

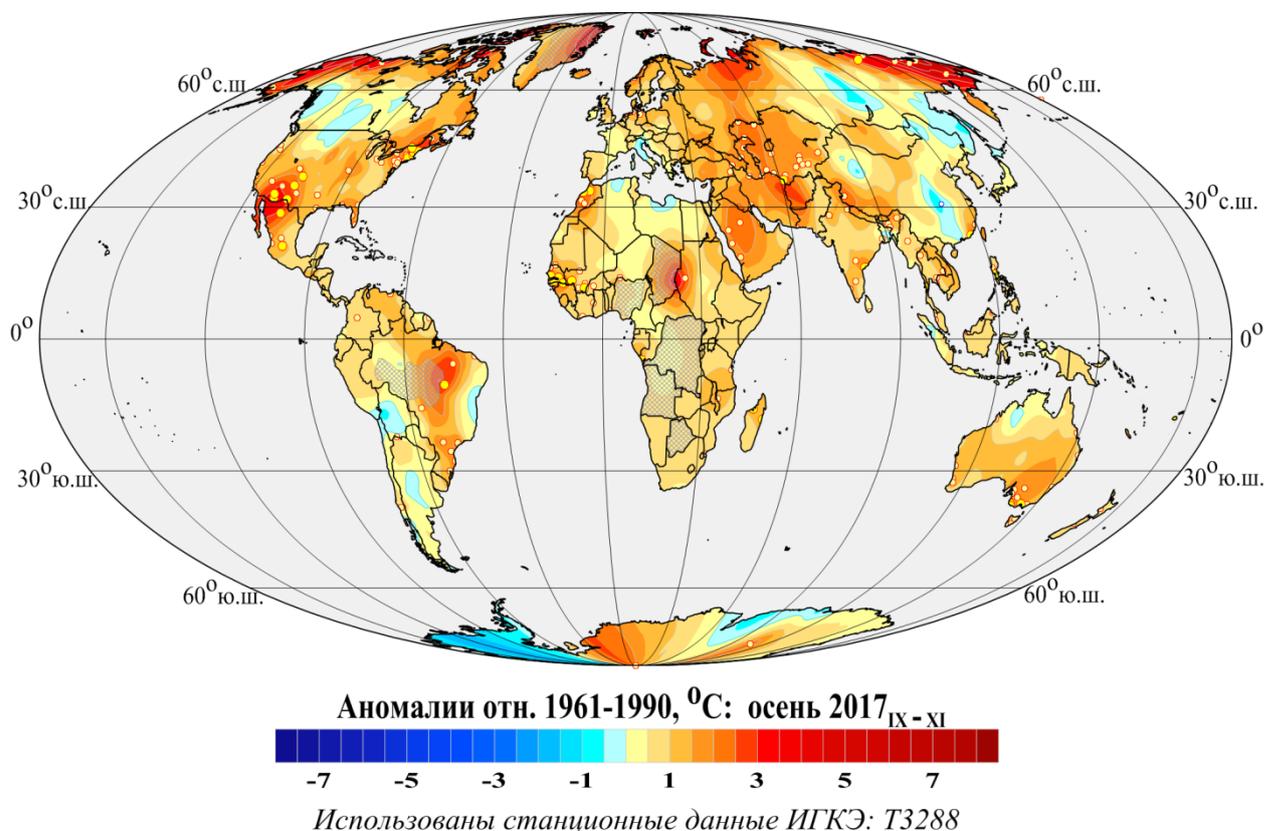
Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу  
окружающей среды

ФГБУ «Институт глобального климата и экологии  
Росгидромета и РАН»

# Бюллетень мониторинга изменений климата Земного шара

## Приземная температура

### Осень 2017



Москва 2017

## ОГЛАВЛЕНИЕ<sup>1,2</sup>

1. ВВЕДЕНИЕ .....	3
2. ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ У ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМНОГО ШАРА ОСЕНЬЮ 2017 г. ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ АНОМАЛИИ .....	6
3. КРУПНОМАСШТАБНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ЗЕМНОГО ШАРА ЗА ПЕРИОД ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ 1850-2017 гг. (осенний сезон) .....	11
4. РЕГИОНАЛЬНЫЕ ВРЕМЕННЫЕ РЯДЫ ПРОСТРАНСТВЕННО ОСРЕДНЕННЫХ АНОМАЛИЙ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ, 1911-2017 гг. (осенний сезон) .....	15
5. ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА, 1976-2017 гг. (осенний сезон) .....	18
6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	21

---

<sup>1</sup> Бюллетень подготовлен в ФГБУ «ИГКЭ Росгидромета и РАН». Данные текущих наблюдений (сводки КЛИМАТ и СИНОП из оперативного потока) подготовлены в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» и ФГБУ «Гидрометцентр РФ»

<sup>2</sup> На обложке приведено поле средних сезонных аномалий температуры приземного воздуха над сушей Земного шара: осень 2017 (сентябрь-ноябрь). Все Бюллетени мониторинга климата, сезонные и годовые, выпускаемые в ФГБУ «ИГКЭ Росгидромета и РАН», размещаются на сайте <http://climatechange.igce.ru/>

## 1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящем бюллетене представлены данные о климатических аномалиях осени 2017 г. и обновленные (с учетом этих данных) оценки тенденций в изменении температурного режима осенних сезонов на территории земного шара в течение 1976–2017 гг. (по разделу «приземная температура»). Оценки приведены для сезона в целом и каждого из месяцев (сентябрь-октябрь-ноябрь).

Бюллетень подготовлен в ФГБУ «ИГКЭ Росгидромета и РАН» в рамках оперативного мониторинга климата<sup>3</sup> с использованием данных метеорологических наблюдений о среднемесячной температуре приземного воздуха на 3288 наземных станциях земного шара (массив Т3288, данные ИГКЭ; формируются на основе телеграмм КЛИМАТ, СИНОП). Параллельно в бюллетене приводятся оценки по данным о приповерхностной температуре на глобальной сети 5-градусных боксов, охватывающих всю территорию земного шара, включая континенты и океаны (массивы HadCRUT4, CRUTEM4, HadSST3, данные метеослужбы Великобритании<sup>4</sup>; в бюллетене упоминаются как «данные Hadley/CRU»). Таким образом, массив Т3288 служит базовым массивом для оценки состояния температурных условий на суше земного шара, а массив HadCRUT4 используется для создания полной картины над сушей и океанами. Глобальные временные ряды CRUTEM4, HadSST3 приводятся как дополнительная информация из альтернативного источника (в том числе, для сравнения с одноименными данными ИГКЭ с целью лучшего понимания меры их неопределенности).

Развернутый комментарий к материалам бюллетеня с описанием используемых источников, сети станций и элементов методики размещен на web-сайте ИГКЭ<sup>5</sup>.

**Сравнение глобальных временных рядов аномалий температуры приземного воздуха по данным Т3288 (ИГКЭ) и CRUTEM4 (Hadley/CRU).** Результаты сравнения включают статистические характеристики попарных разностей соответствующих временных рядов глобально осредненных сезонных аномалий температуры приземного воздуха на временном интервале 1976-2017 гг. (осенний сезон). Сравнение выполнено в целом для Земного шара и для Северного и Южного полушарий порознь (табл.1.1).

Дополнительно в табл. 1.2 сравниваются значения межгодовых изменений температуры осеннего сезона за три последних года, включающие скачкообразное повышение температуры от 2014 к 2015 и чуть менее резкое понижение температуры от 2015 к 2016.

---

<sup>3</sup> Решение Центральной методической комиссии по гидрометеорологическим и геологофизическим прогнозам от 20 декабря 2016 г. – <http://method.meteorf.ru>

<sup>4</sup> Массивы CRUTEM4 (температура воздуха над сушей), HadSST3 (температура воды на поверхности океанов и морей) и HadCRUT4 (объединенные данные над континентами и океанами) созданы и поддерживаются совместно двумя коллективами Великобритании – Хэдли-центром (Met Office Hadley Centre) и Университетом Восточной Англии (CRU UEA). Данные ежемесячно обновляются и публикуются производителем на web-сайтах <http://www.MetOffice.gov.uk> и <http://www.cru.uea.ac.uk> в форме глобальных сеточных полей (в центрах 5-градусных боксов) и глобальных временных рядов (для Земного шара и обоих полушарий). В данном выпуске использованы данные HadCRUT.4.6.0.0, CRUTEM.4.6.0.0, HadSST.3.1.1.0 от 26.12.2017.

<sup>5</sup> О бюллетене мониторинга изменений климата Земного шара. – <http://climatechange.igce.ru>

Близость рядов примерно с середины прошлого столетия видна уже визуально (рис. 1.1). Действительно, среднее различие их соответствующих значений за 1976-2017 гг. (табл. 1.1) не превышает  $\pm 0.02^\circ\text{C}$  (строка eD). Стандартное отклонение различий ( $0.02-0.05^\circ\text{C}$ , строка  $\sigma D$ ) на порядок ниже стандартного отклонения самих рядов ( $0.3-0.5^\circ\text{C}$ , строки  $\sigma Z_1$ ,  $\sigma Z_2$ ), хотя в отдельные годы различие рядов может достигать  $0.2^\circ\text{C}$  (строка «max|D|»). При этом ряды характеризуются исключительно высокой корреляцией (не ниже 0.99, строка «Corr( $Z_1, Z_2$ )») и предельно низким различием трендов ( $\pm 0.01^\circ\text{C}/10$  лет, строка «bD»). Таким образом, статистические оценки изменчивости температуры приземного воздуха по данным массива T3288 очень близки к оценкам по данным всемирно признанного массива CRUTEM4.

**Таблица 1.1** – Оценки близости (различия) глобальных временных рядов аномалий температуры приземного воздуха по данным T3288 (ИГКЭ) и CRUTEM4 (Hadley/CRU) за 1976-2017 гг. (осенний сезон)

	Земной шар				Северное полушарие				Южное полушарие			
	Осень	IX	X	XI	Осень	IX	X	XI	Осень	IX	X	XI
$D_{2017}$	2017											
	0.04	0.01	0.03	0.08	0.06	0.02	0.05	0.09	-0.04	-0.06	-0.04	-0.03
	1976-2017											
eD	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.01
$\sigma D$	0.03	0.05	0.03	0.02	0.03	0.04	0.03	0.02	0.03	0.04	0.05	0.05
$\alpha D$	0.03	0.04	0.02	0.01	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04
max D	0.08	0.19	0.07	0.05	0.09	0.16	0.05	0.06	0.08	0.11	0.12	0.10
bD	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.01
$\sigma Z_1$	0.42	0.54	0.43	0.34	0.50	0.69	0.54	0.42	0.28	0.30	0.28	0.29
$\sigma Z_2$	0.41	0.51	0.42	0.34	0.48	0.66	0.53	0.42	0.28	0.29	0.28	0.28
Corr ( $Z_1, Z_2$ )	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	0.99

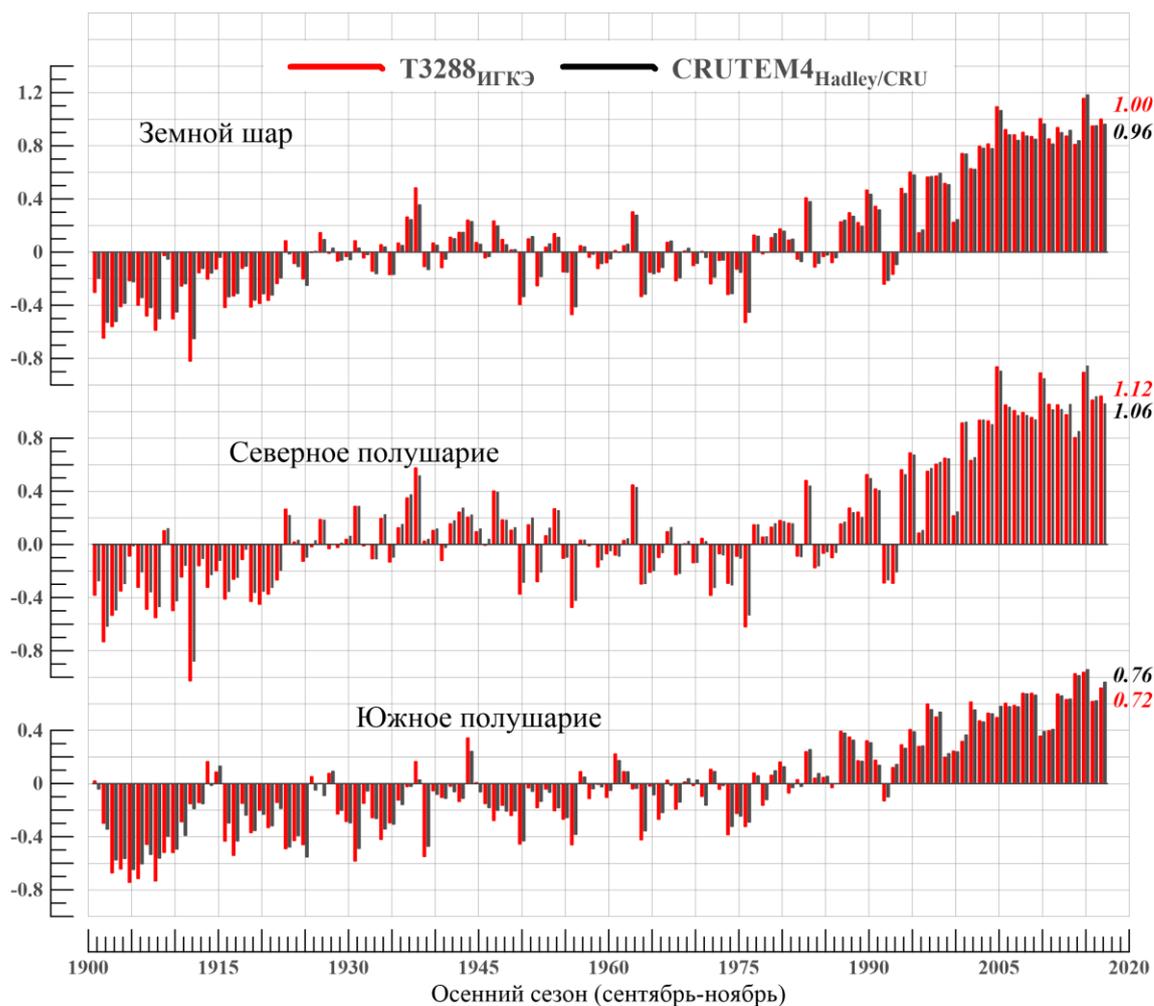
*Условные обозначения.* 1)  $D=T3288-CRUTEM4$ ; 2) eD,  $\sigma D$ ,  $\alpha D$ , max|D|, bD – статистические характеристики различий: среднее, стандартное отклонение, среднее и максимальное абсолютное различие, среднее различие коэффициентов тренда; 3) Corr ( $Z_1, Z_2$ ),  $\sigma Z_1$ ,  $\sigma Z_2$  – корреляция сравниваемых глобальных рядов и их стандартные отклонения.

**Таблица 1.2** – Межгодовые изменения приземной температуры осеннего сезона последних трех лет, в среднем по территории суши Земного шара и полушарий

Межгодовые различия	Данные T3288, $^\circ\text{C}$ (ИГКЭ)			Данные CRUTEM4, $^\circ\text{C}$ (Hadley/CRU)		
	ЗШ	СП	ЮП	ЗШ	СП	ЮП
$T_{2017}-T_{2016}$	0.05	0.03	0.10	0.01	-0.05	0.14
$T_{2016}-T_{2015}$	-0.21	-0.21	-0.22	-0.23	-0.23	-0.23
$T_{2015}-T_{2014}$	0.35	0.49	0.01	0.35	0.49	0.05
$T_{2017}-T_{2014}$	0.19	0.31	-0.11	0.12	0.21	-0.05

В сравнении с осенним сезоном 2016 г., в среднем по территории суши Северного полушария и Земного шара, температура нынешнего сезона практически осталась на том же уровне – изменение составило  $\pm 0.05^{\circ}\text{C}$ . В Южном полушарии, над сушей, температура несколько повысилась относительно 2016 г. (на  $0.10\text{-}0.15^{\circ}\text{C}$ ), но пока не достигла уровня 2014 г. (на  $0.05\text{-}0.10^{\circ}\text{C}$ ).

Таким образом, оценки подтверждают исключительную близость рядов по данным этих двух источников для осенних месяцев 1976-2017 гг.<sup>6</sup>, так что приводимые в бюллетене оценки трендов для суши земного шара, рассчитанные по данным массива T3288, можно считать реалистичными.



**Рисунок 1.1** – Временные ряды пространственно осредненных сезонных аномалий температуры приземного воздуха над сушей Земного шара, Северного и Южного полушарий ( $^{\circ}\text{C}$ , 1901-2017 гг., осень). *Использованы временные ряды, рассчитанные по данным массива T3288 (ИГКЭ Росгидромета и РАН) и глобальные временные ряды CRUTEM4 (Hadley/CRU).*

<sup>6</sup> Аналогичные оценки для других сезонов приведены в соответствующих предыдущих выпусках бюллетеня и доступны по адресу <http://climatechange.igce.ru>

## 2. ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ У ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМНОГО ШАРА ОСЕНЬЮ 2017 г. ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ АНОМАЛИИ

В соответствии с данными табл. 2.1, по всем видам данных для Земного шара – над сушей (T3288, CRUTEM4), океанами (HadSST3) и интегрально (HadCRUT4) – самым теплым осенним сезоном в истории наблюдений (с 1911 года) остается осень 2015 года (за исключением Северного полушария по данным ИГКЭ).

Главной особенностью текущего осеннего сезона стало существенное (в сравнении с предыдущими сезонами 2017 г.) понижение температуры поверхностного слоя воды в Южном полушарии – 14-е место среди наиболее теплых осенних сезонов (соответствующие ранги первых трех предшествующих сезонов 2017 г. – 3, 2, 5; ранги осенних месяцев – 21, 11, 17). При совместном учете температуры над океанами и континентами (HadCRUT4, суша+море), сезон, в среднем по Южному полушарию, стал тринадцатым из наиболее теплых, а по Земному шару - шестым. По всем остальным видам данных осенний сезон 2017 г. вошел в первую пятерку самых теплых осенних сезонов с 1911 г. (а именно: в Северном полушарии - по всем трем видам данных; и только над континентами - по всем трем территориям).

**Таблица 2.1** – Пять самых теплых осенних сезонов для Земного шара (ЗШ), Северного (СП) и Южного (ЮП) полушарий по данным разных источников: средняя за сезон аномалия температуры VT и год наблюдения

№	Земной шар		Северное полушарие		Южное полушарие	
	VT, °C	Год (осень)	VT, °C	Год (осень)	VT, °C	Год (осень)
<b>HadCRUT4 (Hadley/CRU, суша+море)</b>						
1	0.827	2015	1.106	2015	0.549	2015
2	0.627	2016	0.871	2005	0.504	1997
3	0.605	2005	0.848	2016	0.419	2009
4	0.580	2014	0.809	<b>2017</b>	0.408	2016
5	0.574	2013	0.773	2013	0.401	2014
<b>T3288 (ИГКЭ, суша)</b>						
1	1.155	2015	1.336	2005	0.836	2015
2	1.093	2005	1.294	2015	0.825	2014
3	1.003	2010	1.290	2010	0.718	<b>2017</b>
4	0.999	<b>2017</b>	1.116	<b>2017</b>	0.678	2009
5	0.948	2016	1.086	2016	0.678	2008
<b>CRUTEM4 (Hadley/CRU, суша)</b>						
1	1.182	2015	1.344	2015	0.856	2015
2	1.064	2005	1.307	2005	0.811	2014
3	0.963	2010	1.249	2010	0.762	<b>2017</b>
4	0.961	<b>2017</b>	1.113	2016	0.674	2008
5	0.950	2016	1.060	<b>2017</b>	0.664	2009
<b>HadSST3 (Hadley/CRU, море)</b>						
1	0.705	2015	0.918	2015	0.445	2015
2	0.566	2016	0.762	2016	0.422	1997
3	0.527	2014	0.753	2014	0.409	2016
4	0.452	1997	0.688	<b>2017</b>	0.343	2001
5	0.448	<b>2017</b>	0.592	2006	0.334	2009

*Примечание.* В среднем для всей территории Земного шара (суша+море) осенний сезон 2017 года оказался на 6-м месте (с аномалией +0.558 °C), а по Южному полушарию – на 13-м месте (с аномалией +0.310 °C). Над океанами Южного полушария осень 2017 оказалась на 14-м месте (аномалия +0.249 °C).



В Арктическом поясе (СПО) температура была выше климатической нормы практически на всей территории. Отрицательные аномалии практически зафиксированы здесь лишь в 2-х смежных боксах у юго-восточного побережья Гренландии (HadCRUT4, рис. 2.1a). Крупная отрицательная аномалия (до  $-2.0^{\circ}\text{C}$ ) этой осенью отмечена также в Антарктиде, преимущественно в её западном секторе, где доля отрицательных аномалий составила около половины всех значений (47-50%).

При этом на 13.5% (19%) всех станций (боксов) земного шара значения были выше 95-го перцентиля, в том числе на 3% перекрыты локальные максимумы. Локальных минимумов на станциях не наблюдалось. В Северной полярной области соответствующие оценки составили 19% (28%) и 1% (9%) .

Региональные оценки в табл. 2.3 (аномалии, осредненные по площади региона) соответствуют особенностям географического распределения: сезонные аномалии положительны во всех регионах, кроме Антарктического пояса. В северной части Атлантики ( $15-70^{\circ}\text{с.ш.}$ ) сезон оказался рекордно теплым, а в умеренном поясе Южного полушария и в целом по *суше* Южного полушария попал в тройку самых теплых осенних сезонов с 1911 г.

**Таблица 2.2** – Количество локальных экстремумов на территории Земного шара, Северного и Южного полушарий и СПО осенью 2017 г. по данным массивов T3288 и HadCRUT4 (все значения приведены в процентах от N)

Регион	Всего боксов/станций N	Аномалии (отн. 1961-90), %		5-е экстремумы тепла/холода, %		Абсолютные экстремумы, %	
		$V < 0$	$V \geq 0$	$X < P_{05}$	$X > P_{95}$	$X = P_0$	$X = P_{100}$
<b>T3288 (только суша):</b>							
ЗШ	1833	9.3	90.7	0.1	13.5	0	2.8
СП	1513	8.7	91.3	0.1	12.7	0	2.4
ЮП	321	11.8	88.2	0.0	17.1	0	4.4
90-65S	<b>14</b>	<b>50.0</b>	<b>50.0</b>	0.0	14.3	0	0
65-90N	<b>108</b>	<b>0</b>	<b>100.0</b>	0	19.4	0	0.9
<b>HadCRUT4 (суша+море):</b>							
ЗШ	1602	15.5	84.5	1.9	18.6	0.4	3.1
СП	972	8.1	91.9	1.2	21.0	0.1	3.8
ЮП	630	26.8	73.2	3.0	14.9	1.0	1.9
90-65S	<b>15</b>	<b>46.7</b>	<b>53.3</b>	0	13.3	0	0
65-90N	<b>104</b>	<b>2.9</b>	<b>97.1</b>	1.0	<b>27.9</b>	0.0	<b>8.7</b>

*Условные обозначения:* V - сезонные/месячные аномалии;  $P_{05}$ ,  $P_{95}$  – 5-й и 95-й перцентили;  $P_0$ ,  $P_{100}$  – наименьшее и наибольшее значения с 1911 г. Таблица обобщает распределения локальных сезонных аномалий и экстремумов на рис. 2.1.

**Внутрисезонные особенности распределения аномалий.** Практически во все месяцы осеннего сезона на акваториях океанов Южного полушария преобладают отрицательные аномалии, северного – положительные. На *суше* наиболее значительные изменения от месяца к месяцу наблюдались на территории континентов Северного полушария и Антарктиды (рис. 2.2).

Яркой особенностью *сентября* является крупная отрицательная аномалия в Антарктиде и прилегающих акваториях Южного океана: в западном секторе – до  $-6.5^{\circ}\text{C}$ , в Восточном – до  $-2.5^{\circ}\text{C}$  (рис. 2.2 а). Обширной отрицательной аномалией (до  $-3^{\circ}\text{C}$ ) охвачена территория Сибири. Значительные положительные аномалии в этом месяце

наблюдаются на территории Канады и в южной части ЕЧР и Закавказья.

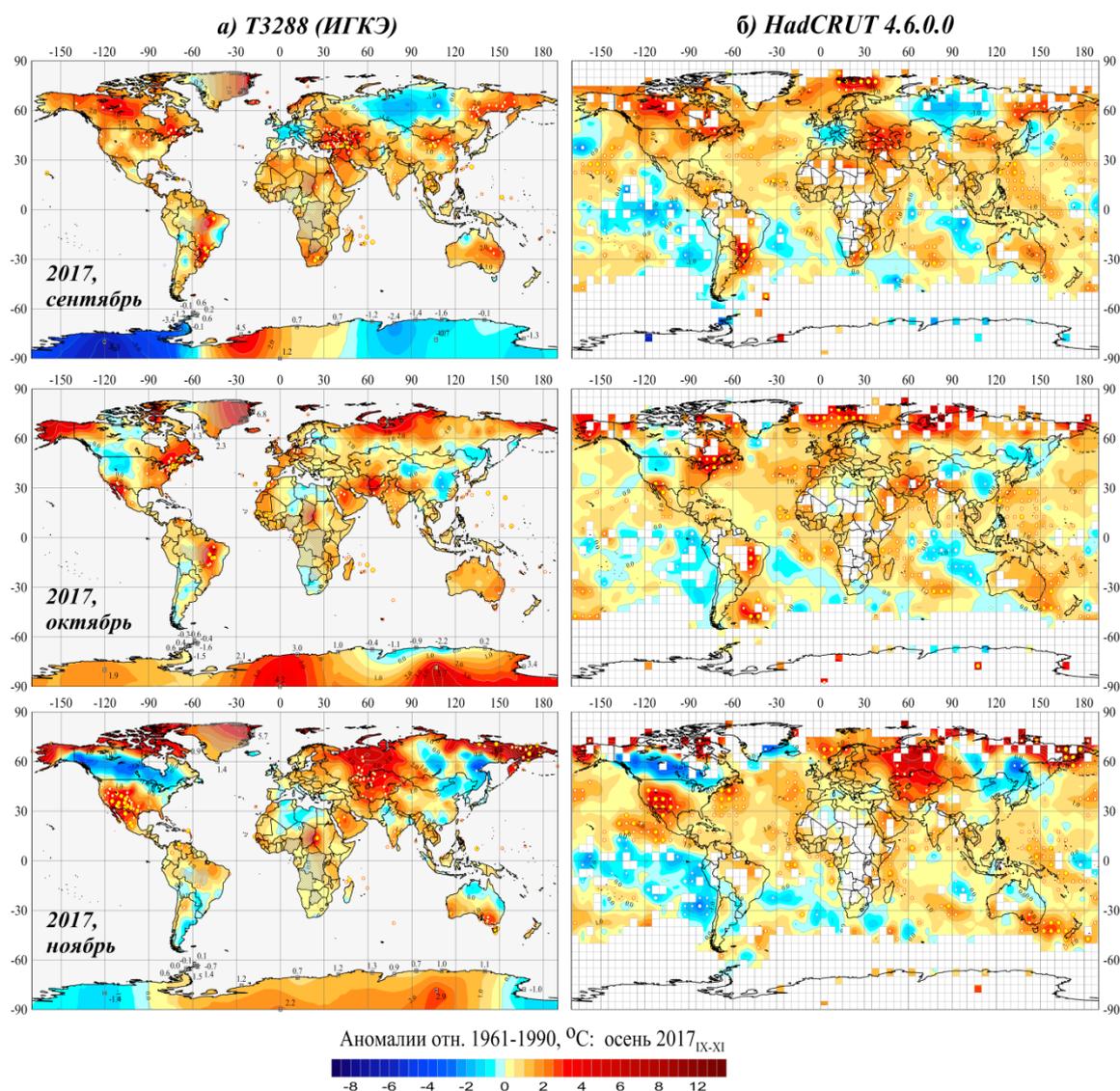
В *октябре* ярко выраженных отрицательных аномалий не наблюдается. Значительные положительные аномалии с абсолютными экстремумами наблюдаются на Восточном побережье США и Канады, на севере Западной Сибири, в Северном Ледовитом океане и в Северной Атлантике. В ЮПО отрицательные аномалии сохранились только в Южном Индийском океане, включая побережье Антарктиды. На остальной территории Антарктиды аномалии положительные.

**Таблица 2.3** - Пространственно осредненные значения аномалии приземной температуры (°C) на территории Земного шара осенью 2017 г. и их вероятности превышения, в среднем за сезон и по месяцам

Регион	Осень		Сентябрь		Октябрь		Ноябрь	
	$\nu T_{2017}$	$F_{\nu T}$						
<b>HadCRUT4 (суша+море)</b>								
Земной шар	0.56	95	0.56	95	0.57	95	0.55	92
Северное полушарие	0.81	97	0.81	96	0.78	94	0.84	94
Южное полушарие	0.31	89	0.31	90	0.37	93	0.26	86
Атлантика (15-70N)	<b>0.86</b>	<b>100</b>	0.76	93	0.88	96	<b>0.93</b>	<b>100</b>
Тихий океан (20-65N)	0.65	97	0.57	93	0.61	95	<b>0.75</b>	99
Арктический пояс (65-90N)	2.13	97	1.32	93	2.26	95	3.03	97
Умеренный пояс СП (25-65N)	0.84	94	0.91	95	0.78	91	0.86	93
Тропики (25S-25N)	0.43	90	0.44	93	0.49	92	0.38	88
Умеренный пояс ЮП (65-25S)	<b>0.44</b>	98	<b>0.45</b>	98	0.47	97	0.4	93
Антарктический пояс (90-65S)	0.1	56	<b>-1.08</b>	30	0.67	77	0.83	88
<b>IGCE-T3288 (суша)</b>								
Земной шар	1.00	97	<b>1.03</b>	98	1.01	96	0.96	93
Северное полушарие	1.12	97	1.1	96	1.08	93	1.16	93
Южное полушарие	<b>0.72</b>	98	<b>0.85</b>	99	<b>0.84</b>	98	0.46	87
Северная Америка	1.23	95	1.63	97	1.25	89	0.8	76
Евразия	1.10	93	0.98	93	0.91	82	1.42	93
Южная Америка	0.74	94	1.05	96	0.8	95	0.42	84
Африка	0.89	90	<b>1.18</b>	99	0.77	86	0.65	79
Австралия	1.02	93	1.18	86	1.3	92	0.6	80
Антарктида	<b>-0.05</b>	48	<b>-1.74</b>	22	1.08	85	0.49	67
<b>CRUTEM4 (суша)</b>								
Земной шар	0.96	97	<b>1.02</b>	98	0.98	96	0.88	92
Северное полушарие	1.06	96	1.08	96	1.03	93	1.07	93
Южное полушарие	<b>0.76</b>	98	<b>0.90</b>	<b>100</b>	<b>0.89</b>	98	0.5	88

Условные обозначения:

1.  $\nu T_{2017}$ , °C – наблюдаемая аномалия в 2017 г. (относительно 1961-1990 гг.)
2.  $F_{\nu T}$  – значение эмпирической функции распределения  $F = \text{prob}(X \leq \nu T_{2017})$  по данным за 1911-2016 гг. (вероятность превышения)
3. Красным шрифтом выделены абсолютные максимумы – наибольшие из всех значений ряда за 1911-2017 гг. (ранг 1 в упорядоченном по убыванию временном ряду)
4. Значения с рангом 2-3 выделены оранжевым шрифтом (соответствуют вероятностям превышения 99-98, соответственно). В этих случаях 2017 г. попал в число трех самых теплых лет для соответствующего региона и сезона/месяца.
5. Синим шрифтом и голубой маркировкой выделены отрицательные аномалии



**Рисунок 2.2** – См. рис. 2.1, но для среднемесячных аномалий осеннего сезона.

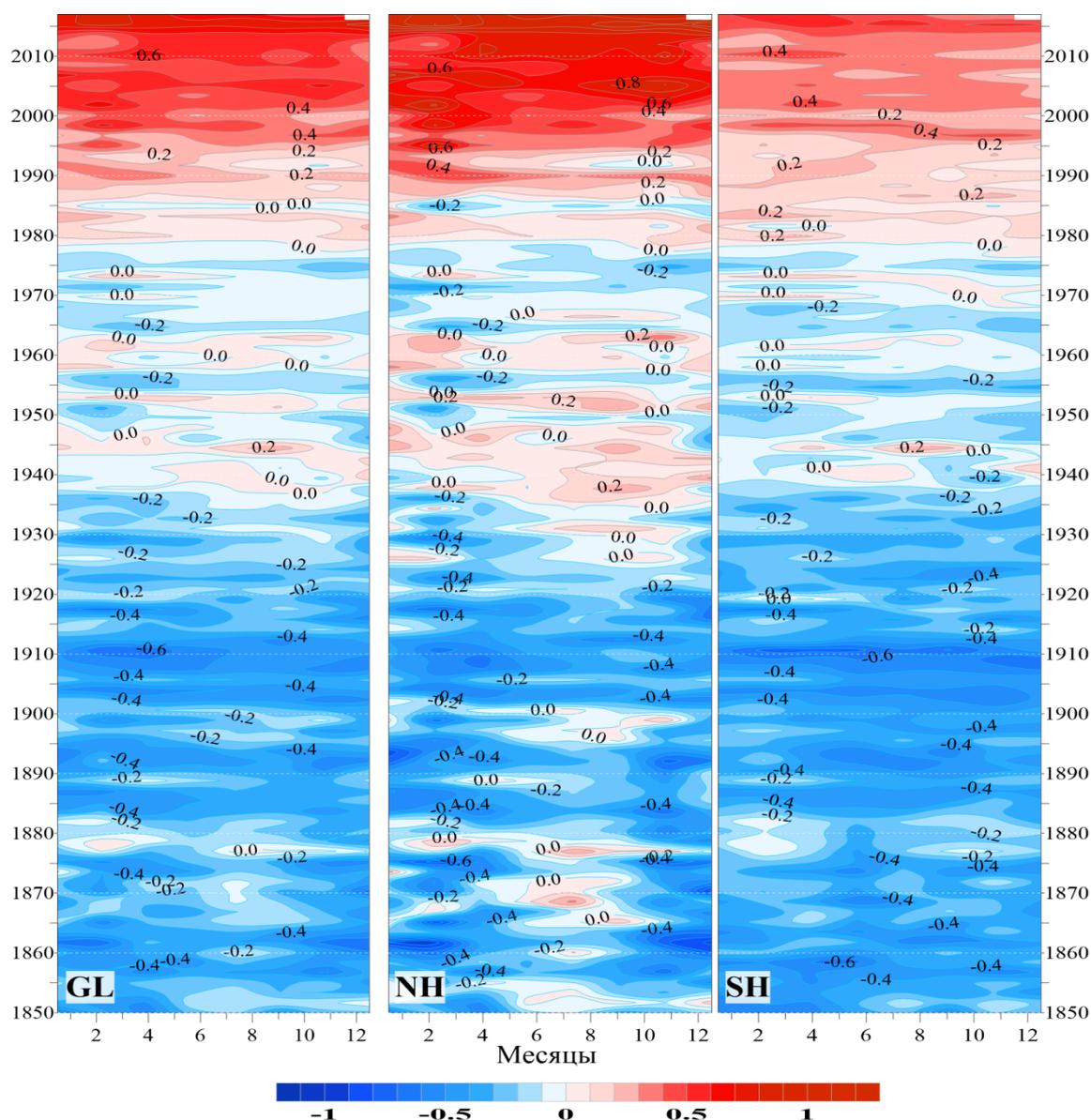
В *ноябре* значительная отрицательная аномалия наблюдается над территорией Канады, а также на юге Дальнего Востока, в Сибири и в Гренландии (с экстремумами второго-третьего ранга). Крупные положительные аномалии с абсолютными максимумами наблюдаются на севере Дальнего Востока, в центральной и западной части США и Мексике, в Северной Атлантике, а также охватывают обширную пограничную область Средней Азии, Западной Сибири и Урала.

Таким образом, осень 2017 года характеризуется пониженной температурой поверхностного слоя воды в Южном полушарии на протяжении всего сезона и преобладанием обширных положительных температурных аномалий в Арктическом регионе (на обоих континентах и в океане). Локализация отрицательных аномалий менялась от месяца к месяцу, наиболее крупные из них наблюдались в сентябре в Западной Антарктиде и Сибири, в ноябре – на территории Канады и на юге Дальнего Востока.

### 3. КРУПНОМАСШТАБНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ЗЕИНОГО ШАРА ЗА ПЕРИОД ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ, 1850-2017 гг. (осенний сезон)

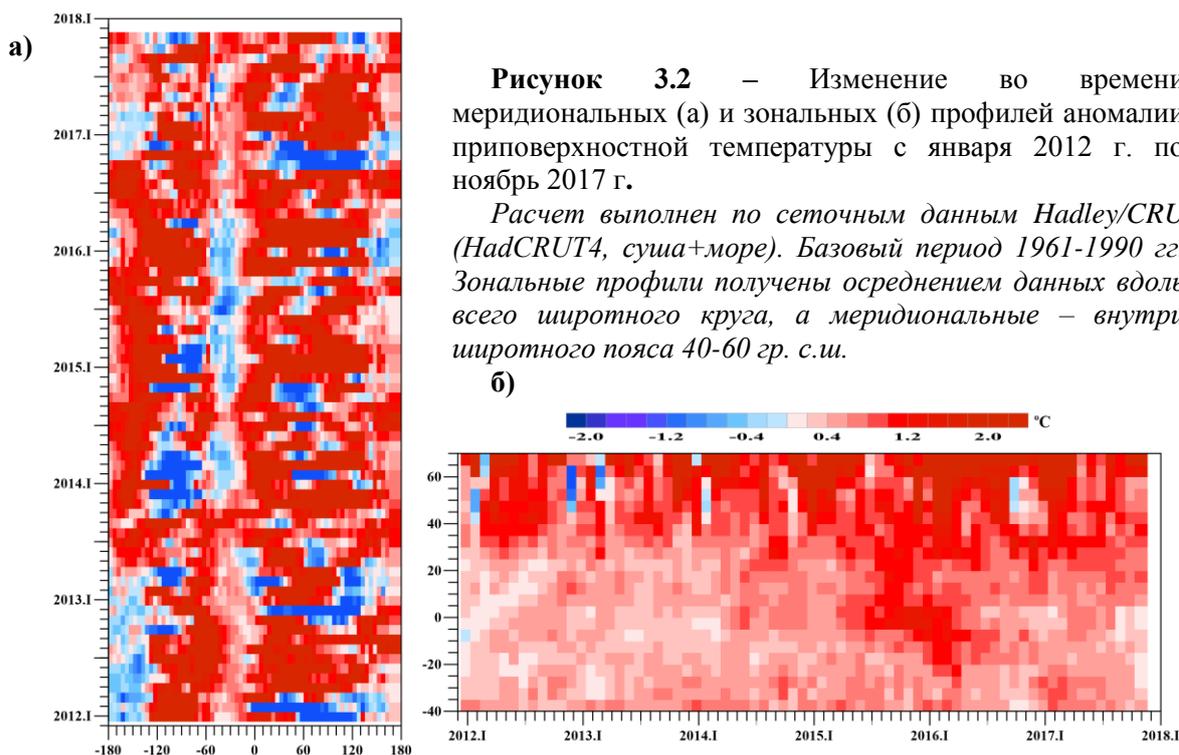
**Изменение глобальных температур.** На рис. 3.1 представлены межгодовые (по вертикали) и межмесячные (по горизонтали) изменения глобально осредненных температур на протяжении всего периода инструментальных наблюдений (с 1850 г.).

Принято считать, что начало современного глобального потепления относится примерно к середине 1970-х – началу 1980-х гг. Однако, до середины 1990-х относительно продолжительные периоды повышения температуры (рис. 3.1) чередовались с не менее выраженными периодами ее понижения. В 2008-2010 гг. также наблюдалось некоторое торможение процесса потепления, проявившееся в ослаблении положительных аномалий в Южном полушарии и, несколько менее заметное - в Северном полушарии. Примерно с середины 2014 г. потепление вновь усилилось.



**Рисунок 3.1** – Изменение средней месячной приповерхностной температуры, осредненной по территории Земного шара (GL), Северного (NH) и Южного (SH) полушарий в течение периода с января 1850 по ноябрь 2017 гг. (по данным HadCRUT4, Hadley/CRU, UK).

**Широтно-долготные разрезы.** Изменения широтно-долготных профилей температуры в течение 2012-2017 гг. представлены на рис. 3.2. Можно видеть, что в умеренных широтах Северного полушария положительная аномалия, сохранявшаяся в умеренных широтах Евразии с начала 2017 г., в октябре сменилась на территории Сибири отрицательной. В это же время отрицательная аномалия наблюдалась в американском секторе. В океанических секторах аномалии положительны (рис. 3.2а). В Южном полушарии этой осенью заметно определенное ослабление положительных аномалий температуры в тропических и субтропических широтах (рис. 3.2б). Все эти детали согласуются с описанными географическими особенностями температурного режима осеннего сезона.

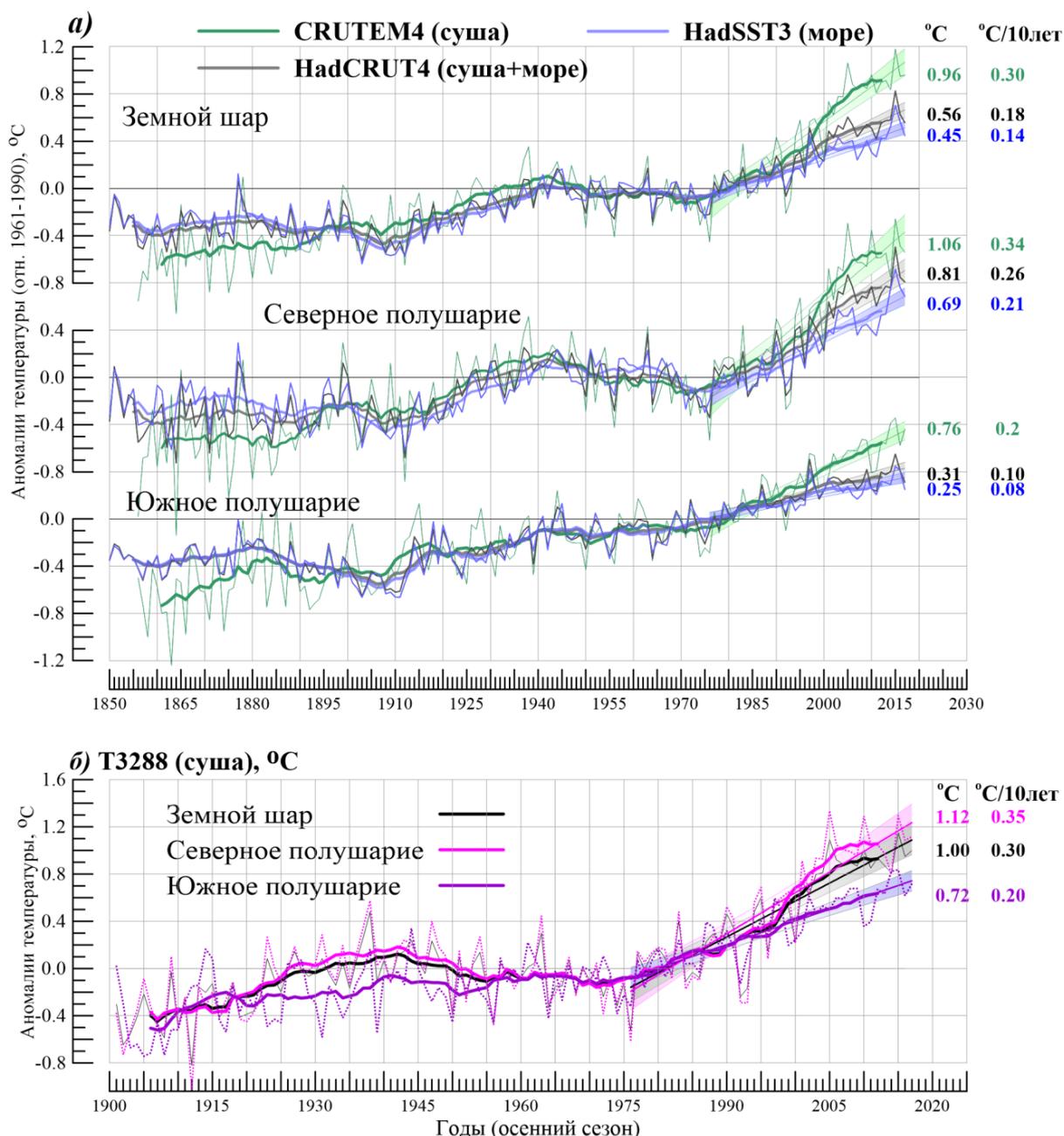


**Рисунок 3.2** – Изменение во времени меридиональных (а) и зональных (б) профилей аномалии приповерхностной температуры с января 2012 г. по ноябрь 2017 г.

*Расчет выполнен по сеточным данным Hadley/CRU (HadCRUT4, суша+море). Базовый период 1961-1990 гг. Зональные профили получены осреднением данных вдоль всего широтного круга, а меридиональные – внутри широтного пояса 40-60 гр. с.ш.*

**Временные ряды глобально осредненной температуры.** Интегральную характеристику и оценку интенсивности наблюдаемых глобальных изменений приземной температуры дают глобально осредненные временные ряды для территории Земного шара и обоих полушарий по всем используемым наборам данных (рис. 3.3) и их количественные описания (табл. 3.1, 3.2). Рис. 3.3а иллюстрирует особенности изменения температуры над сушей (CRUTEM4), океанами (HadSST3) и интегрально (HadCRUT4). Все 9 используемых рядов построены по оригинальным данным одного источника (Hadley/CRU), благодаря чему исключается влияние различных методик обработки наблюдений и формирования рядов на результаты их сравнения. На рис. 3.3б, напротив, анализируются особенности изменений глобальной температуры в Северном и Южном полушариях, но только над сушей, по единственному набору данных T3288 (ИГКЭ).

В ходе температуры отмечается последовательное двукратное (в 2016 и 2017 гг.) снижение осенних глобальных температур после их скачкообразного повышения в 2015 г.; единственное исключение - суша Южного полушария (рис. 3.3а). Можно отметить также (рис. 3.3б), что с середины 2000-х гг. характер взаимных колебаний температуры приземного воздуха над сушей Северного и Южного полушарий изменился с почти синфазного на близкий к противофазному.



**Рисунок 3.3** – Временные ряды сезонных аномалий приземной температуры (осень), осредненных по территории Земного шара, Северного и Южного полушарий: а) по данным Hadley/CRU, 1850-2017 гг.: HadCRUT4 (суша+море), CRUTEM4 (суша), HadSST3 (море); б) по данным ИГКЭ Росгидромета и РАН, 1901-2017 гг.: T3288 (суша).

Для всех рядов показан ход 11-летних скользящих средних и линейный тренд за 1976-2017 гг. с 95% доверительным интервалом. Справа приведены числовые значения сезонных аномалий в 2017 г. и значения коэффициентов линейного тренда за 1976-2017 гг. (°C/10лет, осень).

В табл. 3.1 приведены региональные коэффициенты линейного тренда. Их сравнение с помощью относительных показателей  $k_1$ - $k_4$  (табл. 3.2) показывает, что современное потепление осенних сезонов (1976-2017 гг.) протекает над сушей примерно вдвое быстрее, чем над океанами и в Северном полушарии в 1.7-2.6 раза быстрее, чем в Южном. При этом потепление четко выражено и на 100-летнем периоде (1918-2017 гг.), но его темпы в Северном и Южном полушарии практически одинаковы, а разрыв между сушей и океаном ниже (1.5 вместо 2.0). Таким образом, ускорение потепления в

последние 40-50 лет в большей мере характерно для Северного полушария, притом в равной мере для суши и океанов (более, чем в 3 раза). В Южном полушарии темпы ускорения ниже и, происходит оно, в основном, над сушей (в 2.2 раза против 1.3 над океанами).

**Таблица 3.1** – Коэффициенты линейного тренда ( $^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$ ) глобальных временных рядов приземной температуры за 1976-2017 гг. и 1918-2017 гг. (за осенний сезон и по месяцам)

Регион	1976-2017				1918-2017			
	Осень	IX	X	XI	Осень	IX	X	XI
<b>HadCRUT4 (Hadley/CRU, суша+море)</b>								
Земной шар	0.181	0.176	0.191	0.175	0.073	0.072	0.071	0.076
Северное полушарие	0.258	0.249	0.267	0.258	0.077	0.073	0.071	0.085
Южное полушарие	0.104	0.104	0.116	0.093	0.070	0.071	0.072	0.067
<b>T3288 (ИГКЭ, суша)</b>								
Земной шар	0.304	0.289	0.323	0.303	0.097	0.088	0.090	0.114
Северное полушарие	0.348	0.317	0.369	0.362	0.102	0.088	0.090	0.130
Южное полушарие	0.200	0.221	0.217	0.163	0.092	0.097	0.102	0.078
<b>CRUTEM4 (Hadley/CRU, суша)</b>								
Земной шар	0.297	0.284	0.313	0.293	0.097	0.090	0.092	0.108
Северное полушарие	0.345	0.317	0.361	0.357	0.098	0.085	0.088	0.120
Южное полушарие	0.200	0.220	0.217	0.164	0.094	0.099	0.100	0.084
<b>HadSST3 (Hadley/CRU, море)</b>								
Земной шар	0.143	0.148	0.149	0.132	0.063	0.064	0.063	0.062
Северное полушарие	0.209	0.223	0.213	0.189	0.064	0.067	0.064	0.061
Южное полушарие	0.082	0.077	0.090	0.079	0.064	0.065	0.065	0.063

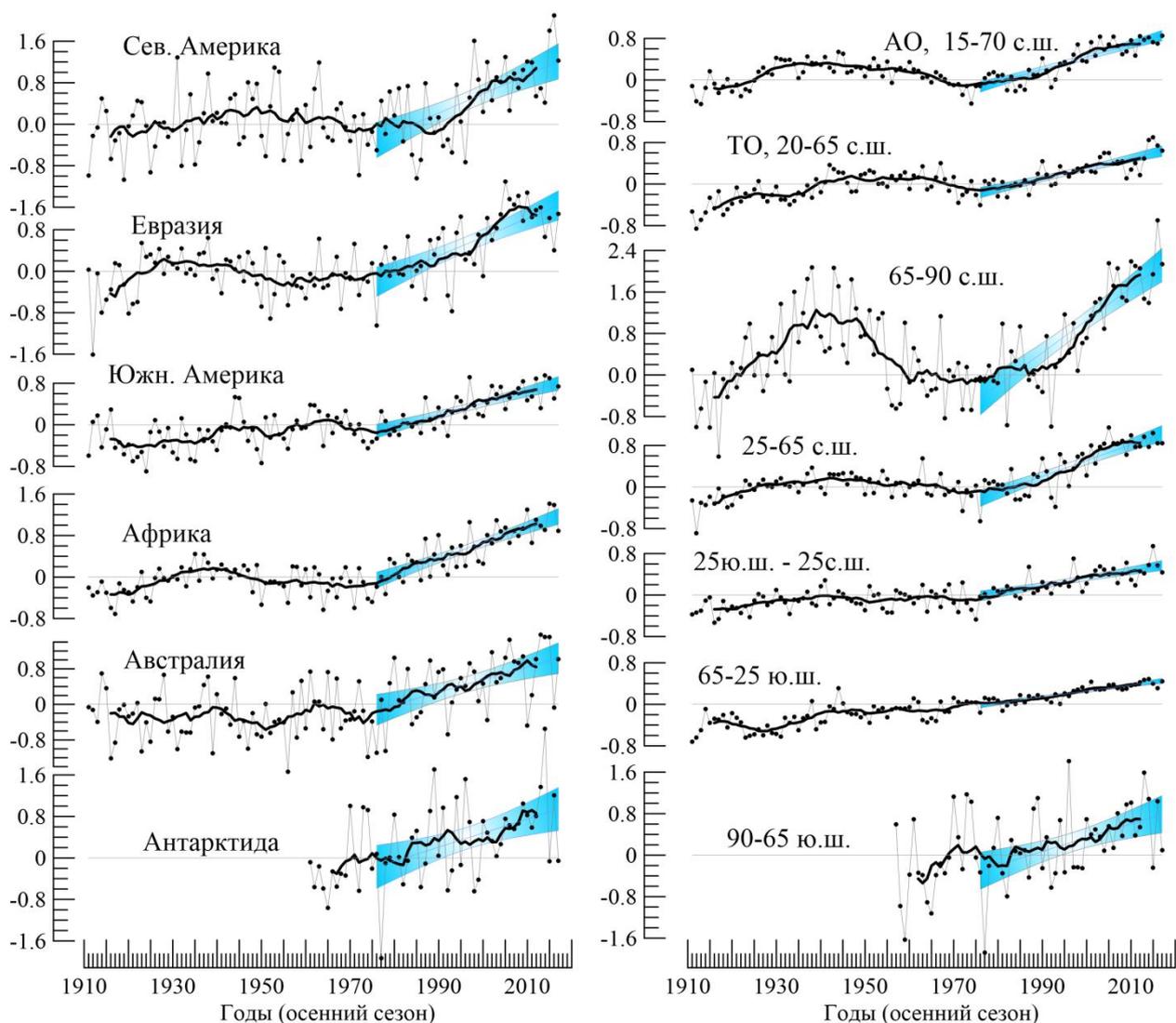
*Примечание.* Все оценки в таблице статистически значимы на уровне 0.1%

**Таблица 3.2** – Сравнение средней скорости приземного глобального потепления в разных факторных подгруппах (осенний сезон).

$k_1$	$b_{суша}/b_{море}$	1976-2017			1918-2017		
		ЗШ	СП	ЮП	ЗШ	СП	ЮП
	T3288/HadSST3	2.1	1.7	2.4	1.5	1.6	1.4
	CRUTEM4/HadSST3	2.1	1.7	2.4	1.5	1.5	1.5
$k_2$	$b_{СП}/b_{ЮП}$	1976-2017			1918-2017		
		T3288	CRUTEM	HadSST	T3288	CRUTEM	HadSST
		1.7	1.7	2.6	1.1	1.0	1.0
$k_3$	$b_{1976-2017}/b_{1918-2017}$	СП			ЮП		
		T3288	CRUTEM	HadSST	T3288	CRUTEM	HadSST
		3.4	3.5	3.3	2.2	2.1	1.3

#### 4. РЕГИОНАЛЬНЫЕ ВРЕМЕННЫЕ РЯДЫ ПРОСТРАНСТВЕННО ОСРЕДНЕННЫХ АНОМАЛИЙ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ, 1911-2017 гг. (осенний сезон)

Временные ряды (рис. 4.1, 4.2, 4.3) рассчитаны по методике ИГКЭ, по сеточным данным HadCRUT4 (для пяти широтных поясов и северных частей Атлантического и Тихого океанов) и по данным станционных наблюдений T3288 (для всех шести континентов). Данные до 1911 г. не приводятся, т.к. представляются недостаточно полными и надежными (особенно над океанами). На всех временных рядах показаны тренды за период 1976-2017 гг., условно принятый за период современного глобального потепления. Числовые оценки трендов приведены в табл. 4.1



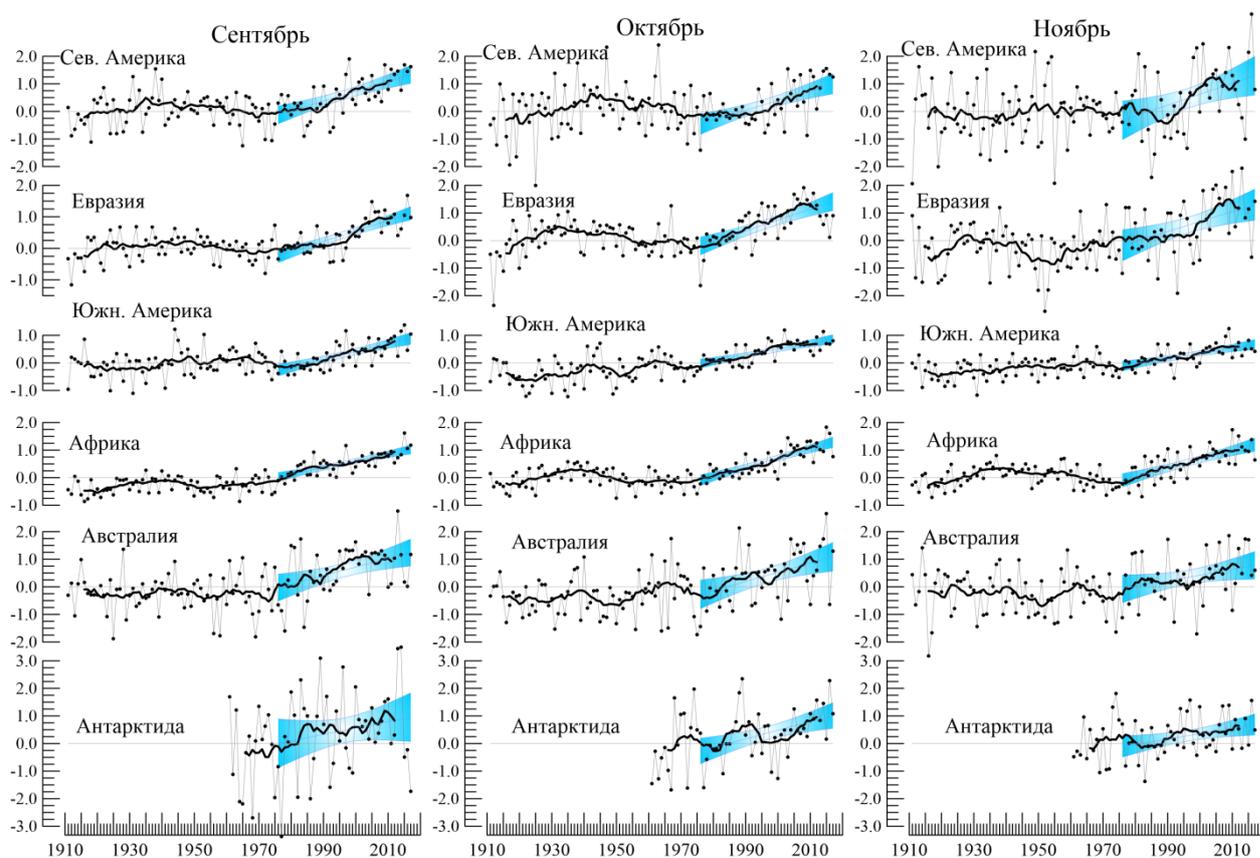
**Рисунок 4.1** – Временные ряды пространственно осредненных сезонных аномалий (осень) приземной температуры для континентов (слева), северных частей Атлантического и Тихого океанов (справа сверху) и основных широтных поясов земного шара (справа внизу).

*Расчеты выполнены по методике ИГКЭ по данным T3288 (для континентов) и HadCRUT4 (для океанов и широтных поясов). Аномалии приведены в отклонениях от средних за 1961–1990. Сглаженные кривые (жирная линия) получены 11-летним скользящим осреднением. Показан линейный тренд за 1976-2017 гг. с 95% -м доверительным интервалом (голубая заливка).*

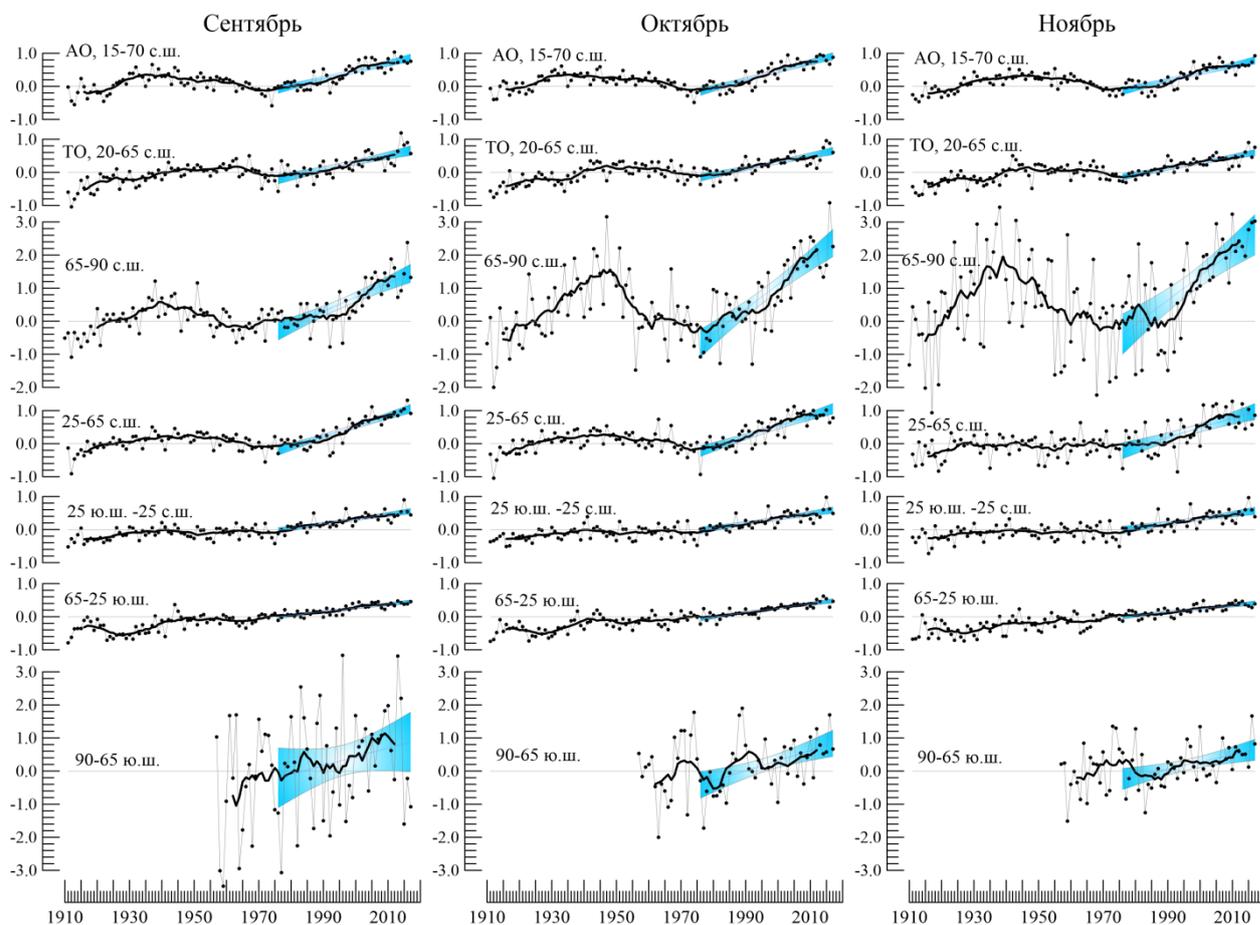
**Таблица 4.1.** – Коэффициенты линейного тренда ( $^{\circ}\text{C}/10 \text{ лет}$ ) пространственно осредненных аномалий приземной температуры для северных частей Атлантического и Тихого океанов, основных широтных поясов и континентов Земного шара за 1976-2017 гг. (за осенний сезон и по месяцам)

Регион	Осень	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
<b>HadCRUT4 (суша+море)</b>				
Атлантика (15-70N)	0.241	0.233	0.263	0.225
Тихий океан (20-65N)	0.195	0.210	0.195	0.179
Арктический пояс (65-90N)	0.626	0.425	0.741	0.734
Умеренный пояс СП (25-65N)	0.305	0.312	0.314	0.289
Тропики (25S-25N)	0.143	0.142	0.149	0.141
Умеренный пояс ЮП (65-25S)	0.116	0.112	0.132	0.101
Антарктический пояс (90-65S)	0.265	0.265	0.307	0.215
<b>T3288 (суша)</b>				
Северная Америка	0.370	0.358	0.358	*0.396
Евразия	0.359	0.331	0.393	0.360
Южная Америка	0.224	0.279	0.217	0.191
Африка	0.299	0.242	0.336	0.315
Австралия	0.283	0.311	0.332	**0.208
Антарктида	0.272	0.231	0.314	*0.195

*Примечания:* Большинство оценок статистически значимы на 1%-м уровне:  $\alpha=1\%$ . Для остальных приняты обозначения: \*  $\alpha=5\%$ ; \*\*  $\alpha=10\%$ ;  -  $\alpha > 10\%$ .



**Рисунок 4.2** – См. рис. 4.1, но для аномалий осенних месяцев и только для континентов. Расчеты выполнены по методике и данным ИГКЭ. Использован массив станционных данных T3288.



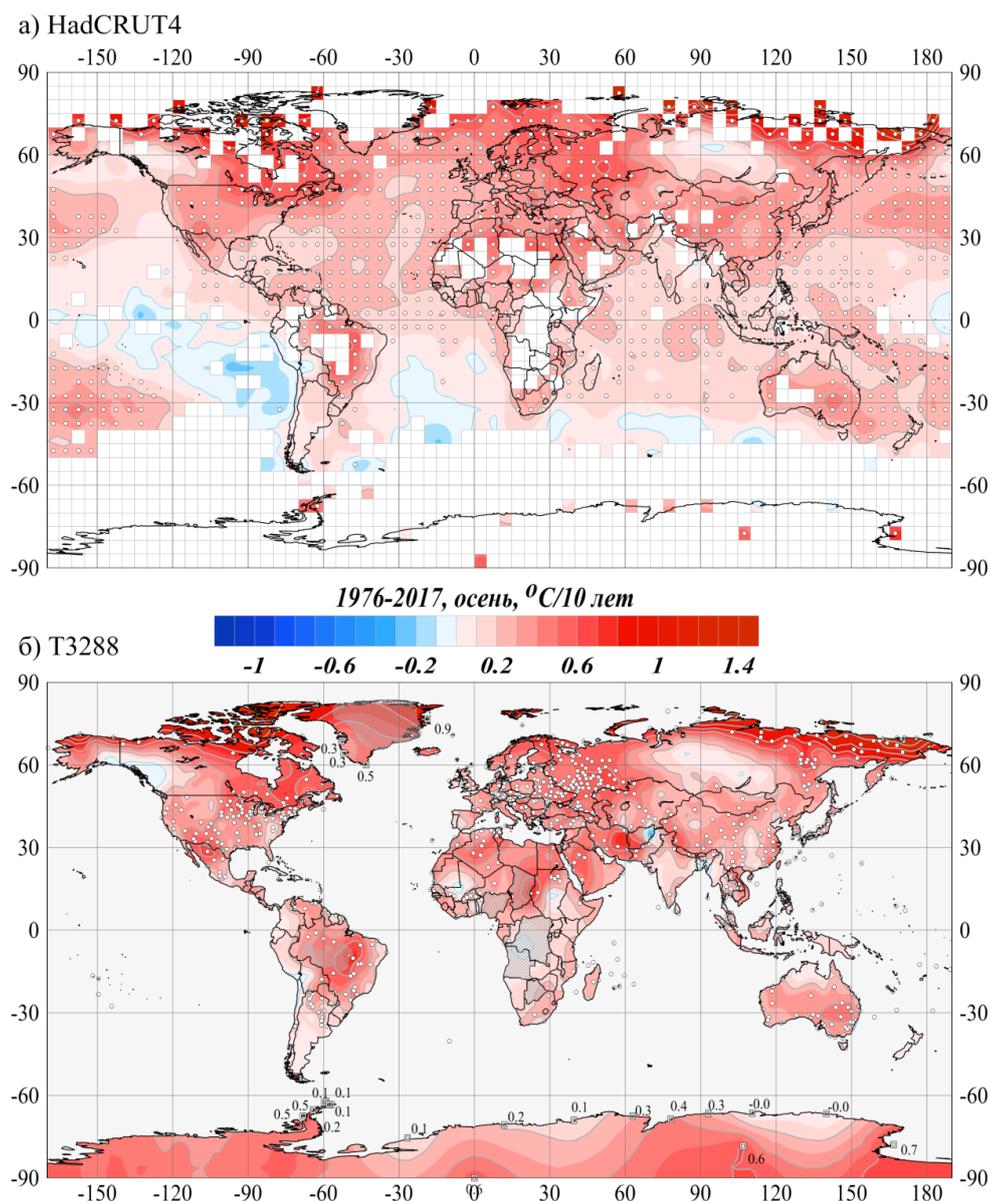
**Рисунок 4.3** – См. рис.4.2, но для океанов и широтных поясов земного шара. *Использованы сеточные данные Hadley/CRU, UK (массив HadCRUT4, суша+море). Расчеты выполнены по методике ИГКЭ.*

В целом можно отметить, что с добавлением данных за 2017 г. скорость глобального потепления осенних сезонов практически не изменилась: в сравнении с 1976-2016 гг. оценки трендов глобально осредненных температур изменились в пределах  $0.001^{\circ}\text{C}/10$  лет и только над сушей. Региональные оценки для рассмотренных крупных территорий также не выявили серьезных изменений в характере долгопериодных колебаний пространственно осредненных аномалий температуры. Однако следует обратить внимание на некоторое ослабление трендов на континентах Южного полушария и в Северной Америке: по данным за 1976-2016 гг. все оценки в табл. 4.1 были статистически значимы на 1%-м уровне.

## 5. ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА, 1976-2017 гг. (осенний сезон)

Использованы данные наблюдений на 1770 станциях (массив T3288) и в центрах 1573 боксов (массив HadCRUT4), для которых выполнены условия: своевременно поступили данные за осенние месяцы 2017 г; временные ряды на отрезке 1976-2017 гг. не содержат последовательных пропусков; и число наблюдений  $n \geq n_0$ , где  $n_0=35$ .

Ниже приведены: географическое распределение оценок тренда в форме полей изолиний с указанием областей статистически значимых оценок (рис. 5.1, 5.2) и количественное распределение оценок в зависимости от направленности, уровня значимости тренда и географического региона (табл. 5.1).



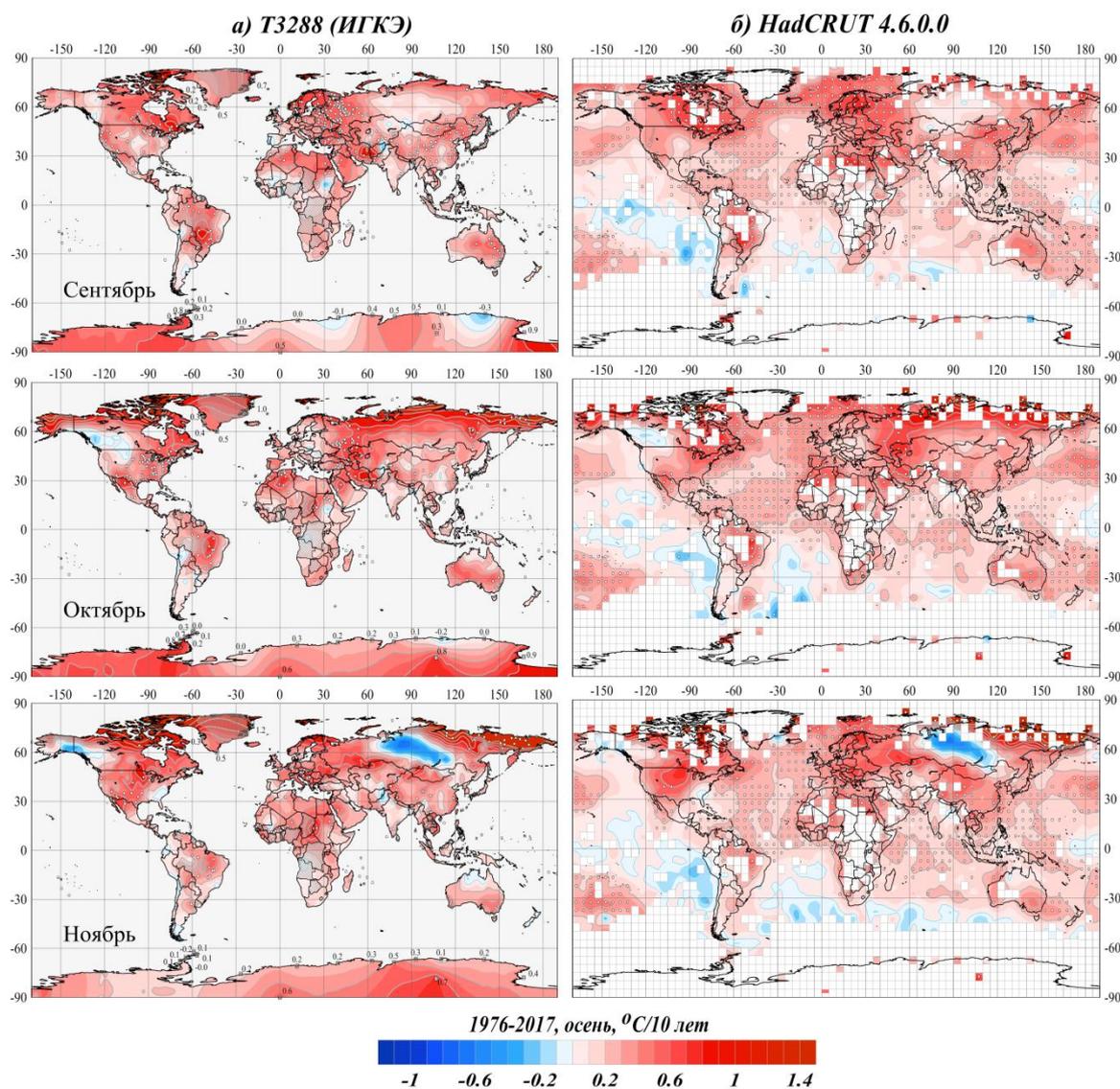
**Рисунок 5.1** - Пространственное распределение коэффициентов линейного тренда температуры осеннего сезона у поверхности Земного шара за период 1976-2017 гг. ( $^{\circ}\text{C}/10$  лет).

Использованы данные: а) HadCRUT4 - сеточные данные Hadley/CRU, UK (суша+море); б) T3288 – станционные данные ИГКЭ (только суша). Штриховкой отмечены области отсутствия станционных наблюдений. Для станций Антарктиды и Гренландии показаны числовые значения коэффициентов тренда. Белыми кружками выделены боксы/станции, для которых тренд статистически значим на 1%-м уровне.

**Таблица 5.1** – Распределение локальных оценок тренда за 1976-2017 (осенний сезон) в зависимости от знака коэффициента тренда  $b$  и уровня значимости  $\alpha$

Данные N		$b < 0$				$b \geq 0$			
		Всего	в том числе			Всего	в том числе		
$\alpha \leq 1$	$\alpha \leq 5$		$\alpha \leq 10$	$\alpha \leq 1$	$\alpha \leq 5$		$\alpha \leq 10$		
T3288	1770	68	8	10	13	1702	894	1208	1310
		3.8%	0.5%	0.6%	0.7%	96.2%	50.5%	68.2%	74.0%
В том числе в Северном полушарии									
T3288	1477	44	6	7	8	1433	758	1032	1115
		3.0%	0.4%	0.5%	0.5%	97.0%	51.3%	69.9%	75.5%
HadCRUT4	1573	131	2	7	12	1442	862	1030	1126
		8.3%	0.1%	0.4%	0.8%	91.7%	54.8%	65.5%	71.6%
В том числе в Северном полушарии									
HadCRUT4	960	19	0	0	1	941	629	724	785
		2.0%	0.0%	0.0%	0.1%	98.0%	65.5%	75.4%	81.8%

*Примечание.* Таблица обобщает распределение оценок на рис. 5.1. Процентное содержание данных рассчитано относительно N (N - общее количество станций/боксов).



**Рисунок 5.2** – См. рис. 5.1, но для коэффициентов тренда среднемесячных аномалий температуры осенних месяцев.

На территории суши практически на всей поверхности земного шара продолжается потепление осенних сезонов – положительные тренды составляют 96% всех стационарных оценок (рис. 5.1, табл. 5.1). При этом следует иметь в виду, что большая часть используемых в данном случае станций расположена в Северном полушарии (1702 из 1770). Слабая тенденция к похолоданию на континентах выявлена в некоторых областях на западе Канады, Аляске и Боливии (около 4% всех оценок, из которых только 0.5% значимы на 1%-м уровне). На территории Западной Сибири обширная область занята практически нулевым трендом (осенью 2016 г. всю эту территорию занимал огромный очаг отрицательных аномалий). Наиболее интенсивные области потепления находятся в арктической зоне.

Отрицательные тренды (до  $-0.3$  °C/10 лет) наблюдаются, в основном, в Южном полушарии, на акваториях океанов – на юге Индийского и Атлантического океанов, в Центральной и юго-восточной частях Тихого океана. Из 131 боксов с отрицательными трендами (менее 9% общего числа боксов с оценками трендов по данным HadCRUT4) лишь 19 расположены в Северном полушарии. Однако, из них только 9 оценок (примерно 0.5% общего числа) статистически значимы на 5% уровне.

Пространственные распределения коэффициентов тренда в *сентябре* и *октябре* (рис. 5.2), в целом, сходны между собой и согласуются с распределением сезонных оценок. В *ноябре* выделяется значительная область интенсивных отрицательных трендов на территории Сибири (до  $-0.8$  °C/10 лет) и небольшая территория с очень слабыми трендами (менее  $-0.2$  °C/10 лет) на границе Канады и Аляски. Однако статистически значимых среди них, хотя бы на 5%-м уровне, нет.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Осенний сезон 2017 г. в Северном полушарии (над сушей, океанами и совместно) и над континентами (в обоих полушариях и по Земному шару в целом) вошел в пятерку самых теплых осенних сезонов в истории наблюдений. Однако самой теплой по-прежнему остается осень 2015 года (за исключением Северного полушария над сушей).

2. Главной особенностью текущего осеннего сезона, по-видимому, является существенное (в сравнении с предыдущими сезонами 2017 г.) понижение средней температуры поверхностного слоя воды в Южном полушарии – лишь 14-е место среди наиболее теплых осенних сезонов. При совместном учете температуры над океанами и континентами сезон, в среднем по Южному полушарию, стал тринадцатым из наиболее теплых, а по Земному шару – шестым.

3. Наряду с пониженной температурой поверхности океанов в Южном полушарии, осень 2017 г. характеризуется также преобладанием обширных положительных температурных аномалий в Арктическом регионе (на обоих континентах и в океане). При этом локализация отрицательных аномалий менялась от месяца к месяцу; наиболее крупные из них наблюдались в сентябре в Западной Антарктиде и Сибири, в ноябре – на территории Канады и на юге Дальнего Востока.

Доля положительных аномалий на земном шаре составила 91% по стационарным данным (только суша) и 85% по данным на всей поверхности (суша+море). При этом более, чем на 13% станций значения были выше 95-го перцентиля, а на 3% перекрыты локальные максимумы.

4. Практически на всей *территории суши* Земного шара продолжается потепление осенних сезонов – около 96% всех рядов стационарных оценок коэффициентов тренда положительны (большая часть станций расположена в Северном полушарии – 1702 из 1770). Слабая тенденция к похолоданию на континентах выявлена в некоторых областях на западе Канады, Аляске и Боливии (3.8% всех оценок, но четверть из них статистически значимы на 5%-м уровне). На территории Западной Сибири обширная область занята практически нулевым трендом. Наиболее интенсивные области потепления находятся в арктической зоне. Отрицательные тренды (до  $-0.3$  °C/10 лет) наблюдаются, в основном, в Южном полушарии, на *акваториях океанов* – на юге Индийского и Атлантического океанов, в Центральной и юго-восточной частях Тихого океана.

5. Современное потепление осенних сезонов (1976-2017 гг.) протекает примерно вдвое быстрее над сушей, чем над океанами (в СП – в 1.7 раз, в ЮП – в 2.4 раза) и в Северном полушарии, чем в Южном (на суше в 1.7 раза, на поверхности океанов – в 2.6 раза). При этом потепление четко выражено и на 100-летнем периоде (1918-2017 гг.), но его темпы существенно ниже. Ускорение потепления в последние 40-50 лет в большей мере характерно для Северного полушария, притом в равной мере для суши и океанов (более, чем в 3 раза). В Южном полушарии темпы ускорения ниже и, происходит оно, в основном, над сушей (в 2.2 раза против 1.3 над океанами).

6. С добавлением данных за 2017 г. скорость глобального потепления осенних сезонов практически не изменилась (глобальные оценки изменились в пределах  $0.001$  °C/10 лет и только над сушей). Однако следует обратить внимание на некоторое ослабление трендов на континентах Южного полушария и в Северной Америке: все региональные оценки трендов по данным за 1976-2016 гг. были статистически значимы на уровне  $\alpha < 1\%$  (см. табл. 4.1 в бюллетене «Осень 2016», <http://climatechange.igce.ru>).