

Особенности температурного режима у поверхности Земного шара в 2020 году

Г.В. Груза¹⁾, Э.Я. Ранькова^{1,2)*}, О.Ф. Самохина¹⁾

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

²⁾ Институт географии Российской академии наук, РФ, 119017, Москва, Старомонетный пер., 29

* адрес для переписки: firankova@gmail.com

Реферат. Рассматривается состояние температурного режима у поверхности Земного шара в 2020 году и его изменчивость в течение 1901-2020 гг. По данным стационарных инструментальных наблюдений, анализируются основные температурные аномалии 2020 года (базовый период 1981-2010 гг.) и их тренды.

Показано, что в целом по Земному шару, с учетом континентов и океанов, 2020 год оказался вторым среди самых теплых лет (после 2016 г.), на территории суши – первым, на акваториях Мирового океана – четвертым, а период 2014-2020 гг. стал самым теплым семилетним периодом в истории наблюдений.

В 88% всех стационарных наблюдений (только суша, данные ИГКЭ) среднегодовая температура оказалась выше климатической нормы, среди них 49% – выше 95-го перцентиля (с учетом океанов, соответственно, 82% и 38%, по данным HadCRUT). Отрицательные аномалии (~10% всех данных) наблюдались, в основном, на континентах северного полушария (Канада, юг Евразии) и в очень небольших областях на юго-востоке Австралии и в Антарктиде.

Оценки линейного тренда 1976-2020 гг. уверенно подтверждают тенденцию потепления: положительные тренды составляют около 97% всех локальных оценок. Наибольшая интенсивность потепления отмечается в среднем по Арктическому широтному поясу (0.61°C/10 лет) и на территории Европы (0.51°C/10 лет).

Обсуждаются особенности глобального потепления в Северном и Южном полушариях, на суше и на поверхности океанов. Данные показывают, что потепление продолжалось на протяжении всего XX столетия (начиная с холодных 1900-1910-х), но до 1990-х гг. его проявлению мешала сезонная неоднородность (более медленное потепление теплых сезонов) и временное замедление процесса в 1970-1980-х. Оба эти фактора более активны в Северном полушарии и на континентах.

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

Features of the surface temperature regime over the Globe in 2020

G.V. Gruza¹⁾, E.Ya. Rankova^{1,2)}, O.F. Samokhina¹⁾*

¹⁾ Yu.A. Izrael Institute of Global Climate and Ecology,
20B, Glebovskaya, 107258, Moscow, Russian Federation

²⁾ Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences,
29, Staromonetny lane, 119017, Moscow, Russian Federation

* Correspondence address: *firankova@gmail.com*

Abstract. The state of the near surface temperature regime in 2020 and its variability during 1901-2020 are considered. The temperature anomalies in 2020 (reference period 1981-2010) and their trends are analyzed by the data of station instrumental observations.

It is shown that in general over the Globe, taking into account continents and oceans, 2020 turned out to be the second among the warmest years (after 2016), over land – the first, on the Ocean surface – the fourth, and the 2014-2020 span became the warmest seven-year period on record.

In 88% of all station observations (only land, IGCE data), the average annual temperature was above the climatic norm, among them 49% were above the 95th percentile (taking into account the oceans, respectively, 82% and 38% according to HadCRUT data). Negative anomalies (~10% of all data) were observed mainly on the continents of the northern hemisphere (Canada, southern Eurasia) and in very small areas in the southeast of Australia and Antarctica.

Estimates of the linear trend 1976-2020 confidently confirm the warming tendency: positive trends make up about 97% of all local assessments. The greatest intensity of warming is noted on average in the Arctic latitudinal belt (0.61°C/10ys) and in Europe (0.51°C/10ys).

The features of global warming in the Northern and Southern Hemispheres, on land and on the surface of the oceans are discussed. The data show that warming continued throughout the 20th century (starting in the cold 1900-1910s), but until the 1990s. its identification was hampered by seasonal features (slower warming of warm seasons) and a temporary slowdown in the 1970s-1980s. Both of these factors are more active in the Northern Hemisphere and on the continents.

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

Введение

Статья продолжает серию ежегодных публикаций (2015-2020 гг.) о современном состоянии температурного режима Земного шара (приземная температура) на основе данных регулярного мониторинга климата в ФГБУ «ИГКЭ» (ЦМКП, 2016; Груза и др., 2017а).

В обзорах и климатических бюллетенях ведущих мировых научных центров регулярно публикуется информация о текущем состоянии климатической системы Земли, о наблюдаемых климатических аномалиях, рекордах и экстремальных событиях (NOAA NCEI, 2021; NASA, 2021; NOAA NCEI, 2021; JMA, 2020; Bureau..., 2021). Всемирная Метеорологическая Организация (ВМО) обобщает эти материалы в пресс-релизах и ежегодных сообщениях о состоянии климата (WMO, 2020a, 2020b, 2021). Оценка ВМО основана на пяти наборах данных о глобальной температуре, включающих наблюдения (*HadCRUT*, *NOAAGlobalTemp* и *GISTEMP*) и реанализы (*ERA5* и *JRA-55*).

По заключению ВМО (WMO, 2020a, 2020b, 2021), 2020 год стал вторым самым теплым годом в истории наблюдений (в среднем по всей территории Земного шара, с учетом континентов и океанов). Первую строку в списке самых теплых лет по-прежнему занимает 2016 год (год мощнейшего Эль-Ниньо на фоне глобального потепления). Несмотря на нейтральные или сравнительно слабые условия Эль-Ниньо в начале 2020 года и Ла-Нинья в конце года (с конца сентября), год в целом по глобальной температуре оказался близок к 2016 г., а последние шесть лет (2015-2020 гг.) стали самым теплым 6-летним периодом. Авторы (ВМО, 2021; NASA, 2020) считают, что этот факт свидетельствует об усилении антропогенного влияния на климат до уровня естественных воздействий и что «фоновый климат продолжает нагреваться из-за парниковых газов».

В соответствии с анализом GISS (Институт космических исследований им. Годдарда) 2020 год несколько теплее 2016-го, но лишь в пределах погрешности вычислений (NASA, 2021). Ученые Европейского центра среднесрочных прогнозов ECMWF (Copernicus, 2021) также считают 2020 год самым теплым, тогда как по данным NOAA (NOAA NCEI, 2020, 2021) и Метеослужбы Великобритании (WMO, 2021), 2020 год стал вторым самым теплым, а Японское метеорологическое агентство (JMA, 2020) поставило 2020 год на третье место (по данным реанализа). По всем данным, в тройку лидеров вошли 2016, 2019 и 2020 гг. По оценке ВМО, различия между этими тремя годами находятся в пределах погрешности расчета глобальной температуры $\pm 0.1^\circ\text{C}$. Поэтому не так уж важно, какой из них будет считаться рекордным. Таким образом, средняя глобальная температура в 2020 году составила около 14.9°C , что на $1.2 (\pm 0.1)^\circ\text{C}$ выше доиндустриального уровня (1850-1900).

Хотя преобладание положительных аномалий в 2020 году очевидно, по всему земному шару отмечаются колебания крупных температурных аномалий, как в крупных регионах, так и в локальных областях, в целом за год и в отдельные календарные сезоны. Высокие положительные аномалии наблюдались в обширных областях Европы, северной Евразии, Восточной Азии и Австралии, а также на акваториях Северного ледовитого, Тихого и Индийского океанов (JMA, 2020; WMO, 2020a, 2020b). Средняя температура по России за январь-август была на 3.7°C выше климатической нормы 1981-2010 гг. и на 1.5°C выше предыдущего рекорда, установленного в 2007 году. В Верхоянске 20 июня температура достигла отметки 38.0°C , самой высокой известной температуры севернее Полярного круга (WWA, 2020). Районы с

температурой ниже нормы на суше отмечены на территории западной Канады, Бразилии (Патагония, Огненная Земля), на севере Индии и в юго-восточной Австралии.

Информация о других климатических переменных, индикаторах и/или факторах климатических изменений также указывает на продолжающееся потепление. По данным за первые 10 месяцев 2020 г. (WMO, 2020a, 2020b), атмосферная концентрация основных парниковых газов продолжает увеличиваться (в 2019 г. зафиксирован абсолютный максимум в среднем по земному шару), глобальный уровень моря повышается более высокими темпами из-за увеличения таяния ледяных щитов в Гренландии и Антарктиде и теплового расширения воды. Из-за откола айсбергов ледяной покров Гренландии за год (с сентября 2019 по август 2020) сократился почти на 152 Гт. В Арктике годовой минимум площади морского льда оказался вторым среди самых низких значений, а в июле и октябре зафиксирована рекордно низкая протяженность морского льда. Площадь антарктического морского льда в течение всего года оставалась на уровне многолетних средних значений.

В (Cheng et al., 2021) предложены новейшие данные о теплосодержании океана, в соответствии с которыми в 2020 г. температура в верхних слоях океана достигнет рекордного уровня.

В 2020 г. зарегистрировано особенно большое число опасных явлений всех категорий: лесные пожары, засухи и засушливые условия, сильные дожди и обширные наводнения, ураганные шторма с выходами на сушу и внетропические циклоны, сопровождаемые порывами ветра до 186 км/час и интенсивными осадками до 150.5 мм/день. Подробные данные о зафиксированных рекордах, крупных аномалиях и опасных явлениях можно найти в (WEF, 2020).

В предлагаемой статье приводятся основные фактографические данные об аномалиях и экстремумах приповерхностной температуры в 2020 г. и обновленные оценки климатических трендов, полученные авторами в рамках действующей системы климатического мониторинга в ФГБУ «ИГКЭ». Рассматриваются как локальные оценки, так и их обобщения для Земного шара, полушарий и крупных регионов (континенты, океаны, широтные пояса). Полная информация доступна на Web-сайтах (ИГКЭ, 2016), где можно найти все выпуски сезонных бюллетеней и годовых обзоров ИГКЭ за время функционирования системы мониторинга глобального климата GCSM (с 2015 года).

Данные

Как и в предыдущих публикациях данной серии, все 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 (температура на высоте 2 м) с 1901 года

на глобальной сети 3288 наземных станций. Описание массива и каталог включенных в него станций можно найти на web-сайте ИГКЭ (ИГКЭ, 2016). Массив пополняется в квазиреальном времени оперативными данными с каналов связи ГСТ (сводки КЛИМАТ), после надлежащей процедуры контроля и верификации (ЦМКП, 2016). В 2020 году, в связи с существенным сокращением объема поступающих с каналов связи оперативных климатических наблюдений, выполнена модификация массива, которая состоит, главным образом, в активном использовании станционных данных СИНОП для контроля и заполнения пропусков в данных КЛИМАТ.

Данные Hadley/CRU – это признанные мировым научным сообществом данные Метеослужбы Великобритании (MetOffice Hadley Centre, UK) и Университета Восточной Англии (CRU UEA, UK) о приповерхностной температуре на глобальной сети 5-градусных боксов. Комплект содержит три категории данных: CRUTEM4 (только суша, версия 4.6.0.0), HadSST3 (только море, версия 3.1.1.0) и HadCRUT4 (суша+море, версия 4.6.0.0). В каждой категории содержатся глобальные сеточные поля и глобально осредненные временные ряды для Земного шара, Северного и Южного полушарий (полное описание данных см. <http://www.metoffice.gov.uk>). Ежемесячно обновленные (и продленные на месяц) данные Hadley/CRU считываются с сайта источника и используются в технологии мониторинга без корректировки. Из них реально используются сеточные поля объединенных данных HadCRUT4 (суша+море) и глобально осредненные временные ряды для всех трех категорий данных.

Более подробную справку обо всех используемых данных (ИГКЭ и Hadley/CRU) можно найти в бюллетенях (ИГКЭ, 2016) и в предыдущих статьях авторов (Груза и др., 2017б, 2019, 2020). Следует отметить, что базовым массивом для оценки температурных условий на суше (локальных, региональных, глобальных) служит массив станционных данных T3288 (ИГКЭ), а сеточный массив HadCRUT4 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 CRUTEM4 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 CRUTEM4 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 2019 г. опубликованы в предыдущей статье авторов (Груза и др., 2020), а на конец 2020 г. – в бюллетене

«GCSM-2020 (январь-декабрь)». В частности, в соответствии с последними оценками, для любой из трех территорий (Земной шар, Северное и Южное полушария) среднее различие рядов T3288 и CRUTEM4 за последние 100 лет (1921-2020 гг.) не превышает 0.02°C , а за последние 45 лет (с 1976 г.) и вовсе пренебрежимо мало. Стандартное отклонение различий за эти периоды ($0.02\text{-}0.04^{\circ}\text{C}$) на порядок ниже стандартного отклонения самих рядов ($0.26\text{-}0.51^{\circ}\text{C}$). Максимальные различия за период с 1976 г. не превышают 0.07°C , а в целом за столетие 0.12°C . При этом во всех случаях ряды характеризуются исключительно высокой корреляцией (не ниже 0.99) и предельно низким различием трендов (до $\pm 0.01^{\circ}\text{C}/10$ лет).

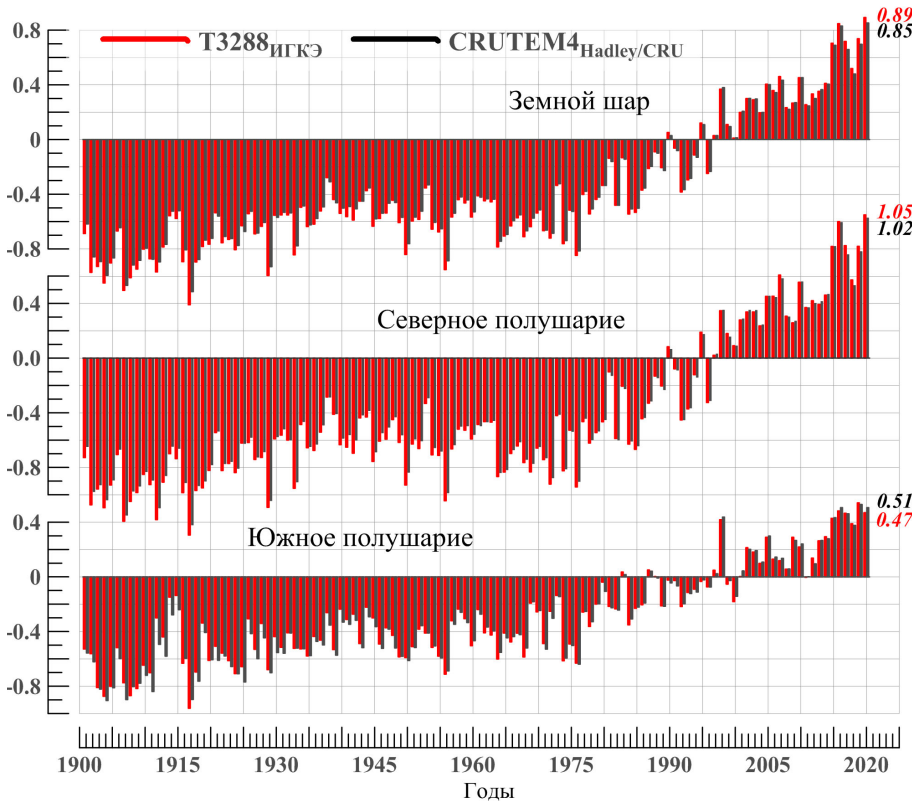


Рисунок 1. Временные ряды пространственно осредненных годовых аномалий температуры приземного воздуха над сушей Земного шара, Северного и Южного полушарий, 1901-2020 гг. ($^{\circ}\text{C}$)

Использованы глобальные временные ряды T3288 (ИГКЭ) и CRUTEM4 (Hadley/CRU). Справа приведены числовые значения среднегодовых аномалий в 2020 г.

Figure 1. Annual surface air temperature anomalies, averaged over the Globe, Northern and Southern Hemispheres ($^{\circ}\text{C}$, 1901-2020, land only)

The global time series T3288 (IGCE) and CRUTEM4 (Hadley/CRU) were used. The values of the annual anomalies 2020 are presented on the right

Таким образом, результаты сравнения рядов 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.

Результаты

2020 год – второй самый теплый год, а 2014-2020 гг. – самый теплый семилетний период в истории наблюдений

В целом по Земному шару (суша+море) 2020 год стал вторым самым теплым годом (после 2016), на территории суши – первым, а на акваториях Мирового океана – четвертым. В Северном полушарии по всем вариантам данных (суша, море, суша+море) 2020 год оказался самым теплым, в Южном полушарии по тем же данным – вторым-третьим, девятым и шестым, соответственно. Глобальные временные ряды по всем наборам данных представлены на рис. 2, а данные о пяти самых теплых годах по каждому из них – в табл. 2. Последние семь лет – самый теплый 7-летний период в истории наблюдений (с 1850 г.).

Таблица 1. Самые теплые годы для Земного шара, Северного и Южного полушарий, по данным разных источников: средняя за год аномалия температуры VT и год наблюдения

Table 1. The warmest years for the Globe, Northern and Southern Hemispheres from different datasets (VT – annual surface temperature anomaly and Year – year of occurrence)

№	ЗШ		СП		ЮП	
	VT, °C	Год	VT, °C	Год	VT, °C	Год
HadCRUT4 (Hadley/CRU, суша+море)						
1	0.504	2016	0.756	2020	0.308	2016
2	0.475	2020	0.701	2016	0.279	2019
3	0.470	2015	0.670	2015	0.274	2015
4	0.443	2019	0.609	2019	0.242	1998
5	0.384	2017	0.559	2017	0.211	2017
6	0.304	2018	0.426	2018	0.198	2020
T3288 (ИГКЭ, суша)						
1	0.893	2020	1.047	2020	0.542	2019
2	0.848	2016	0.998	2016	0.483	2016
3	0.738	2019	0.822	2017	0.470	2020
4	0.718	2017	0.817	2019	0.466	2017
5	0.705	2015	0.816	2015	0.429	2015
CRUTEM4 (Hadley/CRU, суша)						
1	0.853	2020	1.025	2020	0.530	2019
2	0.831	2016	0.993	2016	0.507	2020
3	0.697	2019	0.817	2015	0.507	2016
4	0.690	2015	0.779	2019	0.462	2017
5	0.659	2017	0.757	2017	0.438	1998
HadSST3 (Hadley/CRU, море)						
1	0.408	2016	0.618	2020	0.291	2016
2	0.387	2015	0.535	2019	0.230	2015
3	0.377	2019	0.535	2016	0.229	2019
4	0.374	2020	0.526	2015	0.199	1998
5	0.300	2017	0.439	2017	0.190	2017

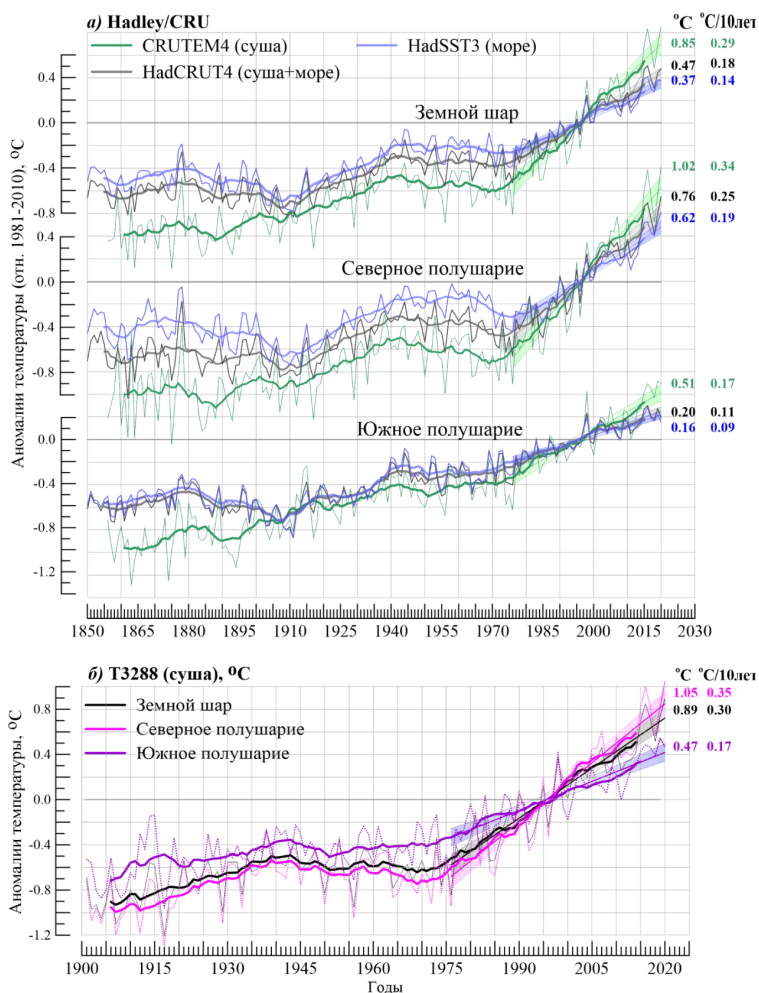


Рисунок 2. Временные ряды среднегодовых аномалий приземной температуры, осредненных по территории Земного шара, Северного и Южного полушарий, по данным:

а) HadCRUT4 (суша+море, черные кривые), CRUTEM4 (суша, зеленые кривые), HadSST3 (море, синие кривые); использованы оригинальные ряды Hadley/CRU; б) T3288 (суша); использованы данные и методика пространственного осреднения ИГКЭ.

Для всех рядов показан ход 11-летних скользящих средних и линейный тренд за 1976-2020 гг. с 95% доверительным интервалом. Справа приведены числовые значения среднегодовых аномалий в 2020 г. и значения коэффициентов линейного тренда за 1976-2020 гг. (°C/10 лет)

Figure 2. Time series of the annual surface temperature anomalies averaged over the Globe, Northern and Southern Hemispheres.

Data source: а) Hadley/CRU: HadCRUT4 (land+sea), CRUTEM4 (land only), HadSST3 (sea only); б) IGCE: T3288 (land only)

For all time-series the 11-year moving average and linear trend for 1976-2020 with the 95% confidence interval are shown. The 2020 anomalies and the 1976-2020 trend coefficients are presented on the right

Географические и сезонные особенности распределения аномалий приповерхностной температуры в 2020 году

В настоящем разделе представлены данные об аномалиях температуры в 2020 году для года в целом, каждого сезона и отдельных месяцев. Наряду с

глобальными полями локальных аномалий (рис. 3, 4), анализируются их обобщения для крупных регионов (табл. 2-4) в виде частотных распределений¹⁾ (по знаку и интенсивности аномалий) и пространственно осредненных значений²⁾ для каждого региона. В качестве регионов рассматриваются: земной шар, полушария, континенты, океаны и основные широтные пояса.

Таблица 2. Частотные распределения среднегодовых локальных аномалий на территории регионов Земного шара в 2020 г., по данным массивов T3288 и HadCRUT4 (все значения приведены в процентах от NN)

Table 2. Frequency distributions of the annual local surface temperature anomalies for the regions of the Globe in 2020 using T3288 and HadCRUT4 datasets (all values are in percentage from NN)

Регион	NN - число боксов/ станций	Число значений в каждой категории (в % от NN)						
		Аномалии (отн. 1981-2010 гг.)			5%-е экстремумы холода/тепла		Абсолютные экстремумы	
		$V < 0$	$V = 0$	$V > 0$	$X \leq P_{05}$	$X \geq P_{95}$	$X = \min$	$X = \max$
HadCRUT4 (суша+море)								
ЗШ	1538	13.2	5.1	81.7	0.1	38.0	0.0	11.8
СП	908	5.3	3.1	91.6	0.0	50.0	0.0	16.7
ЮП	630	24.6	8.1	67.3	0.2	20.6	0.0	4.6
65-90N	79	2.5	2.5	94.9	0.0	39.2	0.0	24.1
25-65N	526	6.8	4.0	89.2	0.0	50.6	0.0	19.2
25S-25N	606	10.9	4.1	85.0	0.2	41.9	0.0	9.7
65-25S	315	30.8	9.2	60.0	0.0	10.2	0.0	0.6
90-65S	12	16.7	16.7	66.7	0.0	8.3	0.0	0.0
T3288 (только суша)								
ЗШ	2500	9.5	2.4	88.1	0.7	49.0	0.5	23.6
СП	2145	8.4	1.9	89.7	0.5	52.8	0.2	26.7
ЮП	356	16.3	5.6	78.1	2.2	26.4	2.2	5.3
С. Америка	421	15.7	1.0	83.4	0.0	32.1	0.0	8.1
Евразия	1458	7.0	2.1	90.9	0.7	59.6	0.3	34.4
Ю. Америка	103	4.9	3.9	91.3	0.0	26.2	0.0	3.9
Африка	126	6.3	4.0	89.7	0.0	46.8	0.0	15.1
Австралия	145	32.4	6.2	61.4	5.5	22.1	5.5	4.8
Антарктида	18	11.1	11.1	77.8	5.6	5.6	0.0	0.0
Европа	518	0.0	0.6	99.4	0.0	86.9	0.0	54.1
Азия	949	10.7	2.8	86.4	1.1	44.9	0.5	23.7

Условные обозначения: 1. $V < 0$, $V = 0$, $V > 0$ – категории среднегодовых аномалий; 2. P_{05} , P_{95} – 5-я и 95-я процентиля; 3. \min , \max – наименьшее и наибольшее значения с 1911 г.

¹⁾ Эмпирические частоты рассчитываются для семи градаций аномалий (см. шапку таблицы) и заданного региона (см. боковик таблицы) как доля точечных значений на территории региона (станционных или в боксах), попавших в соответствующую градацию.

²⁾ Станционные данные T3288 сначала осредняются внутри ячеек 5-градусной сетки (боксов), после чего ячейечные средние осредняются по площади региона, с весами, пропорциональными площади бокса внутри региона. Данные HadCRUT изначально заданы как ячейечные средние.

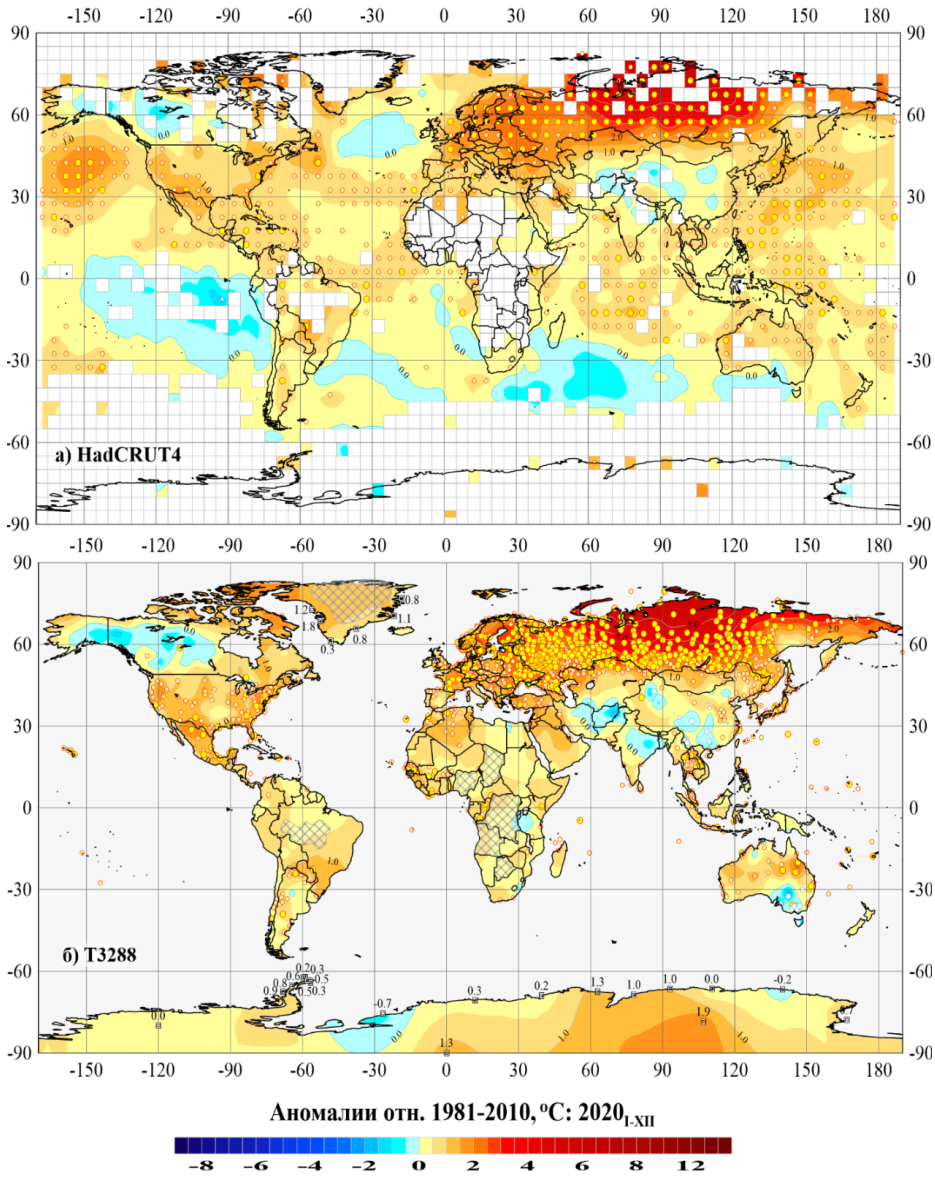


Рисунок 3. Пространственное распределение среднегодовых аномалий приземной температуры (°C) на территории Земного шара в 2020 г.: а) по сеточным данным HadCRUT4 (суша+море, Hadley/CRU, UK); б) по станционным данным T3288 (только суша, ИГКЭ) Аномалии приведены в отклонениях от средних за 1981-2010 гг. Кружками 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. Для станций Антарктиды и Гренландии непосредственно в точках расположения станций показаны числовые значения наблюдаемых аномалий. Пустыми боксами (а) и штриховкой (б) показаны области отсутствия наблюдений

Figure 3. Annual surface temperature anomalies over the Globe in 2020: a) by the gridded data HadCRUT4 (Hadley/CRU, land+sea); b) by the station data T3288 (IGCE, land only) Anomalies are calculated relative to the reference period 1981-2010. White circles (the minima) and yellow circles (the maxima) indicate record values (absolute extremes). The circles of smaller size indicate the location of 5% extremes of the same sign. For stations in Antarctica and Greenland anomalies values are shown at corresponding locations. The areas with insufficient data are empty (a) or shading (b)

Таблица 3. Пространственно осредненные значения аномалий приземной температуры на территории Земного шара в 2020 г. (°C) и их вероятности неперевышения (в среднем за год и в каждом из сезонов)

Table 3. Spatially averaged surface temperature anomalies over the Globe in 2020 (°C) and their cumulative probabilities (on average for a year and by season)

Регион	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	vT	F%	vT	F%	vT	F%	vT	F%	vT	F%
HadCRUT4 (суша+море)										
Земной шар	0.48	99	0.64	99	0.55	99	0.42	97	0.42	98
Северное полушарие	0.76	100	0.96	99	0.79	99	0.67	99	0.71	99
Южное полушарие	0.20	95	0.33	99	0.30	96	0.17	95	0.14	91
Атлантика (15-70N)	0.48	99	0.51	98	0.51	100	0.47	96	0.49	96
Тихий океан (20-65N)	0.85	100	0.61	100	0.73	100	0.96	100	1.05	100
Арктический пояс (65-90N)	1.94	99	1.59	95	2.04	98	1.52	99	2.26	99
Умеренный пояс СП (25-65N)	0.90	100	1.31	100	0.92	100	0.74	99	0.87	100
Тропики (25S-25N)	0.40	98	0.49	97	0.51	99	0.39	98	0.26	92
Умеренный пояс ЮП (65-25S)	0.14	86	0.19	95	0.19	94	0.10	84	0.14	90
Антарктический пояс (90-65S)	0.53	95	0.29	91	0.53	81	0.53	84	1.02	95
IGCE-T3288 (суша)										
Земной шар	0.89	100	1.28	100	0.95	99	0.62	99	0.87	100
Северное полушарие	1.05	100	1.58	100	1.16	99	0.70	98	0.96	100
Южное полушарие	0.47	98	0.57	98	0.42	95	0.43	95	0.68	100
Северная Америка	0.78	94	1.23	93	0.32	83	0.88	99	0.54	84
Евразия	1.32	100	2.36	100	1.70	100	0.66	95	1.23	100
Южная Америка	0.57	99	0.43	97	0.81	100	0.44	92	0.77	100
Африка	0.58	96	0.53	92	0.74	95	0.45	93	0.41	89
Австралия	0.50	92	1.06	99	-0.10	70	0.42	90	1.41	100
Антарктида	0.43	88	0.70	99	0.74	86	0.31	78	0.49	80
Европа	1.85	100	4.39	100	1.20	94	0.90	95	1.83	100
Азия	1.18	100	1.82	100	1.83	100	0.58	93	1.05	98
CRUTEM4 (суша)										
Земной шар	0.85	100	1.27	100	0.89	99	0.62	99	0.84	100
Северное полушарие	1.03	100	1.59	100	1.12	99	0.68	97	0.92	100
Южное полушарие	0.51	99	0.63	99	0.44	96	0.49	97	0.69	100
HadSST3 (море)										
Земной шар	0.37	97	0.41	99	0.43	99	0.40	99	0.32	95
Северное полушарие	0.62	100	0.55	99	0.58	100	0.71	100	0.64	98
Южное полушарие	0.16	93	0.27	99	0.28	97	0.13	89	0.05	84

Условные обозначения. 1. vT , °C – наблюдаемая аномалия в 2020 году (базовый период 1981-2010 гг.); 2. F% – значение эмпирической функции распределения $F = \text{prob}(X \leq vT_{2020})$, по данным за 1911-2019 гг. (вероятность неперевышения) 3. Красным шрифтом выделены абсолютные максимумы (наибольшие из всех значений ряда за 1911-2020 гг.).

В соответствии со среднегодовыми оценками (рис. 3, табл. 2-3), в 2020 году на территории Земного шара преобладали положительные аномалии температуры: более 88% всех наблюдений по данным T3288 (более 82% по данным HadCRUT4). Среди них 49% (38%) оказались выше 95-го перцентиля, в том числе 24% (12%) значений стали для своих пунктов рекордно высокими.

Из континентов выделяется Евразия: почти 60% значений выше 95-го перцентиля, из них 34% – абсолютные максимумы; из широтных поясов – северные умеренные широты (за счет рекордно теплых Евразии и Тихого океана). В Европе отрицательных аномалий НЕ наблюдалось, около 33% всех значений – 5%-е экстремумы и еще 54% – абсолютные максимумы (на этих станциях столь высокая температура наблюдалась впервые).

Как следует из регионально осредненных сезонных оценок (табл. 3), рекордно теплыми были все сезоны в северной части Тихого океана и весна в Северной Атлантике. Зима и осень были рекордно теплыми в целом на суше Северного полушария и Земного шара, в Евразии – все сезоны года, кроме лета, в Южной Америке – весна и осень, в Австралии – только осень, в умеренном широтном поясе Северного полушария – все сезоны, кроме лета (за счет Евразии и Тихого океана).

По-видимому, важно отметить, что летний сезон не был рекордно теплым ни на одном континенте (в среднем по территории региона) и что в Австралии температура весеннего сезона, в среднем по континенту, была ниже нормы (единственное отрицательное значение среди сезонных региональных аномалий). Более полное представление о температурных аномалиях 2020 года дают региональные оценки для каждого месяца (табл. 4) и глобальные поля сезонных аномалий (рис. 4).

Таблица 4. Пространственно осредненные значения аномалий приземной температуры в 2020 г. для континентов, северных частей Атлантического и Тихого океанов и основных широтных поясов земного шара (за каждый месяц и в среднем за год)

Table 4. Spatially averaged surface temperature anomalies in 2020 over the continents, northern parts of Atlantic and Pacific oceans and the basic latitudinal belts (for every month and the year as a whole)

Регион	Месяцы 2020 года												Год I-XII
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
<i>HadCRUT4 (суша+море)</i>													
АО,15-70 N	0.5 ₃	0.6 ₁	0.5 ₁	0.6 ₁	0.4 ₅	0.3 ₁₀	0.5 ₄	0.6 ₄	0.5 ₃	0.5 ₆	0.4 ₆	0.4 ₈	0.5 ₂
ТО,40-60 N	0.6 ₁	0.6 ₂	0.7 ₁	0.6 ₂	0.9 ₁	1.0 ₁	0.9 ₁	1.0 ₃	1.1 ₁	1.1 ₁	1.0 ₁	0.8 ₁	0.8 ₁
65-90 N	1.5 ₁₈	1.9 ₁₂	2.0 ₈	2.6 ₃	1.5 ₃	1.7 ₃	1.2 ₂	1.6 ₁	1.6 ₂	2.0 ₄	3.4 ₁	1.8 ₈	1.9 ₂
25-65 N	1.4 ₁	1.5 ₁	1.3 ₁	0.7 ₃	0.8 ₂	0.7 ₆	0.8 ₁	0.8 ₂	0.9 ₃	0.7 ₃	1.1 ₁	0.6 ₈	0.9 ₁
25 S-25 N	0.5 ₃	0.5 ₄	0.6 ₂	0.5 ₃	0.4 ₄	0.4 ₄	0.4 ₃	0.4 ₅	0.3 ₅	0.2 ₁₁	0.2 ₁₄	0.2 ₁₆	0.4 ₃
65-25 S	0.2 ₁₂	0.2 ₁₁	0.3 ₆	0.2 ₁₂	0.1 ₁₇	0.2 ₁₅	0.0 ₂₈	0.1 ₁₆	0.1 ₁₃	0.1 ₂₅	0.3 ₃	0.1 ₂₀	0.1 ₁₆
90-65 S	0.1 ₂₁	0.2 ₁₁	-0.4 ₆₃	1.3 ₇	1.2 ₁₆	0.1 ₂₅	1.1 ₁₅	0.8 ₂₀	1.4 ₉	0.6 ₁₅	1.1 ₆	-0.6 ₇₂	0.5 ₅
<i>T3288 (суша)</i>													
С. Америка	1.6 ₆	0.6 ₂₀	1.0 ₉	-0.3 ₄₅	0.3 ₂₂	0.6 ₉	1.1 ₂	1.0 ₁	0.4 ₂₀	-0.1 ₆₃	1.4 ₁₀	2.1 ₅	0.8 ₈
Евразия	2.5 ₂	3.0 ₁	2.5 ₂	1.4 ₇	1.2 ₂	0.8 ₉	0.7 ₅	0.6 ₁₁	1.2 ₂	0.8 ₆	1.6 ₃	-0.3 ₄₀	1.3 ₁
Ю.Америка	0.6 ₄	0.3 ₁₀	1.6 ₁	0.6 ₆	0.3 ₂₃	0.6 ₉	-0.2 ₅₉	0.5 ₁₄	1.0 ₃	0.7 ₃	0.6 ₄	0.3 ₁₂	0.6 ₂
Африка	0.2 ₃₁	0.8 ₆	0.7 ₈	0.7 ₅	0.9 ₄	0.6 ₆	0.4 ₁₅	0.2 ₁₈	0.4 ₁₂	0.5 ₁₁	0.3 ₁₆	1.1 ₁	0.6 ₅
Австралия	0.8 ₈	0.2 ₂₆	-0.1 ₅₂	1.0 ₇	-1.3 ₈₈	0.4 ₂₃	0.1 ₃₅	0.7 ₉	1.7 ₂	0.4 ₂₀	2.0 ₁	-0.1 ₄₆	0.5 ₁₀
Антарктида	0.3 ₁₈	1.0 ₆	-1.4 ₆₅	1.7 ₈	1.9 ₈	-0.8 ₃₉	1.9 ₈	-0.2 ₃₈	1.4 ₈	-0.1 ₄₃	0.2 ₂₅	-0.8 ₆₂	0.4 ₁₀
Европа	4.2 ₂	5.0 ₃	3.2 ₁	0.5 ₂₈	0.0 ₄₄	1.1 ₆	0.7 ₁₅	0.8 ₁₃	1.7 ₂	1.7 ₁	2.2 ₇	1.2 ₂₄	1.9 ₁
Азия	2.0 ₂	2.5 ₁	2.3 ₄	1.7 ₂	1.6 ₁	0.6 ₁₂	0.6 ₉	0.5 ₉	1.1 ₂	0.6 ₁₂	1.5 ₅	-0.7 ₆₁	1.2 ₁

Примечание. Нижними индексами показаны ранги в упорядоченных по убыванию временных рядах для соответствующего месяца 1911-2020 гг. Красным шрифтом выделены абсолютные максимумы (ранг 1, жирный шрифт) и значения с рангами 2 и 3, синим шрифтом – отрицательные аномалии (температура ниже климатической нормы 1981-2010 гг.).

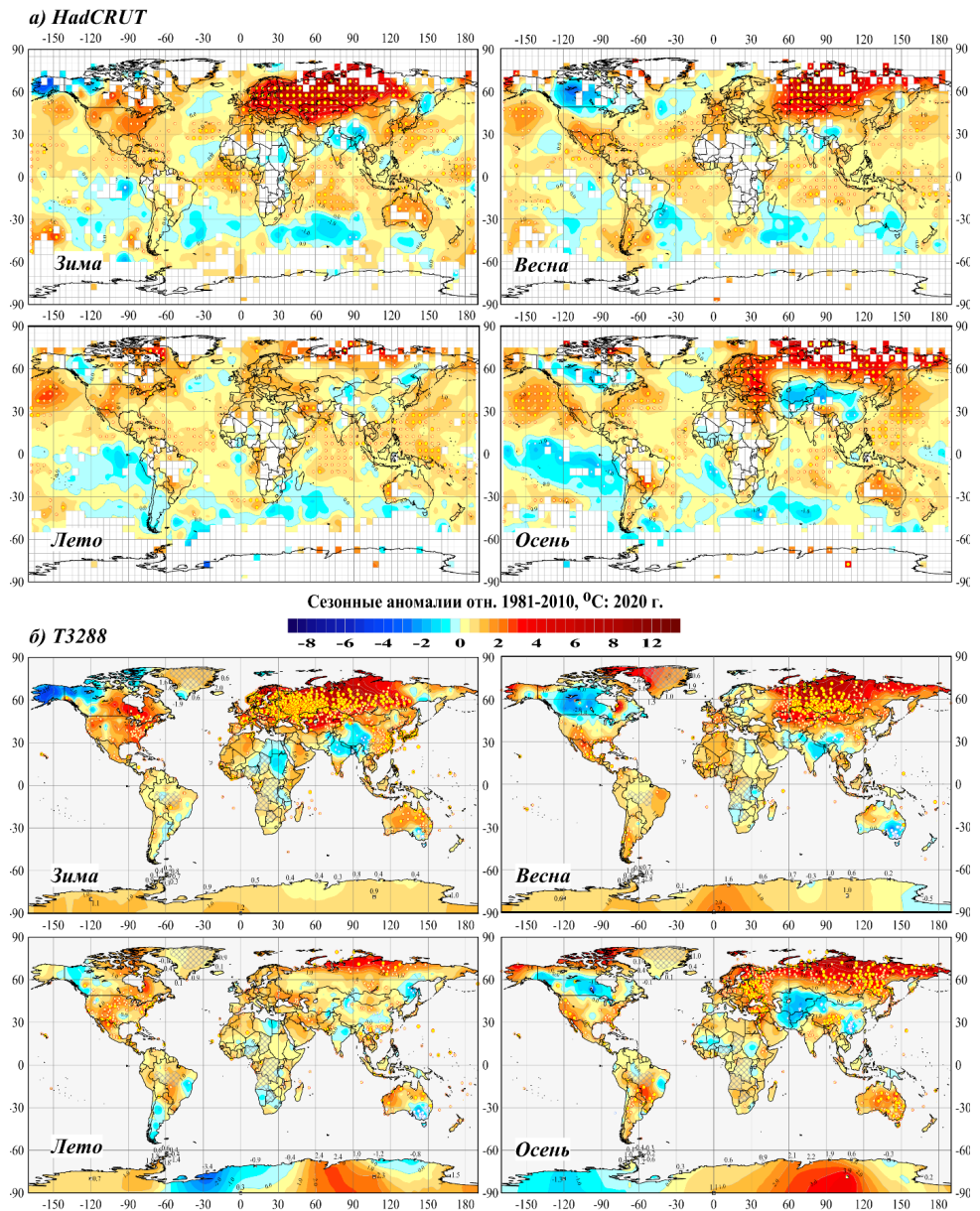


Рисунок 4. См. Рис.3, но для сезонных аномалий
Figure 4. See Fig. 3, but for seasonal anomalies

В соответствии с ежемесячными оценками (табл. 4), экстремально теплый температурный режим (ранг регионально осредненной аномалии не выше 3) устойчиво сохранялся в течение года лишь в северном полушарии (на акваториях океанов – все 12 месяцев подряд, на суше – 6 месяцев). Основной вклад принадлежит Тихоокеанскому региону и Евразии. Отрицательные аномалии (в среднем по территории регионов) наблюдались в отдельные месяцы практически на всех континентах, кроме Африки (в Евразии – только в декабре, в Южной Америке – только в июле). На акваториях океанов на глобальном

(полушарном) уровне они не зафиксированы; лишь в декабре в целом по Южному полушарию температура понизилась до уровня климатической нормы (аномалия -0.01°C), за счет Антарктического пояса, где средняя аномалия в декабре составила -0.6°C .

Зимний сезон (рис. 4) стал вторым из самых теплых зимних сезонов в целом по всей территории Земного шара и двум полушариям, уступая только сезону 2015/2016 гг.

Главной особенностью нынешней зимы стали экстремально теплые условия в Европе, Азии (и в Евразии в целом) и в Тихом океане. При этом в Европе и в Тихом океане (в районе Северо-Восточной котловины) в течение всех месяцев сезона наблюдались 95%-е экстремумы, а в Канаде, Индокитае, Восточной Сибири и на южных акваториях Тихого, Атлантического и Индийского океанов – области отрицательных аномалий температуры.

В целом по Земному шару доля сезонных 5%-х экстремумов тепла составила 27% всех данных HadCRUT4 (суша+море) и 42.5% данных станций T3288 (только суша), в том числе 18.9% – абсолютные максимумы. Многочисленные локальные экстремумы тепла отмечены на территории Азии (Средняя Азия, восточные районы Китая, Япония), Восточном побережье США и в Австралии. При этом в Австралии абсолютный максимум в среднем по континенту, а также локальные максимумы, были достигнуты в декабре 2019. На акваториях океанов основные очаги тепла располагались на севере Тихого океана (рекорды в декабре и январе и в среднем за сезон). В феврале 2020 г. рекордно теплым был север Атлантики.

Весна 2020 года (рис. 4), подобно зиме, оказалась на втором месте среди самых теплых весен (после весны 2016). Новые температурные рекорды установлены в регионах: пояс умеренных широт Северного полушария (в целом, и в каждом из двух его океанических секторов), Евразия (в целом по континенту и отдельно по территории Азии) и Южная Америка. При этом четверть всех локальных значений оказались выше 95-го перцентиля (большая часть в Северном полушарии) и среди них около 10% – абсолютные максимумы (в основном, в Азии и Африке). В Южной полярной области (Антарктика) абсолютных экстремумов не выявлено.

Крупные положительные аномалии температуры охватили практически всю бореальную Азию (до $+8.7^{\circ}\text{C}$). Менее интенсивные, но обширные аномалии отмечены на территории Западной Европы, Центральной и Южной Америки, Индонезии и Новой Зеландии, а также в Атлантике (южнее 40N), Тихом и Индийском океанах. Отрицательные аномалии сосредоточены на юге Австралии (65% всех значений, 9% – абсолютные минимумы), на материковой территории Канады и на граничной территории Индии и Китая, а также в южных широтах Атлантики, Тихого и Индийского океанов.

Летний сезон 2020 года (рис. 4). Основная особенность сезона – температурный рекорд океанов Северного полушария, причем основной вклад принадлежит Тихому и Индийскому океанам и, в меньшей мере, Атлантике. В то же время в Южном полушарии практически во все месяцы в океанах остава-

лись значительные области слабых отрицательных аномалий (12-е место в среднем за сезон). В Антарктиде и в Южной Америке, средняя по континенту температура в отдельные месяцы была ниже климатической нормы, но области слабых отрицательных аномалий наблюдались практически на всех континентах. В Австралии, по данным 48% станций, температура летнего сезона была ниже климатической нормы, а 17.3% всех значений оказались ниже 5-го перцентиля (5%-е экстремумы холода).

Крупных положительных сезонных аномалий на континентах не наблюдалось. Можно выделить лишь четыре сравнительно небольшие области, где отмечались локальные сезонные аномалии выше 95-го перцентиля: США и Центральная Америка, Центральная Европа, Передняя Азия и Австралия.

Осенний сезон (рис. 4) оказался рекордно теплым для суши всех трех глобальных территорий (ЗШ, СП, ЮП) и для континентов: Евразия (и отдельно Европа), Южная Америка и Австралия. Как результат, сезон стал рекордно теплым и для северных широтных поясов в целом: арктического и умеренного. По температуре поверхности океанов в Северном полушарии сезон оказался третьим самым теплым (за счет рекордно теплого Тихого океана (20-65°с.ш.)), но в Южном полушарии – только 19-м, с аномалией 0.053°С. Отметим, что положительные сезонные аномалии составляют около 73% всех локальных стационарных данных и более 78% данных в боксах.

Экстремально теплыми были все три месяца осеннего сезона, особенно сентябрь (ранг 3) и ноябрь (ранг 2). Из регионов и в этом сезоне выделяются Тихий океан, где для всех трех месяцев установлены новые температурные рекорды и Европа (в октябре).

На этом фоне следует отметить также и области отрицательных аномалий на континентах (вся территория Канады; западный сектор Антарктиды и значительная часть центральной Азии и Китая) и на акваториях южных океанов (40% боксов Южного полушария). Однако лишь около 2% из них были ниже 5-го перцентиля (5%-е экстремумы холода). Особо можно выделить область отрицательных аномалий на юге Евразии, которая в октябре имела наибольшую площадь охвата с многочисленными 5%-ми экстремумами холода. Также в октябре достигли наибольшей интенсивности отрицательные аномалии на акваториях океанов Южного полушария (во многих тихоокеанских боксах зафиксированы 5%-е экстремумы холода).

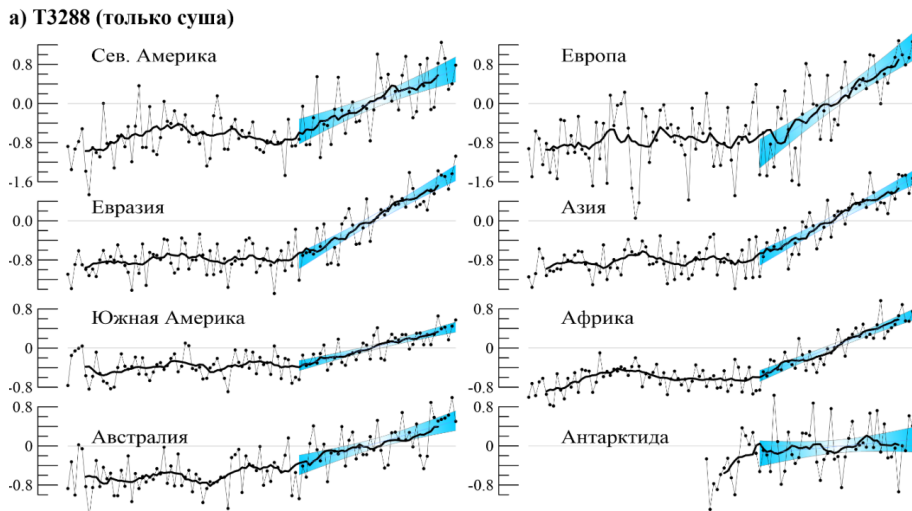
Декабрь 2020 года оказался рекордно теплым в регионах: северная часть Тихого океана и Африка. Однако в Евразии (и отдельно в Азии), Австралии и Антарктиде средняя по территории континента аномалия была отрицательной, как и в Антарктическом широтном поясе.

Тенденции многолетних изменений приземной температуры в крупных регионах мира

Современные тенденции в изменении приземной температуры в крупных регионах земного шара анализируются здесь, по данным о регионально осредненных аномалиях для континентов, для основных широтных поясов и северных океанов – Атлантического и Тихого, индивидуально для каждого месяца,

сезона и года в целом за весь период наблюдений. Для континентов ряды получены по станционным данным T3288 (с 1901 г.), а для широтных поясов и океанов – по сеточным данным HadCRUT4 (с 1850 г.). Глобальные временные ряды (рис. 2) и ряды для перечисленных регионов (рис. 5) приведены для среднегодовых аномалий, а числовые оценки линейных трендов за 1976-2020 гг. для всех перечисленных территорий, для года в среднем и для каждого сезона (табл. 5).

а) T3288 (только суша)



б) HadCRUT4 (суша+море)

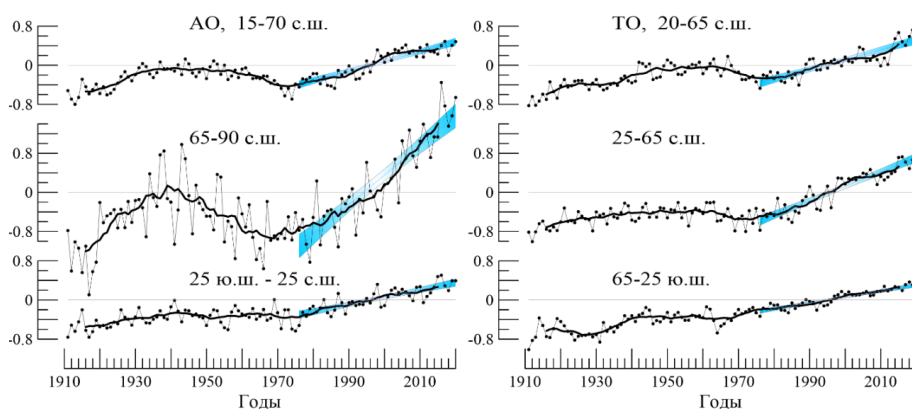


Рисунок 5. Временные ряды пространственно осредненных среднегодовых аномалий приземной температуры: а) для континентов, б) для северных частей Атлантического и Тихого океанов и основных широтных поясов земного шара

Расчеты пространственно осредненных аномалий выполнены по методике ИГКЭ по данным: а) T3288 (для континентов); б) HadCRUT4 (для океанов и широтных поясов). Сглаженные кривые (жирная линия) получены 11-летним скользящим осреднением. Аномалии приведены в отклонениях от средних за 1981-2010 гг. Показан линейный тренд за 1976-2020 гг. с 95%-м доверительным интервалом (голубая заливка)

Figure 5. Time series of the annual surface temperature anomalies spatially averaged over the continents (a), northern parts of Atlantic and Pacific oceans and the latitudinal belts (b) Spatial averaging was made by IGCE technique using the data: a) T3288 (over the continents); b) HadCRUT4 (over the oceans and latitudinal belts). Anomalies are calculated relative to 1981-2010. Smooth curves (bold lines) are 11-year moving averages. The linear trend for 1976-2020 with 95% confidence interlevel is presented by blue shading

Оценки тренда (табл. 5) уверенно, с доверительной вероятностью не ниже 99%, указывают на тенденцию к потеплению климата во все сезоны, в целом по Земному шару и полушариям, а также в среднем по территории всех рассмотренных крупных регионов, кроме Южной полярной области. В Антарктическом поясе (и в Антарктиде) оценки указывают на тенденцию к похолоданию зимой и весной, но в целом (кроме осени) статистически не значимы даже на 10%-м уровне (в ряде случаев $\alpha > 50\%$).

Таблица 5. Коэффициенты линейного тренда (1976-2020 гг., °C/10 лет) аномалий приземной температуры, пространственно осредненных по территории крупных регионов Земного шара (в целом за год и по сезонам)

Table 5. Linear trend coefficients (1976-2020, °C/10ys) of the surface temperature anomalies spatially averaged over the major regions of the Globe (for the year as a whole and by season)

	Регион	Год	Зима	Весна	Лето	Осень
<i>HadCRUT4</i>	<i>Суша+море</i>					
	Земной шар	0.179	0.172	0.187	0.181	0.179
	Северное полушарие	0.251	0.241	0.255	0.253	0.258
	Южное полушарие	0.107	0.103	0.120	0.109	0.101
	Атлантика (15-70N)	0.197	0.203	0.171	0.204	0.223
	Тихий океан (20-65N)	0.199	0.155	0.164	0.244	0.231
	(65-90N)	0.606	0.604	0.673	0.438	0.647
	(25-65N)	0.293	0.271	0.299	0.307	0.301
	(25S-25N)	0.148	0.150	0.152	0.148	0.144
	(65-25S)	0.122	0.094	0.122	0.109	0.096
		0.080 _{12%}	** -0.057	-0.005_{99%}	0.130 _{28%}	0.247
<i>T3288</i>	<i>Только суша</i>					
	Земной шар	0.295	0.296	0.312	0.27	0.305
	Северное полушарие	0.348	0.351	0.381	0.314	0.347
	Южное полушарие	0.171	0.169	0.150	0.170	0.209
	Северная Америка	0.288	0.400	*0.163 _{4%}	0.272	0.314
	Евразия	0.409	0.368	0.528	0.370	0.378
	Южная Америка	0.179	0.173	0.146	0.167	0.231
	Африка	0.291	0.244	0.349	0.286	0.289
	Австралия	0.206	0.195	*0.156 _{4%}	0.175	0.310
	Антарктида	0.066 _{22%}	-0.007_{99%}	-0.007_{99%}	0.074 _{59%}	0.208
Европа	0.508	0.584	0.467	0.503	0.469	
Азия	0.380	0.310	0.544	0.331	0.351	

Примечание. Нижним индексом указан критический уровень значимости $\alpha > 1\%$. Дополнительно звездочкой (*) указаны оценки, статистически значимые на 5%-м уровне, двумя звездочками (**) – на 10%-м уровне, серой заливкой – статистически не значимые. Остальные оценки статистически значимы на 1%-м уровне. Шрифтом синего цвета показаны отрицательные значения коэффициентов тренда (тенденция к похолоданию)

Регион наиболее интенсивного потепления – Арктический широтный пояс (суша+море), где оценки колеблются от +0.44°C/10 лет (летом) до +0.67°C/10 лет (весной). Из континентов выделяется Евразия – тренд в среднем за год 0.41°C/10 лет, весной 0.53°C/10 лет. В Европе наиболее интенсивно потепле-

ние зимних сезонов ($0.58^{\circ}\text{C}/10$ лет), в Азии – весенних ($0.54^{\circ}\text{C}/10$ лет). Наименее выражено потепление на континентах Южного полушария: в Антарктиде, Австралии и Южной Америке.

Более подробно проследить особенности многолетнего хода приземной температуры в каждом регионе можно по временным рядам (рис. 5) и оценкам тренда для каждого месяца (табл. 6). Полезно отметить, что оценки в затененных ячейках таблицы статистически не значимы на 5%-м уровне, а те из них, которые выделены еще и звездочкой, большей частью не значимы даже на уровне 30% и выше (до 99%).

Таблица 6. Коэффициенты линейного тренда приземной температуры ($^{\circ}\text{C}/10$ лет), усредненной по территории крупных регионов Земного шара, 1976-2020 гг. (за каждый месяц и в среднем за год)

Table 6. Linear trend coefficients (1976-2020, $^{\circ}\text{C}/10\text{ys}$) of the surface temperature anomalies, spatially averaged over the major regions (for every month and the year as a whole)

Регион	Месяцы												Год I-XII
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
<i>HadCRUT4 (суша+море)</i>													
Земной шар	0.18	0.20	0.19	0.17	0.18	0.18	0.19	0.18	0.19	0.18	0.16	0.18	0.18
С.полушарие	0.25	0.28	0.25	0.23	0.25	0.25	0.26	0.25	0.27	0.25	0.23	0.25	0.25
Ю.полушарие	0.10	0.12	0.13	0.11	0.11	0.11	0.11	0.10	0.11	0.10	0.09	0.11	0.11
АО,15-70 N	0.21	0.19	0.17	0.18	0.17	0.18	0.19	0.24	0.22	0.24	0.20	0.21	0.20
ТО,40-60 N	0.14	0.16	0.14	0.16	0.19	0.22	0.26	0.26	0.24	0.23	0.22	0.18	0.20
65-90 N	0.47	0.68	0.76	0.77	0.49	0.50	0.39	0.44	0.45	0.75	0.76	0.72	0.61
25-65 N	0.28	0.29	0.35	0.28	0.26	0.29	0.31	0.33	0.31	0.31	0.28	0.25	0.29
25 S-25 N	0.14	0.15	0.15	0.16	0.15	0.15	0.15	0.15	0.14	0.15	0.15	0.14	0.15
65-25 S	0.10	0.10	0.12	0.13	0.11	0.12	0.10	0.11	0.09	0.11	0.09	0.08	0.12
90-65 S	** -0.07	-0.04	-0.07	-0.05	0.11	0.01	0.09	**0.31	0.21	0.31	0.21	-0.07	0.08
<i>T3288 (суша)</i>													
Земной шар	0.31	0.36	0.31	0.26	0.28	0.26	0.27	0.29	0.32	0.30	0.27	0.30	0.30
С.полушарие	0.37	0.45	0.37	0.32	0.32	0.31	0.32	0.32	0.37	0.35	0.32	0.35	0.35
Ю.полушарие	0.15	0.16	0.16	0.12	0.18	0.16	0.16	0.23	0.22	0.19	0.16	0.17	0.17
С.Америка	0.54	0.21	0.21	0.09	0.19	0.28	0.27	0.27	0.33	0.27	*0.34	0.51	0.29
Евразия	0.33	0.50	0.68	0.51	0.39	0.39	0.35	0.38	0.35	0.43	0.36	*0.25	0.41
Ю.Америка	0.19	0.16	0.16	0.18	*0.10	0.22	0.09	0.18	0.30	0.20	0.20	0.16	0.18
Африка	0.20	0.27	0.36	0.32	0.34	0.32	0.3	0.23	0.24	0.30	0.31	0.27	0.29
Австралия	0.29	0.11	**0.17	*0.24	0.04	0.14	0.28	0.10	0.32	0.37	*0.26	**0.17	0.21
Антарктида	-0.02	0.04	0.02	-0.09	0.07	-0.20	0.16	**0.29	0.19	0.25	*0.17	-0.08	0.07
Европа	*0.52	*0.68	*0.48	0.53	0.39	0.41	0.51	0.58	0.47	0.45	0.49	0.59	0.51
Азия	*0.28	0.44	0.73	0.52	0.38	0.37	0.30	0.33	0.31	0.42	0.33	0.16	0.38

Примечание. Звездочкой (*) указаны оценки, статистически значимые на 5%-м уровне, двумя звездочками (**) – на 10%-м уровне, серой заливкой – статистически не значимые. Остальные оценки статистически значимы на 1%-м уровне. Шрифтом синего цвета показаны отрицательные значения коэффициентов тренда (тенденция к похолоданию)

Можно видеть, что месячные оценки (табл. 6) хорошо согласуются с сезонными (табл. 5) и дополняют их. Так, видна бóльшая неоднородность в структуре изменчивости температурного режима над сушей, чем над океанами. Это относится и к межгодовой изменчивости (см. глобальные оценки тренда), и к межмесячной (см. амплитуду сезонного хода аномалий и оценок тренда). Далее, вывод о потеплении осенних сезонов в Антарктической области сужается до ноября после учета месячных оценок (уверенно можно говорить только о ноябрьском тренде во всех регионах). Обращают внимание и оценки тренда для европейского региона в зимние месяцы: при высоких значениях коэффициентов тренда они статистически значимы только на 5%-м уровне. Чисто вычислительно это должно указывать на высокую межгодовую изменчивость температурного режима в этом регионе на фоне линейного тренда (например, в связи с регулярными резкими эпизодами «холодных зим» на фоне общего потепления).

Географические особенности современных изменений климата, 1976-2020 гг.

Рассматриваются пространственные распределения локальных оценок температурных трендов на территории Земного шара, в среднем за год и за каждый сезон (рис. 6, 7, 8), и частотные распределения локальных оценок по крупным регионам земного шара, в зависимости от интенсивности тренда и его статистической значимости α (табл. 7). Эти данные существенно дополняют и уточняют представленные выше региональные оценки (табл. 5, 6). Анализ выполнен по данным наблюдений на 2395 станциях (массив T3288) и в центрах 1452 боксов (массив HadCRUT4), для которых временные ряды охватывают не менее 35 лет наблюдений (включая последний).

Тенденция к потеплению наблюдается почти на всей территории Земного шара (рис. 6) – положительные тренды составляют около 98% всех локальных оценок (с учетом и без учета океанов). Все детали распределения локальных оценок по направленности тренда в каждом регионе и его статистической значимости можно найти в табл. 7 (эмпирические частоты рассчитываются аналогично табл. 2, но для оценок тренда).

Область наиболее интенсивного *потепления* – Арктика: тренд положительный во всех боксах и в 97.3% из них статистически значим на 1%-м уровне (по данным HadCRUT, суша+море). Вдоль побережья Северного Ледовитого океана практически всюду тренд достигает $+0.8^{\circ}\text{C}/10$ лет и более.

Из континентов выделяется Европа, где 99.8% данных указывают на потепление, притом 98.3% статистически значимы на 1%-м уровне и еще 1.1% – на 5%-м. В Восточной Европе скорость потепления достигает $+0.7...+0.8^{\circ}\text{C}/10$ лет. Близкая ситуация в Азии и, как результат, в Евразии в целом. Интенсивное потепление отмечается на акваториях в Северной Атлантике и на севере Тихого океана (до $0.3-0.4^{\circ}\text{C}/10$ лет, рис. 6). Большая часть океанической поверхности в тропическом поясе (кроме восточного сектора Тихого океана у побережья Южной Америки) также характеризуется статистически значимым на 1%-м уровне трендом к потеплению.

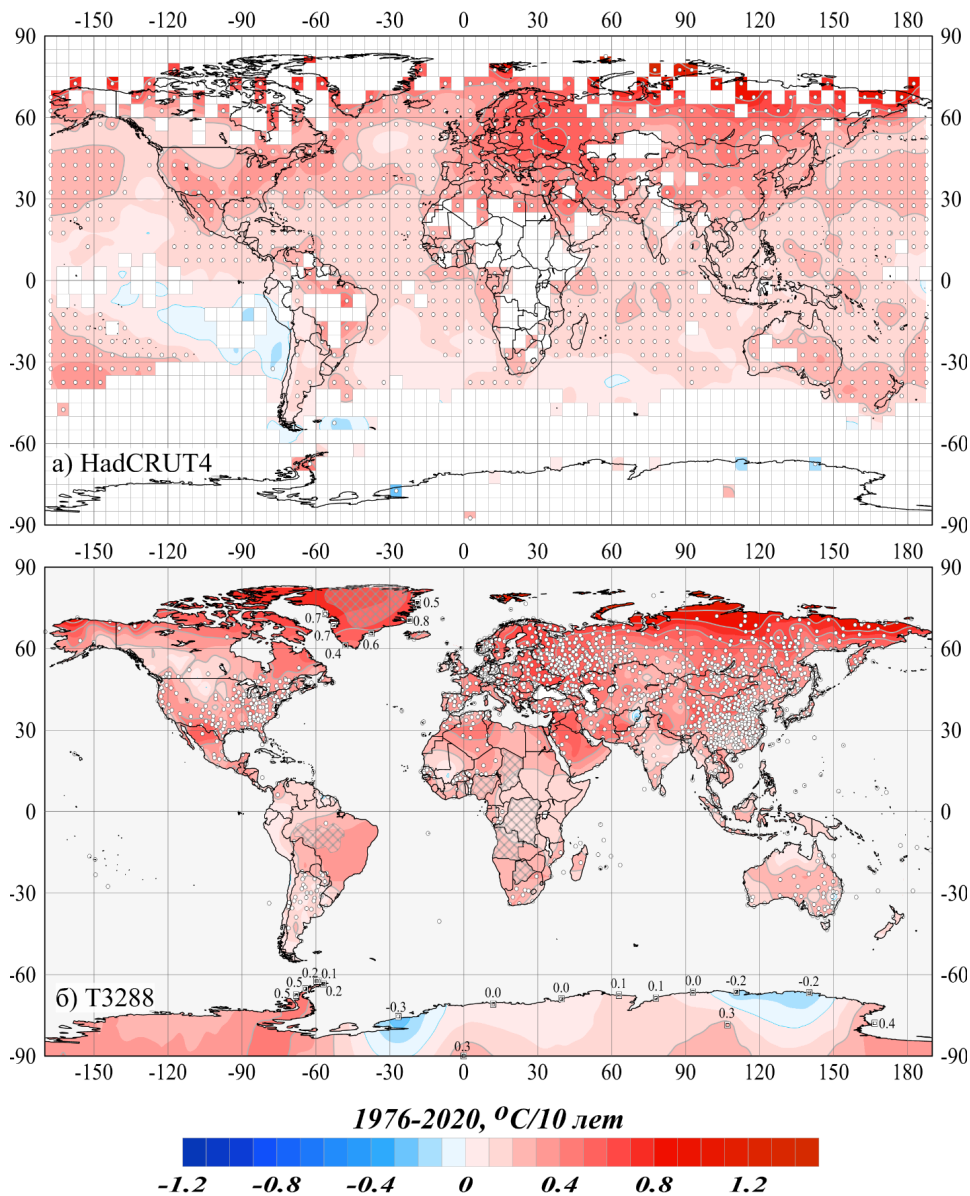


Рисунок 6. Пространственное распределение коэффициентов линейного тренда ($^{\circ}\text{C}/10$ лет) среднегодовой температуры у поверхности Земного шара, 1976-2020 гг. *Использованы данные: а) HadCRUT4 – сеточные данные Hadley/CRU, UK (суша+море); б) T3288 – станционные данные ИГКЭ (только суша). Пустыми боксами (а) и штриховкой (б) показаны области отсутствия наблюдений. Для станций Антарктиды и Гренландии приведены числовые значения коэффициентов тренда. Белыми кружками выделены боксы/станции, для которых тренд статистически значим на 1%-м уровне*

Figure 6. The annual surface temperature: pattern of linear trend coefficients over the Globe for 1976-2020 ($^{\circ}\text{C}/10\text{ys}$)
The data used: a) HadCRUT4 – gridded data over land and sea, Hadley/CRU; b) T3288 – station data, IGCE (land only). The areas with insufficient data are shown as empty (a) or shading (b). For stations in Antarctica and Greenland the values of a trend coefficient are shown at corresponding locations. White circles indicate a location of grid boxes/stations with statistically significant trend at 1% level

Таблица 7. Частотное распределение локальных оценок тренда для крупных регионов Земного шара (1976-2020) по категориям коэффициента тренда b и уровня значимости α

Table 7. Frequency distribution of the local linear trend estimates for the major regions of the Globe (1976-2020) depending on a trend coefficient b and significance level α

Регион	N	$b < 0$			$b = 0$	$b > 0$		
		всего	$\alpha \leq 0.01$	$\alpha \leq 0.05$		всего	$\alpha \leq 0.01$	$\alpha \leq 0.05$
HadCRUT4 (суша+море)								
Земной шар	1452	3.0	0.3	0.7	0.2	96.8	74.6	82.4
С. полушарие	902	0.3	-	-	-	99.7	84.5	90.8
Ю. полушарие	550	7.5	0.7	1.8	0.5	92.0	58.4	68.7
90-65 с.ш.	75	-	-	-	-	100.0	97.3	98.7
65-25 с.ш.	526	-	-	-	-	100.0	85.2	92.0
25 с.ш.-25 ю.ш.	601	4.0	-	0.2	0.5	95.5	73.5	81.0
25-65 ю.ш.	239	7.1	0.8	2.5	-	92.9	49.0	61.9
65-90 ю.ш.	11	27.3	18.2	27.3	-	72.7	27.3	36.4
T3288 (только суша)								
Земной шар	2395	2.0	0.2	0.3	0.5	97.5	80.1	87.6
С. полушарие	2083	1.2	0.1	0.2	0.2	98.5	83.6	90.4
Ю. полушарие	313	7.3	0.3	0.3	1.9	90.7	56.9	69.0
С. Америка	406	2.2	-	-	0.7	97.0	57.1	70.9
Евразия	1441	0.8	0.1	0.2	0.1	99.2	91.2	96.0
Ю. Америка	95	10.5	2.1	2.1	4.2	85.3	45.3	62.1
Африка	93	5.4	-	1.1	-	94.6	84.9	92.5
Австралия	124	4.0	-	-	1.6	94.4	58.1	71.0
Антарктида	17	17.6	-	-	-	82.4	17.6	23.5
Европа	515	0.2	-	-	-	99.8	98.3	99.4
Азия	935	1.1	0.2	0.3	0.1	98.8	87.4	94.2

Примечание. Таблица обобщает распределение оценок на рис. 6. Процентное содержание рассчитано относительно N (N – общее количество станций/боксов в регионе).

Тенденция к похолоданию на территории земного шара отмечена на 5% боксов (2% станций); из них с уровнем значимости $\alpha \leq 0.05$, соответственно, всего 0.7% (0.3%). Согласно станционным данным (T3288, только суша), в полярном широтном поясе, как уже отмечено выше, не обнаружено ни одной станции с тенденцией к похолоданию, а в поясе умеренных широт (25-65° с.ш.) таких станций оказалось 17 (1%) и статистически значимых из них только две (по одной с уровнем значимости 1% и 5%).

На территории континентов таких станций всего 6 (табл. 7) – на севере США, в Антарктиде, Пакистане и Чили. 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 зафиксирован в Тихом океане у побережья Южной Америки (до $-0.1^\circ\text{C}/10$ лет) и на юго-западе Атлантики (до $-0.3^\circ\text{C}/10$ лет у берегов Огненной Земли).

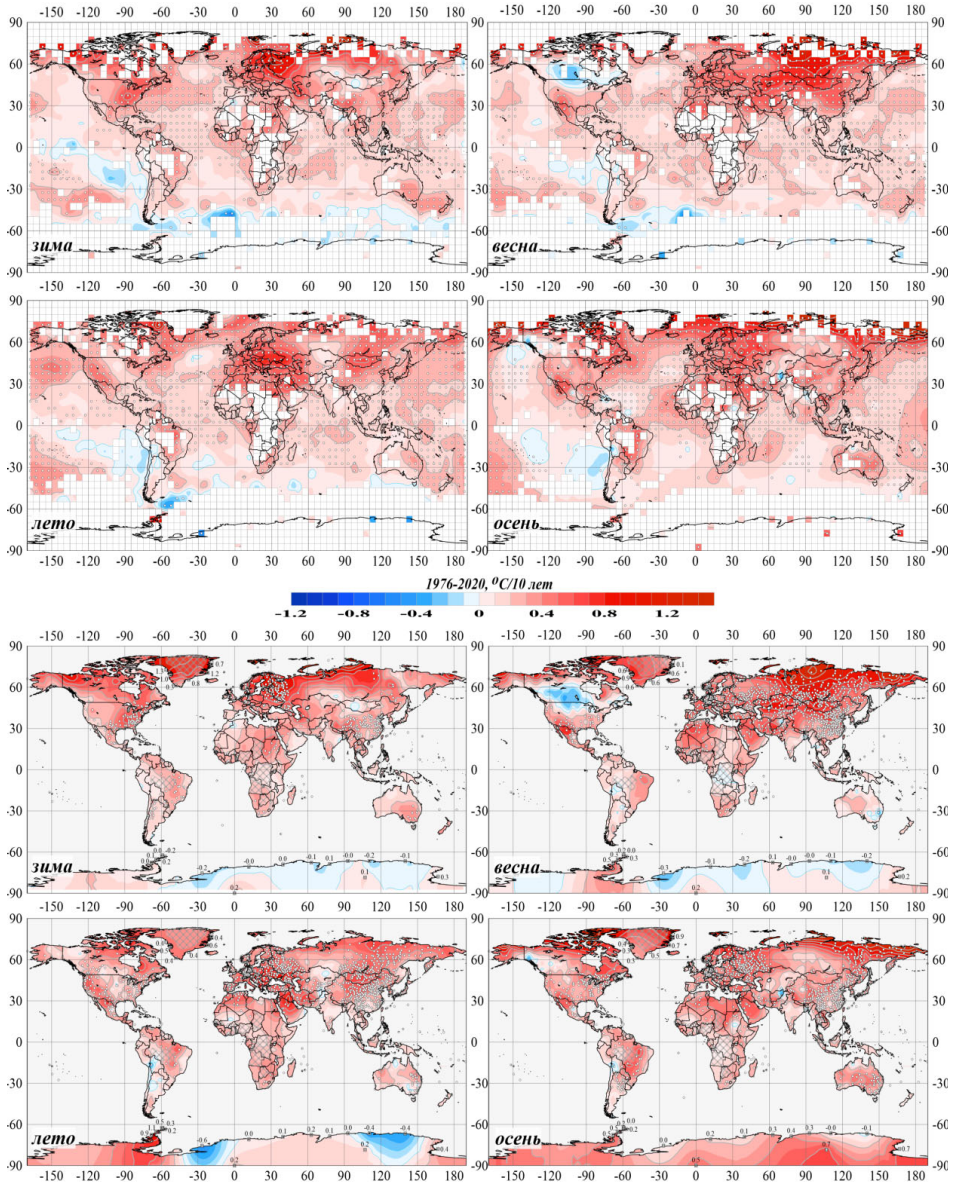


Рисунок 7. См. рис. 6, но для сезонных аномалий температуры

Figure 7. See Fig. 6, but for trend coefficients of seasonal surface temperature anomalies

Зима (рис. 7). В географическом распределении трендов для зимнего сезона, в среднем и для каждого месяца, преобладает тенденция к потеплению. Наиболее интенсивное потепление (более $1.0^{\circ}\text{C}/10 \text{ лет}$, уровень статистической значимости 1%) наблюдалось в Гренландии, на западе США, в Скандинавии, в Восточной Европе, в Юго-Восточной и северо-восточной частях Азии. На сезонной карте тренд к похолоданию просматривается только в небольших областях Антарктиды и в восточной части Тихого океана (у

побережья Южной Америки). В течение всего сезона, на всех континентах выделяются области отрицательного тренда. Наиболее значительные из них - в Северной Америке (до $-1^{\circ}\text{C}/10$ лет) и Сибири (до $-0.8^{\circ}\text{C}/10$ лет). На акваториях океанов в каждом из зимних месяцев сохраняются особенности сезонного распределения.

Весна (рис. 7). Положительным статистически значимым трендом охвачена практически вся территория Евразии (до $+1.6^{\circ}\text{C}/10$ лет на севере Красноярского края), за исключением некоторых районов Восточно-Европейской равнины и юго-восточной Азии.

Обширная область с тенденцией к похолоданию выделяется в Северной Америке (до $-0.4^{\circ}\text{C}/10$ лет), а также в Антарктиде, но обе они статистически не значимы.

Лето (рис. 7). Как и в другие сезоны, летом преобладает тенденция к потеплению. Наиболее высокая скорость потепления отмечается в Европе (до $+0.9^{\circ}\text{C}/10$ лет), Малой и Передней Азии и в Монголии (до $0.8^{\circ}\text{C}/10$ лет), в Антарктиде (до $1.1^{\circ}\text{C}/10$ лет на Антарктическом полуострове) и на территории США.

Статистически значимые тенденции к похолоданию получены в Восточной Антарктиде и в Атлантическом океане в районе Огненной Земли (около $-0.4^{\circ}\text{C}/10$ лет). Отрицательные тренды отмечаются также в течение всех трех месяцев в Западной Сибири, на территории Средней Азии и в Боливии, а также в июле в Аргентине.

Осенью в целом (рис. 7) и практически в каждом месяце, интенсивное статистически значимое потепление происходит в Арктике, на Дальнем Востоке (до $2.1^{\circ}\text{C}/10$ лет в Восточной Сибири), на территории Европы (до $0.8^{\circ}\text{C}/10$ лет) и в Юго-Восточной Азии, а также в США.

Тенденция к похолоданию (до $-0.5^{\circ}\text{C}/10$ лет), как правило, статистически незначимая, отмечена в Антарктиде (в сентябре на Земле Уилкса), на территории Канады и США (в октябре), в Сибири и Центральной Азии (в ноябре). На сезонной карте им соответствуют области с практически нулевым трендом. Отрицательные тренды (около $-0.1^{\circ}\text{C}/10$ лет, также незначимые) отмечены также в океанах Южного полушария.

Обсуждение

Особенности глобального потепления на территории суши и на акваториях океанов в Северном и Южном полушариях

Вопрос о современном состоянии глобального потепления и особенностях его крупномасштабной структуры на суше (температура приземного воздуха SAT) и на океанах (температура поверхностного слоя воды SST) в Северном и Южном полушариях рассматривался нами в (Груза и др., 2019). Здесь мы возвращаемся к этой теме с использованием продленных данных и дополнительных приемов анализа. Как и раньше, анализируются четыре временных ряда аномалий среднемесячной приповерхностной температуры воздуха SAT и воды SST, осредненных по территории суши (CRUTEM4) и по акваториям оке-

анов (HadSST3) Северного и Южного полушарий (все данные Hadley/CRU). Это те же ряды, что рассматривались выше, на протяжении всей статьи.

Среднегодовые аномалии приземной температуры в вероятностной шкале. Рассматриваются временные ряды (рис. 8), в которых исходное значение среднегодовой аномалии для каждого года X_0 заменено соответствующим значением эмпирической функции распределения $F(X_0) = \text{Prob}(x_y \leq X_0)$, оцененной на множестве всех значений ряда по данным за 1901-2020 гг.: $\{x_y, y = 1901 \div 2020\}$. Такая шкала приводит ряды к одному масштабу изменчивости и облегчает их сравнение (синонимы: процентиль, накопленная вероятность, вероятность неперевышения). Это преобразование уже использовалось нами в (Груза и др., 2017б) для наглядного отображения (и сравнения) степени аномальности значений разномасштабных переменных.

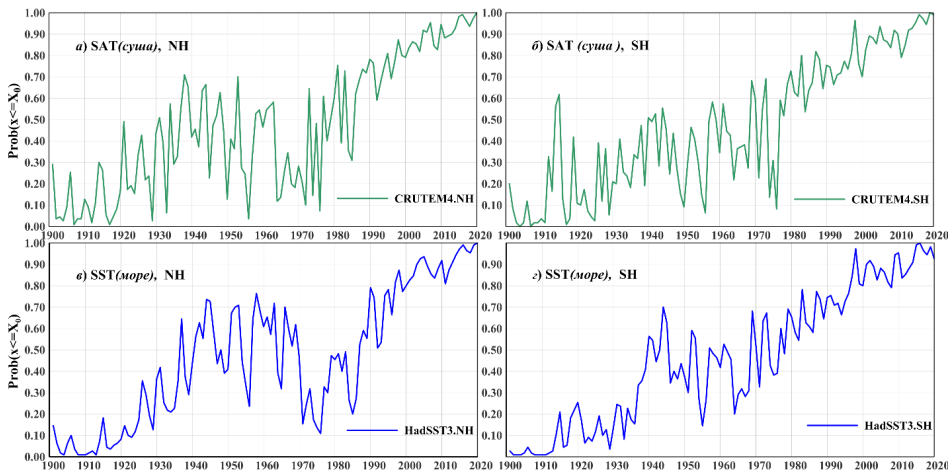


Рисунок 8. Временные ряды осредненных по полушариям среднегодовых аномалий приземной температуры, выраженных в терминах вероятностей неперевышения:

(а, б) SAT – температура приземного воздуха; (в, г) SST – температура поверхности океана;
(а, в) NH – северное полушарие; (б, г) SH – южное полушарие

Использованы глобальные временные ряды Hadley/CRU: CRUTEM4 (SAT), HadSST3 (SST) для Северного (NH) и Южного (SH) полушарий. Расчет вероятностей неперевышения выполнен по данным за 1901-2020 гг.

Figure 8. Time series of the annual surface temperature anomalies spatially averaged over the Northern and Southern Hemispheres and presented in terms of cumulative probabilities: a, b) SAT – surface air temperature; c, d) SST – sea surface temperature; a, c) NH – Northern Hemisphere; b, d) SH – Southern Hemisphere. Global time series Hadley/CRU are used: CRUTEM4 (SAT), HadSST3 (SST) for the Northern (NH) and Southern (SH) hemispheres. Cumulative probabilities are calculated relative to 1901-2020

Можно видеть, что на фоне существенных межгодовых флуктуаций во всех четырех временных рядах есть общие закономерности, как и различия.

Прежде всего, отмечается сходство между многолетними изменениями температуры над сушей (SAT) и на поверхности океанов (SST) в одном полушарии, как в Северном, так и в Южном. В частности, заметной особенностью кривых SAT и SST в Северном полушарии являются три временных интервала, существенно различающиеся по направленности основной тенденции

наблюдаемых изменений: холодный начальный отрезок ряда с потеплением к 1940-1945 гг.; флуктуации на одном уровне с элементами похолодания к 1970-1975; далее – активное потепление, усилившееся в XXI веке. В то же время в ходе этих же переменных в Южном полушарии на всем 120-летнем периоде просматривается единая тенденция к потеплению, хотя и на фоне существенных межгодовых «флуктуаций с элементами похолодания» в 1940-1980 гг.

Для большей наглядности ниже приводится диапазон значений вероятностных (перцентильных) оценок в начале и конце каждого из трех выделенных подпериодов (напомним, что вероятность непревышения 0% соответствует абсолютному минимуму ряда, 100% - абсолютному максимуму и 50% - медиане).

	SAT.СП	SAT.ЮП	SST.СП	SST.ЮП
1901-1910	0-20%	0-20%	0-15%	0-2%
1940-1945	40-70%	30-55%	30-70%	35-70%
1970-1975	5-60%	5-60%	10-20%	30-70%
2015-2020	95-100%	95-100%	95-100%	90-100%

Дополнительно отметим, что период 1900-1910 гг. выделяется как самое холодное десятилетие в истории наблюдений (особенно четко на акваториях океанов). Пик похолодания приходится на 1910 г., когда вероятность непревышения падает до 0, после чего в океанах Южного полушария начинается постепенное потепление на фоне чередующихся подъемов и спадов температуры, а в северном полушарии подобное потепление начнется лишь после 1920 г., но сразу более интенсивно.

Среднемесячные аномалии в форме двумерных изоплет «год-месяц».

Проследить одновременно многолетние (от года к году) и сезонные (от месяца к месяцу) изменения температуры можно на диаграммах типа диаграмм Хофмюллера (рис. 9), постоянно используемого в технологии мониторинга. Здесь те же четыре временных ряда (SAT, SST для обоих полушарий, данные Hadley/CRU), но с месячным разрешением представлены в форме двумерных изоплет: ось X – месяцы, ось Y – годы. Предварительно значения аномалий в исходных рядах были приведены к базовому периоду 1850-1900 гг. и сглажены по вертикали скользящим 11-летним осреднением, чтобы исключить короткопериодные флуктуации с учетом сезонного хода. Дополнительно отметим, что рассчитанные 11-летние средние относились к центральному году периода осреднения и что на «хвостах» ряда осреднение выполнено по неполным данным. Таким образом, значения на диаграммах отражают потепление/похолодание (в среднем по полушарию) относительно климата «доиндустриального периода» в каждый момент времени. По горизонтали отслеживаются межмесячные изменения (сезонный ход), по вертикали – межгодовые, осредненные за 11 лет (± 5 лет вокруг года-ординаты).

На всех диаграммах (рис. 9) бросается в глаза разный масштаб изменчивости: над сушей (SAT) он значительно выше, чем на поверхности океанов (SST), и в Северном полушарии выше, чем в Южном. Среднемесячные аномалии (погодичные) на суше колеблются в диапазоне $\pm 2.5^{\circ}\text{C}$ в Северном полу-

шарии и $\pm 1.2^{\circ}\text{C}$ в Южном, а на акваториях океанов, соответственно, ± 1.0 и $\pm 0.6^{\circ}\text{C}$. При этом изолинии в изменении SST имеют четко выраженную горизонтальную направленность, что практически означает отсутствие межмесячной изменчивости (напомним, что на диаграмме изображен ход аномалий).

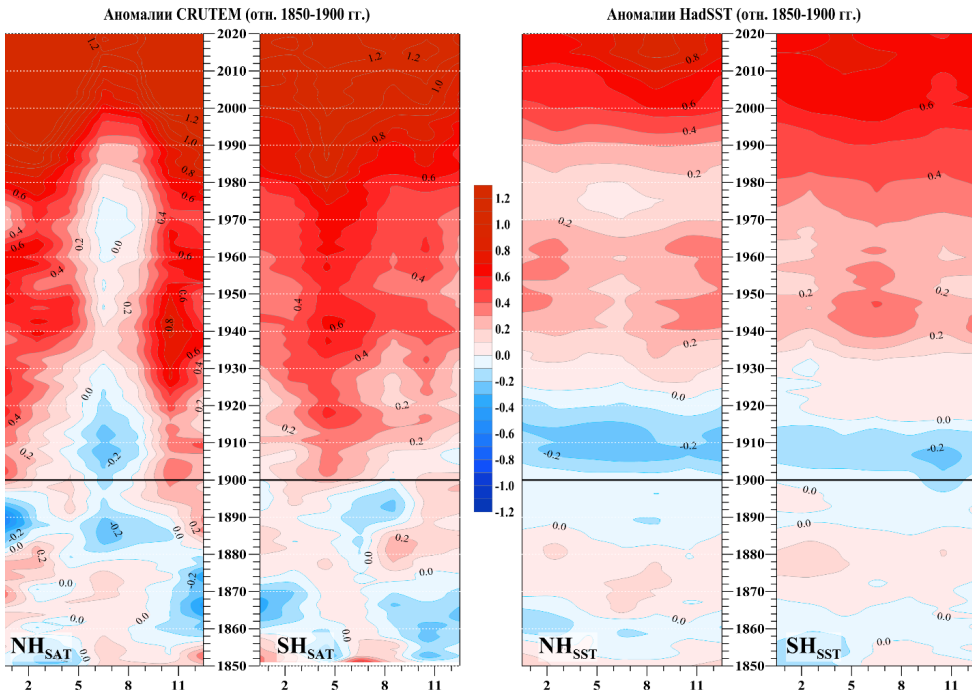


Рисунок 9. Изменение среднемесячных аномалий приповерхностной температуры (SAT, SST), осредненных по территории Северного (NH) и Южного (SH) полушарий, с января 1850 по декабрь 2020 гг. (ось X – месяцы, ось Y – годы) Аномалии рассчитаны как отклонения от среднего за 1850-1900 гг. («доиндустриальный» климат) и сглажены по вертикали 11-летним скользящим осреднением. Используются данные: CRUTEM4.6.0.0.monthly.{nh|sh}, HadSST.3.1.1.0.monthly.{nh|sh} (<https://www.metoffice.gov.uk>)

Figure 9. Evolution of the monthly surface temperature anomalies (SAT, SST), averaged over the Northern (NH) and Southern (SH) hemispheres, from January 1850 to December 2020 (axis X – months, axis Y – years.) Anomalies are calculated relative to 1850-1900 (pre-industrial climate) and smoothed vertically by 11 year moving averaging. The Hadley/CRU, UK data are used: CRUTEM4.6.0.0.monthly.{nh|sh}, HadSST.3.1.1.0.monthly.{nh|sh} (<https://www.metoffice.gov.uk>)

В целом, следует отметить хорошее согласие между диаграммами (рис. 9) и временными рядами аномалий в вероятностной шкале (рис. 8). Действительно, на всех диаграммах четко видны выделенные выше три подпериода с разным характером крупномасштабных изменений приземной температуры, в том числе: (1) холодный начальный период с пиком в 1910 и потеплением к 1940-1945 гг.; (2) чередующиеся эпизоды тепла/холода с определенным похолоданием к 1970-1975 гг. (после сглаживания – «плато»); и (3) продолжающееся до сих пор активное потепление, усилившееся после 2000 и 2010 гг. (в случае SAT в Северном полушарии они проявляются менее ярко). Видна и отмеченная выше линейная тенденция к потеплению на всем 120-летнем периоде, особенно заметная в Южном полушарии.

Наряду с этим, на диаграммах обозначились и ранее не отмеченные особенности потепления, связанные, в основном, с его внутригодовой (сезонной) неоднородностью, особенно существенной на суше и не сгладившейся вплоть до ~2000-х годов даже при 11-летнем среднении. На суше Северного полушария климат летнего сезона в 1990-х гг. все еще был на уровне «доиндустриального» (1850-1900 гг.) или холоднее его.

На суше Южного полушария потепление началось сразу с начала XX столетия, с той же сезонностью, что и в Северном полушарии: скорость потепления в осенне-зимний сезон выше остальных. К 1940 г. сезонность заметно сгладилась, а к 2000 г. практически исчезла.

В океанах обоих полушарий на рубеже XIX-XX столетий, примерно в 1870-1880-х гг., началось похолодание, которое достигло пика в 1910 г. (в Северном полушарии – более глубокого). С этого момента началось потепление, которое достигло максимума в середине 1940-х, сменилось следующим похолоданием с минимумом в 1970-1975 гг. (в Южном полушарии – в середине 1960-х), после чего началось продолжающееся до сих пор плавное потепление. В течение первого теплого периода (примерно 1935-1965 гг.) и в фазе современного активного потепления (после 1990-2000 гг.) вновь ускорилось потепление осенних сезонов. На океанах Северного полушария, как и на суше, на всех этапах размах колебаний больше, чем в Южном.

Таким образом, хотя, в соответствии с ходом глобально осредненной температуры, за дату начала современного глобального потепления условно принят 1976 год, представленные данные (рис. 9-10) показывают, что началось потепление существенно раньше (с начала 1900-х), а стало глобальным позже (около 1990 г.). Представляется, что следующие три фактора маскируют глобальное потепление до середины 1970-х годов: сезонная неоднородность, тенденция к похолоданию в начале XX столетия и кратковременное замедление потепления после первого этапа (1945-1975 гг.).

Заключение

1. В целом по Земному шару 2020 год (аномалия $+0.475^{\circ}\text{C}$) был вторым среди самых теплых лет, на территории суши – первым, а на акваториях Мирового океана – четвертым. В Северном полушарии 2020 год был самым теплым по всем вариантам данных (суша, море, суша+море), в Южном полушарии по тем же данным – вторым-третьим, девятым и шестым, соответственно.

2. В 2020 году на территории Земного шара по-прежнему доминируют положительные аномалии температуры, что подтверждено данными более 88% стационарных наблюдений (среди них 49% выше 95-го перцентиля, а 24% стали для своих пунктов рекордными). Из континентов выделяется Евразия (60% значений выше 95-го перцентиля, в том числе 34% – абсолютные максимумы), с учетом океанов – широтный пояс $25\text{-}60^{\circ}\text{с.ш.}$ (за счет рекордно теплых Евразии и Тихого океана). В Европе отрицательных аномалий НЕ наблюдалось, около 33% всех значений – 5%-е экстремумы тепла и еще 54%

абсолютные максимумы (на этих станциях столь высокая температура наблюдалась впервые).

3. Из сезонов рекордно теплыми были: в Южной Америке – весна и осень, в Австралии – только осень, а в регионах северного полушария – все сезоны, кроме лета.

4. Отрицательные аномалии (около 10% всех данных) наблюдались, в основном, на континентах Северного полушария и в очень небольших областях на юго-востоке Австралии и в Антарктиде. В океанах отрицательные аномалии отмечены в восточной части Тихого океана, на юге Атлантического и Индийского океанов и в Северной Атлантике (в районе Исландской котловины).

5. На большей части Земного шара продолжается потепление: положительные тренды составляют около 97% всех локальных оценок. Регион наиболее интенсивного потепления – Арктический пояс (севернее 65°с.ш.), где средняя скорость потепления за период 1976-2020 гг. составила 0.61°C/10 лет.

6. В многолетнем ходе приповерхностной температуры воздуха (SAT) и воды (SST), осредненных по Северному полушарию, выделяются три временных интервала, существенно различающиеся по направленности изменений: холодный начальный отрезок ряда с потеплением к 1940-1945 гг.; флуктуации температуры вокруг базового уровня с элементами похолодания к 1970-1975 гг.; далее – активное потепление, усилившееся в XXI веке. В Южном полушарии на всем 120-летнем периоде просматривается единая тенденция к потеплению, хотя и на фоне существенных межгодовых «флуктуаций с элементами похолодания» в 1940-1980 гг.

7. Пик похолодания во всех рядах приходится на 1910 г., после чего в океанах Южного полушария начинается постепенное потепление на фоне чередующихся подъемов-спадов температуры, а в Северном полушарии подобное потепление начнется лишь после 1920 г., но сразу более интенсивно.

Благодарности

За поддержку, оказанную разным разделам этой работы, авторы выражают благодарность проекту:

– (проект 3.2) *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 год;*

– (рег. № 0148-2018-0028) *Исследование совместных изменений климатических норм и показателей изменчивости температуры в приповерхностном слое и их влияния на погодные экстремумы, воздействия и риски для экосистем и здоровья населения на территории России и соседних стран. Программа Президиума РАН № 51 "Изменение климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования".*

Список литературы

- Груза, Г.В., Ранькова, Э.Я., Рочева, Э.В. (2017а) 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.
- Груза, Г.В., Ранькова, Э.Я., Рочева, Э.В., Самохина, О.Ф. (2017б) Особенности температурных аномалий у поверхности Земного шара в 2018 году, *Фундаментальная и прикладная климатология*, № 1, с. 124-146.
- Груза, Г.В., Ранькова, Э.Я., Корнева, И.А., Самохина, О.Ф., Щенин, М.В., (2019) Особенности температурного режима у поверхности Земного шара в 2018 году, *Фундаментальная и прикладная климатология*, № 1, с. 97-127.
- Груза, Г.В., Ранькова, Э.Я., Корнева, И.А., Самохина, О.Ф., Антипина, У.И., (2020) Особенности температурного режима у поверхности земного шара в 2019 году, *Фундаментальная и прикладная климатология*, № 1, с. 89-122.
- ИГКЭ (2016) *Мониторинг изменений климата Земного шара*, URL: http://climatechange.igce.ru/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=31&Itemid=75&lang=en.
- ЦМКП (2016) *Решение Центральной методической комиссии по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам от 20 декабря 2016 г.*, URL: <http://method.meteorf.rum>.
- Bureau of Meteorology, Australia Gov. (2021) *Annual climate statement 2020: Australia's climate in 2020*, available at: <http://www.bom.gov.au/climate/current/annual/aus/#tabs=Global>.
- Cheng, L. et al. (2021) Upper ocean temperatures hit record high in 2020, *Adv. Atmos. Sci.*, available at: <https://doi.org/10.1007/s00376-021-0447-x> (in press).
- ECMWF Copernicus (2021) *Surface air temperature for December 2020*, available at: <https://climate.copernicus.eu/surface-air-temperature-december-2020#top>.
- JMA (2020) Highlights of the Global Climate in 2020, *TCC News no. 63*, available at: https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/english/long_term_sst_global/glb_warm_e.html.
- NASA (2021) According to NASA analysis, 2020 will be the warmest year on record, *RELEASE 21-005, Jan 14, 2021*, available at: <https://www.nasa.gov/press-release/2020-tied-for-warmest-year-on-record-nasa-analysis-shows>.
- NOAA NCEI (2020) *Assessing the Global Climate in 2020*, available at: <https://www.ncei.noaa.gov/news/global-climate-202012>.
- NOAA NCEI (2021) *State of the Climate: Global Climate Report for Annual 2020*, published online January 2021, retrieved on April 3, 2021 available at: <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/202013>.
-

WEF (2020) The Global Risks Report 2020, *World Economic Forum 91-93 route de la Capite CH-1223 Cologny/Geneva Switzerland*, available at: www.weforum.org.

WMO (2020a) *Global Climate in 2016-2020, United in Science 2020*, A multi-organization high-level compilation of the latest climate science information, available at: https://public.wmo.int/en/resources/united_in_science.

WMO (2020b) *State of the Global Climate 2020, WMO Provisional Report*, available at: https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=21804.

WMO (2021) *State of the Global Climate 2020. Unpacking the indicators. April 8, 2021*. available at: <https://public.wmo.int/en/our-mandate/climate/wmo-state-of-global-climate>.

References

CMCP (2016) *Reshenie Central'noj metodicheskoy komissii po gidrometeorologicheskim i geliogeofizicheskim prognozam ot 20 dekabrya 2016 g.* [Decision of the Central Methodical Commission for Hydrometeorological and Heliogeophysical Forecasts of December 20, 2016], available at: <http://method.meteorf.rum>.

Gruza, G.V., Rankova, E.Ya., Rocheva, E.V. (2017a) Metodika «Monitoring izmenenij klimata Zemnogo shara: prizemnaya temperatura» i rezul'taty ee ispytaniya [Methodology "Monitoring of changes in the global climate: surface temperature" and the results of its testing], *Rezul'taty ispytaniya novyh i usovershenstvovannyh tekhnologij, modelej i metodov gidrometeorologicheskikh prognozov* [Results of testing new and improved technologies, models and methods of hydrometeorological forecasts], no. 44, pp. 3-11.

Gruza, G.V., Rankova, E.Ya., Rocheva, E.V., Samokhina, O.F. (2017b) Osobennosti temperaturnogo rezhima u poverhnosti Zemnogo shara v 2017 g. [Features of the surface temperature regime in 2017 over the Globe], *Fundamental'naya I prikladnaya klimatologiya*, no. 1, pp. 112-136.

Gruza, G.V., Rankova, E.Ya., Korneva, I.A., Samokhina, O.F., Shchenin, M.V. (2019) Osobennosti temperaturnogo rezhima u poverhnosti Zemnogo shara v 2018 g. [Features of the surface temperature regime in 2018 over the Globe], *Fundamental'naya I prikladnaya klimatologiya*, no. 1, pp. 97-127.

Gruza, G.V., Rankova, E.Ya., Korneva, I.A., Samokhina, O.F., Antipina, U.I. 2020. Osobennosti temperaturnogo rezhima u poverhnosti Zemnogo shara v 2019 g. [Features of the surface temperature regime in 2019 over the Globe], *Fundamental'naya I prikladnaya klimatologiya*, no. 1, pp. 124-146.

IGCE (2016) *Monitoring izmenenij klimata Zemnogo shara* [Global Climate change monitoring], available at: http://climatechange.igce.ru/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=31&Itemid=75&lang=en.

Bureau of Meteorology, Australia Gov. (2021) *Annual climate statement 2020: Australia's climate in 2020*, available at: <http://www.bom.gov.au/climate/current/annual/aus/#tabs=Global>.

Cheng, L. et al. (2021) Upper ocean temperatures hit record high in 2020, *Adv. Atmos. Sci.*, available at: <https://doi.org/10.1007/s00376-021-0447-x> (in press).

ECMWF Copernicus (2021) *Surface air temperature for December 2020*, available at: <https://climate.copernicus.eu/surface-air-temperature-december-2020#top>.

JMA (2020) Highlights of the Global Climate in 2020, *TCC News no. 63*, available at: https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/english/long_term_sst_global/glb_warm_e.html.

NASA (2021) According to NASA analysis, 2020 will be the warmest year on record, *RELEASE 21-005, Jan 14, 2021*, available at: <https://www.nasa.gov/press-release/2020-tied-for-warmest-year-on-record-nasa-analysis-shows>.

NOAA NCEI (2020) *Assessing the Global Climate in 2020*, available at: <https://www.ncei.noaa.gov/news/global-climate-202012>.

NOAA NCEI (2021) *State of the Climate: Global Climate Report for Annual 2020*, published online January 2021, retrieved on April 3, 2021 available at: <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/202013>.

WEF (2020) The Global Risks Report 2020, *World Economic Forum 91-93 route de la Capite CH-1223 Cologny/Geneva Switzerland*, available at: www.weforum.org.

WMO (2020a) *Global Climate in 2016-2020, United in Science 2020*, A multi-organization high-level compilation of the latest climate science information, available at: https://public.wmo.int/en/resources/united_in_science.

WMO (2020b) *State of the Global Climate 2020, WMO Provisional Report*, available at: https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=21804.

WMO (2021) *State of the Global Climate 2020. Unpacking the indicators. April 8, 2021*. available at: <https://public.wmo.int/en/our-mandate/climate/wmo-state-ment-state-of-global-climate>.

Поступила в редакцию: 10.05.2021 г.

Доработана после рецензирования: 20.05.2021 г.

Принята к публикации: 13.06.2021 г.

Для цитирования /For citation:

Груза, Г.В., Ранькова, Э.Я., Самохина, О.Ф. (2021) Особенности температурного режима у поверхности Земного шара в 2020 году, *Фундаментальная и прикладная климатология*, т. 7, № 2, с. 26-56, doi: 10.21513/2410-8758-2021-2-26-56.

Gruza, G.V., Rankova, E.Ya., Samokhina, O.F. (2021) Features of the surface temperature regime over the Globe in 2020, *Fundamental and Applied Climatology*, vol. 7, no. 2, pp. 26-56, doi:10.21513/2410-8758-2021-2-26-56.