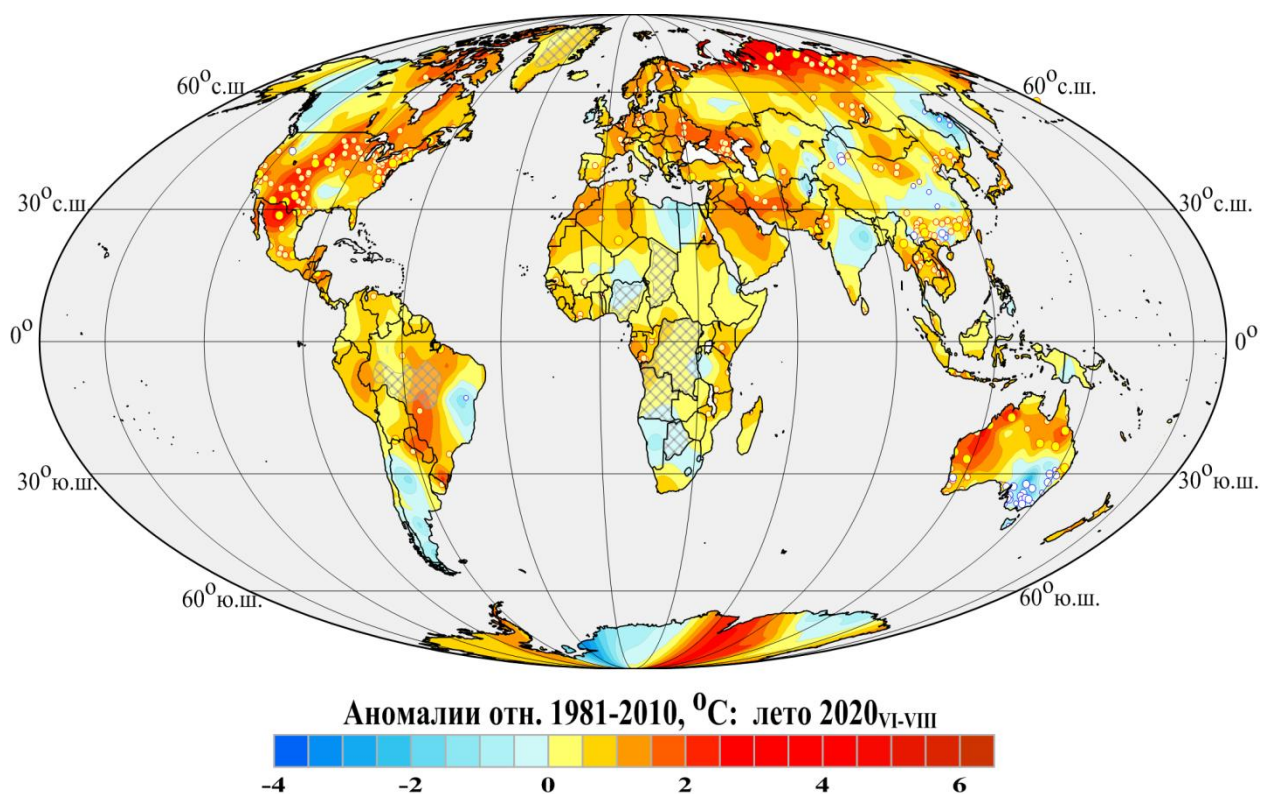


Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу
окружающей среды

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

Бюллетень мониторинга изменений климата Земного шара



Приземная температура

Лето 2020

Москва 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ^{1,2}

1. ВВЕДЕНИЕ	2
2. ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ У ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМНОГО ШАРА ЛЕТОМ 2020 года. ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ АНОМАЛИИ	6
3. КРУПНОМАСШТАБНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ЗЕМНОГО ШАРА ЗА ПЕРИОД ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ 1850-2020 гг. (летний сезон)	12
4. ВРЕМЕННЫЕ РЯДЫ РЕГИОНАЛЬНО ОСРЕДНЕННЫХ АНОМАЛИЙ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ, 1911-2020 гг. (летний сезон)	17
5. ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА, 1976-2020 гг. (летний сезон)	20
6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ	23

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 2020 года.

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящем бюллетене представлены данные о климатических аномалиях летнего сезона 2020 года и обновленные (с учетом этих данных) оценки тенденций в изменении температурного режима летних сезонов на территории земного шара в течение 1976–2020 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 видна визуально (рис. 1.1) и подтверждается количественными результатами их сравнения в таблице 1.1, где приведены статистические характеристики попарных разностей этих рядов за летние

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 23.09.2020.

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.

сезоны 1976-2020 гг. (период современного глобального потепления) и 1921-2020 гг. (последнее столетие), для суши Земного шара, Северного и Южного полушарий.

В соответствии с этими оценками, среднее значение различий рядов за 1976-2020 гг. практически равно 0, их стандартное отклонение более чем на порядок ниже стандартного отклонения самих рядов (0.015—0.034 против 0.269-0.444°C), а максимальное различие оценок летней температуры на этом отрезке времени составило 0.093°C для Южного полушария (1982 г.) и -0.037 оС для Северного полушария (1978 г.). Следует, однако, отметить, что в первой половине столетия различия были существеннее; особенно в Южном полушарии (но не более 0.24°C, 1930 г.) При этом во всех случаях ряды характеризуются исключительно высокой корреляцией (не ниже 0.99) и предельно низким различием трендов (до $\pm 0.01^{\circ}\text{C}/10$ лет).

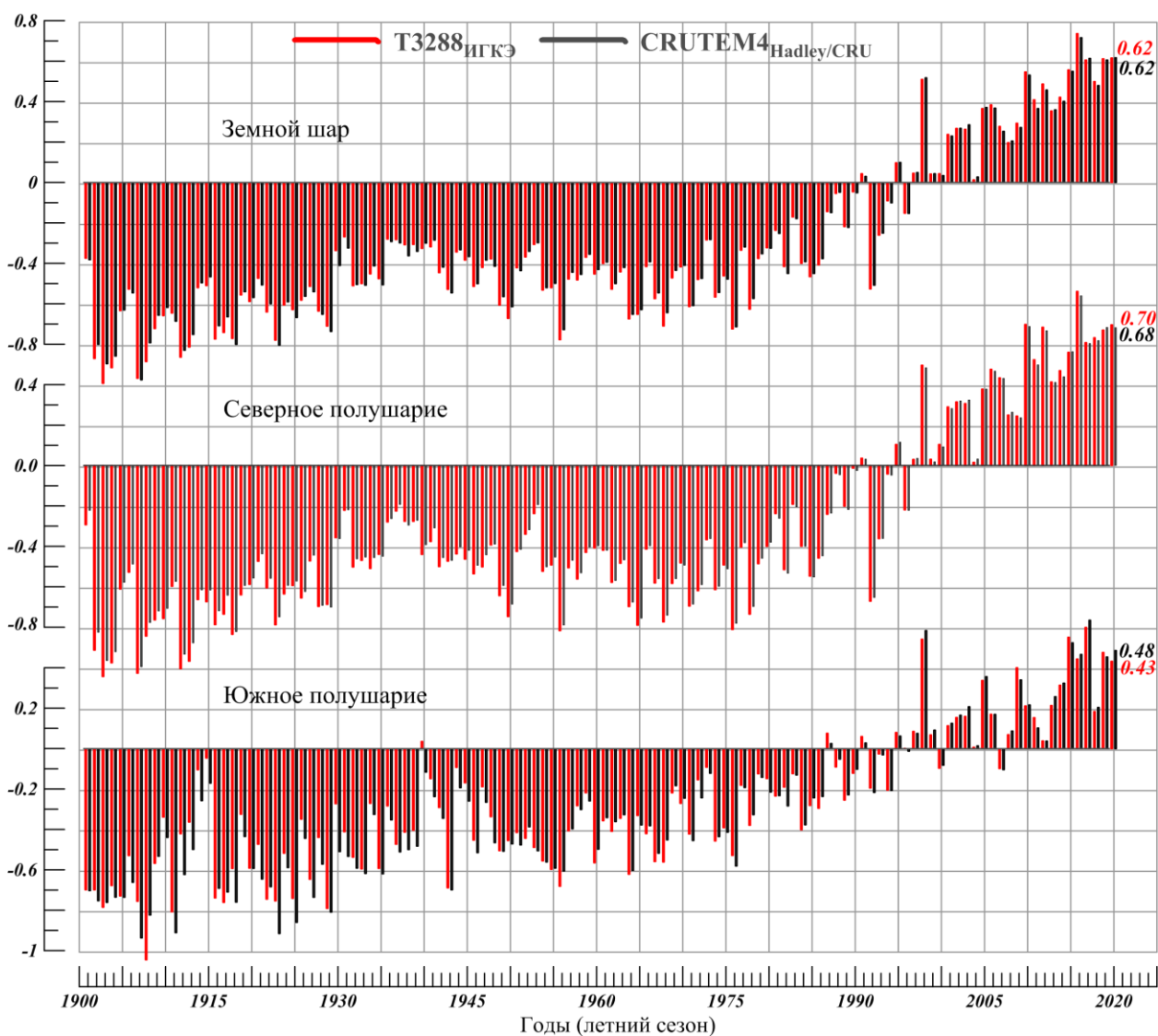


Рисунок 1.1 – Временные ряды пространственно осредненных сезонных аномалий температуры приземного воздуха над сушей Земного шара, Северного и Южного полушарий (1901-2020 гг., лето, °C).

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	1976-2020			1921-2020		
	ЗШ	СП	ЮП	ЗШ	СП	ЮП
Корреляция рядов	0.999	1.000	0.992	0.998	0.999	0.985
Среднее различие, °C	0.001	0.001	-0.002	-0.003	-0.012	0.021
СКО (сигма) различий, °C	0.018	0.015	0.034	0.025	0.022	0.059
Среднее абсолютное различие, °C	0.014	0.013	0.027	0.020	0.020	0.047
Макс. абсолютное различие, °C	0.053	0.037	0.093	0.074	0.067	0.237
Разность коэфф. тренда, °C /10лет	0.006	0.005	-0.005	0.000	0.004	-0.011
СКО Т3288, °C	0.381	0.444	0.269	0.387	0.430	0.323
СКО CRUTEM4, °C	0.372	0.437	0.274	0.379	0.418	0.338

На фоне повышенного интереса к ходу современного глобального потепления, интересно проследить детальнее ход температуры в последние годы, после ярких «взрывных» рекордов 2015-2017 гг. (рис. 1.1).

В Северном полушарии таким был летний рекорд 2016 г., когда скачок сезонной температуры (от 2015 г. к 2016) составил сразу 0.28-0.30°C, но был почти полностью компенсирован (на 0.24-0.25°C) понижением температуры в 2017 г. В результате, в 2017 г. температура практически вернулась к уровню 2015 г. и в последующие годы менялась незначительно (преимущественно повышалась менее, чем на 0.1°C – табл. 1.2).

В южном полушарии колебания температуры в этот период были даже более значительными. Два заметных повышения температуры в 2015 и 2017 гг., несмотря на промежуточное понижение температуры, «побили» долго сохранявшийся рекорд 1998 г. (0.60-0.64 вместо 0.54-0.58°C); затем в 2018 г. – необычно резкое падение температуры на более 0.4°C и в 2019 – умеренное повышение (на 0.25-0.30°C).

Таким образом, в настоящее время в Северном полушарии рекордно теплым является лето 2016 г., а в Южном полушарии – лето 2017, и в обоих случаях лето 2020 г. «отстает» от рекордного на 0.16°C (рис. 1.1, табл. 1.2).

Таблица 1.2 – Межгодовые изменения приземной температуры летнего сезона в среднем по территории суши Земного шара и полушарий в течение 2015-2020 гг.

Межгодовые разности	Данные Т3288, °C (ИГКЭ)			Данные CRUTEM4, °C (Hadley/CRU)		
	ЗШ	СП	ЮП	ЗШ	СП	ЮП
2016-2015	0.179	0.301	-108	0.166	0.277	-0.057
2017-2016	-0.130	-0.253	0.157	-0.102	-0.236	0.169
2018-2017	-0.107	0.024	-0.416	-0.134	0.014	-0.431
2019-2018	0.113	0.038	0.292	0.126	0.065	0.249
2020-2019	0.004	0.026	-0.044	0.011	-0.001	0.032
2020-2017	0.010	0.088	-0.168	0.003	0.078	-0.150
2020-2016	-0.120	-0.165	-0.011	-0.099	-0.158	0.019

2. ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ У ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМНОГО ШАРА ЛЕТОМ 2020 ГОДА. ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ АНОМАЛИИ

Летний сезон 2020 года был четвертым в упорядоченном по убыванию ряду глобальной температуры для всей территории Земного шара (HadCRUT4, суша+море), но вторым для территории суши (T3288 и CRUTEM4) и океанов (HadSST3) отдельно. Такая ситуация связана, с одной стороны, с очень близкими значениями температуры рекордно теплых сезонов, полученными по разным наборам данных. С другой стороны, в этом сезоне оценки существенно отличаются между полушариями и видами данных (суша/море). Так, океан (HadSST) этим летом оказался рекордно теплым в Северном полушарии и лишь на двенадцатом месте - в Южном (ранг 12), а континенты (T3288 и CRUTEM4) – на 3-4 месте в Северном полушарии и на 6-4 - в Южном (см. табл. 2.1). На континентах самым теплым летним сезоном по-прежнему остается лето 2016 г.

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	0.668	2020	0.293	2015
3	0.423	2019	0.634	2019	0.267	2016
4	0.419	2020	0.585	2015	0.242	2009
5	0.381	2017	0.537	2017	0.225	2017
6	0.335	1998	0.496	2014	0.213	2019
7	0.327	2014	0.460	2010	0.174	2020
T3288 (ИГКЭ, суша)						
1	0.736	2016	0.861	2016	0.600	2017
2	0.616	2020	0.698	2010	0.551	2015
3	0.612	2019	0.696	2020	0.541	1998
4	0.606	2017	0.684	2012	0.476	2019
5	0.557	2015	0.670	2019	0.443	2016
6	0.547	2010	0.632	2018	0.432	2020
CRUTEM4 (Hadley/CRU, суша)						
1	0.716	2016	0.840	2016	0.635	2017
2	0.617	2020	0.688	2010	0.584	1998
3	0.614	2017	0.683	2019	0.523	2015
4	0.606	2019	0.682	2020	0.485	2020
5	0.550	2015	0.667	2012	0.466	2016
6	0.531	2010	0.618	2018	0.453	2019
HadSST3 (Hadley/CRU, море)						
1	0.411	2016	0.704	2020	0.263	1998
2	0.400	2020	0.647	2019	0.243	2016
3	0.389	2019	0.617	2016	0.215	2015
4	0.388	2015	0.548	2014	0.195	2009
5	0.348	2014	0.543	2015	0.167	2019
6	0.324	2017	0.509	2017	0.157	2017

Примечание. Для океанов Южного полушария сезонная аномалия приповерхностной температуры составила 0.137°C – лишь двенадцатая величина в ряду и в таблице не приведена.

На рисунках 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 в крупных регионах мира.

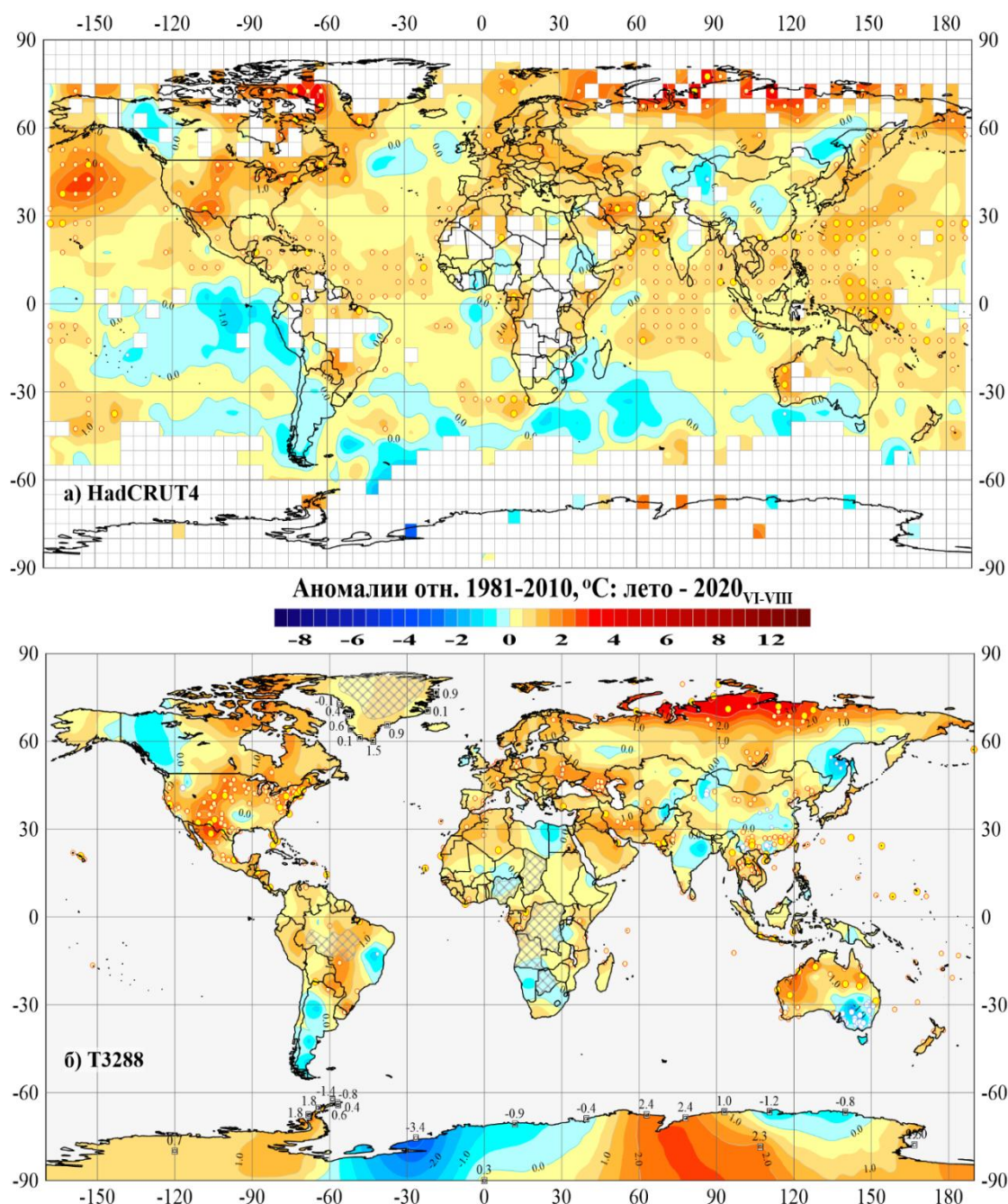


Рисунок 2.1 – Пространственное распределение аномалий приземной температуры на территории Земного шара летнего сезона 2020 г.: а) по сеточным данным HadCRUT4 (Hadley/CRU, UK); б) по станционным данным T3288 (ИГКЭ).

Аномалии рассчитаны как отклонения от средних 1981-2010 гг. Кружками 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 2020 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	0.42	97	0.40	97	0.41	97	0.45	99
Северное полушарие	0.67	99	0.62	97	0.69	100	0.69	99
Южное полушарие	0.17	95	0.18	93	0.13	87	0.20	95
Атлантика (15-70N)	0.48	96	0.33	92	0.45	97	0.65	97
Тихий океан (20-65N)	0.96	100	0.97	100	0.95	100	0.95	98
Арктический пояс (65-90N)	1.53	99	1.67	98	1.18	99	1.67	100
Умеренный пояс СП (25-65N)	0.74	99	0.66	95	0.77	100	0.79	99
Тропики (25S-25N)	0.40	98	0.39	97	0.41	98	0.38	97
Умеренный пояс ЮП (65-25S)	0.10	84	0.16	87	0.02	75	0.13	86
Антарктический пояс (90-65S)	0.53	84	0.09	68	1.08	83	0.80	75
<i>IGCE-T3288 (суша)</i>								
Земной шар	0.62	99	0.68	97	0.55	95	0.59	98
Северное полушарие	0.70	98	0.74	97	0.66	96	0.67	98
Южное полушарие	0.43	95	0.54	99	0.26	89	0.41	95
Северная Америка	0.93	99	0.67	95	1.07	99	1.07	100
Евразия	0.66	95	0.78	93	0.66	96	0.56	91
Европа	0.89	95	1.10	95	0.75	87	0.85	89
Азия	0.58	92	0.65	90	0.60	93	0.50	93
Южная Америка	0.44	92	0.63	93	-0.21	47	0.50	88
Африка	0.45	93	0.64	95	0.39	87	0.17	84
Австралия	0.42	90	0.39	80	0.12	69	0.65	93
Антарктида	0.31	78	-0.76	50	1.93	91	-0.24	51
<i>CRUTEM4 (суша)</i>								
Земной шар	0.62	99	0.71	99	0.53	95	0.61	98
Северное полушарие	0.68	97	0.74	97	0.63	96	0.68	98
Южное полушарие	0.49	97	0.63	100	0.35	92	0.48	95

Условные обозначения.

1. vT , °C – наблюдаемая аномалия летом 2020 года (базовый период 1981-2010 гг.);
2. F% – значение эмпирической функции распределения $F = \text{proba}(X \leq vT_{2020})$ по данным за 1911-2018 гг. (вероятность неперевышения);
3. Красным шрифтом показаны абсолютные максимумы (жирным шрифтом) и аномалии с вероятностью неперевышения 99%.
4. Синим шрифтом выделены отрицательные аномалии.

Сезонные аномалии (региональные особенности). По-видимому, температурный рекорд океанов Северного полушария – основная особенность нынешнего летнего сезона, причем основной вклад принадлежит Тихому и Индийскому океанам и, в меньшей мере, Атлантике (рис. 2.1, табл. 2.2). Следует особо отметить, что северная часть Тихого океана (20-60 с.ш.) остается рекордно теплой уже в течение 5 сезонов, начиная с лета 2019 года. В то же время на суше можно выделить лишь четыре сравнительно небольшие области, где летом 2020 года (в среднем за сезон) фиксировались локальные экстремумы, хотя бы 95%-е (значения выше 95-го процентиля): США и Центральная Америка (наиболее крупная), Центральная Европа, Передняя Азия и Австралия.

В целом на территории Земного шара и обоих полушарий, на территории всех северных континентов и океанов, а также основных широтных поясов (кроме умеренного и полярного в южном полушарии) осредненная по региону и за сезон температура была не ниже 95-го перцентиля (ранги 1-5). Но в южном полушарии, в Антарктиде и Южной Америке, средняя по континенту температура в отдельные месяцы была ниже климатической нормы (табл. 2.2).

Таблица 2.3 – Количество локальных экстремумов на территории Земного шара летом 2020 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 (отн. 1981-2010)			5%-е экстремумы холода/тепла		Абсолютные экстремумы	
		V < 0	V = 0	V > 0	X ≤ P ₀₅	X ≥ P ₉₅	X = min	X = max
HadCRUT4 (суша+море)								
ЗШ	1675	18.5	4.7	76.8	0.2	22.4	-	4.3
СП	970	8.2	3.3	88.5	0.2	29.3	-	5.7
ЮП	705	32.6	6.7	60.7	0.3	12.9	-	2.4
90-65N	106	3.8	0.0	96.2	-	39.6	-	7.5
65-25N	543	9.9	3.9	86.2	0.2	20.1	-	3.7
25S-25N	647	16.8	4.5	78.7	0.3	31.1	-	5.9
25-65S	367	37.6	7.9	54.5	0.3	6.3	-	1.6
65-90S	12	41.7	0.0	58.3	-	-	-	-
T3288 (суша)								
ЗШ	2352	17.2	4.3	78.4	2.1	17.4	1.1	3.6
СП	1932	13.4	4.0	82.6	1.0	17.9	0.3	3.6
ЮП	421	34.7	5.9	59.4	7.4	15.2	5.0	3.6
С. Америка	301	9.3	2.0	88.7	0.7	36.2	0.3	8.6
Евразия	1351	15.0	4.0	81.1	1.3	12.6	0.4	1.7
Ю. Америка	138	31.9	7.2	60.9	0.7	5.8	-	1.4
Африка	139	15.8	6.5	77.7	-	19.4	-	2.9
Австралия	168	47.0	4.8	48.2	17.3	14.9	12.5	6.0
Антарктида	18	33.3	0.0	66.7	-	-	-	-
Европа	477	5.2	2.7	92.0	-	11.3	-	0.2
Азия	882	20.1	4.6	75.3	1.9	13.3	0.6	2.5

Из локальных оценок (рис. 2.1) положительные сезонные аномалии отмечены на 78% всех использованных станционных данных; среди них 13% выше 95-го перцентиля и еще 4% - абсолютные максимумы (суша, 3252 станции, данные ИГКЭ). Соответствующие оценки по сеточным данным равны: 77, 18 и 4% (суша+море, 1675 боксов, данные Hadley/CRU). Небольшие области локальных отрицательных аномалий (в среднем за сезон) наблюдались на всех континентах (более подробно см. рис. 2.1, табл. 2.2, табл. 2.3).

Внутрисезонные особенности географического распределения аномалий. Выше уже были выделены области наиболее интенсивных положительных сезонных аномалий минувшего лета. Среди них океаны северного полушария и экваториального широтного пояса (Тихий, Атлантический и Индийский) прослеживались в течение всех трех летних месяцев (рис. 2.2), хотя локализация аномалий в них несколько менялась от месяца к

месяцу. Акватории Южного океана практически во все месяцы сезона оставались холодными. Ситуация на континентах была менее стабильна.

В *Северной Америке* область тепла в июне занимала территорию США и Центральной Америки, в июле добавилась восточная территория Канады, а в августе – уже почти вся Канада и Аляска.

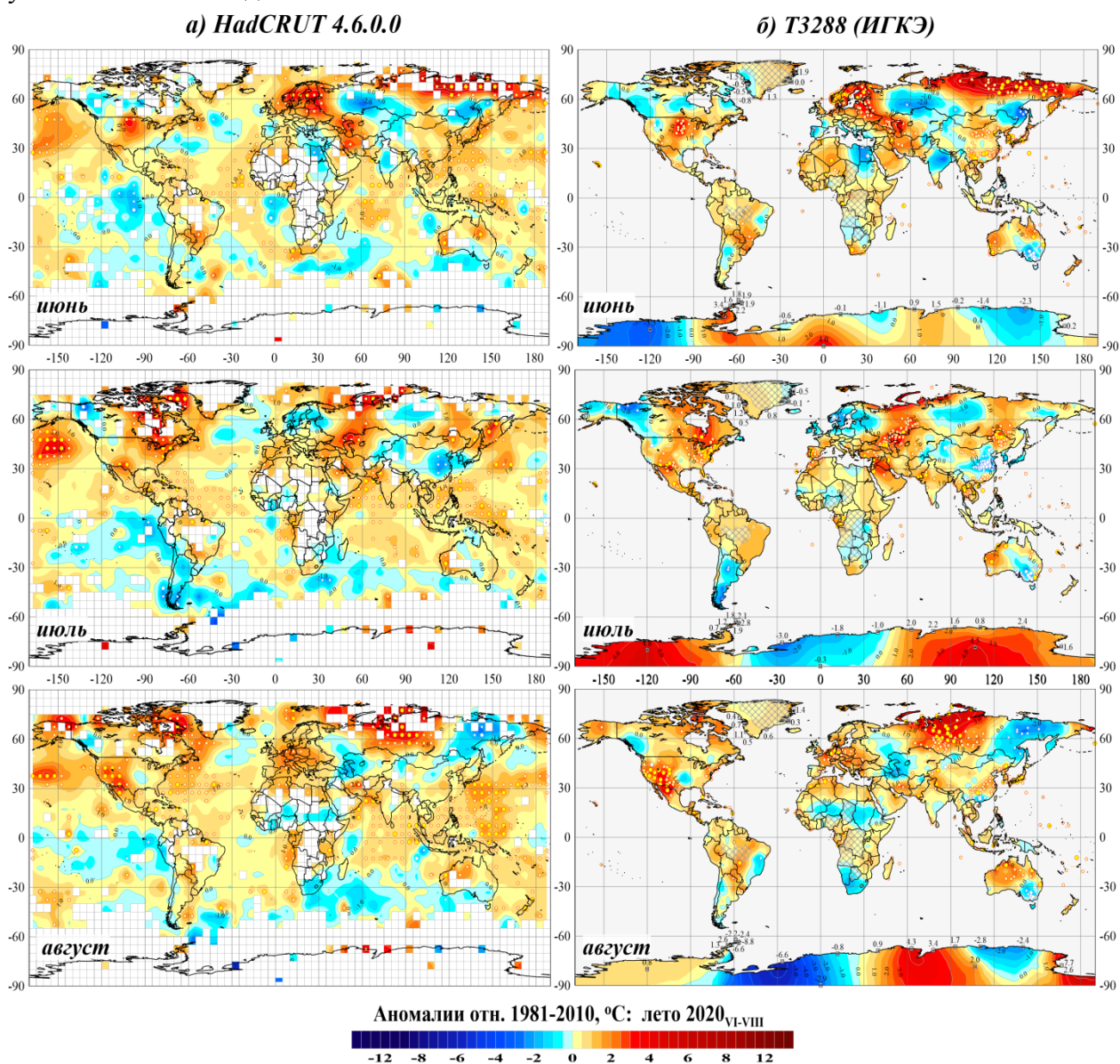


Рисунок 2.2 – Пространственное распределение среднеемсячных аномалий приземной температуры на территории Земного шара летом 2020 г. (июнь-август).
Условные обозначения см. рис.2.1

В *Евразии* в течение всего сезона отмечается чередование аномалий противоположного знака, как во времени (от месяца к месяцу), так и в пространстве, причем области тепла, как правило, более интенсивные и с многочисленными локальными экстремумами. *Одна из них* (на территории Европы) в июне протянулась от Скандинавии до Передней Азии (через ЕЧР), в июле – сместилась из Скандинавии на территорию Урала (по-прежнему дотягиваясь до Передней Азии) и заметно изменила конфигурацию, а в августе – заняла практически всю территорию западной и центральной Европы (вплоть до границ ЕЧР). *Вторая область тепла* (в бореальной Азии) в июне охватила северное побережье России (от Таймыра до Камчатки), в июле заметно ослабла и сократилась по

площади, полностью освободив дальневосточную территорию, а в августе оформилась в обширный очаг тепла с многочисленными экстремумами охвативший всю восточную часть азиатской территории России (Западную и Центральную Сибирь). Наконец, *третья область тепла* (в юго-восточной Азии), заметно более слабая, занимала в июне восточную территорию Китая и Монголии и юго-восточную Азию, а в августе сократилась до узкой полосы вдоль южной границы азиатского континента (до Аравийского п-ва).

Экстремумы тепла наблюдались также на севере и западе Австралии (все три месяца) и в северной части Африки (в июне – в Западной Африке и ЮАР; в июле – в Марокко; в августе – на севере Алжира).

Как отмечено выше (см. также рис. 2.1, 2.2 и табл. 2.3), области локальных отрицательных аномалий отмечаются в этом сезоне практически на всех континентах. Следует дополнительно подчеркнуть те из них, где отрицательные аномалии оказались экстремальными (ниже 5-го процентиля) и даже рекордно низкими (абсолютные минимумы). Это, в первую очередь, Австралия, где по данным 48% станций, температура летнего сезона была ниже климатической нормы (область на юго-востоке Австралии); среди них 17.3% оказались 5%-ми экстремумами холода (ниже 5-го процентиля) и из них 12.5% - абсолютными минимумами (табл. 2.3).

Помимо Австралии, 5%-е экстремумы холода отмечены в июне и июле на азиатской территории России (в Приморье и на Камчатке, соответственно) и в июле – на востоке Китая, в Канаде и Южной Америке.

В Антарктиде в июне и в августе аномалии температуры на большинстве станций были отрицательными, а в июле – положительными. Климатических экстремумов не зафиксировано.

3. КРУПНОМАСШТАБНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ЗЕМНОГО ШАРА ЗА ПЕРИОД ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ, 1850-2020 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 (1850-2020гг.).

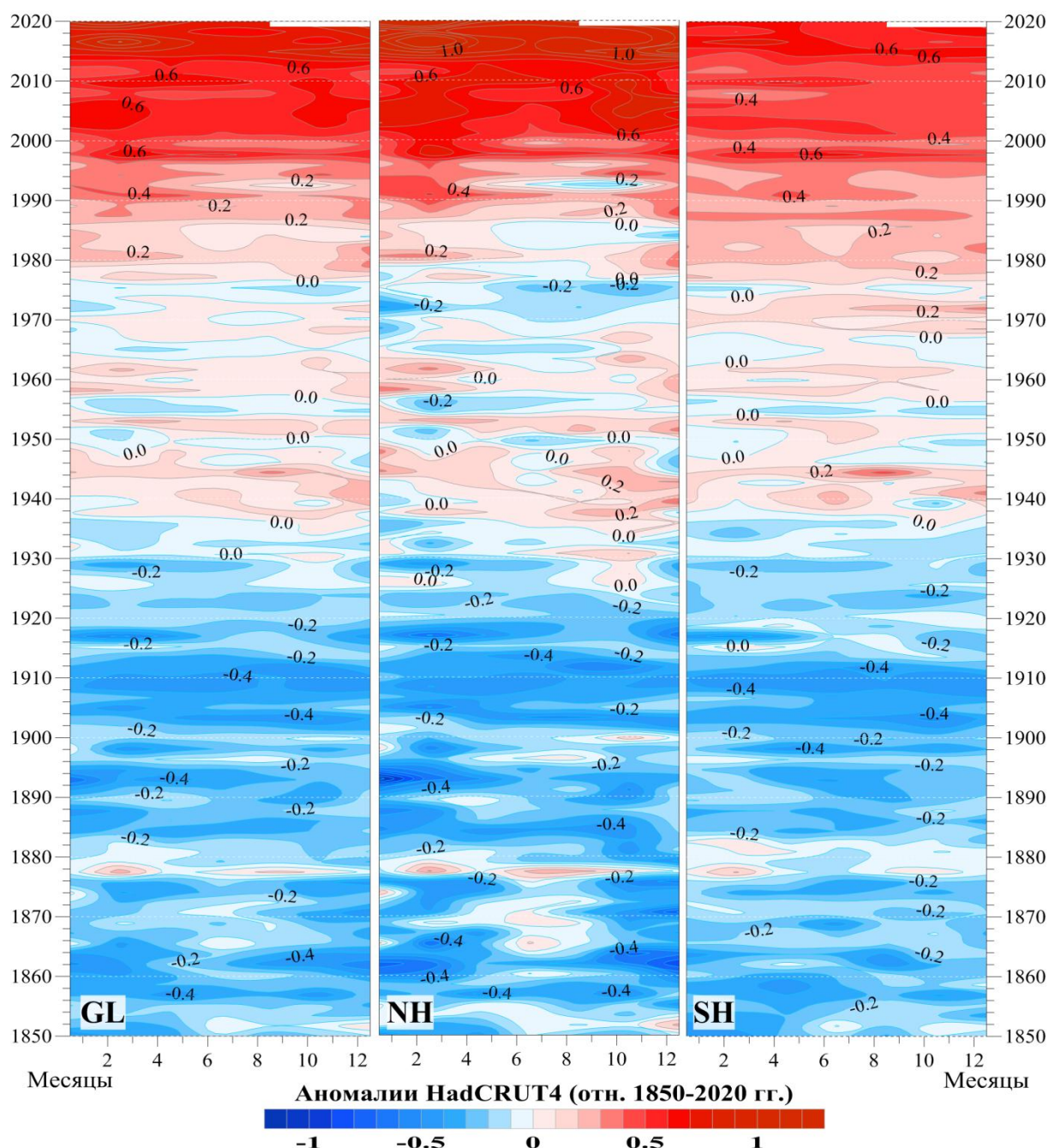


Рисунок 3.1 – Изменение аномалий средней месячной приповерхностной температуры, осредненной по территории Земного шара (GL), Северного (NH) и Южного (SH) полушарий в течение периода с января 1850 по август 2020 гг. (по данным HadCRUT4, Hadley/CRU, UK) в зависимости от месяца (по горизонтали) и года (по вертикали). Аномалии выражены в отклонениях от средней за 1850-2020 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 меридиональные и зональные особенности температурного режима последних лет (2014-2020 гг.) в динамике, от месяца к месяцу (в том числе, внутри летнего сезона 2020).

Меридиональные профили (рис. 3.2а) указывают на смену термического режима океанов и континентов в умеренных широтах северного полушария осенью 2016 и зимой 2017/2018. В результате, с весны 2018 Тихий океан опять стал «устойчиво теплым», а Атлантика осталась на уровне близком к климатической норме. С конца 2019 г. потеплели и оба континента (особенно Европа), хотя в 2020 г., в Америке (весной) и Евразии (весной и летом) отмечены локальные области отрицательных аномалий.

Зональные профили (рис. 3.2б) иллюстрируют с середины 2018 г. абсолютное доминирование положительных аномалий практически на всей территории земного шара с явным усилением их интенсивности в северных широтах (особенно с осени 2019 г.). В умеренных широтах южного полушария в первом полугодии 2020 г. температурные условия близки к климатической норме.

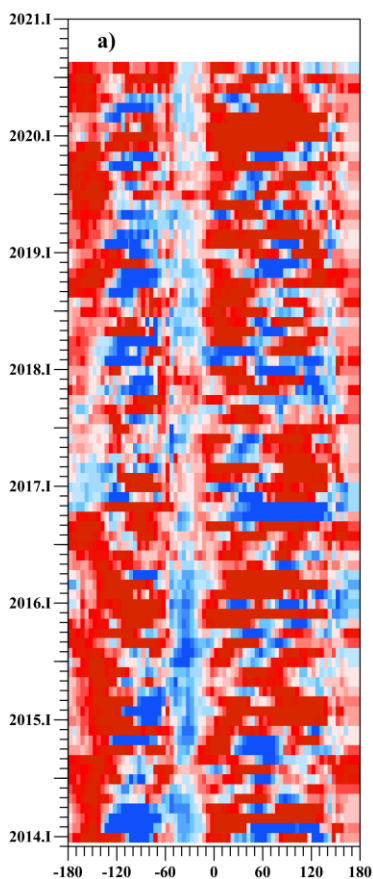
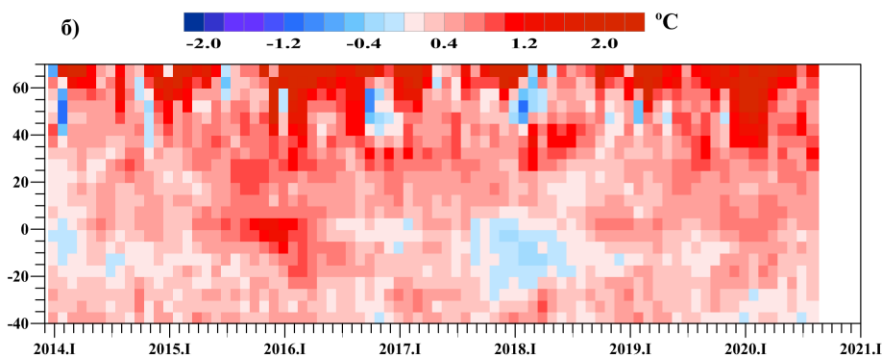


Рисунок 3.2 – Изменение во времени меридиональных (а) и зональных (б) профилей аномалии приповерхностной температуры с января 2014 г. по август 2020 г.

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.

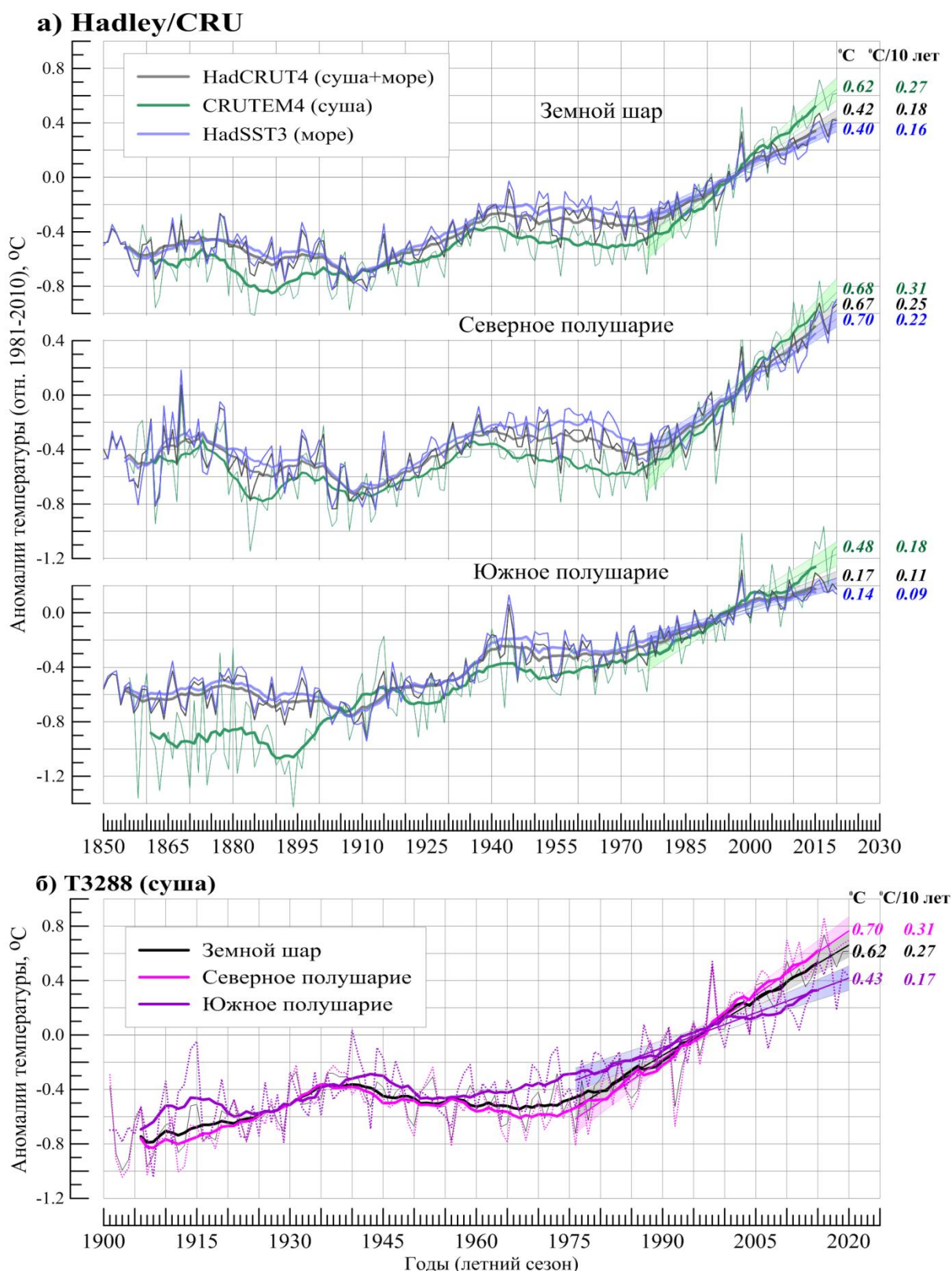


Рисунок 3.3 – Временные ряды сезонных аномалий приземной температуры (лето), осредненных по территории Земного шара, Северного и Южного полушарий:

а) по данным Hadley/CRU, 1850-2020 гг.: HadCRUT4 (суша+море), CRUTEM4 (суша), HadSST3 (море); б) по данным ИГКЭ, 1901-2020 гг.: T3288 (суша).

Для всех рядов показан ход 11-летних скользящих средних и линейный тренд за 1976-2020 гг. с 95% доверительным интервалом. Справа приведены числовые значения сезонных аномалий в 2020 г. (°C) и значения коэффициентов линейного тренда за 1976-2020 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 1976-2020 гг. (период современного глобального потепления) и 1921-2020 гг. (последнее 100-летие). Для сравнения оценок интенсивности (средней скорости) потепления, полученных по данным разных источников и разных выборок, в таблице 3.2 приведены показатели k_1 - k_3 , рассчитанные как отношение соответствующих коэффициентов тренда (см. первый столбец табл. 3.2).

Таблица 3.1 – Коэффициенты линейного тренда ($^{\circ}\text{C}/10 \text{ лет}$)
глобальных временных рядов приземной температуры
за 1976-2020 гг. и 1921-2020 гг., в среднем за летний сезон и по месяцам

Регион	1976-2020				1921-2020			
	Лето	Июнь	Июль	Август	Лето	Июнь	Июль	Август
HadCRUT4 (суша+море)								
Земной шар	0.181	0.179	0.177	0.187	0.080	0.082	0.079	0.080
Северное полушарие	0.253	0.245	0.250	0.264	0.087	0.092	0.086	0.085
Южное полушарие	0.109	0.112	0.105	0.111	0.073	0.071	0.073	0.076
T3288-ИГКЭ (суша)								
Земной шар	0.270	0.278	0.263	0.269	0.107	0.118	0.100	0.102
Северное полушарие	0.314	0.320	0.305	0.315	0.113	0.130	0.105	0.105
Южное полушарие	0.170	0.181	0.164	0.161	0.090	0.087	0.088	0.096
CRUTEM4 (суша)								
Земной шар	0.265	0.272	0.258	0.264	0.106	0.115	0.102	0.102
Северное полушарие	0.309	0.316	0.300	0.312	0.109	0.124	0.103	0.100
Южное полушарие	0.176	0.184	0.174	0.169	0.101	0.097	0.101	0.105
HadSST3 (море)								
Земной шар	0.156	0.145	0.155	0.168	0.070	0.068	0.070	0.072
Северное полушарие	0.225	0.201	0.229	0.244	0.076	0.074	0.078	0.078
Южное полушарие	0.093	0.093	0.087	0.098	0.067	0.066	0.066	0.069

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

Таблица 3.2 – Сравнение оценок скорости глобального потепления (у поверхности)
по данным разных источников и категорий (в среднем за летний сезон)

	Показатель	1976-2020			1921-2020		
		ЗШ	СП	ЮП	ЗШ	СП	ЮП
k_1	b_{T3288}/b_{HadSST}	1.73	1.40	1.83	1.53	1.49	1.34
	b_{CRUTEM}/b_{HadSST}	1.70	1.37	1.89	1.51	1.43	1.51
k_2	$b_{СП}/b_{ЮП}$	1976-2020			1921-2020		
		T3288	CRUTEM	HadSST	T3288	CRUTEM	HadSST
		1.85	1.76	2.42	1.26	1.08	1.13
k_3	$b_{1976-2020}/b_{1921-2020}$	СП			ЮП		
		T3288	CRUTEM	HadSST	T3288	CRUTEM	HadSST
		2.78	2.83	2.96	1.89	1.74	1.39

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:

- современное потепление летних сезонов ускорилось по сравнению со 100-летним в $k_3=2.8-3.0$ 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 заметно интенсивнее.
- в Северном полушарии средняя скорость потепления летних сезонов выше, чем в Южном ($k_2=1.8-2.4$); сложился этот контраст в последние 40-50 лет, и максимален над океанами, тогда как на 100-летнем периоде практически отсутствует.

4. ВРЕМЕННЫЕ РЯДЫ РЕГИОНАЛЬНО ОСРЕДНЕННЫХ АНОМАЛИЙ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ, 1911-2020 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, включая Евразию, 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 1976-2020 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 1976-2020 гг. (в целом за сезон и по месяцам)

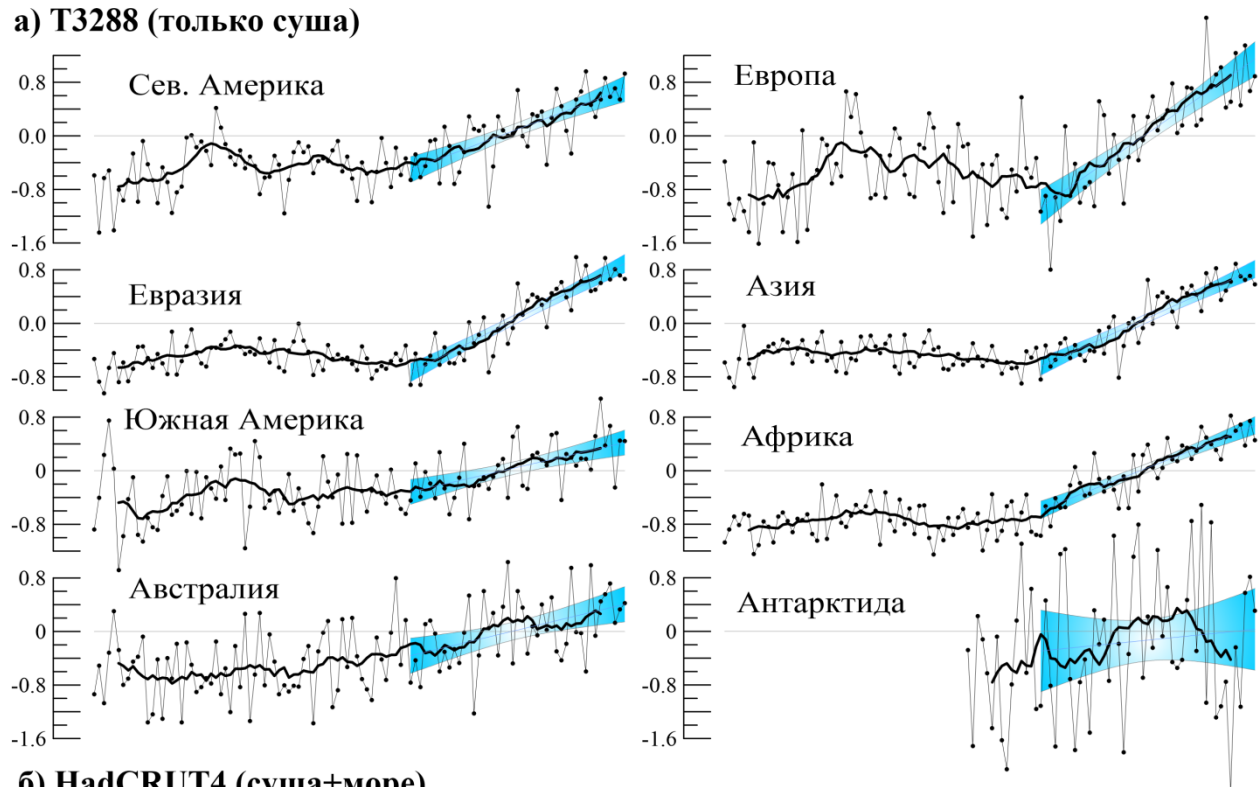
Регион	Лето	Июнь	Июль	Август
HadCRUT4 (суша+море)				
Атлантика (15-70N)	0.204	0.177	0.193	0.240
Тихий океан (20-65N)	0.244	0.216	0.255	0.260
Арктический пояс (65-90N)	0.438	0.499	0.390	0.443
Умеренный пояс СП (25-65N)	0.307	0.287	0.305	0.330
Тропики (25S-25N)	0.149	0.154	0.145	0.148
Умеренный пояс ЮП (65-25S)	0.109	0.116	0.104	0.105
Антарктический пояс (90-65S)	0.130 _{28%}	0.007 _{99%}	0.094 _{73%}	0.307 _{9%}
T3288 (суша)				
Северная Америка	0.274	0.280	0.271	0.270
Евразия	0.370	0.385	0.345	0.382
Европа	0.502	0.414	0.510	0.576
Азия	0.331	0.371	0.298	0.326
Южная Америка	0.167	0.215	0.094 _{14%}	0.176
Африка	0.286	0.318	0.302	0.234
Австралия	0.175	0.143 _{13%}	0.276	0.099 _{24%}
Антарктида	0.074 _{59%}	-0.203 _{18%}	0.155 _{49%}	0.290 _{7%}

Усл. обозначения: Уровень значимости более 1% указан в таблице подстрочным текстом, более 10% – выделен серой заливкой. Остальные оценки статистически значимы на 1%-уровне. Синим шрифтом показан тренд к похолоданию.

Судя по оценкам трендов температуры в таблице 4.1, тенденция к потеплению летних сезонов (в среднем по территории региона) отмечается во всех рассмотренных крупных регионах (широтных поясах, северных океанах и всех континентах), кроме Антарктиды и Антарктического пояса. В отдельные месяцы к ним добавляются Австралия (июнь, август) и Южная Америка (июль). Для большей определенности, во всех случаях, где уровень статистической значимости (вероятность ложного тренда) больше 1%, он указан в той же ячейке таблицы подстрочно. Регионы наиболее интенсивного потепления летних сезонов – Европа (+0.50 $^{\circ}\text{C}/10 \text{ лет}$) и Арктика (+0.44 $^{\circ}\text{C}/10 \text{ лет}$).

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)

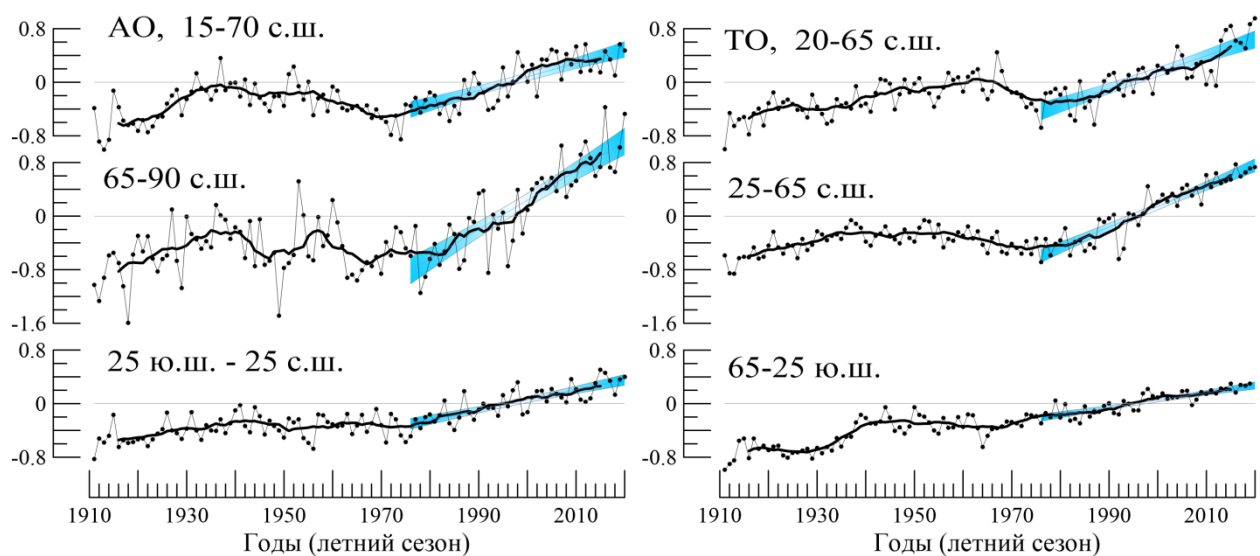


Рисунок 4.1 – Временные ряды пространственно осредненных аномалий приземной температуры летнего сезона для континентов (а), северных частей Атлантического и Тихого океанов (б,верху) и основных широтных поясов земного шара (б,внизу).

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 1976–2020 гг. с 95%-м доверительным интервалом (голубая заливка).

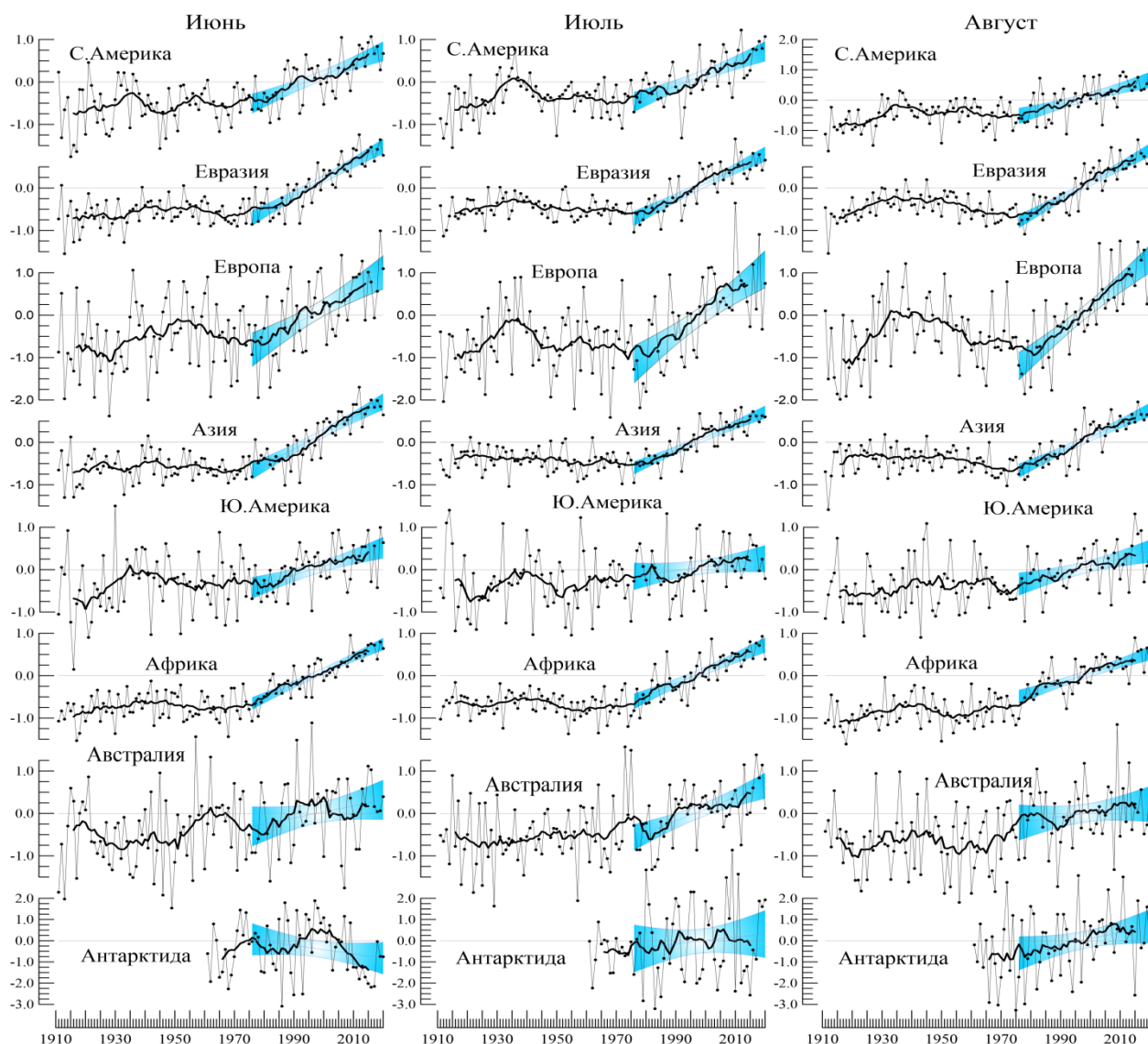


Рисунок 4.2 – См. рис. 4.1. но для аномалий летних месяцев и только для континентов.

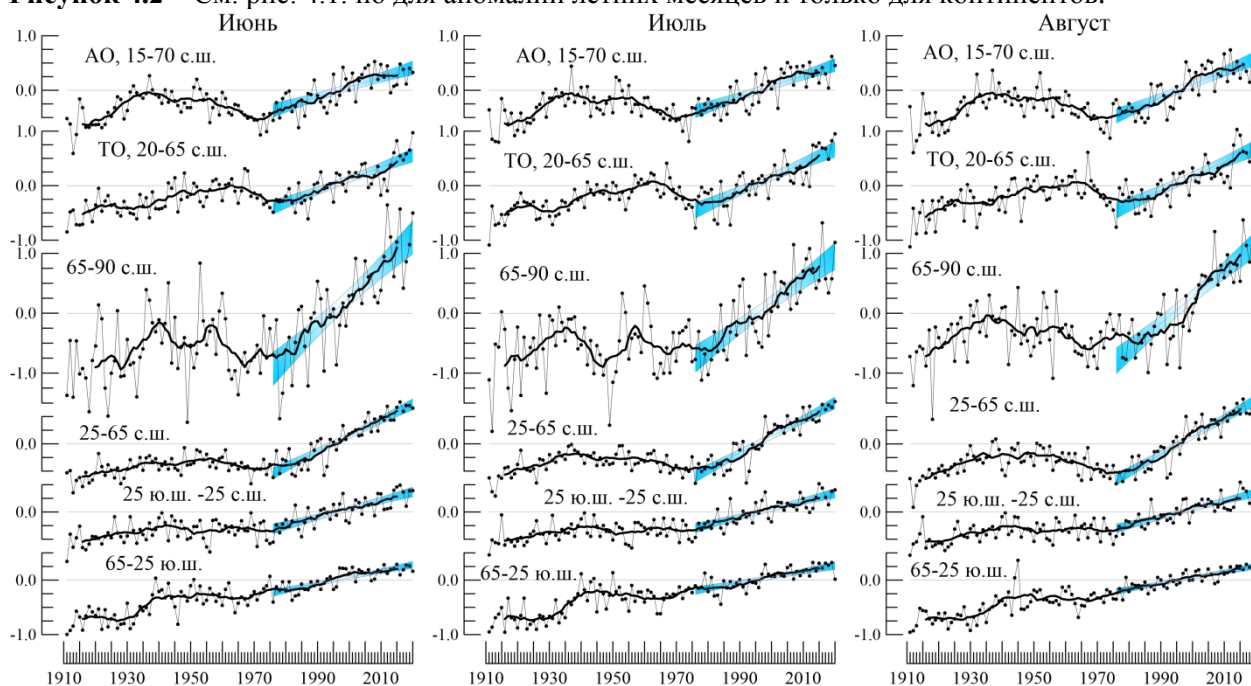


Рисунок 4.3 – См. рис. 4.2., но для океанов и широтных поясов земного шара.

5. ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА, 1976-2020 гг. (летний сезон)

Ниже приведено географическое распределение коэффициентов линейного тренда аномалий приповерхностной температуры для летних сезонов 1976-2020 гг. (рис. 5.1) и отдельно для каждого из месяцев (рис. 5.2). Использованы данные наблюдений на 2318 станциях (массив T3288) и в центрах 1617 боксов (массив HadCRUT4), для которых своевременно поступили данные за лето 2020 года.

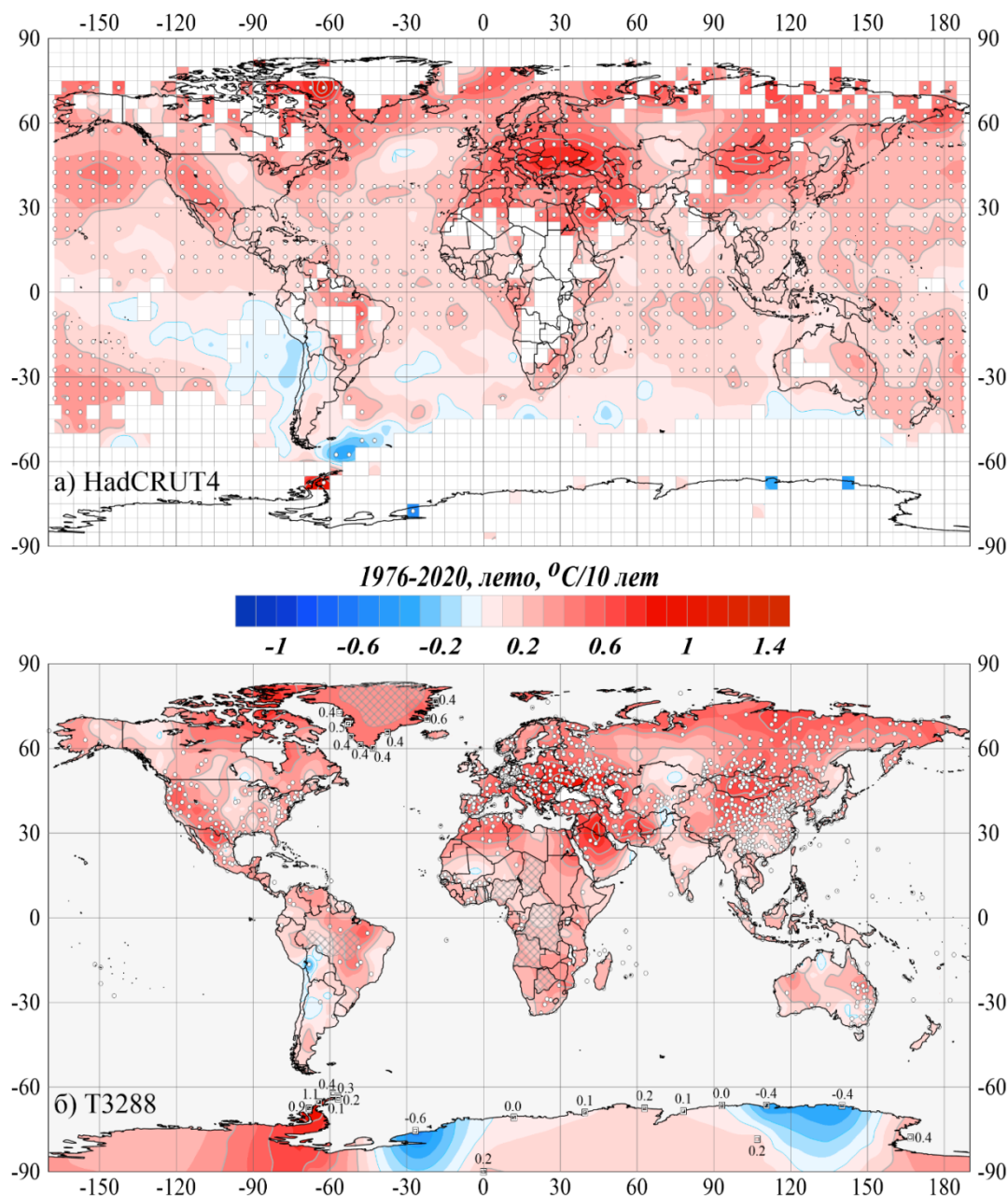


Рисунок 5.1 - Пространственное распределение коэффициентов линейного тренда сезонных аномалий температуры у поверхности Земного шара за период 1976-2020 гг. ($^{\circ}\text{C}/10 \text{ лет}$, летний сезон).

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.

В таблице 5.1 приведено их количественное распределение в зависимости от географического региона, направленности тренда и уровня значимости. В таблице указано реальное число станций/боксов в каждой конкретной выборке, учтенных в расчетах, и их доля в общем объеме соответствующих данных. Аналогичные оценки для отдельных месяцев приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.1 – Распределение локальных оценок тренда за 1976-2020 гг. (в % от N) в зависимости от знака коэффициента тренда **b** и уровня значимости **α**

Регион	N	<i>b</i> < 0			<i>b</i> = 0	<i>b</i> > 0		
		<i>всего</i>	<i>α</i> ≤0.01	<i>α</i> ≤0.05		<i>всего</i>	<i>α</i> ≤0.01	<i>α</i> ≤0.05
HadCRUT4 (суша+море)								
ЗШ	1617	5.9	0.3	1.0	1.1	93.0	58.5	70.9
СП	961	0.7	-	-	0.1	99.2	72.9	84.8
ЮП	656	13.4	0.8	2.4	2.6	84.0	37.3	50.6
90-65N	98	1.0	-	-	-	99.0	83.7	92.9
65-25N	543	0.7	-	-	-	99.3	75.3	85.8
25S-25N	646	5.1	-	0.6	1.1	93.8	56.2	70.7
25-65S	319	16.9	1.3	2.8	3.4	79.6	28.2	41.1
65-90N	11	27.3	9.1	27.3	-	72.7	18.2	18.2
T3288 (только суша)								
ЗШ	2318	5.1	0.1	0.3	0.3	94.6	62.6	73.5
СП	1916	2.7	0.2	0.3	0.2	97.1	68.4	79.5
ЮП	403	16.6	-	-	0.7	82.6	35.0	44.9
С. Америка	299	5.0	0.3	1.0	0.3	94.6	50.5	66.2
Евразия	1348	2.0	0.1	0.1	0.2	97.8	71.7	82.3
Ю.Америка	135	20.7	-	-	0.7	78.5	20.7	28.1
Африка	126	4.0	-	0.8	0.8	95.2	73.0	81.0
Австралия	156	19.2	-	-	-	80.8	33.3	44.9
Антарктида	18	16.7	-	-	-	83.3	11.1	16.7
Европа	475	0.2	-	-	-	99.8	78.1	88.8
Азия	881	3.0	0.2	0.2	0.3	96.7	68.4	78.9

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

На большей части Земного шара продолжается потепление летних сезонов – 95% станций (93% боксов) показывают положительные тренды (табл. 5.1, рис. 5.1). Наиболее интенсивно оно протекает на юго-востоке Европы и в прилегающих районах Ближнего Востока и Передней Азии (0.7-0.9°C/10 лет), в Канадском архипелаге (до 0.9°C/10 лет) и в Монголии (0.6-0.7°C/10 лет). Из всех регионов (в среднем по территории) потепление по-прежнему наиболее выражено в Арктическом широтном поясе: на 99% всех станций тренд положительный, в том числе: 92.9% – статистически значимый на 5%-уровне, 83.7% – на 1% (в августе – 99.3%). Этот вывод согласуется и с региональными оценками трендов в таблице 4.1. Дополнительно отметим, что в этом широтном поясе 130 наземных станций, ни на одной из них тренд не был отрицательным, а на некоторых превысил +1.0°C/10 лет.

Тенденция к похолоданию обнаружена лишь на 118 из 2318 станций (95 боксах из 1617), но статистически значимых хотя бы на 5%-уровне среди них только 6 (боксов – 16). Отметим, что эти все 6 станций расположены в Северном полушарии (Мехико, Чили,

Аргентина и Боливия), а все 16 боксов – в Южном (Южный и Тихий океаны у восточного побережья Южной Америки и Антарктиды).

Следует обратить внимание и на значительные области околонулевых трендов (до $0.2^{\circ}\text{C}/10$ лет) в центре континентов Евразия, Северная Америка, Африка и Австралия. Как и отрицательные тренды, при определенной динамике они могут стать признаками возможного ослабления глобального потепления.

Более четкое представление о локализации областей с устойчивой тенденцией к потеплению и/или похолоданию летних сезонов дают географические распределения оценок тренда для каждого месяца (рис. 5.2) и соответствующие частотные распределения по их знаку и интенсивности (табл. 5.2).

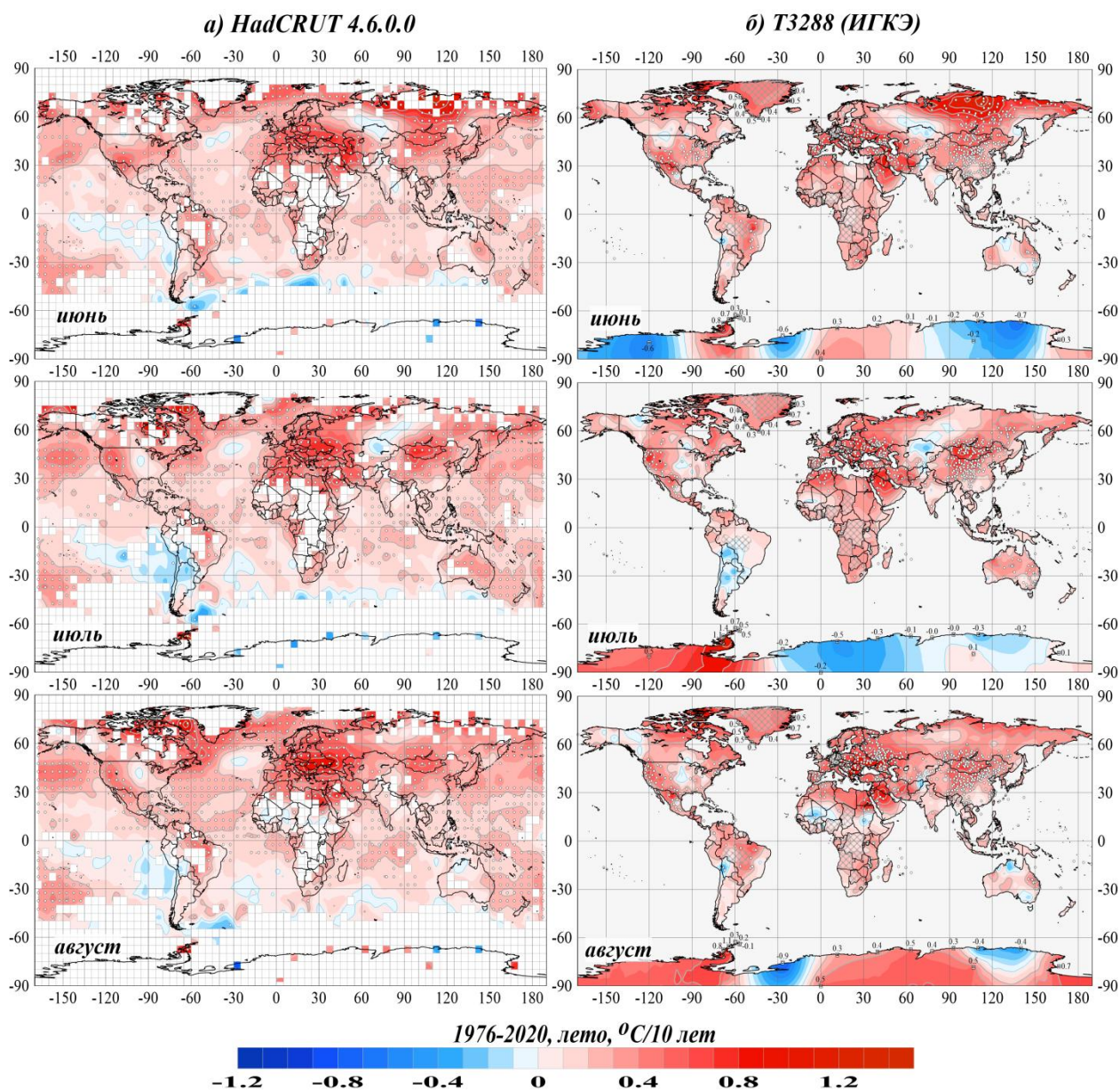


Рисунок 5.2 – См. рис. 5.1., но для коэффициентов тренда среднемесячных аномалий температуры летних месяцев.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В среднем по территории Земного шара, летний сезон 2020 стал 4-м самым теплым сезоном в истории наблюдений по данным HadCRUT4 (суша+море), но вторым – по данным «только суша» (T3288 и CRUTEM4) и «только море» (HadSST3). Рекордно теплым во всех этих случаях пока остается 2016 год. Для большей определенности ниже приведены значения аномалий температуры и их ранги (в скобках) для летних сезонов 2020 и 2016 гг.:

Базовый период	Год	HadCRUT4, °C	T3288, °C	CRUTEM4, °C	HadSST3, °C
1981-2010	2020	0.419 (4)	0.616 (2)	0.617 (2)	0.400 (2)
1981-2010	2016	0.471 (1)	0.736 (1)	0.717 (1)	0.411 (1)

2. Основной особенностью летнего сезона 2020 г. стал *температурный рекорд океанов Северного полушария*: по данным массива HadSST3 нынешний сезон оказался рекордно теплым с 1850 г., причем основной вклад принадлежит Тихому океану, за ним – Индийскому и в меньшей мере – Атлантическому. При этом следует отметить, что в северной части Тихого океана (15-70°с.ш.) рекордно теплыми были уже 5 сезонов подряд, начиная с лета 2019. В остальных глобальных рядах по данным HadSST3 (только море) этот сезон оказался на 12 месте для океанов Южного полушария и на втором для Мирового океана в целом (благодаря Северному полушарию).

Аналогичные оценки для суши (по данным T3288 или CRUTEM4): в среднем по Северному полушарию – третье-четвертое место, по Южному – шестое-четвертое и по Земному шару – второе место по обоим массивам.

3. В целом по Земному Шару положительные аномалии наблюдались на 78% станций (77% боксов), при этом отмечалось большое количество экстремумов тепла выше 95-го перцентиля – 17% (22%,) из которых 4% (4%) - абсолютные максимумы.

4. Области наиболее интенсивных положительных аномалий прослеживались в течение всего сезона (от месяца к месяцу) в океанах северного полушария и экваториального широтного пояса (Тихий, Атлантический и Индийский), хотя локализация аномалий в них несколько менялась от месяца к месяцу. Акватории Южного океана практически во все месяцы сезона оставались холодными.

Ситуация на континентах была менее стабильна. На суше можно выделить лишь четыре сравнительно небольшие области, где летом 2020 года фиксировались локальные экстремумы хотя бы 95%-й обеспеченности (значения выше 95-го перцентиля): США и Центральная Америка (наиболее крупная), Центральная Европа, Передняя Азия и Австралия.

5. Области локальных отрицательных аномалий отмечаются в этом сезоне практически на всех континентах. Наиболее заметная из них – в Австралии, где температура летнего сезона была ниже климатической нормы на 48% всех станций (область на юго-востоке Австралии); среди них 17.3% оказались 5%-ми экстремумами холода (ниже 5-го перцентиля) и из них 12.5% - абсолютными минимумами (табл. 2.3). Помимо Австралии, 5%-е экстремумы холода отмечены в июне и июле на азиатской территории России (в Приморье и на Камчатке, соответственно) и в июле – на востоке Китая, в Канаде и Южной Америке.

6. На большей части Земного шара продолжается потепление летних сезонов – около 95% станций (93% боксов) показывают положительные тренды. Регионы наиболее

интенсивного потепления – Арктический пояс ($+0.44^{\circ}\text{C}/10$ лет) и Европа ($+0.50^{\circ}\text{C}/10$ лет). В Арктическом широтном поясе тренд положительный на 99% всех станций, из них 92.9% оценок статистически значимы на 5%-м уровне, 83.7% – даже на 1%-м (в августе даже 99.3%).

Тенденция к похолоданию обнаружена лишь на 5% всех станций (6% боксов), Из них оценки, статистически значимые на 5%-м уровне, составляют менее 0.25% (около 1%), причем все первые расположены *на суше северного полушария* (Мехико, Чили, Аргентина, Боливия), а вторые - на *акваториях южных океанов* (у восточного побережья Южной Америки и Антарктиды).

- 7. современное потепление летних сезонов ускорилось по сравнению со 100-летним примерно в 2.8-3.0 раз в Северном полушарии и только в 1.4-1.9 раз – в Южном. При этом в Северном полушарии ускорение происходит равномерно на всей территории (на суше и на поверхности океанов), а в Южном – ускорение над сушей заметно выше.

- в Северном полушарии средняя скорость потепления летних сезонов выше, чем в Южном (в 1.8-2.4 раз); сложился этот контраст в последние 40-50 лет, и максимален над океанами, тогда как на 100-летнем периоде практически отсутствует.