

Особенности температурного режима у поверхности Земного шара в 2021 году

Э.Я. Ранькова^{1,2*}, О.Ф. Самохина¹, У.И. Антипина¹⁾

¹⁾ Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля,
РФ, 107258, г. Москва, ул. Глебовская, д. 206

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 2021 г. и его изменчивость в течение 1901-2021 гг. По данным инструментальных станционных наблюдений анализируются основные температурные аномалии 2021 года (базовый период 1991-2020 гг.) и их тренды.

Показано, что в целом по Земному шару 2021 год был шестым среди самых теплых лет по всем наборам данных (суша, море и суша+море). Шестым он был и для суши Северного полушария (для моря СП – пятым). В Южном полушарии ранг 2021 г. был по разным наборам данных от 8 до 11.

Более 65% всех наблюдений (на суше 69%) оказались в среднем за год выше климатической нормы. Среди них около 27% – выше 95-го процентиля. Отрицательные аномалии составили 25-27% всех данных (на суше и на акваториях океанов). В Австралии на 9% станций (на юго-восточном побережье) зафиксированы значения ниже 5-го процентиля (5%-е экстремумы холода).

Локальные оценки линейного тренда 1976-2021 гг. уверенно подтверждают тенденцию потепления – 97% всех коэффициентов тренда положительны. Наибольшая интенсивность потепления отмечается, в среднем по региону, в Арктическом широтном поясе (0.57°C/10 лет) и на территории Европы (0.49°C/10 лет). Период после 2000 г. (менее четко – с 1990-х) можно определить как экстремально теплый период с устойчивой тенденцией к потеплению.

Показано, что динамика процесса потепления 20-21 столетия на суше и на поверхности океанов, включая основные этапы потепления и различия между полушариями, одинакова. Основное различие в интенсивности потепления и смещении сроков. К настоящему времени превышение приповерхностной глобальной температуры над «доиндустриальным» уровнем достигло, в среднем за год, на суше +1.3-1.4°C, на акваториях океанов +0.7-0.8°C.

Для определения границ периода глобального потепления предлагается использовать критерий: период более 15-20 лет, на котором любые многолетние средние выше средней всего ряда. Этому критерию, и на суше, и на аква-

ториях океанов, отвечает период, начавшийся во второй половине 1970-х (практически с 1976 г.) и продолжающийся до настоящего времени.

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

Features of the surface temperature regime over the Globe in 2021

E.Ya. Rankova^{1,2}, O.F. Samokhina¹⁾, U.I. Antipina¹⁾*

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

F. 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 2021 and its variability during 1901-2021 are considered. Based on the station instrumental observations, the main temperature anomalies in 2021 (base period 1991-2020) and their trends are analyzed.

2021 is shown to be the sixth warmest year globally (over sea, land and sea+land) and the same over the Northern Hemisphere land (but fifth one – for the NH sea). In the Southern Hemisphere, 2021 was cooler (ranking from 8 to 11 according to different data sets). 2016 and 2020 remain record warm in the history of observations (very close each other).

More than 65% of all local annual values (on land – 69%) turned out to be above the climatic norm (1991-2020), among them about 27% are above the 95th percentile. Negative anomalies accounted for ~25% of all data (over land and oceans). In Australia, 9% of stations (on the southeast coast) recorded lower 5th percentile values (5% cold extremes).

Local estimates of the linear trend 1976-2021 confidently confirm the warming (97% of all estimates are positive). The highest intensity of warming is observed in the Arctic latitudinal belt (0.57°C/10), as a whole, and in Europe (0.49°C/10). The period after 2000 (less clearly since the 1990s) can be defined as an extremely warm period with a steady warming trend.

It is shown that the dynamics of the warming process in the 20th-21st centuries on land and on the surface of the oceans, including the main stages of warming and differences between the hemispheres, is the same. The main difference is in the intensity of warming and the shift in timing. To date, the excess of the near-surface global temperature over the "pre-industrial" level has reached, on average per year, +1.3-1.4 °C on land, +0.7-0.8 °C in the oceans.

To determine the boundaries of the period of global warming, it is proposed to use the criterion: a period of more than 15-20 years, in which any long-term averages are higher than the average of the entire series. This criterion, both on land

and on the surface of the oceans, corresponds to the period that began in the second half of the 1970s (practically from 1976) and continues to the present.

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

Введение

Статья продолжает серию ежегодных публикаций в настоящем журнале (Груза, Ранькова и др., 2016-2021) о современном состоянии температурного режима Земного шара (приземная температура) на основе данных регулярного мониторинга климата в ФГБУ «ИГКЭ» (ЦМКП, 2016; Груза и др., 2017).

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 (NOAA, 2021; NOAA/NCEI, 2022; NASA, 2021; ECMWF Copernicus, 2022; JMA, 2022). Всемирная Метеорологическая Организация (ВМО) обобщает эти материалы в пресс-релизах и ежегодных сообщениях о состоянии климата (WMO, 2021a, б). Выводы ВМО базируются на результатах анализа шести наборов данных о глобальной температуре, включающих наблюдения (HadCRUT5, NOAA Global Temp и GISTEMP) и реанализы (ERA5, JRA-55 и Berkeley Earth).

По предварительному отчету ВМО (WMO, 2021a), последние семь лет (по оценке (JMA, 2022) – восемь) должны стать самыми теплыми за всю историю наблюдений, а 2021 год, в среднем по Земному шару, станет 6-ым самым теплым годом за всю историю наблюдений. Этому выводу соответствуют и оценки, опубликованные в (NOAA, 2022; JMA, 2022; NASA, 2022), тогда как по данным реанализа 2021 год стал пятым, превзойдя 2015 (ECMWF Copernicus, 2022). Во многих из этих публикаций отмечается, что 2021 год был менее теплым, чем предыдущие годы, из-за влияния умеренного Ла-Нинья в начале года (отчетливо видно в тропической части Тихого океана), но позже, с ослаблением Ла-Нинья, среднемесячные глобальные температуры стали повышаться.

В течение года отмечен ряд значимых экстремумов в крупных регионах мира. Так, февраль стал самым холодным месяцем года и самым холодным февралем с 2014 года. Особенно холодным он был в Северной Америке, на территории Канады, благодаря осуществлению отрицательной фазы Арктического колебания (Arctic Oscillation), которое способствовало затоку на континент холодного арктического воздуха (NOAA, 2021).

В июне-июле исключительные волны тепла затронули западную часть Северной Америки; при этом на многих станциях на 4-6°C были побиты прежние температурные рекорды. Рекордно высокая температура наблюдалась также во многих частях Средиземноморья в июле-августе. Среднемесячные температуры воздуха в июле стали самыми высокими, зарегистрированными с 1891 года (WMO, 2021б; JMA, 2022).

По данным NOAA, лето 2021 г. стало самым жарким летним сезоном, в среднем, в континентальной части США, а июнь – самым теплым месяцем за всю историю наблюдений в Северной Америке. По этим же данным в Южной Америке самым теплым месяцем за историю наблюдений стал сентябрь 2021 с аномалией $+1.86^{\circ}\text{C}$ относительно 1901-2000 года. (NOAA, 2021; NOAA/NCEI, 2022).

В 2021 г. зарегистрировано большое число опасных явлений всех категорий: лесные пожары, засухи и засушливые условия, сильные дожди и обширные наводнения. Подробные данные о зафиксированных рекордах, крупных аномалиях и опасных явлениях можно найти в (WMO, 2021b). Многие из них и многочисленные факты, связанные с другими климатическими переменными, индикаторами и/или факторами изменений климата, указывают на продолжающееся потепление, в том числе: продолжающееся увеличение теплосодержания верхнего 2000-метрового слоя океана (достигло нового рекордного уровня в 2019 году); волны тепла на акваториях Мирового океана (кроме восточной части экваториального Тихого океана и значительной части Южного океана), экстремальные в море Лаптевых и Бофорта в январе-апреле 2021 г.; двукратное увеличение скорости повышения уровня моря (от 2.1 мм/год в 1993-2002 до 4.4 мм в год в 2013-2021) при ускоренной потере массы льда с ледников и ледовых щитов и рекордно низкой протяженности морского льда в Восточно-Гренландском море и др. (WMO, 2021a, б).

В настоящей статье приводятся основные данные об аномалиях и экстремумах приповерхностной температуры в 2021 г. (локальных, региональных и глобальных, для Земного шара и полушарий) и обновленные оценки климатических трендов, полученные авторами в рамках действующей системы климатического мониторинга в ФГБУ «ИГКЭ». Полная информация доступна на Web-сайтах (ИГКЭ, 2022), где опубликованы все выпуски сезонных бюллетеней и годовых обзоров ИГКЭ, начиная с 2015 года – с начала функционирования системы мониторинга глобального климата (GCCM – Global Climate Change Monitoring).

В тексте статьи (в таблицах) 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

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). Для контроля и заполнения пропусков в данных КЛИМАТ с 2020 г. используются также данные стационарных синоптических наблюдений (сводки СИНОП).

Данные Hadley/CRU – это признанные мировым научным сообществом данные Метеослужбы Великобритании (Met Office Hadley Center, UK) и Университета Восточной Англии (CRUUEA, UK) о приповерхностной температуре: температура воздуха над сушей – CRUTEM, температура воды на поверхности океанов – HadSST и объединенные данные на всей территории – HadCRUT. 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>). Из этих данных в предлагаемом анализе использованы сеточные поля HadCRUT4 (суша+море) и глобально осредненные временные ряды для данных всех трех категорий.

Результаты

2021 – шестой самый теплый год на территории Земного шара

В целом по Земному шару 2021 год был шестым среди самых теплых лет по всем наборам данных. Шестым он был и для суши Северного полушария (для моря СП – пятым). В Южном полушарии 2021 год был более прохладным (ранг по разным наборам данных от 8 до 11). Информация о шести самых теплых годах по всем видам данных («суша», «море»; «суша+море») и трем глобальным территориям (Земной шар, Северное и Южное полушария) приведена в табл. 1. Здесь же показано положение (ранг) 2021 г. в соответствующих временных рядах.

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

Table 1. Warmest years according to different sources on average over the territory of the globe, the northern and southern hemispheres: yearly average temperature anomaly VT and year of observation

Ранг	Земной шар		Северное полушарие		Южное полушарие	
	VT,°C	Год	VT,°C	Год	VT,°C	Год
Had CRUT4 (Hadley/CRU, суша+море)						
1	0.331	2016	0.508	2020	0.209	2016
2	0.302	2020	0.454	2016	0.180	2019
3	0.297	2015	0.423	2015	0.175	2015
4	0.270	2019	0.362	2019	0.143	1998

Продолжение таблицы 1.

Ранг	Земной шар		Северное полушарие		Южное полушарие	
	VT,°C	Год	VT,°C	Год	VT,°C	Год
5	0.211	2017	0.312	2017	0.112	2017
6	0.179	2021	0.304	2021	0.099	2020
10					0.059	2021
T3288 (ИГКЭ, суша)						
1	0.617	2020	0.724	2020	0.384	2019
2	0.570	2016	0.670	2016	0.328	2016
3	0.454	2019	0.492	2017	0.325	2020
4	0.438	2017	0.488	2015	0.310	2017
5	0.425	2015	0.482	2019	0.277	1998
6	0.363	2021	0.440	2021	0.271	2015
10					0.150	2021
CRUTEM4 (Hadley/CRU, суша)						
1	0.580	2020	0.697	2020	0.368	2019
2	0.558	2016	0.665	2016	0.345	2020
3	0.424	2019	0.489	2015	0.345	2016
4	0.417	2015	0.451	2019	0.300	2017
5	0.386	2017	0.429	2017	0.276	1998
6	0.330	2021	0.423	2021	0.272	2015
8					0.145	2021
HadSST3 (Hadley/CRU, море)						
1	0.267	2016	0.419	2020	0.203	2016
2	0.246	2015	0.336	2019	0.142	2015
3	0.236	2019	0.336	2016	0.141	2019
4	0.233	2020	0.327	2015	0.111	1998
5	0.159	2017	0.272	2021	0.102	2017
6	0.152	2021	0.240	2017	0.079	2010
11					0.061	2021

Все анализируемые глобальные временные ряды приведены ниже (рис. 1), с линией тренда за 1976-2021 гг. (т.н. «период современного глобального потепления») и сглаженной кривой, отражающей ход 11-летней средней. Справа, у каждой кривой приведено значение аномалии в конечной точке (средняя за 2021 г.) и коэффициент линейного тренда за 1976-2021. По-видимому, не вредно напомнить, что сближение всех кривых на конечном отрезке периода объясняется выбором 1991-2020 гг. в качестве базового периода при расчете аномалий. В результате, все ряды приведены к единому (нулевому!) среднему значению в этом 30-лети.

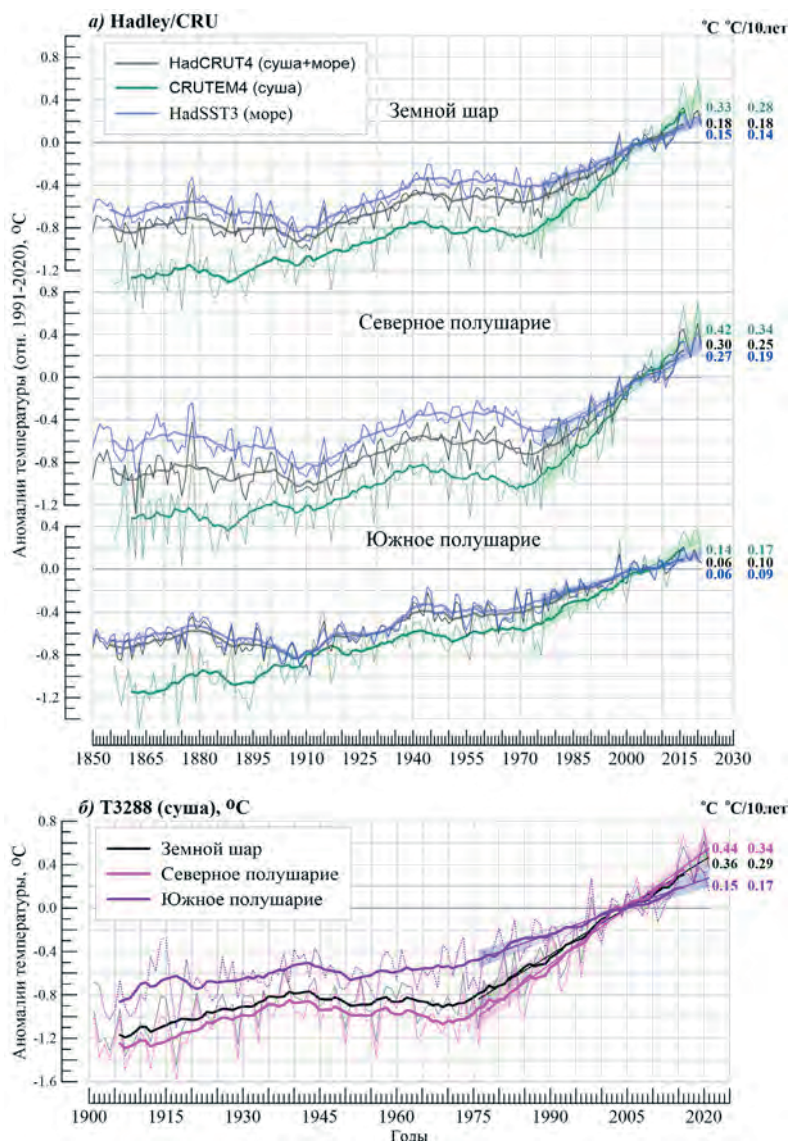


Рисунок 1. Временные ряды среднегодовых аномалий приземной температуры, осредненных по территории Земного шара, Северного и Южного полушарий по данным:
а) HadCRUT4 (суша+море, черные кривые), CRUTEM4 (суша, зеленые кривые), HadSST3 (море, синие кривые); использованы оригинальные ряды Hadley/CRU;
б) T3288 (суша); использованы данные и методика пространственного осреднения ИГКЭ
Каждый временной ряд дополнен ходом 11-летних скользящих средних и линией тренда за 1976-2021 гг. с 95% доверительным интервалом. Справа приведены числовые значения среднегодовых аномалий 2021 г. и значения коэффициентов линейного тренда за 1976-2021 гг. (°C/10.лет)

Figure 1. Time series of mean annual surface temperature anomalies, averaged on the territory of the globe, the northern and southern hemispheres according to:
а) HadCRUT4 (land + sea, black curves), CRUTEM4 (land, green curves), HadSST3 (sea, blue curves); original Hadley/CRU series used;
б) T3288 (land); the data and the technique of spatial averaging of the IGCE were used
Each time series is supplemented with 11-year moving averages and a trend line for 1976-2021 with 95% confidence interval. On the right are the numerical values of the mean annual anomalies in 2021 and the values of the linear trend coefficients for 1976-2021 (°C/10 years)

Географические и сезонные особенности распределения аномалий приповерхностной температуры в 2021 году

В настоящем разделе представлены данные об аномалиях температуры в 2021 году для года в целом, каждого сезона и отдельных месяцев. Наряду с глобальными полями локальных аномалий (на станциях или в 5-градусных боксах – рис. 2, 3), анализируются их обобщения для крупных регионов в виде частотных распределений локальных аномалий по знаку и интенсивности (табл. 2) и пространственно осредненных значений аномалий в каждом регионе (табл. 3). В качестве регионов рассматриваются: Земной шар, Северное и Южное полушария, континенты, океаны и основные широтные пояса.

Таблица 2. Частотные распределения среднегодовых локальных аномалий на территории Земного шара в 2021 г. по данным массивов T3288 и HadCRUT4 (все значения приведены в процентах от NN)

Table 2. Frequency distributions of mean annual local anomalies on the territory of the globe in 2021 according to the data of T3288 and HadCRUT4 arrays (all values are given as a percentage of NN)

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
HadCRUT4 (суша+море)									
ЗШ		1479	26.2	8.5	65.3	0.2	26.9	0.1	7.7
СП		899	20.2	7.1	72.6	-	33.8	-	8.9
ЮП		580	35.3	10.7	54.0	0.5	16.2	0.2	5.9
АО, 15-70N		133	6.8	13.5	79.7	-	30.1	-	7.5
ТО, 20-65N		151	5.3	4.0	90.7	-	58.9	-	14.6
Широтные пояса	65-90N	79	36.7	6.3	57.0	-	10.1	-	4
	25-65N	526	13.9	5.1	81.0	-	39.5	-	11.6
	25S-25N	568	33.1	11.1	55.8	0.4	21.3	0.2	4.8
	65-25S	292	31.2	10.3	58.6	-	20.9	-	7.9
	90-65S	14	42.9	7.1	50.0	7.1	-	-	-
T3288 (только суша)									
ЗШ		2485	24.2	6.4	69.4	0.6	27.2	0.3	6.7
СП		2130	21.9	5.6	72.5	0.1	29.0	0.0	7.2
ЮП		356	37.6	11.2	51.1	3.9	16.3	2.0	3.9
С. Америка		430	17.9	2.6	79.5	-	37.4	-	5.6
Евразия		1483	24.6	6.9	68.5	0.1	23.0	0.1	5.9
Ю. Америка		104	25.0	13.5	61.5	-	16.3	-	7.7
Африка		139	9.4	5.8	84.9	-	56.8	-	26.6
Австралия		127	66.1	9.4	24.4	9.4	6.3	5.5	-
Антарктида		18	27.8	-	72.2	5.6	33.3	-	11.1

Продолжение таблицы 2.

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
Европа	535	35.7	11.4	52.9	-	9.0	-	1.1
Азия	957	18.4	4.3	77.3	0.2	30.8	0.1	8.8
Арктика	150	50.7	7.3	42.0	-	8.0	-	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.

В соответствии со среднегодовыми оценками (рис. 2, табл. 2, 3), в 2021 г. на территории Земного шара преобладали положительные аномалии температуры (65-70% всех наблюдений). Среди них 27% оказались выше 95-го процентиля (5%-е экстремумы тепла), в том числе 7-8% стали для своих пунктов рекордными (абсолютные максимумы).

Численные значения аномалий температуры в натуральной (°C) и вероятностной (вероятность превышения, %) шкалах в каждом из рассматриваемых регионов и с детализацией до сезона и месяца приведены в табл. 3, 4 и на рис. 4.

Наиболее крупные положительные аномалии сосредоточены на территории северных континентов: Северная Америка (37% значений выше 95-го процентиля, из них 6% – абсолютные максимумы), Азия (31 и 9%) и Африка (57 и 27% – показатели не сравнимы без учета числа доступных станций – столбец NN в табл. 2). Из широтных поясов выделяется пояс северных умеренных широт (25-65N: 40 и 12%) – по-видимому, за счет отмеченных выше континентов, а также северных частей Атлантического и Тихого океанов.

Отрицательные среднегодовые аномалии, как и положительные, наблюдались и на суше, и на акваториях океанов. На суше – это: Аляска, запад Канады, север Евразии, север Южной Америки, юг Африки, почти вся Австралия, Антарктида. Австралия выделяется особо – здесь на 9% станций (юго-восточное побережье) фиксировались 5%-е экстремумы холода. На акваториях океанов отрицательные аномалии отмечены в тропических широтах Тихого (у Американского континента) и Индийского (у берегов Африки и Австралии) океанов.

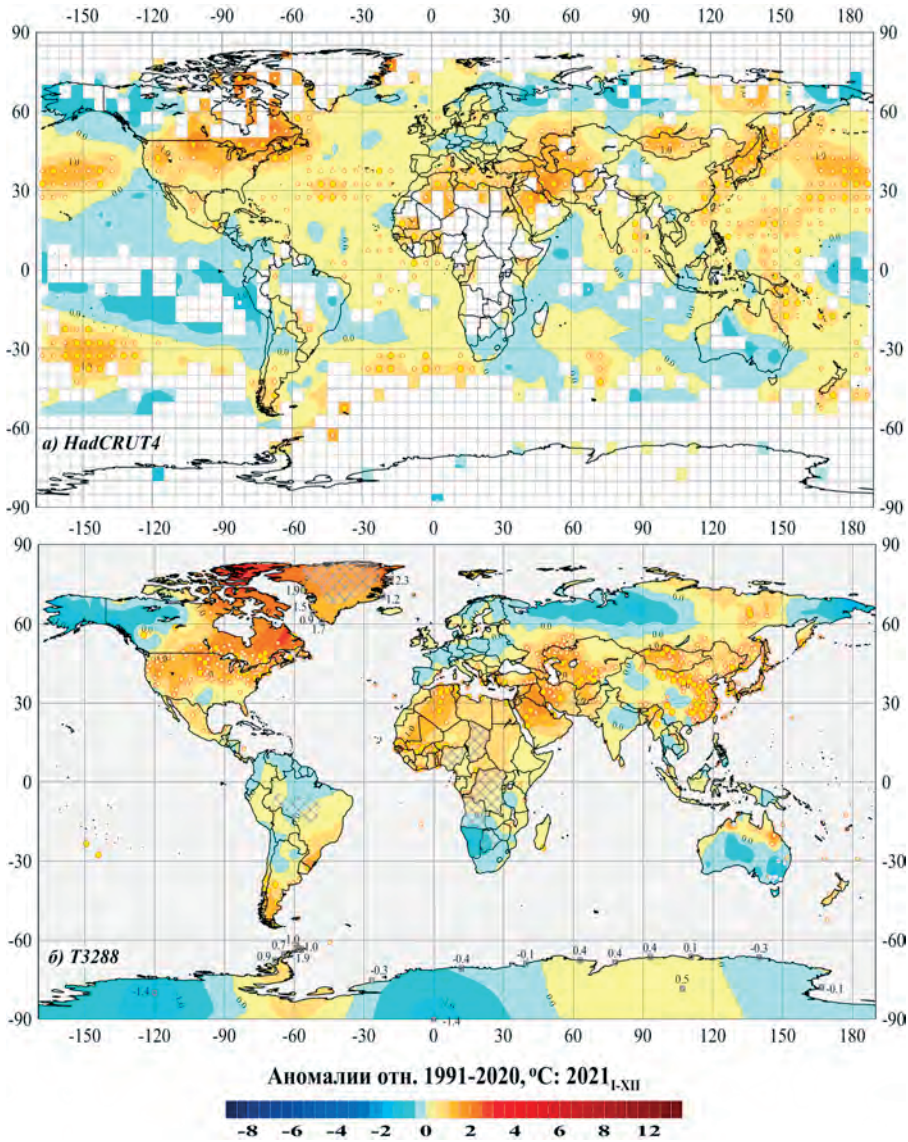


Рисунок 2. Пространственное распределение среднегодовых аномалий приземной температуры (°C) на территории Земного шара в 2021 г.: а) по сеточным данным HadCRUT4 (суша+море, Hadley/CRU, UK); б) по станционным данным T3288 (только суша, ИГКЭ) Аномалии приведены в отклонениях от средних за 1991-2020 гг. 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. В точках расположения станций Антарктиды и Гренландии показаны числовые значения наблюдаемых аномалий. Пустыми боксами (а) и штриховкой (б) показаны области отсутствия наблюдений

Figure 2. Spatial distribution of mean annual anomalies at the surface temperature (°C) on the territory of the Earth in 2021: а) according to HadCRUT4 grid data (land + sea, Hadley/CRU, UK); б) according to station data T3288 (land only, IGKE) Anomalies are given in deviations from the average for 1991-2020. White (minimum) and yellow (maximum) circles indicate the position of boxes/stations with record values of anomalies. Smaller icons indicate the position of 5% extrema of the same sign. The numerical values of the observed anomalies are shown at the points of location of stations in Antarctica and Greenland. Empty boxes (а) and shading (б) show the areas of absence of observations

Таблица 3. Пространственно осредненные значения аномалий приземной температуры на территории Земного шара в 2021 г. (°C) и их вероятности непревышения (в среднем за год и в каждом из сезонов)

Table 3. Spatially averaged values of surface temperature anomalies on the territory of the globe in 2021 (°C) and their probabilities of not exceeding (on average per year and in each of the seasons)

Регион		Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
		vT	F%	vT	F%	vT	F%	vT	F%	vT	F%
HadCRUT4 (суша+море)											
Земной шар		0.18	95.5	0.05	90	0.14	94.5	0.24	96.4	0.26	98.2
Северное полушарие		0.30	95.5	0.16	91.8	0.28	95.5	0.37	97.3	0.38	97.3
Южное полушарие		0.06	91.8	-0.07	79.1	0.00	87.3	0.10	94.5	0.13	96.4
Атлантика (15-70N)		0.30	100	0.20	94.5	0.26	99.1	0.15	89.1	0.47	100
Тихий океан (20-65N)		0.42	97.3	0.55	100	0.44	99.1	0.40	96.4	0.36	95.5
Широтные пояса	65-90N	0.09	83.6	-0.13	74.5	0.34	90	0.40	93.6	0.38	87.3
	25-65N	0.51	99.1	0.27	92.7	0.46	98.2	0.62	100	0.55	99.1
	25S-25N	0.06	89.1	-0.05	81.8	-0.02	86.4	0.08	92.7	0.11	90.9
	65-25S	0.20	99.1	0.08	91.8	0.17	95.5	0.15	97.3	0.24	100
	90-65S	0.14	75	-0.53	14.1	-0.32	34.6	-0.03	64.9	1.12	97.4
T3288 (суша)											
Земной шар		0.36	95.5	0.14	90.9	0.27	93.6	0.50	100	0.44	98.2
Северное полушарие		0.44	95.5	0.24	93.6	0.42	96.4	0.56	100	0.53	99.1
Южное полушарие		0.15	91.8	-0.10	79.1	-0.08	81.8	0.32	97.3	0.24	96.4
Северная Америка		0.68	97.3	0.64	90.9	0.37	90.9	0.73	100	1.24	99.1
Евразия		0.39	94.5	-0.33	75.5	0.50	93.6	0.73	100	0.35	91.8
Южная Америка		0.19	94.5	-0.08	75.5	-0.14	73.6	0.06	83.6	0.45	99.1
Африка		0.49	98.2	0.77	99.1	0.34	92.7	0.47	98.2	0.54	98.2
Австралия		-0.16	73.6	-0.50	40.9	-0.55	47.3	0.15	86.4	-0.39	62.7
Антарктида		-0.22	54.5	-0.87	14.3	-0.78	28.6	-0.01	68.8	0.61	92.2
Европа		0.15	88.2	-0.52	60.9	-0.05	78.2	1.39	100	0.18	80
Азия		0.44	94.5	-0.32	76.4	0.64	94.5	0.55	99.1	0.41	92.7
CRUTEM4 (суша)											
Земной шар		0.33	95.5	0.13	91.8	0.25	93.6	0.49	100	0.39	98.2
Северное полушарие		0.42	95.5	0.23	92.7	0.38	95.5	0.57	100	0.45	97.3
Южное полушарие		0.15	93.6	-0.07	81.8	-0.01	85.5	0.32	97.3	0.27	96.4

Условные обозначения. 1. vT, °C – наблюдаемая аномалия в 2021 году (базовый период 1991-2010 гг.);
2. F% – значение эмпирической функции распределения $F=\text{prob}(X \leq vT_{2021})$ по данным за 1911-2021 гг. (вероятность непревышения);
3. Красным шрифтом выделены абсолютные максимумы (наибольшие из всех значений ряда за 1911-2021 гг.), синим – отрицательные аномалии.

Таблица 4. Регионально осредненные значения аномалий и их ранги для северных частей Атлантического и Тихого океанов, основных широтных поясов и континентов Земного шара (за каждый месяц и в среднем за год)

Table 4. Regionally averaged values of anomalies and their ranks for the northern parts of the Atlantic and Pacific Oceans, the main latitudinal belts and continents of the globe (for each month and on average for the year)

Регион	Месяцы 2021 г.												I-XII
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
HadCRUT4 (суша+море)													
ЗШ	0.06 ₁₂	-0.01 ₁₆	0.13 ₈	0.11 ₁₁	0.19 ₅	0.21 ₅	0.27 ₂	0.24 ₆	0.24 ₅	0.27 ₃	0.26 ₃	0.22 ₅	0.18 ₆
СП	0.17 ₈	0.05 ₁₃	0.28 ₇	0.22 ₉	0.33 ₄	0.41 ₂	0.39 ₂	0.33 ₅	0.35 ₅	0.40 ₃	0.40 ₃	0.34 ₅	0.30 ₆
ЮП	-0.00 ₂₃	-0.06 ₂₃	-0.04 ₁₆	-0.01 ₁₇	0.04 ₁₂	0.01 ₁₄	0.15 ₄	0.15 ₆	0.13 ₃	0.14 ₅	0.12 ₆	0.10 ₉	0.06 ₁₀
АО _{15-70 N}	0.20 ₈	0.24 ₅	0.18 ₅	0.30 ₃	0.32 ₂	0.17 ₁₁	0.09 ₁₇	0.18 ₁₁	0.43 ₂	0.51 ₁	0.47 ₁	0.50 ₁	0.30 ₁
ТО _{40-60N}	0.52 ₁	0.46 ₁	0.44 ₃	0.41 ₃	0.48 ₃	0.45 ₃	0.38 ₈	0.36 ₆	0.50 ₄	0.26 ₇	0.33 ₅	0.43 ₄	0.42 ₄
65-90N	0.07 ₃₂	-1.41 ₆₈	-0.97 ₄₇	0.94 ₁₀	0.93 ₄	0.67 ₆	0.19 ₁₃	0.34 ₈	0.29 ₁₅	0.85 ₉	0.04 ₃₁	-1.06 ₆₂	0.09 ₁₉
25-65N	0.32 ₇	0.20 ₁₁	0.56 ₇	0.34 ₆	0.50 ₁	0.74 ₁	0.67 ₁	0.47 ₂	0.54 ₄	0.49 ₁	0.61 ₃	0.65 ₄	0.51 ₂
25S-25N	-0.06 ₂₂	-0.11 ₂₇	-0.04 ₁₇	-0.05 ₁₉	0.04 ₁₃	-0.03 ₁₈	0.11 ₉	0.16 ₇	0.12 ₁₀	0.14 ₉	0.10 ₁₃	0.02 ₁₇	0.06 ₁₃
65-25S	0.10 ₈	0.12 ₅	0.12 ₉	0.23 ₃	0.16 ₆	0.17 ₃	0.20 ₃	0.13 ₈	0.16 ₁	0.23 ₂	0.31 ₁	0.28 ₂	0.20 ₂
90-65S	-0.47 ₇₀	-0.46 ₇₀	0.26 ₂₃	-0.71 ₆₀	-0.51 ₄₂	-1.16 ₅₂	0.39 ₂₂	0.78 ₁₆	1.96 ₆	1.95 ₃	-0.55 ₄₈	0.11 ₃₂	0.14 ₂₀
T3288 (суша)													
С. Америка	2.70 ₂	-2.25 ₉₀	1.12 ₉	0.21 ₂₄	-0.21 ₃₉	1.34 ₁	0.49 ₉	0.39 ₁₀	0.84 ₃	1.81 ₃	1.10 ₁₁	0.59 ₂₂	0.68 ₄
Евразия	-0.78 ₄₉	0.27 ₁₆	0.52 ₁₁	0.23 ₁₁	0.75 ₃	0.77 ₂	0.85 ₂	0.57 ₃	0.24 ₁₃	0.18 ₁₆	0.67 ₈	0.33 ₂₂	0.39 ₇
Ю.Америка	-0.20 ₃₈	-0.23 ₅₀	-0.35 ₅₆	0.21 ₁₅	-0.27 ₅₆	-0.34 ₄₉	0.45 ₁₅	0.36 ₁₄	1.00 ₁	0.37 ₅	-0.05 ₂₄	0.28 ₆	0.19 ₇
Африка	0.93 ₂	0.36 ₁₀	0.02 ₁₉	0.53 ₄	0.48 ₅	0.65 ₂	0.32 ₈	0.48 ₃	0.69 ₂	0.10 ₁₄	0.84 ₂	0.47 ₇	0.49 ₃
Австралия	-0.47 ₅₀	-0.88 ₈₈	-0.80 ₈₄	-0.79 ₆₃	-0.21 ₄₈	-0.56 ₆₅	0.72 ₆	0.44 ₁₃	0.09 ₂₅	0.08 ₂₅	-1.39 ₉₁	0.43 ₂₁	-0.16 ₃₀
Антарктида	-0.98 ₆₈	-0.91 ₆₀	-0.30 ₄₆	-1.55 ₆₄	-0.50 ₃₄	-0.54 ₄₀	0.61 ₂₃	-0.09 ₃₀	1.09 ₁₁	1.08 ₆	-0.34 ₃₆	-0.15 ₄₂	-0.22 ₃₇
Европа	-0.19 ₄₂	-1.95 ₆₉	-0.35 ₃₃	-0.16 ₃₄	0.39 ₂₁	2.16 ₁	1.31 ₃	0.69 ₈	-0.61 ₆₃	0.29 ₂₆	0.84 ₂₃	-0.50 ₅₀	0.15 ₁₄
Азия	-1.01 ₆₃	0.82 ₁₁	0.80 ₁₀	0.32 ₁₄	0.82 ₂	0.41 ₉	0.72 ₁	0.51 ₃	0.48 ₆	0.18 ₁₄	0.61 ₁₃	0.50 ₁₉	0.44 ₇

Примечание. Нижними индексами показаны значения рангов (отн. 1911-2021). Красным шрифтом выделены абсолютные максимумы (ранг 1, жирный шрифт) и значения с рангами 2 и 3.

Дополнительную информацию о температурном режиме 2021 года дают поля локальных аномалий и их региональные обобщения сезонной и месячной дискретности (табл. 4, рис. 3). Так, в соответствии с ежемесячными оценками (табл. 4), экстремально тепло (ранг не выше 3) в среднем по Земному шару было в июле и октябре-ноябре, в Северном полушарии – еще и в июне, а в Южном полушарии – только в сентябре. Северная Атлантики была исключительно теплой весной и осенью (ранги 2, 1), Северная часть Тихого океана – в течение всего первого полугодия (ранги 1, 3), а умеренные широты обоих полушарий – второго (ранги 1-4).

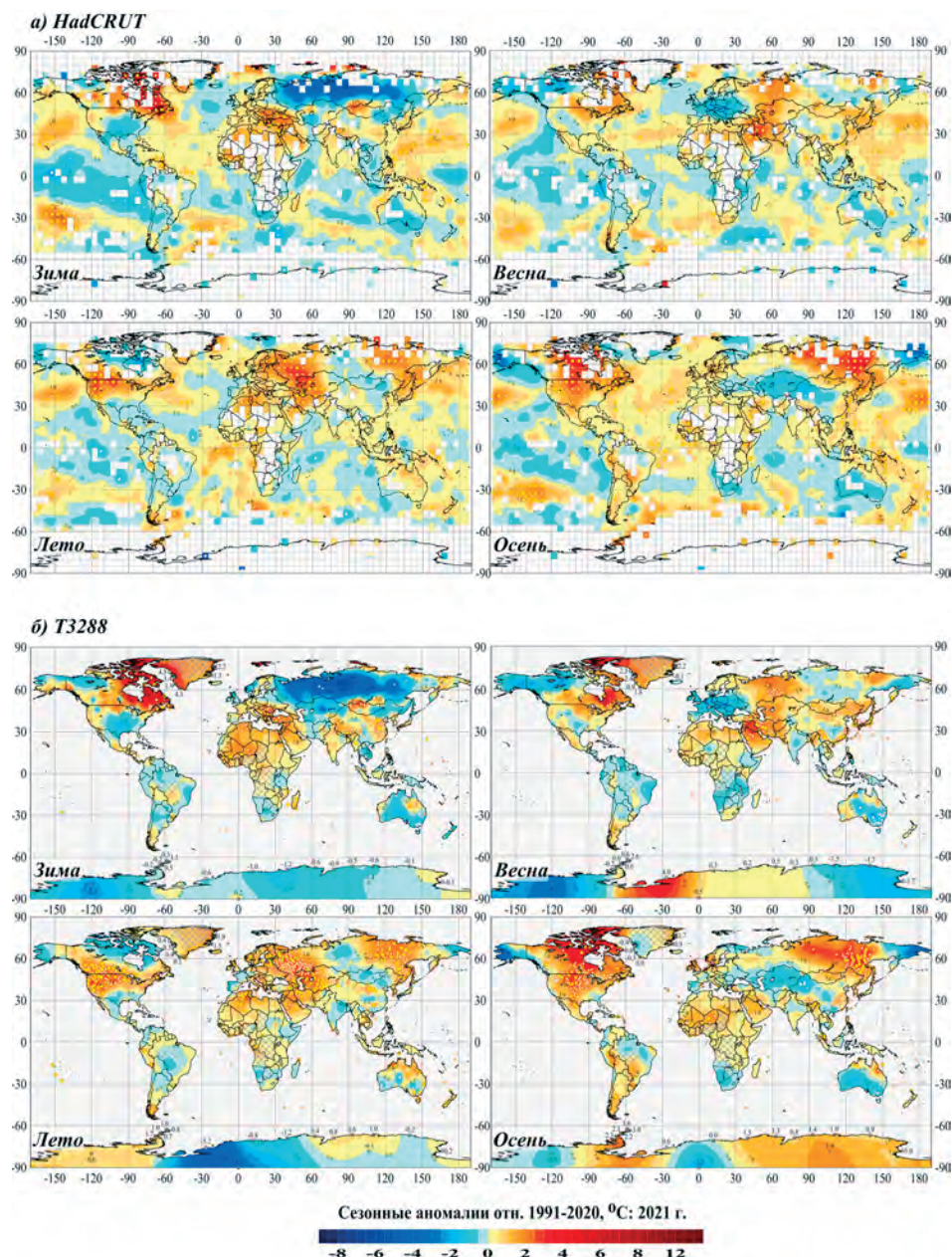


Рисунок 3. См. рис.2, но для сезонных аномалий

Figure 3. See Figure 2, but for seasonal anomalies

Зимний сезон, в целом, был относительно холодным (рис. 3): Области наиболее интенсивных положительных аномалий: восток Канады и Гренландия в Северной Америке, северная Африка, южные регионы Евразии (Средиземноморье, Китай, юго-восточная Азия). Обширная область интенсивных отрицательных аномалий охватила всю северную территорию Евразии (Россия, Казахстан: аномалии до -5.5°C , с многочисленными 5%-экстремумами). В

Африке и Северной Америке первые два месяца были экстремально теплыми (ранги – 1, 2), тогда как февраль в Северной Америке – самым холодным после 1985 г. Холодным февраль был и в Европе (аномалия 2.0°C, ранг 69). На остальных континентах, в среднем за сезон и практически во все месяцы аномалия температуры отрицательная. Температура ниже нормы отмечалась зимой 2020/21 также в приэкваториальных широтах Тихого океана.

Весна (рис. 3) в целом по территории суши Земного шара, была достаточно теплой (61% всех наземных наблюдений выше нормы; в среднем по территории, вероятность непревышения 94%). Основной вклад принадлежит континентам Северного полушария. Выделяется обширная меридионально вытянутая область тепла в Евразии, протянувшаяся от Аравийского полуострова через Иран и Среднюю Азию до Новой Земли, с многочисленными локальными экстремумами на юге Западной Азии и в районе Урала. Выделяются также области локализации экстремумов тепла в Юго-Восточной и Восточной Азии. В целом по Азии май – второй самый теплый после мая 2020 года.

Холоднее, чем в среднем, весна была на континентах Южного полушария (как в среднем за сезон, так и в каждом из весенних месяцев). Локальные экстремумы холода (с температурой ниже 5-го процентиля) наблюдались практически только в Австралии и в Европе (единичные). Отрицательные аномалии в весенний сезон наблюдались также в Средней Сибири, на Аляске и северо-западе Канады, а также в приэкваториальных широтах Тихого океана ($\pm 30^\circ$ широты).

Летний сезон 2021 года (рис. 3) был экстремально теплым: четвертым в упорядоченных по убыванию рядах температуры для всей территории Земного шара и Северного полушария, и рекордно теплым – в рядах для территории суши. В крупных регионах мира (во всех, кроме антарктического пояса) средняя по региону сезонная температура превысила уровень 90-го процентиля (табл. 3). Наиболее выделяются: умеренный пояс Северного полушария в целом (25-65N, ранг 1) и каждый из его континентов: Северная Америка и Евразия, оба с рангом 1), а также Алжир и Саудовская Аравия. В Южном полушарии – это север Австралии, Антарктида, юг Аргентины и Чили. На акваториях океанов положительные аномалии в течение всех трех месяцев сохранялись в северной части Тихого океана и в Атлантическом океане, у берегов Америки и к югу от экватора (особенно интенсивные в июле и в августе).

Еще одна особенность лета – наличие в течение всех трех месяцев обширных областей с отрицательными аномалиями температуры, хотя и не столь экстремальными. Они расположены и на суше (практически на всех континентах), и на акваториях Мирового океана, более значительные – в Южном полушарии (Антарктида и Южная полярная область в целом), но также и приэкваториальных широтах Тихого океана, и в Индийском океане. Межмесячные различия в характере температурных условий связаны, главным образом, с изменением локализации и в ноябре интенсивности очагов аномалий. Из месяцев выделяется июль – второй самый теплый месяц в целом по Земному шару и июнь – рекордно теплый в рядах для суши Земного шара и Северного полушария.

Осенний сезон (рис. 3) по всем наборам данных («только суша», «только море», «суша+море») стал третьим самым теплым для Земного шара, четвертым – для Северного полушария и пятым – для Южного (по данным T3288 – второй). Для северной части Атлантики (15-70N) и пояса южных умеренных широт (25-65S) сезон оказался рекордно теплым, а каждый осенний месяц – первым либо вторым из самых теплых за период наблюдений. Соответственно, осень оказалась теплой и на территории южных континентов – в Южной Америке (особенно в сентябре) и в Африке (в сентябре и ноябре). Наиболее теплыми месяцами были октябрь и ноябрь (в среднем по Земному шару, ранг 3), главным образом за счет континентов Северного полушария.

Отрицательные аномалии (в среднем по территории континентов) наблюдались в этом сезоне сразу на нескольких континентах. Действительно холодными (по значениям в вероятностной шкале $F < 50\%$) можно считать региональные температурные условия в сентябре, в Европе (вероятность превышения $F = 43\%$) и в ноябре, в Австралии и Антарктическом поясе ($F = 18\%$ и 39%). Приблизительно, к ним можно отнести еще и условия в Антарктиде в ноябре ($F = 54\%$). Крупные области отрицательных аномалий наблюдались на южных континентах (на юге Африки, в Австралии и Южной Америке – особенно крупные в октябре-ноябре), а также в западном секторе Антарктиды и на акваториях Тихого и Индийского океанов (всего 39.2% доступных боксов в Южном полушарии). Однако отрицательные аномалии очень редко достигали уровня 5-го процентиля (не более 7% данных в отдельных регионах; наиболее заметные – в Тихом океане).

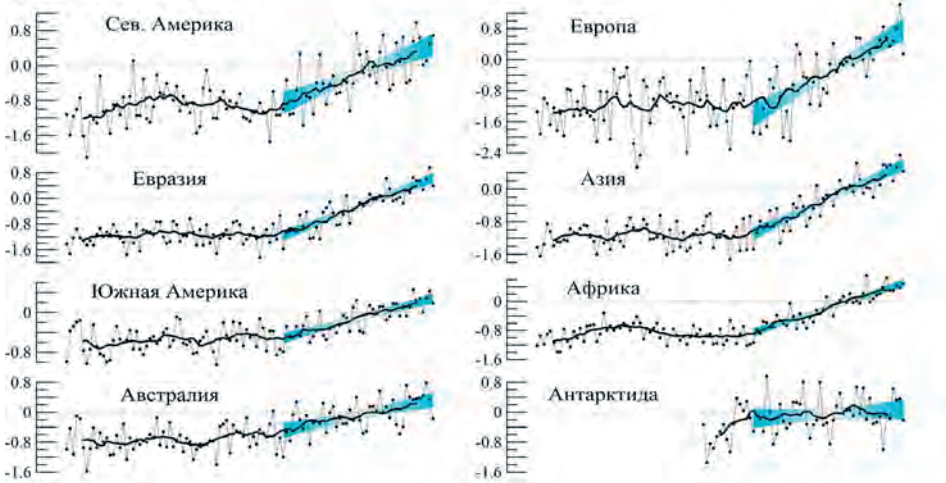
Декабрь 2021 года. В упорядоченном по убыванию ряду декабрьских температур, осредненных по суше Земного шара, декабрь занял 6-е место с аномалией $+0.39^{\circ}\text{C}$ (данные T3288). Месяц оказался очень контрастным по сложившимся на континентах температурным условиям.

В Северной Америке сформировались два обширных интенсивных очага тепла на севере (в Гренландии и на территории Канадского архипелага) и на юге континента (вся территория США и Мексики, с многочисленными экстремумами), а между ними, на материковой территории Канады – обширный очаг холода (аномалии до -5°C). В Евразии, напротив, экстремально тепло в центре, холодно – на севере и юге. Контрастные условия хорошо просматриваются и в Южной Америке (холодно в Бразилии, тепло в Аргентине), и в Антарктиде (тепло на западе, холодно на востоке).

Тенденции многолетних изменений приземной температуры в крупных регионах мира

Современные тенденции в изменении приземной температуры в крупных регионах мира анализируются здесь по данным для континентов, основных широтных поясов и северных океанов – Атлантического и Тихого, индивидуально для каждого месяца, сезона, года 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.).

а) T3288 (только суша)



б) HadCRUT4 (суша+море)

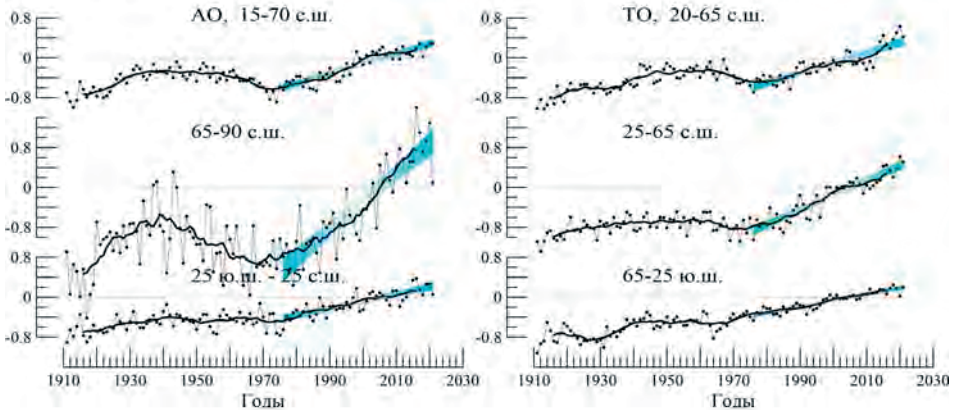


Рисунок 4. Временные ряды пространственно осредненных среднегодовых аномалий приземной температуры: а) для континентов, б) для северных частей Атлантического и Тихого океанов и основных широтных поясов земного шара

Расчеты пространственно осредненных аномалий выполнены по методике ИГКЭ по данным: а) T3288 (для континентов); б) HadCRUT4 (для океанов и широтных поясов). Аномалии приведены в отклонениях от средних за 1991-2020. Сглаженные кривые (жирная линия) получены 11-летним скользящим осреднением. Показан линейный тренд за 1976-2021 гг. с 95%-м доверительным интервалом (голубая заливка)

Figure 4. Time series of spatially averaged annual anomalies surface temperature: а) for continents, б) for the northern parts of the Atlantic and Pacific oceans and the main latitudinal belts of the globe
Calculations of spatially averaged anomalies were performed using the IGKE method according to the following data:

а) T3288 (for continents); б) HadCRUT4 (for oceans and latitudinal belts). Anomalies are given in deviations from the average for 1991-2020. The smoothed curves (thick line) are obtained by 11-year moving average. A linear trend is shown for 1976-2021, with 95% confidence interval (blue shading)

Глобальные временные ряды и ряды для перечисленных регионов приведены для среднегодовых аномалий (рис. 1, 4), а числовые оценки линейных трендов за 1976-2021 гг. — для всех перечисленных территорий, для года в

среднем и для каждого сезона (табл. 5). Оценки трендов (табл. 5) уверенно, с доверительной вероятностью не ниже 99%, указывают на тенденцию к потеплению климата во все сезоны, в целом по Земному шару, полушариям и всем рассмотренным крупным регионам, кроме Южной полярной области. В Антарктическом поясе (и в Антарктиде) оценки указывают на статистически значимое потепление только осенью, тогда как в остальные три сезона они статистически не значимы даже на 10%-м уровне (зимой, весной, летом в Антарктиде и весной в Антарктическом поясе уровень значимости $\alpha > 50\%$), а зимой и весной еще и указывают на тенденцию к похолоданию.

Регион наиболее интенсивного потепления – Арктический широтный пояс (суша+море), где оценки колеблются от $+0.43^{\circ}\text{C}/10$ лет (летом) до $+0.65^{\circ}\text{C}/10$ лет (весной). Из континентов выделяется Евразия – тренд в среднем за год $0.40^{\circ}\text{C}/10$ лет, весной $0.52^{\circ}\text{C}/10$ лет. В Европе наиболее интенсивно потепление зимних сезонов ($0.54^{\circ}\text{C}/10$ лет), в Азии – весенних ($0.53^{\circ}\text{C}/10$ лет). Наименее выражено потепление на континентах Южного полушария: в Антарктиде, Австралии и Южной Америке (соответственно, 0.05, 0.18, $0.18^{\circ}\text{C}/10$ лет).

Более подробно проследить особенности многолетнего хода приземной температуры в каждом регионе можно по временным рядам (рис. 4) и оценкам тренда (табл. 5, 6). Дополнительно отметим, что оценки по данным о среднемесячных аномалиях (табл. 6) хорошо согласуются с сезонными оценками (табл. 5) и дополняют их.

Таблица 5. Коэффициенты линейного тренда (1976-2021 гг., $^{\circ}\text{C}/10$ лет) пространственно-осредненных аномалий приземной температуры для Земного шара, полушарий и крупных регионов (в целом за год и по сезонам)

Table 5. Linear trend coefficients (1976-2021, $^{\circ}\text{C}/10$ years) of spatially averaged surface temperature anomalies for the Earth, hemispheres and large regions (for the whole year and for seasons)

Регион	Год	Зима	Весна	Лето	Осень
<i>HadCRUT4 (суша+море)</i>					
Земной шар	0.176	0.166	0.183	0.180	0.178
Северное полушарие	0.249	0.236	0.252	0.252	0.257
Южное полушарие	0.104	0.097	0.115	0.107	0.100
Атлантика (15-70N)	0.198	0.200	0.172	0.199	0.227
Тихий океан (20-65N)	0.202	0.164	0.169	0.244	0.231
Арктический пояс (65-90N)	0.572	0.560	0.647	0.433	0.622
Умеренный пояс СП (25-65N)	0.295	0.268	0.298	0.312	0.303
Тропики (25S-25N)	0.143	0.141	0.145	0.144	0.140
Умеренный пояс ЮП (65-25S)	0.124	0.094	0.123	0.110	0.101
Антарктический пояс (90-65S)	**0.088	-0.062	-0.021	0.131	0.279

Продолжение таблицы 5.

Регион	Год	Зима	Весна	Лето	Осень
<i>T3288 (суша)</i>					
Северная Америка	0.294	0.404	*0.163	0.276	0.335
Евразия	0.399	0.341	0.515	0.373	0.370
Южная Америка	0.177	0.164	0.135	0.162	0.230
Африка	0.298	0.266	0.345	0.287	0.298
Австралия	0.180	0.152	0.121	0.168	0.270
Антарктида	0.052	-0.037	-0.037	0.058	0.216
Европа	0.487	0.541	0.444	0.518	0.448
Азия	0.373	0.286	0.533	0.330	0.347

Примечание. Оценки, статистически значимые на 1% уровне ($\alpha \leq 1\%$), приведены без выделения. Символом (*) выделены оценки с 5%-м уровнем значимости ($1\% < \alpha \leq 5\%$), (**) – выделены оценки с 10%-м уровнем значимости ($5\% < \alpha \leq 10\%$). Затенены значения, не значимые даже на 10%-м уровне (высокая вероятность «ложного» тренда» т.е. высокая вероятность отсутствия ненулевого тренда любого знака). Шрифтом синего цвета выделены отрицательные значения коэффициентов тренда (тенденция к похолоданию).

Вывод о потеплении осенних сезонов в Антарктическом поясе становится менее уверенным, если учесть, что оценки статистически значимы на 1%-м уровне только в среднем за сезон и в октябре-ноябре, а в сентябре уровень значимости составляет лишь 12%. Аналогично, в среднем по территории Антарктиды сезонный тренд значим на 1%-м уровне, тренд в октябре-ноябре – на 5%-м, а в сентябре – только на 22%-м. Обращают внимание и оценки тренда для Европы в зимние месяцы: при высоких значениях коэффициентов тренда они статистически значимы только на 5%-м уровне.

Таблица 6. Сезонный ход коэффициентов линейного тренда приземной температуры ($^{\circ}\text{C}/10$ лет), осредненной по территории крупных регионов Земного шара, 1976–2021 гг.

Table 6. Seasonal variation of linear trend coefficients surface temperature ($^{\circ}\text{C}/10$ years), averaged over the territory major regions of the globe, 1976–2021

Регион	Месяцы											
	<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>	<i>V</i>	<i>VI</i>	<i>VII</i>	<i>VIII</i>	<i>IX</i>	<i>X</i>	<i>XI</i>	<i>XII</i>
<i>HadCRUT4 (суша+море)</i>												
Земной шар	0.163	0.168	0.197	0.185	0.168	0.177	0.177	0.185	0.174	0.186	0.174	0.159
С. полушарие	0.227	0.241	0.279	0.246	0.230	0.246	0.250	0.261	0.251	0.265	0.254	0.233
Ю.полушарие	0.099	0.095	0.114	0.124	0.105	0.108	0.104	0.110	0.097	0.109	0.095	0.084
АО _{15-70 N}	0.202	0.191	0.167	0.180	0.168	0.174	0.187	0.234	0.226	0.245	0.209	0.211
ТО _{40-60 N}	0.150	0.163	0.148	0.161	0.199	0.220	0.255	0.259	0.245	0.227	0.220	0.184
65-90 N	0.440	0.584	0.685	0.753	0.495	0.497	0.377	0.427	0.439	0.732	0.726	0.643

Продолжение таблицы 6.

Регион	Месяцы											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
25-65 N	0.275	0.280	0.354	0.274	0.266	0.295	0.311	0.329	0.313	0.311	0.285	0.256
25 S-25 N	0.136	0.136	0.138	0.152	0.143	0.146	0.142	0.146	0.139	0.144	0.141	0.130
65-25 S	0.098	0.097	0.115	0.132	0.112	0.117	0.106	0.105	0.093	0.109	0.097	0.089
90-65 S	-0.072	*-0.066	-0.057	-0.072	0.092	-0.028	0.116	**0.322	0.276	0.354	0.206	-0.049
T3288 (суша)												
Земной шар	0.291	0.290	0.352	0.297	0.252	0.278	0.265	0.266	0.290	0.318	0.300	0.271
С. Полушарие	0.345	0.359	0.441	0.361	0.313	0.323	0.307	0.311	0.316	0.365	0.355	0.321
Ю.полушарие	0.167	0.135	0.144	0.153	0.115	0.175	0.169	0.165	0.229	0.212	0.174	0.155
С.Америка	0.578	0.142	**0.228	0.090	*0.166	0.299	0.267	0.264	0.335	0.314	0.358	0.502
Евразия	0.295	0.482	0.660	0.495	0.388	0.387	0.352	0.380	0.339	0.413	0.359	*0.239
Ю.Америка	0.178	0.149	0.142	0.175	*0.086	0.195	*0.109	0.179	0.309	0.200	0.186	0.157
Африка	0.234	0.274	0.345	0.325	0.337	0.320	0.296	0.238	0.255	0.296	0.335	0.288
Австралия	0.249	0.068	0.127	*0.197	0.033	0.117	0.277	0.109	0.302	0.328	**0.187	**0.139
Антарктида	-0.048	-0.008	-0.006	-0.123	0.039	-0.183	0.133	0.245	0.203	0.252	*0.185	-0.074
Европа	*0.497	*0.594	*0.443	0.501	0.381	0.456	0.523	0.569	0.430	0.430	0.485	*0.535
Азия	*0.239	0.448	0.712	0.501	0.386	0.363	0.304	0.324	0.311	0.405	0.327	0.162
HadSST3 (море)												
Земной шар	0.121	0.122	0.126	0.145	0.143	0.142	0.154	0.165	0.147	0.149	0.137	0.122
С. Полушарие	0.159	0.157	0.145	0.172	0.184	0.199	0.226	0.241	0.232	0.220	0.198	0.175
Ю.полушарие	0.090	0.094	0.112	0.120	0.105	0.089	0.086	0.096	0.068	0.083	0.083	0.077

Примечание. Оценки, статистически значимые на 1% уровне ($\alpha \leq 1\%$), приведены без выделения. Символом (*) выделены оценки с 5%-м уровнем значимости ($1\% < \alpha \leq 5\%$), символом (**) – с 10%-м уровнем значимости ($5\% < \alpha \leq 10\%$). Затенены значения, не значимые даже на 10%-м уровне (высокая вероятность «ложного» тренда» т.е. высокая вероятность отсутствия ненулевого тренда любого знака). Шрифтом синего цвета выделены отрицательные значения коэффициентов тренда (тенденция к похолоданию).

Сезонный ход оценок тренда, представленный графически (рис. 5), более наглядно отражает особенности потепления на континентах и океанах в разных регионах мира. Пунктирными линиями и пустыми кружками на нем показаны месяцы, когда оценки незначимы на 5%-м уровне. В подавляющем большинстве остальных случаев тренды статистически значимы на 1%-м уровне (табл. 6).

Как следует из рис. 5, в обоих полушариях на поверхности океанов скорость потепления максимальна «весной», а на суше – «осенью» (с учетом сезонного календаря соответствующего полушария). Видно также, что средняя скорость потепления в Южном полушарии во все сезоны ниже, чем в Северном, и на суше всегда выше, чем на акваториях океанов. При этом раз-

личия между Южным и Северным полушариями особенно значительны на суше. Таким образом, современное глобальное потепление протекает особенно активно на континентах Северного полушария в холодный период года. Этот вывод уточняется картиной потепления северных континентов на нижней панели рисунка. По-видимому, Евразия обеспечивает усиление потепления в феврале-апреле, а Северная Америка – в ноябре-декабре.

Тенденция к похолоданию получена только для Антарктического материка и только в период декабрь-апрель и июнь; при этом для всех месяцев (кроме октября и ноября) коэффициенты тренда статистически незначимы даже на 10%-м уровне.

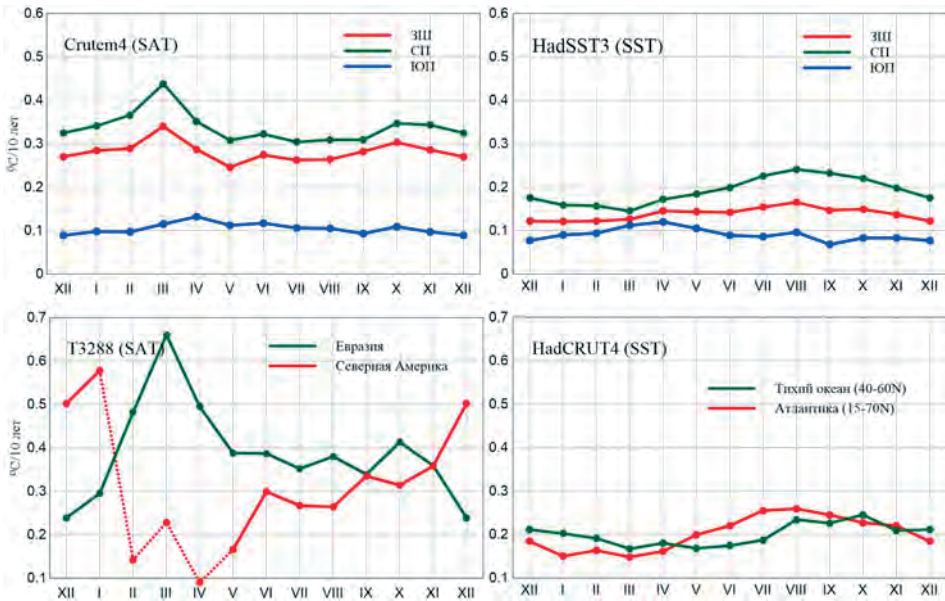


Рисунок 5. Сезонный ход региональных оценок линейного тренда приповерхностной температуры в течение 1976-2021 гг.

Использованы данные Hadley/CRU (CRUTEM4, HadSST3, HadCRUT4) и ИГКЭ (T3288): слева – SAT (температура приземного воздуха), справа – SST (температура поверхностного слоя воды в океанах); сверху – Земной шар, Северное и Южное полушарие; внизу – континенты и океаны Северного полушария

Figure 5. Seasonal behavior of regional estimates of the linear trend surface temperature during 1976-2021

Hadley/CRU (CRUTEM4, HadSST3, HadCRUT4) and IGCE (T3288) data were used: SAT (surface air temperature) on the left, SST (ocean surface water temperature) on the right; above - the globe, the northern and southern hemispheres; below - the continents and oceans of the Northern Hemisphere

Географические особенности современных изменений климата, 1976-2021 гг.

Рассматриваются пространственные распределения локальных оценок температурных трендов на территории Земного шара (в среднем за год и за каждый сезон) и их частотные распределения по крупным регионам Земного шара, в зависимости от интенсивности тренда и его статистической значимо-

сти α (рис. 6, 7, 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 1452 боксах (массив HadCRUT4), для которых временные ряды охватывают не менее 35 лет наблюдений (включая 2021 год, в котором допускается не более двух разрозненных пропусков).

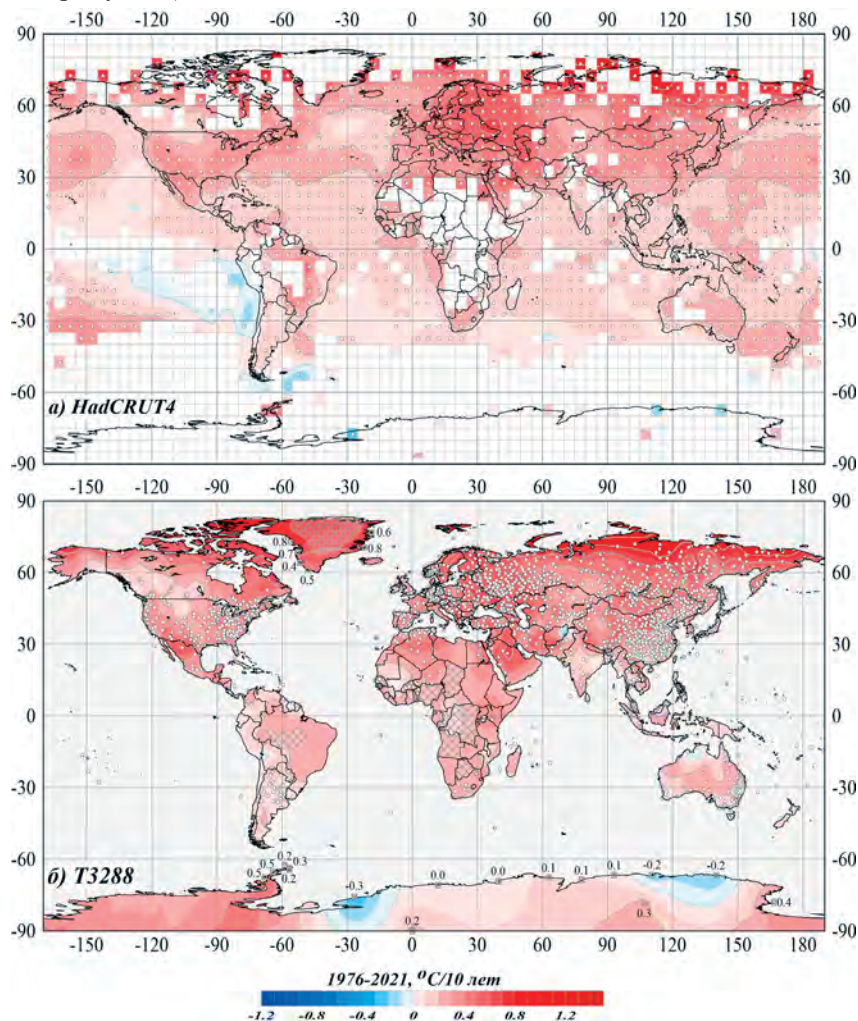


Рисунок 6. Пространственное распределение коэффициентов линейного тренда среднегодовой температуры у поверхности Земного шара, 1976–2021 гг. ($^{\circ}\text{C}/10$ лет).

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. В точках расположения станций Антарктиды и Гренландии приведены числовые значения коэффициентов тренда. Белыми кружками выделены боксы/станции, в которых тренд статистически значим на 1%-м уровне

Figure 6. Spatial distribution of the coefficients of the linear trend of the average annual temperature near the surface of the Earth, 1976–2021 ($^{\circ}\text{C}/10$ years)

Data used: а) HadCRUT4 – grid data Hadley/CRU, UK (land + sea); б) T3288 – station data of IGKE (on land only). Empty boxes (а) and shading (б) show the areas of absence of observations. Numerical values of the trend coefficients are given at the points of location of stations in Antarctica and Greenland. White circles indicate boxes/stations in which the trend is statistically significant at the 1% level

Тенденция к потеплению наблюдается почти на всей территории Земного шара (рис. 6) – положительные тренды составляют 96.5% оценок по данным HadCRUT (суша+море) и 97.3% – по стационарным данным T3288 (только суша). **Тенденция к похолоданию** подтверждена статистически значимыми оценками ($\alpha \leq 5\%$) лишь в менее 1% всех наблюдений (на суше и океанах), и все они расположены в Южном полушарии (табл. 7).

Таблица 7. Частотное распределение локальных оценок тренда (1976-2021) по категориям коэффициента линейного тренда b и уровня значимости α

Table 7. Frequency distribution of local trend estimates (1976-2021) by categories of linear trend coefficient b and significance level α

Регион		NN	$b < 0$			$b = 0$	$b > 0$		
			всего	$\alpha \leq 0.05$	$\alpha \geq 0.10$		всего	$\alpha \leq 0.05$	$\alpha \geq 0.1$
HadCRUT4 (суша+море)									
Земной шар		1418	2.8	0.8	1.8	0.6	96.5	83.1	10.4
Северное полушарие		895	0.2	-	0.1	0.1	99.7	91.1	6.0
Южное полушарие		523	7.3	2.1	4.8	1.5	91.2	69.6	18.0
Атлантика, 15-70N		132	-	-	-	-	100.0	95.5	3.8
Тихий океан, 20-65N		151	-	-	-	-	100.0	100.0	-
Широтные пояса	65-90N	77	-	-	-	-	100.0	98.7	1.3
	25-65N	525	-	-	-	-	100.0	92.0	5.5
	25S-25N	565	4.2	0.2	3.7	0.9	94.9	82.3	9.9
	65-25S	238	5.5	2.9	2.1	1.7	92.9	63.0	23.9
	90-65S	13	23.1	23.1	-	-	76.9	38.5	38.5
T3288 (только суша)									
Земной шар		2389	2.3	0.6	1.5	0.3	97.3	87.7	6.7
Северноеполушарие		2073	1.2	0.3	0.8	0.2	98.6	90.9	5.4
Южное полушарие		317	10.1	2.8	6.3	1.3	88.6	67.2	15.5
С.Америка		417	2.2	0.5	1.7	0.0	97.8	72.7	18.9
Евразия		1468	0.7	0.1	0.5	0.1	99.2	96.0	1.7
Ю.Америка		93	12.9	2.2	8.6	1.1	86.0	63.4	18.3
Африка		101	2.0	1.0	1.0	1.0	97.0	94.1	3.0
Австралия		125	12.0	3.2	8.8	2.4	85.6	63.2	14.4
Антарктида		17	17.6	11.8	-	0.0	82.4	35.3	29.4
Европа		531	0.2	-	0.2	0.0	99.8	99.2	-
Азия		946	1.0	0.2	0.6	0.2	98.8	94.3	2.6
Арктика (суша)		149	-	-	-	0.0	100.0	98.7	0.7

Примечание. Процентное содержание рассчитано относительно NN, где NN – общее количество станций/боксов в регионе.

Область наиболее интенсивного потепления – Арктика: все локальные оценки тренда севернее 65-й параллели (на суше и на море) положительны, 98.7% из них статистически значимы на 5%-м уровне. На суше, вдоль побережья Северного Ледовитого океана практически всюду тренд достигает $+0.6-0.8^{\circ}\text{C}/10$ лет и более.

Из континентов, как и по региональным оценкам (табл. 7), выделяется Европа, где на потепление указывают 99.8% локальных данных, притом 99.2% статистически значимы на 5%-м уровне. 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. Большая часть океанической поверхности в Северном полушарии и тропическом поясе (кроме восточного сектора Тихого океана у побережья Южной Америки) также характеризуется статистически значимыми на 1%-м уровне трендами к потеплению. Интенсивное потепление отмечается еще и в Северной Атлантике и северной части Тихого океана (до $0.3-0.4^{\circ}\text{C}/10$ лет, рис. 6). Во всех этих регионах области активного потепления находятся преимущественно в арктическом широтном поясе.

Статистически значимая (на 5%-м уровне) тенденция к похолоданию выявлена лишь на 15 станциях (из 2389!), в том числе 6 расположены в Северном полушарии и 9 – в Южном. Практически во всех остальных случаях оценки убывающих трендов не достигают и $-0.05^{\circ}\text{C}/10$ лет и статистически незначимы. На акваториях океанов статистически значимый отрицательный тренд зафиксирован в Тихом океане (у побережья Южной Америки) и у берегов Огненной Земли.

Зима (рис. 7). В среднем за сезон и для каждого месяца, как и на годовых картах, преобладает тенденция к потеплению (до $1.0^{\circ}\text{C}/10$ лет и более, $\alpha = 1\%$). Тренд к похолоданию просматривается лишь в небольших областях Антарктиды, Северной Америки, в центре Евразии и в восточной части Тихого океана (у побережья Южной Америки). Наиболее значительные из них – на суше, в феврале: на станциях Marquette ($0.94^{\circ}\text{C}/10$ лет, США) и Марково ($-0.76^{\circ}\text{C}/10$ лет, Чукотка).

Весна (рис. 7). Положительным статистически значимым трендом охвачена практически вся территория Евразии (до $+1.6^{\circ}\text{C}/10$ лет, п-ов Таймыр), за исключением некоторых районов Восточно-Европейской равнины и юго-восточной Азии. Тенденция к похолоданию, выявленная на обширной территории Северной Америки и Антарктиды (кроме двух станций Канады), оказалась статистически незначимой. Область статистически значимого отрицательного тренда выявлена на 12 станциях Австралии (до $-0.6^{\circ}\text{C}/10$).

Лето (рис. 7). Как и в другие сезоны, летом преобладает тенденция к потеплению: в Европе (в течение всего сезона), в Малой и Передней Азии и Монголии, в Антарктиде и на территории США (0.9 , 0.8 , $1.1^{\circ}\text{C}/10$, соответственно). В июне статистически значимое потепление отмечается на большей части Азиатской территории РФ. Статистически значимая тенденция к похолоданию летних сезонов, в целом, выявлена в Восточной Антарктиде и в районе Огненной Земли (около $-0.4^{\circ}\text{C}/10$ лет), в июле – в Аргентине, и в течение всех трех месяцев – в Западной Сибири, на территории Средней Азии и в Боливии.

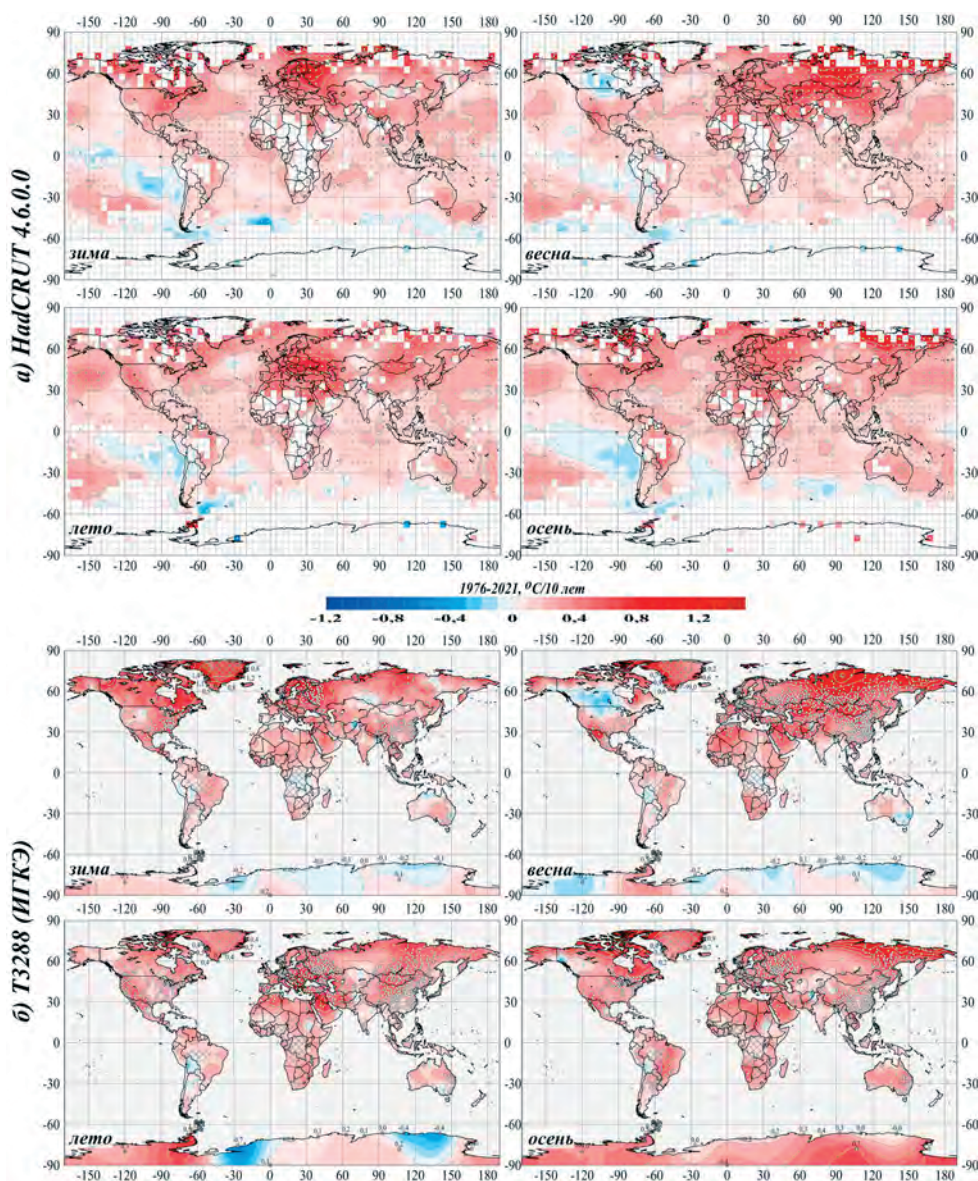


Рисунок 7. См. рис. 6, но для сезонных аномалий температуры

Figure 7. See fig. 6, but for seasonal temperature anomalies

Осенью (рис. 7) практически в каждом месяце интенсивное статистически значимое потепление отмечено в Арктике и 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 (в сентябре и в октябре). Тенденция к похолоданию (до $-0.5^{\circ}\text{C}/10$ лет), как правило, статистически незначимая, отмечена в отдельные месяцы в Антарктиде, на территории Канады и США, в Сибири и Центральной Азии, а также в океанах Южного полушария. На сезонной карте им соответствуют области с практически нулевым трендом.

Выводы

1. В целом по Земному шару (с учетом континентов и океанов) 2021 год был шестым среди самых теплых лет по всем наборам данных. Шестым он был и для суши Северного полушария (для моря Северного полушария – пятым). В списке самых теплых лет в Южном полушарии, в разных наборах данных, 2021 год занимает 8-11 строку.

2. Рекордно теплыми в истории наблюдений остаются 2016 и 2020 гг., с очень близкими значениями глобальной температуры. В 2021 г. превышение глобальной температуры над «доиндустриальной» составило 0.18, 0.36, 0.33 и 0.15°C по данным HadCRUT, ИГКЭ, CRUTEM, HadSST, соответственно. Для сравнения, соответствующие значения в рекордно теплом 2016 году были: 0.33, 0.62, 0.58 и 0.29°C.

3. Более 65% всех наблюдений (на суше 69%), оказались в среднем за год, выше климатической нормы 1991-2020 гг.; среди них около 27% – выше 95-го процентиля. Отрицательные аномалии составили 25-27% всех данных (на суше и на акваториях океанов). Наиболее крупные положительные аномалии сосредоточены на северных континентах: в Северной Америке, Африке и Евразии (в основном, в Азии), отрицательные аномалии – в Австралии и в тропических широтах Тихого и Индийского океанов.

4. Из сезонов выделяется рекордно теплое лето (аномалия +0.50°C над сушей Земного шара) – в основном, за счет теплых континентов и океанов Северного полушария. Зима была рекордно теплой в северной части Тихого океана (+0.55°C), осень – в Северной Атлантике (+0.47°C).

5. Локальные оценки линейного тренда 1976-2021 гг. уверенно подтверждают тенденцию потепления – 97% всех коэффициентов тренда положительны. Наибольшая интенсивность потепления отмечается, в среднем по региону, в Арктическом широтном поясе (+0.57°C/10 лет) и на территории Европы (+0.49°C/10 лет).

6. Современное глобальное потепление протекает особенно активно на континентах Северного полушария в холодный период года. При этом, в феврале-апреле усиление потепления обеспечивает Евразия, а в ноябре-декабре – Северная Америка.

Обсуждение

Структура современного глобального потепления (основные этапы)

Ниже (рис. 8), по данным глобально осредненных временных рядов среднегодовой приповерхностной температуры SAT (температура приземного воздуха над сушей) и SST (температура воды на поверхности океанов) представлены оценки изменений глобальной температуры на всех скользящих отрезках исследуемых временных рядов разной продолжительности. Этот метод анализа алгоритмически более простой, чем вейвлетный анализ, и более наглядный для интерпретации (предложен авторами в (Груза и др., 1992) и использован в (Груза и др., 2016)).

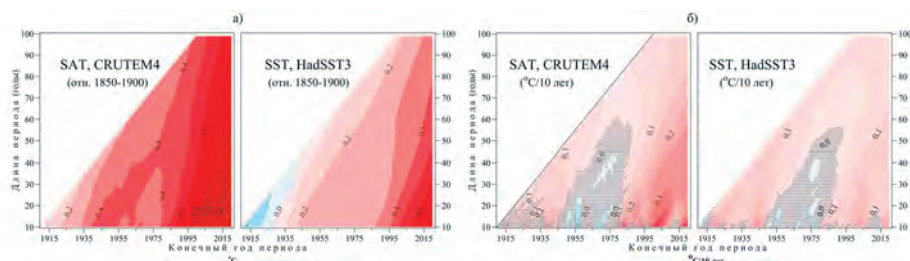


Рисунок 8. Сравнение величины (а) и скорости (б) изменения глобальной температуры на территории суши Земного шара (SAT, слева) и на акваториях Мирового океана (SST, справа) на всех скользящих временных интервалах от 10 до 100 лет в течение 1901-2021 гг.

Каждая точка диаграммы соответствует периоду оценивания, конечный год которого указан абсциссой точки, а длина – ее ординатой: а) среднее значение глобальной температуры SAT, SST (в отклонениях от средней 1850-1900) за период оценивания, °C; б) коэффициент линейного тренда SAT, SST за период оценивания, °C/10 лет (затенена область, где тренд статистически незначим на 5%-м уровне)

Figure 8. Comparison of magnitude (a) and rate (b) of global temperature change on the land area of the globe (SAT, left) and in the waters of the World Ocean (SST, right), at all sliding time intervals from 10 to 100 years during 1901-2021.

Each point of the diagram corresponds to the assessment period, the end year of which is indicated by the abscissa of the point, and the length is indicated by its ordinate: a) the average value of the global temperature SAT, SST (in deviations from the average 1850-1900) for the assessment period, °C; b) linear trend coefficient SAT, SST for the assessment period, oC/10 years (shaded area where the trend is statistically insignificant at the 5% level)

Анализ выполнен по данным оригинальных глобальных временных рядов Hadley/CRU:CRUTEM4 (SAT, только суша) и HadSST3 (SST, только море). Аномалии температуры в этих рядах приведены нами к базовому периоду 1850-1900 гг. с тем, чтобы они выражали изменение глобальной температуры относительно «доиндустриального» уровня. Далее по каждому из них, для всех скользящих интервалов продолжительностью от 10 до 100 лет (с шагом 1 год), получены средние значения и оценки трендов, представленные на рис. 8 как функция продолжительности периода оценивания (ось OY) и текущего момента (ось OX).

Такая диаграмма создает полную картину временной структуры изменений рассматриваемой величины (каждая точка диаграммы соответствует одному оцениваемому отрезку ряда). В данном случае на рисунке представлены: величина потепления/похолодания, или среднее значение глобальной температуры в отклонениях от «доиндустриального» уровня (рис. 8а); и средняя скорость потепления/похолодания, или коэффициент линейного тренда (рис. 8б).

На суше Земного шара XX век (рис. 8а, SAT) начался с очень слабого повышения глобальной температуры (примерно на 0.1°C за каждые 10 лет), так что к 1940-м гг. повышение температуры составило уже 0.4°C (см. значение на оси абсцисс), после чего отмечаются разнонаправленные флуктуации с небольшим снижением глобальной температуры (до +0.3°C относительно доиндустриального уровня). К середине 1970-х средняя температура приземного воздуха вернулась к отметке +0.4°C (в сравнении с 1850-1900), после чего процесс потепления стал более активным и, начиная с 1990-х, уровень глобального потепления (превышение над «доиндустриальным»), в среднем по территории суши Земного шара, достиг +1.3-1.4°C (в среднем за год).

На поверхности Мирового океана первое 20-летие (1900-1920) было холодным (рис. 8а, SST) (ниже уровня 1850-1900 гг., хотя и незначительно). Потепление началось примерно с 1920-х, достигло $+0.2^{\circ}\text{C}$ к 1940 г., а $+0.3^{\circ}\text{C}$ лишь к 1990. Интенсивное потепление началось с середины 1990-х, так что к 2020-м годам глобальная температура воды на поверхности океанов превысила уровень второй половины XIX в. на $0.7\text{-}0.8^{\circ}\text{C}$ (в среднем за год).

Правый фрагмент (рис. 8б, оценки для коэффициентов тренда) подтверждает отмеченные особенности. Средняя скорость потепления поверхности океанов (рис. 8б, SST) была выше $0.1^{\circ}\text{C}/10$ лет практически лишь в последние 50-60 лет (примерно с середины 1970-х), и ранее в короткий период 1930-1940-х. Период 1940-1960-х отмечен отсутствием статистически значимых однонаправленных тенденций. На суше (рис. 8б, SAT) также отмечаются колебания разного знака, особенно в первой половине (низкочастотные, с периодами до 20 лет) и в середине столетия (вплоть до 60-летних). Но с начала 1970-х наблюдается устойчивое потепление практически на всех периодах (вплоть до 100-летия), особенно интенсивное в 1990-х и, возможно, в 2010-х.

Сезонные особенности глобального потепления

Особенности глобального потепления рассматриваются здесь (рис. 9) в форме двумерных диаграмм «год-месяц» (т.н. диаграммы Хофмюллера), более подробно иллюстрирующих изменение приземного температурного режима в течение всего периода наблюдений (1850-2021 гг.): в Северном и Южном полушариях, на суше и акваториях океанов, с учетом сезонного хода температуры. В отличие от подобного анализа в (Груза и др., 2021), здесь этот процесс представлен без фильтрации низкочастотных колебаний и с акцентом на проявлениях внутригодовой (сезонной) неоднородности.

Прежде всего отметим, что на поверхности океанов сезонный ход температуры выражен очень слабо, благодаря чему картина климатических изменений температуры по глобальным и среднемесячным данным в целом сходна, хотя и с определенными различиями в деталях.

В океанах обоих полушарий (рис. 9), как и по глобальным данным (рис. 8б, SST), на рубеже 19-20 столетий отмечается похолодание, которое достигло пика в 1910 г. (в Северном полушарии – более глубокого). Начавшееся с этого момента потепление достигло максимума в середине 1940-х, сменилось следующим похолоданием с минимумом в 1970-1975 гг. (в Южном полушарии – в середине 1960-х).

На суше картина потепления в начале столетия (после 1900 г.) различна в разных полушариях. Отмеченное по глобальным данным потепление (примерно $+0.1^{\circ}\text{C}$ за 10 лет) относится в полной мере лишь к Южному полушарию (где потепление было более интенсивным, хотя и неустойчивым). На суше Северного полушария в летний сезон имело место похолодание с пиком в 1910 г. (как в океанах), а в остальные сезоны – довольно активное потепление (осенью до $+0.4^{\circ}\text{C}$). После потепления 1940-х (летом – до $+0.2^{\circ}\text{C}$, осенью – до $+0.8^{\circ}\text{C}$), здесь температура летних сезонов в отдельные годы опускалась ниже «доиндустриального» уровня (вплоть до 1985-1990 гг.).

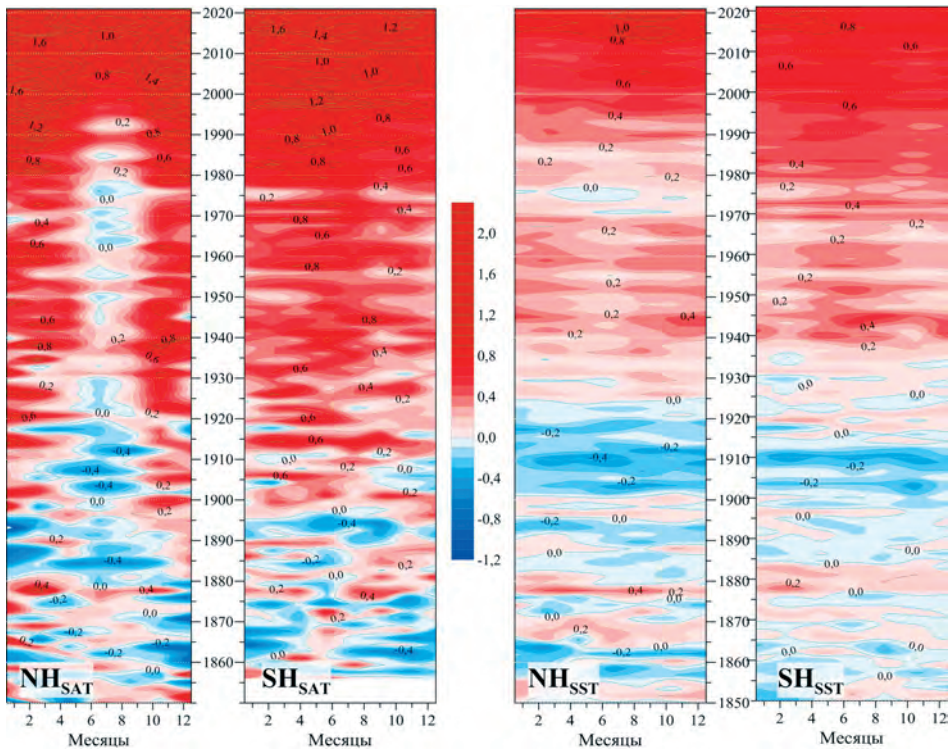


Рисунок 9. Среднемесячные аномалии приповерхностной температуры (SAT, SST), осредненные по территории Северного (NH) и Южного (SH) полушарий в течение периода с января 1850 по декабрь 2021г.
Ось X – месяцы, ось Y – годы. Аномалии рассчитаны как отклонения от среднего за 1850–1900 гг. Использованы данные: CRUTEM4.4.6.0.0, HadSST.3.1.1.0, <https://www.metoffice.gov.uk>

Figure 9. Monthly mean surface temperature anomalies (SAT, SST), averaged over the territory of the Northern (NH) and Southern (SH) hemispheres during the period January 1850 to December 2021
X-axis - months, Y-axis - years. Anomalies are calculated as deviations from the average for 1850-1900. Data used: CRUTEM4.4.6.0.0, HadSST.3.1.1.0, <https://www.metoffice.gov.uk>

Далее общий ход потепления в обоих полушариях сходен: плавное потепление, усилившееся после 1990 г. Сезонный ход (более активное потепление осенних сезонов) присущ обоим полушариям, но в Северном полушарии более заметен. К 1940 г. сезонность заметно сгладилась, а к 2000 г. практически исчезла (в обоих полушариях).

На океанах Северного полушария, как и на суше, на всех этапах размах колебаний больше, чем в Южном. В течение первого теплого периода (примерно 1930-1970) и в фазе современного активного потепления (после 1990-2000 гг.) сезонный ход аномалий становится заметнее и на акваториях океанов – потепление осенне-зимних сезонов протекает активнее.

Период современного глобального потепления

В заключение рассмотрим диаграмму (рис. 10), аналогичную рассмотренной выше (рис. 8а), но для аномалий, рассчитанных относительно средней всего исследуемого периода 1901-2021 гг.

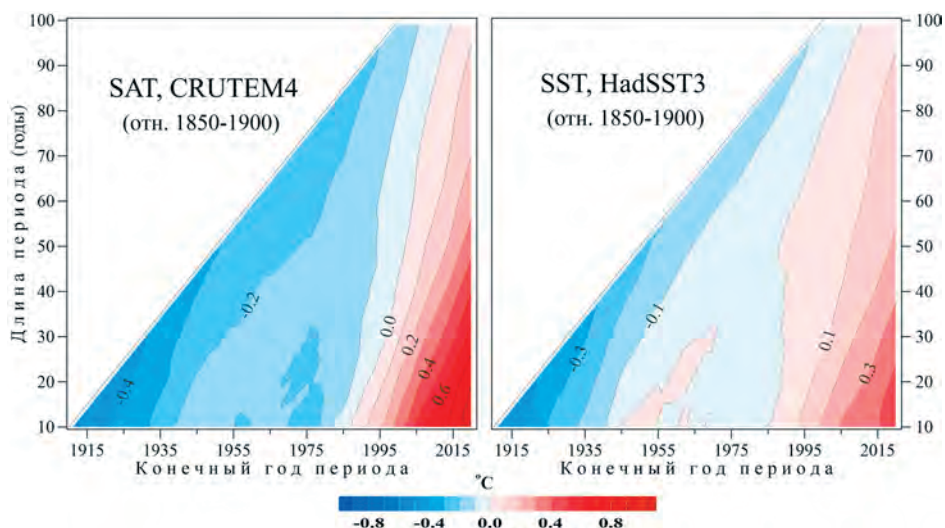


Рисунок 10. См. рис. 8а, но для аномалий SAT, SST относительно базового периода 1901-2021

Figure 10. See Figure 8a, but for SAT, SST anomalies relative to the base period 1901-2021

Положительные аномалии на этой диаграмме соответствуют значениям температуры выше средней за весь «индустриальный» период наблюдений 1901-2021 г. Понятно, что изменение базового периода неизбежно приводит к изменению внешнего вида диаграммы средних значений (при сохранении основных закономерностей в структуре полей), но никак не влияет на диаграмму оценок тренда (рис. 8б).

Можно видеть, что область положительных многолетних средних на обеих диаграммах (рис. 10) начинается примерно с точки ($x=1985$, $y=10$), в которой приведено среднее значение за 1976-1985 гг. (10-летний период, кончающийся 1985 годом).

Судя по положению нулевой изолинии для глобальной температуры над сушей (SAT, слева) и на акваториях океанов (SST, справа), все скользящие средние за 10 лет и более, после с 1976 г., были выше средней всего ряда. И в это же время тренды на всех масштабах более 15 лет положительны и статистически значимы на 5%-уровне. По существу, этот критерий можно использовать в определении периода глобального потепления: период, на котором любые многолетние средние выше средней всего ряда. Соответственно, 1976-1977 год оказывается началом глобального потепления, которое продолжается до настоящего времени (что фактически давно принято без формальных критериев).

Заключение

В целом характер процесса потепления 20-21 столетий, включая основные этапы и различия между полушариями, сходен на суше и на океанах. Основное различие – разная интенсивность потепления и смещение сроков. Потепление на суше всегда интенсивнее, чем на поверхности океанов.

Сезонный ход интенсивности потепления, т.е. глобальных аномалий (отклонений от «доиндустриального» климата), присутствует в обоих полушариях, и суше и на поверхности океанов. Его максимум – в осенне-зимний период, минимум – в весенне-летний. Амплитуда сезонного хода существенно больше в Северном полушарии. В каждом из полушарий она больше на суше, чем на поверхности океанов.

Интенсивное потепление на океанах Северного полушария началось в начале 1990-х., а на океанах Южного полушария – несколько раньше, во второй половине 1970-х. При этом предшествующие периоды – 1940-1985 в Северном полушарии и 1940-1975 в Южном – можно охарактеризовать как чередование разнонаправленных слабых колебаний примерно на одном уровне (т.е. без выраженной тенденции в целом), но с явно выраженным сезонным ходом.

На суше межполушарные различия процесса потепления выглядят гораздо ярче за счет существенно большей амплитуды сезонного хода в Северном полушарии. Здесь температура летних сезонов вплоть до 1985-1990 гг. оставалась на «доиндустриальном» уровне, а в отдельные годы опускалась ниже его. Сезонный ход аномалий в этот период в обоих полушариях становился слабее и к 2000 году практически исчез, но с усилением потепления после 2000-2010 гг. стал заметнее.

К настоящему времени превышение приповерхностной глобальной температуры над «доиндустриальным» уровнем достигло, в среднем за год на суше +1.3-1.4°C а на акваториях океанов +0.7-0.8°C.

В данной работе сформулирован критерий для определения периода потепления для временного ряда температур $T_1, T_2, \dots, T_N$, соответствующих годам 1, 2, ..., N (порядковая нумерация): «продолжительный период времени $[m, n]$, $1 \leq m \leq n \leq N$, для которого средние значения температуры по любому вложенному периоду продолжительностью более 15-20 лет больше среднего значения для всего ряда $T_1, T_2, \dots, T_N$ ». Для ряда глобальных температур в 1901-2021 гг. этому критерию и глобально, и на суше, и на акваториях океанов, отвечает период, начавшийся во второй половине 1970-х (практически с 1976 г.).

Благодарности

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

– «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.

– «Изменения климата и их последствия для окружающей среды и жизнедеятельности населения на территории России». Государственное задание ИГРАН «AAAA-A19-119022190173-2 (FMGE-2019-0009)».

Список литературы

Груза, Г.В., Ранькова, Э.Я., Рочева, Э.В. (1992) Структура долгопериодных трендов глобальной температуры воздуха, В сб.: *Мониторинг и вероятностный прогноз климата*, С.- Петербург, Гидрометеиздат, с. 3-20.

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. (2017) 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., Самохина, О.Ф. (2021) Особенности температурного режима у поверхности Земного шара в 2020 г., *Фундаментальная и прикладная климатология*, т. 7, № 2, с. 28-58, doi:10.21513/2410-8758-2021-2-28-58.

ИГКЭ (2016) *Мониторинг изменений климата Земного шара*, электронный ресурс. URL: [http://climatechange.igce.ru /index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=31&Itemid=76&lang=ru](http://climatechange.igce.ru/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=31&Itemid=76&lang=ru).

ЦМКП (2016) *Решение Центральной методической комиссии по гидрометеорологическим и геофизическим прогнозам от 20 декабря 2016 г.* <http://method.meteorf.rum>.

ECMWF Copernicus (2022) *Surface air temperature for December 2021. January to December retrieved on April 15, 2022 from 2021*, available at: <https://climate.copernicus.eu/surface-air-temperature-december-2021>.

JMA (2022) Highlights of the Global Climate in 2021, *TCC News*, no. 67, available at: <https://ds.data.jma.go.jp/tcc/tcc/news/tccnews67.pdf>

NASA (2022) *2021 Tied for 6th Warmest Year in Continued Trend*, NASA Analysis Shows. January 13, 2022, retrieved on April 18, 2022 from <https://climate.nasa.gov/news/3140/2021-tied-for-6th-warmest-year-in-continued-trend-nasa-analysis-shows/>.

NOAA NCEI (2021) *Assessing the Global Climate in 2021*, retrieved on April 15, 2021 from <https://www.ncei.noaa.gov/news/global-climate-202112>.

NOAA NCEI (2022) *State of the Climate: Global Climate Report for Annual 2022*, published online January 2022, retrieved on April 15, 2022 from <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/202113>.

WMO (2021a) *State of the Global Climate 2021*. WMO Provisional report. October 31, 2021. <https://public.wmo.int>.

WMO (2021b) *State of Climate in 2021: Extreme events and major impacts*. Press Release Number: 31102021.

References

Gruza, G.V., Ran'kova, E.Ya., Rocheva, E.V. (1992) *Struktura dolgoperiodnykh trendov global'noy temperatury vozdukha*. [Structure of long-term trends in global air temperature], on *Sat. Monitoring and Probabilistic Climate Forecast, Gidrometeoizdat*, St. Petersburg, Russia, pp. 3-20.

Gruza G.V., Ran'kova E.Ya., Rocheva E.V., Samokhina O.F. (2016) *Klimaticheskiye osobennosti temperaturnogo rezhima u poverkhnosti zemli v 2015 g.* [Climatic features of the temperature regime near the earth's surface in 2015], *Fundamental and Applied Climatology*, no. 1, pp. 104-136.

Gruza, G.V., Ran'kova, E.YA., Rocheva, E.V. (2017) *Metodika «Monitoring izmeneniy klimata zemnogo shara: prizemnaya temperatura» I rezul'taty yeye ispytaniya* [Methodology "Monitoring of changes in the global climate: surface temperature" and the results of its testing], *Results of testing new and improved technologies, models and methods of hydrometeorological forecasts*, no. 44, pp. 3-11.

Gruza, G.V., Ran'kova, E.YA., Samokhina, O.F. (2021) *Osobennosti temperaturnogo rezhima u poverkhnosti Zemnogo shara v 2020 g.* [Climatic features of the temperature regime near the earth's surface in 2015], *Fundamental and Applied Climatology*, no. 1, pp. 104-136.

IGKE (2016) *Monitoring izmeneniy klimata Zemnogo shara* [Climate change Monitoring on the Globe.], available at: http://climatechange.igce.ru/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=31&Itemid=76&lang=ru.

TSMKP (2016) *Resheniye Tsentral'noy metodicheskoy komissii po gidrometeorologicheskim i geliogeofizicheskim prognozam ot 20 dekabrya 2016 g.* [Decision of the Central Methodological Commission on Hydrometeorological and Heliogeophysical Forecasts dated December 20], available at: <http://method.meteorf.rum>.

ECMWF Copernicus (2022) *Surface air temperature for December 2021. January to December retrieved on April 15, 2022 from 2021*, available at: <https://climate.copernicus.eu/surface-air-temperature-december-2021>.

JMA (2022) *Highlights of the Global Climate in 2021, TCC News*, no. 67, available at: <https://ds.data.jma.go.jp/tcc/tcc/news/tccnews67.pdf>.

NASA (2022) *2021 Tied for 6th Warmest Year in Continued Trend, NASA Analysis Shows*. January 13, 2022, retrieved on April 18, 2022 from <https://climate.nasa.gov/news/3140/2021-tied-for-6th-warmest-year-in-continued-trend-nasa-analysis-shows/>.

NOAA NCEI (2021) *Assessing the Global Climate in 2021*, retrieved on April 15, 2021 from <https://www.ncei.noaa.gov/news/global-climate-202112>.

NOAA NCEI (2022) *State of the Climate: Global Climate Report for Annual 2022*, published online January 2022, retrieved on April 15, 2022 from <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/202113>.

WMO (2021a) *State of the Global Climate 2021*. WMO Provisional report. October 31, 2021. <https://public.wmo.int>.

WMO (2021b) *State of Climate in 2021: Extreme events and major impacts*. Press Release Number: 31102021.

Статья поступила в редакцию (Received): 05.05.2022.

Статья доработана после рецензирования (Revised): 18.05.2022.

Принята к публикации (Accepted): 22.05.2022.

Для цитирования / For citation:

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.

Rankova, E.Ya., Samokhina, O.F., Antipina, U.I. (2022) Features of the surface temperature regime over the globe in 2021, *Fundamental and Applied Climatology*, vol. 8, no. 2, pp. 258-290, doi:10.21513/2410-8758-2022-2-258-290.