DOI: 10.21513/2410-8758-2017-1-124-146 УДК 521.524.3

ОСОБЕННОСТИ ТЕМПЕРАТУРНЫХ АНОМАЛИЙ У ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМНОГО ШАРА В 2016 ГОДУ

Г.В. Груза [1,2], Э.Я. Ранькова [1,2], Э.В. Рочева [1,2], О.Ф. Самохина [1]

[1] Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН,
РФ, 107258, г. Москва, ул. Глебовская, д. 20Б; *ggruza@yandex.ru*

[2] Институт географии РАН,
РФ, 119017, г. Москва, Старомонетный пер., 29

Резюме. Анализируется температурный режим Земного шара в приповерхностном слое на основе данных наблюдений в 2016 г. и исторических данных с начала XX столетия. Оценки климатических аномалий и трендов на территории Земного шара рассматриваются с разной степенью детализации – от пространственных распределений локальных значений в точках наблюдений до региональных и глобальных обобщений (в том числе, средние для континентов, океанов, широтных поясов, полушарий, Земного шара в целом). Показано, что два последних года, 2016-й и 2015-й, были самыми теплыми в истории наблюдений в целом по Земному шару и в каждом полушарии. При этом глобальная температура у поверхности Земного шара (в среднем за год, в целом над сушей и океанами) остается рекордно высокой уже третий год подряд: аномалии в 2014, 2015 и 2016 составили 0.575, 0.760 и 0.773°C, соответственно. Однако во втором полугодии 2016 г. уровень экстремальности температурных условий определенно снизился. В частности, в сентябре прервался 16-месячный непрерывный период ежемесячных температурных рекордов глобальной температуры, длившийся с мая 2015 по сентябрь 2016 гг. (каждый месяц был теплее всех одноименных месяцев с 1901 по 2014 гг.). В целом, полученные оценки указывают на продолжающееся глобальное потепление. Основной вклад в него, по-прежнему, принадлежит Северному полушарию при доминирующей роли континентов. В сравнении с потеплением последнего столетия (1917-2016 гг.), современное глобальное потепление (1976-2016 гг.) ускорилось в среднем в 2.7-3 раза в Северном полушарии и менее, чем вдвое – в Южном. В Северном полушарии это ускорение активнее проявляется над океанами, а в Южном – над сушей.

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

FEATURES OF THE SURFACE TEMPERATURE ANOMALIES OVER THE GLOBE IN 2016

G.V. Gruza [1,2], E.Ya. Rankova [1,2], E.V. Rocheva [1,2], O.F. Samokhina [1]

[1] Institute of Global Climate and Ecology,
20B, Glebovskaya str., 107258, Moscow, Russia; *ggruza@yandex.ru*

[2] Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences,
29, Staromonetny lane, 119017, Moscow, Russia

Summary. The temperature regime of the Globe is analyzed using observed data for 2016 and historical data from the beginning of the XX century. Estimates of climatic anomalies and trends over the Globe are considered with different particularization, from spatial distribution of local values at the observational sites to regional and global generalizations (including, averages for continents, oceans, latitudinal belts, hemispheres, and the Globe as a whole). It is shown that last two years, 2016 and 2015, were the warmest in the history of observations for the Globe as a whole as well as for both hemispheres.. Furthermore, the global surface temperature (annual mean value over 'land+sea') remains at the highest ever level in the last three years: 2014, 2015 and 2016 anomalies were 0.575, 0.760 and 0.773°C, respectively. However, in the second half of 2016, a level of extremeness of temperature conditions was definitely declined. In particular, in September, the sixteen months' continuous period of monthly highest ever values of the global temperature was interrupted. This took place from May 2015 to September 2016, namely, each month was warmer respective months over 1901-2014. In general, the estimates obtained have indicated continuous global warming. The main contribution is made by the Northern Hemisphere, and a role of continents is dominant. The recent global warming of 1976-2016 is as much as 2.7-3 times faster than of 1917-2016 for the Northern Hemisphere and less than two times faster for the Southern Hemisphere. In the Northern Hemisphere, this acceleration is more pronounced over oceans. In the Southern Hemisphere it is higher over continents.

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

Введение

Статья продолжает серию публикаций о текущем состоянии климата Земного шара на основе данных регулярного мониторинга климата в ФГБУ «ИГКЭ Росгидромета и РАН» (ЦМКП, 2016). Предыдущая статья этой серии содержала обзор данных за первое полугодие 2016 г. (Груза и др., 2016). Текущий выпуск завершает анализ данных за 2016 г. в целом и содержит информацию об основных климатических аномалиях и температурных рекордах года и современных тенденциях в изменении температурного режима у поверхности Земного шара.

Многочисленные температурные рекорды 2016 г. привлекли внимание научной общественности и ведущих научных центров, занимающихся проблемой изменения климата и, в частности, проблемой современного глобального потепления (NASA GISS, 2016; NASA NOAA, 2017; NOAA NCEI, 2017; JMA, 2016a, 2016b; GISTEMP Team, 2017 и др.). В течение года опубликованы несколько пресс-релизов ВМО (WMO 2016a, 2016b) и два предварительных заявления о состоянии климата в 2016 г. (WMO, 2016c, 2017). Заключительный выпуск Заявления ВМО ожидается в марте 2017 г.

Во всех публикациях приводятся данные об осуществившихся рекордах глобальной температуры и сопутствующих экстремальных событиях. Многие авторы связывают новый температурный рекорд с последним Эль-Ниньо, особенно длительным и исключительно сильным (WMO, 2016a; Horton et al., 2016; JMA, 2016b; CPC/NCEP/NWS, 2016).

В предлагаемой статье приводятся основные количественные данные о климатических аномалиях приземной температуры в 2016 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.

Данные

Используются данные наблюдений за приземной температурой из двух источников - «данные ИГКЭ» и «данные Hadley/CRU».

Данные ИГКЭ (массив Т3288) включают данные стандартных наблюдений за температурой приземного воздуха (температура на высоте 2 м, телеграммы КЛИМАТ) с 1901 года на глобальной сети 3288 станций. Массив содержит данные наземных наблюдений и потому относится к категории «только суша», хотя среди станций есть и островные. Описание массива и каталог включенных в него станций можно найти на Web-сайте ИГКЭ http://climatechange.su (ИГКЭ, 2016б)

Данные Hadley/CRU – это апробированные и признанные мировым научным сообществом данные Метеослужбы Великобритании (Met Office Hadley Centre, UK) и Университета Восточной Англии (CRU UEA, UK). Комплект содержит три категории данных: CRUTEM4 (только суша, версия 4.5.0.0), HadSST3 (только море, версия 3.1.1.0) и HadCRUT4 (суша+море, версия 4.5.0.0). Каждая из категорий представлена четырьмя файлами (глобальные сеточные поля и глобально осредненные временные ряды для Земного шара, Северного и Южного полушарий). Данные подробно описаны на сайтах источника http://www.metoffice.gov.uk; https://crudata.uea.ac.uk/cru/data.

Данные всех категорий пополняются ежемесячно, в квазиреальном времени, средствами действующей технологии мониторинга климата: массив T3288 – непосредственно по данным телеграмм КЛИМАТ 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).

Отметим дополнительно, что все региональные оценки и региональные временные ряды приводятся в статье по двум источникам: по данным T3288 (для континентов) и HadCRUT4 (для океанов и широтных поясов) – расчет тех и других выполняется по методике ИГКЭ. Глобальные и полушарные временные ряды рассчитаны по методике ИГКЭ только по массиву T3288; в остальных случаях (по данным CRUTEM4, HadSST3 и HadCRUT4) глобальные временные ряды скачиваются с сайта производителя http://www.metoffice.gov.uk/hadobs и корректировке не подлежат.

Таким образом, в используемой методике обработки:

- массив станционных данных T3288 служит базовым массивом для оценки температурных условий на суше: в точках расположения станций, в среднем по территории континентов, по каждому полушарию и Земному шару в целом;
- сеточный массив HadCRUT4 используется для создания полной *глобальной* картины *над сушей и океанами*, т.е. на глобальной сетке 5-градусных боксов и в среднем по акваториям океанов и по широтно-долготным поясам;
- глобальные временные ряды HadCRUT4, CRUTEM4 и HadSST3 служат для сравнительного анализа трендов, рассчитанных по разным категориям данных в одинаковых выборках (за единые периоды и календарные сезоны).

Дополнительно, апробированные глобальные временные ряды CRUTEM4 можно рассматривать как некую точку отсчета, тестовый 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) и в бюллетенях (ИГКЭ, 2016) приводились и сами временные ряды, и численные результаты их сопоставления для разных календарных сезонов и периодов оценивания. Все они иллюстрировали исключительную близость рядов, особенно с середины прошлого столетия. В табл. 1 обобщены результаты поэлементного сравнения рядов и оценок трендов для Земного шара и полушарий, на протяжении последнего 100-летия (1917-2016 гг.) и за так называемый «период современного глобального потепления» (1976-2016 гг.). В нижней строке таблицы приведено стандартное отклонение рассматриваемых переменных, в среднем по двум сравниваемым рядам.

Таблица 1. Оценки близости/различия глобальных временных рядов Т3288 (ИГКЭ) и CRUTEM4 (Hadley/CRU), в среднем за год и по территории суши Земного шара (ЗШ), Северного (СП) и Южного (ЮП) полушарий

Оценка	1976-2016			1917-2016		
	ЗШ	СП	ЮП	ЗШ	СП	ЮП
Корреляция рядов	0.999	0.999	0.994	0.998	0.998	0.994
Среднее различие, °С	0.01	0.01	-0.01	-0.01	-0.02	-0.01
СКО (сигма) различий, °С	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03
Среднее абсолютное различие, °С	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03
Максимальное различие (abs), °С	0.04	0.04	0.06	0.11	0.10	0.12
Разность коэфф. тренда, °С /10 лет	0.01	0.00	-0.01	0.01	0.01	-0.00
СКО рядов (Т3288 & CRUTEM4)	0.37	0.45	0.23	0.40	0.46	0.30

Можно видеть, что различие между значениями рядов в отдельные годы не превышает 0.04-0.06°С, а среднее абсолютное различие на отрезке 1976-2016 гг. составляет лишь 0.02°С – это более чем на порядок ниже изменчивости самих аномалий (см. СКО в табл. 1). Различие в оценках трендов и вовсе пренебрежимо мало, как на всем периоде, так и на конечном отрезке (0.00-0.01°С/10 лет). Таким образом, приводимые ниже оценки трендов, полученные по данным массива Т3288, можно считать реалистичными, по крайней мере, в среднем по территории крупных регионов. Глобальные оценки приводятся во всех случаях по данным обоих массивов.

Ниже, в рубрике «РЕЗУЛЬТАТЫ» представлены собственно результаты мониторинга (оценки климатических аномалий и трендов, в таблицах и рисунках), с необходимыми заголовками и кратким комментарием в начале разделов. В отдельных случаях используются сокращения: СП – Северное полушарие, ЮП – Южное полушарие, ЗШ – Земной шар.

Некоторые дополнительные материалы, которые, на наш взгляд, представляют интерес, предлагаются в рубрике «ОБСУЖДЕНИЕ».

Результаты

I. Изменение приповерхностной глобальной температуры земного шара по данным наблюдений

1.1. Глобальное потепление у поверхности началось в 1970-х, замедлилось в 2010-х, но в 2015 г. вышло на новый уровень?

– Современное потепление началось в 1970-х., в 2000-х замедлилось, но в 2015 г. в результате скачкообразного повышения температуры вышло на новый уровень (в СП повышение составило 0.36°С); в целом, два последних года – 2016 и 2015 – теплее всех предшествующих.

– Скорость потепления у поверхности суши (рис. 1, CRUTEM, зеленые кривые) выше, чем на поверхности океанов (рис. 1, HadSST3, синие кривые). Потепление в Северном полушарии активнее, чем в Южном (рис.1, рис.2).

– Для суши (рис.2) более ярко проявляется температурный рекорд 2016 г. и более активный характер потепления в Северном полушарии в сравнении с Южным.

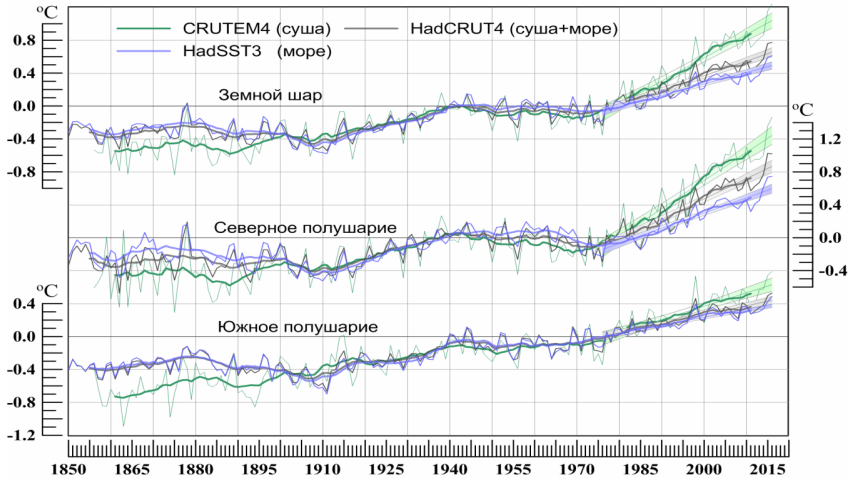

Рисунок 1. Временные ряды среднегодовых аномалий приземной температуры, осредненных по территории Земного шара, Северного и Южного полушарий по данным Hadley/CRU: HadCRUT4 (суша+море, черные кривые), CRUTEM4 (суша, зеленые кривые), HadSST3 (море, синие кривые).

Дополнительно показаны: ход 11-летних скользящих средних, линейный тренд за 1976-2016 гг. и его 95% доверительный интервал. Использованы оригинальные временные ряды производителя.

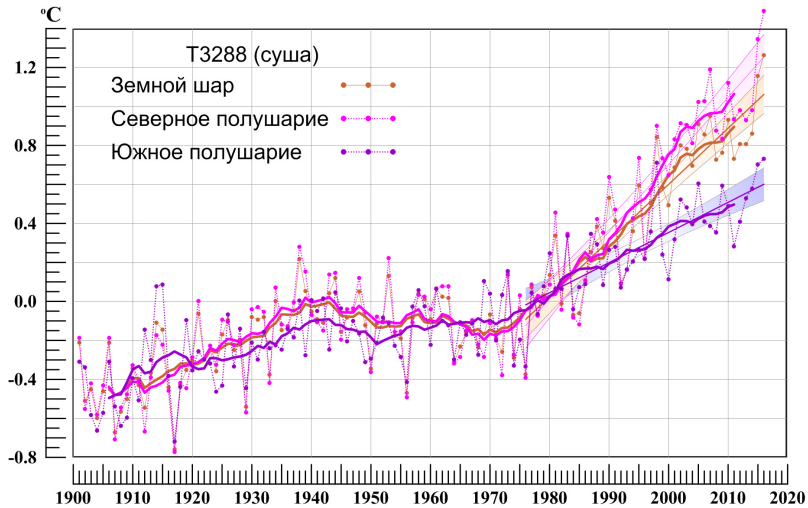

Рисунок 2. См. рис.1, но по данным ИГКЭ (T3288, суша). Осреднение по территории Земного шара и полушарий выполнено по методике ИГКЭ.

1.2. Глобальная температура у поверхности Земного шара (в целом над сушей и океанами и в среднем за год) остается рекордно высокой уже третий год подряд

– Практически во всех случаях (табл. 2: суша/море/суша+море, ЗШ-СП-ЮП) самым теплым оказался 2016 г., на втором месте – 2015 г. В случае HadCRUT4, СП первым был 2015, а 2016 – вторым, но различия между ними всего 0.007°С (в пределах точности расчетов).

– Глобальная температура у поверхности Земного шара (в целом над сушей и океанами и в среднем за год) остается рекордно высокой уже третий год подряд: аномалия в 2014-2015-2016 гг. составила 0.575, 0.760 и 0.773°С, соответственно (табл. 2).

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

№	ЗШ		СП		ЮП	
	VT,°C	Год	VT,°C	Год	VT,°C	Год
HadCRUT 4.5.0.0 (суша+море)						
1	**0.773**	**2016**	**1.027**	**2015**	**0.529**	**2016**
2	**0.760**	**2015**	**1.020**	**2016**	**0.496**	**2015**
3	0.575	2014	0.772	2014	**0.462**	**1998**
4	0.556	2010	0.735	2010	0.412	2009
5	0.544	2005	0.725	2005	0.398	2002
ИГКЭ Т3288 (суша)						
1	**1.263**	**2016**	**1.489**	**2016**	**0.729**	**2016**
2	**1.156**	**2015**	**1.345**	**2015**	**0.711**	**1998**
3	0.951	2007	1.189	2007	**0.704**	**2015**
4	0.932	2010	1.122	2010	0.605	2005
5	0.909	2005	1.031	2006	0.592	2009
CRUTEM 4.5.0.0 (суша)						
1	**1.241**	**2016**	**1.466**	**2016**	**0.791**	**2016**
2	**1.153**	**2015**	**1.359**	**2015**	**0.740**	**2015**
3	0.915	2010	1.156	2007	**0.735**	**1998**
4	0.914	2007	1.107	2010	0.607	2005
5	0.881	2005	1.018	2005	0.578	2014
HadSST 3.1.1.0 (море)						
1	**0.612**	**2016**	**0.746**	**2016**	**0.486**	**2016**
2	**0.592**	**2015**	**0.737**	**2015**	**0.425**	**2015**
3	0.477	2014	0.617	2014	**0.394**	**1998**
4	0.416	1998	0.484	2005	0.362	2010
5	0.406	2010	0.467	2004	0.361	2009

II. Географические особенности температурного режима у поверхности земного шара в 2016 году

2.1. Географическое распределение локальных аномалий температуры

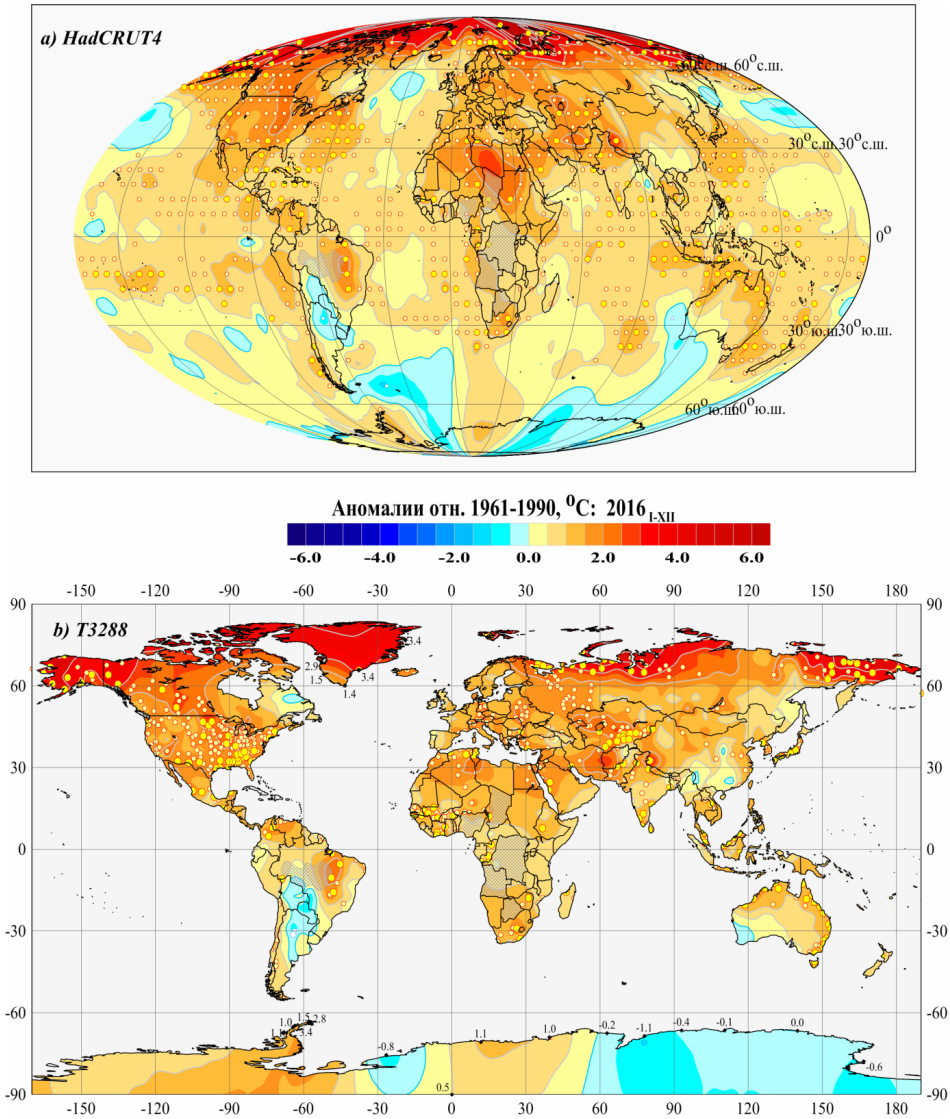

Рисунок 3. Пространственное распределение среднегодовых аномалий приземной температуры (°С) на территории Земного шара в 2016 г.: *а)* по сеточным данным HadCRUT4 (UK Hadley/CRU); *б)* по станционным данным Т3288 (ИГКЭ).
Аномалии приведены в отклонениях от средних за 1961-1990 гг. Кружками белого (минимумы) и желтого (максимумы) цвета указано положение боксов/станций с рекордными значениями аномалий. Значками меньшего размера указано положение 5%-х экстремумов. Для станций Антарктиды и Гренландии непосредственно в точках расположения станций показаны числовые значения наблюдаемых аномалий.

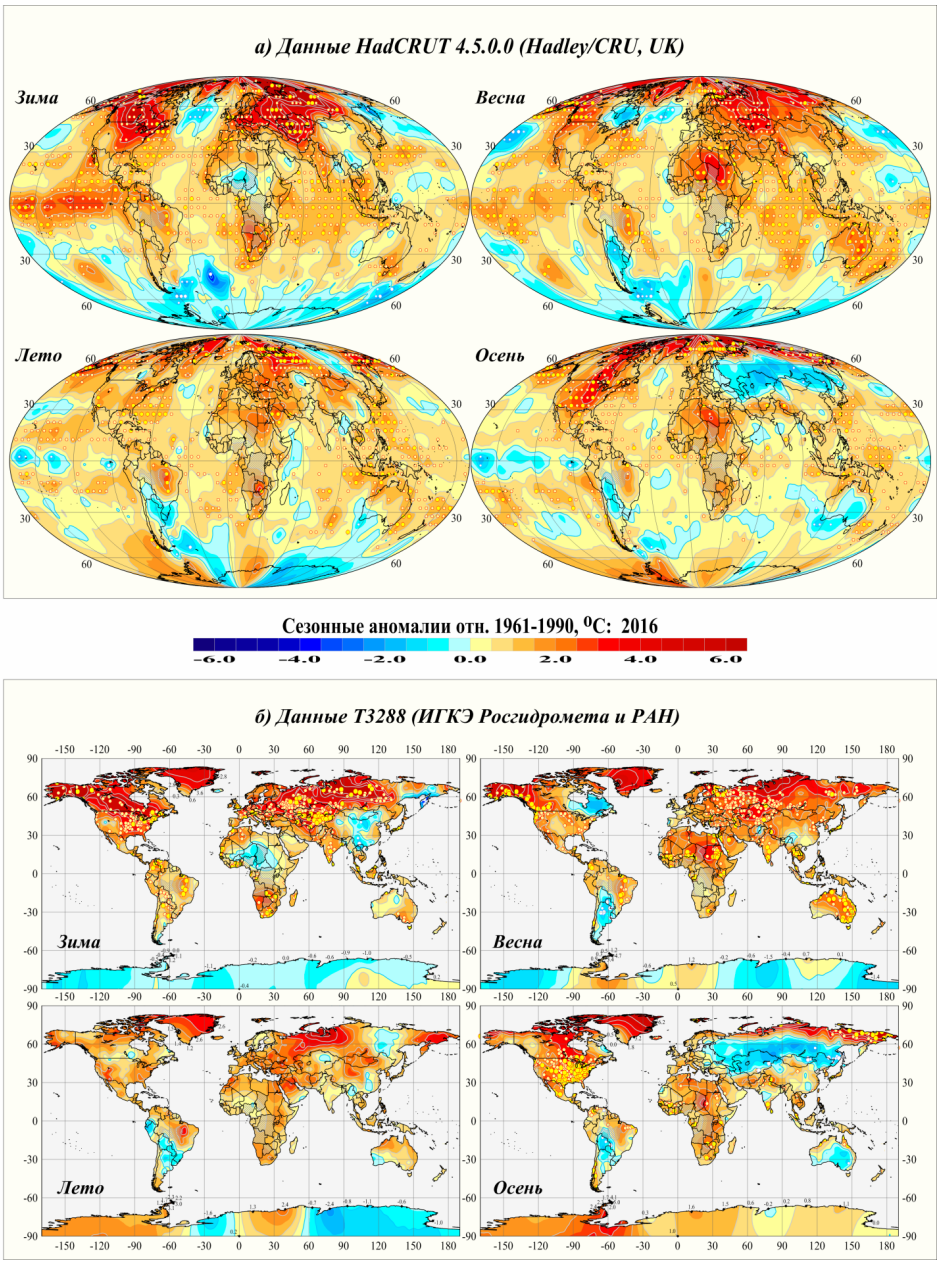

Рисунок 4. См. рис. 3, но для средних сезонных аномалий 2016 г.: а) над всей территорией Земного шара, над сушей и океанами (по данным в центрах 5-градусных боксов HadCRUT4, Hadley/CRU); б) над всей территорией *суши* Земного шара (по данным станционных наблюдений T3288, ИГКЭ, только суша).

Таблица 3. Количество локальных (точечных) климатических экстремумов на территории Земного шара, выявленных по данным о сезонных аномалиях температуры приземного воздуха в точках расположения станций в 2016 г.

Сезон 2016 г.	Всего станций	5%-е экстремумы тепла/холода			Абсолютные (исторические) минимумы/максимумы		
		$X \le P_{05}$	$X \ge P_{95}$	Всего	$X = P_0$ (Min)	$X = P_{100}$ (Max)	Всего
1	**2**	**3**	**4**	**5=3+4**	**6**	**7**	**8=6+7**
Число станций с осуществлением экстремума (в единицах)							
Зима	1803	12	665	677	4	163	167
Весна	1848	10	657	667	6	174	180
Лето	1837	7	501	508	1	157	158
Осень	1839	35	432	467	10	159	169
Число станций с осуществлением экстремума (в % от общего числа станций)							
Зима	1803	0.7	36.9	37.5	0.2	9.0	9.3
Весна	1848	0.5	35.6	36.1	0.3	9.4	9.7
Лето	1837	0.4	27.3	27.7	0.1	8.5	8.6
Осень	1839	1.9	23.5	25.4	0.5	8.6	9.2

Примечание: В таблице обобщены распределения локальных экстремумов на рис. 3б, 4б. Объем данных (столбец 2) на протяжении года можно считать практически постоянным. Принятые обозначения: P_{05}, P_{95} – 5-й и 95-й процентили; P_0, P_{100} – наименьшее и наибольшее значения с 1911 г.

2.2. Во втором полугодии 2016 г. уровень экстремальности температурных условий определенно снизился

– Глобальные оценки (табл. 4) согласованно указывают на рекордно теплый режим на всей территории, в обоих полушариях, по крайней мере, в течение первых трех сезонов (в Южном полушарии – двух первых). Однако региональные оценки (табл. 5) свидетельствуют о неоднородности температурного режима не только во времени (в течение года), но и в пространстве, и не только в отношении осуществления рекордов, но и даже в отношении знака аномалий. Действительно, в Северной Америке рекордно теплыми были зима и осень, в Евразии и Австралии – весна, а в Южной Америке – зима. В то же время в регионах южной полярной области во все сезоны, кроме осени, средние температуры были ниже средних за 1961-1990 гг.

– Период ежемесячных температурных рекордов глобальной температуры (HadCRUT4, ЗШ, табл. 4) продлился **непрерывно с мая 2015 по сентябрь 2016 гг.** (каждый месяц был теплее всех одноименных месяцев 1901-2014 гг.). За эти 16 месяцев трижды (май, июнь, сентябрь) самым теплым был 2015 г., но оба эти года были теплее всех предшествующих. В остальных случаях самым теплым оставался 2016.- Во втором полугодии примерно на треть уменьшилось число локальных экстремумов тепла (рис. 4, табл. 3). Осенью к тому же увеличилось число станций с холодными 5%-ми экстремумами (значениями температуры ниже 5-го процентиля), хотя и в значительно меньшем соотношении.

Таблица 4. Пространственно осредненные значения среднемесячных аномалий приземной температуры в 2016 г., в среднем по Земному шару и полушариям

Регион	*Месяцы 2016 г.*												*Год I-XII*
	I	*II*	*III*	*IV*	*V*	*VI*	*VII*	*VIII*	*IX*	*X*	*XI*	*XII*	
HadCRUT4 (суша+море)													
*ЗШ	**0.91$_{1}$**	**1.07$_{1}$**	**1.07$_{1}$**	**0.92$_{1}$**	0.69$_{2}$	0.73$_{2}$	**0.73$_{1}$**	**0.77$_{1}$**	0.71$_{2}$	0.58$_{5}$	0.53$_{10}$	0.59$_{5}$	**0.77$_{1}$**
*СП	1.13$_{2}$	**1.49$_{1}$**	**1.37$_{1}$**	**1.15$_{1}$**	0.90$_{2}$	**1.01$_{1}$**	**0.95$_{1}$**	**1.03$_{1}$**	1.03$_{2}$	0.75$_{7}$	0.64$_{10}$	0.80$_{5}$	1.02$_{2}$
*ЮП	**0.68$_{1}$**	**0.65$_{1}$**	**0.77$_{1}$**	**0.68$_{1}$**	0.48$_{3}$	0.45$_{4}$	0.51$_{3}$	0.51$_{2}$	0.40$_{4}$	0.42$_{6}$	0.41$_{4}$	0.39$_{5}$	**0.53$_{1}$**
T3288 (суша)													
ЗШ	1.36$_{2}$	**2.12$_{1}$**	**1.95$_{1}$**	**1.62$_{1}$**	**1.06$_{1}$**	1.12$_{2}$	**1.04$_{1}$**	**1.21$_{1}$**	**1.20$_{1}$**	0.83$_{12}$	0.81$_{11}$	1.04$_{5}$	**1.26$_{1}$**
СП	1.60$_{3}$	**2.61$_{1}$**	**2.37$_{1}$**	**1.91$_{1}$**	1.20$_{2}$	**1.36$_{1}$**	**1.19$_{1}$**	**1.37$_{1}$**	**1.44$_{1}$**	0.94$_{11}$	0.87$_{11}$	1.18$_{7}$	**1.49$_{1}$**
ЮП	**0.81$_{1}$**	**1.04$_{1}$**	**1.03$_{1}$**	**0.91$_{1}$**	0.74$_{2}$	0.54$_{9}$	0.71$_{2}$	0.84$_{3}$	0.61$_{8}$	0.59$_{12}$	0.67$_{4}$	0.71$_{2}$	**0.73$_{1}$**
CRUTEM4 (суша)													
*ЗШ	1.36$_{2}$	**2.03$_{1}$**	**1.89$_{1}$**	**1.55$_{1}$**	**1.06$_{1}$**	1.07$_{2}$	**1.01$_{1}$**	**1.17$_{1}$**	**1.12$_{1}$**	0.80$_{12}$	0.78$_{12}$	1.05$_{5}$	**1.24$_{1}$**
*СП	1.60$_{4}$	**2.51$_{1}$**	**2.33$_{1}$**	**1.88$_{1}$**	1.21$_{3}$	1.31$_{2}$	1.14$_{3}$	**1.33$_{1}$**	**1.37$_{1}$**	0.90$_{12}$	0.83$_{12}$	1.21$_{6}$	**1.47$_{1}$**
*ЮП	**0.90$_{1}$**	**1.07$_{1}$**	**1.02$_{1}$**	**0.91$_{1}$**	0.76$_{2}$	0.60$_{8}$	0.75$_{2}$	0.86$_{3}$	0.63$_{7}$	0.59$_{12}$	0.69$_{3}$	0.72$_{3}$	**0.79$_{1}$**
HadSST3 (море)													
*ЗШ	**0.73$_{1}$**	**0.61$_{1}$**	**0.69$_{1}$**	**0.65$_{1}$**	**0.60$_{1}$**	**0.62$_{1}$**	**0.67$_{1}$**	0.65$_{2}$	0.61$_{2}$	0.60$_{2}$	0.49$_{2}$	0.45$_{5}$	**0.61$_{1}$**
*СП	**0.78$_{1}$**	**0.62$_{1}$**	**0.61$_{1}$**	**0.65$_{1}$**	**0.78$_{1}$**	**0.84$_{1}$**	**0.93$_{1}$**	0.92$_{3}$	0.84$_{3}$	0.82$_{2}$	0.63$_{3}$	0.57$_{2}$	**0.75$_{1}$**
*ЮП	**0.62$_{1}$**	**0.56$_{1}$**	**0.71$_{1}$**	**0.63$_{1}$**	0.42$_{3}$	0.43$_{2}$	0.45$_{3}$	**0.44$_{1}$**	0.41$_{2}$	0.43$_{2}$	0.39$_{4}$	0.36$_{5}$	**0.49$_{1}$**

Усл. обозначения: * - оригинальные временные ряды Hadley/CRU
Примечание см. под табл. 5.

Таблица 5. Пространственно осредненные значения среднемесячных аномалий приземной температуры в 2016 г. для континентов, северных частей Атлантического и Тихого океанов и основных широтных поясов земного шара

Регион	**Месяцы 2016 г.**												**Год**
	I	*II*	*III*	*IV*	*V*	*VI*	*VII*	*VIII*	*IX*	*X*	*XI*	*XII*	*I-XII*
T3288 (суша)													
С. Америка	3.28$_{3}$	2.93$_{5}$	2.84$_{2}$	1.00$_{17}$	1.24$_{5}$	**1.52$_{1}$**	1.12$_{4}$	1.17$_{7}$	1.45$_{7}$	1.34$_{9}$	**3.52$_{1}$**	0.62$_{50}$	**1.82$_{1}$**
Евразия	0.99$_{30}$	3.48$_{2}$	2.90$_{3}$	**2.46$_{1}$**	0.96$_{13}$	1.43$_{3}$	1.24$_{3}$	**1.60$_{1}$**	**1.67$_{1}$**	0.11$_{60}$	**-0.62$_{80}$**	1.14$_{16}$	1.44$_{3}$
Ю.Америка	0.94$_{2}$	**1.35$_{1}$**	0.74$_{5}$	0.83$_{5}$	0.11$_{44}$	**-0.11$_{71}$**	0.77$_{13}$	1.12$_{3}$	0.46$_{23}$	0.69$_{13}$	0.52$_{13}$	0.72$_{7}$	0.62$_{4}$
Африка	1.29$_{2}$	1.23$_{4}$	1.72$_{2}$	1.85$_{2}$	1.18$_{4}$	1.30$_{2}$	0.88$_{13}$	0.97$_{6}$	1.06$_{3}$	1.61$_{2}$	1.37$_{3}$	1.47$_{3}$	1.25$_{2}$
Австралия	0.44$_{26}$	0.90$_{9}$	1.56$_{2}$	1.93$_{2}$	1.94$_{2}$	1.33$_{6}$	0.84$_{12}$	0.34$_{31}$	0.02$_{54}$	**-0.63$_{77}$**	0.41$_{33}$	0.53$_{19}$	0.80$_{5}$
Антарктида	**-0.27$_{47}$**	**-0.67$_{56}$**	**-1.27$_{64}$**	**-0.77$_{50}$**	1.79$_{9}$	**-1.24$_{61}$**	0.21$_{30}$	2.46$_{7}$	**-0.22$_{47}$**	2.28$_{2}$	1.56$_{3}$	0.84$_{12}$	0.42$_{13}$
HadCRUT4 (суша+море)													
АО,15-70 с.ш.	**0.72$_{1}$**	0.67$_{2}$	0.58$_{5}$	0.57$_{5}$	0.72$_{4}$	0.83$_{2}$	0.77$_{7}$	0.86$_{7}$	0.71$_{10}$	0.68$_{12}$	0.74$_{3}$	0.76$_{2}$	0.71$_{3}$
ТО,40-60 с.ш	0.63$_{2}$	0.63$_{2}$	0.34$_{6}$	0.51$_{3}$	0.65$_{2}$	0.71$_{3}$	0.85$_{4}$	0.76$_{4}$	0.90$_{2}$	0.88$_{2}$	0.45$_{9}$	0.45$_{4}$	0.64$_{3}$
65-90 с.ш	4.36$_{4}$	**4.21$_{1}$**	3.31$_{3}$	3.28$_{4}$	**2.36$_{1}$**	2.37$_{2}$	**1.96$_{1}$**	**1.98$_{1}$**	**2.36$_{1}$**	**3.61$_{1}$**	2.97$_{4}$	1.59$_{25}$	**2.91$_{1}$**
25-65 с.ш	1.01$_{7}$	1.87$_{2}$	**1.64$_{1}$**	**1.25$_{1}$**	0.86$_{3}$	**1.10$_{1}$**	1.06$_{2}$	**1.19$_{1}$**	**1.25$_{1}$**	0.59$_{19}$	0.48$_{20}$	0.79$_{11}$	1.09$_{2}$
25 S-25 с.ш	**1.02$_{1}$**	**0.93$_{1}$**	**1.00$_{1}$**	**0.91$_{1}$**	**0.76$_{1}$**	**0.75$_{1}$**	0.68$_{2}$	0.68$_{2}$	0.54$_{4}$	0.61$_{4}$	0.58$_{6}$	0.61$_{5}$	**0.76$_{1}$**
65-25 ю.ш.	0.35$_{11}$	0.34$_{12}$	0.47$_{5}$	0.58$_{3}$	0.35$_{14}$	0.37$_{16}$	0.46$_{6}$	0.48$_{8}$	0.39$_{9}$	0.30$_{13}$	0.28$_{14}$	0.32$_{8}$	0.46$_{4}$
90-65 ю.ш.	**-0.55$_{69}$**	**-0.55$_{69}$**	**-0.98$_{76}$**	**-0.96$_{59}$**	1.22$_{12}$	**-1.67$_{61}$**	**-0.92$_{47}$**	2.17$_{11}$	**-0.23$_{42}$**	1.69$_{3}$	**1.80$_{1}$**	0.68$_{6}$	0.14$_{29}$

Усл. обозначения - см. табл. 3.

Примечание. Нижними индексами показаны ранги в упорядоченных по убыванию временных рядах за 1911-2016 гг. для соответствующего месяца. Красным шрифтом выделены абсолютные максимумы в соответствующих рядах. Синим показаны отрицательные аномалии (температура ниже климатической нормы 1961-1990 гг.)

III. Тенденции многолетних изменений приземной температуры на территории Земного шара

3.1. Пространственные распределения локальных оценок тренда (1976-2016)

– Как и в оценках за 1976-2015 гг., в среднем за год и во все сезоны на большей части земного шара преобладает тенденция к потеплению (рис. 5-6). При этом в большинстве регионов она усилилась в первом полугодии, но ослабла в осенние месяцы.

– Тенденция к похолоданию в Тихом и Южном океанах и в Антарктиде стала слабее, а осенью тренды положительны на всей территории суши Земного шара, включая Антарктиду (рис. 6).

– Тренд похолодания во всех случаях статистически незначим даже на 10%-уровне, а тенденция к потеплению во все сезоны (несколько в меньшей степени – зимой) на обширных территориях всех континентов подтверждается оценками с уровнем значимости $\alpha \leq 0.01$.

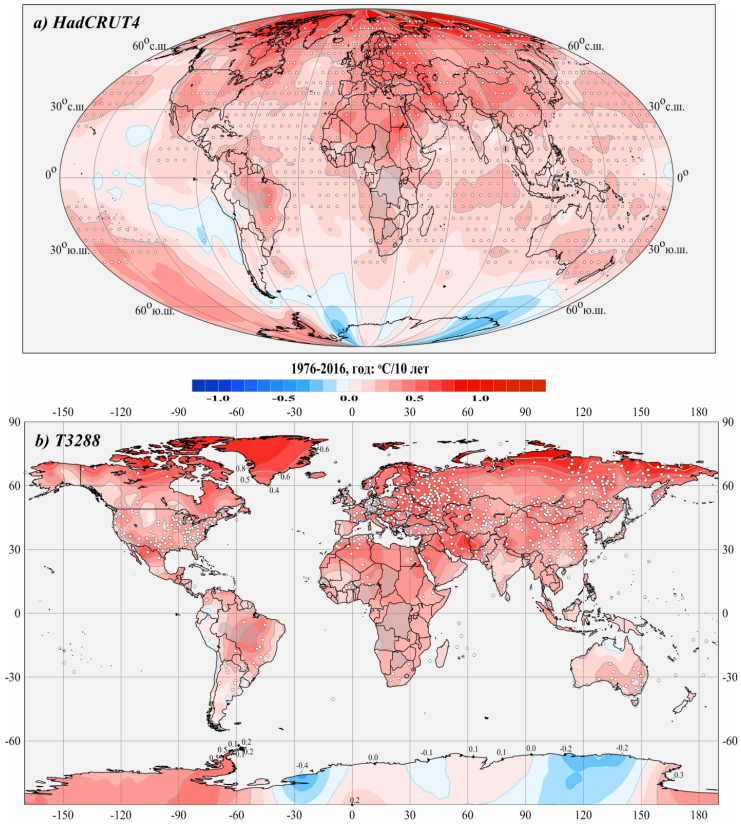

Рисунок 5. Пространственное распределение коэффициентов линейного тренда среднегодовой температуры у поверхности Земного шара за период 1976-2016 гг. (°C/10 лет): а) по сеточным данным HadCRUT4 на полной сетке 5x5 гр.; б) по станционным данным T3288 на континентах. *Белыми кружками выделены боксы/станции, для которых тренд статистически значим на 1%-м уровне. Для станций Антарктиды и Гренландии показаны числовые значения коэффициентов тренда.*

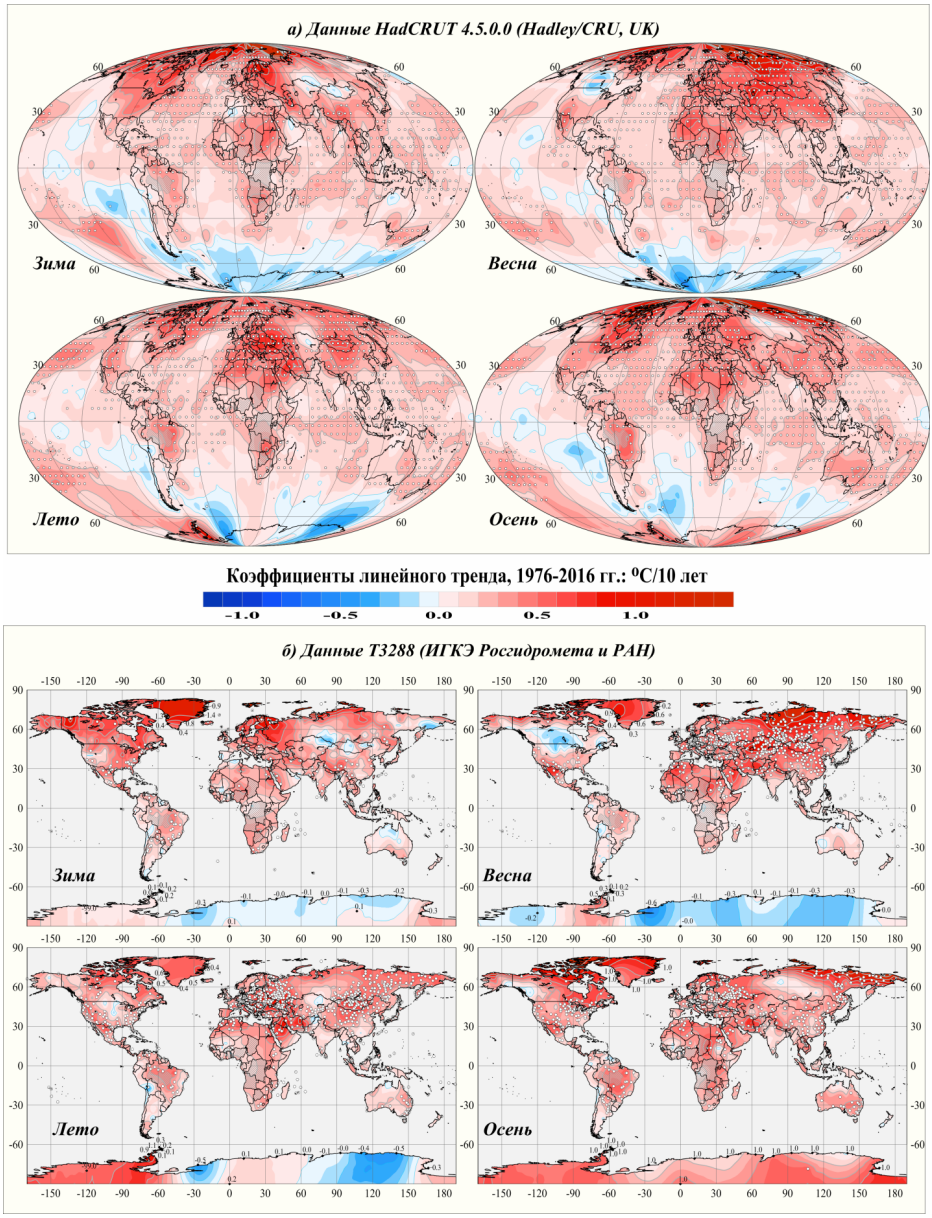

Рисунок 6. См. рис. 5, но для сезонных аномалий приземной температуры.

3.2. Крупномасштабные особенности климатических изменений приземной температуры в 1850 – 2016 годах

– В 20-м столетии (рис. 7) четко разделяются несколько чередующихся периодов потепления и похолодания. Начало последнего периода потепления можно отнести к концу 1970-х гг., но в середине 1980-х – начале 1990-х в Се-

верном полушарии еще были периоды с температурой ниже базового уровня 1961-1990 гг. После 1995 г. таких периодов не было. В последние 2-3 года, примерно с середины 2014 г. (см. верхние 3 строки диаграммы), заметно усиление интенсивности положительных аномалий, особенно в Северном полушарии.

– Показатели k_1-k_3 (табл. 7) количественно подтверждают выводы: потепление у поверхности суши быстрее, чем на поверхности океанов в 1.5-2 раза (см. *k1*); Северное полушарие теплеет быстрее Южного примерно в 2 раза (k_2); в сравнении с последним 100-летием, современное потепление ускорилось в 2.7-3.0 раза в Северном полушарии и менее, чем в 2 раза – в Южном. В Северном полушарии ускорение активнее проявляется над океанами, а в Южном (см. *k3*) – над сушей.

– В целом, современное глобальное потепление у поверхности Земного шара продолжается на прежнем уровне. Основной вклад в него, по-прежнему, принадлежит Северному полушарию при доминирующей роли континентов.

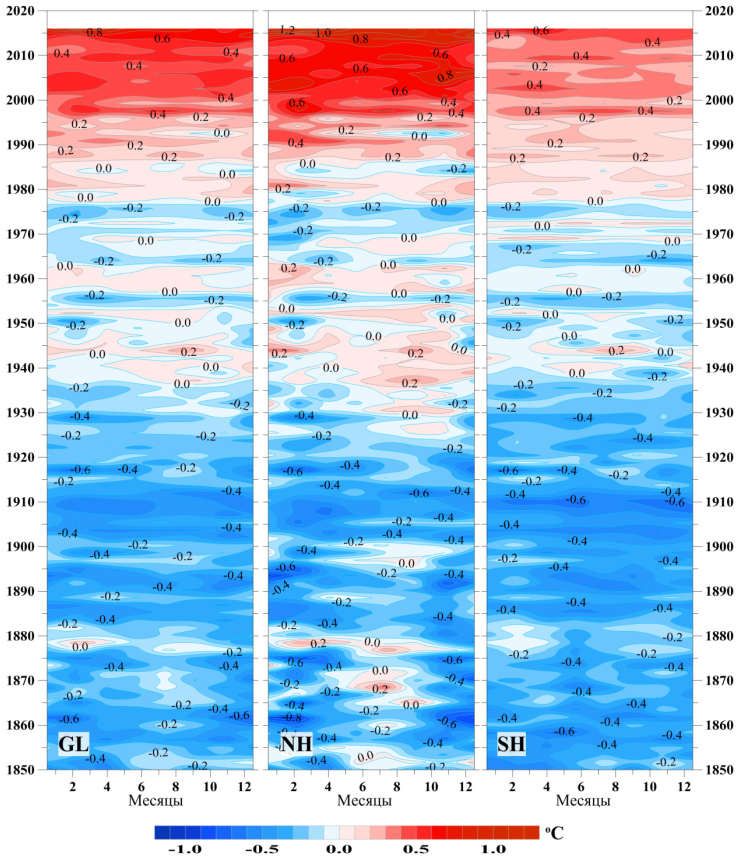

Рисунок 7. Изменение аномалий (отн. базового периода 1961-1990 гг.) средней месячной приповерхностной температуры, осредненных по территории Земного шара (GL), Северного (NH) и Южного (SH) полушарий, в течение 1850-2016 гг., в зависимости от двух факторов - номер года (ось OY) и номер месяца (ось OX). Использованы данные HadCRUT4 (UK Hadley/CRU).

Примечание: Диаграмма показывает ход изменений температуры сразу в двух шкалах: внутригодовой и многолетней, но только **глобально,** в среднем по территории Земного шара и каждого полушария.

Таблица 6. Коэффициенты линейного тренда (*°С/10 лет*) глобальных временных рядов приземной температуры за 1976-2016 гг. и 1917-2016 гг., в среднем за год и по сезонам

Регион	1976-2016					1917-2016				
	Год	зима	весна	лето	осень	Год	зима	весна	лето	Осень
HadCRUT4 (суша+море)										
Земной шар	0.178	0.164	0.183	0.185	0.183	0.079	0.083	0.086	0.075	0.072
Северное полушарие	0.247	0.228	0.249	0.254	0.259	0.086	0.095	0.097	0.080	0.074
Южное полушарие	0.109	0.101	0.118	0.117	0.108	0.071	0.071	0.075	0.070	0.070
Т3288-ИГКЭ (суша)										
Земной шар	0.288	0.275	0.298	0.273	0.307	0.117	0.136	0.140	0.096	0.095
Северное полушарие	0.345	0.330	0.373	0.320	0.353	0.130	0.156	0.161	0.102	0.099
Южное полушарие	0.155	0.147	0.122	0.165	0.201	0.089	0.089	0.088	0.087	0.092
CRUTEM4 (суша)										
Земной шар	0.282	0.272	0.289	0.270	0.300	0.112	0.127	0.131	0.096	0.094
Северное полушарие	0.342	0.332	0.369	0.320	0.349	0.123	0.147	0.152	0.098	0.094
Южное полушарие	0.163	0.152	0.130	0.171	0.202	0.091	0.087	0.089	0.093	0.093
HadSST3 (море)										
Земной шар	0.140	0.124	0.136	0.158	0.145	0.064	0.062	0.065	0.068	0.063
Северное полушарие	0.185	0.158	0.157	0.219	0.209	0.061	0.055	0.057	0.071	0.063
Южное полушарие	0.098	0.094	0.116	0.100	0.086	0.068	0.070	0.073	0.066	0.064

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

Таблица 7. Сравнение скорости глобального потепления (у поверхности) в разных факторных подгруппах, в среднем за год

k_1	$b_{суша}/b_{море}$	1976-2016			1917-2016		
		ЗШ	СП	ЮП	ЗШ	СП	ЮП
	Т3288/HadSST3	2.06	1.86	1.58	1.83	2.13	1.31
	CRUTEM4 HadSST3	2.01	1.85	1.66	1.75	2.02	1.34
k_2	$b_{СП}/b_{ЮП}$	1976-2016			1917-2016		
		Т3288	CRUTEM	HadSST	Т3288	CRUTEM	HadSST
		2.23	2.10	1.89	1.46	1.35	0.90
k_3	$b_{1976-2016}/b_{1917-2016}$	СП			ЮП		
		Т3288	CRUTEM	HadSST	Т3288	CRUTEM	HadSST
		2.65	2.78	3.03	1.74	1.79	1.44

3.3. Сезонные особенности современного глобального потепления

– Основная масса оценок статистически значима на 1%-м уровне (приведены без выделения). Для них уровень значимости $\alpha \leq 0.01$ (табл. 8).

– Для всех рассмотренных крупных регионов земного шара, в среднем по территории региона и за год, оценки трендов за 1976-2016 гг. положительны (см. последний столбец). Отрицательные тренды получены только для регионов Южной полярной области в отдельные месяцы – все они статистически незначимы ($\alpha > 0.10$) и/или близки к нулю (кроме Антарктиды в апреле: тренд равен -0.33°C /10 лет, α =5.2%).

– В сравнении с 1976-2015 гг., в отдельные месяцы отмечаются небольшие изменения, как в сторону усиления, так и ослабления трендов. Однако, в среднем за год, ни в одном из регионов, скорость потепления не уменьшилась. В Северной Америке она увеличилась на 0.027°C/10 лет, а в остальных регионах (в том числе глобально) максимальное увеличение составило 0.008°C /10 лет. Таким образом, в целом можно считать, что к текущему моменту тенденция к глобальному потеплению сохранилась на прежнем уровне.

Таблица 8. Сезонный ход коэффициентов линейного тренда приземной температуры, осредненной по территории континентов, северных частей Атлантического и Тихого океанов и основных широтных поясов земного шара

Регион	Месяцы 2016 г., °C /10 лет												Год
	I	*II*	*III*	*IV*	*V*	*VI*	*VII*	*VIII*	*IX*	*X*	*X1*	*XII*	*I-XII*
T3288 (суша)													
С. Америка	0.54	0.22	0.18	0.13	**0.16	0.29	0.24	0.28	0.35	0.35	*0.41	*0.47	0.30
Евразия	**0.24	0.43	0.63	0.52	0.41	0.39	0.36	0.40	0.34	0.41	0.36	**0.25	0.39
Ю.Америка	0.20	0.17	0.15	0.17	0.06	0.22	0.12	0.21	0.27	0.22	0.20	0.18	0.19
Африка	0.24	0.29	0.36	0.33	0.34	0.34	0.31	0.24	0.24	0.35	0.34	0.27	0.31
Австралия	*0.21	0.07	0.10	0.18	0.09	0.17	0.24	0.12	0.31	0.32	**0.21	0.04	0.17
Антарктида	0.03	**-0.08**	0.07	****-0.33**	0.06	**-0.13**	0.01	**0.35	**0.33	0.31	*0.20	**-0.05**	0.04
HadCRUT4 (суша+море)													
АО,15-70 N	0.21	0.18	0.17	0.18	0.18	0.19	0.21	0.25	0.24	0.26	0.22	0.22	0.21
ТО,40-60 N	0.13	0.14	0.11	0.13	0.17	0.19	0.24	0.24	0.21	0.20	0.17	0.15	0.17
65-90 N	*0.41	0.57	0.69	0.76	0.54	0.53	0.44	0.42	0.43	0.74	0.71	0.69	0.58
25-65 N	0.25	0.26	0.33	0.28	0.27	0.29	0.31	0.34	0.31	0.32	0.29	0.24	0.29
25 S-25 N	0.14	0.15	0.14	0.16	0.15	0.16	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.14	0.15
65-25 S	0.09	0.09	0.11	0.14	0.12	0.14	0.12	0.12	0.11	0.13	0.10	0.07	0.13
90-65 S	**-0.06**	***-0.07**	**-0.07**	**-0.21**	0.08	0.02	**-0.07**	0.27	**0.34	0.31	0.21	**-0.01**	0.06

Усл. обозначения:

* $0.01 < \alpha \leq 0.05$ (тренд статистически значим на 5%-м уровне);

** $0.05 < \alpha \leq 0.10$ (тренд статистически значим на 10%-м уровне);

$\alpha > 0.10$ (ложный тренд, статистически незначим даже на 10%-м уровне)

Выводы

1. В среднем за год и по территории, по данным массивов T3288 (суша), CRUTEM4 (суша), HadSST3 (море) 2016 год оказался самым теплым в истории наблюдений для Земного шара и каждого из полушарий. По объединенным данным HadCRUT4 (суша+море) год также был рекордно теплым для Земного шара и Южного полушария, а для Северного полушария он оказался вторым после 2015 г.

2. Глобальная температура у поверхности Земного шара (в целом над сушей и океанами), в среднем за год остается рекордно высокой уже *третий год подряд*: среднегодовая аномалия в 2014-2015-2016 гг. составила 0.575, 0.760 и 0.773°C, соответственно.

3. Период ежемесячных температурных рекордов глобальной температуры (HadCRUT4, Земной шар) продлился *непрерывно с мая 2015 по сентябрь 2016 гг.* (каждый месяц был теплее всех одноименных месяцев 1901-2014 гг.). За эти 16 месяцев трижды (в мае, июне и сентябре) теплее был месяц 2015 г., но и в 2015, и в 2016 гг. этот месяц был теплее одноименных месяцев всех предшествующих лет. В остальных случаях самым теплым оставался 2016 г.

Ниже нормы средняя температура была только в регионах южной полярной области в отдельные сезоны (в Антарктиде и в целом по Антарктическому широтному поясу).

4. Во втором полугодии аномальность температурного режима определенно снизилась: летом и осенью примерно на треть уменьшилось число локальных экстремумов тепла (уменьшилось число станций, зафиксировавших значения температуры выше 95-го процентиля). Осенью к тому же увеличилось число станций с холодными 5%-ми экстремумами (значениями температуры ниже 5-го процентиля), хотя и в значительно меньшем соотношении. При этом число обновленных точечных рекордов (абсолютные экстремумы за период наблюдений) во всех сезонах примерно одинаково.

5. Современное глобальное потепление у поверхности Земного шара продолжается на прежнем уровне. Основной вклад в него, по-прежнему, принадлежит Северному полушарию при доминирующей роли континентов. Действительно, Северное полушарие теплеет, в среднем, вдвое быстрее, чем Южное, и скорость потепления приземного воздуха (над сушей), в среднем, в 1.5-2 раза больше скорости потепления поверхности океанов.

6. В сравнении с потеплением последнего столетия (1917-2016 гг.), современное глобальное потепление (1976-2016 гг.) ускорилось в 2.7-3 раза в Северном полушарии и менее, чем в 2 раза – в Южном. Это ускорение в Северном полушарии активнее проявляется над океанами, а в Южном – над сушей.

7. Тренд похолодания, по-прежнему, выявлен в отдельные сезоны и только на территории Южной полярной области (в Южном океане, Антарктиде) и притом стал слабее. Осенью тренды положительны на всей территории суши Земного шара, включая Антарктиду.

Во всех случаях отрицательный тренд статистически незначим даже на 10%-уровне, а тенденция к потеплению во все сезоны (несколько в меньшей степени – зимой) на обширных территориях всех континентов подтверждается оценками с уровнем значимости $\alpha \leq 0.01$.

Обсуждение

1. О других особенностях 2016 года

Судя по представленным выше результатам мониторинга и по многочисленным научным публикациям, новый температурный рекорд 2016 года – факт установленный и уже признанный мировым сообществом. Правда, все при этом понимают, что понятия «самый теплый», «рекорд» ограничены здесь только значением среднегодовой температуры (точнее – ее *аномалии*, но здесь точка отсчета не играет роли).

В то же время, данные о ежемесячных аномалиях в течение этого года (табл. 4, 5) меняют представление о 2016 г. как рекордно теплом. Становится ясно, что годовой рекорд сформировался за счет рекордно теплого первого полугодия с существенно более высоким масштабом изменчивости (амплитуда рекордных аномалий нивелирует отсутствие рекордов в остальные месяцы). В свою очередь, рекордно теплому первому полугодию предшествует длительный непрерывный период месячных рекордов с мая 2015 г. (по данным на полной сетке HadCRUT4, суша+море).

На наш взгляд, именно факт непрерывного 16-месячного периода ежемесячных рекордов ***с мая 2015 г. по сентябрь 2016 г.*** является наиболее яркой особенностью 2016 г. В течение этого периода каждый месяц, в среднем по территории Земного шара, был теплее одноименных месяцев всех предыдущих лет с 1911 по 2014. (В порядке уточнения: май, июнь и сентябрь 2016 г. были вторыми самыми теплыми, после 2015 г.; в остальных случаях самым теплым оставался 2016 г.)

Как было показано в (Груза и др., 2016б, рис. 9-10), подобные факты лучше выявляются на временных рядах месячной дискретности, представленных в вероятностной шкале. В них значение ряда X_{ym} в каждый момент времени *(y, m)* заменяется значением функции распределения $F_m=Prob(x_{.m} \leq X_{ym})$ (аналог ранга в упорядоченном по возрастанию временном ряду), т.е. частотой непревышения значения X_{ym} среди данных того же месяца на всем периоде наблюдений. Здесь функция распределения использована как способ нормирования данных, при котором исключается не только сезонный ход средних, но и сезонные различия в масштабах изменчивости.

На рис. 8а воспроизведен такой нормированный ряд для глобальной температуры HadCRUT4 (суша+море, Земной шар). Напомним, что ось абсцисс соответствует шкале времени (с шагом месяц), а ось ординат – функции распределения F_m=Prob($x_{.m} \leq X_{ym}$), т.е. значениям вероятности непревышения. Значение F_m=0 соответствует осуществлению рекордно холодного месяца, а F_m=1, напротив, рекордно теплого месяца среди одноименных месяцев всех

остальных лет (и до, и после текущего года). В данном случае (рис. 8) вероятности непревышения оценивались для всех лет каждого фиксированного месяца по полной выборке данных для этого месяца за 1911-2016 гг. (так называемый «многолетний месяц»).

Можно видеть, что на рис. 8а все точки, с мая 2015 г. по сентябрь 2016 г. прижаты к верхнему уровню шкалы, т.е. для них F=1, что означает «самый теплый» (F=0.99 для вторых из самых теплых). Далее анализируются кривые на рис. 8, от фрагмента к фрагменту, сверху вниз. На каждом из них по две кривых разного цвета, с помощью которых производится последовательное выделение составляющих более мелкого масштаба, ответственных за исследуемую аномалию глобальной температуры. Кривым соответствуют отдельные шкалы того же цвета.

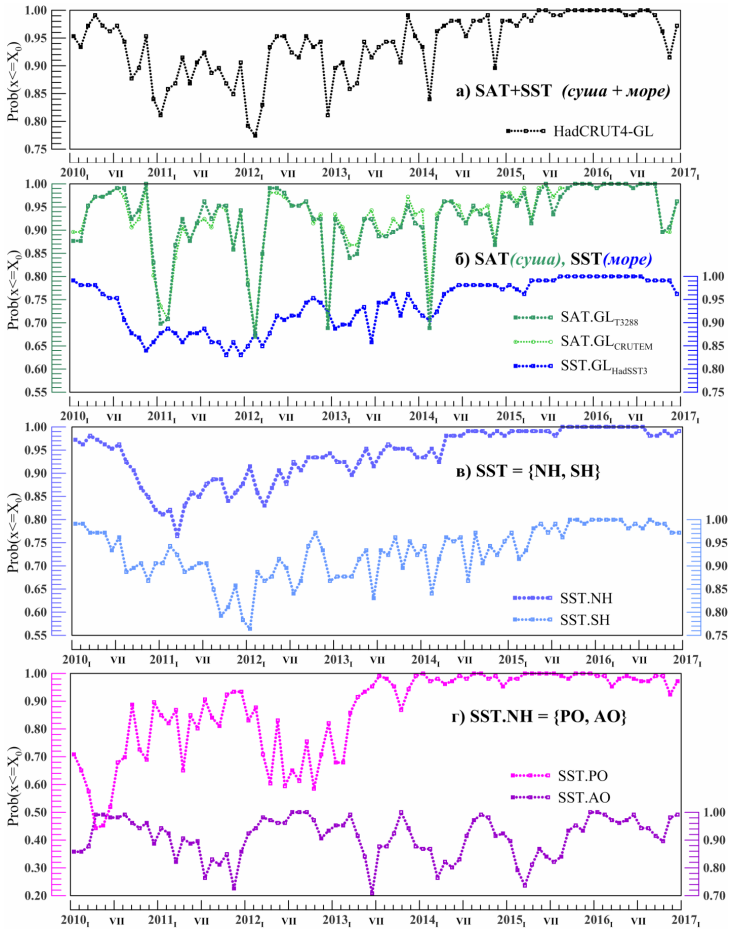

Рисунок 8. Ход вероятностей непревышения среднемесячных аномалий глобальной приповерхностной температуры и ее составляющих с января 2010 по декабрь 2016 г.: а) Глобальная температура: Земной шар (HadCRUT4, суша+море); б) Глобальная температура воздуха над сушей (T3288, CRUTEM4) и воды на поверхности океанов и морей (HadSST3); в) Температура воды на поверхности океанов и морей, в среднем по акваториям Северного и Южного полушарий (HadSST3); г) Температура воды на поверхности северных частей Тихого и Атлантического океанов (HadCRUT4, расчет ИГКЭ)

Далее анализируются кривые на рис. 8, от фрагмента к фрагменту (б, в, г), сверху вниз. На каждом из них по две кривых разного цвета, с помощью которых производится последовательное выделение составляющих более мелкого масштаба, ответственных за исследуемую аномалию глобальной температуры. Кривым соответствуют отдельные шкалы того же цвета.

Рис. 8б: Кривые соответствуют ходу вероятностей непревышения для аномалий температуры приземного воздуха SAT, осредненных по территории суши (T3288 и CRUTEM4 –зеленые кривые) и для аномалий температуры воды SST, осредненных по акваториям океанов (HadSST3 – синяя кривая). На поверхности океанов в среднем по Земному шару (синяя кривая) рекордная ситуация длится непрерывно *с июня 2014 г., исключая 4 месяца с декабря 2014 по март 2015 года*, так что период июнь-ноябрь был рекордно теплым уже три года подряд (весь рекордный период включает 30 месяцев!). В целом для суши Земного шара (зеленые кривые) ситуация существенно менее определенная (хотя соответствие между двумя зелеными кривыми, т.е. данными ИГКЭ и Hadley/CRU очень тесное), и из этих двух составляющих вклад океанов в исследуемую длительную аномалию явно доминирует.

Рис. 8в: Температура поверхности Мирового океана в Северном полушарии, по существу, повторила рекордно теплый период для Мирового океана в целом (с июня 2014 г.), тогда как в Южном полушарии период рекордов существенно меньше и не столь устойчивый.

Рис. 8г: Сопоставляется вклад Атлантического (15-70 с.ш.) и Тихого океанов (20-65 с.ш.) в Северном полушарии. Выбор и здесь однозначный: характер колебаний во временном ряду для Тихоокеанского региона очень близок к анализируемому ряду для океанов всего Северного полушария.

Таким образом, 16-месячный рекордно высокий уровень глобальной температуры в период с июня 2014 по сентябрь 2016 гг., по-видимому, связан не только с активным Эль-Ниньо, но и с выявленной длительной аномалией в северном Тихом океане. Природу этой аномалии и этой связи, по-видимому, необходимо исследовать более тщательно, с привлечением дополнительного материала.

2. О состоянии современного глобального потепления

Оценка современных тенденций в изменении климата – если не главная, то вторая задача климатического мониторинга (первой можно считать задачу адекватного количественного описания текущего состояния климата по данным стандартных наблюдений). Согласно существующей практике и сложившимся представлениям о глобальном потеплении, принято в качестве основной характеристики тенденций использовать линейную аппроксимацию реального (в рамках доступного) хода температуры с некоторой дополнительной информацией о доверительных интервалах, уровне статистической значимости и т.д. При этом, как правило, вводятся определенные договоренности о временных масштабах, в рамках которых решается задача (чаще всего – это месяц-сезон-год).

На наш взгляд, такое решение излишне определенно, даже при наличии доверительных интервалов. Представляется более обоснованным рассматривать скользящие оценки в двумерной окрестности интересующих нас временных масштабов (Груза и др., 1992; Ранькова, 2005; Груза и др., 2016а). При этом имеет смысл рассматривать не только линейные тренды, но и другие статистики исследуемого временного ряда (как минимум, еще и средние). Метод алгоритмически более простой, чем вейвлетный анализ, и более наглядный для интерпретации.

Для примера ниже выполнен анализ временного ряда среднегодовых аномалий глобальной температуры приземного воздуха над сушей Земного шара (по данным T3288), в терминах многолетних средних (рис. 9а) и коэффициентов линейного тренда (рис. 9б). Каждая статистика рассматривается здесь как функция продолжительности периода оценивания (ось OY) и текущего момента (ось OX). Такая диаграмма создает полную картину временнóй структуры изменений рассматриваемой величины (на рис. 9б, кроме того, затенены области, где тренд статистически незначим на 5%-м уровне).

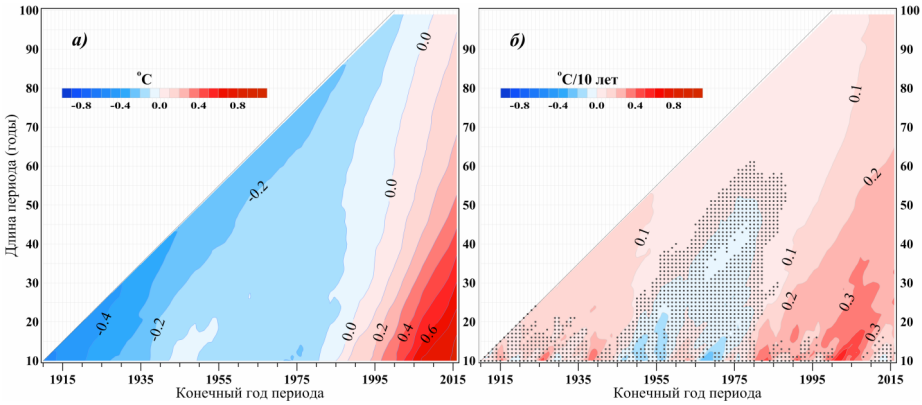

Рисунок 9. Многолетние средние значения (слева) и коэффициенты линейного тренда (справа) аномалий среднегодовой глобальной температуры над сушей Земного шара в зависимости от длины периода оценивания (ось OX) и его конечного года (ось OY).
Оценки получены по данным T3288 (ИГКЭ) для скользящих периодов продолжительностью от 10 до 100 лет в течение 1901-2016 гг. Аномалии рассчитаны как отклонения от средней за 1901-2016 гг.

Дополнительно отметим, что аномалии предварительно приведены к полному базовому периоду 1901-2016 гг., т.е. положительные аномалии соответствуют значениям температуры выше средней за 1901-2016 г.

В соответствии с рис. 9а, область положительных многолетних средних начинается 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, все скользящие средние (глобальная температура над сушей) за 10 лет и более, начиная с 1976г., были выше средней всего ряда. И в это же время тренды (рис. 9а) положительны также на всех

масштабах. По существу, этот критерий можно использовать в определении периода глобального потепления: период, на котором любые многолетние средние выше средней всего ряда. Соответственно, 1976 г. окажется началом глобального потепления, что реализовано на практике без формальных критериев.

Можно видеть (рис. 9а), что последние 10 лет в среднем, теплее этой маргинальной средней на 0.7°С, а последние 40 лет – примерно на 0.5°С. Последние 100 лет потеплели относительно начала прошлого столетия (1901-1910), в среднем, на ~0.1+0.45=0.55°С, а *последние 10 лет – на ~0.8+0.45=1.25°С.*

Тренды стали положительными и статистически значимыми на 5%-уровне на всех периодах более 15-20 лет примерно к 1985 г. Десятилетие 2000-2010 гг. выделяется самой большой скоростью потепления: до 0.4°С/10 лет на периодах до 25-30 лет, причем даже 10-летние тренды статистически значимы. Хорошо видно начало периода потепления во второй половине 1970-х гг., которое только к 1990-м стало проявляться на отрезках любой продолжительности.

К 2016 году тренды на всех периодах положительны и статистически значимы на 1%-м уровне (начиная с периода 15-лет). Скорость потепления колеблется в интервале 0.2-0.3°С/10 лет на масштабах от 20 до 65 лет. Затем вплоть до 100-летних трендов она не опускается ниже 0.1°С/10 лет, оставаясь статистически значимой на 1%-уровне.

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. – СПб., Гидрометеоиздат, с. 3-20.

Груза Г.В., Ранькова Э.Я., Рочева Э.В., Самохина О.Ф. 2016а. Климатические особенности температурного режима у поверхности земли в 2015 г. - Фундаментальная и прикладная климатология, № 1, с. 104-136.

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

ИГКЭ. 2016а. Мониторинг климата России. – Электронный ресурс. URL: http://climatechange.igce.ruindex.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=32&Itemid=75&lang=en.

ИГКЭ. 2016б. 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

Ранькова Э.Я. 2005. Климатическая изменчивость и изменения климата за период инструментальных наблюдений. – Диссертация в виде научного доклада на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, с. 40-41.

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

CPC/NCEP/NWS. 2016. El-Nino/Southern oscillation (ENSO) diagnostic discussion. .

GISTEMP Team. 2017: GISS Surface Temperature Analysis (GISTEMP). NASA GISS. – Available at: https://data.giss.nasa.gov/gistemp/.

Horton R., Mankin J.S., Lesk C., Coffel E., Raymond C. 2016. A review of recent advances in research on extreme heat events. – Current Climate Change Reports, 2, No. 4, pp. 242-259. doi:10.1007/s40641-016-0042-x.

JMA. 2016a. Global Average Surface Temperature Anomalies. Annual Anomalies of Global Average Surface Temperature (1891-2016). – Available at: http://ds.data.jma.go.jp/tcc/tcc/products/ gwp/temp/ann_wld.html.

JMA. 2016b. Global temperature for 2016 to be the highest since 1891. (Preliminary). – Available at: http://ds.data.jma.go.jp/tcc/tcc/.

NASA GISS. 2016. Record-breaking climate trends in 2016. – Available at: http://climate.nasa.gov/climate_resources/143/.

NASA NOAA. 2017. Data Show 2016 Warmest Year on Record Globally. – Posted Jan. 18, 2017. – Available at: https://www.giss.nasa.gov/research/news/20170118/.

NOAA NCEI. 2017. State of the Climate: Global Analysis for Annual 2016. – Published online Jan. 2017, retrieved on Feb. 14, 2017. – Available at: http://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201613.

WMO. 2016a. Exceptionally strong El Niño has passed its peak, but impacts continue. – Press Release, No. 3, 18 February 2016.

WMO. 2016b. Gobal-climate-breaks-new-records-january-june-2016. – Press Release, No. 8, 21 July 2016.

WMO. 2016c. Provisional WMO Statement on the Status of the Global Climate in 2016. – Press Release, No. 15, 14 November 2016.

WMO. 2017. WMO confirms 2016 as hottest year on record, about 1.1°C above pre-industrial era. – Press Release, 18 January 2017.

Статья поступила в редакцию:19.02.2017 *После переработки:29.03.2017*