DOI:10.21513/2410-8758-2019-1-97-127 УДК 521.524.3

ОСОБЕННОСТИ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА У ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМНОГО ШАРА В 2018 году

Г.В. Груза [1], Э.Я. Ранькова [1,2], И.А. Корнева [1], О.Ф. Самохина [1], М.В. Щенин [1]

[1] Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля, РФ, 107258, г. Москва, ул. Глебовская, д. 20Б; *firankova@gmail.com*

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

Реферат. По данным инструментальных наблюдений анализируются особенности температурного режима у поверхности Земного шара в 2018 году и его изменчивости в течение 1901-2018 гг. Рассматриваются аномалии приповерхностной температуры на континентах и акваториях океанов и ее тренды на различных временных интервалах и при разных масштабах пространственного осреднения. В соответствии с современными рекомендациями Всемирной Метеорологической Организации (ВМО), аномалии рассчитаны относительно базового периода 1981-2010 гг.

Показано, что в целом по Земному шару 2018 г. стал четвертым самым теплым годом за всю историю инструментальных наблюдений, а период 2015-2018 гг. стал самым теплым четырехлетним периодом как в целом на территории суши, так и на акваториях Мирового океана. Как и в предыдущие годы, в 2018 г. преобладали положительные аномалии приповерхностной температуры, но доля их существенно снизилась.

Температурный режим в течение года отмечен значительными аномалиями и контрастами. Наличие практически в каждом месяце *крупных и интенсивных аномалий обоих знаков* на континентах Северного полушария можно считать главной особенностью 2018 года. При этом повышено, в сравнении с 2015-2017 гг., общее число отрицательных аномалий среднегодовой температуры на суше Земного шара (более 18% против 6-8%).

Оценки линейного тренда за 1976-2018 гг. показали, что на большей части Земного шара продолжается потепление климата: по данным станционных наблюдений положительные тренды составляют 97.9% всех локальных оценок. Регион наиболее интенсивного потепления – Арктика. В Антарктиде, а в отдельные сезоны и в Евразии и Северной Америке, выделяются регионы со слабыми отрицательными или нулевыми трендами.

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

Введение

Статья продолжает серию публикаций о современном состоянии климата Земного шара по разделу «Приземная температура» (Груза и др., 2018) на основе данных регулярного мониторинга климата в ФГБУ «ИГКЭ» (ЦМКП, 2016).

В многочисленных обзорах и бюллетенях мониторинга климата, издаваемых ведущими научными центрами, регулярно публикуется информация о текущем состоянии климатической системы Земли, о наблюдаемых климатических аномалиях, рекордах и экстремальных событиях (NOAA, 2019; NASA, NOAA, 2019; CPC, 2018; JMA, 2018 и др.). Всемирная Метеорологическая Организация (ВМО) обобщает эти материалы в пресс-релизах и ежегодных сообщениях о состоянии климата (WMO, 2019a).

Согласно предварительным оценкам ВМО (WMO, 2019a; IPCC, 2018), 2018 год стал четвертым самым теплым годом в истории инструментальных наблюдений. Проведенный ВМО совместный анализ пяти международных комплектов данных (станционные наблюдения NOAA, HadCRU, JRA-55, данные реанализа ERA-Interim и комбинированные данные GISTEMP) показал, что глобальная приземная температура в 2018 году была на 1.0 ± 0.13°C выше доиндустриального базового уровня (1850-1900 гг.). Самым теплым за всю историю наблюдений остается 2016 год благодаря влиянию сильного Эль-Ниньо. По имеющимся прогнозам и экспертным оценкам, вероятность осуществления Эль-Ниньо в 2019 году составляет примерно 50-60%, но даже при слабом Эль-Ниньо 2019 год может быть теплее 2018-го (WMO, 2019b).

В сообщении ВМО (WMO, 2019a) подчеркивается, что в вопросе изменения глобального климата долгопериодный температурный тренд важнее, чем рейтинг отдельных лет, и что этот тренд восходящий. Так, с 1978 года не было ни одного года со среднегодовой температурой ниже средней за 1961-1990 гг., а двадцать самых теплых лет в истории наблюдений приходятся на последние 22 года. В (WMO, 2019a, 2019b, 2019c; Wuebbles et al., 2017; и др.) приводятся ключевые факторы и индикаторы потепления и анализируются многочисленные факты, указывающие на продолжающееся потепление. Среди них – увеличение концентрации парниковых газов в атмосфере, повышение уровня моря и теплосодержания океана, усиливающееся закисление океана. Годовой минимум площади морского льда 2018 г. стал шестым среди самых низких значений, притом что все 12 минимумов наблюдались в последние 12 лет. Площадь морского льда в Антарктике также в течение всего 2018 г. была значительно ниже среднего уровня, а в конце февраля едва не достигла абсолютного минимума, оказавшись на втором месте после 2016 г.

В ряде обзоров (BOM, 2019; NOAA, 2019; WMO, 2019d) отмечается повышение повторяемости и интенсивности крупных климатических аномалий и опасных явлений. Так, в 2018 году количество тропических циклонов было значительно выше среднего многолетнего значения. Особенно активным оказался северо-восточный район Тихого океана, где аккумулированная энергия

циклонов стала самой высокой со времени начала надежных спутниковых наблюдений (WMO, 2019a). Сильные паводковые осадки наблюдались в Индии, Японии, Восточной Африке и Средиземноморье (BOM, 2019). Волны тепла и засухи затронули Австралию, Европу и Северную Африку. Сильные пожары наблюдались на Балканах и в Северной Америке. В Европе, в начале 2018 года, наблюдались и волны холода, повторяемость которых в последние годы определенно снизилась.

В предлагаемой статье приводятся основные фактографические данные об аномалиях и экстремумах приземной температуры в 2018 г. и обновленные оценки климатических трендов, полученные авторами в рамках действующей системы оперативного климатического мониторинга. Рассматриваются как локальные оценки (в точках наблюдений), так и их обобщения для Земного шара в целом, полушарий и крупных регионов (континенты, океаны, широтные пояса). Полная информация доступна на Web-сайтах (ИГКЭ, 2019), где можно найти все выпуски сезонных бюллетеней и годовых обзоров ИГКЭ за время функционирования системы мониторинга климата (с 2015 г.).

Данные

Как отмечалось выше, все приводимые в данной статье результаты, получены в рамках действующей в ИГКЭ технологии мониторинга глобального климата по разделу «Приземная температура». Соответственно, все оценки получены по данным наблюдений за приземной температурой из двух источников – ИГКЭ и Hadley/CRU. Эти данные подробно описаны в бюллетенях и в предыдущих статьях авторов (ИГКЭ, 2019; Груза и др., 2018) . Тем не менее, ниже повторена краткая справка об этих данных.

Данные ИГКЭ (массив T3288) включают данные стандартных наблюдений за температурой приземного воздуха (температура на высоте 2 м) с 1901 года на глобальной сети 3288 станций (среди станций есть и островные). Массив содержит данные наземных наблюдений и потому относится к категории «только суша». Описание массива и каталог включенных в него станций можно найти на web-сайте ИГКЭ (ИГКЭ, 2019).

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 сайте источника http://www.metoffice.gov.uk.

Напомним, что базовым массивом для оценки температурных условий *на суше* служит массив станционных данных T3288, а сеточный массив HadCRUT4 используется для создания *глобальной* картины *над сушей и океа-*

нами. Соответственно, в используемой технологии глобальные и полушарные временные ряды по данным Т3288 (только суша) рассчитываются в рамках мониторинга по методике ИГКЭ, а по данным HadCRUT4, CRUTEM4 и HadSST3 (суша+море, суша и море, соответственно) уже рассчитанные производителем ряды скачиваются с сайта источника (см. выше). Апробированные глобальные временные ряды CRUTEM4, помимо этого, рассматриваются как некий стандарт для сравнения с рядами, рассчитанными по массиву Т3288. Действительно, сопоставление одноименных временных рядов CRUTEM4 и Т3288 (рис. 1), 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.

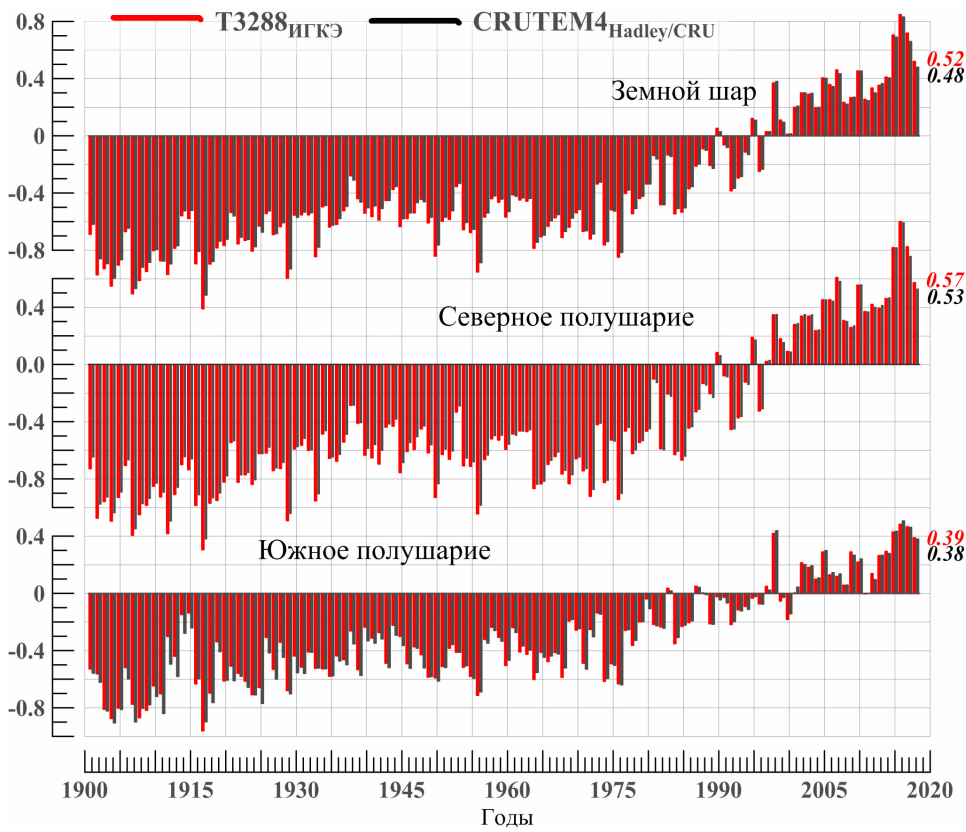

Рисунок 1. Временные ряды пространственно осредненных годовых аномалий температуры приземного воздуха над сушей Земного шара, Северного и Южного полушарий (°С, 1901-2018 гг.)

Использованы временные ряды, рассчитанные по данным массива Т3288 (ИГКЭ) и глобальные временные ряды CRUTEM4 (Hadley/CRU)

Близость рядов Т3288 и CRUTEM4 примерно с середины прошлого столетия видна уже визуально (рис. 1). Количественные результаты сравнения многократно приводились в статьях и бюллетенях для разных календарных

сезонов и периодов оценивания (Груза и др., 2018; ИГКЭ, 2019). В частности, на отрезке 1976-2018 гг. средние значения рядов совпадают, а на 100-летнем отрезке 1919-2018 гг. различаются на 0.01-0.02°C (ИГКЭ, 2019). Стандартное отклонение различий за эти периоды (0.02-0.04°C) более, чем на порядок ниже стандартного отклонения самих рядов (0.3-0.5°C); ряды характеризуются исключительно высокой корреляцией (0.99-1.00) и предельно низким различием трендов (до ±0.01°C/10 лет). Индивидуальные различия рядов после 1976 г. не превышали 0.07°C, но в более ранние годы достигали и 0.12°C. Следует отметить, что максимальное (после 1976 г.) различие между оценками глобальной температуры для суши Северного полушария и Земного шара по данным массивов T3288 (ИГКЭ) и CRUTEM4 (Hadley/CRU) получено именно в 2017-2018 гг. – соответственно, 0.06 и 0.04°C.

Таким образом, статистические оценки изменчивости температуры приземного воздуха, полученные по данным массива T3288, очень близки к оценкам по данным эталонного массива CRUTEM4. Применительно к оценкам трендов этот вывод особенно убедителен. Для каждого из сезонов аналогичные материалы с тем же заключением представлены в соответствующих выпусках сезонных бюллетеней.

Результаты

Период 2015-2018 гг. – самый теплый 4-летний период в истории инструментальных наблюдений (в среднем по Земному шару)

Среднегодовая приповерхностная температура Земного шара, в целом над континентами и океанами, в 2018 году понизилась, в сравнении с 2017 г., на 0.081°C, а в Северном и Южном полушариях – на 0.135 и 0.028°C, соответственно (данные HadCRUT4, суша+море). При этом 2018 год вошел в число шести самых теплых лет с середины XIX столетия в любой из рассмотренных категорий данных: «только суша» – T3288, CRUTEM4, «только море» – HadSST3 и «суша +море» – HadCRUT4 (табл. 1). Точнее, 2018 год оказался четвертым из самых теплых лет по Земному шару в целом и четвертым-шестым – по Северному и Южному полушариям порознь.

На рис. 2 приведены временные ряды аномалий глобальной и полушарных температур по данным Hadley/CRU (вверху) и ИГКЭ (внизу) для всех рассмотренных категорий данных (суша, море, суша+море). Самым теплым на сегодняшний день остается 2016 год, за ним – 2015 и 2017 (в Южном полушарии – 1998). Двукратное понижение температуры в 2017 и 2018 гг. практически скомпенсировало рекордный скачок 2015-2016 гг., и в 2018 г. глобальная температура почти вернулась к уровню 2014 г. (превысила ее, в среднем по Земному шару и за год, всего на 0.017°C). Тем не менее, период 2015-2018 гг., в целом, стал самым теплым 4-летним периодом с начала инструментальных наблюдений, а тенденция к потеплению и в 2018 году выявляется в глобальных временных рядах практически столь же определенно – оценки тренда за 1976-2018 и 1976-2016 совпадают с точностью до 0.001°C/10 лет.

Таким образом, современное глобальное потепление, как уже отмечалось в (Груза и др., 2018), началось в 1970-х, замедлилось в 2000-х (вплоть до 2010 г.), в 2015-2016 гг. вышло на новый уровень, но к 2018 г. вернулось к уровню 2014 г. (и по величине аномалий, и по оценкам тренда).

Таблица 1. Шесть самых теплых лет для Земного шара, Северного и Южного полушарий по данным разных источников (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	0.504	2016	0.701	2016	0.308	2016
2	0.470	2015	0.670	2015	0.274	2015
3	0.384	2017	0.559	2017	0.242	1998
4	0.303	***2018***	0.424	***2018***	0.211	2017
5	0.286	2014	0.416	2014	0.190	2009
6	0.267	2010	0.377	2010	0.183	***2018***
T3288 (ИГКЭ, суша)						
1	0.848	2016	0.998	2016	0.483	2016
2	0.718	2017	0.822	2017	0.466	2017
3	0.705	2015	0.816	2015	0.429	2015
4	0.520	***2018***	0.607	2007	0.419	1998
5	0.461	2007	0.571	***2018***	0.389	***2018***
6	0.453	2010	0.554	2010	0.294	2014
CRUTEM4 (Hadley/CRU, суша)						
1	0.831	2016	0.993	2016	0.507	2016
2	0.690	2015	0.817	2015	0.462	2017
3	0.659	2017	0.757	2017	0.438	1998
4	0.480	***2018***	0.582	2007	0.434	2015
5	0.453	2010	0.558	2010	0.380	***2018***
6	0.434	2007	0.529	***2018***	0.299	2005
HadSST3 (Hadley/CRU, море)						
1	0.408	2016	0.535	2016	0.291	2016
2	0.387	2015	0.526	2015	0.230	2015
3	0.300	2017	0.439	2017	0.199	1998
4	0.275	***2018***	0.409	***2018***	0.190	2017
5	0.272	2014	0.406	2014	0.167	***2018***
6	0.211	1998	0.273	2005	0.167	2010

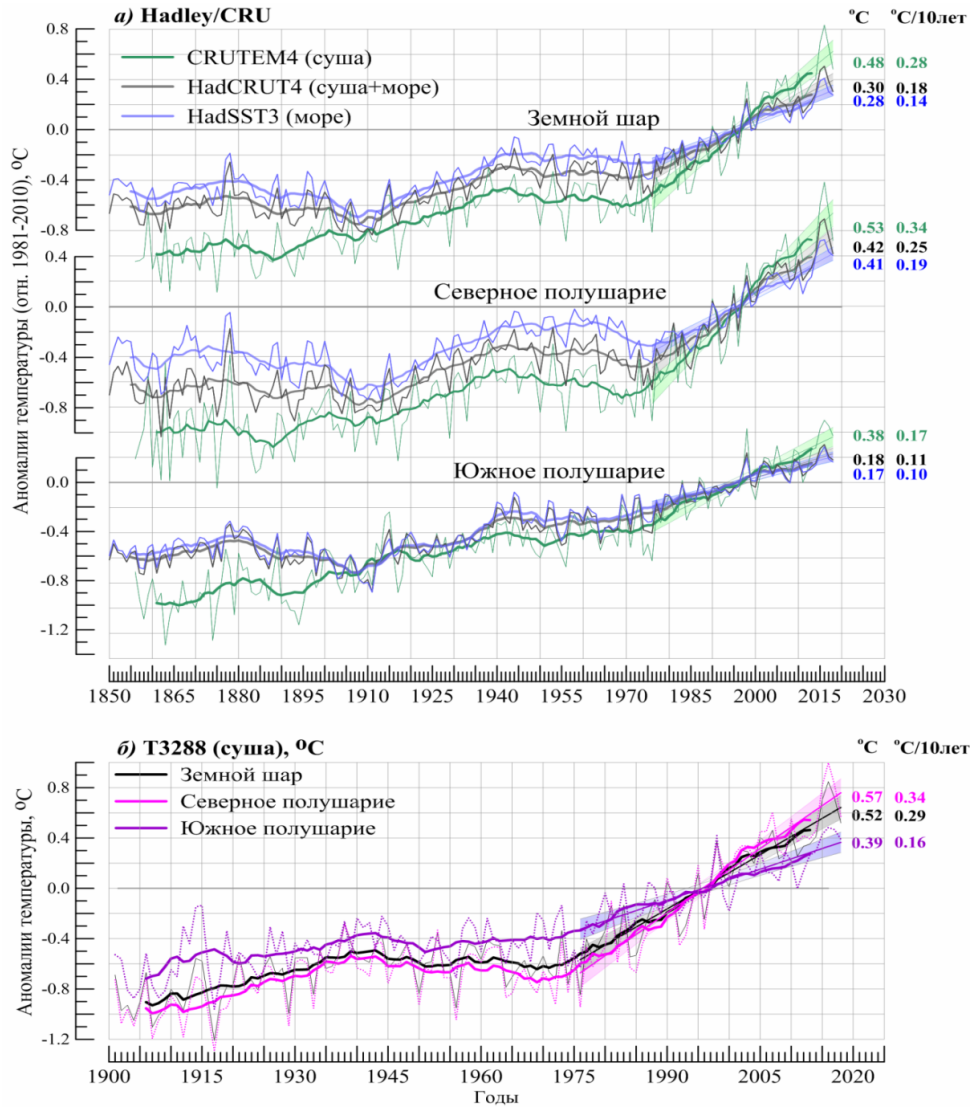

Рисунок 2. Временные ряды среднегодовых аномалий приземной температуры, осредненных по территории Земного шара, Северного и Южного полушарий: а) по данным Hadley/CRU; использованы оригинальные ряды HadCRUT4 (суша+море, черные кривые), CRUTEM4 (суша, зеленые кривые), HadSST3 (море, синие кривые); б) по данным ИГКЭ T3288 (суша); осреднение выполнено по методике ИГКЭ

Для всех рядов показан ход 11-летних скользящих средних и линейный тренд за 1976-2018 гг. с 95% доверительным интервалом. Справа приведены числовые значения среднегодовых аномалий в 2018 г. и значения коэффициентов линейного тренда за 1976-2018 гг. (°C/10 лет)

Особенности пространственного распределения аномалий приповерхностной температуры в 2018 г.

На рис. 3 приведены пространственные распределения среднегодовых аномалий приповерхностной температуры в 2018 г. (глобальные поля), а в табл. 2 – их частотные распределения по знаку и интенсивности аномалий для крупных регионов мира.

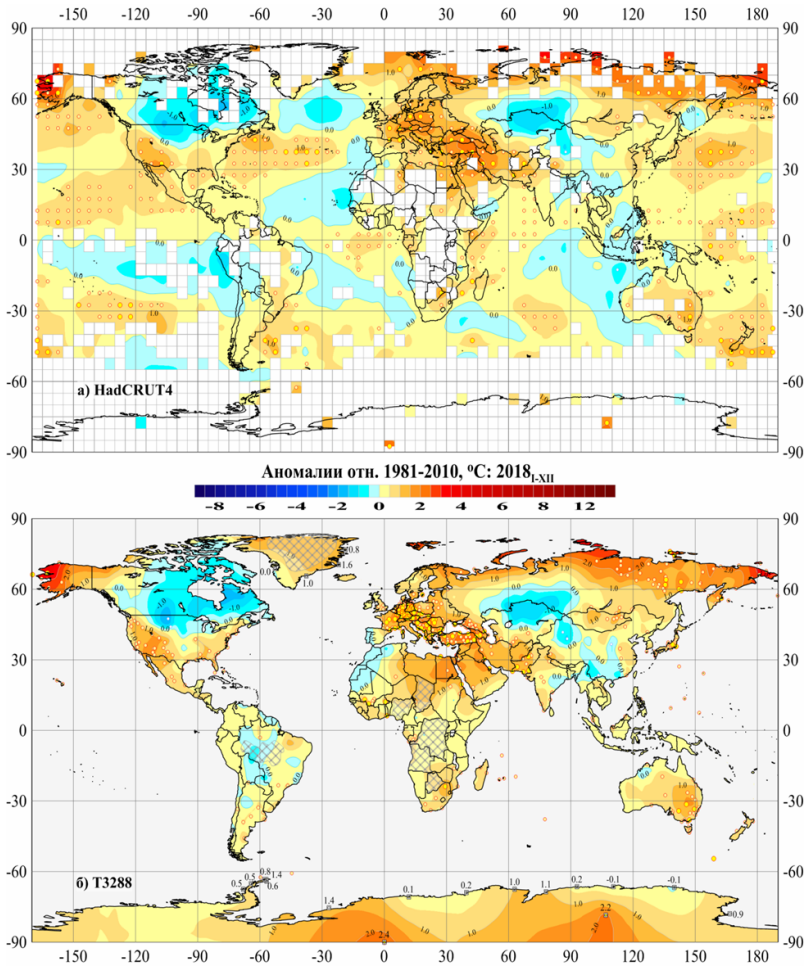

Рисунок 3. Пространственное распределение среднегодовых аномалий приземной температуры (°C) на территории Земного шара в 2018 г.: а) по сеточным данным HadCRUT4 (Hadley/CRU); б) по станционным данным T3288 (ИГКЭ)

Аномалии приведены в отклонениях от средних за 1981-2010 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. Штриховкой отмечены области отсутствия станционных наблюдений. Нанесены числовые значения аномалий на станциях Антарктиды и Гренландии

Как следует из табл. 2, доля положительных аномалий на Земном шаре составила 78.3% по данным боксов (суша + море) и 81.9% по данным наземных станций. При этом и на суше (по данным T3288), и на всей территории (по данным HadCRUT) около четверти значений оказались выше 95-го процентиля (5%-е экстремумы тепла), а на 5.1% боксов и 7.6% станций были перекрыты предыдущие максимумы (табл. 3). Особо следует выделить Европейский континент и Австралию, где положительные аномалии составили 94-96% всех наблюдений. Из европейских станций 47.5% зафиксировали значения выше 95-го процентиля, и более половины из них (26.1% общего числа станций) обновили абсолютные максимумы.

Таблица 2. Распределение локальных аномалий и экстремумов среднегодовой температуры у поверхности в 2018 г. по данным T3288 и HadCRUT4 в зависимости от знака и интенсивности аномалий и региона

Регион	NN – число станций/ боксов	Число значений в каждой категории (в % от NN)					
		Аномалии		5%-е экстремумы холода/тепла		Абсолютные экстремумы	
		$V < 0$	$V \geq 0$	$X \leq P_{05}$	$X \geq P_{95}$	$X = \min$	$X = \max$
HadCRUT4 (суша+море)							
ЗШ	1564	21.7	78.3	0.2	25.7	0.1	5.1
СП	933	18.3	81.7	0.2	31.1		5.0
ЮП	631	26.8	73.2	0.2	17.7	0.2	5.1
90-65S	14	21.4	78.6		14.3		14.3
65-25S	318	17.3	82.7		22.6		7.9
25S-25N	613	25.9	74.1	0.3	20.9	0.2	1.5
25-65N	538	21.7	78.3	0.2	32.0		6.9
65-90N	81	7.4	92.6		34.6		7.4
T3288 (только суша)							
ЗШ	1648	18.1	81.9	0.4	27.2		7.6
СП	1370	18.8	81.2	0.5	27.8		8.5
ЮП	279	14.7	85.3		24.0		3.2
С. Америка	302	28.5	71.5	1.0	17.2		0.3
Евразия	861	16.1	83.9	0.5	32.4		12.1
Ю. Америка	128	25.8	74.2		8.6		
Африка	103	19.4	80.6		26.2		6.8
Австралия	71	4.2	95.8		38.0		7.0
Антарктида	17	11.8	88.2		23.5		11.8
Европа	314	6.4	93.6		47.5		26.1
Азия	554	21.7	78.3	0.7	24.2		4.2

Примечания. Условные обозначения: V^o – 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. 3.

Наиболее значительные положительные аномалии отмечены в Арктике, Европе, на Ближнем Востоке, юго-западе США и юго-востоке Австралии. Наибольшие значения аномалий наблюдаются на Чукотке и Аляске (до +4.7°C и +3.9°C соответственно). Положительными аномалиями занята также большая часть акватории Тихого океана, крупные области в Атлантическом океане – у побережий Северной и Южной Америки и Африки, и западная часть Индийского океана.

В то же время на обширных территориях континентов и океанов в 2018 г. наблюдались отрицательные аномалии (температура ниже нормы 1981-2010 гг.). Из континентов выделяются Северная Америка, Южная Америка и Азия

(отрицательных аномалий более 20-25%). Среднегодовая температура ниже нормы наблюдалась практически на всей территории Канады, северного Казахстана и юга Сибири. Слабые отрицательные аномалии – на западе и юге Китая, на западе Африки, в центре Южной Америки, в Индонезии. Крупные океанические области отрицательных аномалий были отмечены в Южном полушарии и в Атлантике (вблизи Гренландии и в тропическом поясе).

В табл. 3, для континентов и широтных поясов, представлены ежемесячные регионально осредненные значения наблюдаемых в 2018 г. аномалий и их ранги в упорядоченных по убыванию временных рядах для соответствующего месяца.

Четко видны и регионы температурных рекордов (региональные максимумы), и заметно повышенное число отрицательных региональных аномалий, не характерное для периода активного глобального потепления.

Внутрисезонные особенности распределения аномалий. Более полное представление о температурных аномалиях 2018 года дают ежемесячные глобальные поля аномалий, сгруппированные по сезонам на рис. 4а-4г (рисунки для океанических акваторий не приведены, но основные особенности полей указаны в тексте).

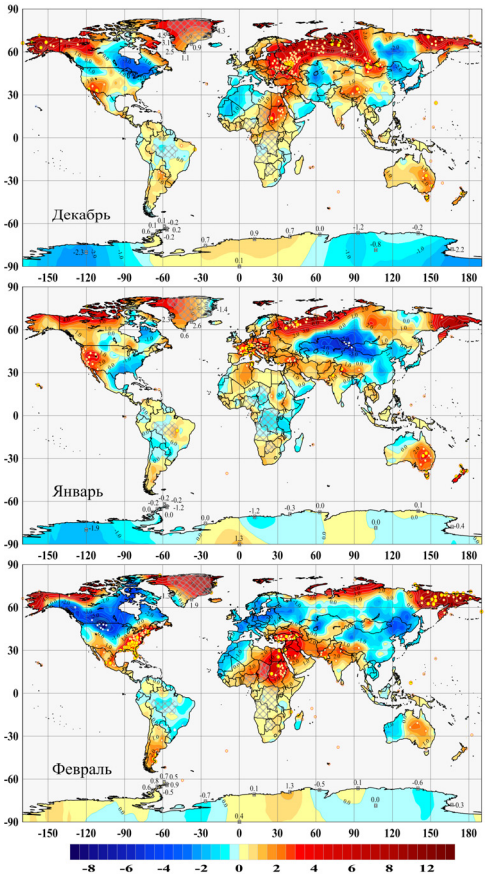

Рисунок 4а. Аномалии средней месячной температуры приземного воздуха: декабрь 2017 – февраль 2018 (Т3288, °С)

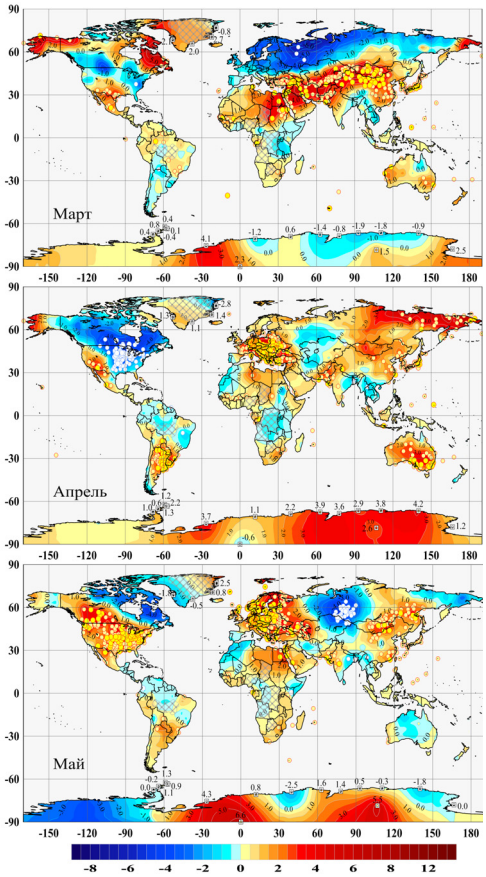

Рисунок 4б. Аномалии среднемесячной температуры приземного воздуха: март-май 2018 (Т3288, °С)

Таблица 3. Пространственно осредненные значения аномалий приземной температуры в 2018 г. (за каждый месяц и в среднем за год) для континентов, северных частей Атлантического и Тихого океанов и основных широтных поясов земного шара

Регион	Месяцы 2018 г.												Год
	I	*II*	*III*	*IV*	*V*	*VI*	*VII*	*VIII*	*IX*	*X*	*XI*	*XII*	*I-XII*
T3288 (суша)													
С.Америка	0.58_{25}	$\mathbf{-0.26_{44}}$	0.57_{16}	$\mathbf{-1.44_{87}}$	$\mathbf{1.73_{1}}$	0.84_{5}	0.96_{2}	0.36_{12}	$\mathbf{-0.07_{45}}$	$\mathbf{-0.27_{67}}$	$\mathbf{-0.70_{69}}$	1.73_{8}	0.29_{15}
Евразия	0.32_{23}	0.29_{22}	0.68_{13}	1.23_{7}	0.61_{9}	0.91_{4}	0.79_{4}	0.74_{6}	0.76_{4}	1.21_{2}	0.23_{28}	$\mathbf{-0.04_{34}}$	0.65_{6}
Европа	2.13_{8}	$\mathbf{-1.07_{61}}$	$\mathbf{-2.88_{90}}$	1.62_{5}	$\mathbf{2.20_{1}}$	0.56_{18}	1.90_{2}	1.54_{5}	$\mathbf{1.91_{1}}$	1.26_{5}	0.94_{34}	1.25_{22}	0.93_{6}
Азия	$\mathbf{-0.15_{36}}$	0.58_{16}	1.62_{7}	1.12_{9}	0.14_{22}	0.99_{3}	0.48_{9}	0.53_{7}	0.45_{9}	1.17_{2}	0.06_{28}	$\mathbf{-0.40_{47}}$	0.56_{7}
Ю.Америка	0.07_{27}	0.06_{31}	0.11_{21}	$\mathbf{0.70_{1}}$	0.47_{15}	$\mathbf{-0.43_{73}}$	$\mathbf{-0.03_{42}}$	$\mathbf{-0.29_{57}}$	1.00_{3}	0.22_{14}	0.29_{10}	$\mathbf{-0.03_{30}}$	0.17_{15}
Африка	0.21_{29}	0.96_{4}	0.89_{5}	0.62_{6}	0.31_{16}	0.39_{10}	0.71_{4}	0.08_{22}	0.60_{3}	0.21_{18}	0.56_{7}	0.56_{6}	0.55_{5}
Австралия	1.05_{3}	0.46_{15}	0.77_{11}	1.90_{2}	$\mathbf{-0.19_{45}}$	0.05_{42}	0.84_{6}	$\mathbf{-0.48_{63}}$	$\mathbf{-0.07_{31}}$	1.34_{6}	0.47_{19}	$\mathbf{1.83_{1}}$	0.63_{3}
Антарктида	$\mathbf{-0.59_{54}}$	$\mathbf{-0.08_{31}}$	$\mathbf{-0.24_{38}}$	2.11_{3}	$\mathbf{-0.10_{31}}$	$\mathbf{-0.03_{27}}$	1.87_{8}	$\mathbf{-0.12_{34}}$	$\mathbf{-0.92_{46}}$	0.22_{31}	0.40_{19}	0.17_{24}	0.62_{6}
HadCRUT4 (суша+море)													
АО,15-70 N	0.51_{2}	0.39_{4}	0.27_{12}	0.23_{11}	0.12_{18}	0.11_{19}	0.04_{29}	0.15_{21}	0.29_{13}	0.19_{21}	0.03_{34}	0.09_{25}	0.20_{16}
ТО,40-60 N	0.46_{4}	$\mathbf{0.62_{1}}$	$\mathbf{0.60_{1}}$	0.48_{2}	0.53_{2}	0.59_{3}	0.49_{7}	0.44_{8}	0.58_{4}	$\mathbf{0.75_{1}}$	$\mathbf{0.91_{1}}$	$\mathbf{0.65_{1}}$	0.59_{2}
65-90 N	2.35_{7}	2.83_{2}	$\mathbf{-0.14_{37}}$	1.49_{12}	0.12_{26}	0.86_{8}	0.33_{19}	0.85_{5}	1.13_{4}	2.06_{3}	1.28_{19}	1.77_{8}	1.36_{4}
25-65 N	0.35_{12}	0.16_{17}	0.65_{6}	0.44_{10}	0.72_{2}	0.71_{2}	0.72_{2}	0.55_{6}	0.50_{7}	0.57_{6}	0.21_{18}	0.22_{18}	0.48_{4}
25 S-25 N	0.04_{23}	0.07_{19}	0.08_{17}	0.13_{14}	0.12_{14}	0.11_{16}	0.14_{14}	0.17_{12}	0.29_{4}	0.33_{6}	0.41_{3}	0.37_{5}	0.19_{11}
65-25 S	0.37_{2}	0.31_{3}	$\mathbf{0.47_{1}}$	$\mathbf{0.61_{1}}$	$\mathbf{0.40_{1}}$	0.27_{3}	0.27_{6}	0.24_{7}	$\mathbf{0.25_{1}}$	0.28_{4}	$\mathbf{0.31_{1}}$	$\mathbf{0.40_{1}}$	$\mathbf{0.37_{1}}$
90-65 S	0.13_{21}	$\mathbf{-0.04_{36}}$	$\mathbf{-0.12_{40}}$	1.64_{3}	0.06_{32}	1.31_{6}	1.33_{10}	1.29_{12}	$\mathbf{-0.98_{47}}$	0.19_{25}	0.31_{24}	0.19_{20}	0.45_{9}

Примечание. Нижними индексами показаны ранги в упорядоченных по убыванию временных рядах за 1911-2018 гг. для соответствующего месяца. Красным шрифтом выделены абсолютные максимумы, синим шрифтом – отрицательные аномалии (температура ниже климатической нормы 1981-2010 гг.).

Зимой 2017/18 г. отмечались обширные положительные аномалии в Арктическом регионе – на 43% станций значения были выше 95-го процентиля, а на 20% станций были перекрыты локальные сезонные максимумы. Сезон оказался рекордно теплым, в среднем по акватории Северной Атлантики (15-70°с.ш.) и в целом по Арктическому широтному поясу (60-90°с.ш.).

В декабре 2017 года два региона – Северная Атлантика и южные умеренные широты – обновили абсолютный максимум месяца, а в Евразии средняя температура превысила 97-й процентиль (в основном, за счет Европы и Западной Сибири). Значительные аномалии тепла с абсолютными максимумами наблюдались также в северо-восточной Африке и Передней Азии, а также на западном побережье США и Мексики.

Весной 2018 года, в среднем за сезон, на фоне положительных аномалий глобальных температур, отмечается высокая доля локальных отрицательных аномалий (25% всех станций и 29% боксов). Обширная область холода с центром над Уралом находится на территории России и на севере Казахстана (до -3.1°С). Отрицательные аномалии наблюдаются также на востоке Северной Америки (до -2.3°С). В тропических широтах океанов Южного полушария и на северо-востоке Атлантики отрицательные аномалии сохранялись на протяжении всего сезона.

Яркой особенностью *марта* является обширная область отрицательных аномалий в Евразии – от Западной Европы до Чукотки (минимум -7.2°С в Республике Коми) и примыкающая к ней на юге еще более обширная область интенсивных положительных аномалий – от северной Африки до Японии (максимум +8.8°С в Монголии).

В апреле отрицательные аномалии на востоке США и Канады усилились (до -6.3°С) и распространились на бóльшую часть территории континента. Положительные аномалии (до +7.6°С) охватили практически всю Европу, север Восточной Сибири и Дальнего Востока, территорию Австралии и юг Южной Америки.

В мае области тепла с многочисленными локальными экстремумами (5%-ми и рекордными) почти полностью охватили территорию Северной Америки, Европы и всю восточную территорию Азии, от Таймыра и Камчатки на севере до Японии и Китая на юге. На обоих континентах установлены новые региональные максимумы: аномалии +1.73°С в Северной Америке и +2.2°С в Европе. Сравнительно небольшие области тепла отмечены также в отдельных регионах Южной Америки, Африки и Антарктиды. При этом отрицательные аномалии в центре Евразии усилились (до -5.3°С) и сместились на территорию Западной Сибири.

Летний сезон на более четверти всех наземных станций Северного полушария попал в число 5% самых теплых летних сезонов с начала 20-го столетия. Экстремально теплые условия сложились в умеренном поясе Северного полушария, где средняя по региону температура достигла уровня 99-го процентиля. Здесь на 28% наземных станций зафиксированы 5%-е экстремумы тепла, из которых четверть – абсолютные максимумы.

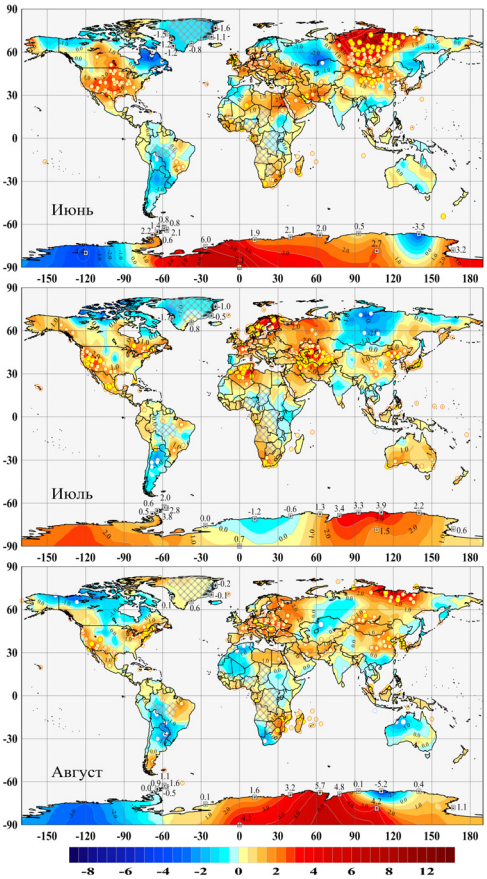

Рисунок 4в. Аномалии среднемесячной температуры приземного воздуха: июнь-август 2018 (Т3288, °С)

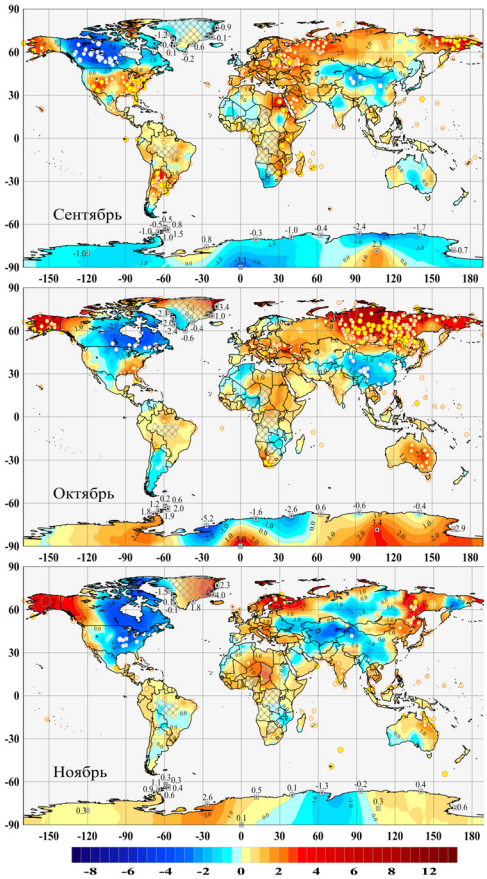

Рисунок 4г. Аномалии среднемесячной температуры приземного воздуха: сентябрь-ноябрь 2018 (Т3288, °С)

В то же время на 22% наземных станций (на 25% боксов) температура летнего сезона 2018 г. была ниже климатической нормы. Всего в Южном полушарии таких станций было 131 из 317 (41%), в том числе на 22 станциях сезон попал в число 5% самых холодных.

Наиболее интенсивные очаги тепла **в *июне*** были расположены в Сибири и Монголии (35 абсолютных максимумов, аномалия до +8.7°С), в Европе и на Ближнем Востоке, на территории США.

В июле наблюдалась еще более крупная аномалия в Европе (среднее значение по континенту +1.90°С, ранг 2) и Средней Азии, а также на территории США вдоль тихоокеанского побережья и на востоке Канады.

В августе обширная аномалия тепла отмечена в Европейском регионе и на севере Якутии, а также в южных районах Сибири, на территории Передней и Восточной Азии.

Отрицательные аномалии сохранялись в течение всего сезона на поверхности Атлантического океана (вблизи Гренландии и в тропиках), Индийского

океана и океанов Южного полушария, а также в Южной Америке (аномалия в среднем по континенту за сезон -0.43°С).

Расположение обширной области холода в Евразии менялось от месяца к месяцу: *в июне* – на ЕЧР и в Казахстане, *в июле* – в Восточной Сибири, *в августе* – в Западной Сибири и Казахстане.

Осенний сезон характеризуется крупными аномалиями обоих знаков на континентах и океанах обоих полушарий. Особенно теплые условия сложились практически на всей территории севернее 65°с.ш. (кроме Канадского Арктического архипелага) и в Северном Ледовитом океане вдоль побережья Евразии. В северной части Тихого океана и умеренном поясе Южного полушария сезон (в среднем по региону) был рекордно теплым, как и сентябрь в Европе (аномалия 1.91°С).

В сентябре новые рекорды температуры зафиксированы, в основном, на территории США, в центре Европы, на Чукотке и Аляске, в Африке и на севере Аргентины (на 96 станциях). *В октябре* значительные аномалии сосредоточены в азиатской части России, а *в ноябре* – на севере ЕЧР и в Скандинавии, на севере Африки, а также на Дальнем Востоке России и Аляске.

Доля станций с отрицательными аномалиями в этом сезоне составила 26%. Температура ниже нормы сохранялась все три месяца в Северной Америке (аномалии до -6.0°С) и на территории Китая (до -4.1°С в октябре).

В декабре 2018 г. крупные положительные аномалии отмечены в Арктике (до +10.5°С), Европе, на Ближнем Востоке, в Северной Америке, Австралии и на юге Африки (рис. 4д).

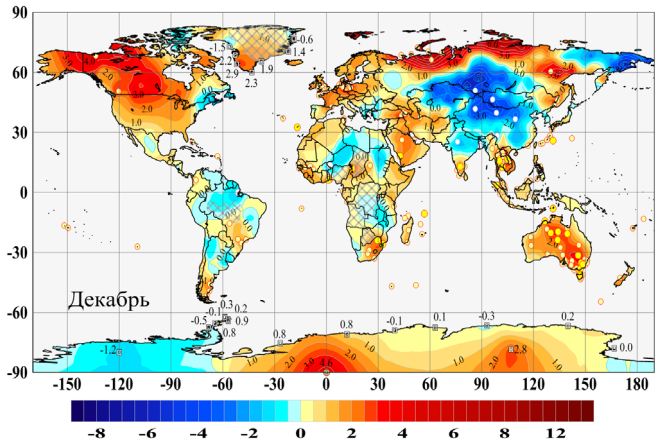

Рисунок 4д. Аномалии среднемесячной температуры приземного воздуха: декабрь 2018 (Т3288, °С).

В центральной части Евразии, напротив, сформировалась обширная область интенсивных отрицательных аномалий (на юге Сибири до -8°С). Температура ниже климатической нормы декабря установилась также на северо-востоке России (аномалии до -8.5°С), в Южной Америке и Африке.

Тенденции многолетних изменений приземной температуры на территории земного шара в течение 1976-2018 гг.

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, северное и южное полушария, основные широтные пояса, континенты и океаны (табл. 4-7).

Тенденция к повышению среднегодовой приземной температуры наблюдается практически на всей территории земного шара (рис. 5). Локальные положительные тренды составляют около 98% всех оценок по данным T3288 (только суша), а из оставшихся 2% (станции с тенденцией к похолоданию) только 0.1% оценок статистически значимы на 1%-м уровне (табл. 4). Область наиболее интенсивного потепления – Арктика. На севере Евразии, вдоль побережья Северного Ледовитого океана, практически всюду тренд достигает +0.8°C/10 лет и более (до +1.5°C/10 лет на Новой Земле). Бóльшая часть океанической поверхности в северном полушарии и южных тропиках (кроме западного сектора Тихого океана) также характеризуются трендами к потеплению, статистически значимыми на 1%-м уровне.

Таблица 4. Распределение локальных оценок тренда за 1976-2018 гг. 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 ≤0.01	α ≤ 0.05	α ≤0.10		α ≤0.01	α ≤ 0.05	α ≤0.10
T3288	ЗШ	1577	33	2	9	9	1544	1182	1331	1385
			2.1%	0.1%	0.6%	0.6%	97.9%	75.0%	84.4%	87.8%
	СП	1328	14	1	4	4	1314	1037	1160	1205
			1.1%	0.1%	0.3%	0.3%	98.9%	78.1%	87.3%	90.7%
	ЮП	250	19	1	5	5	231	146	172	181
			7.6%	0.4%	2.0%	2.0%	92.4%	58.4%	68.8%	72.4%
HadCRUT4	ЗШ	1476	45	3	7	12	1431	1046	1185	1229
			3.0%	0.2%	0.5%	0.8%	97.0%	70.9%	80.3%	83.3%
	СП	924	7	0	0	0	917	733	809	830
			0.8%	0.0%	0.0%	0.0%	99.2%	79.3%	87.6%	89.8%
	ЮП	552	38	3	7	12	514	313	376	399
			6.9%	0.5%	1.3%	2.2%	93.1%	56.7%	68.1%	72.3%

Примечания. Таблица обобщает распределение оценок на рис. 5. Процентное содержание данных рассчитано относительно N (N – реальное количество станций/боксов в регионе)

Отрицательный тренд наблюдается в небольшой области на северо-востоке Афганистана (до -0.30°C/10 лет), на западе Африки, в Боливии, а также в Южном океане вблизи Аргентины и на некоторых станциях Восточной Антарктиды (до -0.30°C/10 лет).

Географическое распределение локальных оценок трендов для сезонных аномалий приповерхностной температуры приведено на рис. 6: слева – по данным на полной сетке (HadCRUT4, суша+море), справа – по данным наземных станций (T3288, только суша).

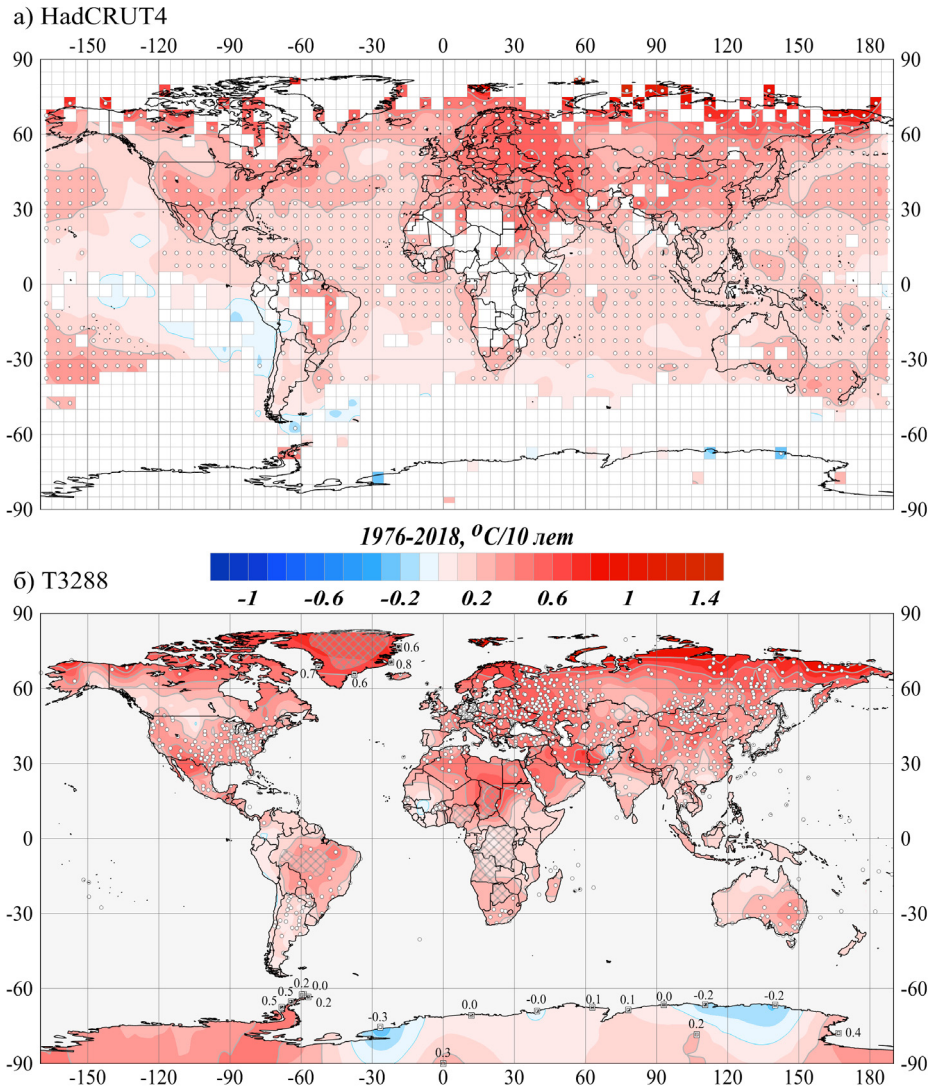

Рисунок 5. Пространственное распределение коэффициентов линейного тренда средней годовой температуры у поверхности Земного шара за период 1976-2018 гг. (°C/10 лет): а) по данным HadCRUT4 на полной сетке 5x5 гр.; б) по станционным данным T3288

На фоне характерного для всей территории доминирующего потепления (в среднем за год), распределение оценок сезонных локальных трендов имеет ряд особенностей (рис. 6). Основная из них – *наличие практически в каждом сезоне и на каждом континенте областей с отсутствием статистически значимого потепления*. Наиболее ярко, даже с указанием на тенденцию к похолоданию, такие области выявлены на континентах Северного полушария: в

центре Евразии – зимой и на территории Канады – весной, обе – статистически не значимые. Максимум скорости потепления приходится, напротив, в Евразии на весну, а в Северной Америке на зиму. В Южном полушарии, как на континентах, так и в океанах (табл. 5-6, рис. 6), распределения коэффициентов тренда в разные сезоны, в целом, сходны между собой. Заметная, но статистически незначимая тенденция к похолоданию отмечается здесь в тропической части Тихого океана (вблизи побережья Южной Америки), на юге акватории Атлантического океана, и (кроме осени) на Антарктическом континенте.

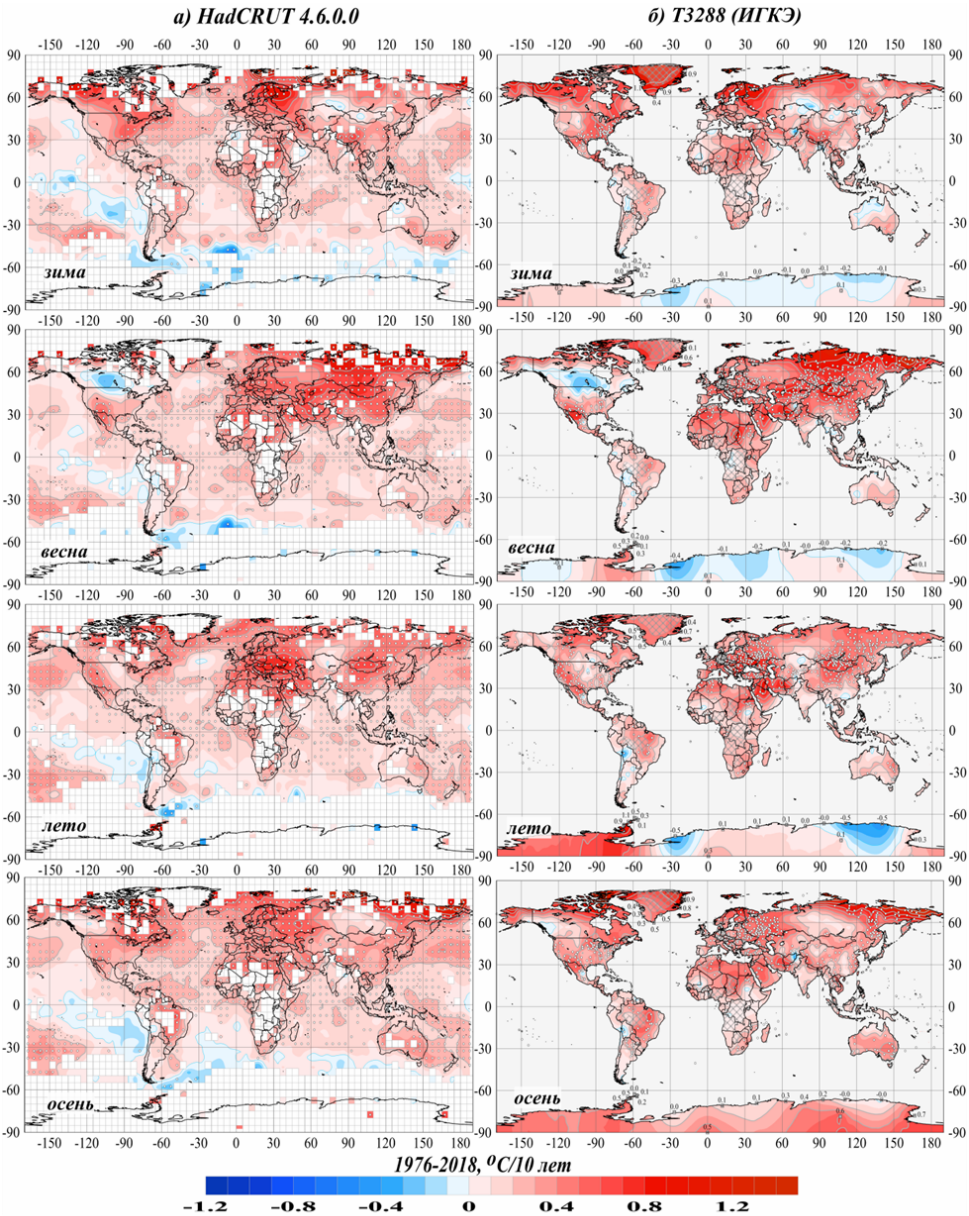

Рисунок 6. См. рис. 5, но для коэффициентов тренда сезонных аномалий температуры

Таблица 5. Коэффициенты линейного тренда пространственно осредненных аномалий приземной температуры для крупных регионов земного шара, 1976-2018 гг. (в среднем за год и по сезонам), в °С/10 лет

Регион	Год	Зима	Весна	Лето	Осень
HadCRUT4 (суша+море)					
Атлантика (15-70N)	0.199	0.209	0.170	0.201	0.228
Тихий океан (20-65N)	0.180	0.141	0.148	0.225	0.204
Арктический пояс (65-90N)	0.591	0.604	0.639	0.426	0.625
Умеренный пояс СП (25-65N)	0.287	0.254	0.295	0.309	0.297
Тропики (25S-25N)	0.145	0.143	0.146	0.147	0.145
Умеренный пояс ЮП (65-25S)	0.127	0.092	0.124	0.114	0.101
Антарктический пояс (90-65S)	0.061	***-0.082**	**-0.028**	0.103	0.237
T3288 (суша)					
Северная Америка	0.294	0.422	**0.162	0.270	0.330
Евразия	0.396	0.320	0.516	0.383	0.369
Европа	0.482	*0.480	0.458	0.526	0.451
Азия	0.371	0.277	0.531	0.341	0.345
Южная Америка	0.173	0.177	0.127	0.165	0.220
Африка	0.293	0.251	0.35	0.291	0.297
Австралия	0.190	*0.140	**0.153	0.177	0.285
Антарктида	0.046	**-0.042**	**-0.025**	0.037	*0.208

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

Обсуждение

В вопросе о факте современного глобального потепления, на сегодняшний день, в мировом научном сообществе достигнут относительный консенсус, сформулированный, в частности, в Пятом оценочном докладе МГЭИК: *«Потепление климатической системы является неоспоримым фактом, и, начиная с 1950-х годов, многие наблюдаемые изменения являются беспрецедентными в масштабах от десятилетий до тысячелетий. Произошло потепление атмосферы и океана, запасы снега и льда сократились, уровень моря повысился, концентрации парниковых газов возросли»* (IPCC, 2013). Тем не менее, остается множество частных вопросов, которые пока исследованы недостаточно. Ниже приводятся некоторые фактографические данные к вопросу об *особенностях глобального потепления на территории суши и на акваториях океанов, в Северном и Южном полушариях.*

Соответственно, предметом анализа в данном разделе будут временные ряды двух величин, пространственно осредненных по территории каждого полушария:

- SAT – температура приземного воздуха; ряды получены осреднением данных наблюдений на станциях T3288 по методике ИГКЭ;

- SST - температура поверхностного слоя воды; ряды скачаны с сайта MetOffice, версия HadSST 3.1.1.0[1)].

Данные выражены в отклонениях от климатической нормы 1981-2010 гг. Разрешение рядов – один месяц. Оценки для SAT приводятся, в дополнение к данным ИГКЭ, еще и по данным опубликованных MetOffice полушарных временных рядов CRUTEM 4.6.0.0 (в табл. 7 им соответствуют смежные строки IGCE и CRU).

Средняя скорость потепления в факторных подгруппах

В качестве факторов, определяющих разбиение данных на исследуемые подгруппы, здесь рассматриваются: поверхность (суша/море), регион (Северное/Южное полушария) и период оценивания (период с 1976 г./последнее 100-летие).

В табл. 6 представлены оценки линейных трендов рассматриваемых рядов для всех факторных подгрупп, а в табл. 7 – показатели k_1 - k_3, сравнивающие интенсивность потепления в сравниваемых подгруппах через отношение соответствующих коэффициентов тренда b, а именно: $k_1 = b_{SAT}/b_{SST}$ – на территории суши и акваториях океанов; $k_2 = b_{СП}/b_{ЮП}$ – в северном и южном полушариях; $k_3 = b_{1976\text{-}2018}/b_{1919\text{-}2018}$ – за период современного потепления 1976-2018 и последнее столетие 1919-2018 гг.

Таблица 6. Коэффициенты линейного тренда временных рядов приповерхностной температуры в 1976-2018 гг. и 1919-2018 гг., °C/10 лет (в среднем по полушариям, за год и календарные сезоны)

Регион	1976-2018					1919-2018				
	Год	*Зима*	*Весна*	*Лето*	*Осень*	*Год*	*Зима*	*Весна*	*Лето*	*Осень*
SAT, T3288 (суша)										
Северное полушарие	0.341	0.333	0.372	0.318	0.345	0.132	0.163	0.161	0.106	0.099
Южное полушарие	0.164	0.157	0.141	0.167	0.202	0.086	0.080	0.083	0.085	0.090
SAT, CRUTEM4 (суша)										
Северное полушарие	0.336	0.335	0.364	0.313	0.335	0.126	0.149	0.155	0.102	0.100
Южное полушарие	0.166	0.155	0.140	0.173	0.198	0.092	0.086	0.088	0.096	0.097
SST, HadSST3 (море)										
Северное полушарие	0.185	0.159	0.161	0.216	0.209	0.062	0.054	0.058	0.073	0.065
Южное полушарие	0.096	0.092	0.115	0.097	0.083	0.069	0.069	0.073	0.068	0.067

[1)] При анализе оценок трендов, полученных по данным HadSST3, следует иметь в виду инструментальную неоднородность этих данных, связанную с разной точностью используемых наблюдений. При этом, как показано в (Davis et al., 2018), основные претензии относятся к периоду 1950-1975 гг., который в данном анализе практически не используется.

Таблица 7. Сравнение скорости глобального потепления (у поверхности) в разных факторных подгруппах: в среднем за год и по сезонам

Данные	Год	Зима	Весна	Лето	Осень	Год	Зима	Весна	Лето	Осень
k_1	**$k_1 = b_{SAT} / b_{SST}$, 1976-2018**									
	СП					ЮП				
IGCE	1.8	2.1	2.3	1.5	1.7	1.7	1.7	1.2	1.7	2.4
CRU	1.8	2.1	2.3	1.4	1.6	1.7	1.7	1.2	1.8	2.4
k_2	**$k_2 = b_{СП} / b_{ЮП}$, 1976-2018**									
	SAT					SST				
IGCE	2.1	2.1	2.6	1.9	1.7					
CRU|SST	2.0	2.2	2.6	1.8	1.7	1.9	1.7	1.4	2.2	2.5
k_3,СП	**$k_3 = b_{1976\text{-}18} / b_{1919\text{-}18}$, СП**									
	SAT					SST				
IGCE	2.6	2.0	2.3	3.0	3.5					
CRU|SST	2.7	2.2	2.3	3.1	3.4	3.0	2.9	2.8	3.0	3.2
k_3,ЮП	**$k_3 = b_{1976\text{-}18} / b_{1919\text{-}18}$, ЮП**									
	SAT					SST				
IGCE	1.9	2.0	1.7	2.0	2.2					
CRU|SST	1.8	1.8	1.6	1.8	2.0	1.3	1.3	1.6	1.4	1.2

В соответствии с данными табл. 7, можно сделать следующие выводы.

♦ Оценки по данным T3288 и CRUTEM4 хорошо согласуются между собой, особенно на отрезке 1976-2018 гг.

♦ Скорость современного потепления у поверхности суши выше, чем на поверхности океанов в k_1 = 1.2-2.4 раза, в зависимости от сезона и полушария. При этом в северном полушарии этот разрыв между скоростью потепления на континентах и океанах больше в зимне-весенний период (примерно в 2.1-2.3 раза против 1.5-1.7), а в южном – скорее наоборот, летом и осенью (в 1.7-2.4 против 1.2-1.7). Симметрия нарушена в весенний сезон, когда в южном полушарии скорость потепления на суше и на поверхности океанов почти одинакова (k_1 = 1.2 – немногим больше 1.0).

♦ Современное потепление на суше протекает в Северном полушарии в k_2=1.7-2.6 раза быстрее, чем в Южном. И здесь разрыв между полушариями для континентов больше в зимне-весенний период (2.1-2.6 против 1.7-1.9), а для океанов – летом и осенью (2.2-2.5 против 1.4-1.7). И опять, как и в случае k_1, весной показатель k_2 для континентов не уменьшается как для океанов, а увеличивается.

♦ Современное потепление (1976-2018), в сравнении с потеплением столетия (1919-2018) ускорилось в 1.2-3.5 раза в зависимости от сезона, полушария и поверхности. В целом, коэффициент ускорения на континентах выше, чем на океанах; летом и осенью выше, чем зимой-весной; в Северном полушарии

на суше ускорилось в 2.0-2.3 в зимне-весенний сезон и в 3.0-3.5 летом и осенью, а на океанах в 2.8-2.9 и 3.0-3.2, соответственно. В Южном полушарии этот показатель от сезона почти не зависит – для суши он равен примерно 2.0, а для океанов – около 1.5, при этом для весенних сезонов и для суши, и для океанов, он равен 1.6-1.7.

Многолетние и межмесячные изменения приповерхностной температуры над сушей и океанами (в среднем по территории полушарий)

На диаграммах (рис. 7) в форме двумерных изоплет представлены межгодовые (по вертикали) и межмесячные (по горизонтали) изменения глобально осредненных (полушарных) аномалий приповерхностной температуры на протяжении всего периода инструментальных наблюдений (1850-2018 гг.). Диаграммы приведены для тех же 4-х групп данных: (суша–море) * (СП–ЮП). Во всех случаях использованы данные MetOffice, доступные за полный период инструментальных наблюдений (с 1850 года): CRUTEM.4.6.0.0 (суша, SAT) и HadSST.3.1.1.0 (море, SST).

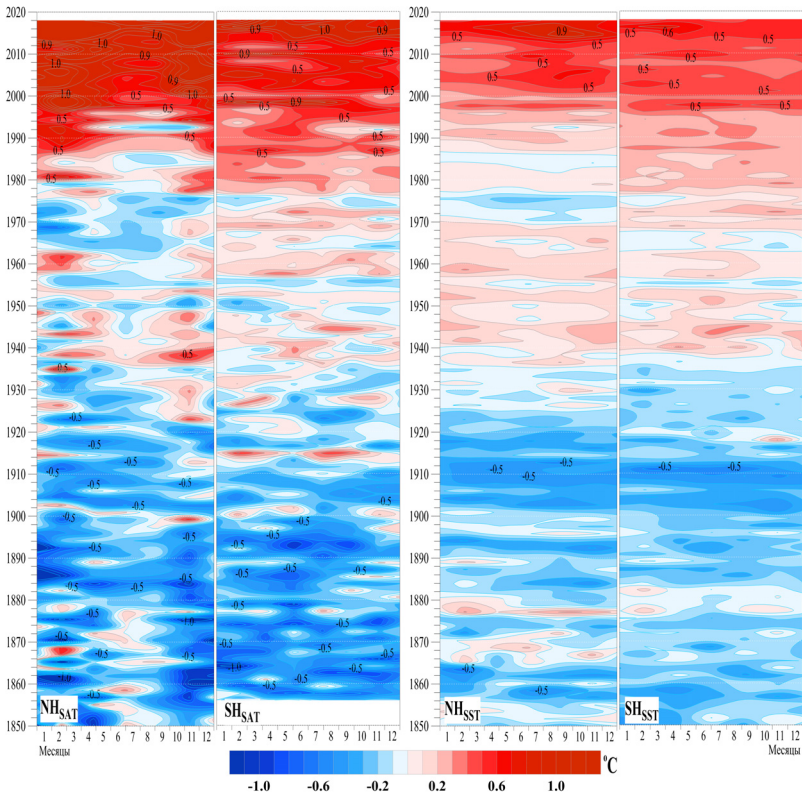

Рисунок 7. Межгодовые (по вертикали) и межмесячные (по горизонтали) изменения аномалий температуры приземного воздуха SAT (слева) и температуры поверхности океана SST (справа), осредненных по территории Северного и Южного полушарий, за период с января 1850 г. по декабрь 2018 года. Использованы временные ряды CRUTEM4.6.0.0 для SAT и HadSST.3.1.1.0 для SST (ряды скачаны с сайта MetOffice, UK). Аномалии рассчитаны как отклонения от средних за 1850-2018 гг.

На рис. 7 прежде всего обращает внимание разный масштаб изменчивости – над сушей (SAT, слева) он значительно выше, чем на поверхности океанов (SST, справа). Изолинии в изменении SST имеют четко выраженную горизонтальную направленность, что практически означает отсутствие сезонного хода (напомним, что на диаграмме изображен ход аномалий).

Представляется, что на всех четырех диаграммах условно можно выделить три временных интервала, существенно различающихся по ходу температуры: холодный начальный период примерно до 1930-1940 гг., затем – потепление с эпизодами похолодания до 1970-1990 гг. и далее – активное потепление. Однако каждый из них неоднороден и требует большей детализации.

На суше самым холодным был период 1880-1900 гг., а на акваториях океанов – 1905-1915 гг., причем на суше Южного полушария весь начальный период до 1895-1910 гг. был сравнительно однородно холодным.

Первое потепление, известное как «арктическое потепление 40-х», прослеживается здесь как один из первых эпизодов в череде подобных потеплений, чередующихся с кратковременными похолоданиями. Началось оно, по-видимому, с потепления зим в середине 1920-х годов на территории северных континентов. В океанах такой режим сформировался уже после 1940 г., но вплоть до середины 1970-х ситуация чередующихся эпизодов с преобладанием теплых, оставалась сравнительно устойчивой.

В середине 1960-х начался длительный холодный период на континентах Северного полушария (вплоть до начала 1980-х), который с 1970 г. охватил и океаны Северного полушария.

Таким образом, хотя, в соответствии с ходом глобально осредненной температуры, за дату начала современного глобального потепления условно принят 1976 год, данные диаграммы показывают, что *континенты Северного полушария включились в него лишь в начале 1980-х, а океаны и вовсе примерно с 1990.* Зато в Южном полушарии, как можно видеть, длительных эпизодов похолодания с конца 1970-х гг. действительно не было.

Наконец, со всей очевидностью на рис. 7 видна активная фаза потепления, наступившая после 2000 г., с максимальными аномалиями на суше Северного полушария. Видны также резкие эпизодические повышения температуры на суше Южного полушария, а в последние 2-3 года – уже и в океанах Северного полушария.

В заключение, на рис. 8 повторены те же двумерные изоплеты, но в роли аномалий в них использованы эмпирические функции распределения (вероятности непревышения), рассчитанные относительно того же базового периода 1850-2018.

Теперь изменчивость во всех четырех группах приведена к единому масштабу, в результате чего заметно притушилась интенсивность современного потепления в Северном полушарии (она проявляется здесь в отсутствии процентильных изолиний ниже 90-й в последние годы). Но картина изменений внутри каждой группы стала отчетливей и реалистичней. Стали контрастней изменения в океанах и различия между полушариями. В частности, видно, что в конце 19-го столетия океаны Южного полушария начали теплеть позже,

чем Северного, и дольше оставались холодными. Также можно отметить определенное *повышение в последние годы температуры поверхности океанов Северного полушария* (даже более заметное, чем суши, что трудно заметить по рис. 7).

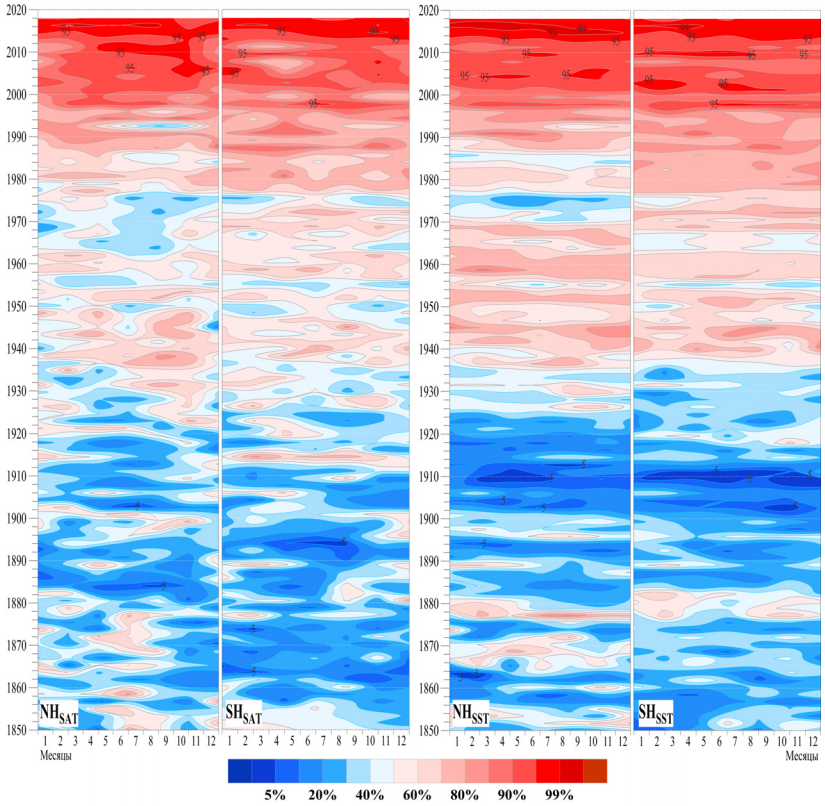

Рисунок 8. См. рис. 7, но в качестве аномалий используются значения эмпирической функции распределения (вероятности непревышения), рассчитанные по данным за 1850-2018 гг.

В целом, выводы данного раздела согласуются с соотношениями, полученными выше на основе сравнения коэффициентов тренда.

Зональные «разрезы» в поле аномалий приповерхностной температуры и их изменение в течение последних 10 лет

Более детальное представление об особенностях изменений приповерхностной температуры за последние 10 лет дают диаграммы, изображающие ход меридиональных и зональных разрезов глобальных температурных полей. Одна из таких диаграмм приведена на рис. 9 для усредненных зональных разрезов в трех широтных поясах: умеренные широты южного полушария (40-60°ю.ш.), приэкваториальные широты (±5° по обе стороны от экватора) и умеренные широты северного полушария (40-60°с.ш.). Использованы данные о приповерхностной температуре в центрах 5-градусных боксов (массив HadCRUT4, Hadley/CRU). Рассматриваются аномалии температуры относительно базового периода 1981-2010 гг.

Каждый из зональных разрезов построен как меридиональный профиль средних в соответствующем широтном поясе. Другими словами, осредняются значения аномалий температуры в боксах, расположенных внутри указанного широтного пояса вдоль каждого меридиана (от 177.5^{o} з.д. до 177.5^{o} в.д. с шагом 5°). Широтные пояса выбраны как интересные для анализа и наиболее обеспеченные данными. Диаграмма построена в форме «мозаики», когда каждая ячейка координатной сетки закрашивается в соответствии с значением аномалии (см. легенду). Можно видеть, что все 3 фрагмента различны по масштабу изменчивости, как во времени, так и в пространстве.

В умеренных широтах Южного полушария (рис. 9а) диаграмма имеет мелкомасштабную структуру, в которой явно прослеживаются «наклонные траектории», как если бы значения со временем «перемещались» с запада на восток. Такая структура, по-видимому, может создаваться преобладающими в этих широтах западными ветрами и Антарктическим циркумполярным течением, которое формируется под влиянием этих ветров (холодное поверхностное течение, известное как течение Западных ветров). При практически полном отсутствии препятствий в виде континентов и горных хребтов, Антарктическое течение полностью огибает Земной шар и проходит через все меридианы. Судя по диаграмме, можно предположить, что характерное время такого оборота может достигать 4-5 лет. Однако для более определенных суждений необходим анализ на существенно более длительных периодах времени.

Стационарные, более крупные по охвату и долгоживущие области отрицательных и положительных аномалий наблюдаются в экваториальном поясе (рис. 9б), в районах преобладания Эль-Ниньо/Ла-Нинья в Тихом океане. Среди них четко просматривается Эль-Ниньо 2015-2016 гг., одно из самых сильных за последние десятилетия, и наиболее сильные эпизоды Ла-Нинья в 2010-2011гг. и 2017-2018гг. Напомним, что, по предварительным оценкам ВМО (WMO, 2019d), вероятность осуществления Эль-Ниньо в 2019 г. составила 50-60%. На диаграмме, завершающейся декабрем 2018 г., видно лишь, что в конце 2018 г. здесь установилась температура выше нормы.

В умеренном поясе Северного полушария (рис. 9в), по характеру изменений приповерхностной температуры выделяются две группы, к одной из которых относятся океанические сектора (ТО, АО), а к другой – территория континентов (СА, ЕА). На акваториях океанов интенсивность аномалий (следовательно, и масштаб изменчивости) меньше, а характерная продолжительность (время жизни аномалий) больше. На рисунке особенно выделяется Тихоокеанский сектор. Здесь, в восточной части, с середины 2009 г. до начала 2013 г. преобладали отрицательные аномалии; затем, в течение почти 4-х лет ежемесячно устанавливался новый температурный максимум (вплоть до 2016), а с весны 2017 г. здесь опять преобладают положительные аномалии. В западной части Тихоокеанского сектора холодной была еще и зима 2015/16 гг. В Атлантическом секторе в течение всего 10-летия преобладали аномалии противоположного знака. Аномалии на континентах, как следует из рисунка, существенно бóлее интенсивны, менее устойчивы (особенно отрицательные) и часто имеют бóльшую протяженность в пространстве (иногда охватывают

весь континент Северной Америки и даже Евразии). Отдельные положительные аномалии при этом достаточно продолжительны (от полугода до 3-х лет).

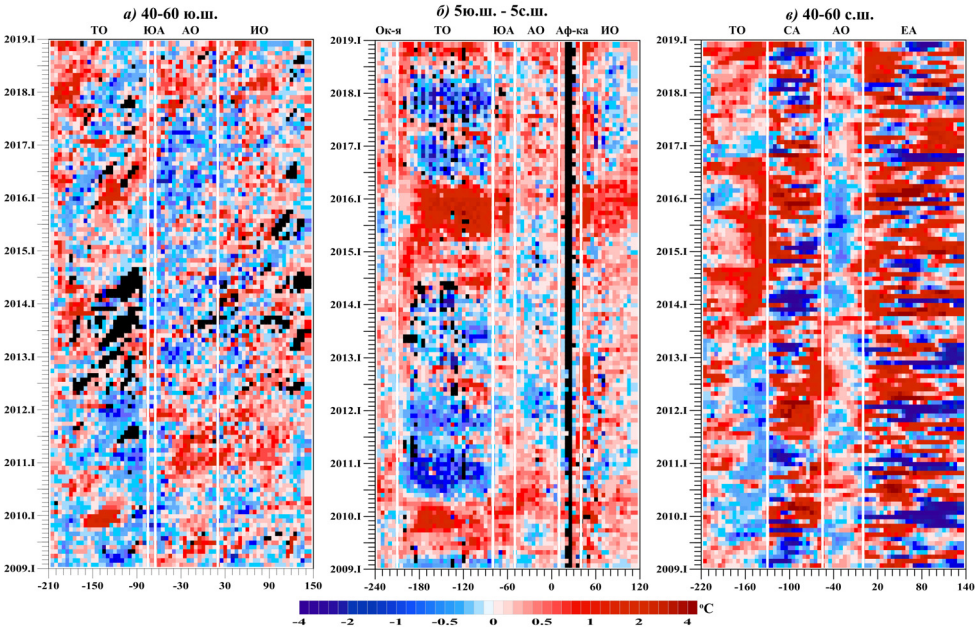

Рисунок 9. Изменение с долготой (по горизонтали) и во времени (по вертикали), с января 2009 г. по декабрь 2018 г., меридиональных профилей аномалий приповерхностной температуры, осредненных внутри избранных широтных поясов: а) 40-60°ю.ш., б) 5°ю.ш.-5°с.ш., в) 40-60°с.ш. *Аномалии рассчитаны относительно средних за 1981-2010 гг. Черным цветом отмечены случаи отсутствия наблюдений в рассматриваемом районе. Вертикальными прямыми белого цвета выделены сектора, соответствующие континентам и океанам*
Сокращения: Евразия – ЕА; Южная Америка – ЮА; Африка – Аф-ка; Тихий океан – ТО; Атлантика – АО; Индийский океан – ИО; Океания - Ок

Заключение

В статье проанализированы данные об основных аномалиях приповерхностной температуры Земного шара в 2018 г., ее изменчивости и долгопериодных трендах. Приведенные данные отражают некоторые особенности процесса глобального потепления и его текущего состояния, которые, на наш взгляд, требуют дальнейшего тщательного наблюдения. Суммируем их кратко.

По всем источникам данных (суша, море, суша+море), 2018 год занял четвертое место среди самых теплых лет по глобальной температуре в приповерхностном слое для Земного шара в целом, и 4-6-е место для Северного и Южного полушарий.

В 2018 году, как и в предыдущие годы, на Земном шаре преобладали положительные аномалии приповерхностной температуры, но их доля существенно снизилась (81.9% вместо 97.5% в 2017 г.). *Главной особенностью 2018 года явилось наличие практически в каждом месяце, наряду с положительными аномалиями, также и крупных отрицательных аномалий на материках Северного полушария.*

Арктическое потепление 1940-х гг., по-видимому, является не самостоятельной фазой потепления с четкими временными границами, а одним из первых эпизодов в череде подобных кратковременных потеплений, чередующихся с кратковременными похолоданиями на протяжении 1920-1970 гг. Началось оно, по-видимому, с потепления осенне-зимних сезонов на территории северных континентов в середине 1920-х годов. В океанах такой режим сформировался уже после 1940 г., но вплоть до середины 1970-х ситуация чередующихся эпизодов со значительным преобладанием теплых, оставалась сравнительно устойчивой.

Как известно, в соответствии с ходом глобально осредненной температуры, за дату начала современного глобального потепления условно принят 1976 год («середина 1970-х» или «конец 1970-х»). Однако приведенные данные показывают, что *континенты Северного полушария полноценно включились в него лишь в начале 1980-х, а океаны и вовсе примерно с 1990 г.* Зато в океанах Южного полушария, как можно видеть, длительных эпизодов похолодания с начала 1970-х гг. действительно не было**.**

После 2000 г. потепление поверхности океанов становится более устойчивым, чем в атмосфере у поверхности континентов. В последние годы тенденция к потеплению океанов Северного полушария становится более заметной.

Средняя скорость современного потепления в атмосфере у поверхности суши выше, чем на поверхности океанов ($k_1 > 1$), и в Северном полушарии выше, чем в Южном ($k_2 > 1$). В сравнении с потеплением XX века современное потепление ускорилось на континентах и океанах в Северном полушарии примерно в 2.0-3.5 раза, а в Южном полушарии – в 1.5-2.0 раза.

Благодарности

Авторы выражают благодарность коллегам Э.В. Рочевой (ИГКЭ) и Л.К. Клещенко (ВНИИГМИ-МЦД) за сотрудничество и полезные замечания и предложения при обсуждении результатов, а также следующим проектам за поддержку, оказанную разным разделам этой работы:

– *(проект 1.3.1.2) Мониторинг изменений и изменчивости климата Земного шара на основе глобальных данных о приповерхностной температуре месячной и суточной дискретности и данных реанализа. Программа научно-исследовательских, технологических и других работ Росгидромета для государственных нужд в области гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды.*

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

Список литературы

Груза Г.В., Ранькова Э.Я., Рочева Э.В., Самохина О.Ф., Корнева И.А., Алешина М.А. 2018. Особенности температурного режима у поверхности Земного шара в 2017 г. – Фундаментальная и прикладная климатология, № 1, с. 112-136.

ИГКЭ 2019. 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 Prediction Center, Climate Diagnostic Bulletin. – Available at: https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/CDB/.

BOM 2019. CSIRO and Bureau of Meteorology, Australian Gov. 2018. State of the Climate 2018. Report at a glance. – Available at: http://www.bom.gov.au/state-of-the-climate/index.shtml.

Davis L., Thompson D., Kennedy J., Kent E. 2018. The importance of unresolved biases in 20th century sea-surface temperature observations. – Bull. Amer. Meteor. Soc., doi:10.1175/BAMS-D-18-0104.1, in press.

IPCC 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. – Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 p.

IPCC 2018. Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H. O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, T. Waterfield (eds.)]. In Press.

JMA 2019. – Available at: http://ds.data.jma.go.jp/tcc/tcc/products/gwp/temp/ann_wld.html.

NASA, NOAA 2019. – Available at: https://climate.nasa.gov/news/2841/2018-fourth-warmest-year-in-continued-warming-trend-according-to-nasa-noaa/.

NOAA 2019. NOAA NCEI, State of the Climate: National Climate Report for January 2019, published online February 2019. – Available at: https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/national/201901 (accessed 22 March 2019).

WMO 2019a. WMO statement on the State of the Global Climate in 2018. WMO-No.1233.ISBN 978-92-63-11233-0. – Available at: https://public.wmo.int/en/our-mandate/climate/wmo-statement-state-of-global-climate.

WMO 2019b. Key_climate_indicators.pptx. – Available at: https://ane4bf-datap1.s3-eu-west-1.amazonaws.com/wmocms/s3fs-public/ckeditor/files/key_climate_indicators.pptx?yszc7neGQ1aEdsOESu1fS78MdOfwzHA0.

WMO 2019c. Weather and Climate Events Map 2018. – Available at: https://public.wmo.int/en/our-mandate/climate/wmo-statement-state-of-global-climate.

WMO 2019d. WMO Update: 50-60% chance of El Niño within next 3 months. – Available at: https://public.wmo.int/en/media/press-release/wmo-update-50-60-chance-of-el-ni%C3%B1o-within-next-3-months/.

Wuebbles D.J., Fahey D.W., Hibbard K.A., DeAngelo B., Doherty S., Hayhoe K., Horton R., Kossin J.P., Taylor P.C., Waple A.M., Weaver C.P. 2017. Executive summary. – In: Climate Science Special Report: Fourth National Climate Assessment, Volume I /Wuebbles D.J., D.W. Fahey, K.A. Hibbard, D.J. Dokken, B.C. Stewart, and T.K. Maycock (eds.). – U.S. Global Change Research Program, Washington, DC, USA, pp. 12-34, doi: 10.7930/J0DJ5CTG.

Статья поступила в редакцию:28.03.2019 г. *После переработки:03.04.2019 г.*

FEATURES OF THE SURFACE TEMPERATURE REGIME OVER THE GLOBE IN 2018

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

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

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

Abstract. The features of surface temperature regime in 2018 and its variability during 1901-2018 are analyzed using data of instrumental observations. Surface temperature anomalies and their trends are considered over continents and oceans at different time intervals and various spatial scales. In accordance with the recent recommendation of the World Meteorological Organization, the anomalies are calculated relative to the 1981-2010 reference period.

It is shown that for the Globe as a whole, 2018 was the fourth warmest year over the entire period of instrumental meteorological observations. The 2015-2018 span was the warmest four-year period, both for the land as a whole and for the World Ocean. As in the previous years, positive anomalies of surface temperature dominated over the Globe in 2018, but their share decreased significantly.

Significant anomalies and contrasts are typical for the temperature regime of 2018. The main feature of 2018 is the occurrence of large and intense anomalies of both signs on the Northern Hemisphere continents in almost every month. At the same time, in comparison with 2015-2017, the total number of negative annual anomalies has been significantly increased over the Globe (more than by 18% against 6-8%).

Linear trends estimated from data of observations at meteorological stations for 1976-2018 show that climate warming continues throughout most of the Globe: positive trends account for 97.9% of all local estimates. A region of the most intensive warming is the Arctic. In Antarctica, and in Eurasia and North America in some seasons, regions with weak negative or zero trends are found.

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

References

Gruza G.V., Rankova E.Ya., Rocheva E.V., Samokhina O.F., Korneva I.A., Aleshina M.A. 2018. Osobennosti temperaturnogo rezhima u poverhnosti Zemnogo shara v 2017 g. [Features of the surface temperature regime in 2017over the Globe]. *Fundamental'naya I prikladnaya klimatologiya – Fundamental and applied climatology*, no. 1, pp. 112-136.

IGKE 2019. *Monitoring izmenenij klimata Zemnogo shara.* [Monitoring of climate changes of the Globe]. Available at: http://climatechange.igce.ru/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=31&Itemid=75&lang=en.

CMKP 2016. *Reshenie Central'noj metodicheskoj komissii po gidrometeorologicheskim i geliogeofizicheskim prognozam ot 20 dekabrya 2016 g.* [Decision of the Central Methodical Commission for Hydrometeorological and Heliogeophysical Forecasts of December 20, 2016]. Available at: http://method.meteorf.rum.

CPC 2018. Climate Prediction Center, Climate Diagnostic Bulletin. – Available at: https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/CDB/.

BOM 2019. CSIRO and Bureau of Meteorology, Australian Gov. 2018. State of the Climate 2018. Report at a glance. – Available at: http://www.bom.gov.au/state-of-the-climate/index.shtml.

Davis L., Thompson D., Kennedy J., Kent E. 2018. The importance of unresolved biases in 20th century sea-surface temperature observations. – Bull. Amer. Meteor. Soc., doi:10.1175/BAMS-D-18-0104.1, in press.

IPCC 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. – Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 p.

IPCC 2018. Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H. O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, T. Waterfield (eds.)]. In Press.

JMA 2019. – Available at: http://ds.data.jma.go.jp/tcc/tcc/products/gwp/temp/ann_wld.html.

NASA, NOAA 2019. – Available at: https://climate.nasa.gov/news/2841/2018-fourth-warmest-year-in-continued-warming-trend-according-to-nasa-noaa/.

NOAA 2019. NOAA NCEI, State of the Climate: National Climate Report for January 2019, published online February 2019. – Available at: https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/national/201901 (accessed 22 March 2019).

WMO 2019a. WMO statement on the State of the Global Climate in 2018. WMO-No.1233.ISBN 978-92-63-11233-0. – Available at: https://public.wmo.int/en/our-mandate/climate/wmo-statement-state-of-global-climate.

WMO 2019b. Key_climate_indicators.pptx. – Available at: https://ane4bf-datap1.s3-eu-west-1.amazonaws.com/wmocms/s3fs-public/ckeditor/files/key_climate_indicators.pptx?yszc7neGQ1aEdsOESu1fS78MdOfwzHA0.

WMO 2019c. Weather and Climate Events Map 2018. Available at: https://public.wmo.int/en/our-mandate/climate/wmo-statement-state-of-global-climate.

WMO 2019d. WMO Update: 50-60% chance of El Niño within next 3 months. – Available at: https://public.wmo.int/en/media/press-release/wmo-update-50-60-chance-of-el-ni%C3%B1o-within-next-3-months/.

Wuebbles D.J., Fahey D.W., Hibbard K.A., DeAngelo B., Doherty S., Hayhoe K., Horton R., Kossin J.P., Taylor P.C., Waple A.M., Weaver C.P. 2017. Executive summary. – In: Climate Science Special Report: Fourth National Climate Assessment, Volume I /Wuebbles D.J., D.W. Fahey, K.A. Hibbard, D.J. Dokken, B.C. Stewart, and T.K. Maycock (eds.). – U.S. Global Change Research Program, Washington, DC, USA, pp. 12-34, doi: 10.7930/J0DJ5CTG.