DOI: 10.21513/2410-8758-2018-1-112-136 УДК 521.524.3

ОСОБЕННОСТИ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА У ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМНОГО ШАРА В 2017 г.

Г.В. Груза,[1,2)], Э.Я. Ранькова[1,2)], Э.В. Рочева[1,2)], О.Ф. Самохина[1,)] И.А. Корнева[1)], М.А. Алешина[2)]*

[1)] Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН,
Россия, 107258, г. Москва, ул. Глебовская, д. 20б; **firankova@gmail.com*

[2)] Институт географии Российской академии наук,
Россия, 109017, Москва, Старомонетный пер., 29

Резюме. Анализируются данные о температурном режиме у поверхности Земного шара в 2017 году и его изменчивости за 1901-2017 гг. Рассматриваются аномалии приповерхностной температуры и ее тренды на различных временных и пространственных масштабах – от глобального до локального, на континентах и акваториях океанов. Показано, что в целом по Земному шару и в Северном полушарии 2017 г. вошел в тройку самых теплых лет в истории наблюдений (вместе с лидирующими 2016 и 2015 гг.). В Южном полушарии 2017 г. оказался первым (самым теплым) по температуре приземного воздуха над сушей, но по температуре поверхности океанов уступает 2016, 2015 и 1998 гг. Самым теплым сезоном была весна. 2017-й год оказался холоднее предыдущих двух за счет второго полугодия, когда значительные отрицательные аномалии наблюдались на континентах Северного полушария летом и осенью, и произошло существенное понижение температуры воды на акваториях океанов Южного полушария. Понижение температуры у поверхности Земного шара от 2016 к 2017 году составило 0.12^{o}C (в целом над сушей и океанами и в среднем за год). Полученные оценки указывают на продолжающееся глобальное потепление. Отмеченное выше понижение температуры практически не отразилось на оценках скорости потепления. Основной вклад в потепление, по-прежнему, принадлежит Северному полушарию при доминирующей роли континентов. Современное потепление 1976-2017 гг. по сравнению с потеплением последнего 100-летия происходит быстрее в 2.6-3.0 раза в Северном полушарии и в 1.4-1.8 раза – в Южном, причем ускорение в Северном полушарии больше над океанами, а в Южном – над сушей.

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

FEATURES OF THE SURFACE TEMPERATURE REGIME IN 2017 OVER THE GLOBE

G.V. Gruza[1)], E.Ya. Rankova[1)], E.V. Rocheva[1)], O.F. Samokhina[1)], I.A. Korneva[1)], M.A. Aleshina[2)]

1) Institute of Global Climate and Ecology,
20B, Glebovskaya str., 107258, Moscow, Russia; **firankova@gmail.com*

2) Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences,
29, Staromonetnyi, 109017, Moscow, Russia

Summary. Temperature regime at the Globe surface in 2017 and its variability in 1901-2017 were analyzed. Surface temperature anomalies and their trends are considered over continents and oceans at various spatial scales, from global to local. 2017 was one of the three warmest years during the period of meteorological observations for the Globe as well as for the Northern Hemisphere (along with leading 2016 and 2015). In the Southern Hemisphere, surface temperature of 2017 ranked first for continents, but 2016, 2015 and 1998 ocean temperatures left behind that of oceans. Spring was the warmest season in 2017. The year was colder than the previous two ones due to the second half-year when substantial negative anomalies were observed over the Northern Hemisphere continents in summer and fall, and discernible decline of water temperature occurred in the Southern Hemisphere oceans. The global surface temperature decrease from 2016 to 2017 was 0.12 ^{o}C only (over land and oceans as a whole, and over the year on average). The obtained estimates indicate the continuous global warming. Lower surface temperature of 2017 almost had no effect on the rate of warming. The main contribution made by the Northern Hemisphere and predominantly by continents. A rate of the current warming of 1976-2017 in the Northern Hemisphere is as much as 2.6-3.0 times greater than for the last 100 years and as 1.4-1.8 times greater times faster in the Southern Hemisphere. In the Northern Hemisphere this acceleration is more pronounced over oceans, while in the Southern Hemisphere it is over continents.

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

Введение

Статья продолжает серию публикаций о современном состоянии климата Земного шара по разделу «Приземная температура» (Груза и др., 2017) на основе данных регулярного мониторинга климата в ФГБУ «ИГКЭ Росгидромета и РАН» (ЦМКП, 2016).

В многочисленных обзорах и бюллетенях мониторинга климата, издаваемых ведущими научными центрами, регулярно публикуется информация о текущем состоянии климатической системы Земли, об осуществившихся климатических аномалиях, рекордах и экстремальных событиях. (NOAA, 2018; WMO, 2017а, 2017б, 2018; NASA, 2017; NASA NOAA, 2018; JMA, 2018, CPC

2018 и др.). ВМО (Всемирная Метеорологическая Организация) обобщает эти материалы в пресс-релизах и ежегодных сообщениях о состоянии климата (WMO, 2018).

На сегодняшний день, рядом национальных метеослужб уже объявлены предварительные оценки глобальной приповерхностной температуры в 2017 г. Согласно этим оценкам, 2017 г. (в среднем за год) стал третьим самым теплым годом (WMO, 2018; JMA, 2018) или вторым (NASA NOAA, 2018).

Практически все авторы опубликованных на эту тему материалов пришли к выводу, что 2017 год менее теплый, чем 2016-й (рекордный благодаря сильнейшему Эль-Ниньо) и самый теплый год без Эль-Ниньо, и что три последних года вошли в тройку самых теплых лет. Некоторые авторы (WMO, 2017a) склонны считать, что отсутствие Эль-Ниньо в 2017 г. подтверждает тезис об увеличении атмосферной концентрации парниковых газов как основном механизме продолжающегося потепления климата. Ряд публикаций посвящен анализу данных о сопутствующих изменениях других климатических параметров (теплосодержание океана, его подкисление, состояние озонового слоя, температура океана в районах Эль-Ниньо, и др.).

Проведенный ВМО предварительный анализ пяти наборов данных ведущих мировых Центров показал (WMO, 2018), что глобальная средняя температура в 2017 году примерно на 1.1^{o}C выше доиндустриального уровня. Особенно ярко потепление выражено в Арктической зоне, и это может повлиять на уровень моря и климат в других регионах мира. В Арктике и Антарктике продолжается сокращение протяженности ледяного покрова. Зафиксированы множество опасных событий, включая активный сезон ураганов в Северной Атлантике, крупные наводнения в Индии, сильную засуху в Восточной Африке, необычное тепло в азиатской части России, в Китае и т.д.

Однако все эти оценки предварительные. Итоговое сообщение, обобщающее все национальные анализы, ВМО должна опубликовать в марте 2018 года.

В предлагаемой статье приводятся основные фактографические данные об аномалиях и экстремумах приземной температуры в 2017 г. и обновленные оценки климатических трендов, полученные авторами в рамках действующей системы оперативного климатического мониторинга. Рассматриваются как пространственные распределения локальных оценок (в точках наблюдений), так и их обобщения для Земного шара в целом, полушарий и крупных регионов: континенты, океаны и основные широтные пояса. Полная информация доступна на Web-сайтах (ИГКЭ, 2016а; 2016б), где можно найти все выпуски сезонных бюллетеней и годовых обзоров за время функционирования системы (с 2015 г.).

Данные

В настоящей работе использованы данные наблюдений за приземной температурой из двух источников – ИГКЭ и Hadley/CRU.

Данные ИГКЭ (массив T3288) представляют собой данные стандартных наблюдений за температурой приземного воздуха (температура на высоте 2 м) с 1901 года на глобальной сети 3288 станций (среди станций есть и остров-

ные). Массив содержит данные наземных наблюдений и потому относится к категории «только суша». Описание массива и каталог включенных в него станций можно найти на сайте ИГКЭ (ИГКЭ, 2016).

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. Подробное описание данных представлено на сайтах источника http://www.metoffice.gov.uk; https://crudata.uea.ac.uk/cru/data.

Данные всех массивов пополняются ежемесячно, в квазиреальном времени, средствами действующей технологии мониторинга климата: массив T3288 – непосредственно по данным телеграмм КЛИМАТ и СИНОП из оперативного потока; массивы HadCRUT4, CRUTEM4 и HadSST3 – по данным Web-сайта источника http://www.metoffice.gov.uk/hadobs/. Методика обработки данных одобрена методической комиссией Росгидромета (ЦМКП, 2016).

Согласно этой методике, базовым массивом для оценки температурных условий *на суше* служит массив станционных данных T3288, а сеточный массив HadCRUT4 используется для создания полной *глобальной* картины *над сушей и океанами*. Соответственно, в используемой технологии глобальные и полушарные временные ряды по данным T3288 (только суша) рассчитываются в рамках мониторинга по методике ИГКЭ, а по данным HadCRUT4 (суша+море) – уже рассчитанные производителем ряды скачиваются с сайта источника (http://www.metoffice.gov.uk/hadobs).

Региональные оценки и региональные временные ряды приводятся в статье по обоим источникам: по данным T3288 (для континентов) и HadCRUT4 (для океанов и широтных поясов); расчет тех и других выполняется по методике ИГКЭ. Глобальные временные ряды CRUTEM4 и HadSST3 используются для сравнительного анализа одноименных оценок, полученных по разным категориям данных. Эти ряды также скачиваются с сайта Hadley/CRU и используются в точном соответствии с оригиналом.

Апробированные глобальные временные ряды CRUTEM4, помимо этого, рассматриваются как некий эталон для рядов, рассчитанных по массиву T3288. Действительно, сопоставление одноименных временных рядов CRUTEM4 и T3288, полученных в разных центрах по единым станционным наблюдениям, но с использованием разных наборов станций и разных методик обработки, дает представление о масштабе неопределенности результирующих оценок и, в определенной мере, о репрезентативности самих наборов данных.

В статьях (Груза и др., 2016а; 2016б; 2017) и в бюллетенях за 2016-2017 гг. (ИГКЭ, 2016) уже приводились результаты сравнения рядов CRUTEM4 и T3288 для разных календарных сезонов и периодов оценивания. Все они иллюстрировали исключительную близость этих рядов, особенно с середины прошлого

столетия. Здесь аналогичное сравнение выполнено по обновленным данным за последние сто лет (1918-2017 гг.) и за период 1976-2017 гг., условно принятый за «период современного глобального потепления» (табл. 1).

Таблица 1. Оценки близости/различия глобальных временных рядов T3288 (ИГКЭ) и CRUTEM4 (Hadley/CRU) в среднем за год и по территории суши Земного шара (ЗШ), Северного (СП) и Южного (ЮП) полушарий

Оценка	**1976-2017**			**1918-2017**		
	ЗШ	**СП**	**ЮП**	**ЗШ**	**СП**	**ЮП**
Корреляция рядов	1.00	1.00	0.99	1.00	1.00	0.99
Среднее различие, ^{o}C	0.02	0.01	-0.01	0.00	-0.01	0.00
СКО (сигма) различий, ^{o}C	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.03
Среднее абсолютное различие, ^{o}C	0.03	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03
Максимальное различие, ^{o}C	0.09	0.09	0.07	0.11	0.09	0.12
Разность коэфф. тренда, ^{o}C/10лет	0.01	0.00	-0.01	0.01	0.01	0.00
СКО T3288, ^{o}C	0.39	0.47	0.24	0.43	0.49	0.31
СКО CRUTEM4, ^{o}C	0.38	0.46	0.24	0.41	0.47	0.31

Результаты

1. Изменение приповерхностной глобальной температуры Земного шара

1.1. Три последних года – 2015, 2016 и 2017-й остаются самыми теплыми в истории инструментальных наблюдений (в среднем по территории Земного шара и Северного полушария)

В целом, над сушей и океанами и в среднем за год, приповерхностная глобальная температура 2017 г., в сравнении с 2016 г., понизилась, но очень незначительно: на 0.12, 0.15 и 0.07^{o}C в среднем по Земному шару, Северному и Южному полушариям, соответственно.

В среднем по Земному шару и Северному полушарию, по данным Hadley/CRU над сушей и океанами (массивы HadCRUT4, CRUTEM4, HadSST3), 2017-й год стал третьим самым теплым годом в истории инструментальных наблюдений – после 2016 и 2015 (табл. 2)**.** По данным ИГКЭ (массив T3288, «только суша») 2017-й год оказался вторым, опередив 2015-й год на 0.03-0.04^{o}C. В Южном полушарии 2017-й год лидирует по температуре приземного воздуха над сушей (по данным Hadley/CRU – на втором месте, после 2016 г.), но по температуре поверхности океанов уступает 2016, 2015 и 1998 гг.

1.2. Интенсивность глобального потепления осталась на уровне 2016 г. (по данным о среднегодовой температуре)

Ранее (Груза и др., 2017) было отмечено (и это иллюстрирует рис. 1), что современное глобальное потепление началось в 1970-х, замедлилось в 2000-х (вплоть до 2010 г.), а в 2015 г. вышло на новый уровень. Отмеченное выше

понижение глобальных температур в 2017 г. (табл. 2, рис. 1) практически не отразилось на оценках глобального потепления (см. значения коэффициентов тренда на рис. 1 с учетом данных 2017 г. и без них). Сохранились и наиболее яркие черты глобального потепления: по-прежнему, скорость потепления у поверхности суши выше, чем на поверхности океанов, и в Северном полушарии процесс потепления протекает активнее, чем в Южном.

Таблица 2. Пять самых теплых лет по данным разных источников для Земного шара, Северного и Южного полушарий (средняя за год аномалия VT и год наблюдения)

№	ЗШ		СП		ЮП	
	VT, °C	Год	VT, °C	Год	VT, °C	Год
HadCRUT4 (Hadley/CRU, суша+море)						
1	0.797	2016	1.064	2016	0.531	2016
2	0.763	2015	1.033	2015	0.497	2015
3	0.675	***2017***	0.919	***2017***	0.465	1998
4	0.579	2014	0.779	2014	0.433	***2017***
5	0.560	2010	0.740	2010	0.413	2009
T3288 (ИГКЭ, суша)						
1	1.269	2016	1.495	2016	0.758	***2017***
2	1.205	***2017***	1.386	***2017***	0.738	2016
3	1.164	2015	1.357	2015	0.723	1998
4	0.952	2007	1.188	2007	0.694	2015
5	0.931	2010	1.120	2010	0.605	2005
CRUTEM4 (Hadley/CRU, суша)						
1	1.292	2016	1.536	2016	0.805	2016
2	1.151	2015	1.360	2015	0.764	**2017**
3	1.120	**2017**	1.297	**2017**	0.736	1998
4	0.914	2010	1.125	2007	0.732	2015
5	0.895	2007	1.101	2010	0.597	2005
HadSST3 (Hadley/CRU, море)						
1	0.613	2016	0.746	2016	0.486	2016
2	0.592	2015	0.737	2015	0.425	2015
3	0.504	***2017***	0.650	***2017***	0.394	1998
4	0.477	2014	0.617	2014	0.385	***2017***
5	0.416	1998	0.484	2005	0.362	2010

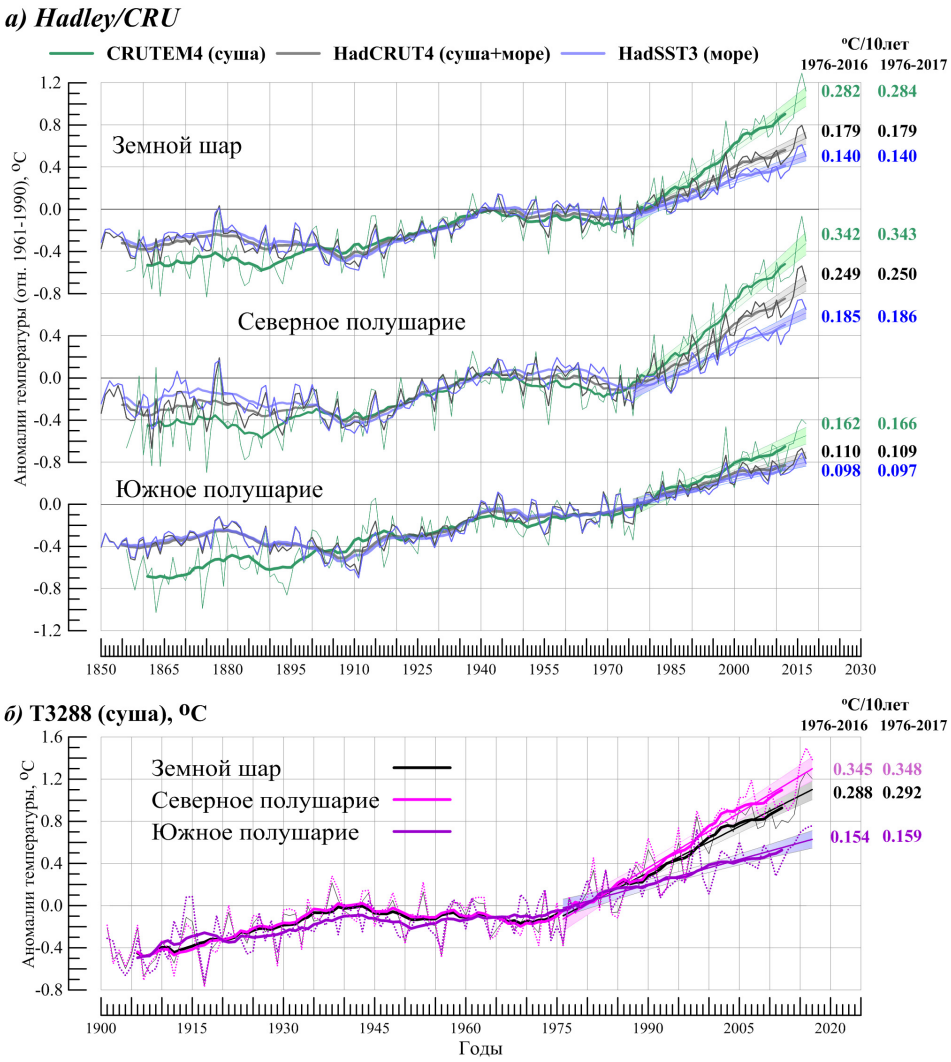

Рисунок 1. Временные ряды среднегодовых аномалий приземной температуры, осредненных по территории Земного шара, Северного и Южного полушарий
а) по данным Hadley/CRU; использованы оригинальные ряды HadCRUT4 (суша+море, черные кривые), CRUTEM4 (суша, зеленые кривые), HadSST3 (море, синие кривые).
б) по данным ИГКЭ T3288 (суша); осреднение выполнено по методике ИГКЭ.
Дополнительно показаны: ход 11-летних скользящих средних, линейный тренд за 1976-2017 гг. и его 95% доверительный интервал. Справа приведены значения коэффициентов тренда соответствующих рядов за 1976-2016 и 1976-2017 гг.

2. *Географические особенности температурного режима у поверхности земного шара в 2017 г.*

Приводятся географические распределения аномалий приземной температуры на территории Земного шара в 2017 г. в среднем за год (рис.2) и за каждый сезон (рис. 3а-3г), а также их количественные распределения по знаку и

интенсивности и региону (табл. 3). Анализируются пространственно осредненные значения аномалий в абсолютной и вероятностной шкале для крупных регионов мира – земной шар, полушария, континенты, океаны, широтные пояса (табл. 4).

2.1. Географическое распределение локальных аномалий температуры в 2017 г.

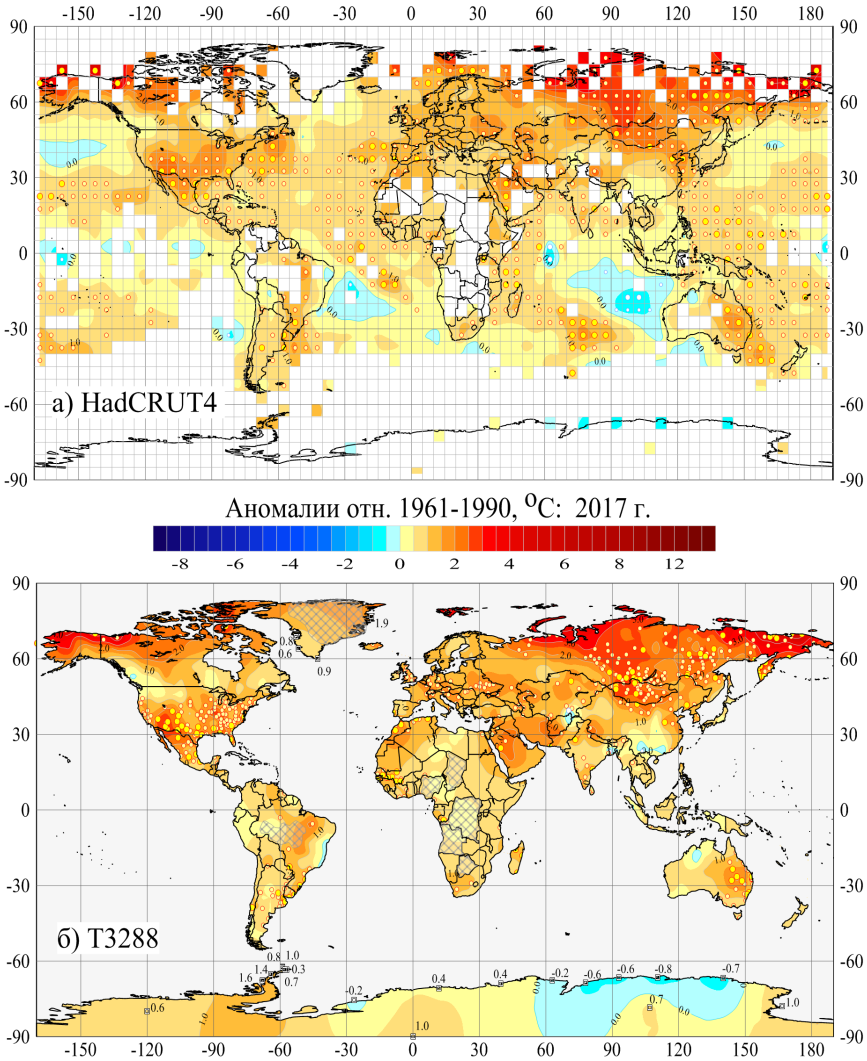

Рисунок 2. Пространственное распределение среднегодовых аномалий приземной температуры (°C) на территории Земного шара в 2017 г.: *а)* по сеточным данным HadCRUT4 (Hadley/CRU); *б)* по станционным данным T3288 (ИГКЭ)

Аномалии приведены в отклонениях от средних за 1961-1990 гг. Кружками белого и желтого цвета указано положение боксов/станций с рекордными значениями аномалий (соответственно, минимумов и максимумов). Значками меньшего размера указано положение 5%-х экстремумов. Пустые боксы (а) и штриховка (б) указывают области отсутствия наблюдений. Для станций Антарктиды и Гренландии непосредственно в точках расположения станций показаны числовые значения наблюдаемых аномалий

Таблица 3. Распределение локальных аномалий и экстремумов среднегодовой температуры у поверхности Земного шара в 2017 г. по данным массивов Т3288 и HadCRUT4 в зависимости от знака, интенсивности и региона

Регион	Число боксов/ станций, N	Аномалии (отн. 1961-90),%		5%-е экстремумы тепла/холода		Абсолютные экстремумы	
		V<0	V>=0	$X \le P_{05}$	$X \ge P_{95}$	$X=P_0(min)$	$X=P_{100}(max)$
		% от N					
Т3288 (только суша)							
Земной шар	1729	2.5	97.5	0.2	32.0	0.1	6.8
СП	1442	1.9	98.1	0.2	32.5	0.1	6.1
ЮП	288	5.2	94.8		29.5		10.1
90-65°ю.ш.	14	42.9	57.1				
65-25°ю.ш.	161	1.2	98.8		34.2		11.2
25 °ю.ш.-25°с.ш.	304	5.9	94.1	0.7	28.0		8.2
25-65°с.ш.	1149	1.6	98.4	0.1	31.8	0.1	5.7
65-90°с.ш.	106		**100.0**		46.2		8.5
HadCRUT4 (суша+море)							
Земной шар	1454	6.5	93.5	1.0	32.9	0.3	7.4
СП	904	3.1	96.9	0.2	37.1	0.1	7.7
ЮП	550	12.2	87.8	2.2	26.2	0.7	6.7
90-65°ю.ш.	13	46.2	53.8				
65-25°ю.ш.	250	6.4	93.6	0.4	27.2	0.4	7.6
25 °ю.ш.-25°с.ш.	582	9.6	90.4	2.2	35.1	0.7	7.4
25-65°с.ш.	533	3.2	96.8		31.9		6.4
65-90°с.ш.	76		**100.0**		48.7		14.5

Примечание. *V* - годовые аномалии; P_{05}, P_{95} – 5-й и 95-й процентили; P_0, P_{100} – наименьшее и наибольшее значения с 1911 г. Таблица обобщает распределения локальных аномалий и экстремумов на рис. 2.

2.2. Региональные и сезонные особенности полей аномалий приземной температуры в 2017 г.

На территории Земного шара и всех рассмотренных широтных поясов в 2017 г. *преобладали положительные аномалии приземной температуры* (табл. 3). Так, по данным наземных станций Т3288 (ИГКЭ, только суша), как и по объединенным сеточным данным HadCRUT4 (Hadley/CRU, суша+море), доля положительных аномалий среди всех использованных в анализе значений среднегодовой температуры составила более 90% (в северных полярных широтах до 100%). Исключение представляет Антарктическая область (широтный пояс к югу от 65°ю.ш.), где почти половина всех значений были отрицательны – примерно 43% станций и 46% боксов. Следует уточнить, однако, что общий объем наблюдений в этой области практически исчерпывается 22 антарктическими станциями – в данном случае из них были доступны данные 14 станций и 13 боксов.

По экстремальности в 2017 г. особенно выделяется Южное полушарие, где на 30% наземных станций наблюдались значения выше 95-го процентиля (5-%

экстремумы тепла), а на 10% станций перекрыты прежние абсолютные максимумы (табл. 3). Примечательно, что на суше Южного полушария по станционным данным не было зафиксировано ни одного экстремума холода. Высокая доля экстремумов тепла отмечается в Арктическом поясе как на континентах, так и над океанами: 46-49% 5%-х экстремумов тепла и 9-15% абсолютных максимумов (табл. 3); экстремумов холода здесь также не наблюдалось. Регионально осредненная среднегодовая температура превысила в 2017 г. прежний абсолютный максимум в Северной Атлантике, умеренном поясе Южного полушария и на суше Южного полушария (табл. 4).

Таблица 4. Пространственно осредненные значения аномалий приземной температуры (^{o}C) и их вероятности непревышения на территории Земного шара в 2017 г. (в среднем за год и по сезонам)

Регион	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	vT_{2017}	$F_{\%}$	vT_{2017}	$F_{\%}$	vT_{2017}	$F_{\%}$	vT_{2017}	$F_{\%}$	vT_{2017}	$F_{\%}$
HadCRUT4 (суша+море)										
Земной шар*	0.68	98	0.74	99	0.76	99	0.67	98	0.56	95
Северное полушарие*	0.92	98	1.01	98	0.97	99	0.89	98	0.81	97
Южное полушарие*	0.43	97	0.47	97	0.55	98	0.45	96	0.31	90
Атлантика (15-70°с.ш.)	**0.80**	**100**	**0.79**	**100**	**0.70**	**100**	0.70	92	**0.85**	**100**
Тихий океан (20-65°с.ш.)	0.57	97	0.38	94	0.49	97	0.75	96	0.64	97
Арктический пояс (65-90°с.ш.)	2.49	99	2.60	97	2.84	99	1.27	95	2.13	97
Умеренный пояс СП (25-65°с.ш.)	1.04	98	1.18	96	1.08	99	0.98	97	0.84	94
Тропики (25°ю.ш.-25°с.ш.)	0.54	97	0.56	96	0.61	97	0.60	97	0.44	90
Умеренный пояс ЮП (65-25°ю.ш.)	**0.58**	**100**	0.47	99	0.60	98	0.54	99	0.44	98
Антарктический пояс (90-65°ю.ш.)	0.12	57	0.43	98	0.63	84	**-0.37**	42	0.10	56
IGCE-T3288 (суша)										
Земной шар	1.21	99	1.39	99	1.24	99	1.01	99	1.00	97
Северное полушарие	1.39	99	1.69	98	1.48	99	1.08	97	1.12	97
Южное полушарие	**0.76**	**100**	0.69	98	0.67	96	**0.86**	**100**	0.72	98
Северная Америка	1.47	96	2.40	95	1.02	89	0.92	94	1.23	95
Евразия	1.54	99	1.72	94	1.92	97	1.18	97	1.10	93
Южная Америка	0.84	99	0.70	96	0.47	88	0.95	99	0.74	94
Африка	0.96	93	1.02	96	1.29	97	1.22	98	0.89	90
Австралия	0.85	97	0.53	88	0.72	85	1.02	96	1.02	93
Антарктида	0.17	69	0.81	99	1.01	92	-0.61	33	-0.05	48
CRUTEM4 (суша)										
Земной шар*	1.12	98	1.32	99	1.16	99	1.03	99	0.96	97
Северное полушарие*	1.30	98	1.62	98	1.41	99	1.08	97	1.06	96
Южное полушарие*	0.76	99	0.71	98	0.67	97	**0.93**	**100**	0.76	98

Примечания: 1. vT_{2017}, ^{o}C – наблюденная аномалия в 2017 г. (относительно 1961-1990 гг.);
2. $F_{\%} = prob(X \leq vT_{2017})$ – значение эмпирической функции распределения по данным за 1911-2016 гг. (вероятность непревышения в %);
3. Красным шрифтом выделены абсолютные максимумы – наибольшие из всех значений ряда за 1911-2017 гг.

Зимой 2017 г. наибольшие положительные аномалии температуры отмечены в умеренных и полярных широтах Северного полушария, преимущественно на континентах. В это время 82% всех положительных наземных данных (ИГКЭ, Т3288) зарегистрированы станциями, расположенными в Северном полушарии, в том числе 65% – севернее 30-й параллели. Максимальные положительные аномалии по станционным данным отмечены на островах Российской Арктики (до 12.3°С), на севере Европы (11.4°С) и в Австралии, где в отдельные дни максимальная температура в дневные часы достигала 39-40°С.

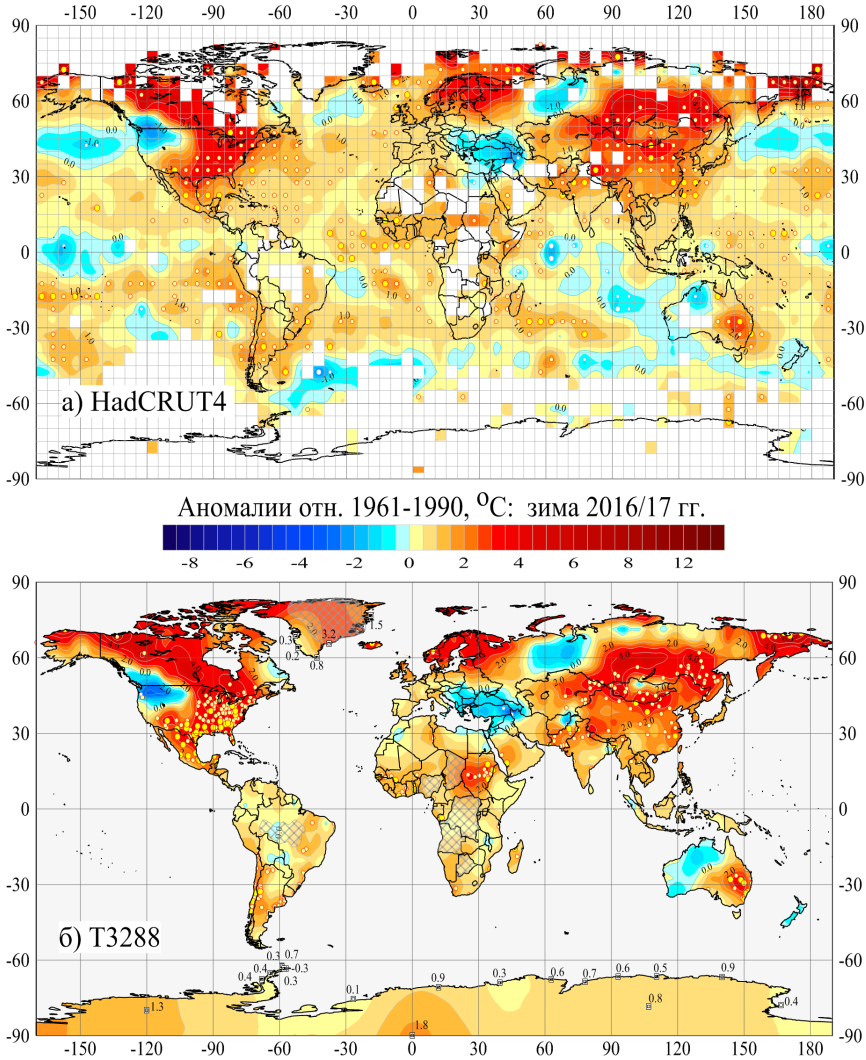

Рисунок 3а. См. рис. 2, но для сезонных аномалий: зима 2017 г.

Весна оказалась самым теплым сезоном 2017 г., когда на 91% станций по данным ИГКЭ (и на 88% боксов по данным HadCRUT4) аномалии температуры были положительными, при этом на 23.9% станций аномалии превысили уровень 95-го процентиля, а на 5.3% станций и вовсе были

перекрыты прежние температурные рекорды. Самые крупные положительные сезонные аномалии (7.6-8.2°С) отмечены на северо-востоке Сибири. Важной особенностью сезона является резкое похолодание Арктического пояса от марта к маю, а именно: увеличилась доля станций с отрицательными аномалиями (от 4% до 45%), уменьшился процент станций с 5%-ми экстремумами тепла (от 58% до 4%) и ни одна станция не зафиксировала новый абсолютный максимум (в марте их было 39%). На территории России эта статистика еще ярче. В марте доля положительных аномалий составила 99.7%, экстремумов тепла (выше 95-го процентиля) – 60.8%, абсолютных максимумов – 22.4%. В мае им соответствуют 56.9%, 6.5%, 0.3%.

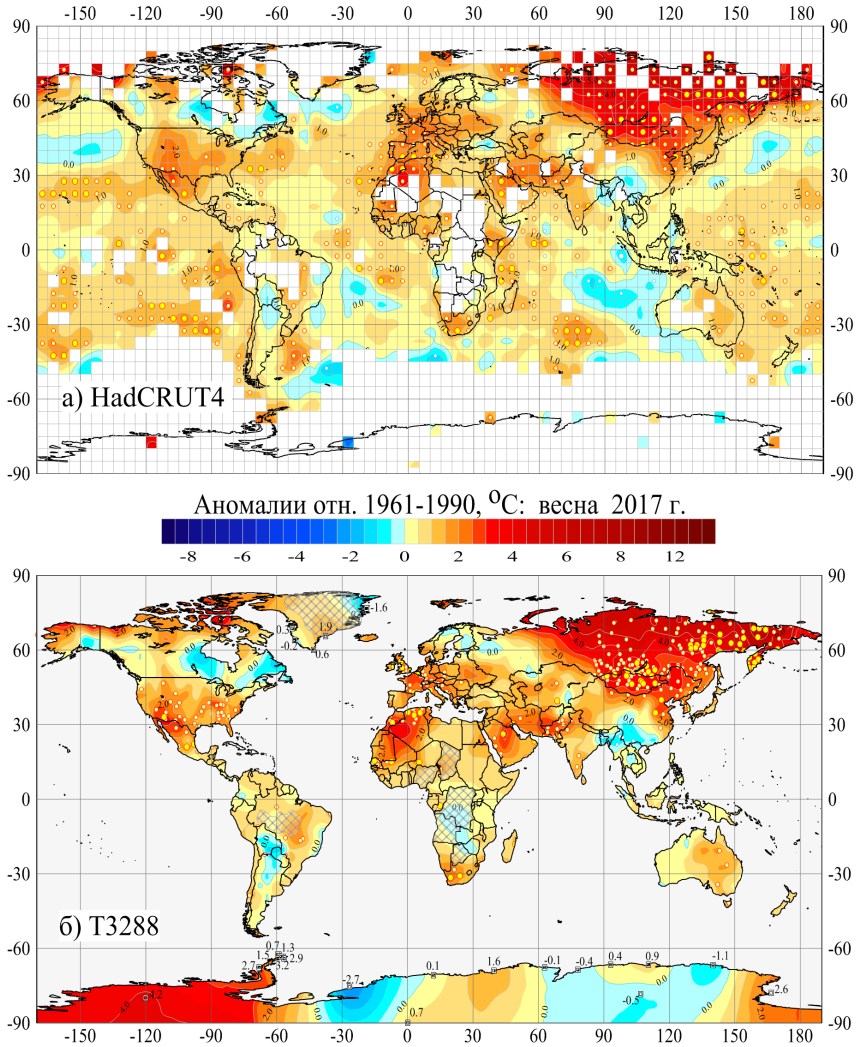

Рисунок 3б. См. рис. 3а, но для весеннего сезона 2017 г.

Летний сезон стал вторым самым теплым над сушей Земного шара (Т3288, CRUTEM4) и рекордно теплым над сушей Южного полушария. При этом доля положительных сезонных аномалий была даже чуть меньше, чем

весной (около 88%), а в восточной Антарктиде сформировалась обширная область отрицательных аномалий, так что сезонная аномалия температуры оказалась отрицательной даже в среднем по территории Антарктиды и Антарктического широтного пояса (табл. 4). Отрицательные аномалии наблюдались этим летом также на континентах Северного полушария (до 17-20% станций; в Арктике – 32-35% станций) и акваториях океанов Южного полушария (рис. 3в). Самым теплым месяцем сезона был июль, за счет которого, по-видимому, и сложился температурный рекорд всего сезона.

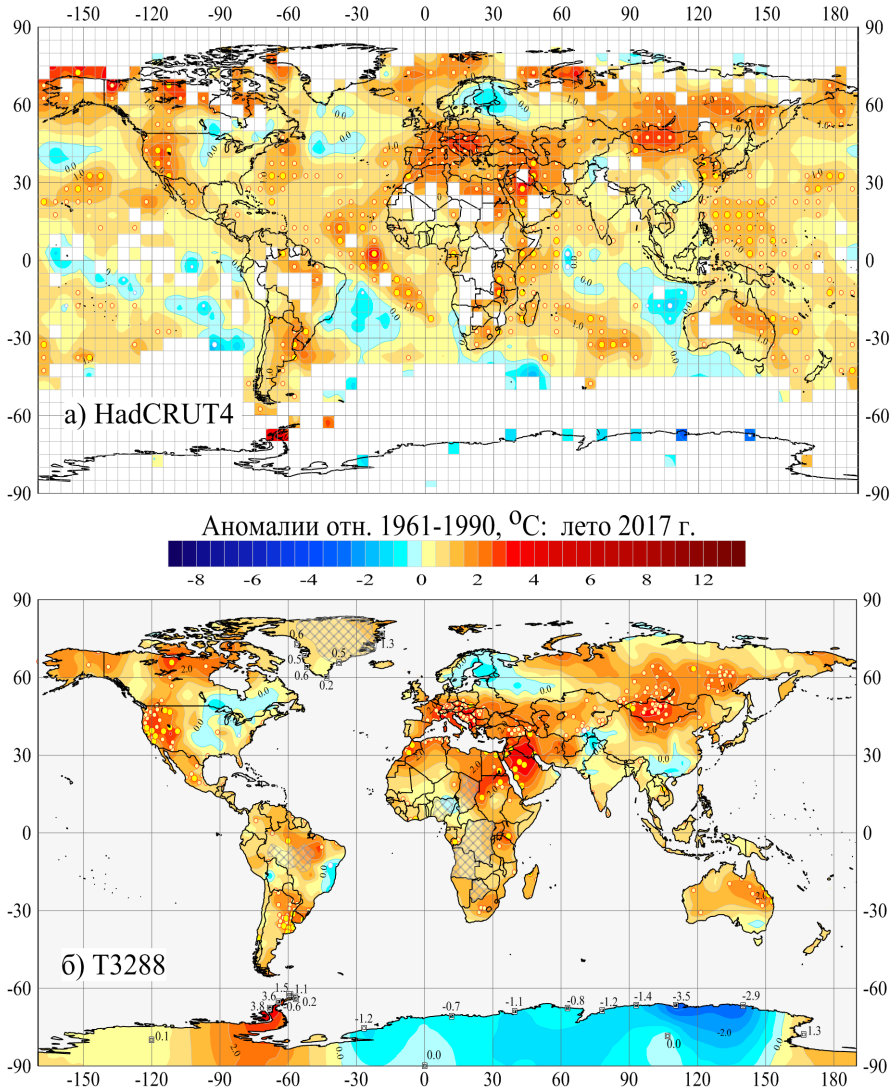

Рисунок 3в. См. рис. 3а, но для лета 2017 г.

Осень 2017 г. характеризуется пониженной температурой поверхностного слоя воды в Южном полушарии на протяжении всего сезона и преобладанием обширных положительных температурных аномалий в Арктическом регионе (на обоих континентах и в океане). Локализация отрицательных аномалий

менялась от месяца к месяцу, наиболее крупные из них наблюдались в сентябре в Западной Антарктиде и Сибири, в ноябре – на территории Канады и на юге Дальнего Востока.

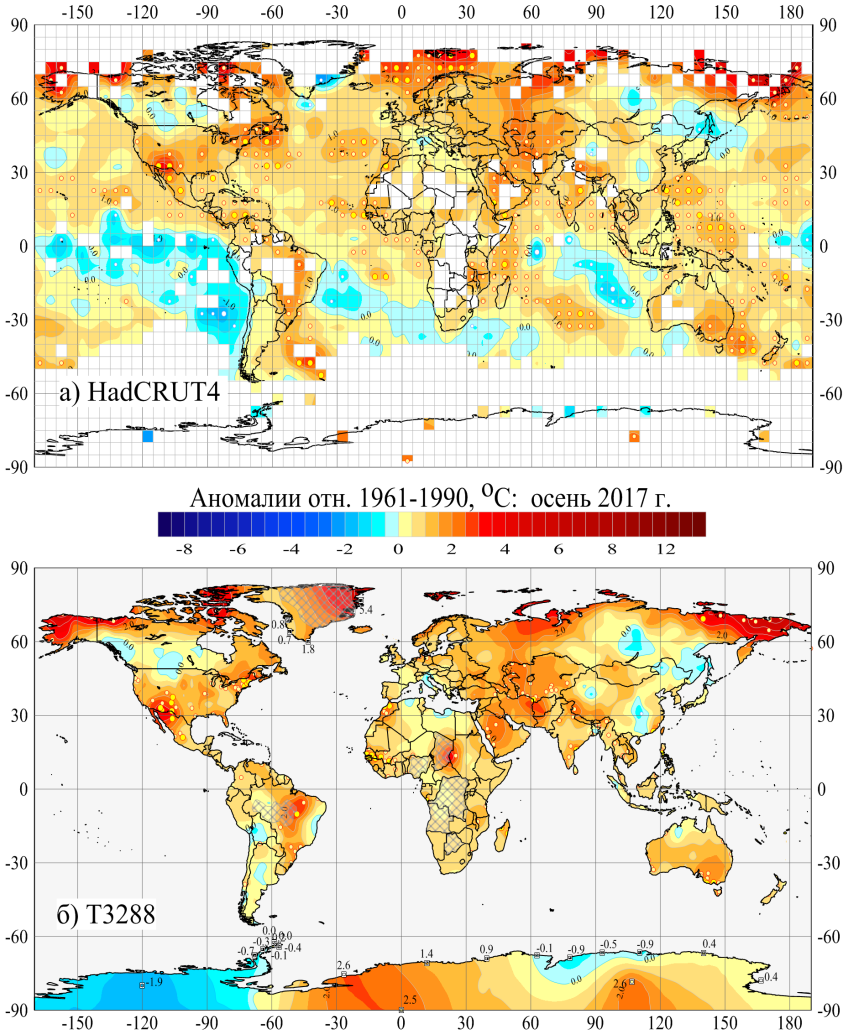

Рисунок 3г. См. рис. 3а, но для осени 2017 г.

2.3. Климатические аномалии регионального и глобального масштаба

На рис. 4 рассмотренные выше глобальные и полушарные временные ряды приповерхностной температуры месячной дискретности представлены в вероятностной шкале (Груза и др., 2016, 2017). Ось абсцисс соответствует шкале времени (с шагом месяц), а ось ординат – функции распределения $F_{ym}=Prob(x_m \leq X_{ym})$, т.е. значениям вероятности непревышения. На рисунке значение X_{ym} в каждый момент времени (y, m) заменено значением функции распределения F_{ym} (аналог ранга в упорядоченном по возрастанию временном ряду), т.е. частотой непревышения значения X_{ym} среди данных того же месяца на всем периоде наблюдений. Значение $F_{ym}=0$ соответствует осущест-

влению рекордно холодного месяца, а F_{ym}=1, напротив, рекордно теплого месяца среди одноименных месяцев всех остальных лет (и до, и после текущего года).

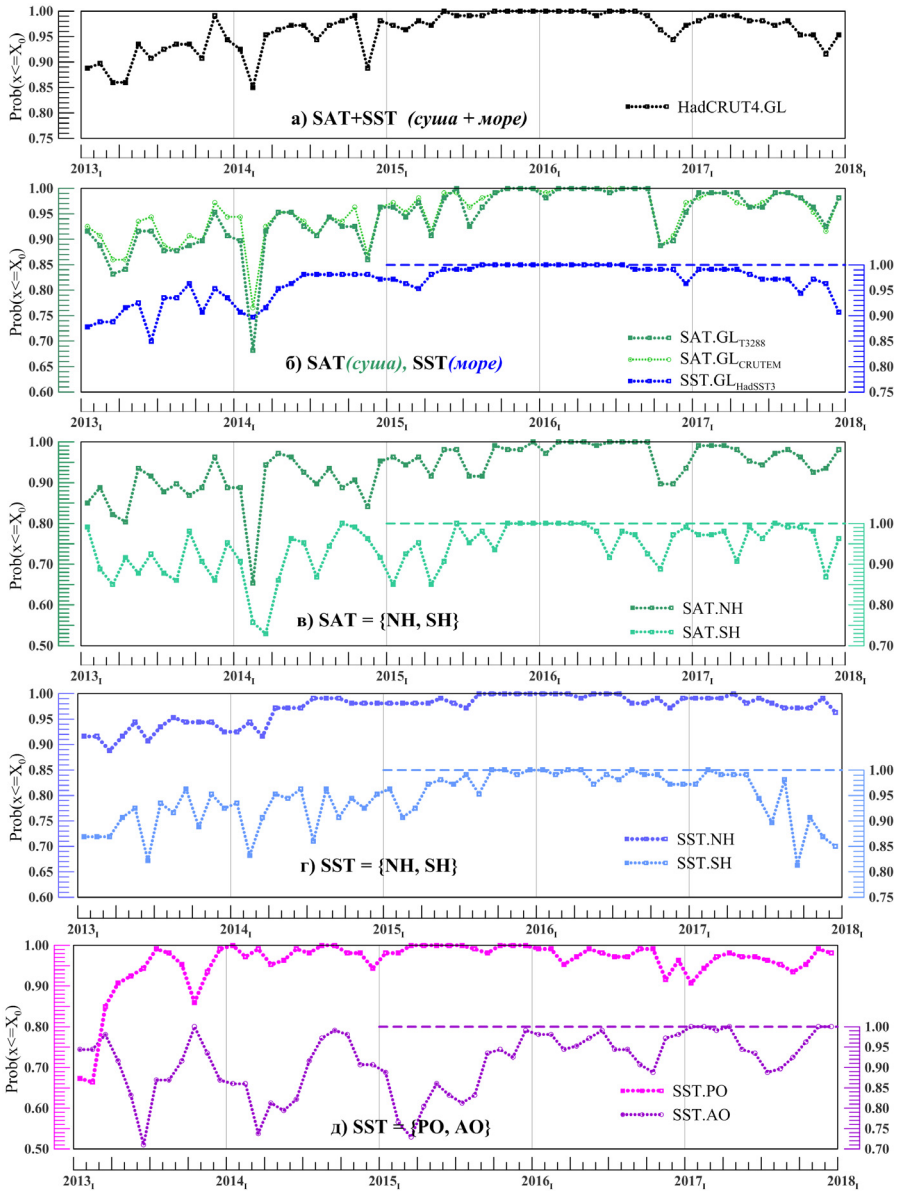

Рисунок 4. Ход вероятностей непревышения среднемесячных аномалий глобальной приповерхностной температуры и ее составляющих с января 2013 г. по декабрь 2017 г.
а) глобальная температура: Земной шар (HadCRUT4, суша+море);
б) глобальная температура воздуха над сушей (T3288, CRUTEM4) и воды на поверхности океанов и морей (HadSST3);
в) температура воздуха над сушей Северного и Южного полушарий (T3288);
г) температура воды на поверхности океанов и морей, в среднем по акваториям Северного и Южного полушарий (HadSST3).
д) температура воды на поверхности северных частей Тихого (20-65°с.ш.) и Атлантического (15-70°с.ш.) океанов

Такой подход позволяет исключить сезонный ход и сезонные различия в масштабах изменчивости и оценить экстремальность значений ряда в любой точке рассматриваемого временного интервала. В результате выявляются длительные климатические аномалии и резкие выбросы, если таковые присутствуют в исследуемых рядах.

В данном случае (рис. 4) детально, с шагом месяц, рассматривается «ход современного глобального потепления» в течение последних пяти лет, включая момент скачкообразного повышения глобальной температуры в 2015 году. Вероятности непревышения оценивались для каждого годо-месяца по полной выборке данных этого месяца за 1911-2017 гг. (так называемый «многолетний месяц»).

На наш взгляд, приведенные на рис. 4 кривые позволяют выделить в наблюдаемых колебаниях температуры некоторые интересные детали, в том числе:

• **Наиболее яркая аномалия 2017 г.** – резкое понижение температуры воды на поверхности океанов в Южном полушарии во втором полугодии (рис. 4г).

• **Наиболее устойчивая аномалия последних лет** – экстремально высокая аномалия температуры воды на поверхности Мирового океана.

С апреля 2014 г. и вплоть до конца 2017 г., т.е. почти четыре года подряд, средняя температура поверхности океанов Северного полушария не опускается ниже уровня 95-го процентиля (рис. 4г).

• **Длительная (более 3 лет) экстремально высокая аномалия температуры воды на поверхности океанов Северного полушария** может быть ключевым фактором температурного рекорда 2015-2016гг.

Рекордно-высокий уровень глобальной температуры Земного шара (в целом, над континентами и океанами), сохранявшийся непрерывно с мая 2015 г., до сентября 2016 г., прервался на 3 месяца, а затем вновь продлился до апреля 2017 г. (рис. 4а). Из двух составляющих («суша» и «море») вклад океанов в рассматриваемую аномалию глобальной температуры явно доминирует (рис. 4б). Переходя к рис. 4г, можно заключить, что столь теплый температурный режим Мирового океана в 2015-2016 гг. поддерживался, в большей мере, океанскими акваториями Северного полушария (рис. 4г), притом скорее Тихого океана, нежели Атлантического (рис. 4д).

3. Тенденции многолетних изменений приземной температуры в различных районах земного шара

Рассматриваются распределения локальных оценок температурных трендов на территории Земного шара, в среднем за год и за каждый сезон (рис. 5-6), а также их обобщения для крупных регионов мира: земной шар в целом, полушария, основные широтные пояса, континенты и океаны (табл. 5-8).

3.1. Пространственные распределения локальных оценок тренда, 1976-2017 гг.

Глобальная картина трендов (рис. 5), в сравнении с трендами за 1976-2016 гг., изменилась незначительно. Как и в оценках за 1976-2016 гг., в среднем за год и во все сезоны на большей части земного шара преобладает тенденция к потеплению (на 98% станций и 97.3% боксов, табл. 5). Основной вклад в него, по-прежнему,

принадлежит Северному полушарию при доминирующей роли континентов. Наибольшая скорость потепления отмечается в арктических широтах, в Европе, Китае, в США и на востоке России. Отрицательные тренды (2-3%, табл. 5), по-прежнему, выявлены только в узких секторах на побережье Антарктиды, на востоке Тихого океана и на северном побережье Австралии.

Основная масса оценок трендов статистически значима на 1%-м уровне. Лишь для Антарктиды для зимнего и весеннего сезонов в среднем получены отрицательные тенденции, которые статистически незначимы даже на 10%-м уровне.

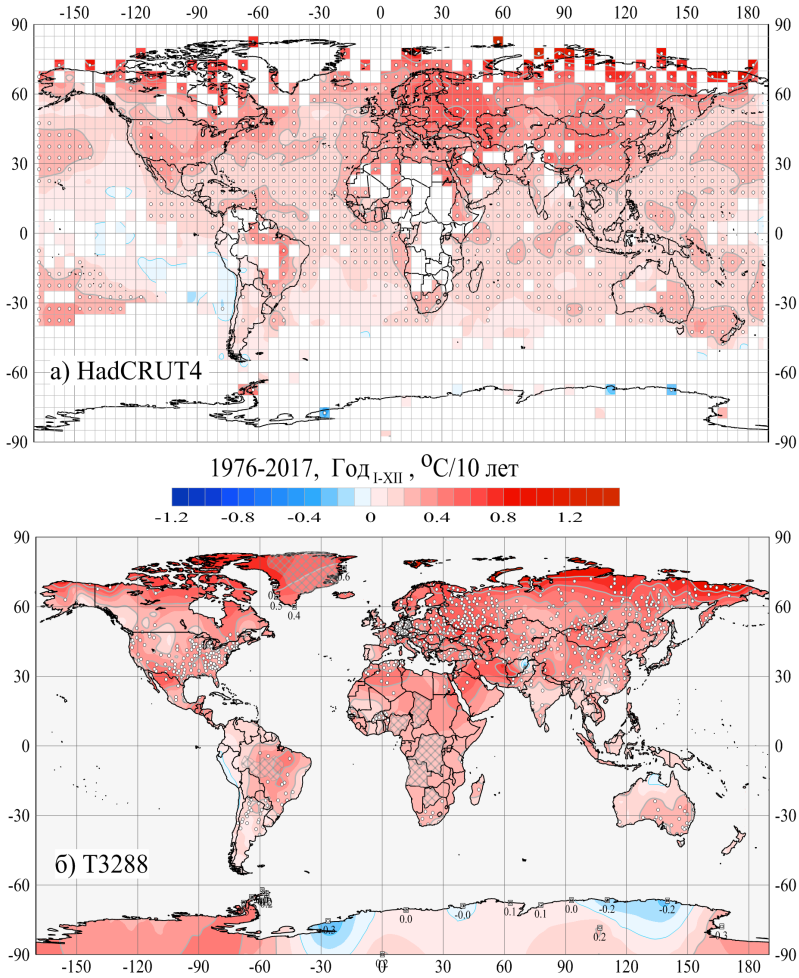

Рисунок. 5. Пространственное распределение коэффициентов линейного тренда средней годовой температуры у поверхности Земного шара за период 1976-2017 гг. (^{o}C/10 лет) *а) по данным HadCRUT4 на полной сетке 5x5 гр.; б) по станционным данным T3288. Белыми кружками выделены боксы/станции, для которых тренд статистически значим на 1%-м уровне. Пустые боксы (а) и штриховка (б) указывают области отсутствия наблюдений. Для станций Антарктиды и Гренландии показаны числовые значения коэффициентов тренда*

Таблица 5. Распределение локальных оценок тренда за 1976-2017 в зависимости от знака коэффициента тренда ***b*** и уровня значимости ***α***

Данные N		b<0				b>=0			
		Всего	в том числе			Всего	в том числе		
			α <=1%	α <=5%	α <=10%		α <=1%	α <=5%	α <=10%
T3288	1612	33	4	6	9	1579	1220	1386	1435
		2.0%	0.2%	0.4%	0.6%	98.0%	75.7%	86.0%	89.0%
		В том числе в Северном полушарии							
	1359	11	2	2	4	1348	1083	1221	1254
		0.8%	0.1%	0.1%	0.3%	99.2%	79.7%	89.8%	92.3%
HadCRUT4	1422	38	3	5	5	1384	1025	1156	1203
		2.7%	0.2%	0.4%	0.4%	97.3%	72.1%	81.3%	84.6%
		В том числе в Северном полушарии							
	897	8	0	0	0	889	719	787	807
		0.9%	0.0%	0.0%	0.0%	99.1%	80.2%	87.7%	90.0%

Примечание. Таблица обобщает распределение оценок на рис. 5. Процентное содержание данных рассчитано относительно N (N - общее количество станций/боксов).

Сезонные особенности распределения трендов приземной температуры за 1976-2017 гг. (рис. 6а, 6б), в сравнении с 1976-2016, также изменились незначительно.

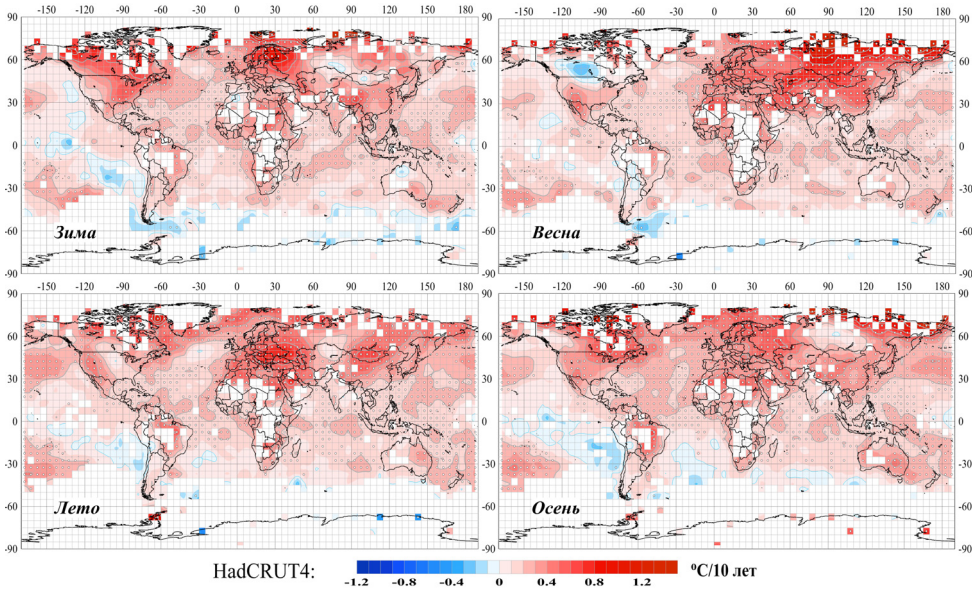

Рисунок 6а. См. рис. 5, но для сезонных трендов по данным в центрах 5-градусных боксов HadCRUT4 (Hadley/CRU, суша+море).

Пустые боксы соответствуют пунктам, в которых отсутствуют данные за 2017 г. или объем имеющихся наблюдений недостаточен для расчета оценок тренда

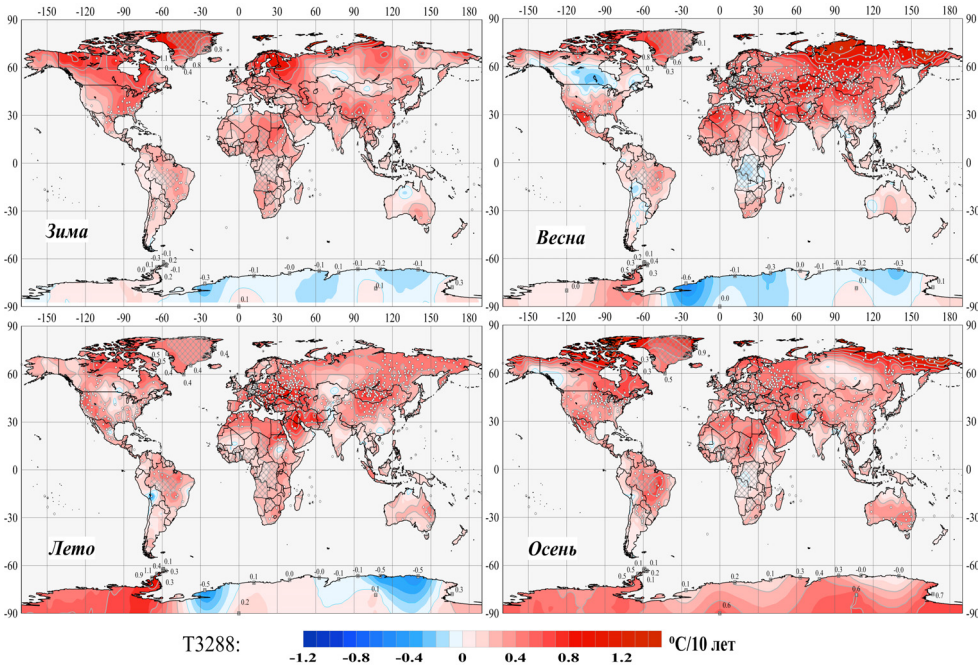

Рисунок 6б. См. рис. 6а, но для суши Земного шара (по данным станционных наблюдений T3288, ИГКЭ, только суша).
Штриховкой отмечены области отсутствия станционных наблюдений

Таблица 6. Коэффициенты линейного тренда (*°C/10 лет*) глобальных временных рядов приземной температуры за 1976-2017 гг. и 1918-2017 гг., в среднем за год и по сезонам

Регион	1976-2017					1918-2017				
	Год	Зима	Весна	Лето	Осень	Год	Зима	Весна	Лето	Осень
HadCRUT4 (суша+море)										
Земной шар	0.179	0.168	0.187	0.185	0.181	0.08	0.084	0.087	0.077	0.073
Северное полушарие	0.250	0.234	0.254	0.255	0.258	0.088	0.096	0.099	0.082	0.077
Южное полушарие	0.109	0.102	0.120	0.116	0.104	0.072	0.071	0.075	0.072	0.070
T3288-ИГКЭ (суша)										
Земной шар	0.292	0.284	0.302	0.273	0.304	0.119	0.136	0.139	0.099	0.097
Северное полушарие	0.348	0.341	0.377	0.317	0.348	0.132	0.157	0.162	0.105	0.102
Южное полушарие	0.159	0.151	0.126	0.172	0.200	0.089	0.087	0.086	0.089	0.092
CRUTEM4 (суша)										
Земной шар	0.284	0.278	0.292	0.270	0.297	0.114	0.129	0.131	0.098	0.097
Северное полушарие	0.343	0.340	0.372	0.316	0.345	0.125	0.149	0.153	0.100	0.098
Южное полушарие	0.166	0.155	0.133	0.179	0.200	0.091	0.087	0.087	0.096	0.094
HadSST3 (море)										
Земной шар	0.140	0.126	0.139	0.158	0.143	0.064	0.061	0.065	0.069	0.063
Северное полушарие	0.186	0.160	0.160	0.220	0.209	0.062	0.055	0.057	0.072	0.064
Южное полушарие	0.097	0.096	0.118	0.099	0.082	0.068	0.069	0.073	0.068	0.064

Примечание. Все оценки в таблице статистически значимы на уровне 0.1%.

Таблица 7. Коэффициенты линейного тренда (*°C/10 лет*) пространственно осредненных аномалий приземной температуры для северных частей Атлантического и Тихого океанов, основных широтных поясов и континентов земного шара за 1976-2017 гг. (в среднем за год и по сезонам)

Регион	Год	Зима	Весна	Лето	Осень
HadCRUT4 (суша+море)					
Атлантика (15-70N)	0.208	0.207	0.176	0.213	0.241
Тихий океан (20-65N)	0.174	0.135	0.141	0.226	0.195
Арктический пояс (65-90N)	0.598	0.568	0.678	0.446	0.626
Умеренный пояс СП (25-65N)	0.292	0.26	0.297	0.311	0.305
Тропики (25S-25N)	0.148	0.151	0.152	0.152	0.143
Умеренный пояс ЮП (65-25S)	0.134	0.089	0.135	0.13	0.116
Антарктический пояс (90-65S)	0.052	**-0.026**	**-0.026**	0.043	0.265
T3288 (суша)					
Северная Америка	0.308	0.443	**0.161	0.269	0.37
Евразия	0.396	0.314	0.523	0.375	0.359
Южная Америка	0.19	0.184	0.125	0.194	0.224
Африка	0.3	0.266	0.351	0.299	0.299
Австралия	0.18	**0.114	0.129	0.188	0.283
Антарктида	0.041	-0.015	-0.031	0.027	0.272

Примечание. * α <= 5%; ** α <= 10%; серая заливка α >10%, где α – уровень значимости. Оценки, статистически значимые на 1%-уровне, приведены без выделения.

Показатели k1-k3 сравнивают интенсивность потепления в разных категориях данных (табл. 8):

– скорость потепления у поверхности суши выше, чем на поверхности океанов в 1.3-2.1 раза (k1);

– современное потепление в Северном полушарии в 1976-2017 гг. примерно в 2 раза быстрее, чем в Южном (k2);

– современное потепление, в сравнении с потеплением последнего 100-летия, ускорилось в Северном полушарии в 2.6-3.0 раза, а в Южном – в 1.4-1.8 раз, причем в СП в большей степени – над океанами, а в ЮП – над сушей (k3).

Таблица 8. Сравнение скорости глобального потепления (у поверхности) в разных факторных подгруппах, в среднем за год

	Показатель	**1976-2017**			**1918-2017**		
		ЗШ	**СП**	**ЮП**	**ЗШ**	**СП**	**ЮП**
k_1	$b_{T3288}/b_{HadSST3}$	2.09	1.87	1.64	1.86	2.13	1.31
	$b_{CRUTEM4}/b_{HadSST3}$	2.03	1.84	1.71	1.78	2.02	1.34
k_2	$b_{СП}/b_{ЮП}$	**1976-2017**			**1918-2017**		
		T3288	**CRUTEM**	**HadSST**	**T3288**	**CRUTEM**	**HadSST**
		2.19	2.07	1.92	1.48	1.37	0.91
k_3	$b_{1976-2017}/b_{1918-2017}$	**СП**			**ЮП**		
		T3288	**CRUTEM**	**HadSST**	**T3288**	**CRUTEM**	**HadSST**
		2.64	2.74	3.00	1.79	1.82	1.43

3.2. Временная изменчивость региональных оценок тренда, 1901-2017 гг.

Подробная динамика интенсивности потепления на протяжении последних 100 лет показана ниже с помощью оценок скользящих коэффициентов линейного тренда для трех континентов и северных частей Атлантического и Тихого океанов (рис. 7). Такой способ представления позволяет рассмотреть подробно временную структуру изменений исследуемой переменной (Груза и др., 1992; Груза и др. 2017). Каждая статистика рассматривается здесь как функция текущего момента времени (ось OX) и продолжительности периода оценивания (ось OY).

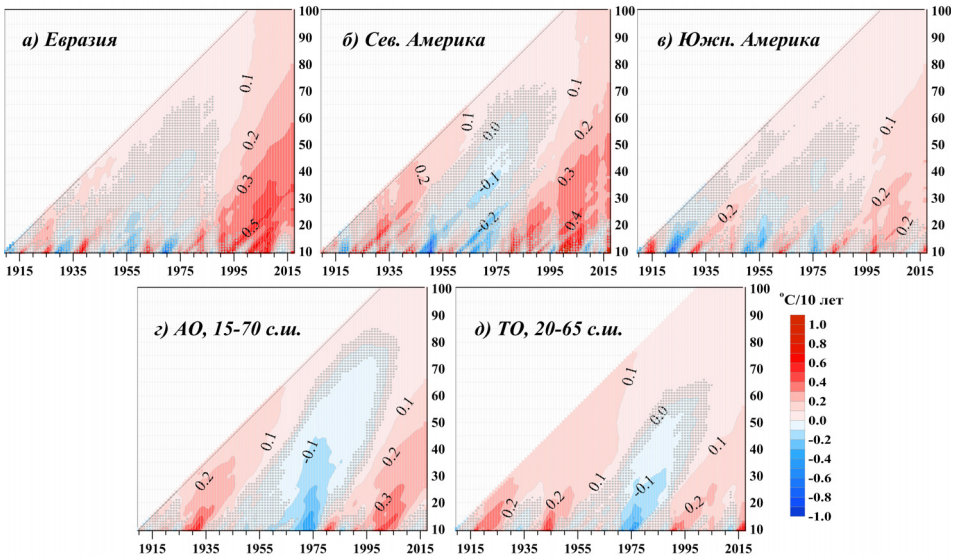

Рисунок 7. Скользящие коэффициенты линейного тренда регионально осредненных аномалий температуры в зависимости от длины периода оценивания (oX) и его конечного года (oY) для континентов и океанов

а - Евразия, б - Северная Америка, в - Южная Америка, г - Северная Атлантика (15-70N), д - Северный Тихий океан (20-65N).

Оценки получены для скользящих (с шагом 1 год) периодов продолжительностью от 10 до 100 лет в течение 1901-2017 гг. Использованы данные: T3288 (а, б, в) и HADCRUT4 (г, д). Затенены области, где тренд статистически незначим на 5%-м уровне.

По данным рис. 7 можно отметить следующие различия во временной структуре изменений приповерхностной температуры над континентами и океанами:

- Скорость современного потепления выше над Евразией и Северной Америкой, чем над Южной Америкой и севером Атлантики и Тихого океана.
- Наибольшей скоростью потепления (0.4-0.5°C/10 лет) в Евразии отличаются 20-30-летние периоды со сроком завершения 1990-2010 гг., а в Северной Америке, Южной Америке и Северной Атлантике максимум потепления приходится на 15-25 летние периоды, предшествующие 1997-2005 гг.
- На всех представленных фрагментах хорошо выражено чередование периодов потепления и похолодания, причем над океанами их временной масштаб существенно выше.

- На всех трёх континентах отрицательные тренды статистически незначимы на уровне 5%, кроме 30-40 летнего периода слабых отрицательных трендов в середине XX века над Северной Америкой.

Обсуждение

О переходе к базовому периоду 1981-2010

В пресс-релизе ВМО от 18.01.2018 (WMO, 2018) оценки аномальности 2017 г. приведены относительно базового периода 1981-2010 гг.. вместо принятого в настоящее время периода 1961-1990 (WMO, 1996). Там же дана общая для всех рекомендация при расчете аномалий перейти к новому базовому периоду, который «лучше отражает современное состояние климата Земного шара». (Оценки, приведенные в данной статье, также рассчитаны относительно базового периода 1961-1990). Понятно, что изменение базового периода не повлияет на оценки трендов, но приведет к смещению аномалий (как локальных, в точках наблюдений, так и региональных и глобальных), которое равно разности норм двух периодов и означает изменение климата от 1961-1990 к 1981-2010 гг.

Ниже приводятся реальные данные об этих смещениях применительно к глобальным рядам Hadley/CRU месячной дискретности (рис. 8) и к данным станционных наблюдений T3288, осредненным за год (рис.9).

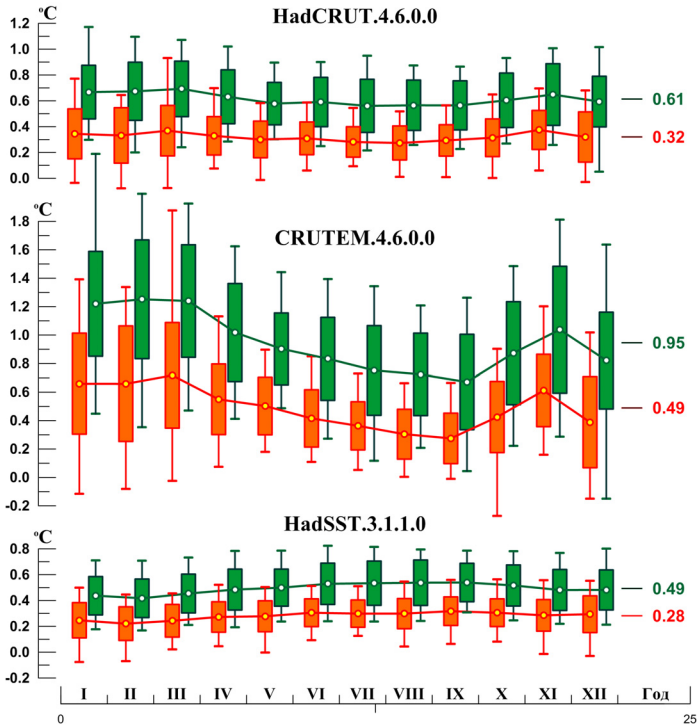

Рисунок 8. Сезонный ход статистик приповерхностной температуры Земного шара по данным массивов Hadley/CRU для двух базовых периодов: 1961-1990 (красного цвета) и 1981-2010 (зеленого цвета).

Справа отсечками показаны значения норм для средней годовой температуры

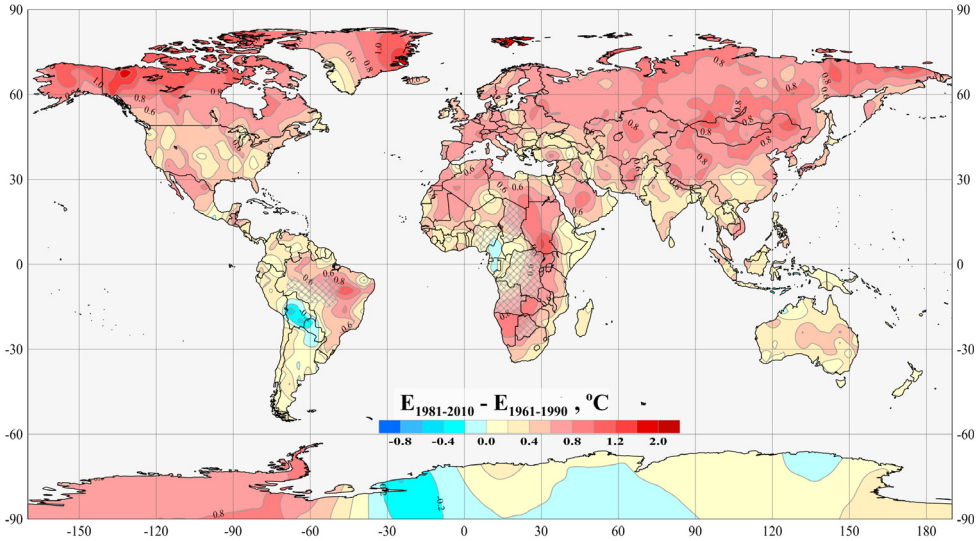

Рисунок 9. Изменение 30-летних средних значений температуры приземного воздуха от 1961-1990 гг. к 1981-2010 гг.
Использованы данные массива T3288 (ИГКЭ)

В первом случае рассматриваются три глобальных временных ряда приповерхностной температуры Земного шара: в среднем для всей поверхности (суша+море, HadCRUT4), только для суши (CRUTEM4, температура приземного воздуха) и только для моря (HadSST3, температура поверхностного слоя воды). Использованы данные с сайта Hadley/CRU от 22.01.2018.

Для каждого ряда приведен ход ежемесячных статистик для двух базовых периодов 1961-1990 и 1981-2010 (рис. 8). Уже визуально виден факт глобального потепления от первого 30-летия ко второму и его величина. Так, для среднегодовых значений 30-летнее потепление составило 0.29°C для Земного шара в целом, 0.46°C для суши Земного шара и 0.21°C для Мирового океана. Видны и разные масштабы изменчивости для этих трех переменных, и изменение всех статистик от месяца к месяцу. Увеличение минимальных и максимальных значений от периода к периоду, вообще говоря, не пропорционально изменению средних. Например, для температуры над сушей в январе и марте увеличение минимумов и средних примерно одинаково, но увеличение максимума в январе много выше увеличения среднего, а в марте – ниже. В декабре подобные различия касаются изменения минимума. В ноябре ярко проявляется увеличение изменчивости. Такого рода детали можно найти на данном рисунке для всех месяцев для каждой из рассматриваемых трех переменных.

Во втором случае (рис. 9) по станционным данным T3288 для каждой станции получены 30-летние средние двух базовых периодов (в среднем за год) и картированы разности этих средних.

Можно видеть, что «глобальное потепление» не означает «потепление всюду». На большей части суши Земного шара второе 30-летие действительно теплее первого, хотя интенсивность его в разных регионах не одинакова, и есть области похолодания. В Северном полушарии за эти 20 лет

потепление охватило практически всю территорию континентов. Разность норм на станциях колеблется от - 0.5°С до 1.5°С. Особенно большие различия наблюдаются в умеренных широтах Северного полушария. На севере Канады, Аляске и в отдельных районах Евразии повышение средних температур за 20 лет между указанными 30-летиями достигло 1.5°С.

В центральных районах Южной Америки, на Атлантическом побережье экваториальной Африки, в ряде районов Восточной Антарктиды второе 30-летие стало холоднее, однако похолодание весьма незначительное – в пределах 0.5°С.

Работа выполнена в рамках:

- *темы 1.3.1.2 «Мониторинг изменений и изменчивости климата Земного шара на основе глобальных данных о приповерхностной температуре месяч-ной и суточной дискретности и данных реанализа». Программа научно-исследовательских, технологических и других работ Росгидромета для государственных нужд в области гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды*
- *темы 0148-2018-0006 (0148-2014-0005) ГЗ «Решение фундаментальных про-блем анализа и прогноза состояния климатической системы Земли» (рег. № 012001352499).*

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, Гидрометеоиздат, с. 3-20

Груза Г.В., Ранькова Э.Я., Рочева Э.В., Самохина О.Ф. 2016. Особенности температурного режима у поверхности земли в январе – июне 2016 г. – Фундаментальная и прикладная климатология, №2, с. 119-142.

Груза Г.В., Ранькова Э.Я., Рочева Э.В., Самохина О.Ф. 2017. Особенности температурных аномалий у поверхности земли в 2016 г. – Фундаментальная и прикладная климатология, №1, с. 124-146.

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=75&lang=en

ЦМКП 2016. Решение Центральной методической комиссии по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам от 20 декабря 2016 г. Электронный ресурс. URL: http://method.meteorf.rum.

CPC 2018. Climate Diagnostics Bulletin (monthly). Электронный ресурс. URL: http://www.cpc.ncep.noaa.gov/ products/CDB/CDB_Archive_html/CDB_archive.shtml.

JMA 2018. Global temperature for 2017 to be the highest since 1891. Электронный ресурс. URL: http://ds.data.jma.go.jp/tcc/tcc/products/gwp/temp/ann_wld.html .

NASA 2017. Global warming from 1880 to 2017. Электронный ресурс. URL: https://climate.nasa.gov/climate_resources/139/.

NASA NOAA. 2018. Long-term warming trend continued in 2017: NASA, NOAA. Электронный ресурс. URL: https://climate.nasa.gov/news/2671/long-term-warming-trend-continued-in-2017-nasa-noaa/.

NOAA 2018. NOAA National Centers for Environmental Information, State of the Climate: Global Climate Report for November 2017, published online December 2017, retrieved on February 4, 2018 from https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201711.

WMO 1996. Climatological Normas (CLINO) for the Period 1961–1990. Publ. 847, 768 p.

WMO 2017a: WMO Statement on the State of the Global Climate in 2017 Provisional Release Report from World Meteorological Organization Published on 06 Nov 2017 https://reliefweb.int/report/world/wmo-statement-state-global-climate-2017-provisional-release .

WMO 2017б: Press Release Number: 14122017/ El Nino/La Nina Update–december 2017. https://reliefweb.int/report/world/wmo-el-ni-ola-ni-update-december-2017.

WMO 2018: Press Release Number: 18-01-2018/WMO confirms 2017 among the three warmest years on record. https://public.wmo.int/en/media/press-release/wmo-confirms-2017-among-three-warmest-years-record

Статья поступила в редакцию: 11.02.2018 г. После переработки: 13.03.2018 г