

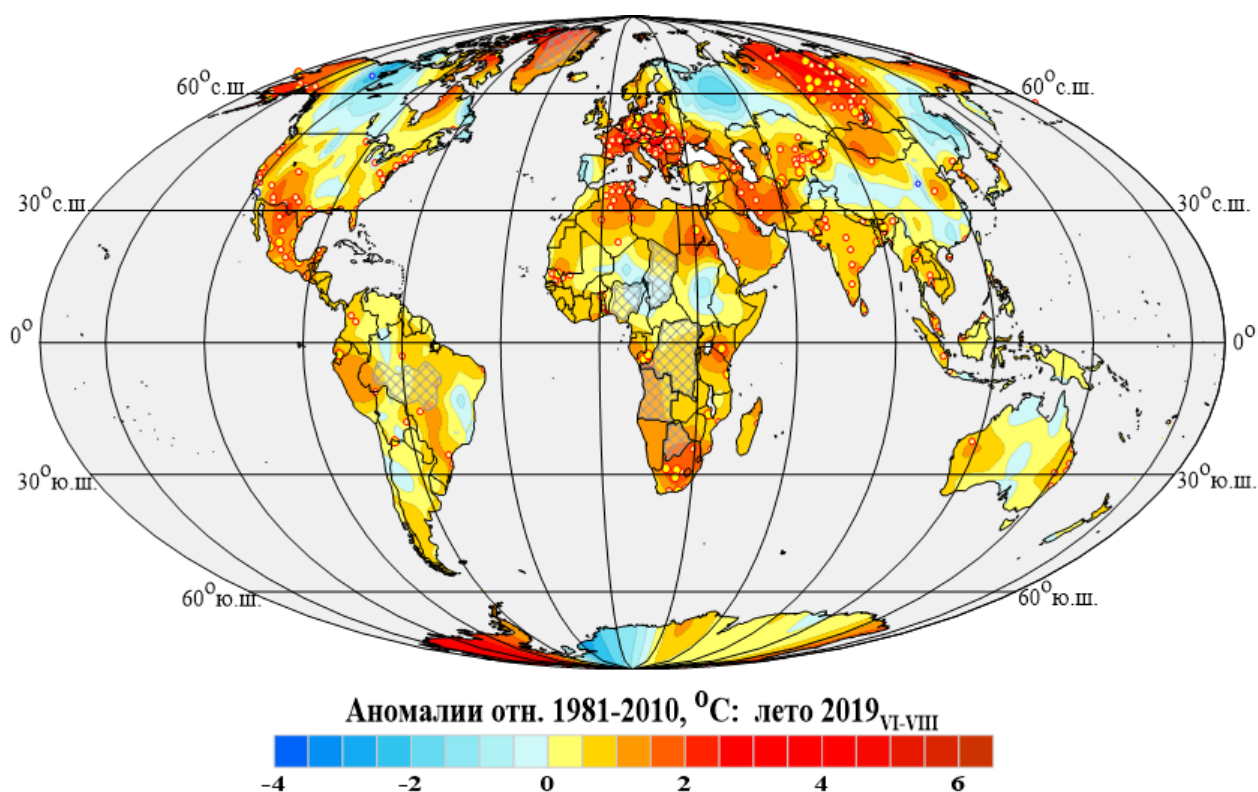
Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу
окружающей среды

ФГБУ «Институт глобального климата и экологии имени
академика Ю.А. Израэля»

Бюллетень мониторинга изменений климата Земного шара

Приземная температура

Лето 2019



Москва 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ^{1,2}

1. ВВЕДЕНИЕ	2
2. ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ У ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМНОГО ШАРА ЛЕТОМ 2019 года. ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ АНОМАЛИИ	5
3. КРУПНОМАСШТАБНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ЗЕМНОГО ШАРА ЗА ПЕРИОД ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ 1850-2019 гг. (летний сезон)	11
4. ВРЕМЕННЫЕ РЯДЫ РЕГИОНАЛЬНО ОСРЕДНЕННЫХ АНОМАЛИЙ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ, 1911-2019 гг. (летний сезон)	16
5. ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА, 1976-2019 гг. (летний сезон)	19
6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ	22

¹ Бюллетень подготовлен в ФГБУ «ИГКЭ». Данные текущих наблюдений (сводки КЛИМАТ и СИНОП из оперативного потока) подготовлены в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» и ФГБУ «Гидрометцентр РФ». Все Бюллетени мониторинга климата, сезонные и годовые, выпускаемые в ФГБУ «ИГКЭ», размещаются на сайте <http://climatechange.igce.ru/>

² На обложке приведено поле средних сезонных аномалий температуры приземного воздуха над сушей Земного шара: лето 2019 года.

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящем бюллетене представлены данные о климатических аномалиях летнего сезона 2019 года и обновленные (с учетом этих данных) оценки тенденций в изменении температурного режима летних сезонов на территории земного шара в течение 1976–2019 гг. (по разделу «приземная температура»). Оценки приведены для сезона в целом и каждого из месяцев (июнь-июль-август).

Бюллетень подготовлен в рамках оперативного мониторинга климата в ФГБУ «ИГКЭ»³, с использованием данных метеорологических наблюдений о среднемесячной температуре приземного воздуха на 3288 наземных станциях земного шара (массив Т3288, данные ИГКЭ; массив сформирован и ежемесячно пополняется средствами технологии мониторинга на основе телеграмм КЛИМАТ, СИНОП).

Параллельно в бюллетене приводятся оценки по данным о приповерхностной температуре на сети 5-градусных боксов, охватывающей всю территорию земного шара, включая континенты и океаны (массивы HadCRUT4, CRUTEM4, HadSST3⁴, данные метеослужбы Великобритании; 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 HadCRUT4, 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). В соответствии с рекомендацией ВМО⁵, все основные оценки приводятся в аномалиях температуры относительно базового периода 1981-2010 гг.

Развернутый комментарий к материалам бюллетеня с описанием используемых источников, сети станций и элементов методики размещен на сайте ИГКЭ⁶.

Сравнение глобальных временных рядов сезонных аномалий температуры приземного воздуха по данным Т3288 (ИГКЭ) и CRUTEM4 (Hadley/CRU). Близость рядов примерно с середины прошлого столетия четко видна уже визуально (рис. 1.1). Количественные результаты их сравнения (статистические характеристики попарных разностей) по данным за 1976-2019 гг. (период современного глобального потепления) и

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

⁴ 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 24.09.2019.

⁵ WMO, 2018: Press Release Number: 18-01-2018/WMO confirms 2017 among the three warmest years on record.

⁶ О бюллетене GCCM (read me). URL: http://climatechange.igce.ru /index.php?option=com_docman &task=doc_download&gid=220 &Itemid=76&lang=ru.

1920-2019 гг. (последнее столетие) приведены в табл. 1.1 для Земного шара, Северного и Южного полушарий.

Среднее различие рядов за 1920-2019 гг. не превышает 0.02°C (табл. 1.1, рис. 1.1), а за период 1976-2019 гг. отсутствует вовсе. Стандартное отклонение различий за эти периоды ($0.02\text{--}0.06^{\circ}\text{C}$) на порядок ниже стандартного отклонения самих рядов ($0.3\text{--}0.4^{\circ}\text{C}$). Максимальные различия за период с 1976 г. не превышали 0.09°C , но в прошлом в Южном полушарии достигали 0.24°C (1930 г.) При этом во всех случаях ряды характеризуются исключительно высокой корреляцией (не ниже 0.98) и предельно низким различием трендов (до $\pm 0.01^{\circ}\text{C}/10$ лет).

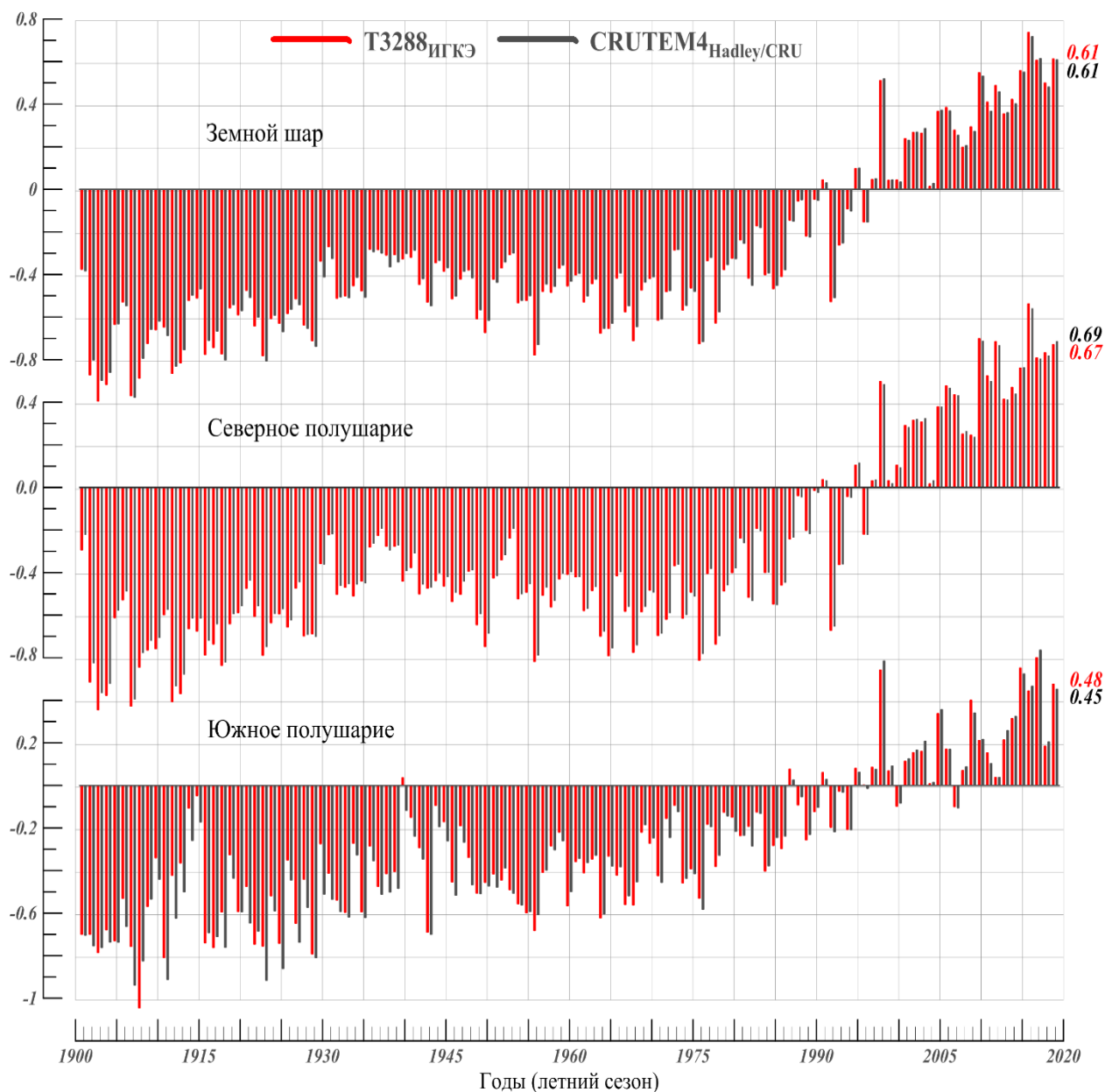


Рисунок 1.1 – Временные ряды пространственно осредненных сезонных аномалий температуры приземного воздуха над сушей Земного шара, Северного и Южного полушарий (1901-2019 гг., лето, $^{\circ}\text{C}$).

Использованы временные ряды, рассчитанные по данным массива T3288 (ИГКЭ) и глобальные временные ряды CRUTEM4 (Hadley/CRU).

Таблица 1.1 – Оценки близости/различия глобальных временных рядов Т3288 (ИГКЭ) и CRUTEM4 (Hadley/CRU) в среднем за летний сезон для территории суши Земного шара (ЗШ), Северного (СП) и Южного (ЮП) полушарий

Оценка	1976-2019			1920-2019		
	ЗШ	СП	ЮП	ЗШ	СП	ЮП
Корреляция рядов	1.00	1.00	0.99	1.00	1.00	0.98
Среднее различие, °С	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	0.02
СКО (сигма) различий, °С	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.06
Среднее абсолютное различие, °С	0.01	0.01	0.03	0.02	0.02	0.05
Макс. абсолютное различие, °С	0.05	0.04	0.09	0.07	0.07	0.24
Разность коэфф. тренда, °С /10лет	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01
СКО Т3288, °С	0.38	0.44	0.27	0.38	0.42	0.32
СКО CRUTEM4, °С	0.37	0.43	0.27	0.37	0.41	0.33

В соответствии с оценками в табл. 1.2, в предыдущие 2 года (после рекордно теплого 2016 г.) на суше Земного шара, в основном, происходило снижение глобальной температуры. Однако летом 2019 г., в сравнении с предыдущим годом, глобальная температура повысилась в среднем по Земному шару на 0.11-0.13°С, в Северном полушарии всего на 0.04-0.07°С, а в Южном – особенно интенсивно, на 0.25-0.29 °С (по данным Т3288 и CRUTEM4). Тем не менее, к настоящему времени рекордный уровень 2016 г. еще не перекрыт. Глобальная приземная температура летнего сезона 2019 г. оказалась ниже уровня 2016 года на 0.15-0.19°С (в Северном полушарии) и на 0.11-0.12°С (по Земному шару). В Южном полушарии отставание от рекорда практически компенсировано (рис. 1.1, табл. 1.2).

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

Межгодовые разности	Данные Т3288, °С (ИГКЭ)			Данные CRUTEM4, °С (Hadley/CRU)		
	ЗШ	СП	ЮП	ЗШ	СП	ЮП
2019-2018	0.113	0.038	0.292	0.128	0.068	0.248
2018-2017	-0.107	0.024	-0.416	-0.134	0.014	-0.431
2017-2016	-0.130	-0.253	0.157	-0.102	-0.236	0.169
2016-2015	0.179	0.301	-0.108	0.166	0.277	-0.057
2019-2015	0.055	0.110	-0.075	0.058	0.123	-0.071
2019-2016	-0.124	-0.191	0.033	-0.108	-0.154	-0.014

2. ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ У ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМНОГО ШАРА ЛЕТОМ 2019 ГОДА. ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ АНОМАЛИИ

В среднем по Земному шару летний сезон 2019 года был одним из самых теплых в истории наблюдений – 2-3-е место в упорядоченных по убыванию рядах глобальной температуры (в зависимости от вида данных - см. табл. 2.1). На поверхности океанов Северного полушария летний сезон 2019 г. летом оказался рекордно теплым, превысив даже значение летней температуры 2016г. В Северном полушарии, в среднем по всей территории (суша+море), приповерхностная температура летом 2019 года занимает второе место, тогда как в Южном полушарии – лишь шестое.

Таблица 2.1 – Самые теплые летние сезоны по данным разных источников для Земного шара, Северного и Южного полушарий:
средняя за летний сезон аномалия температуры VT и год наблюдения

№	ЗШ		СП		ЮП	
	VT, °C	Год (лето)	VT, °C	Год (лето)	VT, °C	Год (лето)
HadCRUT4 (Hadley/CRU, суша+море)						
1	0.471	2016	0.676	2016	0.313	1998
2	0.439	2015	0.636	2019	0.293	2015
3	0.425	2019	0.585	2015	0.267	2016
4	0.381	2017	0.537	2017	0.242	2009
5	0.335	1998	0.496	2014	0.225	2017
6	0.327	2014	0.460	2010	0.214	2019
T3288 (ИГКЭ, суша)						
1	0.736	2016	0.861	2016	0.600	2017
2	0.612	2019	0.698	2010	0.551	2015
3	0.606	2017	0.684	2012	0.541	1998
4	0.557	2015	0.670	2019	0.476	2019
5	0.547	2010	0.632	2018	0.443	2016
6	0.510	1998	0.608	2017	0.400	2009
CRUTEM4 (Hadley/CRU, суша)						
1	0.716	2016	0.840	2016	0.635	2017
2	0.614	2017	0.688	2010	0.584	1998
3	0.608	2019	0.686	2019	0.523	2015
4	0.550	2015	0.667	2012	0.466	2016
5	0.531	2010	0.618	2018	0.452	2019
6	0.518	1998	0.604	2017	0.356	2005
HadSST3 (Hadley/CRU, море)						
1	0.411	2016	0.648	2019	0.263	1998
2	0.391	2019	0.617	2016	0.243	2016
3	0.388	2015	0.548	2014	0.215	2015
4	0.348	2014	0.543	2015	0.195	2009
5	0.324	2017	0.509	2017	0.167	2019
6	0.277	2009	0.383	2018	0.157	2017

На рис. 2.1-2.2 представлены пространственные распределения аномалий приповерхностной температуры для сезона в целом и для каждого из летних месяцев, в таблице 2.2 – оценки регионально осредненных аномалий (в абсолютной и вероятностной шкале), а в таблице 2.3 – количество локальных экстремумов для крупных регионов мира.

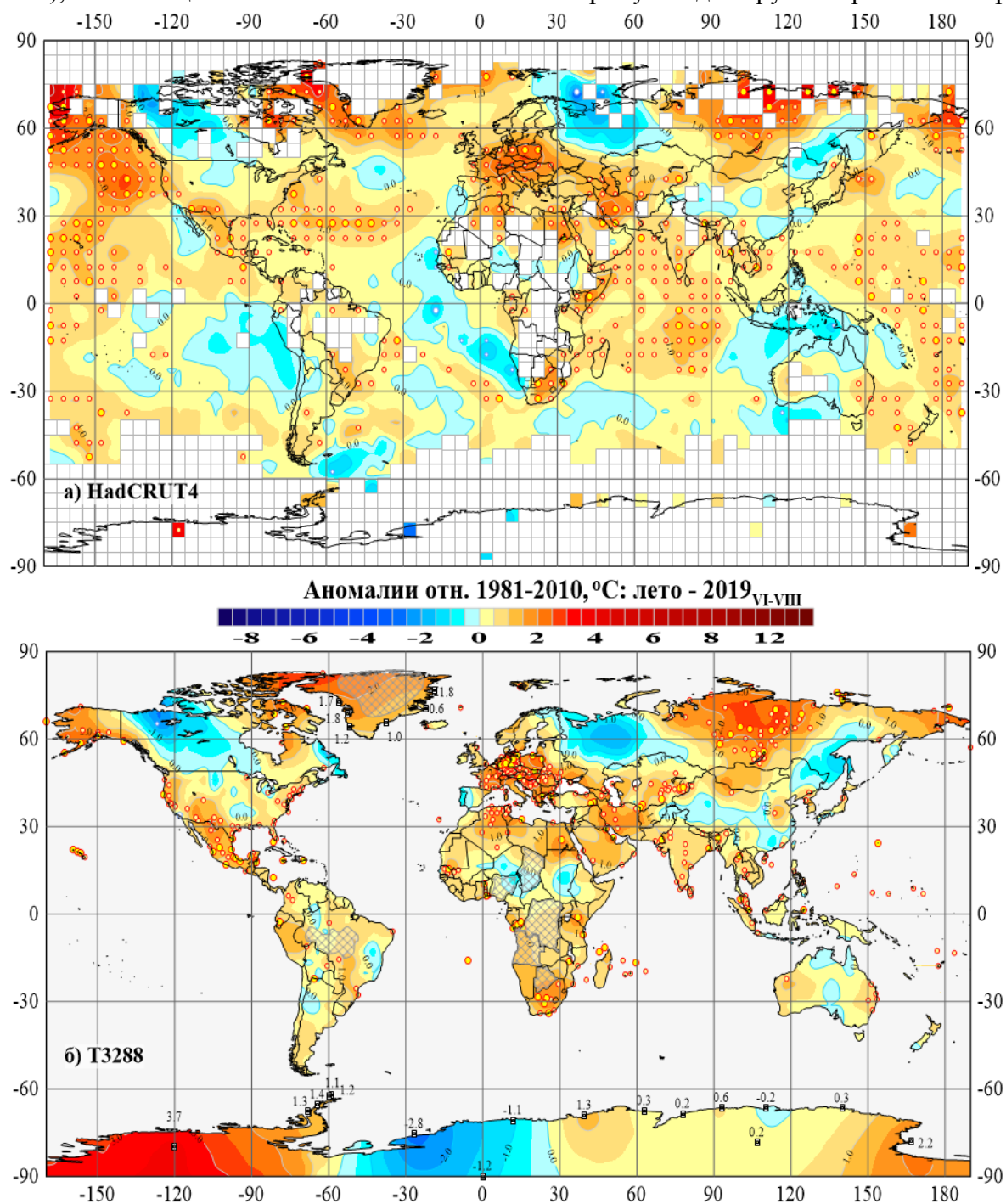


Рисунок 2.1 – Пространственное распределение аномалий приземной температуры на территории Земного шара летом 2019 г.: а) по сеточным данным HadCRUT4 (Hadley/CRU, UK); б) по станционным данным T3288 (ИГКЭ).

Аномалии приведены в отклонениях от средних за 1981-2010 гг. Кругами белого (минимумы) и желтого (максимумы) цвета указано положение боксов/станций с рекордными значениями аномалий. Значками меньшего размера указано положение 5%-х экстремумов того же знака. Для станций Антарктиды и Гренландии непосредственно в точках расположения станций показаны числовые значения наблюдаемых аномалий. Пустыми боксами (а) и штриховкой (б) показаны области отсутствия наблюдений.

Таблица 2.2 - Пространственно осредненные значения аномалии (°C)
 приземной температуры и их вероятности неперевышения на территории Земного шара
 летом 2019 г., в среднем за сезон и в каждом из месяцев

Регион	Лето		Июнь		Июль		Август	
	$vT_{VI-VIII}$	F%	vT_{VI}	F%	vT_{VII}	F%	vT_{VIII}	F%
<i>HadCRUT4 (суша+море)</i>								
Земной шар*	0.43	98	0.43	98	0.42	99	0.43	98
Северное полушарие*	0.64	99	0.63	99	0.61	99	0.67	99
Южное полушарие*	0.21	95	0.23	96	0.23	97	0.18	93
Атлантика (15-70N)	0.57	99	0.40	94	*0.62	*100	0.67	99
Тихий океан (20-65N)	*0.87	*100	0.65	99	*0.82	*100	*1.12	*100
Арктический пояс (65-90N)	1.03	97	1.14	96	0.57	93	1.40	99
Умеренный пояс СП (25-65N)	0.72	99	0.70	98	0.67	96	0.78	99
Тропики (25S-25N)	0.36	97	0.39	97	0.38	98	0.33	96
Умеренный пояс ЮП (65-25S)	0.30	99	0.26	97	*0.32	*100	0.23	94
Антарктический пояс (90-65S)	0.56	85	-0.58	49	0.78	79	1.39	85
<i>IGCE-T3288 (суша)</i>								
Земной шар	0.61	99	*0.75	*100	0.58	96	0.51	97
Северное полушарие	0.67	97	0.86	99	0.58	95	0.59	97
Южное полушарие	0.48	97	0.50	99	0.59	98	0.30	94
Северная Америка	0.55	94	0.29	80	0.79	96	0.54	93
Евразия	0.72	96	1.14	99	0.42	88	0.57	93
Европа	0.67	92	*1.99	*100	-0.33	54	0.27	73
Азия	0.71	97	0.84	95	0.63	95	0.66	95
Южная Америка	0.45	93	1.00	99	0.25	75	0.09	75
Африка	0.74	99	0.80	99	*0.93	*100	0.66	99
Австралия	0.33	87	0.07	63	1.15	96	-0.27	58
Антарктида	0.82	87	-0.74	52	1.60	85	1.60	92
<i>CRUTEM4 (суша)</i>								
Земной шар*	0.61	98	*0.75	*100	0.58	95	0.50	97
Северное полушарие*	0.69	98	0.87	99	0.58	95	0.60	97
Южное полушарие*	0.45	96	0.50	97	0.56	98	0.29	94

Условные обозначения.

1. vT , °C – наблюдаемая аномалия летом 2019 года (базовый период 1981-2010 гг.);
2. F% – значение эмпирической функции распределения $F=\text{prob}(X \leq vT_{2019})$ по данным за 1911-2018 гг. (вероятность неперевышения);
3. Синим шрифтом выделены отрицательные аномалии.
4. Красным шрифтом выделены абсолютные максимумы (жирным шрифтом) и аномалии с вероятностью неперевышения 99%.

Тот факт, что 2019 год вошел в тройку самых теплых летних сезонов в ряду наблюдений, иллюстрируется географическим распределением аномалий по территории Земного шара на рис. 2.1. В соответствии с оценками в табл. 2.3, положительные аномалии составили в этом сезоне 66%, при этом отмечалось большое количество экстремумов тепла выше 95-го перцентиля – 26%, из которых 6% - абсолютные максимумы. Экстремально высокие значения приповерхностной температуры наблюдались во многих регионах и широтных поясах – вероятность превышения средней сезонной региональной аномалии составила 99% в Северной Атлантике, умеренном поясе Северного и Южного полушарий, в Африке, а в северной части Тихого океана сезон оказался рекордно теплым (табл. 2.2). Области наиболее интенсивных положительных сезонных аномалий с многочисленными экстремумами хорошо видны на рис. 2.1: Северная Атлантика, особенно возле западного побережья Гренландии (аномалии до 3.8°C), северная часть Тихого океана (до 2.8°C) и Аляска-Чукотка (до 5.5°C в Чукотском море), Центральная Европа (до 2.8°C), Центральная и северная Сибирь (до 3.6°C), тропический пояс Северного полушария – как суша, так и океаны. Отрицательные аномалии в этом сезоне наблюдались в центральной и северо-западной части Канады (до -2.5°C), на ЕЧР и прилегающих морях (до -3.7°C в Баренцевом море), на Дальнем Востоке (до -1.6°C), в Китае, а также в океанах Южного полушария, в Антарктиде (до -2.8°C).

Таблица 2.3 – Количество локальных экстремумов на территории Земного шара летом 2019 г. по данным массивов T3288 и HadCRUT4 (все значения приведены в процентах от NN)

Регион	NN - число станций/ боксов	Число значений в каждой категории (в % от NN)					
		Аномалии		5%-е экстремумы холода/тепла		Абсолютные экстремумы	
		V < -0.1	V > 0.1	X ≤ P ₀₅	X ≥ P ₉₅	X = min	X = max
HadCRUT4 (суша+море)							
ЗШ	1678	16.6%	69.7%	0.7%	27.2%	0.1%	5.7%
СП	977	12.6%	77.5%	0.4%	34.2%	0%	7.7%
ЮП	701	22.3%	58.8%	1.1%	17.4%	0.1%	2.9%
90-65S	15	26.7%	73.3%	—	6.7%	—	—
65-25S	360	19.2%	60.6%	0.6%	12.5%	—	2.2%
25S-25N	648	16.5%	69.3%	1.2%	31.9%	0.2%	5.7%
25-65N	547	14.3%	75.3%	0.0%	31.4%	—	6.8%
65-90N	108	19.4%	73.1%	1.9%	28.7%	0.9%	12.0%
T3288 (только суша)							
ЗШ	1785	18.0%	71.8%	0.2%	24.5%	0.1%	6.1%
СП	1457	18.7%	72.2%	0.3%	26.6%	0.1%	6.1%
ЮП	329	14.9%	70.2%	0.0%	14.9%	—	5.8%
С. Америка	305	18.0%	72.5%	1.0%	23.0%	0.00	6.2%
Евразия	901	20.8%	70.5%	0.1%	26.5%	0.0%	4.8%
Ю. Америка	150	14.7%	68.0%	—	7.3%	—	1.3%
Африка	127	13.4%	79.5%	0.0%	38.6%	—	13.4%
Австралия	76	19.7%	64.5%	—	7.9%	—	—
Антарктида	18	22.2%	77.8%	—	0.0%	—	—
Европа	326	25.8%	68.4%	—	35.3%	—	0.05
Азия	582	17.7%	72.0%	0.2%	21.3%	0.0%	4.5%

Высокая доля экстремальных аномалий характерна в этом сезоне для многих регионов и широтных поясов (табл. 2.3). Так, в тропическом поясе доля 5%-х экстремумов тепла составила 32%, в умеренном поясе Северного полушария – 31%, в Арктике – 29%, из них 12% – абсолютные максимумы (табл. 2.3). На континентах доля 5%-х экстремумов тепла составила: в Северной Америке - 23%, в Евразии - 27%, в Европе 35%, а в Африке достигла 39%, причем здесь на 13% станций были перекрыты прежние рекордные значения.

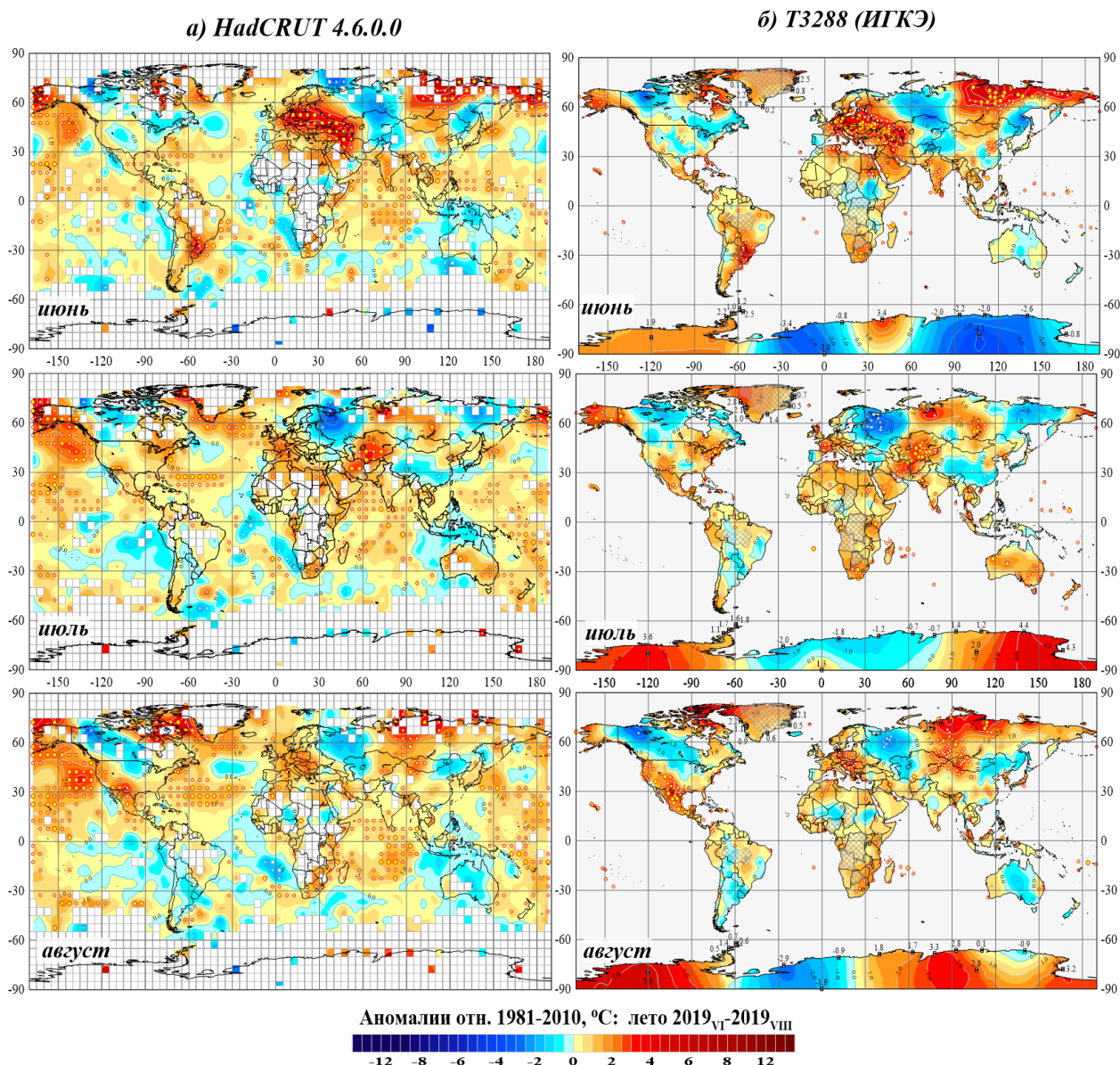


Рисунок 2.2 – Пространственное распределение среднемесячных аномалий приземной температуры на территории Земного шара летом 2019 г. (июнь-август). Условные обозначения см. рис.2.1

Внутрисезонные особенности географического распределения аномалий. Динамика температурного режима Земного шара в течение текущего сезона характеризуется, в целом, относительной устойчивостью, за исключением весьма крупных территорий в Евразии (рис. 2.2). На этом континенте наблюдались обширные области тепла и холода, локализация и интенсивность которых менялись от месяца к месяцу.

Евразия. В июне на евразийском континенте сформировались два обширных очага тепла (в Европе, включая ЕЧР, и в Восточной Сибири) и между ними - обширная холодная аномалия, которая занимала регион Западной Сибири (включая смежный Урал), восточную территорию Казахстана с граничными областями сопредельных государств. В июле вся эта система сместилась к востоку, так что на западе положительные аномалии сохранились лишь в Западной Европе (главным образом, в Италии, Франции и Германии). Область холода также сместилась к востоку, несколько усилилась (аномалии до -3.6°C) и занимала в июле-августе территорию ЕЧР. Очаг тепла, расположенный в июне в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке (аномалии до $+7.0^{\circ}\text{C}$), в июле расположен на территории Западной и Восточной Сибири (до 3.9°C), Средней Азии (до 3.9°C в Казахстане) и на Ближнем Востоке, а в августе (до $+2.5^{\circ}\text{C}$) занимает всю территорию Сибири, часть Монголии и Казахстана. В Западной Европе в течение всего сезона сохранялись положительные аномалии, отмеченные в июне многочисленными локальными экстремумами и абсолютным максимумом в целом по европейскому региону ($+1.99^{\circ}\text{C}$, табл. 2.2).

Северные акватории Тихого (20-65 с.ш.) и Атлантического (15-70 с.ш.) океанов. В обоих океанах на протяжении всего сезона средняя по региону приповерхностная температура была выше климатической нормы с многочисленными локальными экстремумами. В Тихом океане все три месяца были экстремально теплыми: июнь - на втором месте среди самых теплых (после 2015 г.), а июль-август - самыми теплыми за период наблюдений с 1850 г. В Северной Атлантике, за счет очагов тепла вблизи западного побережья Гренландии и тропической области Атлантики, в июле перекрыт абсолютный максимум, а в июне и августе вероятность превышения составила, соответственно, 94% и 99% (рис. 2.2, табл. 2.2).

Северная Америка. На южной территории (Мексика и юг США) в течение сезона преобладали положительные аномалии, особенно в августе (до 2.5°C), когда во всем этом регионе наблюдались значения выше 95-го перцентиля. При этом на севере (Канада и северная часть США), наоборот, в течение всего сезона на большей части территории сохранялись отрицательные аномалии (в августе - до -3°C).

Африка. В среднем по региону, июль был рекордно теплым (ранг 1), а июнь, август и сезон в целом - вторыми (ранг 2). Однако, в центральной части континента, особенно в июле, аномалии температуры были даже отрицательными. Кроме того следует учесть, что значительная часть территории континента не учтена в расчетах, т.к. не освещена данными наблюдений (см. заштрихованные области на рис. 2.2).

Таким образом, подавляющая часть крупных аномалий текущего сезона наблюдалась в Северном полушарии. Складывается с этим и тот факт, что в августе практически во всех широтных поясах Северного полушария зонально осредненные значения аномалий (по данным HadCRUT4, суша+море) оказались на втором месте в соответствующих ранжированных временных рядах (ранг 2). Умеренный пояс Южного полушария в июле был рекордно теплым.

3. КРУПНОМАСШТАБНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ЗЕМНОГО ШАРА ЗА ПЕРИОД ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ, 1850-2019 гг. (летний сезон)

Многолетние и межмесячные изменения глобальной температуры. На рис. 3.1 представлены межгодовые (по вертикали) и межмесячные (по горизонтали) изменения глобально осредненных аномалий приповерхностной температуры (для Земного шара и полушарий) на протяжении всего периода инструментальных наблюдений (с 1850 г.). Аномалии рассчитаны относительно среднего за весь период (1850-2019 гг.).

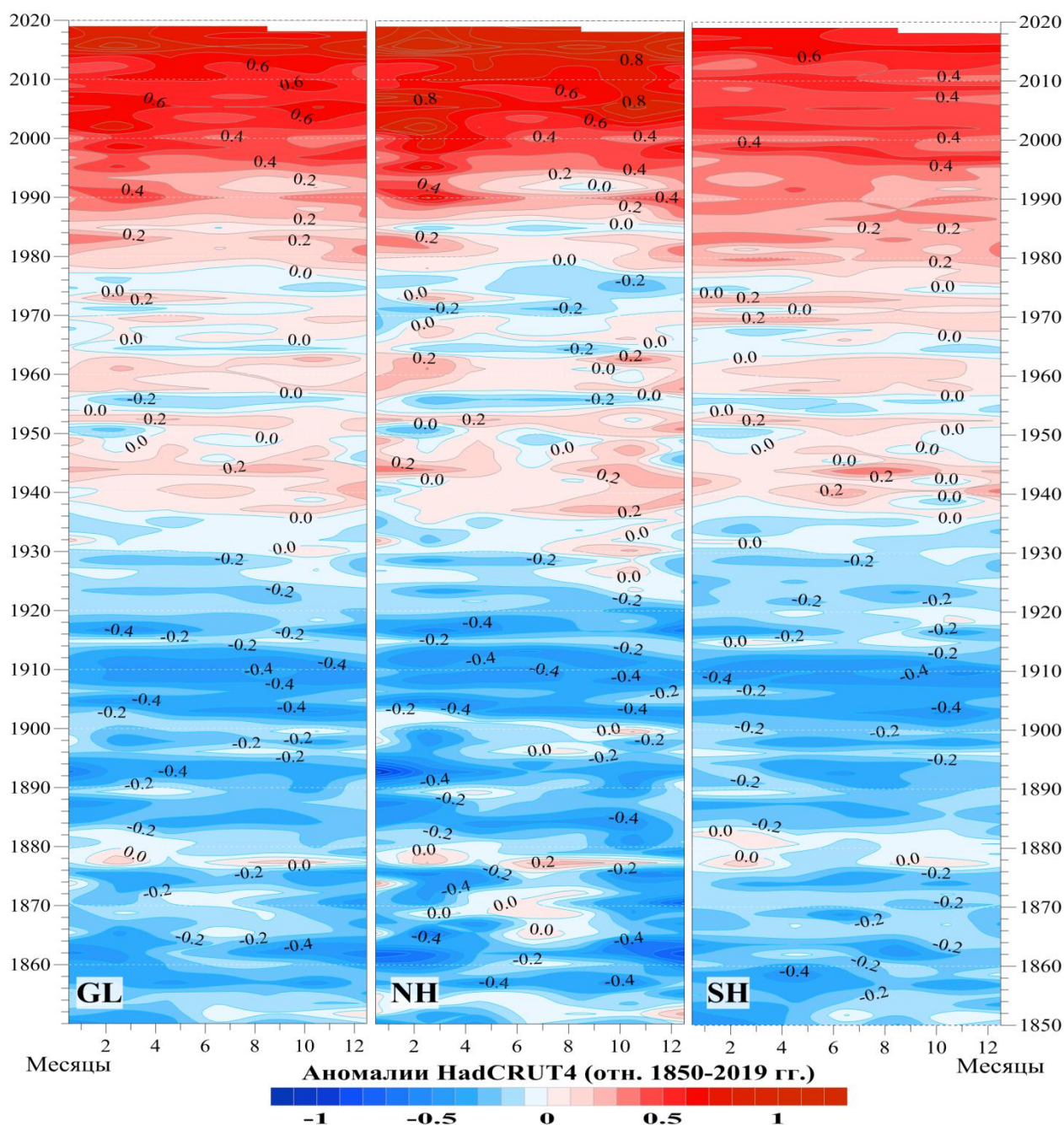


Рисунок 3.1 – Изменение аномалий средней месячной приповерхностной температуры, осредненной по территории Земного шара (GL), Северного (NH) и Южного (SH) полушарий в течение периода с января 1850 по август 2019 гг. (по данным HadCRUT4, Hadley/CRU, UK) в зависимости от месяца (по горизонтали) и года (по вертикали). Аномалии выражены в отклонениях от средней за 1850-2019 гг.

На рис. 3.1 хорошо прослеживаются основные климатические особенности представленного периода: похолодание в начале 20-го столетия, арктическое потепление 1940-х и современное глобальное потепление, ставшее особенно активным с середины 1990-х. Наиболее ярко оно проявляется в Северном полушарии и заметно усилилось в последние годы – примерно с середины 2014 г. (в обоих полушариях).

Широтно-долготные разрезы. На рисунке 3.2 можно проследить зональные и меридиональные особенности изменения температурного режима последних лет (2013-2019 гг.) от месяца к месяцу. Меридиональный разрез (рис. 3.2а) характеризует узкий пояс умеренных широт Северного полушария (40-60°с.ш.), начиная от восточного сектора Тихого океана у берегов Северной Америки, далее – территория США, затем – Северная Атлантика, Евразия и западный сектор Тихого океана. В основном, представленный период отличается холодными аномалиями в Атлантике и теплыми – в Тихом океане (за исключением периода с середины 2016 до конца 2017 гг.). В этом сезоне в обоих океанах располагались области тепла, а очагов с отрицательными аномалиями, и на акваториях океанов, и на континентах Северного полушария было существенно меньше, чем в предыдущие годы (рис. 3.2а).

Арктическая аномалия тепла в этом сезоне заметно ослабла (рис. 3.2б), но на всех широтах Земного шара зонально осредненные аномалии положительны; при этом интенсивные положительные аномалии заметны в тропическом поясе Северного полушария, а в Южном полушарии вновь образовалась область практически нулевых значений (температура на уровне климатической нормы).

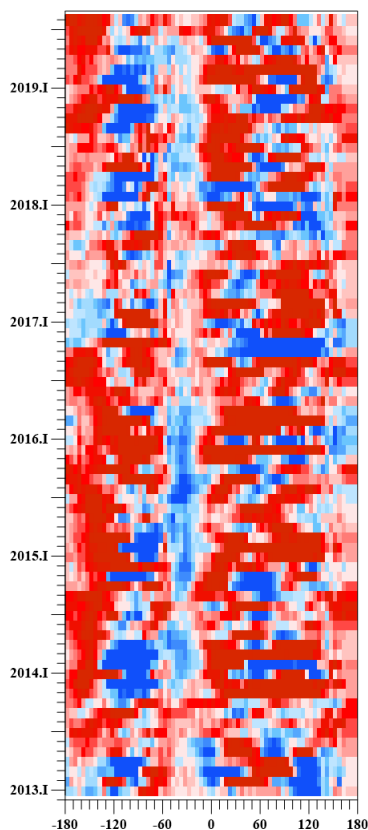
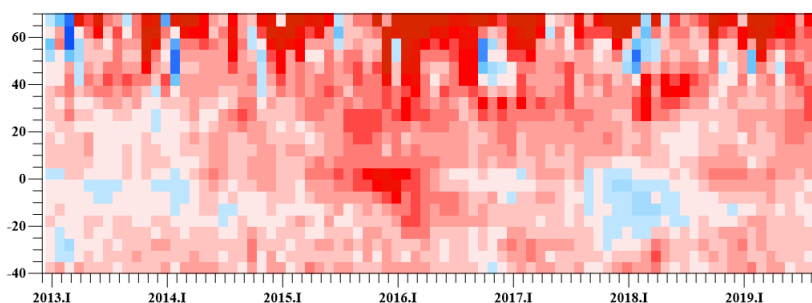


Рисунок 3.2 – Изменение во времени меридиональных (слева) и зональных (внизу) профилей аномалии приповерхностной температуры с января 2013 г. по август 2019 г.

Расчет выполнен по сеточным данным HadCRUT4 (данные Hadley/CRU, суша+море), приведенным к базовому периоду 1981-2010 гг. Зональные профили получены осреднением вдоль всего широтного круга, а меридиональные – внутри широтного пояса 40-60°с.ш.



Временные ряды глобально осредненной температуры. Интегральную характеристику наблюдаемых крупномасштабных изменений приземной температуры дают глобально осредненные временные ряды для территории Земного шара и обоих полушарий, приведенные на рис. 3.3.

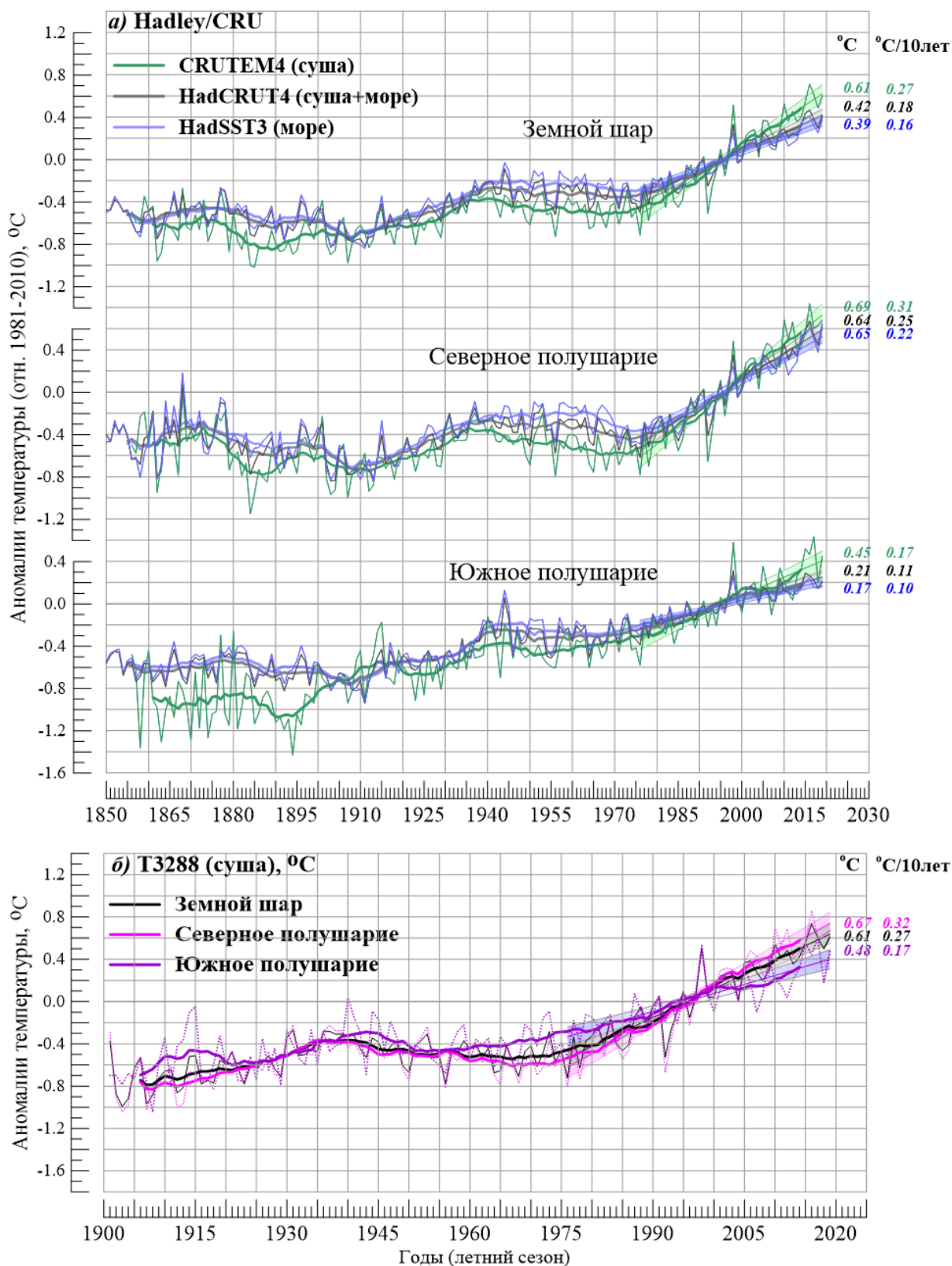


Рисунок 3.3 – Временные ряды сезонных аномалий приземной температуры (лето), осредненных по территории Земного шара, Северного и Южного полушарий: а) по данным Hadley/CRU, 1850-2019 гг.: HadCRUT4 (суша+море), CRUTEM4 (суша), HadSST3 (море); б) по данным ИГКЭ, 1901-2019 гг.: T3288 (суша).

Для всех рядов показан ход 11-летних скользящих средних и линейный тренд за 1976-2019 гг. с 95% доверительным интервалом. Справа приведены числовые значения сезонных аномалий в 2019 г. и значения коэффициентов линейного тренда за 1976-2019 гг. (°C/10лет, лето).

Коэффициенты линейного тренда приведены в таблице 3.1 для всех рядов (по всем наборам данных, для Земного шара и обоих полушарий) за 1976-2019 гг. (период современного глобального потепления) и 1920-2019 гг. (последнее 100-летие).

Таблица 3.1 – Коэффициенты линейного тренда ($^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$)
глобальных временных рядов приземной температуры
за 1976-2019 гг. и 1920-2019 гг., в среднем за летний сезон и по месяцам

Регион	1976-2019				1920-2019			
	Лето	Июнь	Июль	Август	Лето	Июнь	Июль	Август
HadCRUT4 (суша+море)								
Земной шар	0.182	0.180	0.178	0.188	0.079	0.080	0.078	0.078
Северное полушарие	0.252	0.245	0.248	0.263	0.085	0.090	0.082	0.082
Южное полушарие	0.112	0.114	0.108	0.112	0.073	0.070	0.073	0.075
T3288-ИГКЭ (суша)								
Земной шар	0.272	0.279	0.266	0.270	0.104	0.115	0.097	0.099
Северное полушарие	0.316	0.322	0.308	0.318	0.110	0.126	0.101	0.101
Южное полушарие	0.170	0.178	0.168	0.160	0.089	0.084	0.088	0.094
CRUTEM4 (суша)								
Земной шар	0.266	0.271	0.261	0.265	0.103	0.112	0.099	0.099
Северное полушарие	0.312	0.318	0.303	0.314	0.105	0.120	0.099	0.096
Южное полушарие	0.174	0.178	0.177	0.167	0.099	0.094	0.099	0.104
HadSST3 (море)								
Земной шар	0.155	0.145	0.154	0.167	0.069	0.067	0.069	0.071
Северное полушарие	0.220	0.198	0.223	0.240	0.074	0.071	0.075	0.076
Южное полушарие	0.095	0.096	0.090	0.100	0.067	0.065	0.067	0.068

Примечание. Все оценки в таблице статистически значимы на 1%-м уровне.

Таблица 3.2 – Сравнение скорости глобального потепления (у поверхности)
в разных факторных подгруппах, в среднем за летний сезон 2019 года

	Показатель	1976-2019			1920-2019		
		ЗШ	СП	ЮП	ЗШ	СП	ЮП
k_1	b_{T3288}/b_{HadSST}	1.75	1.44	1.79	1.51	1.49	1.33
	b_{CRUTEM}/b_{HadSST}	1.72	1.42	1.83	1.49	1.42	1.48
k_2	$b_{СП}/b_{ЮП}$	1976-2019			1920-2019		
		T3288	CRUTEM	HadSST	T3288	CRUTEM	HadSST
		1.86	1.79	2.32	1.24	1.06	1.10
k_3	$b_{1976-2019}/b_{1920-2019}$	СП			ЮП		
		T3288	CRUTEM	HadSST	T3288	CRUTEM	HadSST
		2.87	2.97	2.97	1.91	1.76	1.42

Для сравнения интенсивности (средней скорости) потепления в разных факторных подгруппах⁷, в табл. 3.2 приведены показатели k_1 - k_3 , рассчитанные как отношение соответствующих коэффициентов тренда (см. первый столбец табл. 3.2). Показатели k_1 - k_3 количественно уточняют выводы, основанные на визуальном сопоставлении глобальных временных рядов (рис. 3.3) и оценок трендов (табл. 3.1) в разных группах данных. Из этих оценок видно, что:

- потепление летних сезонов (и современное, и в целом за 100 лет) над сушей протекает быстрее, чем над океанами ($k_1=1.3$ - 1.8 , больше 1), причем этот контраст в последние 40-50 лет в Южном полушарии существенно усилился, тогда как в Северном полушарии остался на том же уровне;
- в Северном полушарии средняя скорость потепления летних сезонов выше, чем в Южном ($k_2=1.1$ - 2.3); сложился этот контраст в последние 40-50 лет, и максимален над океанами, тогда как на 100-летнем периоде практически отсутствует.
- современное потепление летних сезонов ускорилось по сравнению со 100-летним в $k_3=2.9$ - 3.0 раз в Северном полушарии и только в $k_3=1.4$ - 1.9 раза – в Южном. При этом в Северном полушарии ускорение происходит равномерно на всей территории (на суше и на поверхности океанов), а в Южном – этот процесс над сушей несколько интенсивнее.

⁷ Под факторами здесь понимаются величины, определяющие разбиение всей совокупности данных на сравниваемые выборки: суша/море, полушария (СП/ЮП), период оценивания (современный/столетие).

4. ВРЕМЕННЫЕ РЯДЫ РЕГИОНАЛЬНО ОСРЕДНЕННЫХ АНОМАЛИЙ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ, 1911-2019 гг. (летний сезон)

Представленные ниже 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 шести континентов и для Европы и Азии отдельно). Данные до 1911 г. не приводятся, т.к. представляются недостаточно полными и надежными (особенно над океанами). На всех временных рядах показаны тренды за период 1976-2019 гг., условно принятый за период современного глобального потепления. Числовые оценки трендов для всех регионов приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1. – Коэффициенты линейного тренда ($^{\circ}\text{C}/10 \text{ лет}$) регионально осредненных аномалий приземной температуры летнего сезона за 1976-2019 гг. (в целом за сезон и по месяцам)

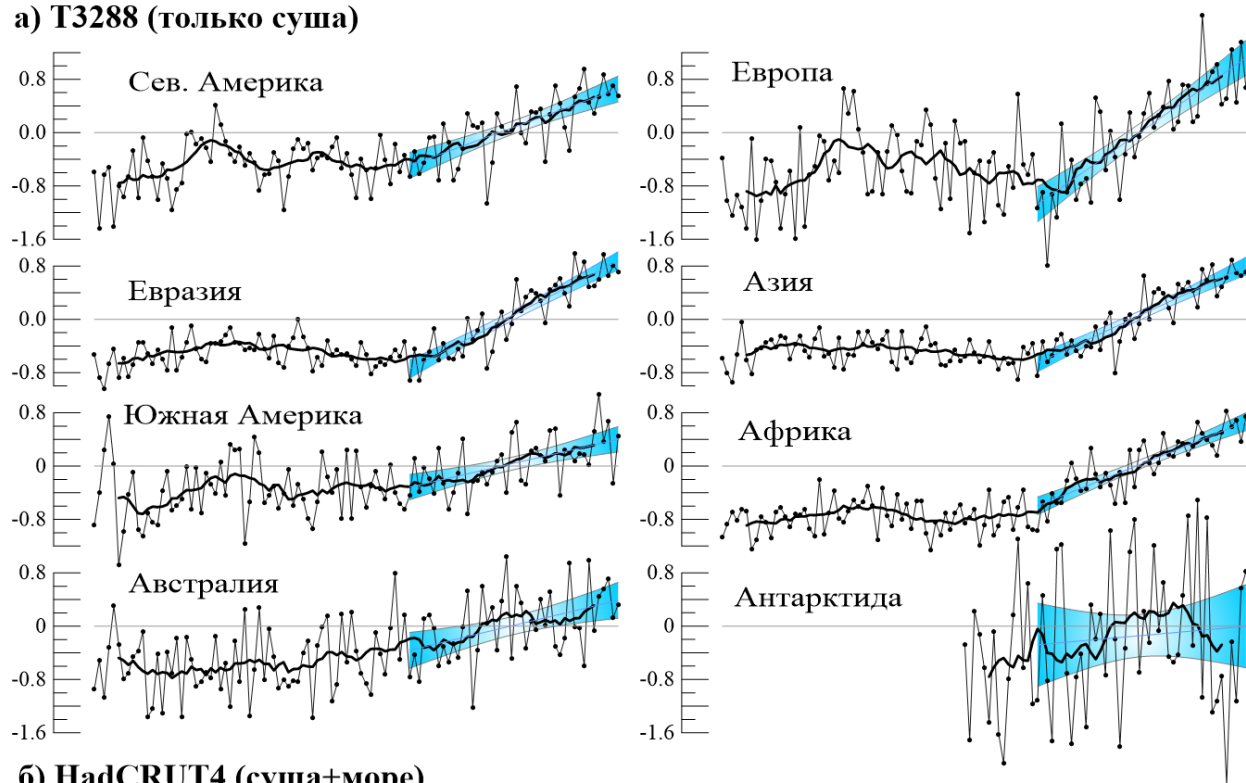
Регион	Лето	Июнь	Июль	Август
HadCRUT4 (суша+море)				
Атлантика (15-70N)	0.204	0.179	0.193	0.238
Тихий океан (20-65N)	0.234	0.203	0.246	0.252
Арктический пояс (65-90N)	0.425	0.486	0.382	0.428
Умеренный пояс СП (25-65N)	0.308	0.289	0.305	0.330
Тропики (25S-25N)	0.147	0.153	0.143	0.147
Умеренный пояс ЮП (65-25S)	0.115	0.119	0.112	0.109
Антарктический пояс (90-65S)	0.118	-0.003	0.061	0.304
T3288 (суша)				
Северная Америка	0.266	0.282	0.260	0.257
Евразия	0.378	0.392	0.349	0.393
Европа	0.511	0.411	0.520	0.591
Азия	0.338	0.381	0.301	0.334
Южная Америка	0.167	0.212	0.109	0.174
Африка	0.293	0.322	0.312	0.245
Австралия	0.175	0.140	0.293	0.086
Антарктида	0.065	-0.205	0.104	**0.319

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

Судя по оценкам трендов температуры в крупных регионах мира (табл. 4.1) в 1976-2019 гг., тенденция к потеплению летних сезонов отмечается во всех регионах Земного шара (в среднем по территории региона) – в широтных поясах (по данным HADCRUT4, суша+море) и на территории континентов (по данным T3288, суша). Регионы наиболее интенсивного потепления – Арктический пояс (+0.43 $^{\circ}\text{C}/10 \text{ лет}$) и Европа (+0.51 $^{\circ}\text{C}/10 \text{ лет}$). В Антарктическом поясе и Антарктиде, напротив, тенденция к потеплению летнего периода (зима Южного полушария) прослеживается очень слабо или не прослеживается вовсе (тренд отрицательный) - здесь вероятность ложного тренда выше 10%, а в отдельные месяцы – выше 50% (в Антарктике в июне - 99.9%, в июле - 89.9%). В Австралии в июне и августе тренд также статистически незначим на 10%-м уровне.

Более детально проследить особенности многолетнего хода приземной температуры в каждом регионе можно по временным рядам на рис. 4.1-4.3 и по соответствующим оценкам современных тенденций в их изменении в табл. 4.1.

а) T3288 (только суша)



б) HadCRUT4 (суша+море)

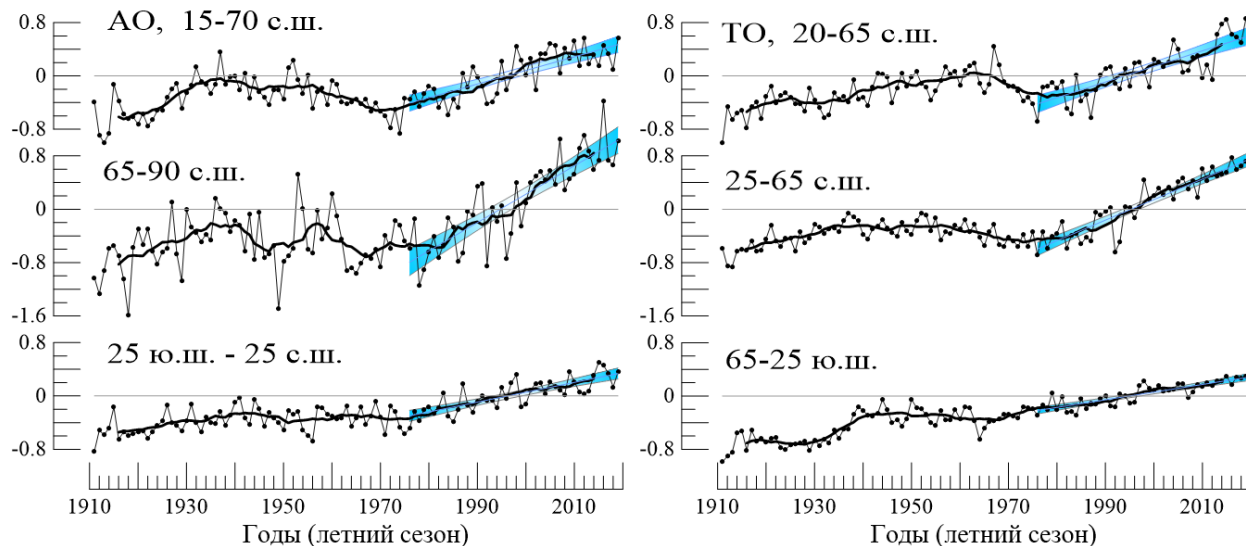


Рисунок 4.1 – Временные ряды пространственно осредненных аномалий приземной температуры летнего сезона для континентов (а), северных частей Атлантического и Тихого океанов (б,верху) и основных широтных поясов земного шара (б,внизу).

Расчеты выполнены по методике ИГКЭ: для континентов - по данным ИГКЭ (массив T3288), для океанов и широтных поясов – по данным Hadley/CRU (массив HadCRUT4). Аномалии приведены в отклонениях от средних за 1981–2010 гг. Сглаженные кривые (жирная линия) получены 11-летним скользящим осреднением. Показан линейный тренд за 1976–2019 гг. с 95%-м достоверным интервалом (голубая заливка).

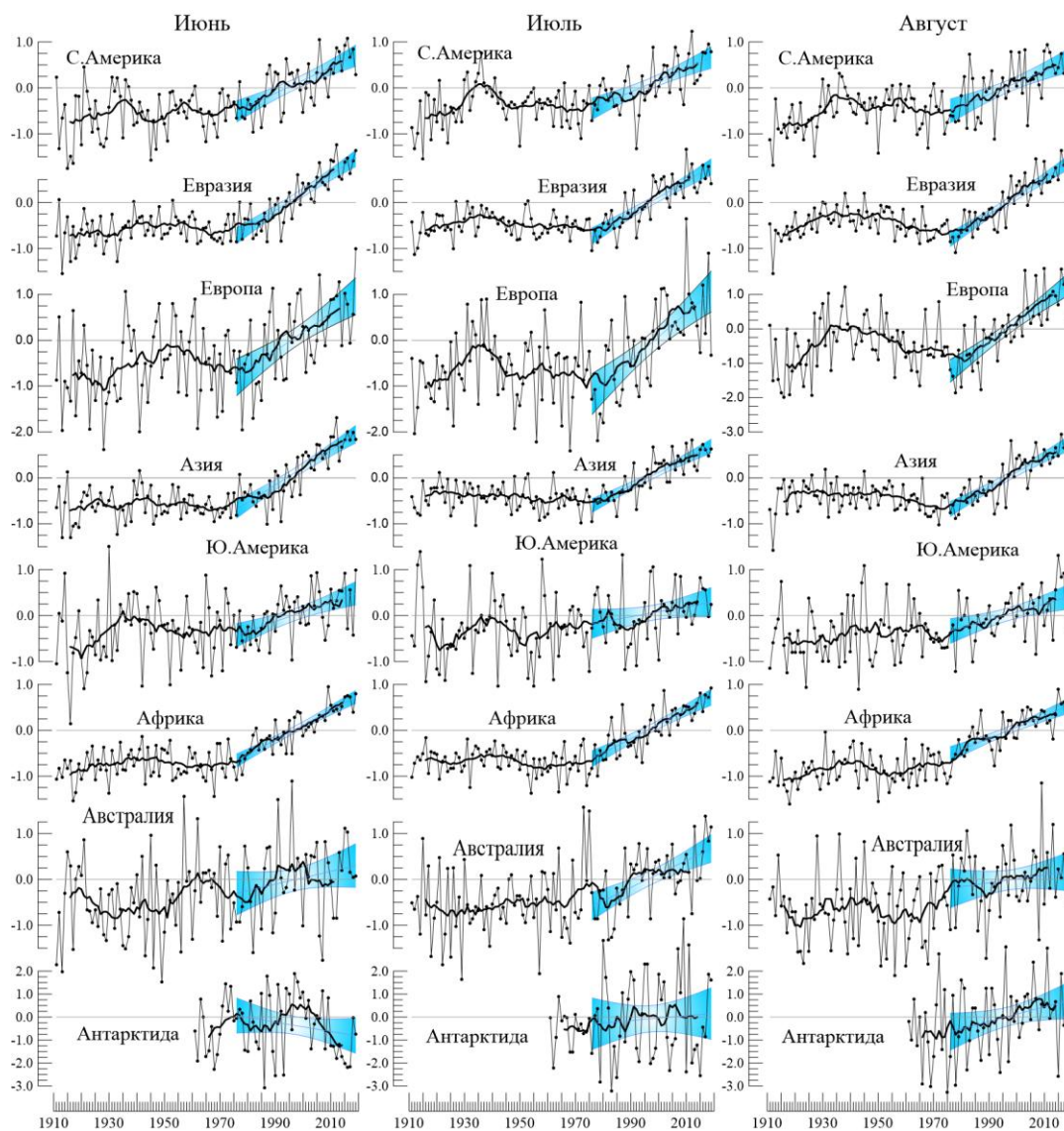


Рисунок 4.2 – См. рис. 4.1. но для аномалий летних месяцев и только для континентов. Расчеты выполнены по методике и данным ИГКЭ (массив T3288).

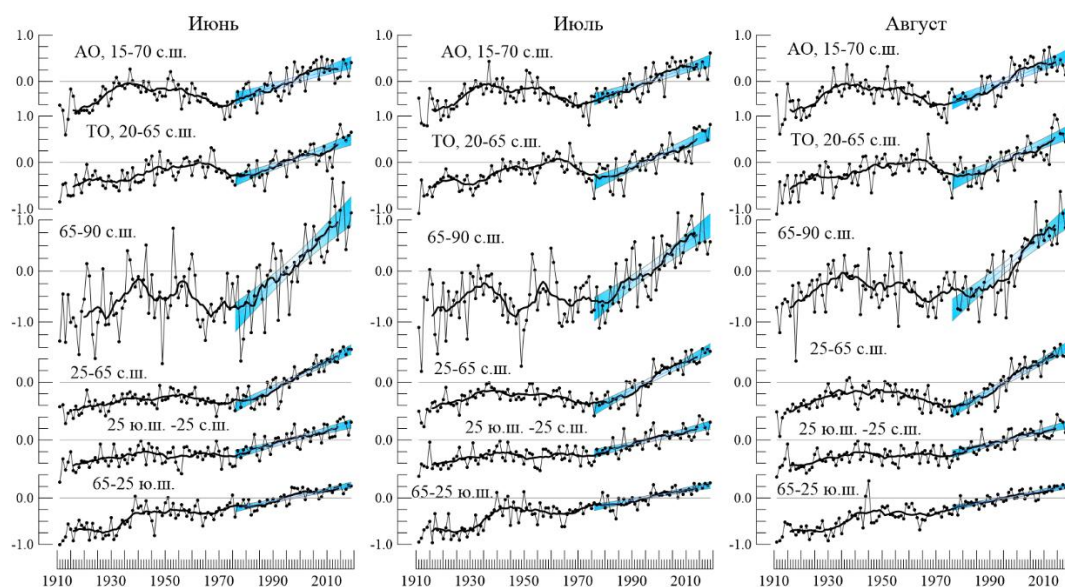


Рисунок 4.3 – См. рис. 4.2., но для океанов и широтных поясов земного шара. Расчеты выполнены по методике ИГКЭ (массив HadCRUT4, суша+море).

5. ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА, 1976-2019 гг. (летний сезон)

Ниже приведено географическое распределение коэффициентов линейного тренда аномалий приповерхностной температуры за 1976-2019 гг. для летнего сезона (рис. 5.1) и отдельно для каждого из месяцев (рис. 5.2). Использованы данные наблюдений на 1766 станциях (массив T3288) и в центрах 1617 боксов (массив HadCRUT4), для которых своевременно поступили данные за лето 2019 года. В таблице приведено их количественное распределение в зависимости от географического региона, направленности тренда и уровня значимости. В таблице указано реальное число станций/боксов, учтенных в расчетах в каждой конкретной выборке, и их доля в общем объеме соответствующих данных.

Таблица 5.1 – Распределение локальных оценок тренда за 1976-2019 (летний сезон)
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		
				$\alpha \leq 1$	$\alpha \leq 5$	$\alpha \leq 10$		$\alpha \leq 1$	$\alpha \leq 5$	$\alpha \leq 10$
HadCRUT4	ЗШ	1617	92	4	18	19	1525	928	1137	1211
			5.7%	0.2%	1.1%	1.2%	94.3%	57.4%	70.3%	74.9%
	СП	964	8	0	0	0	956	682	809	846
			0.8%	0.0%	0.0%	0.0%	99.2%	70.7%	83.9%	87.8%
	ЮП	653	84	4	18	19	569	246	328	365
			12.9%	0.6%	2.8%	2.9%	87.1%	37.7%	50.2%	55.9%
T3288	ЗШ	1766	96	6	12	15	1670	1047	1237	1324
			5.4%	0.3%	0.7%	0.8%	94.6%	59.3%	70.0%	75.0%
	СП	1451	52	5	7	7	1399	936	1088	1157
			3.6%	0.3%	0.5%	0.5%	96.4%	64.5%	75.0%	79.7%
	ЮП	316	44	1	5	8	272	112	150	168
			13.9%	0.3%	1.6%	2.5%	86.1%	35.4%	47.5%	53.2%

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

На большей части Земного шара продолжается потепление летних сезонов – около 95% станций/боксов показывают положительные тренды (табл. 5.1). Тенденция к похолоданию обнаружена лишь на 96 из 1766 станций (92 боксах из 1617), но статистически значимых на 5%-уровне среди них только 12 (боксов – 18). Доля оценок с тенденцией к похолоданию в Южном полушарии заметно выше, чем в Северном: 14% против 4% для станций и 13% против 0.8% для боксов, причем статистически значимых среди них (хотя бы на 10%-м уровне) менее 3% и практически все расположены в Южном полушарии (подробнее см. табл. 5.1).

Наиболее интенсивное потепление летних сезонов наблюдается в Европе (до 0.9°C/10 лет) и прилегающих районах Ближнего Востока и Средней Азии (рис. 5.1), а также в Монголии (до 0.8°C/10 лет) и на Антарктическом полуострове (до 1.1°C/10 лет). Небольшие области со слабой тенденцией к похолоданию наблюдаются в Южном полушарии (Восточная Антарктида, Южный и Тихий океаны у побережья Южной Америки). Значительные области околонулевых трендов находятся в центре Евразии и Северной Америки.

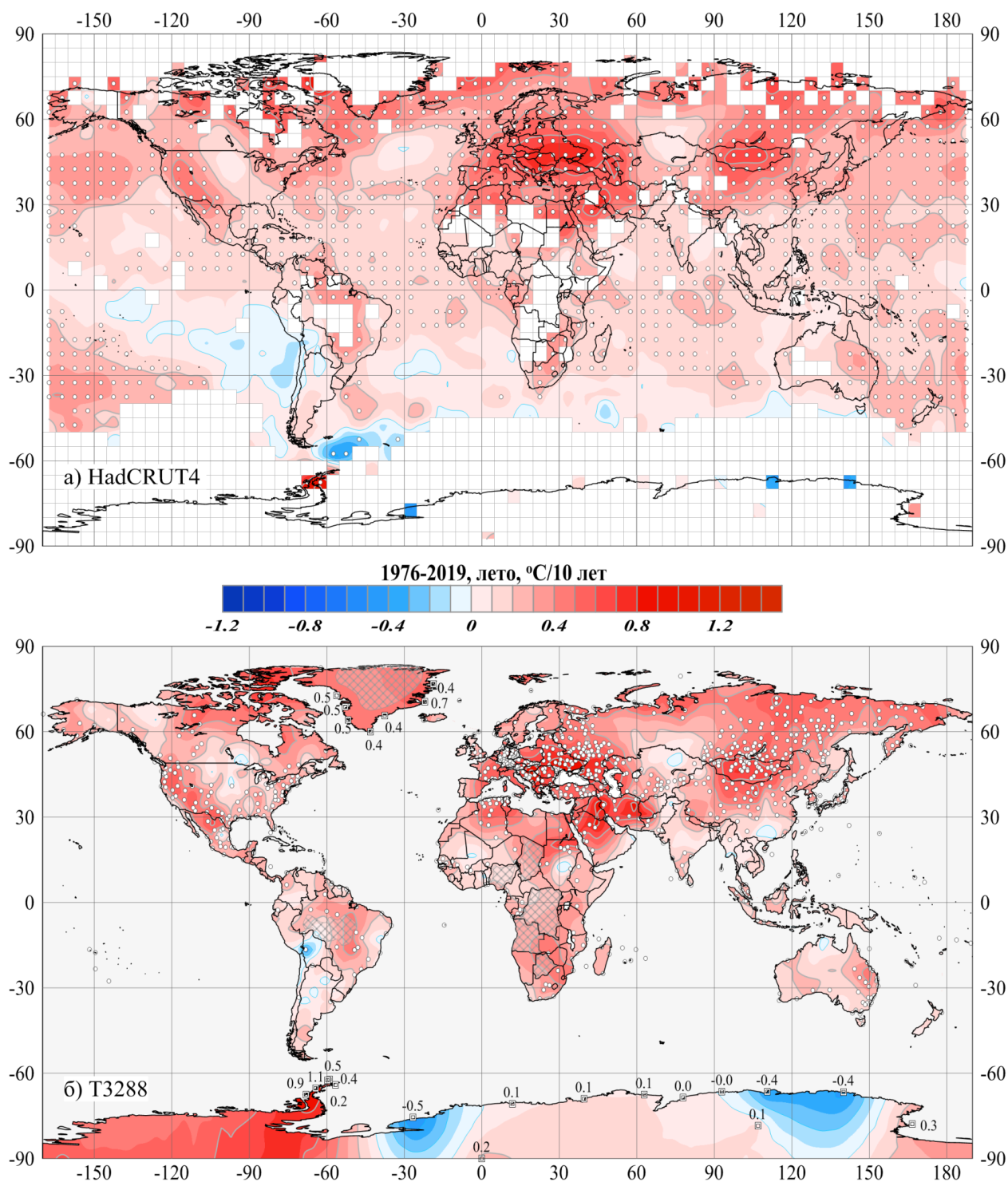


Рисунок 5.1 - Пространственное распределение коэффициентов линейного тренда температуры летнего сезона у поверхности Земного шара за период 1976-2019 гг. ($^{\circ}\text{C}/10$ лет).

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

При рассмотрении коэффициентов тренда для отдельных месяцев сезона области похолодания проявляются более отчетливо (рис. 5.2). Так, в июне-июле в Восточной Антарктиде наблюдаются обширные области с отрицательными трендами (до $-0.4^{\circ}\text{C}/10$ лет). Область похолодания в Евразии в июне-июле расположена на юге Западной Сибири

и в Казахстане (до $-0.3^{\circ}\text{C}/10$ лет), а в августе наблюдается только в Центральной Сибири. Аналогичная область слабых отрицательных трендов в течение всего сезона наблюдается и в центральной части Северной Америки (на границе США и Канады). В июле тенденция к похолоданию обнаруживается также на значительной части Южной Америки (в Аргентине до $-0.5^{\circ}\text{C}/10$ лет), а в августе – на севере Австралии (до $-0.4^{\circ}\text{C}/10$ лет) и в Африке (до $-0.3^{\circ}\text{C}/10$ лет - статистически значима на 1%-уровне).

Области наиболее интенсивного потепления на протяжении всего сезона располагаются в Европе, на ближнем Востоке и на севере Канады. В июне интенсивное потепление отмечается на территории Сибири и Монголии (до $0.9^{\circ}\text{C}/10$ лет).

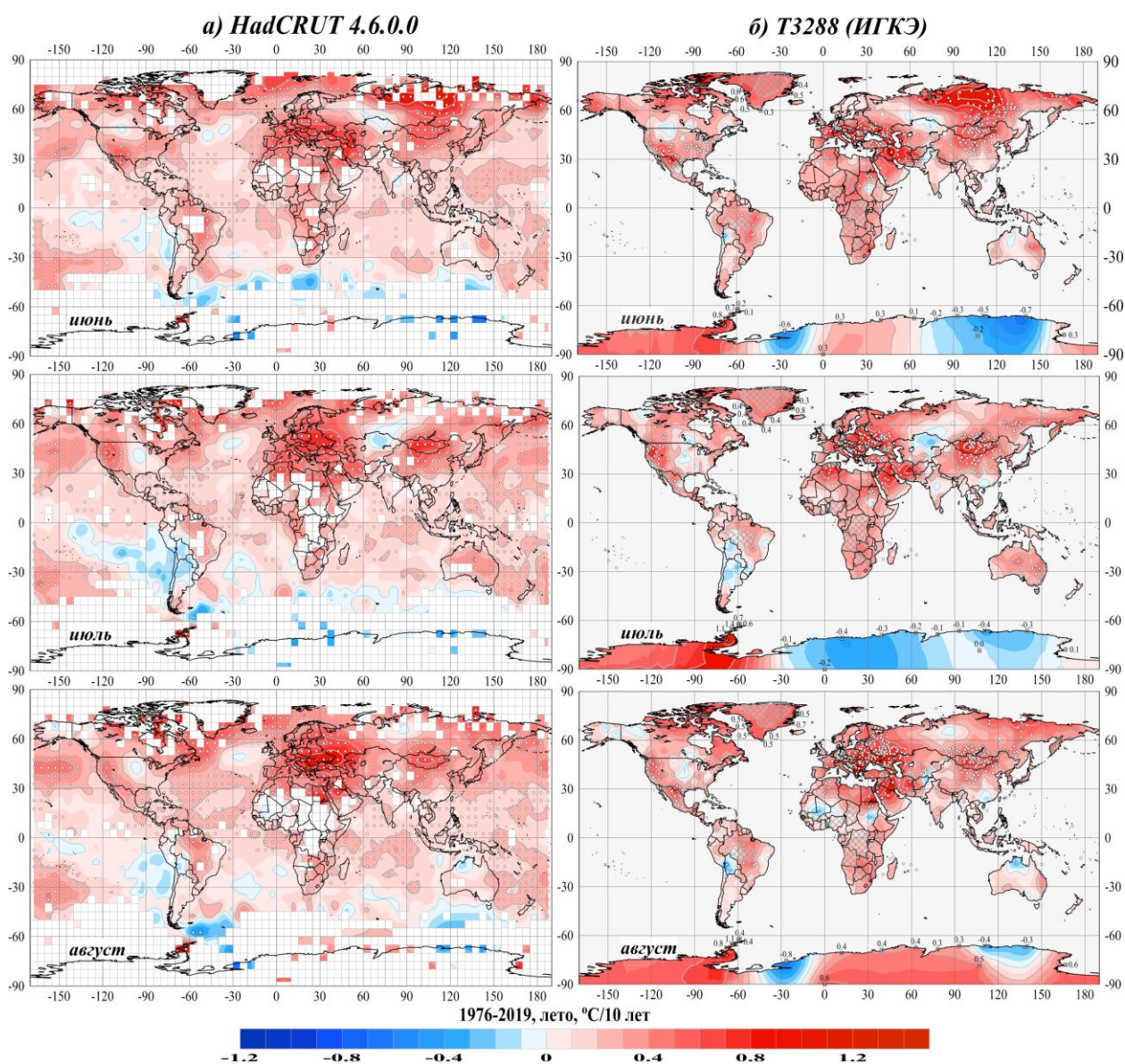


Рисунок 5.2 – См. рис. 5.1., но для коэффициентов тренда среднемесячных аномалий температуры летних месяцев.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. После двукратного снижения глобальной температуры в 2017-2018 гг., в 2019 г. , в среднем за летний сезон, она увеличилась по сравнению с 2018 г. (по данным T3288): на 0.1°C – *на суше* Земного шара, на 0.04°C – в Северном полушарии (по данным CRUTEM4 – на 0.07°C), на 0.3°C – в Южном.

2. Летний сезон 2019 занимает 3-е место в ряду наблюдений в целом по Земному шару, второе место в Северном полушарии (за счет рекордно теплых океанов) и лишь шестое – в Южном (HadCRUT4, суша+море). Без учета океанов, летний сезон оказался в Северном полушарии на 3-4-м месте, в Южном – на 4-5, а в целом по Земному шару – на втором месте (T3288 и CRUTEM4, только суша).

3. Положительные аномалии, в целом по Земному шару и в среднем за летний сезон, составили более 70% всех данных (станций/боксов), в том числе 6% - локальные абсолютные максимумы и еще 21% достигли уровня 95-го перцентиля (5%-е экстремумы тепла). Тихий океан (в широтном поясе $20-65^{\circ}\text{с.ш.}$), оказался в этом сезоне рекордно теплым; а в Северной Атлантике, умеренном поясе Северного и Южного полушарий и в Африке сезон стал вторым самым теплым за период наблюдений. В Евразии и Северной Америке доля 5%-х экстремумов тепла составила, соответственно, 27 и 23%, в Европе 35.3%, а в Африке 38.6%.

4. Географическое распределение аномалий в течение сезона характеризуется относительной устойчивостью во всех регионах, кроме Евразии. Положительные аномалии преобладали во все месяцы в Мексике и на юге США, в Африке, в Северной Атлантике и северной части Тихого океана. В Евразии наблюдались обширные области тепла и холода, локализация и интенсивность которых менялись от месяца к месяцу. Наиболее интенсивная из них – область тепла, охватившая в июне всю территорию Европы с многочисленными локальными экстремумами (рекордно теплый сезон в среднем по региону).

5. На большей части Земного шара продолжается потепление летних сезонов – около 95% станций/боксов показывают положительные тренды. Регионы наиболее интенсивного потепления – Арктический пояс ($+0.43^{\circ}\text{C}/10$ лет) и Европа ($+0.51^{\circ}\text{C}/10$ лет). Небольшие области со слабой тенденцией к похолоданию наблюдаются в Южном полушарии (Восточная Антарктида, Южный и Тихий океаны у побережья Южной Америки). Значительные области околонулевых трендов (статистически не значимых) находятся в центре Евразии и в Северной Америке.

6. Современное потепление летних сезонов над сушей протекает быстрее, чем над океанами примерно в 1.4 раза в Северном полушарии и в 1.8 раз в Южном, тогда как в целом за 100 лет такого различия в скорости потепления между полушариями и между континентами-океанами не было.

Соответственно, современное потепление летних сезонов, в сравнении со 100-летним, ускорилось в Северном полушарии почти втрое (и над сушей, и на поверхности океанов), а в Южном – в полтора-два раза (интенсивнее над сушей).