. 2017б). В обзорах и климатических бюллетенях ведущих научных центров мира регулярно публикуется информация о текущем состоянии климатической системы Земли, о наблюдаемых климатических аномалиях, рекордах и экстремальных событиях. Кроме того, Всемирная метеорологическая организация (ВМО) обобщает материалы, которые разрабатываются и поддерживаются научными коллективами: NOAA/NCEI, NASA, Met Office Hadley Centre & CRU UEA, JMA, а также ECMWF Copernicus, группа Berkeley Earth и др. В результате, ежегодные обзоры ВМО о состоянии глобального климата базируются на шести базовых наборах данных: HadCRUT5, 1850-2024; NOAA GlobalTemp, 1850-2024; GISTEMP, 1880-2024; Berkeley Earth, 1850-2024; JRA, 1958-2024; ERA5, 1940-2024.

ВМО (ВМО, 2024; ВМО, 2025), на основе шести перечисленных наборов данных, подтвердила, что 2024 год стал самым теплым годом в истории наблюдений. Тот же вывод опубликован в (NOAA NCEI 2024a; NOAA NCEI

2024б): на 0.10°C выше предыдущего рекорда 2023 г. и на 1.29°C выше среднего показателя XX века в 13.9°C . В то же время, согласно (Copernicus, 2024), 2024 год – второй самый теплый год после рекордного 2023 г.

Ряд деталей об осуществившихся в 2024 г. температурных рекордах и экстремальных событиях опубликован в бюллетенях, пресс-релизах, обзорах и отчетах, в том числе: WMO, 2024; WMO, 2025; Copernicus, 2024; NOAA NCEI, 2024а,б; NASA, 2024; BoM, 2024; Madge, 2024; TCC JMA, 2025 и др. В этих публикациях приводятся, с небольшими расхождениями, данные об основных наблюдаемых аномалиях и рекордах 2024 года. Во многих из них подчеркивается, что это первый календарный год, когда среднегодовая глобальная температура более чем на 1.5°C превысила среднее значение доиндустриального периода (1850-1900) – порог, установленный Парижским соглашением (UNFCCC, 2015).

В 2024 году каждый месяц, с января по июль, был теплее соответствующего месяца любого предыдущего года, а оставшиеся месяцы до конца года стали вторыми самыми теплыми после соответствующих месяцев 2023 года. В общей сложности было 14 месяцев подряд с рекордными глобальными температурами (с июня 2023 по июль 2024 г. (WMO, 2024; Copernicus, 2024)). В соответствии с (NASA, 2024), последовательных рекордно теплых месяцев было даже 15 (по август 2024 г.).

Авторы практически всех упомянутых исследований отметили, что последние десять лет были самым теплым десятилетием за всю историю наблюдений, а также обратили внимание на тот факт, что флуктуации глобальной температуры в 2023-2024 гг. должны быть, в значительной мере, обусловлены влиянием Южного колебания (ЮК, ENSO). Действительно, Эль-Ниньо (теплая фаза ЮК) длилась с июня 2023 г. до мая 2024 г., с августа до ноября сохранялись нейтральные условия, а в декабре произошел переход к Ла-Нинья (холодная фаза ЮК).

Перечисляются также и другие температурные рекорды, но глобальная температура – лишь один из показателей климата и его изменений; приводятся данные и о других ключевых показателях: атмосферной концентрации парниковых газов, теплосодержании и закислении океана, уровне моря, протяженности и массе морского льда и др. Практически все они указывают на новые рекорды и продолжающееся глобальное потепление.

В частности, глобальная концентрация углекислого газа и метана достигла самых высоких уровней (соответственно, 420 ppm, 1897 ppm), по крайней мере, за последние 2 миллиона лет (Copernicus, 2024). Площадь морского льда в Антарктике в последние 10 лет резко сокращается (после небольшого увеличения в 1979-2014), а средний уровень мирового океана поднялся более чем на 11 см с 1970 года (с 1900 – на 22 см) (BoM, 2024). Средняя температура Мирового океана была рекордной 15 месяцев подряд (с апреля 2023 года по июнь 2024) (NOAA NCEI, 2024а,б). В 2024 году наблюдались исключительные значения температуры поверхности почвы, теплосодержания океана и др. (WMO, 2025). Все эти аномалии способствовали возникновению

экстремальных явлений, включая наводнения, волны тепла и лесные пожары (WMO, 2024; Copernicus, 2024).

Забегая вперед, отметим, что полученные нами и представленные в настоящей статье результаты и выводы относительно температурного режима 2024 г., как и обновленные оценки климатических трендов, в целом, хорошо согласуются с уже опубликованными оценками и выводами других авторов, по данным альтернативных источников.

На наш взгляд, следует особо выделить статью (Morice et al., 2024), в которой представлена новая система анализа глобальных полей приповерхностной температуры и первые результаты ее применения (проект GloSAT). Новый подход основан на теории гауссовых (марковских) случайных полей в применении к историческим наблюдениям с конца XVIII века. Он оценивает глобальные поля аномалий температуры (совместно, над сушей и океанами) на основе наблюдений за температурой воздуха на метеостанциях и судах. Как считают авторы этого подхода, его «... повышенная вычислительная эффективность (по сравнению с традиционными оценками на основе кригинга) позволяет повысить пространственное разрешение анализа и учесть ошибки, вызванные различными некоррелированными эффектами (например, смещения в данных с отдельных точек наблюдений)».

Все выпуски сезонных бюллетеней и годовых обзоров ИГКЭ доступны на Web-сайте ИГКЭ (ИГКЭ, 2024), начиная с 2015 года (начало функционирования в ИГКЭ системы мониторинга глобального климата: GCCM – Global Climate Change Monitoring).

В тексте статьи допускаются сокращения: Земной шар (ЗШ), Северное полушарие (СП), Южное полушарие (ЮП), Атлантический океан (АО), Тихий океан (ТО), Северная Америка (С. Америка), Южная Америка (Ю. Америка).

Данные и методика анализа

Как и в предыдущих публикациях данной серии, все приведенные ниже результаты получены в рамках действующей в ИГКЭ технологии мониторинга глобального климата по разделу «Приземная температура». Соответственно, все оценки получены по данным наблюдений за приземной температурой из двух источников – ИГКЭ и Hadley/CRU.

Данные ИГКЭ (массив T3288) включают данные стандартных наблюдений за температурой приземного воздуха с 1901 года на глобальной сети 3288 наземных станций. Описание массива и каталог включенных в него станций можно найти на web-сайте ИГКЭ (<http://www.igce.ru/climatechange/monitoring-world/>). Массив ежемесячно пополняется в квазиреальном времени оперативными данными с каналов связи ГСТ (сводки КЛИМАТ), после надлежащей процедуры контроля и верификации (ЦМКП, 2016). В 2020 году технология была наращена блоком контроля и заполнения пропусков в данных КЛИМАТ на основе станционных данных СИНОП.

Данные Hadley/CRU – это признанные мировым научным сообществом

данные Метеослужбы Великобритании (Met Office Hadley Centre, UK) и Университета Восточной Англии (CRU UEA, UK) о приповерхностной температуре на глобальной сети 5-градусных боксов (<http://www.metoffice.gov.uk>). Комплект содержит три категории данных: CRUTEM5 (только суша, версия 5.0.2.0), HadSST4 (только море, версия 4.0.1.0) и HadCRUT5 (суша+море, версия 5.0.2.0). В каждой категории содержатся глобальные сеточные поля и глобально осредненные временные ряды для Земного шара, Северного и Южного полушарий (полное описание данных см. на Web-сайте Met Office). В технологии мониторинга ИГКЭ обновленные (и продленные на месяц) данные Hadley/CRU ежемесячно скачиваются с сайта источника и включаются в Базу данных мониторинга. Из них реально используются сеточные поля объединенных данных HadCRUT5 (суша+море) и глобально осредненные временные ряды для всех трех категорий данных. Данные Hadley/CRU используются без корректировки, в полном соответствии с данными источника.

Следует отметить, что базовым массивом для оценки температурных условий на суше (локальных, региональных, глобальных) служит массив станционных данных T3288 (ИГКЭ), а сеточный массив HadCRUT5 используется для создания глобальной картины над сушей и океанами (включая локальные и региональные оценки на всей территории с учетом океанов). Все полушарные и глобальные оценки параллельно приводятся еще и по временным рядам Hadley/CRU. Глобальные временные ряды CRUTEM5 играют в данном исследовании особую роль как реальная, апробированная и признанная мировым сообществом, альтернатива рядам, рассчитанным по методике ИГКЭ по массиву T3288. Сопоставление одноименных временных рядов CRUTEM5 и T3288 (рис. 1), полученных в разных центрах по единым станционным наблюдениям (сводки КЛИМАТ), но с использованием разных наборов станций и разных методик обработки, дает представление о масштабе неопределенности результирующих оценок и в определенной мере о репрезентативности наборов данных.

Дополнительно отметим, что результаты сравнения этих рядов обновляются и публикуются в каждом бюллетене для соответствующего временного интервала. Оценки по состоянию на конец 2023 г. опубликованы в предыдущей статье авторов (Ранькова и др., 2024). В соответствии с последними оценками для трех глобальных территорий (Земной шар, полушария) за последние 100 лет среднее различие рядов T3288 и CRUTEM5 колеблется в интервале от -0.003 до +0.045°C, но за последние 49 лет (с 1976 г.) – менее 0.02°C. Расхождение рядов в конкретные годы после 1976 г. никогда не достигало 0.1°C, но в ЮП в 1930 г. и в 1940 г. расхождение составило 0.19°C и 0.17°C, а в СП – 0.08°C в 1950 г. При этом стандартное отклонение различий (0.018-0.051°C) более чем на порядок ниже стандартного отклонения самих рядов (0.263-0.541°C) и во всех случаях ряды характеризуются высокой корреляцией (выше 0.99) и чрезвычайно низким различием трендов (до $\pm 0.013^\circ\text{C}/10$ лет).

Таким образом, результаты сравнения рядов T3288 и CRUTEM (рис. 1) свидетельствуют об их близости и о репрезентативности массива T3288. Следовательно, различия между полученными по ним оценками наблюдаемых

изменений климата можно рассматривать как нижнюю границу их неопределенности.

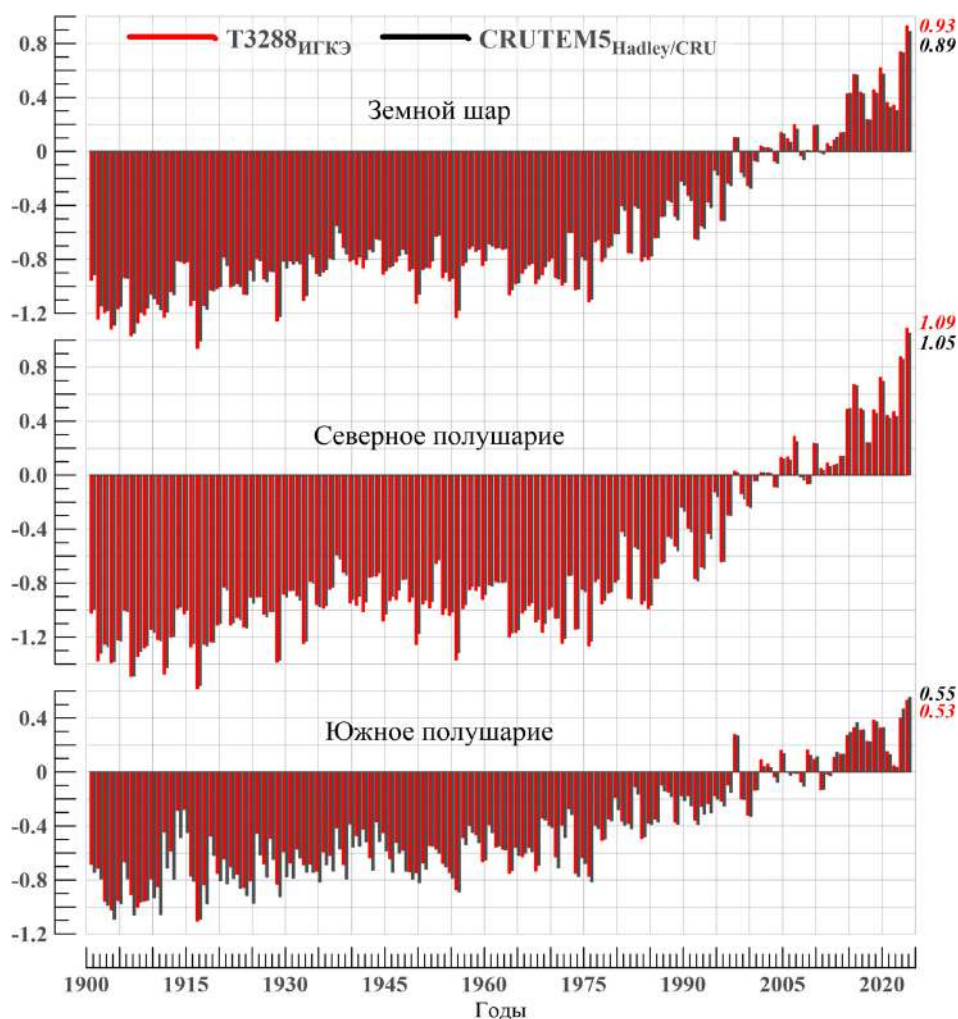


Рисунок 1. Временные ряды пространственно осредненных среднегодовых аномалий температуры приземного воздуха над сушей Земного шара, Северного и Южного полушарий (°C) *Использованы глобальные временные ряды T3288 (ИГКЭ) и CRUTEM5 (Hadley/CRU), 1901-2024 гг. Справа приведены числовые значения среднегодовых аномалий в 2024 г. (базовый период 1991-2020)*

Figure 1. Time series of spatially averaged annual anomalies of surface air temperature over the land of the Globe, the Northern and Southern Hemispheres (°C)
Global time series T3288 (IGCE) and CRUTEM5 (Hadley/CRU) for the period 1901-2024 are used. The numerical values of the annual anomalies in 2024 (the base period 1991-2020) are shown on the right

В качестве «глобальных территорий» в статье рассматриваются: Земной шар (ЗШ), Северное полушарие (СП) и Южное полушарие (ЮП), как в целом (суша+море), так и для территории суши и акваторий океанов порознь. Дополнительно рассматриваются временные ряды для крупных регионов мира (континентов, океанов и основных широтных поясов), расчет которых, по данным T3288 и HadCRUT5, выполнен по методике ИГКЭ.

На используемой в этой методике **процедуре пространственного осреднения** остановимся несколько подробнее. Процедура предусматривает сеточную структуру входных данных, при которой значения поля заданы в узлах регулярной широтно-долготной сетки (или в центрах «боксов», образованных ячейками сетки). Регион осреднения задан координатами вершин замкнутого многоугольника (граница региона), так что задача сводится к взвешенному осреднению значений поля в боксах, пересекающихся с территорией региона. Весовая функция при этом пропорциональна произведению доли площади ячейки внутри региона на косинус средней широты. В случае стационарных (рассеянных) данных процедура двухступенчатая: сначала данные приводятся к сеточной структуре (путем осреднения значений поля внутри ячеек сетки с учетом плотности доступных точечных значений), после чего производится собственно осреднение по территории региона. Эта же процедура используется для расчета доли площади региона с осуществлением некоторого события, для чего предусмотрена дополнительная операция – замена значений поля соответствующей δ -функцией.

Для анализа **временной структуры многолетних изменений глобальной температуры** в статье используются скользящие оценки в некоторой окрестности интересующих нас временных масштабов, причем оценки не только трендов, но, как минимум, еще и средних. Этот метод сродни вейвлетному анализу, но алгоритмически более простой и более наглядный для интерпретации. Выбранная статистика (среднее или коэффициент линейного тренда) рассматривается как функция двух переменных $f(x, y)$ и отображается на двумерной диаграмме, координатами которой служат: x – конечный год периода оценивания, y – длина периода оценивания. В этом случае каждая точка диаграммы (x_0, y_0) характеризует состояние климата на конкретном отрезке времени $[x_0 - y_0 + 1, x_0]$, а в случае аномалий – изменение климата за этот период относительно базового периода. Впервые для анализа структуры временного ряда глобальной температуры мы использовали данный подход в (Груза и др., 1992), затем повторили его в (Груза и др., 2016), по данным ИГКЭ (Т3288, суша), за период 1901–2015 гг. В данной статье анализ выполнен по данным HadCRUT5 за 1901–2024 гг.

Еще один методический прием – **нормирование разномасштабных временных рядов с помощью эмпирической функции распределения**. В частности, речь идет о метеорологических данных месячного разрешения. Традиционно анализ таких рядов проводится для каждого фиксированного месяца отдельно. В данном случае для всех данных строится единая вероятностная шкала и единый временной ряд с шагом месяц. Каждое значение ряда заменяется долей не превышающих его значений среди данных того же месяца (эмпирическая частота, эмпирическая функция распределения, эмпирическая вероятность непревышения). При таком преобразовании исключается не только сезонный ход средних (как и в аномалиях в натуральной, градусной, шкале), но и сезонные различия в масштабах изменчивости (Груза и др., 2017а; Груза и др., 2022).

Следует особо подчеркнуть, что в данной методике осреднение по пространственно-временным координатам (основной используемый статистический оператор) означает физическое осреднение, выполняемое по формулам для генеральной совокупности. Оно вполне соответствует задачам описательной статистики и используется для фиксации характеристик климатической системы в конкретные периоды времени и в рамках рассматриваемых территорий (акваторий). В целом этот подход подробно описан в (Груза, Ранькова, 1980) как «эмпирико-статистический», а получаемые в результате «эмпирические статистики» (эмпирическая средняя, эмпирическая дисперсия, эмпирическая функция распределения и т.п.), как и их теоретические «прообразы», позволяют выявить ранее неизвестные особенности в изменении и изменчивости наблюдаемого климата для более глубокого изучения.

Таким образом, все приведенные в статье статистики являются эмпирическими, а «оценки значимости» – условными ориентирами для большего или меньшего им доверия. Следует лишь помнить, что при отсутствии необходимых допущений о вероятностной модели, в рамках которой рассматривается задача, вопрос об их реальности должен решаться не формальным использованием статистических критериев, а путем оценки точности и достоверности используемых данных и/или сравнением с выводами из альтернативных источников.

Результаты

2024 год – рекордно теплый в истории наблюдений

По всем четырем наборам данных (T3288, HadCRUT5, CRUTEM5, HadSST4) и всем трем глобальным территориям (ЗШ, СП, ЮП), 2024 год стал самым теплым годом в истории наблюдений (с 1850 г.) (табл. 1).

В частности, глобальная среднегодовая аномалия приповерхностной температуры (массив HadCRUT5, суша+море) составила в 2024 г. $+0.593^{\circ}\text{C}$. Это на 0.06°C выше рекорда 2023 года и на 1.437°C выше доиндустриального уровня (1850-1900 гг.), что максимально близко к порогу 1.5°C , установленному Парижским соглашением (UNFCCC, 2015).

Географические и сезонные особенности распределения аномалий приповерхностной температуры в 2024 году

В настоящем разделе представлены данные об аномалиях температуры в 2024 году для года в целом, каждого сезона и отдельных месяцев (табл. 2, 3, 4, рис. 2, 3).

Наряду с глобальными полями локальных аномалий (рис. 2, 3), анализируются их обобщения для Земного шара, полушарий и крупных регионов (континентов, океанов, широтных поясов) в виде пространственно осредненных значений аномалий и их частотных распределений по знаку и интенсивности (табл. 3).

Таблица 1. Пять самых теплых лет, по данным разных источников, для Земного шара (ЗШ), Северного (СП) и Южного (ЮП) полушарий: средняя за год аномалия VT и год наблюдения

Table 1. Five warmest years according to different data sources for the Globe (GL), Northern (NH) and Southern (SH) Hemispheres: spatially averaged annual temperature anomaly VT and year of observation

Ранг	ЗШ		СП		ЮП	
	VT, °C	Год	VT, °C	Год	VT, °C	Год
HadCRUT5 (Hadley/CRU, суша+море)						
1	0.593	2024	0.777	2024	0.408	2024
2	0.533	2023	0.669	2023	0.397	2023
3	0.345	2016	0.514	2020	0.246	2019
4	0.335	2020	0.457	2016	0.233	2016
5	0.315	2015	0.424	2015	0.205	2015
T3288 (ИГКЭ, суша)						
1	0.931	2024	1.086	2024	0.531	2024
2	0.738	2023	0.876	2023	0.399	2023
3	0.617	2020	0.724	2020	0.384	2019
4	0.570	2016	0.670	2016	0.328	2016
5	0.454	2019	0.492	2017	0.325	2020
CRUTEM5 (Hadley/CRU, суша)						
1	0.887	2024	1.055	2024	0.551	2024
2	0.729	2023	0.859	2023	0.468	2023
3	0.573	2020	0.696	2020	0.370	2019
4	0.565	2016	0.664	2016	0.366	2016
5	0.429	2019	0.497	2015	0.329	2020
HadSST4 (Hadley/CRU, море)						
1	0.502	2024	0.628	2024	0.385	2024
2	0.469	2023	0.553	2023	0.382	2023
3	0.281	2016	0.415	2020	0.230	2016
4	0.278	2019	0.346	2015	0.219	2019
5	0.271	2020	0.342	2019	0.186	2015

В соответствии со среднегодовыми оценками (рис. 2, табл. 2, 3, в 2024 г. на территории Земного шара положительные аномалии температуры составляли 89% всех локальных данных. При этом около 21% стали для своих пунктов рекордными (абсолютные максимумы) и еще 36% оказались выше 95-го перцентиля (5%-е экстремумы тепла).

Таблица 2. Пространственно осредненные значения аномалий приземной температуры на территории Земного шара в 2024 г. (°C) и их вероятности неперевышения (в среднем за год и в каждом из сезонов)

Table 2. Spatially averaged surface temperature anomalies on the territory of the Globe in 2024 (°C) and their non-exceedance probabilities (for the annual and seasonal means)

Регион		Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
		vT	F%	vT	F%	vT	F%	vT	F%	vT	F%
HadCRUT5 (суша+море)											
Земной шар		0.59	100	0.66	100	0.58	100	0.56	99.1	0.62	99.1
Северное полушарие		0.78	100	0.82	100	0.77	100	0.76	100	0.81	99.1
Южное полушарие		0.41	100	0.50	100	0.40	100	0.36	99.1	0.43	99.1
Атлантика (15-70N)		0.76	100	0.63	100	0.70	100	0.91	99.1	0.72	99.1
Тихий океан (20-65N)		0.69	100	0.66	100	0.51	98.2	0.68	99.1	0.91	100
Широтные пояса	65-90N	1.02	97.3	1.06	95.6	0.41	89.4	0.38	92	1.13	97.3
	25-65N	0.97	100	0.88	99.1	0.88	100	1.00	100	1.12	99.1
	25S-25N	0.53	100	0.74	100	0.62	100	0.43	99.1	0.42	98.2
	65-25S	0.39	99.1	0.36	99.1	0.29	98.2	0.34	99.1	0.49	100
	90-65S	0.18	77.2	-0.43	22.5	-0.26	35.8	1.39	92.5	-0.29	58.7
T3288 (суша)											
Земной шар		0.93	100	0.96	98.2	0.90	100	0.79	100	1.03	99.1
Северное полушарие		1.09	100	1.08	98.2	1.13	100	0.90	100	1.16	99.1
Южное полушарие		0.53	100	0.67	100	0.34	96.5	0.51	99.1	0.73	100
Северная Америка		1.49	100	2.43	100	1.33	100	0.95	99.1	1.68	100
Евразия		1.11	100	0.60	92	1.09	99.1	1.06	100	1.30	99.1
Южная Америка		0.61	99.1	0.99	100	0.57	98.2	0.50	97.3	1.07	100
Африка		0.83	100	0.86	99.1	1.33	100	0.90	100	0.29	92.9
Австралия		0.56	97.3	0.75	97.3	-0.41	52.2	0.37	92.9	1.04	99.1
Антарктида		0.07	73.7	-0.83	15	0.03	53.7	1.32	92.5	-0.64	43.7
Европа		1.44	100	0.88	85.8	1.23	98.2	1.45	99.1	1.73	100
Азия		1.00	100	0.48	92	1.02	97.3	0.94	100	1.20	99.1
CRUTEM5 (суша)											
Земной шар		0.89	100	0.92	98.2	0.85	100	0.78	99.1	1.00	99.1
Северное полушарие		1.06	100	1.07	98.2	1.08	100	0.92	100	1.15	99.1
Южное полушарие		0.55	100	0.64	100	0.40	98.2	0.51	99.1	0.71	100
HadSST4 (море)											
Земной шар		0.50	100	0.56	100	0.49	100	0.50	99.1	0.50	99.1
Северное полушарие		0.63	100	0.67	100	0.60	100	0.66	100	0.62	99.1
Южное полушарие		0.39	100	0.47	100	0.40	100	0.33	99.1	0.38	99.1

Условные обозначения.

1. vT, °C – наблюдаемая аномалия в 2024 году (базовый период 1991-2020 гг.);
2. F% – значение эмпирической функции распределения $F = \text{prob}(X \leq vT_{2024})$, по данным за 1911-2024 гг. (вероятность неперевышения)
3. Красным шрифтом выделены абсолютные максимумы (наибольшие из всех значений ряда за 1911-2024 гг.), синим – отрицательные аномалии.

Температура ниже нормы (в среднем за год) отмечена лишь на ~7% всех станций/боксов, расположенных в Южном полушарии: в Антарктиде (Земля Мэри Бэрд, Земля Уилкса), Южной Америке (восток Бразилии и юг Аргентины) и на востоке тихоокеанских тропиков.

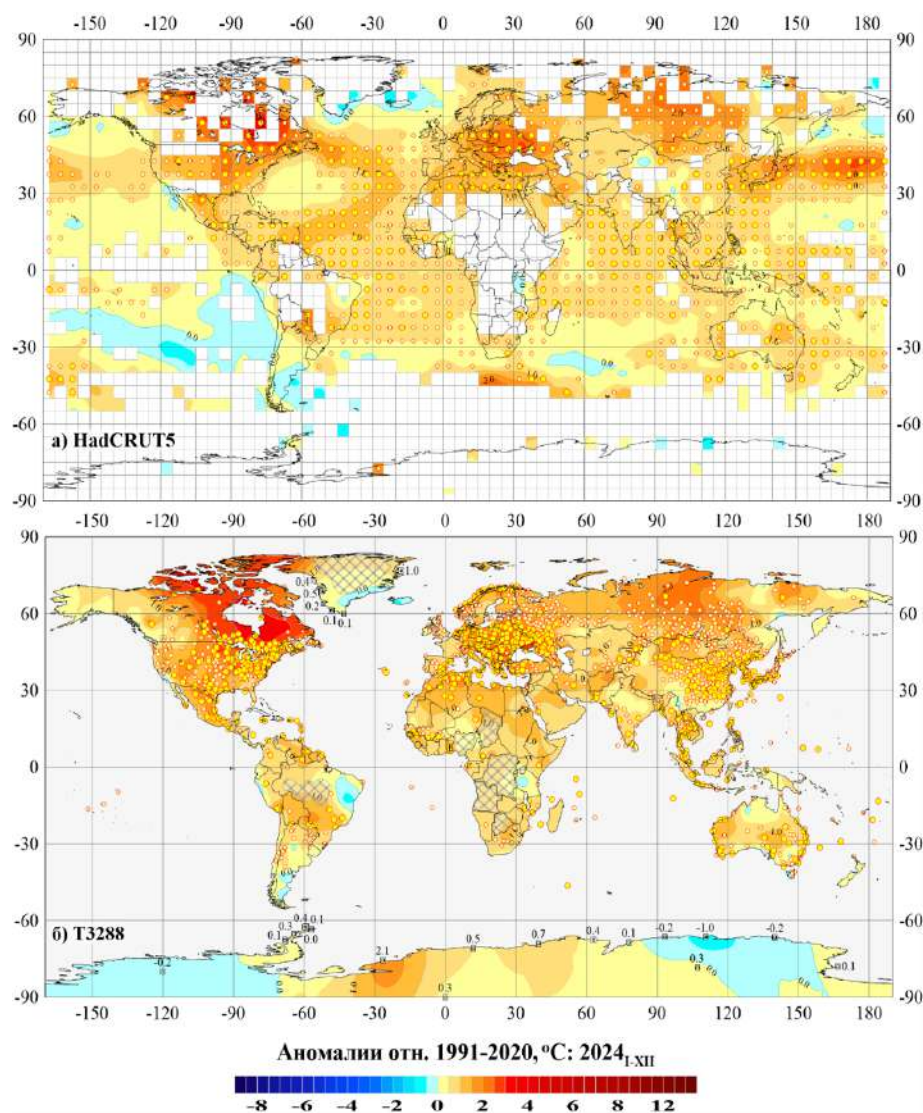


Рисунок 2. Пространственное распределение среднегодовых локальных аномалий приземной температуры (°C) на территории Земного шара в 2024 г.: а) по сеточным данным HadCRUT5 (суша+море, Hadley/CRU, UK); б) по станционным данным T3288 (только суша, ИГКЭ)

Аномалии приведены в отклонениях от средних за 1991-2020 гг. Кругами белого (минимумы) и желтого (максимумы) цвета указано положение боксов/станций с рекордными значениями аномалий. Значками меньшего размера указано положение 5%-х экстремумов того же знака. Числовые значения аномалий на станциях Антарктиды и Гренландии показаны непосредственно в точках расположения станций. Пустыми боксами (а) и штриховкой (б) показаны области отсутствия наблюдений

Figure 2. Spatial distribution of the annual local surface temperature anomalies (°C) on the Globe in 2024: а) according to HadCRUT5 gridded data (land + sea, Hadley/CRU, UK); б) according to T3288 station data (land only, IGCE)

Anomalies are given in deviations from the average for 1991-2020. Circles of white (minima) and yellow (maxima) indicate the position of boxes/stations with record values of anomaly. The same smaller icons indicate the position of 5% extremes of the same sign. Numerical values of anomalies at stations in Antarctica and Greenland are shown directly at the station locations. Blank boxes (а) and hatching (б) show areas of no observations

Температурные рекорды и 5%-е экстремумы тепла (глобальные и региональные, в среднем за год и в отдельные сезоны/месяцы) отмечались практически во всех регионах (табл. 3), кроме Австралии, Антарктиды и обоих полярных поясов.

При этом многие из регионально-осредненных аномалий все 12 месяцев оставались на одной из первых трех позиций (ранг 1-3) в соответствующих, упорядоченных по убыванию, временных рядах.

Таблица 3. Частотные распределения среднегодовых локальных аномалий у поверхности Земного шара в 2024 году
(в зависимости от региона, знака аномалий и их экстремальности)

Table 3. Frequency distributions of annual local anomalies at the Earth's surface in 2024
(depending on the region, the sign of the anomalies and their exnremity)

Регион		NN- число боксов/ станций	Число значений в каждой категории (в % от NN)						
			Аномалии (отн. 1991-2020 гг.)			5%-е экстремумы холода/тепла		Абсолютные экстремумы	
			V < 0	V=0	V > 0	X ≤ P ₀₅	X ≥ P ₉₅	X = min	X = max
HadCRUT5 (суша+море)									
ЗШ		1423	7.1	3.9	89.0	-	57.3	-	21.4
СП		840	3.0	3.1	93.9	-	65.1	-	26.8
ЮП		583	13.0	5.0	82.0	-	46.1	-	13.7
АО, 15-70N		130	1.5	2.3	96.2	-	67.7	-	26.2
ТО, 20-65N		148	2.0	1.4	96.6	-	81.1	-	41.2
Широтные пояса	65-90N	68	10.3	2.9	86.8	-	36.8	-	4
	25-65N	500	2.8	3.4	93.8	-	64.0	-	23.8
	25S-25N	560	6.3	2.7	91.1	-	67.0	-	27.7
	65-25S	281	14.2	7.1	78.6	-	33.8	-	10.0
	90-65S	14	35.7	7.1	57.1	-	7	-	-
T3288 (только суша)									
ЗШ		2460	8.2	3.0	88.8	0.6	52.6	0.1	19.2
СП		2089	6.0	2.1	91.9	0.0	55.5	-	20.2
ЮП		371	20.5	8.1	71.4	3.5	36.4	0.8	13.5
С. Америка		412	4.9	2.7	92.5	-	60.9	-	21.1
Евразия		1471	6.5	1.8	91.7	0.1	53.8	-	19.2
Ю. Америка		123	7.3	5.7	87.0	-	58.5	-	26.8
Африка		120	2.5	5.0	92.5	-	56.7	-	15.8
Австралия		137	36.5	9.5	54.0	8.0	18.2	2.2	2.9
Антарктида		18	27.8	-	72.2	-	11.1	-	-
Европа		539	6.5	1.5	92.0	-	68.6	-	23.9
Азия		941	6.4	2.0	91.6	0.1	45.8	-	16.6
Арктика, суша		146	7.5	3.4	89.0	-	28.1	-	2.7

Условные обозначения.

1. $V < 0$, $V = 0$, $V > 0$ – категории аномалий;
2. P₀₅, P₉₅ – 5-я и 95-я процентиля
3. *min*, *max* – абсолютные экстремумы: наименьшее и наибольшее значения с 1911 г.

Более детальное представление о температурных аномалиях 2024 года дают глобальные поля сезонных аномалий (рис. 3) и оценки пространственно-осредненных аномалий для каждого месяца – глобальные и для каждого региона (табл. 4).

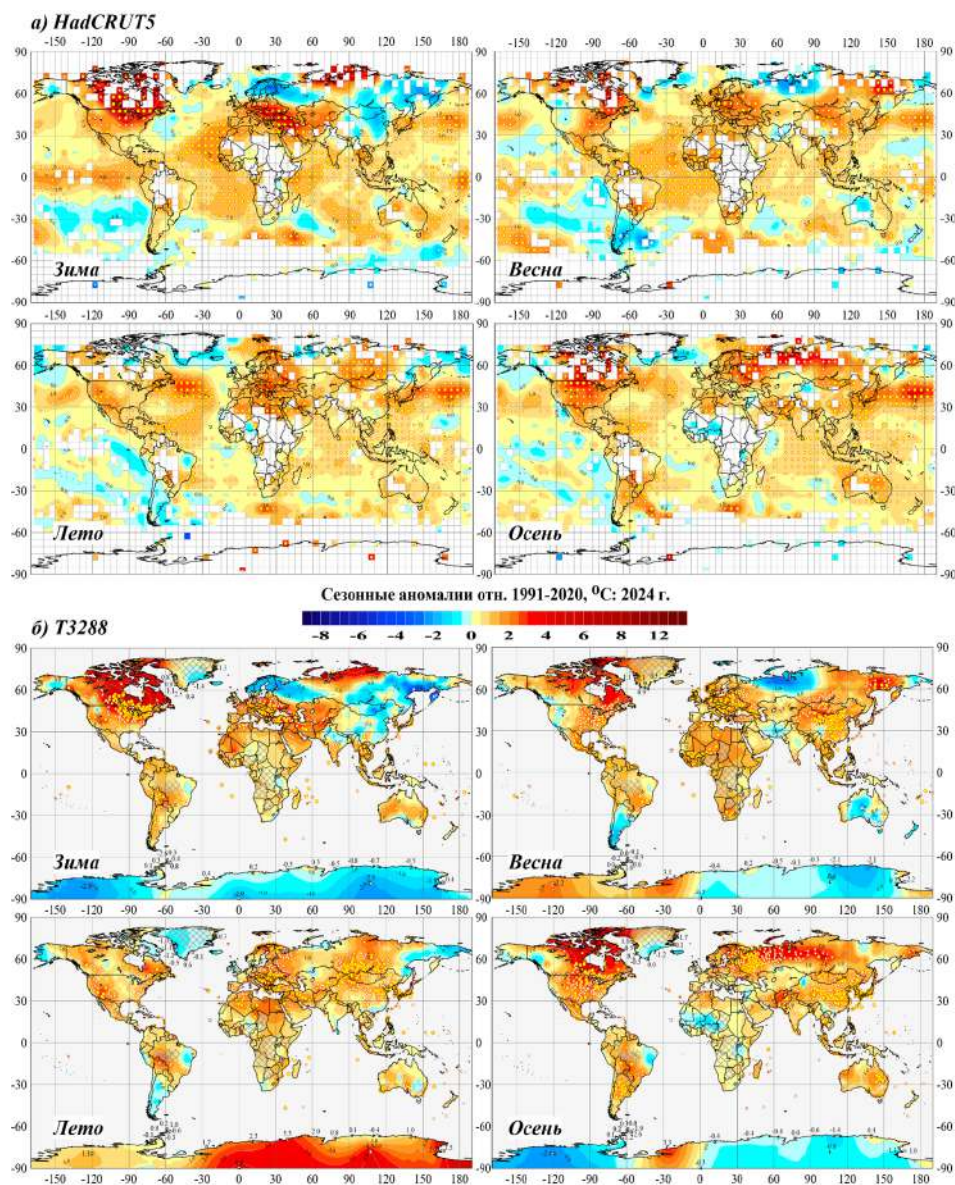


Рисунок 3. См. рис. 2, но для сезонных аномалий

Figure 3. See Figure 2, but for seasonal anomalies

Из сезонов рекордно теплыми были: на суше – весна и лето в Северном полушарии, зима и осень – в Южном; на акваториях океанов – зима и весна в обоих полушариях, а в Северном полушарии – еще и лето. Для Земного шара

в целом (массив HadCRUT5, суша+море), все четыре сезона были экстремально теплыми, в том числе первые два – рекордно теплыми, остальные – вторыми из самых теплых (с 1850 г.).

Таблица 4. Пространственно осредненные значения аномалий приповерхностной температуры в 2024 г. для Земного шара, полушарий и крупных регионов мира (за каждый месяц и в среднем за год)

Table 4. Spatially averaged values of near-surface temperature anomalies in 2024 for the Globe, Hemispheres and major regions of the world (for each month and on average for the year)

Регион	Месяцы 2024 г.												Год I-XII
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
HadCRUT5 (суша+море)													
ЗШ	0.60 1	0.54 1	0.49 1	0.50 1	0.49 1	0.48 1	0.50 2	0.51 2	0.51 2	0.48 2	0.50 2	0.42 3	0.50 1
СП	0.69 1	0.64 1	0.59 1	0.58 1	0.63 1	0.65 1	0.65 2	0.69 2	0.68 2	0.60 2	0.60 2	0.54 3	0.63 1
ЮП	0.52 1	0.46 1	0.40 2	0.44 1	0.35 1	0.32 2	0.35 2	0.33 2	0.36 2	0.37 1	0.41 1	0.32 4	0.39 1
АО, 15-70 N	0.5 1	0.8 1	0.7 1	0.6 1	0.8 1	1.0 1	0.9 2	0.8 2	0.8 2	0.7 2	0.7 1	0.6 1	0.8 1
ТО, 40-60N	0.6 1	0.5 1	0.5 3	0.5 2	0.5 4	0.6 4	0.7 2	0.8 4	0.9 1	1.0 1	0.8 2	0.8 2	0.7 1
65-90N	0.2 28	1.6 9	0.5 15	0.3 22	0.5 15	0.4 12	0.1 19	0.7 6	1.1 3	0.7 13	1.6 4	1.9 3	1.0 4
25-65N	0.7 3	0.9 4	0.9 4	1.1 1	0.7 1	1.0 1	1.0 1	1.0 2	1.1 2	1.0 2	1.3 1	1.1 2	1.0 1
25S-25N	0.8 1	0.7 1	0.7 1	0.6 1	0.5 1	0.4 2	0.4 2	0.5 2	0.4 3	0.4 3	0.4 4	0.3 8	0.5 1
65-25S	0.4 2	0.4 2	0.3 3	0.3 3	0.2 8	0.4 2	0.3 3	0.3 2	0.5 1	0.5 1	0.5 1	0.5 2	0.4 2
90-65S	-0.4 74	-0.4 65	0.2 31	-1.2 70	0.4 29	-0.5 43	1.6 10	3.1 1	-0.9 45	0.5 16	-0.5 46	0.6 5	0.2 19
T3288 (суша)													
СП	0.79 3	1.02 3	1.10 2	1.06 1	0.59 1	0.82 1	0.70 2	0.85 2	0.95 2	0.97 2	1.21 1	1.14 1	0.93 1
ЮП	0.86 3	1.116 3	1.26 2	1.38 1	0.74 1	0.92 1	0.92 1	0.87 2	1.03 2	1.02 2	1.44 1	1.36 1	1.09 1
СП	0.60 1	0.79 1	0.67 1	0.28 8	0.22 11	0.56 2	0.16 14	0.80 1	0.74 2	0.83 1	0.63 1	0.58 3	0.54 1
С. Америка	0.8 19	2.8 1	1.4 7	1.6 4	1.1 4	0.9 2	1.0 2	0.9 3	1.7 1	1.7 4	1.6 3	2.4 2	1.5 1
Евразия	0.7 10	0.4 17	1.3 10	1.5 1	0.4 10	1.1 1	1.1 1	1.0 2	1.1 2	0.9 2	1.9 1	1.7 3	1.1 1
Ю. Америка	1.0 1	1.2 1	1.3 2	1.0 1	-0.3 62	1.2 2	0.1 34	0.4 16	1.5 1	1.2 1	0.6 4	0.1 17	0.6 2
Африка	1.2 2	1.0 2	1.5 1	1.0 2	1.4 1	1.3 1	0.7 2	0.6 3	0.3 10	0.3 11	0.4 8	0.4 11	0.8 1
Австралия	0.4 16	0.8 9	0.5 20	-1.5 98	0.1 30	-0.2 47	-0.5 58	1.9 2	0.7 5	1.5 3	0.9 9	1.2 5	0.6 4
Антарктида	-1.2 75	-0.8 57	0.5 21	-1.7 67	1.3 18	0.5 23	1.2 18	2.3 4	-1.3 57	0.1 34	-0.7 56	0.6 18	0.1 23
Европа	-0.6 49	2.6 8	2.0 7	1.9 1	-0.2 34	1.6 3	1.4 3	1.4 3	2.4 2	1.3 4	1.4 11	2.1 7	1.4 1
Азия	1.1 7	-0.2 30	1.1 11	1.3 2	0.6 6	0.9 1	1.0 1	0.9 2	0.7 5	0.8 3	2.1 1	1.6 5	1.0 1
CRUTEM5 (суша)													
ЗШ	0.77 3	1.04 3	0.99 2	1.01 1	0.56 1	0.80 1	0.70 2	0.85 2	0.92 2	0.95 2	1.13 1	0.93 3	0.89 1
СП	0.86 3	1.16 3	1.13 3	1.36 1	0.74 1	0.97 1	0.92 1	0.88 2	0.99 2	1.05 2	1.40 1	1.20 2	1.05 1
ЮП	0.59 1	0.79 1	0.69 1	0.30 8	0.21 11	0.47 2	0.25 7	0.79 2	0.77 1	0.77 1	0.60 1	0.38 5	0.55 1
HadSST4 (море)													
ЗШ	0.60 1	0.54 1	0.49 1	0.50 1	0.49 1	0.48 1	0.50 2	0.51 2	0.51 2	0.48 2	0.50 2	0.42 3	0.50 1
СП	0.69 1	0.64 1	0.9 1	0.58 1	0.63 1	0.65 1	0.65 2	0.69 2	0.68 2	0.60 2	0.60 2	0.54 3	0.63 1
ЮП	0.52 1	0.46 1	0.40 2	0.44 1	0.35 1	0.32 2	0.35 2	0.33 2	0.36 2	0.37 1	0.41 1	0.32 4	0.39 1

Примечание. Нижними индексами показаны ранги (по убыванию) в соответствующих временных рядах, 1911-2024 гг. Красным цветом выделены абсолютные максимумы (ранг 1, жирный шрифт) и значения с рангами 2 и 3.

Крупномасштабные особенности многолетнего хода температуры у поверхности Земного шара за период инструментальных наблюдений, 1850-2024

Межгодовые и межмесячные изменения глобальной температуры (рис. 4). В гидрометеорологической практике широко распространены диаграммы Хофмюллера (Hofmüller, 1949), построенные на пространственно-временных координатах (например, широта и время). В нашем случае обе координаты – временные: «год» (ось ординат OY) и «месяц» (ось абсцисс OX), так что по вертикали диаграмма отслеживает изменение температуры от года к году, а по горизонтали – от месяца к месяцу.

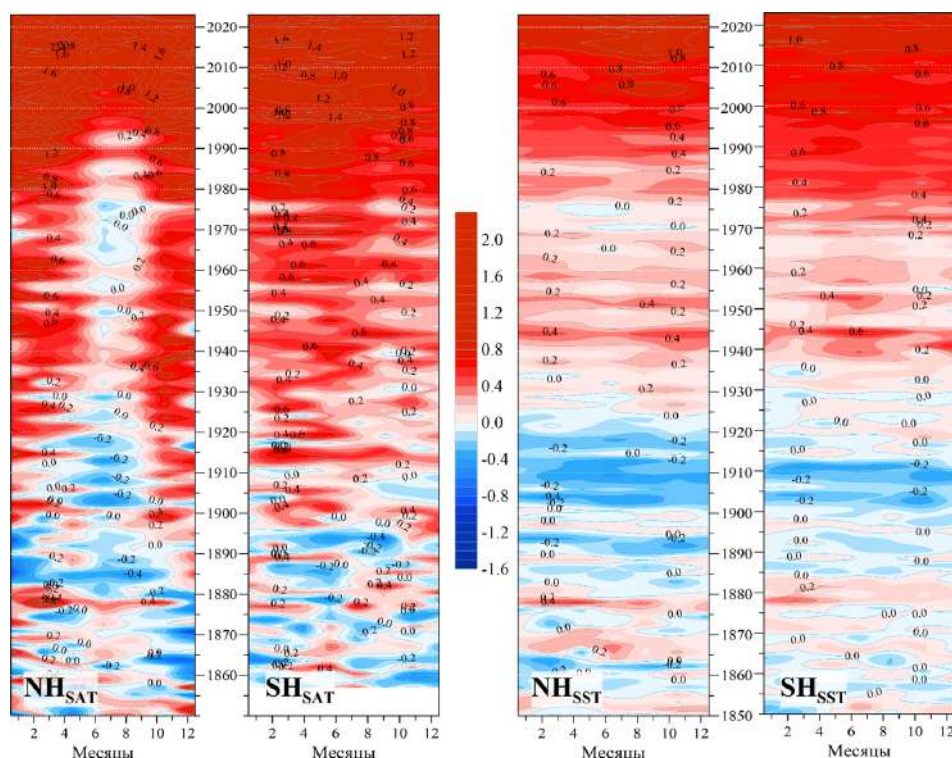


Рисунок 4. Двумерные изоплеты (год-месяц) среднемесячных аномалий глобальной температуры приземного воздуха SAT и поверхностного слоя воды SST для Северного (NH) и Южного (SH) полушарий, 1850-2024 гг.

Использованы данные Hadley/CRU (CRUTEM5, SAT; HadSST, SST).

Аномалии рассчитаны как отклонения от средней соответствующего месяца за 1850-1900 гг. (доиндустриальный период)

Figure 4. Two-dimensional isopleths (year-to-month) of global monthly anomalies of the surface air temperature (SAT) and sea surface temperature (SST) for the Northern (NH) and Southern (SH) Hemispheres, 1850-2024
 The data of Hadley/CRU (CRUTEM5, SAT; HadSST, SST) are used. Anomalies are calculated as deviations from the corresponding monthly mean for 1850-1900 (pre-industrial period)

На рис. 4 представлены все четыре компонента глобальной температуры, определяемые полушарием (СП/ЮП) и поверхностью (суша/море). На территории суши анализируется температура приземного воздуха (SAT), а на акваториях океанов – температура поверхностного слоя воды (SST). Все данные представлены в отклонениях от среднего за 1850-1900 гг. В результате каждая из этих четырех диаграмм показывает изменение соответствующей компоненты относительно ее «доиндустриального уровня» в любой момент периода наблюдений (1850-2024 гг.).

Прежде всего бросается в глаза почти полное отсутствие сезонного хода на диаграммах для температуры воды (SST). В обоих полушариях похолодание поверхности океанов на рубеже XX-XXI столетий достигло пика в 1910 г., сменилось потеплением, которое, в свою очередь, в середине 1940-х сменилось следующим похолоданием с минимумом в 1960-1970 гг.

Далее видно, что на суше (SAT), отмеченное выше потепление относится в полной мере лишь к Южному полушарию, где потепление было более интенсивным, хотя и неустойчивым. В Северном полушарии в летний сезон имело место похолодание с пиком в 1910 г. (как и в океанах), а в остальные сезоны наблюдалось довольно активное потепление (осенью до $+0.8^{\circ}\text{C}$). К 1940 году сезонность заметно сгладилась, после 2000-го – практически исчезла (в обоих полушариях), но температура теплых сезонов в отдельные годы, вплоть до 1985-1990 гг. (в Южном полушарии – до середины 1980-х) опускалась до «доиндустриального» уровня и ниже (слабые отрицательные аномалии). Далее ход температуры в обоих полушариях сходен: плавное потепление, усилившееся сначала после 1990-х, затем – после 2010-х гг., с месячными аномалиями до $+1.6^{\circ}\text{C}$.

Широтно-долготные разрезы (профили) позволяют проследить зональные и меридиональные особенности в изменении температурного режима последних 8 лет (рис. 5, с января 2017 года по декабрь 2024). *Зональные* профили (справа) указывают доминирующую направленность изменений приземной температуры с широтой (на каждой параллели, в среднем по полному широтному кругу), а *меридиональные* (слева) – уточняют характер этих изменений с долготой (на каждом меридиане), но только в среднем по северному умеренному поясу 40-60N. Другими словами, меридиональные профили высвечивают все наблюдаемые крупные аномалии на территории континентов и океанов в северных умеренных широтах, от восточного (180-120W) сектора Тихого океана до западного (120-180E), через территорию США (120-60W), Северную Атлантику (60W-0) и Евразию (0-120E).

Отметим, что рассматриваемые восемь лет (2017-2024) входят в число десяти самых теплых для Земного шара, но среди них лишь три – 2024, 2023, 2020 – экстремально теплых (их ранги – 1, 2, 4, соответственно).

Наиболее крупные положительные аномалии наблюдались, в основном, в Северном полушарии, севернее 40-й параллели (на континентах и океанах: в Тихом и Атлантическом). В 2023-2024 гг. крупные положительные аномалии наблюдались и в Южном полушарии (также на континентах и океанах: Атлантическом и Индийском).

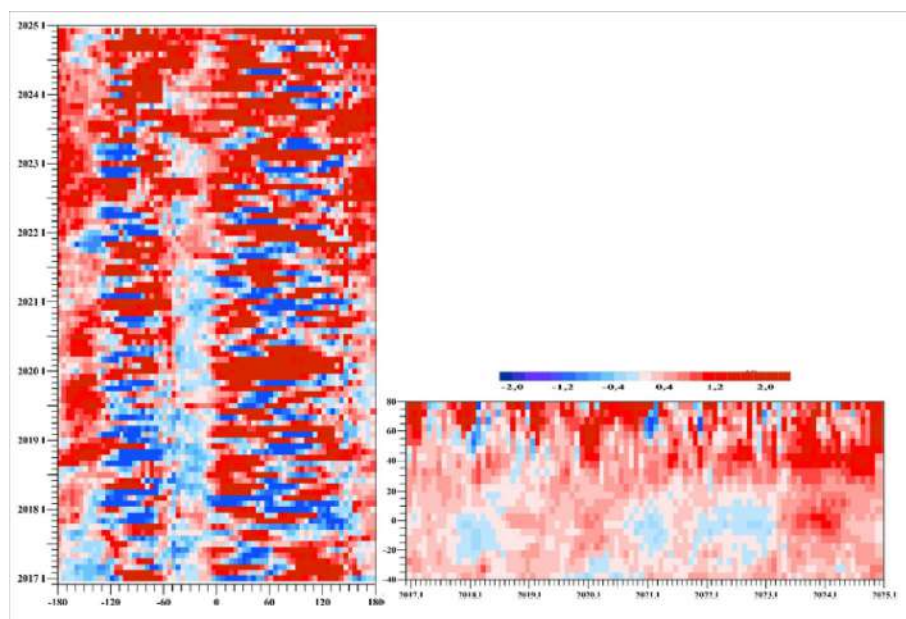


Рисунок 5. Изменение меридиональных (а, слева) и зональных (б, внизу) профилей приповерхностной температуры в течение 2017-2024 гг. Расчет выполнен по сеточным данным месячного разрешения (HadCRUT5, суша+море), выраженным в аномалиях относительно 1991-2020 гг. Зональные профили получены осреднением данных вдоль всего широтного круга, а меридиональные – внутри широтного пояса 40°-60° с.ш.

Figure 5. Variations month-by-month in the meridional (a, left) and zonal (b, bottom) profiles of near-surface temperature for the 2017-2024

Profiles are based on monthly gridded data (HadCRUT5, land + sea), expressed as anomalies relative to 1991-2020. Zonal profiles were obtained by averaging the data along the entire latitudinal circle, and meridional profiles – within the 40°-60°N latitudinal belt

В тропическом поясе особенно четко видно понижение температуры в первой половине 2018 г. (не получивший развития Ла-Нинья); затем – короткое потепление в 2020 г. (особенно в северных широтах) и новое похолодание, на этот раз длительное, вплоть до марта 2023. Это – трехлетний эпизод Ла-Нинья (за последние 50 лет таких было всего три), сменившийся общим потеплением, особенно заметным в приэкваториальных и умеренных широтах (Эль-Ниньо с июня 2023 г. по май 2024 г.). С июня 2024 г. потепление в тропическом поясе ослабевает (нейтральные условия ENSO), а севернее 50 N – усиливается.

Температурный режим XX-XXI столетий в крупных регионах мира (континенты, океаны, широтные пояса). Многолетние (с 1901 г.) изменения приземной температуры в крупных регионах Земного шара рассматриваются по данным о приповерхностной температуре месячного разрешения, нормированным с использованием эмпирической функции распределения (прием описан в разделе «Данные и методика анализа»). Для расчета использованы временные ряды регионально-осредненных среднемесячных аномалий, сглаженные 11-летним фильтром для каждого из введенных 15 регионов. Ряды представлены в вероятностной мере и показаны с 1930 года (рис. 6) для более четкого отображения флуктуаций более позднего периода (с акцентом на 1976-2024).

Напомним, что *временной ряд месячного разрешения* для каждого региона объединяет данные 12 «помесячных» (разномасштабных) рядов, и в каждом из них есть свое $F\%$ -е значение для любого F . Есть и свой абсолютный максимум ($F=100\%$ – рекорд конкретного месяца), который может меняться из года в год, но всегда будет расположен на верхней оси ОХ. В год многомесячного рекорда эти «рекордные» точки образуют участок кривой с $F=100\%$, полностью слившийся с верхней осью абсцисс.

Таким образом, при использовании вероятностных шкал, об интенсивности потепления можно судить по количеству точек на конечном участке соответствующей кривой, достигших достаточно высокого значения F (например, $F \geq 90-100\%$). Кроме того, в любой момент расчетного периода 12 точек на верхней горизонтали графика укажут реальные на тот момент температурные рекорды всех 12 месяцев в данном регионе. В преимуществе вероятностной шкалы можно убедиться, сравнив рис. 6 и 8.

Как следует из рис. 6, в умеренных и околополярных широтах Северного полушария восходящие тренды до 1940-х и после 1970-х выглядят особенно значительными (по-видимому, за счет североамериканского континента и северных океанов, Атлантического и Тихого). Этот эффект усиливается характерным для этих территорий нисходящим трендом на участке между 1940 и 1970 годами.

На территории южных континентов (Австралия, Южная Америка, отчасти Африка и, в целом, по южному умеренному поясу (отчасти и приэкваториальному)), картина обратная. Здесь тренды потепления (до 1940-х и после 1970-х) гораздо слабее, а флуктуации температуры в 1940-1970 гг. очень небольшие либо даже позитивной направленности. В результате наглядно просматривается монотонный рост температуры с начала XX столетия.

Особая ситуация сложилась в Южной полярной области (в Антарктическом поясе и Антарктиде), где начало наблюдений относится лишь к 1940-50 годам, но и при этом четко виден тренд потепления до 1970-х и неупорядоченные колебания на всем последующем периоде, вплоть до 2024 г.

Дополнительно отметим, что в северных частях Тихого океана и Атлантики последние 10 лет были самыми теплыми в истории наблюдений. Этот факт четко иллюстрируется соответствующими кривыми на рис. 6. Так, в Тихом океане на протяжении этого периода лишь дважды среднемесячная температура опускалась ниже уровня 90-го перцентиля – в ноябре 2016 и августе 2018. В Атлантике таким был 6-летний период (2019-2024), когда температура опускалась ниже этого уровня лишь в январе, апреле, октябре 2019 и июле-августе 2021.

Подобным образом по представленным временным рядам (рис. 6) можно оценить характер текущего состояния потепления в каждом регионе. При этом факт потепления подтверждается (или не подтверждается) коэффициентом тренда и уровнем доверительной вероятности ($P=100\%- \alpha$), а направленность кривой на «хвостовом» участке и его близость к верхней границе ($F=100\%$) указывает характер изменения подтвержденной тенденции: усиливается/замедляется/продолжается на том же уровне.

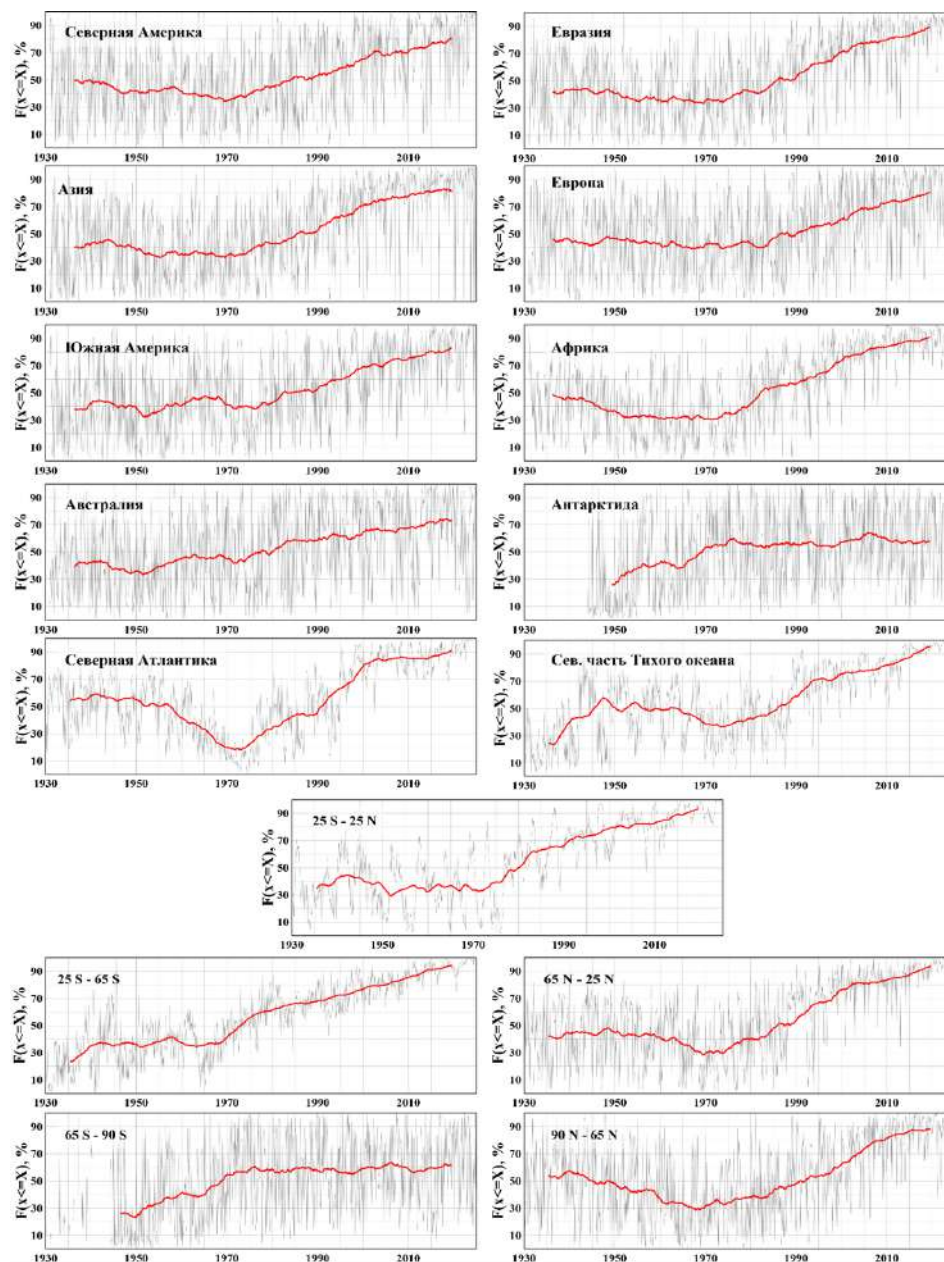


Рисунок 6. Временные ряды регионально осредненных среднемесячных аномалий приповерхностной температуры для крупных регионов (в вероятностной шкале)
 Сглаженные кривые (жирная линия) получены скользящим 11-летним осреднением. Расчет регионально-осредненных аномалий выполнен по методике ИГКЭ по данным T3288 (для континентов) и HadCRUT5 (для океанов и широтных поясов)

Figure 6. Time series of regionally averaged monthly near-surface temperature anomalies for major regions of the world (in probabilistic scale)
 Smoothed curves (bold line) are obtained by 11 year moving averaging. The calculation of regionally averaged anomalies was carried out using the IGCE procedure with T3288 data (for continents) and HadCRUT5 data (for the oceans and latitudinal belts)

Глобальные временные ряды как интегральная характеристика климата и его изменений (приземная температура)

Интегральную характеристику наблюдаемых изменений приземной температуры и оценку их интенсивности дают глобально осредненные временные ряды для Земного шара и полушарий (рис. 7, базовый период 1991-2020 гг.).

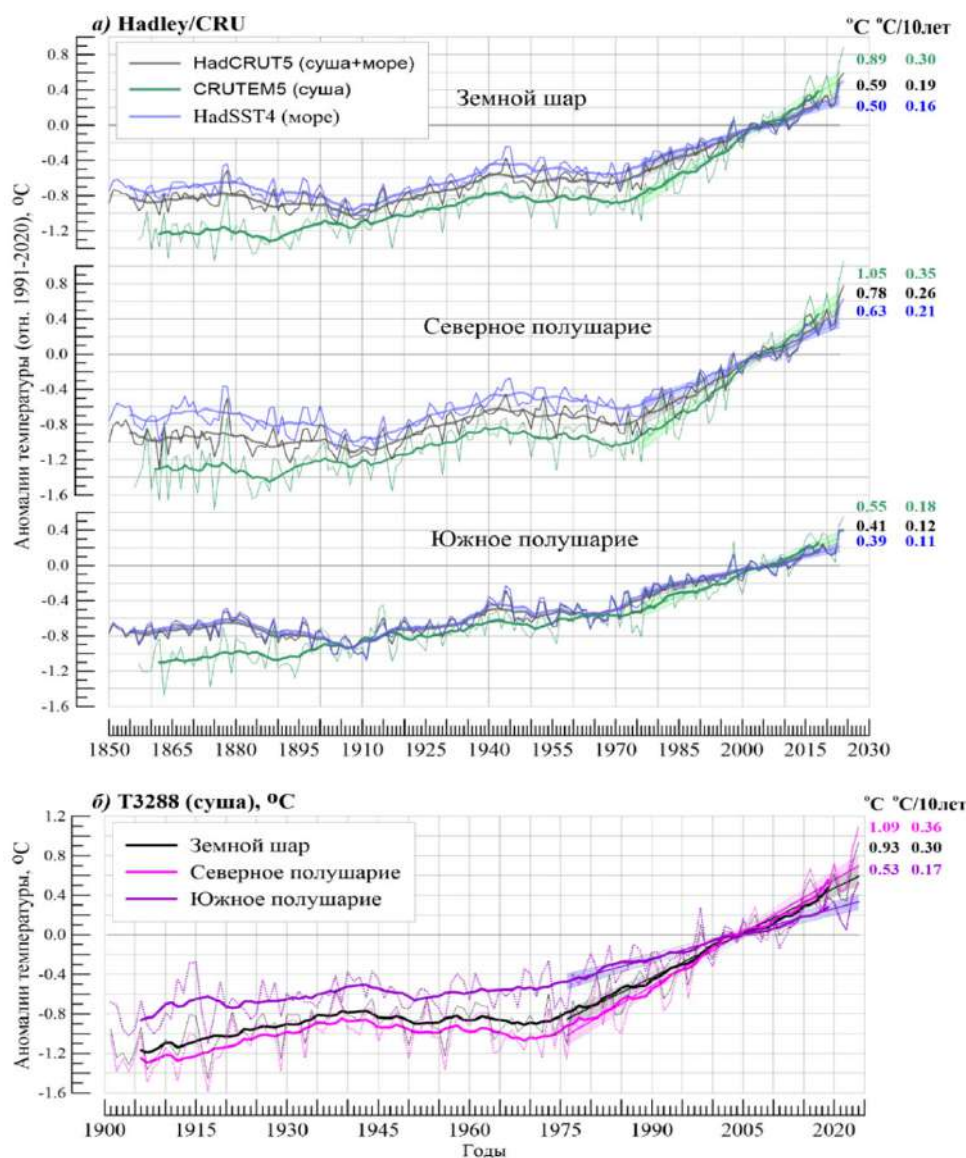


Рисунок 7. Временные ряды среднегодовых аномалий приземной температуры, пространственно-осредненных по Земному шару, Северному и Южному полушариям: а) данные Hadley/CRU, 1850-2024: HadCRUT5 (суша+море), CRUTEM5 (суша), HadSST4 (море); б) данные ИГКЭ, 1901-2024: T3288 (суша)

Все данные приведены к базовому периоду 1991-2020 гг. Для каждого ряда дополнительно показаны ход скользящих 11-летних средних и линейный тренд за 1976-2024 гг. с 5% доверительным интервалом. Справа приведены числовые значения аномалий и коэффициентов тренда в 2024 г.

Figure 7. Time series of annual surface temperature anomalies, spatially averaged over the Globe, Northern and Southern Hemispheres:

- a) Hadley/CRU data, 1850-2024: HadCRUT5 (land + sea), CRUTEM5 (land), HadSST4 (sea);
b) IGCE data, 1901-2024: T3288 (land)

All data are given in anomalies relative to the base period 1991-2020. For each series, the course of the 11-year moving averages and the linear trend for 1976-2024 with a 5% confidence interval are shown. On the right, the numerical values of anomalies in 2024 and trend coefficients are given

Уже визуально (рис. 7) можно видеть основные переломные моменты в ходе глобальной температуры, общие для всех представленных рядов. Первый такой момент – минимум в начале XIX-го столетия (1905-1910 гг.), за ним – максимум в первой половине 1940-х гг., далее – колебания без определенной направленности (или с небольшим нисходящим трендом) до середины 1970-х, сменившиеся резким потеплением, продолжающимся до наших дней. Именно этот последний период принято считать современным глобальным потеплением (условно – с 1976 года, хотя даже из приведенного рисунка ясно, что в разных полушариях (Северное/Южное) и средах (суша/море) этот срок определяется не так однозначно).

Выделенные периоды хорошо заметны также в оценках линейных трендов (табл. 5) на примерно 30-летних участках рядов (с 1911 г.) и в период современного глобального потепления (1976-2024 гг.). Действительно тренды за 1946-1975 гг. (табл. 5) по всем наборам данных близки к нулю и практически все (кроме полушарных, которые уже по величине почти нулевые) статистически не значимы уже на 5%-уровне, а тренды за 1976-2024 гг., также почти по всем наборам данных, несколько интенсивнее потепления 1940-х (по Земному шару 0.193 против 0.140°C/10 лет). Единственное уточнение: в среднем по акваториям океанов (данные HadSST4), современное потепление протекает активнее только в Северном полушарии: 0.205 против 0.176°C/10 лет, а в Южном – оно слабее: 0.111 против 0.136°C/10 лет (в обоих случаях оценки чрезвычайно достоверны: $P \geq 99.9\%$).

Эти два периода потепления (с начала столетия до 1940-х и современного, с середины 1970-х) и между ними – четко выраженный период ненаправленных колебаний (с очень слабым нисходящим трендом) еще более четко проиллюстрированы на одноименных данных месячного разрешения (рис. 8).

Четко видно, что современное глобальное потепление несколько более интенсивно (0.193°C/10 лет против 0.140°C/10 лет, табл. 5) и пока не затухает. При этом, в период между потеплениями (1946-1975 гг.), в океанах Северного полушария отмечен слабый, но статистически значимый нисходящий тренд (-0.061°C/10 лет), а сменивший его восходящий тренд (1976-2005) в последние ~20 лет (1976-2024) не стал активнее.

Дополнительно отметим, что тренд современного потепления (1976-2024 гг.) для трех глобальных территорий (ЗШ, СП, ЮП) составляет порядка 0.30, 0.35, 0.17°C/10 лет над сушей (близкие оценки, по данным T3288 и CRUTEM) и только 0.16, 0.21, 0.11°C/10 лет на океанских акваториях (по данным HadSST4). Современное глобальное потепление, таким образом, особенно значительно над сушей Северного полушария.

Таблица 5. Оценки линейного тренда среднегодовой глобальной температуры, °C/10 лет на различных участках временного ряда и по разным наборам данных

Table 5. Estimates of the linear trend of the global annual temperature, (for the different periods and datasets, °C/10 ys.)

Регион	Период оценивания			
	1911-1945	1946-1975	1976-2005	1976-2024
HadCRUT5 (Hadley/CRU, суша+море)				
Земной шар	0.140 ₀₁	-0.004 ₉₅	0.194 ₀₁	0.193 ₀₁
Северное полушарие	0.161 ₀₁	-0.053 ₀₃	0.264 ₀₁	0.263 ₀₁
Южное полушарие	0.118 ₀₁	0.045 ₀₅	0.124 ₀₁	0.122 ₀₁
T3288 (ИГКЭ, только суша)				
Земной шар	0.109 ₀₁	-0.002 ₉₉	0.305 ₀₁	0.301 ₀₁
Северное полушарие	0.130 ₀₁	-0.031 ₃₉	0.362 ₀₁	0.358 ₀₁
Южное полушарие	0.048 ₁₂	0.048 ₁₂	0.175 ₀₁	0.168 ₀₁
CRUTEM5 (Hadley/CRU, только суша)				
Земной шар	0.111 ₀₁	-0.008 ₈₉	0.294 ₀₁	0.296 ₀₁
Северное полушарие	0.135 ₀₁	-0.044 ₁₉	0.353 ₀₁	0.354 ₀₁
Южное полушарие	0.064 ₀₂	0.064 ₁₃	0.176 ₀₁	0.179 ₀₁
HadSST (Hadley/CRU, только море)				
Земной шар	0.161 ₀₁	-0.015 ₄₃	0.154 ₀₁	0.157 ₀₁
Северное полушарие	0.176 ₀₁	-0.061 ₀₁	0.200 ₀₁	0.205 ₀₁
Южное полушарие	0.136 ₀₁	0.038 ₁₀	0.109 ₀₁	0.111 ₀₁

Примечание. В качестве нижнего индекса приведен критический уровень значимости (в %)

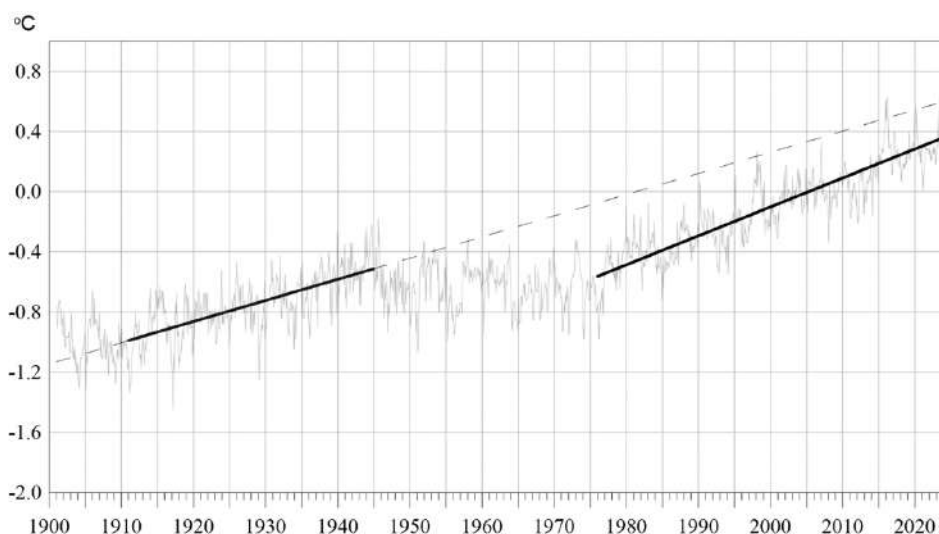


Рисунок 8. Временной ряд среднемесячных аномалий глобальной приповерхностной температуры с шагом 1 месяц (HadCRUT5, суша+море, 1901-2024 гг.)

Деления на шкале ОХ соответствуют годам (месяцы не показаны). Прямыми линиями показаны восходящие тренды за периоды 1911-1944 и 1976-2024

Figure 8. Time series of monthly global near-surface temperature anomalies (HadCRUT5, land + sea, 1901-2024)

The divisions on the OX axis correspond to years (months are not shown). The straight lines show the upward trends for the periods 1911-1944 and 1976-2024

Географические и сезонные особенности современных изменений климата на территории Земного шара, 1976-2024 гг. (приземная температура)

Анализ современных тенденций в изменении приземной температуры на территории Земного шара, локальных и региональных, базируется на данных наблюдений на 2406 станциях (массив T3288, суша, ИГКЭ) и в центрах 1376 пятиградусных боксов (массив HadCRUT5, суша+море, Hadley/CRU). Данные выражены в аномалиях относительно базового периода 1991-2020 гг. и охватывают не менее 35 лет наблюдений (включая последний). В качестве регионов рассматриваются глобальные территории (ЗШ, СП, ЮП) и введенные выше крупные регионы: континенты, северные океаны и основные широтные пояса. Для континентов ряды получены по станционным данным T3288 с 1901 г., а для широтных поясов и океанов – по сеточным данным HadCRUT5 с 1850 г. (для океанов это фактически HadSST).

Далее приводятся: временные ряды регионально-осредненных аномалий для введенных 15 крупных регионов Земного шара (рис. 9); глобальные поля локальных среднегодовых оценок тренда (рис. 10); регионально-осредненные оценки тренда для введенных регионов, для года и каждого сезона (табл. 6); частотные распределения локальных оценок по регионам в зависимости от интенсивности тренда b и его статистической значимости a (табл. 7).

Тенденция к потеплению наблюдается почти на всей территории Земного шара (рис. 10): положительные коэффициенты тренда составляют около 97% всех локальных оценок, станционных и в боксах, в том числе почти 90% – статистически значимы, по крайней мере, на 5%-уровне. Подробные данные (по каждому региону) о процентном содержании оценок, указывающих на наличие в этом регионе тренда определенной направленности и интенсивности, можно найти в табл. 7.

В соответствии с региональными оценками (табл. 6), тенденция к потеплению климата подтверждается (с доверительной вероятностью не ниже 99%) во все сезоны и на территории всех рассмотренных крупных регионов, кроме Южной полярной области. Здесь, в антарктическом поясе и Антарктиде, оценки указывают на твердое статистически значимое (на 1%-уровне) *потепление* только осенью. Зимой и весной в этих регионах оценки не только не подтверждают потепление, но еще и обнаруживают тенденцию к похолоданию.

Регион наиболее интенсивного потепления – арктический широтный пояс (суша+море), где оценки колеблются от $+0.424^{\circ}\text{C}/10$ лет (летом) до $+0.611^{\circ}\text{C}/10$ лет (осенью). Из континентов выделяется Евразия – тренд в среднем за год $0.413^{\circ}\text{C}/10$ лет, весной $0.509^{\circ}\text{C}/10$ лет. В Европе наиболее интенсивно потепление зимних и летних сезонов (0.560 и $0.541^{\circ}\text{C}/10$ лет), в Азии – весенних ($0.528^{\circ}\text{C}/10$ лет). Наименее выражено потепление на континентах Южного полушария: в Антарктиде, Австралии и Южной Америке (0.061 , 0.161 и $0.184^{\circ}\text{C}/10$ лет).

Таблица 6. Коэффициенты линейного тренда пространственно-осредненных аномалий приземной температуры для Земного шара, полушарий и крупных регионов мира (в целом за год и по сезонам, 1976-2024 гг., °C/10 лет)

Table 6. Linear trend coefficients (1976-2024, °C/10 years) of spatially averaged surface temperature anomalies for the Globe, Hemispheres and major regions of the world (for the year as a whole and for seasons)

Регион	Год	Зима	Весна	Лето	Осень
<i>HadCRUT5 (суша+море)</i>					
Земной шар	0.193	0.181	0.194	0.198	0.199
Северное полушарие	0.263	0.244	0.260	0.271	0.278
Южное полушарие	0.122	0.117	0.129	0.125	0.121
Атлантика (15-70N)	0.219	0.211	0.192	0.234	0.244
Тихий океан (20-65N)	0.220	0.175	0.181	0.264	0.258
Арктический пояс (65-90N)	0.562	0.529	0.602	0.424	0.611
Умеренный пояс СП (25-65N)	0.318	0.283	0.311	0.340	0.337
Тропики (25S-25N)	0.157	0.152	0.157	0.159	0.156
Умеренный пояс ЮП (65-25S)	0.137	0.117	0.131	0.123	0.119
Антарктический пояс (90-65S)	*0.105	*-0.066	-0.001	**0.191	0.275
<i>T3288 (суша)</i>					
Земной шар	0.301	0.289	0.305	0.283	0.322
Северное полушарие	0.358	0.347	0.378	0.328	0.372
Южное полушарие	0.168	0.154	0.136	0.179	0.209
Северная Америка	0.327	0.421	0.186	0.303	0.383
Евразия	0.413	0.343	0.509	0.386	0.404
Южная Америка	0.184	0.178	0.137	0.178	0.248
Африка	0.296	0.267	0.342	0.293	0.292
Австралия	0.161	*0.125	0.086	0.163	0.247
Антарктида	0.061	-0.064	-0.008	0.111	0.193
Европа	0.510	0.560	0.436	0.541	0.487
Азия	0.385	0.283	0.528	0.342	0.380
Арктика (суша)	0.327	0.421	0.186	0.303	0.383

Примечание. Оценки, статистически значимые на 1%-м уровне, оставлены без выделения. Для остальных приняты обозначения: $\alpha \leq 5\%$ – *; $\alpha \leq 10\%$ – **; $\alpha > 10\%$; – ячейка затенена. Шрифтом синего цвета выделены отрицательные значения коэффициентов тренда (тенденция к похолоданию).

Таблица 7. Частотное распределение локальных оценок (в % от NN)
 в зависимости от региона, знака коэффициента тренда b и уровня значимости α

Table 7. Frequency distribution of local trend estimates
 depending on the region, sign of the trend coefficient b and significance level α
 (as percentage of NN)

Регион		NN	$b < 0$			$b = 0$	$b > 0$		
			всего	$\alpha \leq 0.05$	$\alpha > 0.10$		всего	$\alpha \leq 0.05$	$\alpha > 0.1$
HadCRUT5 (суша+море)									
Земной шар		1376	2.8	0.2	2.5	0.6	96.7	89.0	6.2
Северное полушарие		838	0.2	-	0.2	0.2	99.5	95.7	2.7
Южное полушарие		538	6.7	0.6	6.1	1.1	92.2	78.4	11.5
Атлантика, 15-70N		129	-	-	-	-	100.0	98.4	1.6
Тихий океан, 20-65N		148	-	-	-	-	100.0	100.0	-
Широтные пояса	65-90N	67	-	-	-	-	100.0	100.0	-
	25-65N	499	-	-	-	-	100.0	98.0	1.4
	25S-25N	557	4.5	0.2	4.3	0.9	94.6	85.3	7.7
	65-25S	239	4.2	-	4.2	1.3	94.6	78.2	12.6
	90-65S	14	21.4	14.3	7.1	-	78.6	42.9	35.7
T3288 (только суша)									
Земной шар		2406	2.4	0.5	1.7	0.2	97.3	88.4	6.8
Северное полушарие		2057	0.9	0.1	0.6	0.1	99.0	92.1	5.0
Южное полушарие		349	11.5	2.3	8.0	0.9	87.7	66.5	17.2
С. Америка		404	1.5	-	1.0	-	98.5	76.2	16.6
Евразия		1462	0.5	0.1	0.3	0.1	99.5	96.7	2.0
Ю. Америка		119	10.1	1.7	7.6	1.7	88.2	65.5	18.5
Африка		100	2.0	1.0	1.0	-	98.0	92.0	5.0
Австралия		129	17.1	3.1	13.2	0.8	82.2	58.1	20.2
Антарктида		17	17.6	5.9	-	-	82.4	47.1	23.5
Европа		538	-	-	-	-	100.0	99.4	0.4
Азия		933	0.8	0.2	0.4	0.1	99.1	95.2	2.9
Арктика (суша)		145	-	-	-	-	100.0	99.3	0.7

Тенденция к похолоданию на территории Земного шара отмечена на 2.4% станций (2.8% боксов), в том числе статистически значимых на 5%-м уровне всего 0.5% (0.2%). В полярном и умеренном широтных поясах не обнаружено ни одного значения с тенденцией к похолоданию. Согласно станционным данным (T3288, только суша), на территории континентов таких станций 11 (табл. 7), из них 3 в Северном полушарии (станции горных районов Центральной Азии) и 8 в Южном (станции Австралии, Боливии, Антарктиды). Практически все остальные станционные оценки, указывающие на тенденцию к похолоданию, не достигают и $-0.1^{\circ}\text{C}/10$ лет и статистически не значимы. На акваториях океанов отрицательный тренд (тенденция к похолоданию) зафиксирован в Тихом океане у побережья Южной Америки (до $-0.1^{\circ}\text{C}/10$ лет).

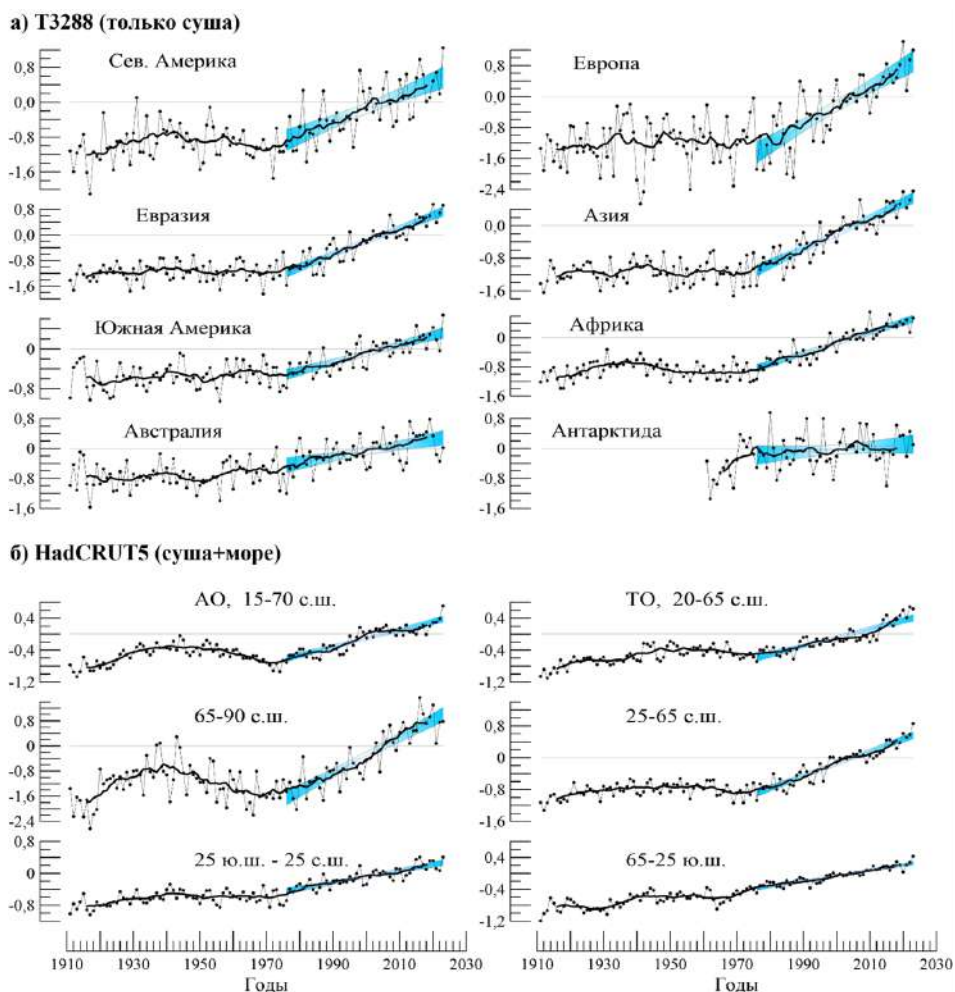


Рисунок 9. Временные ряды пространственно-осредненных среднегодовых аномалий приземной температуры: (а) для всех континентов и для Европы и Азии порознь; (б) для северных частей Атлантического и Тихого океанов и основных широтных поясов. Аномалии приведены в отклонениях от средних за 1991-2020 гг. Сглаженные кривые (жирная линия) получены 11-летним скользящим осреднением. Показан линейный тренд за 1976-2024 гг. с 95%-м доверительным интервалом (голубая заливка). Расчет пространственно-осредненных аномалий выполнен по методике ИГКЭ по данным: а) T3288; б) HadCRUT5

Figure 9. Time series of spatially averaged annual surface temperature anomalies: (a) for all continents, and separately for Europe and Asia; (b) for the northern parts of the Atlantic and Pacific Oceans, and for major latitudinal zones

Anomalies are calculated relative to the 1991-2020 baseline. Smoothed curves (bold line) are obtained by an 11-year moving averaging. Linear trends for 1976-2024 are shown with a 95% confidence interval (blue shading). The calculation of spatially averaged anomalies was performed using the IGCE procedure based on the data of T3288 (a) and HadCRUT5 (b)

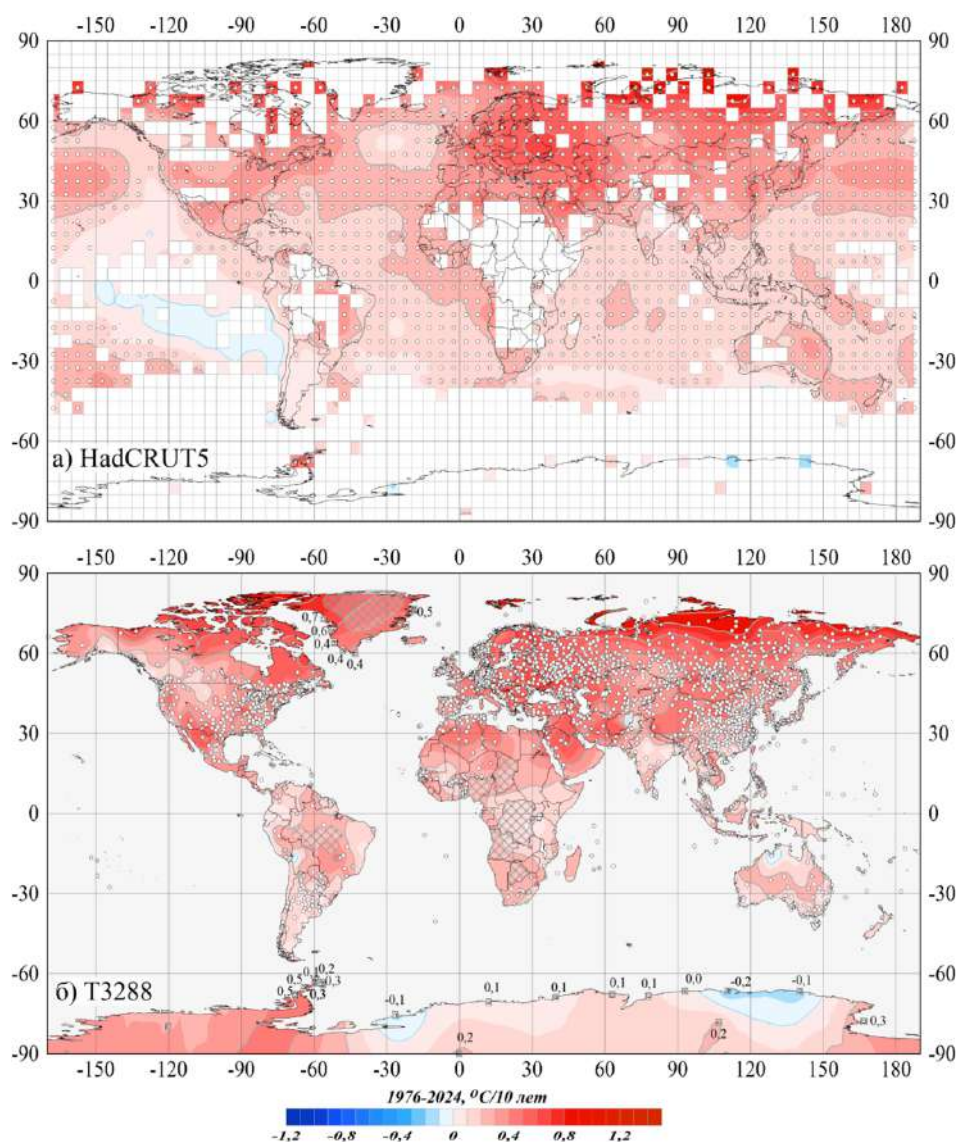


Рисунок 10. Пространственное распределение локальных коэффициентов линейного тренда среднегодовой температуры у поверхности Земного шара, 1976-2024 гг.
 Использованы данные: а) HadCRUT5 – сеточные данные Hadley/CRU (суша+море); б) T3288 – станционные данные ИГКЭ (только суша). Пустыми боксами (а) и штриховкой (б) показаны области отсутствия наблюдений. Числовые значения коэффициентов тренда на станциях Антарктиды и Гренландии приведены непосредственно в точках расположения станций. Белыми кружками выделены боксы/станции, для которых тренд статистически значим на 1%-м уровне

Figure 10. Spatial distribution of local linear trend coefficients of annual surface temperature over the Globe for the period 1976-2024
 The following data were used: a) HadCRUT5 – Hadley/CRU gridded data (land+sea); b) T3288 – IGCE station data (land only). Blank boxes (a) and hatching (b) show areas of no observations. Numerical values of the trend coefficients at the stations of Antarctica and Greenland are given directly at the station locations. White circles indicate the boxes/stations for which the linear trend is statistically significant at the 1% level

Сезонные особенности трендов четко проявляются в сезонном ходе коэффициентов тренда с шагом месяц (рис. 11), при сравнении оценок для Северного ~ Южного полушарий (верхняя панель) и для SAT ~ SST (нижняя панель). Для наглядного отображения зимнего сезона декабрь повторен дважды. Пунктирными линиями и пустыми кружками показаны участки календарного года, когда тренд статистически не значим на 5%-м уровне.

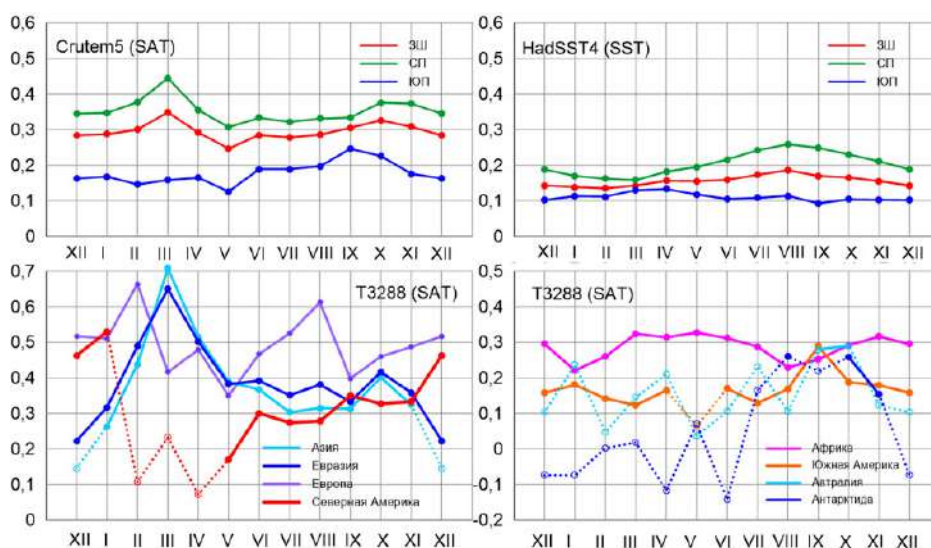


Рисунок 11. Сезонный ход региональных оценок линейного тренда для Земного шара, полушарий и крупных регионов мира, 1976-2024 гг. Используются данные Hadley/CRU (CRUTEM5, HadSST4, HadCRUT5) и ИГКЭ (T3288). Залитыми кружками и сплошными кривыми выделены тренды, значимые на 5%-уровне): вверху – глобальные территории: SAT (CRUTEM5) – слева, SST (HadSST4) – справа; внизу – континенты Северного (слева) и Южного (справа) полушарий по данным T3288)

Figure 11. Seasonal course of regional linear trend estimates for major regions, 1976-2024

Filled circles and solid curves show trends, that are significant at the 5% level. Hadley/CRU data used: (CRUTEM5, HadSST4, HadCRUT5) and IGCE (T3288). At the top: the global territories: SAT(CRUTEM5) – left and SST (HadSST4) – right; at the bottom – the continents of the Northern (left) and Southern (right) Hemispheres by T3288

Прежде всего отметим, что приведенные оценки хорошо согласуются с уже известной картиной наблюдаемого глобального потепления, а именно: средняя скорость потепления в Северном полушарии во все сезоны выше, чем в Южном (зеленые кривые выше синих как слева, так и справа), и на суше – выше, чем на акваториях океанов (в верхней полосе все кривые слева (для SAT) выше, чем справа (для SST)). При этом различия между Северным и Южным полушариями также особенно значительны на суше (разрыв между зелеными и синими кривыми слева больше, чем справа).

Далее, в Евразии (и в Европе, и в Азии) тренды статистически значимы в течение всего года, в Северной Америке – только девять месяцев (кроме февраля-марта); в Северном полушарии диапазон значений коэффициентов

тренда: $[+0.2, +0.7]^{\circ}\text{C}/10$ лет, в Южном $[-0.2; +0.3]$. При этом в Антарктиде и Австралии тренды отрицательны в холодном полугодии и статистически не значимы в течение всего года.

Таким образом, и здесь подтверждается тезис о повышенной активности потепления на суше Северного полушария в холодный период года. Более того, выявленные различия в ходе коэффициентов тренда (в среднем по каждому из континентов), по-видимому, позволяют уточнить, что глобальное потепление на суше поддерживается, в основном, континентами Северного полушария, в том числе: Европой – в течение всего года (активнее – в переходные сезоны), а Северной Америкой – в основном, в зимний период. Из остальных континентов больший вклад в глобальное потепление вносит Африка.

Обсуждение

Структура современного глобального потепления, 1901-2024. В задачу климатического мониторинга, наряду с количественным описанием текущего состояния климата, по данным наблюдений, входит его сравнение с историческим прошлым и оценка текущих тенденций в его изменении. При этом обычно вводятся определенные договоренности о временных масштабах, в рамках которых решается задача, и в качестве основной характеристики тенденций, как правило, используется МНК-аппроксимация (чаще – линейная, очень редко – квадратичная или экспоненциальная) наблюдаемого хода температуры в сочетании со статистическими оценками неопределенности (доверительные интервалы и/или уровень статистической значимости).

На наш взгляд, более обоснованным и информативным решением являются скользящие оценки в некоторой окрестности интересующих нас временных масштабов (метод кратко описан выше, в разделе «Данные и методика анализа»). Для примера ниже (рис. 12) выполнен анализ временного ряда аномалий среднегодовой глобальной температуры, по данным массива HadCRUT5 за 1901-2024 гг.

Оценки приведены для двух вариантов базового периода (1850-1900 и 1901-2024) и для двух статистик (многолетние средние и коэффициенты линейного тренда). Каждая из них представлена на двумерной диаграмме с координатами: конечный год периода оценивания (x) и его длина (y), так что точка с координатами (x_0, y_0) представляет климат (значение статистики) на отрезке времени $[x_0 - y_0 + 1, x_0]$. Области тренда с критическим уровнем значимости $\alpha > 0.05$ затенены символом «звездочка» как статистически не значимые.

В данном случае (рис. 12), по данным за 1901-2024 гг., рассматриваются все периоды продолжительностью от 10 до 100 лет (ось Y) и конечным годом от 1910 до 2024 (ось X). При анализе временных рядов аномалий статистика «среднее» означает изменение среднего (за период $[x_0 - y_0 + 1, x_0]$) *относительно базового периода* аномалий, а «коэффициент тренда» – среднюю скорость изменения на этом отрезке времени *независимо от базового периода*.

Из такой диаграммы можно получить сведения о климате любого периода в рамках доступных данных наблюдений (в данном случае – внутри 1901-2024).

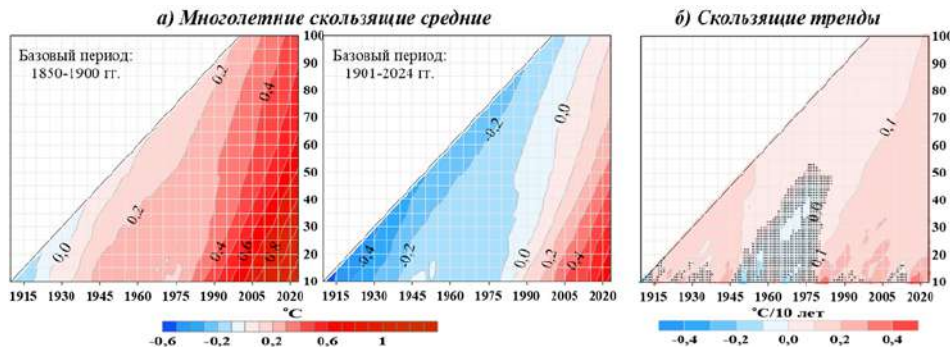


Рисунок 12. Многолетние средние (а) и коэффициенты линейного тренда (б) аномалий приповерхностной глобальной температуры Земного шара в зависимости от длины периода оценивания (оХ) и его конечного года (оУ)
Оценки получены по данным глобального временного ряда HadCRUT5 (суша+море, Hadley/CRU) для всех скользящих периодов продолжительностью от 10 до 100 лет в течение 1901-2024 гг. Аномалии рассчитаны как отклонения от средней за 1850-1900 (слева) и за 1901-2024 гг. (справа)

Figure 12. Multi-year means (a) and linear trend coefficients (b) of global near-surface temperature anomalies as functions of averaging period length (oX) and ending year (oY)
Estimates are based on HadCRUT5 global time series (land + sea, Hadley/CRU) for all moving periods from 10 to 100 years within 1901-2024. Anomalies are calculated relative to the 1850-1900 (left) and 1901-2024 (right) baselines

Так, средняя многолетняя аномалия глобальной температуры (рис. 12а, слева), начиная примерно с 1925-1930 гг., положительна, т.е. превысила доиндустриальный уровень в начале 1930-х гг. и с тех пор ниже этого уровня не опускалась. Также, в соответствии с данными на горизонтали «у=10», в течение 1901-2024 гг., аномалия глобальной температуры (в среднем за десятилетие) повысилась от -0.13°C (средняя за 1901-1910 гг.) до $+1.18^{\circ}\text{C}$ (средняя за 2015-2024 гг.). При этом последние 50 лет были, в среднем, теплее доиндустриального климата более чем на 0.74°C (точка $x=2024$, $y=50$), но последние 100 лет – лишь на 0.47°C ($x=2024$, $y=100$). В целом последние 10 лет (2015-2024 гг.) потеплели относительно начала прошлого столетия (1901-1910 гг.) на 1.30°C .

При рассмотрении скользящих аномалий относительно средней всего ряда (рис. 12а, справа) область положительных многолетних средних начинается с точки ($x=1985$, $y=10$), т.е. с десятилетия 1976-1985. Судя по положению нулевой изолинии, все скользящие средние с конечным годом периода осреднения не раньше ~1976 года положительны, то есть все они, начиная примерно с 1976 года, превышают уровень средней всего ряда (1901-2024 гг.).

Что касается оценок скользящих трендов (рис. 12б), то после 1940-50-х гг. они положительны и статистически значимы на 5%-уровне на всех масштабах не менее 50 лет, а после 1970-1980-х гг. – даже на всех масштабах от 15 лет.

Другими словами, на любых промежутках времени от 10 до 100 лет, завершающихся не раньше середины 1970-х гг., у поверхности Земного шара имеет место восходящий тренд глобальной приповерхностной температуры, статистически значимый, по крайней мере, на 5%-м уровне. *Этот тренд, означает, по-видимому, «современное глобальное потепление», активная фаза которого началась именно в середине 70-х годов прошлого столетия.*

Дополнительно заметим, что на диаграмме (рис. 12б) хорошо видны отмеченные выше этапы в ходе глобальной температуры: «арктическое» потепление 1940-х, отсутствие выраженных линейных трендов в 1940-1970-х гг., эпизодические усиления потепления в 1980-2000-х, сменившиеся «паузой» («global-warming hiatus») в начале нового столетия и новыми «всплесками» тепла после 2010 г. В целом такая диаграмма содержит оценки состояния глобального климата (приземная температура) в любой момент XX-XXI столетия и создает полную картину временной структуры его изменений в пределах периода инструментальных наблюдений.

«Современное глобальное потепление» – реальный факт или климатическая флуктуация? Этот вопрос уже не раз дискутировался в научной и околонаучной литературе. Особенно острая дискуссия возникла на фоне 15-летней «приостановки» потепления («global warming hiatus») в 1998-2013 гг. в связи с определенным замедлением наблюдаемых глобальных трендов. Одним из выводов той дискуссии было: «15-летнего периода недостаточно для подобных утверждений».

К настоящему времени по этому вопросу в мировом научном сообществе практически достигнут консенсус: 98.7% всех ученых-климатологов мира согласны не только с фактом глобального потепления, но и с выводом о его антропогенном происхождении. Эта позиция совершенно однозначно сформулирована в Шестом оценочном докладе МГЭИК (IPCC, 2021). О своей поддержке официально заявили 198 научных организаций по всему миру (The State's Comprehensive ..., 2024), 18 научных ассоциаций США (American Scientific Societies, 2009) и множество ученых в своих научных статьях в рецензируемых журналах (Cook et al., 2016; Myers et al., 2021; Lynas et al., 2021).

Тем не менее, и сейчас можно найти некоторые основания для дискуссии о возможном замедлении (ослаблении) наблюдаемого потепления. Так, ход оценок скользящих 30-летних трендов полушарных компонентов глобальной температуры (рис. 13) показал, что из четырех составляющих глобальной температуры (SAT, SST в Северном полушарии и SAT, SST в Южном) только для одной (SAT*СП) скользящие 30-летние тренды сохранялись на уровне 0.34-0.36°C/10 лет вплоть до настоящего времени.

Для трех остальных компонентов (SAT*ЮП, SST*СП, SST*ЮП) коэффициенты тренда после 1965-1994 гг. не поднимались выше 0.1-0.2, но и не опускались существенно ниже 0.1°C/10 лет, оставаясь при этом статистически значимыми ($\alpha < 0.01$). Это, по-видимому, может означать, что «глобальное потепление» продолжается, но с признаками определенного ослабления (по крайней мере, на периодах масштаба 30-летий на акваториях Южного полушария).

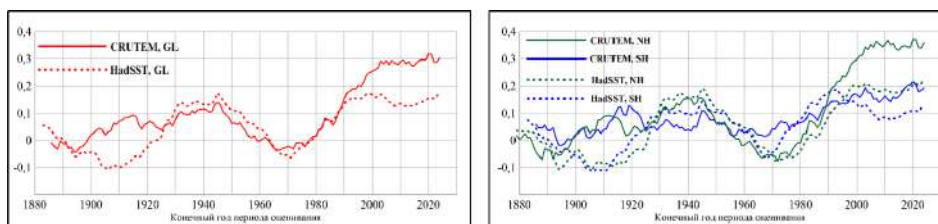


Рисунок 13. Ход коэффициентов скользящих (с шагом 1 год) 30-летних трендов для температуры приземного воздуха SAT (суша) и поверхностного слоя воды SST (море) Используются оригинальные глобальные временные ряды CRUTEM и HadSST (GL, NH, SH)

Figure 13. Variations of 30-year moving trend coefficients (1-year step) of surface air temperature (SAT, land only) and sea surface temperature (SST, sea only) Original CRUTEM and HadSST time series are used for the Globe (GL), Northern Hemisphere (NH), and Southern Hemisphere (SH)

Для более детального суждения о текущем состоянии глобального потепления ниже приведены двумерные диаграммы (рис. 14), характеризующие полную временную структуру трендов в течение 1901-2024 гг. для каждой из четырех перечисленных составляющих.

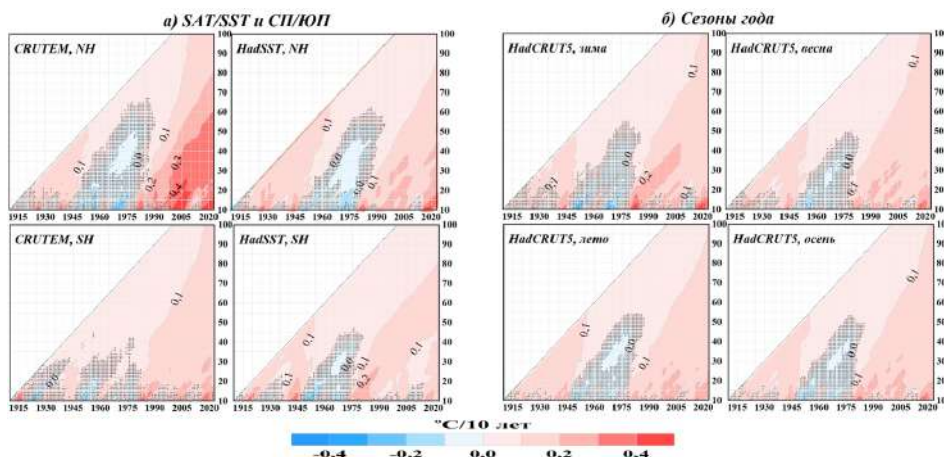


Рисунок 14. Оценки средней скорости потепления приповерхностной глобальной температуры для всех скользящих периодов от 10 до 100 лет в зависимости от длительности периода оценивания (оY) и его конечного года (оX) в рамках 1901-2024 гг. (°C /10 лет) Оценки приведены: а) для четырех полушарных составляющих глобальной температуры и б) для ее четырех сезонных аномалий. Используются глобальные временные ряды Hadley/CRU: а) SAT (CRUTEM5, суша) и SST (HadSST4, море) для Северного и Южного полушарий; б) HadCRUT5 (суша+море) для Земного шара в целом

Figure 14. Estimates of the mean rate of global near-surface temperature warming for all moving periods from 10 to 100 years as functions of estimating period duration (OY) and its ending year (OX) within 1901-2024 years (°C per decade) Estimates are given: a) for 4 hemispheric components of global temperature and b) for its 4 seasonal anomalies. Hadley/CRU data are used: a) SAT (CRUTEM5, land); SST (HadSST4, sea) for the Northern and Southern Hemispheres; b) HadCRUT5 (land+sea) for the Globe

На всех четырех диаграммах (рис. 14) видны два периода потепления до 1930-40 гг. и с середины 1970-х гг., наиболее интенсивное из них – на суше Северного полушария зимой. Можно видеть далее, что на периодах оценивания до 60 лет в настоящее время тренд составляет около $+0.30^{\circ}\text{C}/10$ лет (точки вертикали «2024» ниже уровня «60 лет»); на более длительных периодах (точки этой же вертикали выше уровня «60 лет») все оценки в течение 1925-2024 гг. также указывают на тенденцию к потеплению, но более слабую (до $0.15^{\circ}\text{C}/10$ лет). Из сезонных оценок более заметны зимне-весенние тренды (особенно на начальном и заключительном этапах современного потепления), но, в целом, эти различия незначительны.

Оценки глобального потепления по состоянию на конец 2024 г. Числовые оценки трендов за 1976-2024 и 1925-2024 гг. (табл. 8); и показатели k_1 - k_3 , сравнивающие вклад каждого из трех факторов (суша/море, СП/ЮП, 1910-е/1970-е) (табл. 9), количественно уточняют выводы из визуального сопоставления временных рядов (рис. 6, 8). Тот же набор оценок опубликован в (Ранькова и др., 2024), но по временным рядам, заканчивающимся 2023 годом.

Таблица 8. Коэффициенты линейного тренда глобальной температуры (у поверхности) для Земного шара, Северного и Южного полушарий за 1976-2024 гг. и 1925-2024 гг. по всем наборам данных (в среднем за год и по сезонам, $^{\circ}\text{C}/10$ лет)

Table 8. Linear trend coefficients of the global temperature (near the surface), for the Globe, Northern and Southern Hemispheres for 1976-2024 and 1925-2024 by all datasets (for the year as a whole and by seasons, $^{\circ}\text{C}/10$ ys.)

Регион	1976-2024					1925-2024				
	Год	Зима	Весна	Лето	Осень	Год	Зима	Весна	Лето	Осень
HadCRUT5 (суша+море)										
Земной шар	0.193	0.181	0.194	0.198	0.199	0.107	0.110	0.114	0.103	0.101
Северное полушарие	0.263	0.244	0.260	0.271	0.278	0.119	0.124	0.129	0.114	0.110
Южное полушарие	0.122	0.117	0.129	0.125	0.121	0.122	0.096	0.099	0.091	0.093
T3288-ИГКЭ (суша)										
Земной шар	0.301	0.289	0.305	0.283	0.322	0.144	0.155	0.166	0.124	0.121
Северное полушарие	0.358	0.347	0.378	0.328	0.372	0.160	0.179	0.190	0.130	0.127
Южное полушарие	0.168	0.154	0.136	0.179	0.209	0.099	0.106	0.095	0.113	0.107
CRUTEM5 (суша)										
Земной шар	0.296	0.289	0.296	0.283	0.313	0.141	0.163	0.159	0.123	0.127
Северное полушарие	0.354	0.353	0.369	0.329	0.361	0.156	0.188	0.185	0.131	0.130
Южное полушарие	0.179	0.161	0.149	0.192	0.216	0.111	0.091	0.107	0.100	0.120
HadSST4 (море)										
Земной шар	0.157	0.140	0.151	0.172	0.164	0.091	0.086	0.091	0.095	0.090
Северное полушарие	0.205	0.174	0.178	0.239	0.230	0.093	0.080	0.086	0.107	0.098
Южное полушарие	0.111	0.111	0.127	0.109	0.100	0.091	0.094	0.097	0.086	0.087

В соответствии с данными табл. 9, интегрально (по Земному шару и за год) современное приповерхностное потепление (1976-2024) на суше протекает почти вдвое активнее, чем на поверхности океанов ($k_1=1.9$), в Северном полушарии – вдвое интенсивнее, чем в Южном ($k_2=2.1$). В сравнении со столетним (1925-2024), в Северном полушарии современное потепление (на суше и на акваториях океанов) ускорилось более, чем в 2 раза ($k_3=2.2-2.3$), тогда как в Южном полушарии коэффициент ускорения значительно ниже (на континентах $k_3=1.6-1.7$, на акваториях океанов $k_3=1.2$). При этом, как было сказано выше (рис. 11), глобальное потепление на суше поддерживается, в основном, Европой и Северной Америкой, а также, в меньшей степени, Африкой.

Таблица 9. Сравнение средней скорости глобального потепления у поверхности Земного шара в разных группах данных (в среднем за год)

Table 9. Comparison of the average rate of global warming near the surface of the Globe in different data groups (for the year as a whole)

k_1	Показатель	1976-2024			1925-2024		
		ЗШ	СП	ЮП	ЗШ	СП	ЮП
	$b_{T3288} / b_{HadSST4}$	1.9	1.7	1.5	1.6	1.7	1.1
	$b_{CRUTEM5} / b_{HadSST4}$	1.9	1.7	1.6	1.7	1.7	1.2
k_2	$b_{СП} / b_{ЮП}$	1976-2024			1925-2024		
		T3288	CRUTEM	HadSST	T3288	CRUTEM	HadSST
		2.1	2.0	1.8	1.6	1.4	1.0
k_3	$b_{1976-2024} / b_{1925-2024}$	СП			ЮП		
		T3288	CRUTEM	HadSST	T3288	CRUTEM	HadSST
		2.2	2.3	2.2	1.7	1.6	1.2

Заключение

1. 2024 год стал самым теплым годом в истории наблюдений (с 1850 г.) по всем четырем наборам данных и всем трем глобальным территориям (Земной шар, Северное и Южное полушария). В частности, глобальная среднегодовая аномалия приповерхностной температуры (массив HadCRUT5, «суша+море») составила в 2024 г. $+0.593^{\circ}\text{C}$. Это на 0.06°C выше рекорда 2023 г. ($+0.533^{\circ}\text{C}$) и на 1.437°C выше доиндустриального уровня (1850-1900 гг.), что максимально близко к порогу 1.5°C , установленному Парижским соглашением.

2. В целом по Земному шару в 2024 году был перекрыт не только годовой рекорд 2023 г., но и месячные рекорды первых шести месяцев (с января по июнь). Остальные месяцы 2024 года (с июля по декабрь) также были экстремальными: температура выше 97-го перцентиля и ранг – не выше трех. Весь непрерывный период месячных рекордов длился 14 месяцев (с мая 2023 г. по июнь 2024 г.), и более половины среднегодовых локальных данных (52.6% станций / 57.3% боксов) оказались выше 95-го перцентиля (5% экстремумы тепла).

3. Глобально (в целом по Земному шару и за год), в течение XX-XXI веков, прослеживаются два периода потепления: до середины 1940-х (1911-1945) и современный, с середины 1970-х (1976-2024). Эти периоды (с

несколько размытыми границами) обнаруживаются во временных рядах практически всех рассмотренных регионов. С ними связаны основные события в изменении температурного режима XX-XXI столетий: 1910-е годы – минимум, 1940-е – максимум, 1970-е – вторичный минимум, за которым следует резкое потепление, продолжающееся до настоящего времени (современное глобальное потепление).

4. Период между потеплениями, 1946-1975 гг., в основном, определяется как период ненаправленных колебаний с очень слабым нисходящим трендом. Действительно, тренды на этом отрезке времени для большинства регионов близки к нулю (и/или статистически незначимы). На отсутствие однонаправленных трендов указывают также температурные рекорды, установленные в 1940-х и сохраняющиеся на том же уровне до 1980-х. (Например, абсолютный максимум глобальной температуры, установленный в 1944 г. (-0.374°C), впервые был перекрыт в 1981 г. (-0.327°C) и к 2024 году достиг отметки $+0.533^{\circ}\text{C}$, то есть за первые 37 лет (1944-1981) максимум увеличился на 0.047°C , а за следующие 44 года – сразу на 0.920°C (уже благодаря потеплению).

Но есть и исключения. Так, на суше Южного полушария в начале 1940-х нисходящий тренд сменился восходящим, а на акваториях океанов он продлился до 1970-х, хотя и был слабее. В результате в регионах Южного полушария севернее параллели 65°S , преимущественно на суше, просматривается монотонное потепление в течение всего периода наблюдений (с начала XX столетия).

5. К основным пространственно-временным особенностям процесса потепления можно отнести:

- почти полное отсутствие сезонного хода в океанах, тогда как на суше до 2000 г. наблюдалось более активное потепление зимне-весенних сезонов, после чего сезонность в ходе аномалий практически исчезла;

- потепление 1940-х, известное как «потепление Арктики», фактически отмечено в океанах обоих полушарий – Северного ($+0.176^{\circ}\text{C}/10$ лет) и Южного ($+0.136^{\circ}\text{C}/10$ лет). В сравнении с современным потеплением ($+0.205$; $+0.111^{\circ}\text{C}/10$ лет), можно отметить, со временем, значительное усиление разрыва между полушариями. В дополнение к этому анализ вклада континентов и океанов, показал, что, по-видимому, в потеплении 1940-х более активным был океан, а в современном потеплении – суша;

- современное потепление началось уже в начале 1970-х в Южном полушарии и до 1990-2000 протекало здесь более активно, особенно на океанических акваториях. Но с началом 2000-х усилилось потепление на суше, в большей мере – в Северном полушарии. Эта тенденция сохраняется до сих пор;

- в целом по Земному шару и в среднем за год современное приповерхностное потепление (1976-2024 гг.) на суше протекает в 1.9 раз активнее, чем на поверхности океанов, в Северном полушарии вдвое интенсивнее, чем в Южном (на акваториях – в 1.8 раз). При этом глобальное потепление на суше поддерживается, в основном, континентами Северного полушария, в том числе Европой – в течение всего года (активнее в переходные сезоны) и Северной Америкой – в основном, в зимний период года. Из остальных континентов больший вклад в глобальное потепление вносит Африка.

6. На любых отрезках времени от 10 до 100 лет, завершающихся не раньше середины 1970-х гг., у поверхности Земного шара имеет место восходящий тренд глобальной приповерхностной температуры, статистически значимый, по крайней мере, на 5%-м уровне. Этот тренд и означает, по видимому, «современное глобальное потепление», активная фаза которого началась именно в середине 70-х годов прошлого столетия. На сегодняшний день в соответствии с оценками, базирующимися на максимально доступных данных наблюдений (по декабрь 2024 г.), глобальное потепление продолжается, но с признаками определенного ослабления (по крайней мере, на периодах масштаба 30-летий на акваториях Южного полушария).

Таким образом, современное глобальное потепление – реальный факт; в Северном полушарии протекает вдвое активнее, чем в Южном, на суше – вдвое интенсивнее, чем на акваториях океанов; началось в начале 1970-х гг. в океанах Южного полушария, стало глобальным в 1990-х, усилилось сначала в 2000-х, затем – в 2010-х и продолжается в настоящем времени. На наш взгляд, процессы в Южном полушарии, особенно в полярных и умеренных широтах, требуют повышенного внимания как возможные предвестники ослабления потепления.

Благодарности

За поддержку, оказанную разным разделам этой работы, авторы выражают благодарность проекту: «Мониторинг глобального климата и климата Российской Федерации и ее регионов, включая Арктику. Развитие и модернизация технологий мониторинга». План научно-исследовательских и технологических работ НИУ Росгидромета на 2020-2024 гг., НИР 3.2.

Список литературы

- Груза, Г.В., Ранькова, Э.Я. (1980) *Структура и изменчивость наблюдаемого климата. Температура воздуха Северного полушария*, Л., Гидрометеиздат, 72 с.
- Груза, Г.В., Ранькова, Э.Я., Рочева, Э.В. (1992) Структура долгопериодных трендов глобальной температуры воздуха, *Мониторинг и вероятностный прогноз климата*, СПб., Гидрометеиздат, с. 3-20.
- Груза, Г.В., Ранькова, Э.Я., Рочева, Э.В., Смирнов, В.Д. (2015) Географические и сезонные особенности современного глобального потепления, *Фундаментальная и прикладная климатология*, № 2, с. 41-62.
- Груза, Г.В., Ранькова, Э.Я., Рочева, Э.В., Самохина, О.Ф. (2016) Климатические особенности температурного режима у поверхности Земли в 2015 г., *Фундаментальная и прикладная климатология*, № 1, с. 104-136.
- Груза, Г.В., Ранькова, Э.Я., Рочева, Э.В., Самохина, О.Ф. (2017а) Особенности температурных аномалий у поверхности Земного шара в 2016 году, *Фундаментальная и прикладная климатология*, № 1, с. 124-146.

Груза, Г.В., Ранькова, Э.Я., Рочева, Э.В. (20176) Методика «Мониторинг изменений климата Земного шара: приземная температура» и результаты ее испытания, *Результаты испытания новых и усовершенствованных технологий, моделей и методов гидрометеорологических прогнозов*, № 44, с. 3-11.

ИГКЭ (2024) *Мониторинг изменений климата Земного шара*, электронный ресурс, URL: <http://www.igce.ru/climatechange> (дата обращения 19.03.2025).

Ранькова, Э.Я., Самохина, О.Ф., Антипина, У.И. (2022) Особенности температурного режима у поверхности Земного шара в 2021 году, *Фундаментальная и прикладная климатология*, т. 8, № 2, с. 258-290, doi:10.21513/2410-8758-2022-2-258-290.

Ранькова, Э.Я., Самохина, О.Ф., Антипина, У.И., Смирнов, В.Д. (2024) Особенности температурного режима у поверхности Земного шара в 2023 году, *Фундаментальная и прикладная климатология*, т. 10, № 2, с. 288-323.

ЦМКП (2016) *Решение Центральной методической комиссии по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам от 20 декабря 2016 г.*, электронный ресурс, URL: <https://method.meteorf.ru/> (дата обращения 19.03. 2025).

American Scientific Societies (2009) *Scientific Societies in the United States*, available at: <https://mi.tpress.mit.edu/9780262523714/scientific-societies-in-the-united-states/> (accessed 23 March 2025).

BoM (2024) *Australian Government Bureau of Meteorology, State of the Climate 2024*, available at: <http://www.bom.gov.au/state-of-the-climate/> (accessed 24 January 2025).

Cook, J., Oreskes, N., Doran, P., Anderegg, W.R.L. (2016) Consensus on consensus: a synthesis of consensus estimates on human-caused global warming, *Environmental Research Letters*, vol. 11, no. 4, doi:10.1088/1748-9326/11/4/048002.

Copernicus (2024) *The 2024 Annual Climate Summary, Global Climate Highlights 2024*, Copernicus, Climate Change Service, available at: <https://climate.copernicus.eu/global-climate-highlights-2024> (accessed 24 January 2025).

Hovmöller, E. (1949) The Trough-and-Ridge Diagram, *Tellus*, vol. 1, no. 2, pp. 62-66.

IPCC (2021) *Climate Change 2021 The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, in Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, doi:10.1017/9781009157896.

Lynas, M., Houlton, B.Z., Perry, S. (2021) Greater than 99% consensus on human caused climate change in the peer-reviewed scientific literature,

Environmental Research Letters, vol. 16, no. 11, 114005, doi:10.1088/1748-9326/ac2966.

Madge, G. (2024) 2025 outlook: in top three warmest years on record, *Met Office, News&media*, available at: <https://www.metoffice.gov.uk/about-us/news-and-media/media-centre/weather-and-climate-news/2024/2025-global-temperature-outlook> (accessed 25 March 2025).

Morice, C.P., Berry, D.I., Cornes, R.C., Cowtan, K., Cropper, T., Kennedy, J.J., Kent, E., Rayner, N., Steptoe, H., Osborn, T., Taylor, M., Wallis, E., Winn, J. (2024) A new observational analysis of near surface air temperature change since the late 18th century developed for the GloSAT project, *EGU General Assembly 2024, Vienna, Austria, 14-19 Apr 2024, EGU24-17030*, updated on 25 Feb 2025, Copernicus Publications, available at: <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu24-17030> (accessed 23 March 2025).

Myers, K.F., Doran, P.T., Cook, J., Kotcher, J.E., Myers, T.A. (2021) Consensus revisited: quantifying scientific agreement on climate change and climate expertise among Earth scientists 10 years later, *Environmental Research Letters*, vol. 16, no. 10, 104030, doi:10.1088/1748-9326/ac2774.

NASA (2024) *Temperatures Rising: NASA Confirms 2024 Warmest Year on Record*, Jan 10, 2025, available at: <https://www.nasa.gov/news-release/temperatures-rising-nasa-confirms-2024-warmest-year-on-record/> (accessed 25 January 2025).

NOAA NCEI (2024a) *National Centers for Environmental Information, Global Climate Report. Annual 2024*, available at: <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/monthly-report/global/202413> (accessed 24 January 2025).

NOAA NCEI (2024b) *National Centers for Environmental Information, Assessing the Global Climate in 2024*, available at: <https://www.ncei.noaa.gov/news/global-climate-202413> (accessed 24 January 2025).

TCC JMA (2025) Global temperature for 2024 was the highest since 1891, *Tokyo Climate Center, Japan Meteorological Agency, TCC News, Winter 2025*, no. 79, available at: <https://www.data.jma.go.jp/tcc/data/news/tccnews79.pdf> (accessed 25.03.2025).

The State's Comprehensive Planning Agency. List of Worldwide Scientific Organizations, Governor's OPR (2024), available at: <https://www.opr.ca.gov/facts/list-of-scientific-organization>, (accessed 31 July 2024).

UNFCCC (2015) *Парижское соглашение в рамках Рамочной конвенции ООН об изменении климата*, электронный ресурс, URL: https://unfccc.int/files/meetings/paris_nov_2015/application/pdf/paris_agreement_russian.pdf, (дата обращения 23 марта 2025).

WMO (2024) *WMO confirms 2024 as warmest year on record at about 1.55°C above pre-industrial level*, Press Release, 10 January 2025, available at: <https://wmo.int/news/media-centre/wmo-confirms-2024-warmest-year-record-about-155degc-above-pre-industrial-level>, (accessed 5 April 2025).

WMO (2025) *State of the Global Climate 2024*, World Meteorological Organization, Publication Series, 19 March 2025, available at: <https://wmo.int/publication-series/state-of-global-climate-2024> (accessed 27 March 2025).

References

Gruza, G.V., Rankova, E.Ya. (1980) *Struktura i izmenchivost' nablyudaemogo klimata. Temperatura vozduha Severnogo polushariya* [Structure and variability of the observed climate. Air temperature of the Northern Hemisphere], Leningrad, Russia, 72 p.

Gruza, G.V., Rankova, E.Ya., Rocheva, E.V. (1992) *Struktura dolgoperiodnykh trendov global'noj temperatury vozduha* [Structure of long-term trends in global air temperature], *Monitoring i veroyatnostnyj prognoz klimata* [Climate monitoring and probabilistic forecasting], St. Petersburg, Russia, pp. 3-20.

Gruza, G.V., Rankova, E.Ya., Rocheva, E.V., Smirnov, V.D. (2015) *Geograficheskie i sezonnye osobennosti sovremennogo global'nogo potepleniya* [Geographical and seasonal features of modern global warming], *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya*, no. 2, pp. 41-62.

Gruza, G.V., Rankova, E.Ya., Rocheva, E.V., Samokhina, O.F. (2016) *Klimaticheskie osobennosti temperaturnogo rezhima u poverhnosti Zemli v 2015 g.* [Climatic features of the temperature regime at the Earth's surface in 2015], *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya*, no. 1, pp. 104-136.

Gruza, G.V., Rankova, E.Ya., Rocheva, E.V., Samokhina, O.F. (2017a) *Osobennosti temperaturnykh anomalij u poverhnosti Zemnogo shara v 2016 godu* [Features of temperature anomalies at the surface of the globe in 2016], *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya*, no. 1, pp. 124-146.

Gruza, G.V., Rankova, E.Ya., Rocheva, E.V. (2017b) *Metodika "Monitoring izmenenij klimata zemnogo shara: prizemnaya temperatura" i rezul'taty ee ispytaniya* [The methodology "Monitoring climate change of the globe: surface temperature" and the results of its testing], *Rezul'taty ispytaniya novykh i usovershenstvovannykh tekhnologij, modelej i metodov gidrometeorologicheskikh prognozov* [Results of testing new and improved technologies, models and methods of hydrometeorological forecasts], no. 44, pp. 3-11.

IGCE (2023) *Monitoring izmenenij klimata Zemnogo shara* [Monitoring climate change around the globe], URL: <http://www.igce.ru/climatechange> (accessed 19 March 2025).

Rankova, E.Ya., Samokhina, O.F., Antipina, U.I. (2022) *Osobennosti temperaturnogo rezhima u poverhnosti Zemnogo shara v 2021 godu* [Features of the temperature regime at the surface of the globe in 2021], *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya*, vol. 8, no. 2, pp. 258-290, doi:10.21513/2410-8758-2022-2-258-290.

Rankova, E.Ya., Samohina, O.F., Antipina, U.I., Smirnov, V.D. (2024) Osobennosti temperaturnogo rezhima u poverhnosti Zemnogo shara v 2023 godu [Features of the temperature regime at the surface of the globe in 2023], *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya*, vol. 10, no 2, pp. 288-323.

CMKP (2016) *Reshenie Central'noj metodicheskoy komissii po gidrometeorologicheskim i geliogeofizicheskim prognozam ot 20 dekabrya 2016 g.* [Decision of the Central Methodological Commission for Hydrometeorological and Heliogeophysical Forecasts dated December 20, 2016], URL: <https://method.meteorf.ru/> (accessed 19 March 2025).

American Scientific Societies (2009) *Scientific Societies in the United States*, available at: <https://mi.tpress.mit.edu/9780262523714/scientific-societies-in-the-united-states/> (accessed 23 March 2025).

BoM (2024) *Australian Government Bureau of Meteorology, State of the Climate 2024*, available at: <http://www.bom.gov.au/state-of-the-climate/> (accessed 24 January 2025).

Cook, J., Oreskes, N., Doran, P., Anderegg, W.R.L. (2016) Consensus on consensus: a synthesis of consensus estimates on human-caused global warming, *Environmental Research Letters*, vol. 11, no. 4, doi:10.1088/1748-9326/11/4/048002.

Copernicus (2024) *The 2024 Annual Climate Summary, Global Climate Highlights 2024*, Copernicus, Climate Change Service, available at: <https://climate.copernicus.eu/global-climate-highlights-2024> (accessed 24 January 2025).

Hovmöller, E. (1949) The Trough-and-Ridge Diagram, *Tellus*, vol. 1, no. 2, pp. 62-66.

IPCC (2021) *Climate Change 2021 The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, in Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, doi:10.1017/9781009157896.

Lynas, M., Houlton, B.Z., Perry, S. (2021) Greater than 99% consensus on human caused climate change in the peer-reviewed scientific literature, *Environmental Research Letters*, vol. 16, no. 11, 114005, doi:10.1088/1748-9326/ac2966.

Madge, G. (2024) 2025 outlook: in top three warmest years on record, *Met Office, News&media*, available at: <https://www.metoffice.gov.uk/about-us/news-and-media/media-centre/weather-and-climate-news/2024/2025-global-temperature-outlook> (accessed 25 March 2025).

Morice, C.P., Berry, D.I., Cornes, R.C., Cowtan, K., Cropper, T., Kennedy, J.J., Kent, E., Rayner, N., Steptoe, H., Osborn, T., Taylor, M., Wallis, E., Winn, J. (2024) A new observational analysis of near surface air temperature change since

the late 18th century developed for the GloSAT project, *EGU General Assembly 2024, Vienna, Austria, 14-19 Apr 2024, EGU24-17030*, updated on 25 Feb 2025, Copernicus Publications, available at: <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu24-17030> (accessed 23 March 2025).

Myers, K.F., Doran, P.T., Cook, J., Kotcher, J.E., Myers, T.A. (2021) Consensus revisited: quantifying scientific agreement on climate change and climate expertise among Earth scientists 10 years later, *Environmental Research Letters*, vol. 16, no. 10, 104030, doi:10.1088/1748-9326/ac2774.

NASA (2024) *Temperatures Rising: NASA Confirms 2024 Warmest Year on Record*, Jan 10, 2025, available at: <https://www.nasa.gov/news-release/temperatures-rising-nasa-confirms-2024-warmest-year-on-record/> (accessed 25 January 2025).

NOAA NCEI (2024a) *National Centers for Environmental Information, Global Climate Report. Annual 2024*, available at: <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/monthly-report/global/202413> (accessed 24 January 2025).

NOAA NCEI (2024b) *National Centers for Environmental Information, Assessing the Global Climate in 2024*, available at: <https://www.ncei.noaa.gov/news/global-climate-202413> (accessed 24 January 2025).

TCC JMA (2025) Global temperature for 2024 was the highest since 1891, *Tokyo Climate Center, Japan Meteorological Agency, TCC News, Winter 2025*, no. 79, available at: <https://www.data.jma.go.jp/tcc/data/news/tccnews79.pdf> (accessed 25 March 2025).

The State's Comprehensive Planning Agency. List of Worldwide Scientific Organizations, Governor's OPR (2024), available at: <https://www.opr.ca.gov/facts/list-of-scientific-organization>, (accessed 31 July 2024).

UNFCCC (2015) *Parizhskoe soglasenie v ramkah Ramochnoj konvencii OON ob izmenenii klimata* [Paris Agreement under the United Nations Framework Convention on Climate Change], URL: https://unfccc.int/files/meetings/paris_nov_2015/application/pdf/paris_agreement_russian.pdf (accessed 23 March 2025).

WMO (2024) *WMO confirms 2024 as warmest year on record at about 1.55°C above pre-industrial level*, Press Release, 10 January 2025, available at: <https://wmo.int/news/media-centre/wmo-confirms-2024-warmest-year-record-about-155degc-above-pre-industrial-level>, (accessed 5 April 2025).

WMO (2025) State of the Global Climate 2024, *World Meteorological Organization, Publication Series*, 19 March 2025, available at: <https://wmo.int/publication-series/state-of-global-climate-2024> (accessed 27 March 2025).

Статья поступила в редакцию (Received): 30.03.2025.

Статья доработана после рецензирования (Revised): 06.04.2025.

Принята к публикации (Accepted): 09.04.2025.

Для цитирования / For citation:

Ранькова, Э.Я., Самохина, О.Ф., Антипина, У.И., Смирнов, В.Д. (2025) Особенности температурного режима у поверхности Земного шара в 2024 году. Современное состояние глобального потепления, *Фундаментальная и прикладная климатология*, т. 11, № 2, с. 237-279, doi:10.21513/2410-8758-2025-2-237-279.

Rankova, E.Ya., Samokhina, O.F., Antipina, U.I., Smirnov, V.D. (2025) Features of the surface temperature regime over the Globe in 2024. Current status of global warming, *Fundamental and Applied Climatology*, vol. 11, no. 2, pp. 237-279, doi:10.21513/2410-8758-2025-2-237-279.