

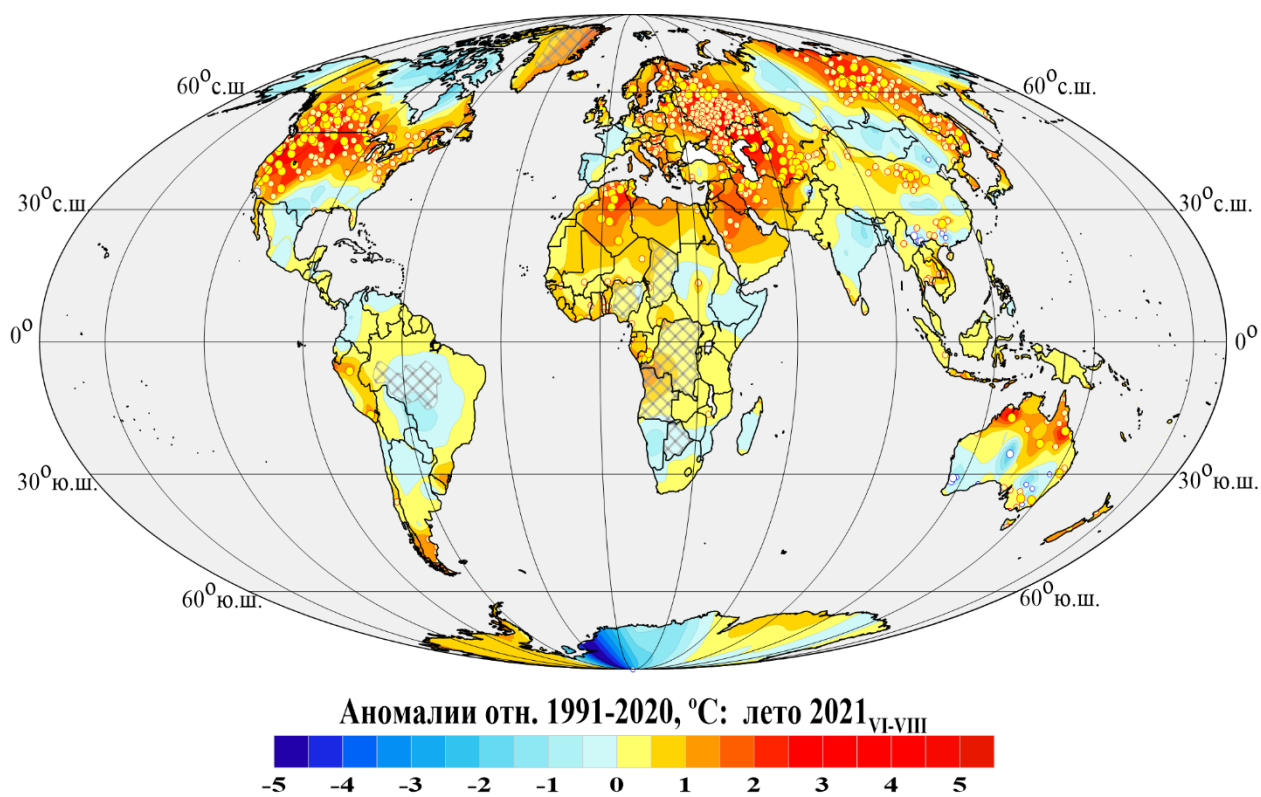
Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу
окружающей среды

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

Бюллетень мониторинга изменений климата Земного шара

Приземная температура

Лето 2021



Москва 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ^{1,2}

1. ВВЕДЕНИЕ	3
2. ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ У ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМНОГО ШАРА ЛЕТОМ 2021 года. ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ АНОМАЛИИ	6
3. КРУПНОМАСШТАБНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ЗЕМНОГО ШАРА ЗА ПЕРИОД ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ 1850-2021 гг. (летний сезон)	13
4. ВРЕМЕННЫЕ РЯДЫ РЕГИОНАЛЬНО ОСРЕДНЕННЫХ АНОМАЛИЙ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ, 1911-2021 гг. (летний сезон)	18
5. ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА, 1976-2021 гг. (летний сезон)	21
6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ	25

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 2021 года. Использованы стационарные данные ИГКЭ: Т3288.

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящем бюллетене представлены данные о климатических аномалиях летнего сезона 2021 года и обновленные (с учетом этих данных) оценки тенденций в изменении температурного режима летних сезонов на территории земного шара в течение 1976–2021 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 T3288 - 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, HadSST3 - данные метеослужбы Великобритании⁴; в бюллетене упоминаются как «данные Hadley/CRU»).

Таким образом, массив T3288 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). В соответствии с рекомендацией ВМО⁵, все основные оценки приводятся в аномалиях температуры относительно базового периода 1991-2020 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 T3288 (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 1976-2021 гг. (период современного глобального потепления) и 1922-2021 гг. (последнее 100-летие) приведены в таблице 1.1 для Земного шара, Северного и Южного полушарий.

³ Решение Центральной методической комиссии по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим 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 30.09.2021.

⁵ WMO-No 1203 (2017) WMO Guidelines on the Calculation of Climate Normals. In Purpose. Chairperson, Publications Board World Meteorological Organization (WMO), Geneva, Switzerland.

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.

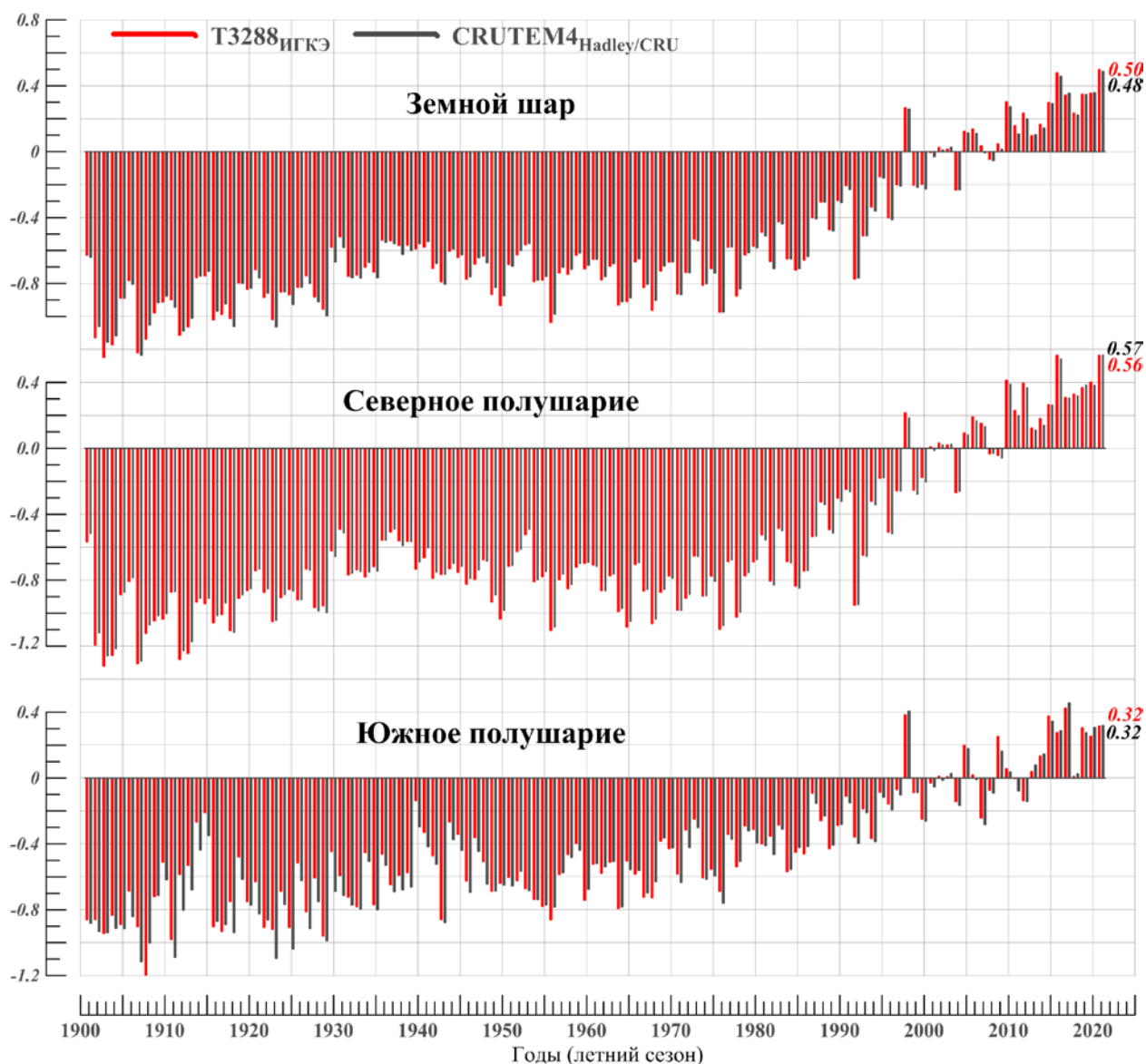


Рисунок 1.1 – Временные ряды пространственно осредненных сезонных аномалий температуры приземного воздуха над сушей Земного шара, Северного и Южного полушарий (°C, 1901-2021 гг.).
Использованы временные ряды, рассчитанные по данным массива T3288 (ИГКЭ) и глобальные временные ряды CRUTEM4 (Hadley/CRU).

Таблица 1.1 – Оценки близости/различия глобальных временных рядов T3288 (ИГКЭ) и CRUTEM4 (Hadley/CRU) в среднем за летний сезон для территории суши Земного шара (ЗШ), Северного (СП) и Южного (ЮП) полушарий

Оценка	1976-2021			1922-2021		
	ЗШ	СП	ЮП	ЗШ	СП	ЮП
Корреляция рядов	0.999	0.999	0.992	0.998	0.999	0.986
Среднее различие, °C	0.010	0.010	0.015	0.003	0.000	0.030
СКО (сигма) различий, °C	0.017	0.015	0.036	0.027	0.022	0.057
Среднее абсолютное различие, °C	0.016	0.015	0.032	0.021	0.018	0.048
Макс. абсолютное различие, °C	0.050	0.037	0.109	0.089	0.057	0.242
Разность трендов, °C/10лет	0.004	0.002	-0.006	0.001	0.003	-0.008
СКО T3288, °C	0.388	0.452	0.272	0.398	0.440	0.333
СКО CRUTEM4, °C	0.381	0.447	0.279	0.390	0.431	0.343

В соответствии с этими оценками, среднее значение различий рядов за 1976-2021 гг. не более 0.015°C, их стандартное отклонение более чем на порядок ниже стандартного отклонения самих рядов (0.015-0.036 против 0.272-0.452°C), а максимальное различие оценок летней температуры на этом отрезке времени в двух рассматриваемых рядах составило 0.109°C для Южного полушария (1982 г.) и 0.037°C 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 0.986, в Северном полушарии 0.999) и предельно низким различием трендов (до $\pm 0.008^\circ\text{C}/10$ лет; в Северном полушарии 0.002-0.003°C/10 лет).

На фоне повышенного интереса к современному состоянию глобального потепления, интересно более детально проследить ход температуры в последние годы, с момента последних температурных рекордов (рис. 1.1, табл. 1.2).

Таблица 1.2 –Изменение глобальной приземной температуры летнего сезона в течение 2016-2021 гг. (в среднем по территории суши Земного шара и полушарий, °C)

Год (летний сезон)	Данные T3288, °C (ИГКЭ)			Данные CRUTEM4, °C (Hadley/CRU)		
	ЗШ	СП	ЮП	ЗШ	СП	ЮП
2016	0.478	0.564	0.275	0.458	0.543	0.287
2017	0.343	0.308	0.424	0.356	0.306	0.456
2018	0.234	0.329	0.009	0.222	0.321	0.026
2019	0.349	0.368	0.305	0.348	0.386	0.274
2020	0.356	0.400	0.253	0.359	0.385	0.307
2021	0.497	0.564	0.315	0.485	0.568	0.318
2021-2016	+0.019	0.000		+0.027	+0.025	
2021- 2017			-0.109			-0.138

Примечание. В таблице приведены значения аномалий относительно 1991-2020 гг. Жирным шрифтом выделены рекордные значения на текущий момент

В Северном полушарии предыдущий летний рекорд наблюдался в 2016 г., когда скачок сезонной температуры (от 2015 г. к 2016) составил 0.28-0.30°C и был почти полностью компенсирован уже в 2017 г. (на 0.24-0.25°C). В последующие годы температура менялась незначительно (преимущественно повышалась менее чем на 0.1°C), и в 2021 г. рекорд 2016 года был восстановлен (по данным массива T3288) и даже превышен на 0.025°C (по данным массива CRUTEM4).

В Южном полушарии колебания температуры в этот период были даже более значительными. Два заметных повышения летней температуры в 2015 и 2017 гг., несмотря на промежуточное понижение температуры, завершились новым рекордом - аномалией 0.424-0.456°C, «побившей» долго сохранявшийся рекорд 1998 г. (0.382-0.406 °C). За ним, в 2018 г., следует резкое падение температуры на более 0.4°C, сменившееся в 2019 г. повышением почти на 0.3°C, после чего температура менялась незначительно. В результате, на сегодняшний день в Южном полушарии сохраняется летний рекорд 2017 г. (0.424-0.456°C), а летняя температура 2021 г. отстает от этого рекорда на 0.109-0.138°C.

2. ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ У ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМНОГО ШАРА ЛЕТОМ 2021 ГОДА. ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ АНОМАЛИИ

Летний сезон 2021 года оказался четвертым в упорядоченных по убыванию рядах температуры для Земного шара и Северного полушария (HadCRUT4, суша+море), и рекордно теплым – в рядах для территории суши (T3288 и CRUTEM4). В среднем по территории Южного полушария, текущий сезон оказался на шестом месте по данным для всей территории (HadCRUT4, суша+море), на четвертом – для территории суши (T3288 и CRUTEM4) и на седьмом – для акваторий южных океанов (все детали см. в табл. 2.1).

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

№	Земной шар		Северное полушарие		Южное полушарие	
	VT, °C	Год (лето)	VT, °C	Год (лето)	VT, °C	Год (лето)
HadCRUT4 (Hadley/CRU, суша+море)						
1	0.295	2016	0.424	2016	0.211	1998
2	0.262	2015	0.416	2020	0.191	2015
3	0.246	2019	0.382	2019	0.165	2016
4	0.243	2021	0.375	2021	0.140	2009
5	0.239	2020	0.333	2015	0.123	2017
					0.113 (6)	2021
T3288 (ИГКЭ, суша)						
1	0.497	2021	0.564	2021	0.424	2017
2	0.478	2016	0.564	2016	0.382	1998
3	0.356	2020	0.412	2010	0.377	2015
4	0.349	2019	0.400	2020	0.315	2021
5	0.343	2017	0.395	2012	0.305	2019
CRUTEM4 (Hadley/CRU, суша)						
1	0.485	2021	0.568	2021	0.456	2017
2	0.458	2016	0.543	2016	0.406	1998
3	0.359	2020	0.391	2010	0.345	2015
4	0.356	2017	0.386	2019	0.318	2021
5	0.348	2019	0.385	2020	0.307	2020
HadSST3 (Hadley/CRU, море)						
1	0.258	2016	0.476	2020	0.179	1998
2	0.244	2020	0.418	2019	0.159	2016
3	0.236	2019	0.388	2016	0.131	2015
4	0.235	2015	0.319	2014	0.111	2009
5	0.195	2014	0.314	2015	0.083	2019
	0.164 (7)	2021	0.259 (7)	2021	0.076 (6)	2021

Примечание: В шестой строке каждого раздела таблицы приведено значение сезонной аномалии и его ранг (в скобках) для 2021 года, если год не попал в число пяти самых теплых

Следует отметить, что теплым сезон был не только при глобальном рассмотрении. Это подтверждается значениями сезонной температуры в крупных регионах мира (табл. 2.2), которые в 2021 г. почти все превысили уровень 90-го перцентиля (кроме значений для континентов Южного полушария и антарктического пояса). Наиболее выделяется

умеренный пояс Северного полушария (25-65N), в котором рекордно теплыми были лето в целом и первые два месяца, а август был третьим самым теплым среди одноименных месяцев всех лет. Соответственно, из регионов наиболее выделяются северные континенты (Северная Америка и Евразия, оба с рангом 1) и северная часть Тихого океана (20-65N, ранг 4). Числовые данные об аномалиях для всех континентов и рассматриваемых крупных регионов см. в таблице 2.2.

Таблица 2.2 -- Пространственно осредненные значения аномалии (°C) приземной температуры и их вероятности непревышения в крупных регионах мира летом 2021 г. (в среднем за сезон и в каждом из месяцев)

Регион	Лето		Июнь		Июль		Август	
	vT	F%	vT	F%	vT	F%	vT	F%
HadCRUT4 (суша+море)								
Земной шар	0.24	97	0.21	96	0.27	99	0.25	97
Северное полушарие	0.38	97	0.41	99	0.39	99	0.33	96
Южное полушарие	0.11	96	0.01	88	0.15	97	0.18	98
Атлантика (15-70N)	0.14	89	0.17	91	0.09	86	0.17	91
Тихий океан (20-65N)	0.39	96	0.45	98	0.38	94	0.35	96
Арктический пояс, 65-90N	0.46	96	0.67	96	0.19	89	0.46	95
Умеренный пояс СП, 25-65N	0.62	100	0.74	100	0.67	100	0.47	98
Тропики, 25S-25N	0.09	93	-0.03	84	0.11	93	0.18	95
Умеренный пояс ЮП, 65-25S	0.16	97	0.17	98	0.20	98	0.14	94
Антарктический пояс, 90-65S	-0.03	65	-1.16	34	0.39	73	0.78	81
IGCE-T3288 (суша)								
Земной шар	0.50	100	0.51	100	0.56	100	0.41	99
Северное полушарие	0.56	100	0.71	100	0.58	100	0.41	98
Южное полушарие	0.32	97	0.02	88	0.53	99	0.41	97
Северная Америка	0.73	100	1.34	100	0.49	93	0.39	92
Евразия	0.73	100	0.77	99	0.85	99	0.57	98
Южная Америка	0.06	84	-0.34	56	0.45	87	0.36	88
Африка	0.47	98	0.65	99	0.32	94	0.48	98
Австралия	0.15	86	-0.56	42	0.72	96	0.44	89
Антарктида	-0.01	69	-0.54	49	0.61	71	-0.09	62
Европа	1.39	100	2.16	100	1.31	98	0.69	94
Азия	0.55	99	0.41	93	0.72	100	0.51	98
CRUTEM4 (суша)								
Земной шар	0.49	100	0.50	100	0.55	100	0.40	99
Северное полушарие	0.57	100	0.71	100	0.61	100	0.39	97
Южное полушарие	0.32	97	0.10	90	0.42	98	0.44	98

Условные обозначения.

1. vT, °C – наблюденная аномалия в 2021 году (базовый период 1991-2020 гг.);
2. F% – значение эмпирической функции распределения $F=\text{prob}(X \leq vT_{2021})$ по данным за 1911-2021 гг. (вероятность непревышения)
3. Красным шрифтом выделены абсолютные максимумы (наибольшие из всех значений ряда за 1911-2021 гг.), синим - отрицательные аномалии.

Пространственные распределения аномалий подтверждают перечисленные выше особенности и уточняют их количественно (рис. 2.1, 2.2; табл. 2.3, 24).

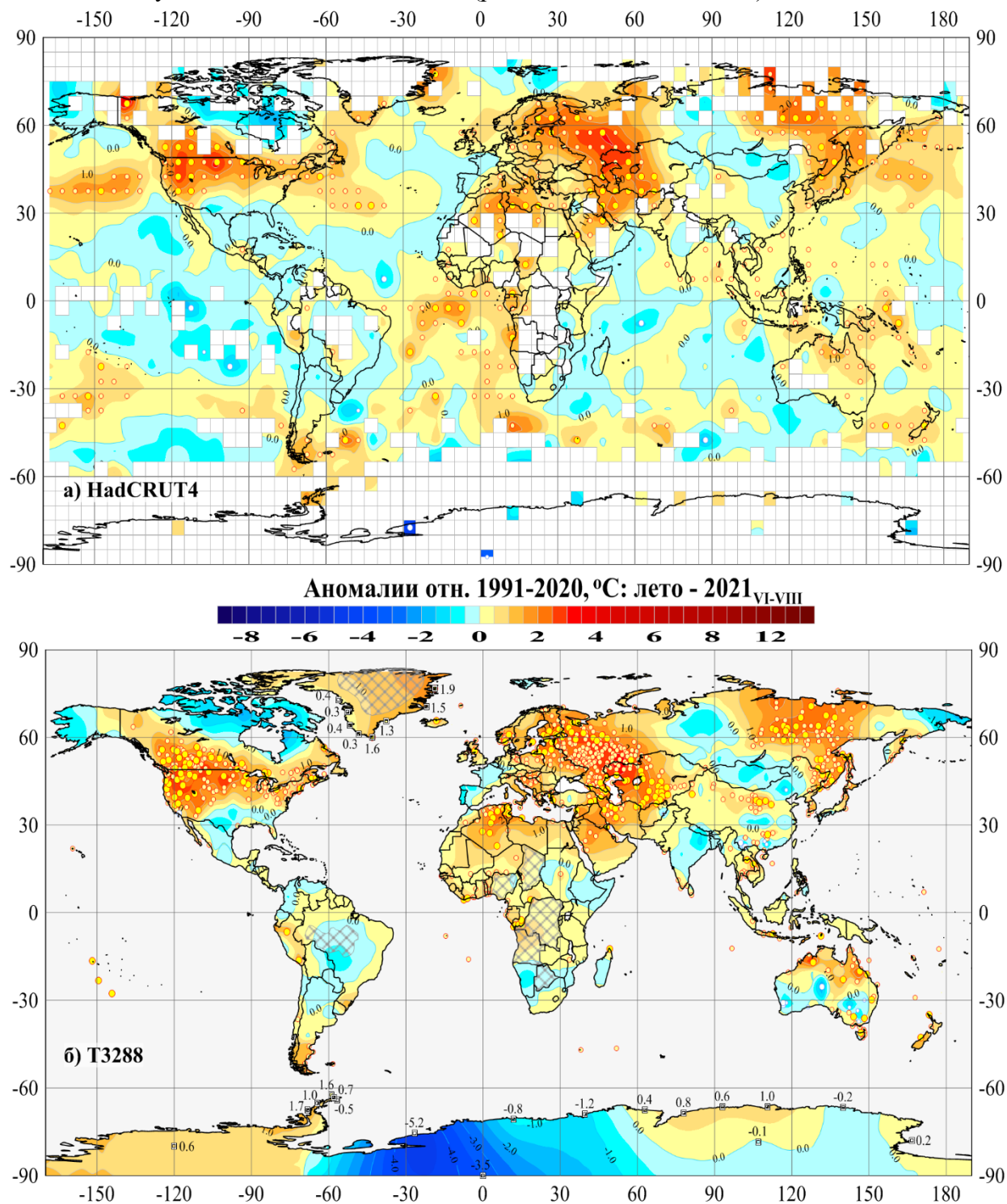


Рисунок 2.1 – Пространственное распределение сезонных аномалий приземной температуры на территории Земного шара летом 2021 г.: а) по сеточным данным Hadley/CRU: HadCRUT4 (суша+море), б) по станционным данным ИГКЭ: T3288 (только суша).

Аномалии приведены в отклонениях от средних за 1991-2020 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 (2.1а) и штриховкой (2.1б) показаны области отсутствия наблюдений.

Крупные положительные аномалии в течение всего сезона, в основном, были сосредоточены на континентах Северного полушария. В Северной Америке они охватили большую часть территории США и континентальной территории Канады с прилегающими акваториями Тихого и Атлантического океанов. В Евразии – это вся Европа, кроме Португалии, Испании и, частично, Франции, и большая часть Азии, кроме Средней Сибири, Монголии, Центрального региона Китая и Индии.

Менее значительные положительные аномалии наблюдались на севере Африки (в Алжире и Саудовской Аравии) и в Южном полушарии: на севере Австралии, в Антарктиде, на юге Аргентины и Чили.

Таблица 2.3 –Распределение локальных сезонных аномалий летом 2021 г. в крупных регионах мира по категориям в зависимости от знака аномалий и их интенсивности (Земной шар в целом, полушария, континенты, океаны, широтные пояса)

Регион		NN - число боксов/ станций	Частота значений в каждой категории (% от NN)						
			Аномалии (отн. 1991-2020)			5%- экстремумы холода/тепла		Абсолютные экстремумы	
			V < 0	V=0	V> 0	X <=P ₀₅	X>=P ₉₅	X=min	X=max
Т3288 (только суша)									
Земной шар		2621	23.5	4.5	72.0	0.9	31.3	0.3	8.3
Северное полушарие		2214	21.7	4.2	74.2	0.5	33.6	0.1	8.5
Южное полушарие		408	33.3	6.1	60.5	3.2	18.9	1.2	6.9
Северная Америка		452	21.2	3.3	75.4	0.7	37.2	0.2	11.5
Евразия		1517	22.1	3.9	74.0	0.5	33.6	0.1	7.7
Южная Америка		121	44.6	8.3	47.1	-	7.4	-	2.5
Африка		160	20.0	5.0	75.0	-	36.3	-	14.4
Австралия		169	35.5	4.1	60.4	6.5	18.3	2.4	5.3
Антарктида		18	33.3	-	66.7	11.1	5.6	5.6	-
Европа		549	10.2	2.7	87.1	-	44.6	-	7.5
Азия		977	28.6	4.5	66.9	0.7	27.5	0.2	8.0
Арктика, 65-90N (суша)		156	23.1	1.3	75.6	-	23.7	-	5.8
HadCRUT4 (суша+море)									
Земной шар		1693	29.7	8.3	62.0	0.5	19.4	0.4	4.5
Северное полушарие		971	25.1	9.3	65.6	0.1	24.4	0.0	6.1
Южное полушарие		722	35.9	6.9	57.2	1.1	12.6	0.7	2.4
Атлантика, 15-70N		136	37.5	11.0	51.5	-	13.2	-	2.2
Тихий океан, 20-65N		153	9.2	5.9	85.0	-	47.1	-	11.8
Широтные пояса	90-65N	106	29.2	10.4	60.4	-	13.2	-	3
	65-25N	543	19.2	6.6	74.2	-	33.7	-	9.4
	25S-25N	639	36.2	10.2	53.7	0.8	13.9	0.6	2.3
	25-65S	391	33.2	7.2	59.6	0.5	10.7	0.3	1.8
	65-90S	14	50.0	-	50.0	14.3	-	7.0	-

Еще одна особенность сезона – наличие в течение всех трех месяцев больших областей с отрицательными аномалиями температуры, хотя и не столь экстремальными. (Отметим, что с переходом к более теплому базовому периоду, каким является 1991-2020, меняется соотношение между долей отрицательных и положительных аномалий (в пользу

отрицательных), но доля р%-х экстремумов в текущем наблюдении от базового периода не зависит, т.е. на порядковые оценки экстремальности выбор базового периода не влияет.) Можно видеть (рис. 2.1, табл. 2.2, 2.3), что области отрицательных аномалий в этом сезоне есть и на суше (практически на всех континентах), и на акваториях Мирового океана, более значительные – в Южном полушарии (Антарктида и Южная полярная область в целом).

Межмесячные различия в характере температурных условий связаны, главным образом, с изменением локализации и интенсивности очагов аномалий (рис. 2.2, табл.2.4). Конфигурация поля температуры **в июне** очень близка к сезонной, с той разницей, что в июне интенсивность положительных аномалий была существенно выше, чем в среднем за сезон (в основном, за счет суши Северного полушария – аномалия 0.71°C , ранг 1). Так, доля 5%-х экстремумов тепла практически на всех континентах в июне больше, чем в среднем за сезон, а в Европе июньские аномалии превышали уровень локального 95-го перцентиля на более половины всех станций (50.6%; в среднем за сезон – 44.6%).

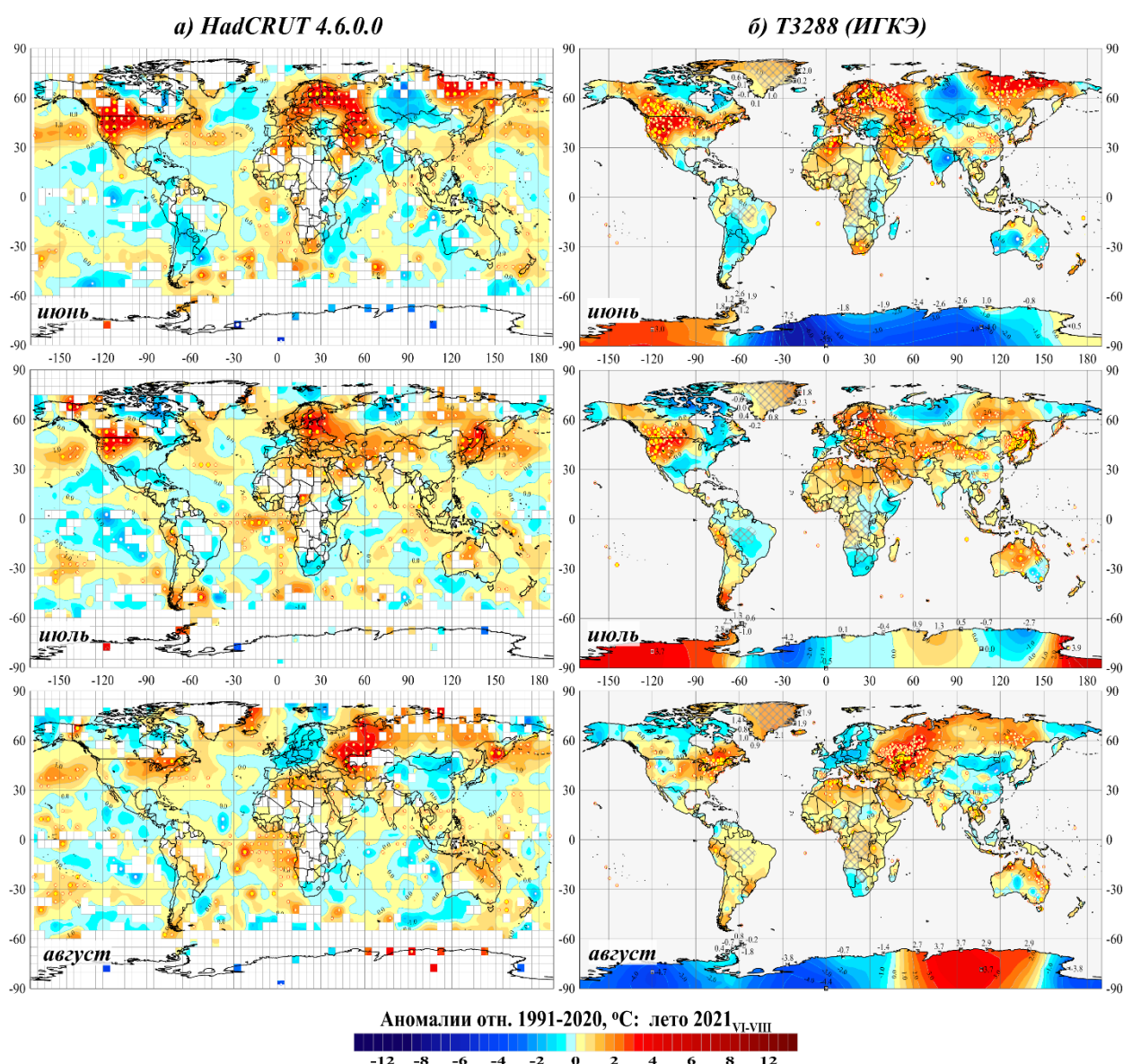


Рисунок 2.2 – Пространственное распределение среднеемесячных аномалий приземной температуры на территории Земного шара летом 2021 г. (июнь-август). Условные обозначения см. рисунок 2.1

В следующие два месяца конфигурация поля менялась (в основном, за счет сокращения площади под положительными аномалиями на суше Северного полушария). **В августе** (рис. 2.2) отрицательные аномалии охватили значительную территорию США и Канады, практически всю территорию Европы западнее 30-го меридиана, северо-восток России, Монголию, Китай и юго-восточную Азию, а также западный сектор Антарктиды.

Таблица 2.4 - Доля локальных 5%-х экстремумов холода ($X \leq P_{05}$) и тепла ($X \geq P_{95}$) в крупных регионах Земного шара в отдельные месяцы летнего сезона 2021 г.

Регион		Всего станций NN	Июнь 2021		Июль 2021		Август 2021	
			X≤P ₀₅	X≥P ₉₅	X≤P ₀₅	X≥P ₉₅	X≤P ₀₅	X≥P ₉₅
T3288 (только суша)								
Земной шар		2621	0.8	28.5	0.6	23.5	0.9	18.5
Северное полушарие		2214	0.2	31.8	0.4	24.2	0.9	18.7
Южное полушарие		408	3.9	10.0	1.7	19.9	1.0	17.2
Северная Америка		452	-	43.4	0.7	20.8	0.7	20.6
Евразия		1517	0.3	30.1	0.3	25.4	1.1	17.6
Южная Америка		121	-	0.8	-	9.1	0.8	5.0
Африка		160	0.6	30.0	-	28.1	-	30.6
Австралия		169	7.7	6.5	4.1	16.0	1.8	21.3
Антарктида		18	11.1	-	-	-	5.6	5.6
Европа		549	-	50.6	-	27.7	-	18.8
Азия		977	0.5	18.5	0.5	24.1	1.6	17.3
Арктика, 65-90N (суша)		156	-	37.2	0.6	3.2	-	7.7
HadCRUT4 (суша+море)								
Земной шар		1693	0.8	15.2	0.8	14.9	0.8	16.3
Северное полушарие		971	0.3	20.9	0.4	18.8	0.4	18.3
Южное полушарие		722	1.4	7.5	1.2	9.7	1.4	13.6
Атлантика, 15-70N		136	0.7	11.8	0.7	8.1	-	10.3
Тихий океан, 20-65N		153	0.7	38.6	-	43.8	-	26.1
Широтные пояса	90-65N	106	-	13.2	-	6.6	0.9	15.1
	65-25N	543	0.2	28.0	-	25.8	0.2	20.1
	25S-25N	639	1.1	8.9	1.7	12.4	1.4	18.0
	25-65S	391	0.8	8.7	0.5	6.9	0.5	9.0
	65-90S	14	14.3	-	-	-	7.1	7.1

Примечание. Процентное содержание экстремумов рассчитано по всем доступным станционным и сеточным данным соответствующего месяца в рассматриваемом регионе (см. NN). Значения процентилей (P_{05} , P_{95}) рассчитаны для каждого календарного месяца и каждой станции по данным за 1911-2021 гг.

Самым теплым месяцем в сезоне, в целом по земному шару, был **июль** (аномалия 0.27 °С, ранг 2). Как уже было отмечено, в июле в Северном полушарии сократилась площадь под положительными аномалиями (количество экстремумов тепла в Северной Америке, Европе и на суше Арктики уменьшилось с 43-51-37% в июне до 21-28-3% в июле). Однако при этом существенно расширилась область положительных аномалий в Азии (0.72 °С, ранг 1; доля экстремумов тепла 24% против 18% в июне при 1517 учтенных станциях). Кроме того, на континентах Южного полушария – в Австралии, Южной Америке и Антарктиде – увеличилось количество теплых 5%-х экстремумов (с 10% до 20%) и одновременно уменьшилось число холодных (с 4% до 2%).

На акваториях океанов температурный режим был более устойчив. Положительные аномалии в течение всех трех месяцев сохранялись в северной части Тихого океана и в Атлантическом океане, у берегов Америки и к югу от экватора (особенно интенсивные в июле и в августе). В приэкваториальных широтах Тихого океана и в Индийском океане преобладали условия холоднее климатической нормы 1991-2020 гг.

3. КРУПНОМАСШТАБНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ЗЕМНОГО ШАРА ЗА ПЕРИОД ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ, 1850-2021 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 (1850-2021 гг.).

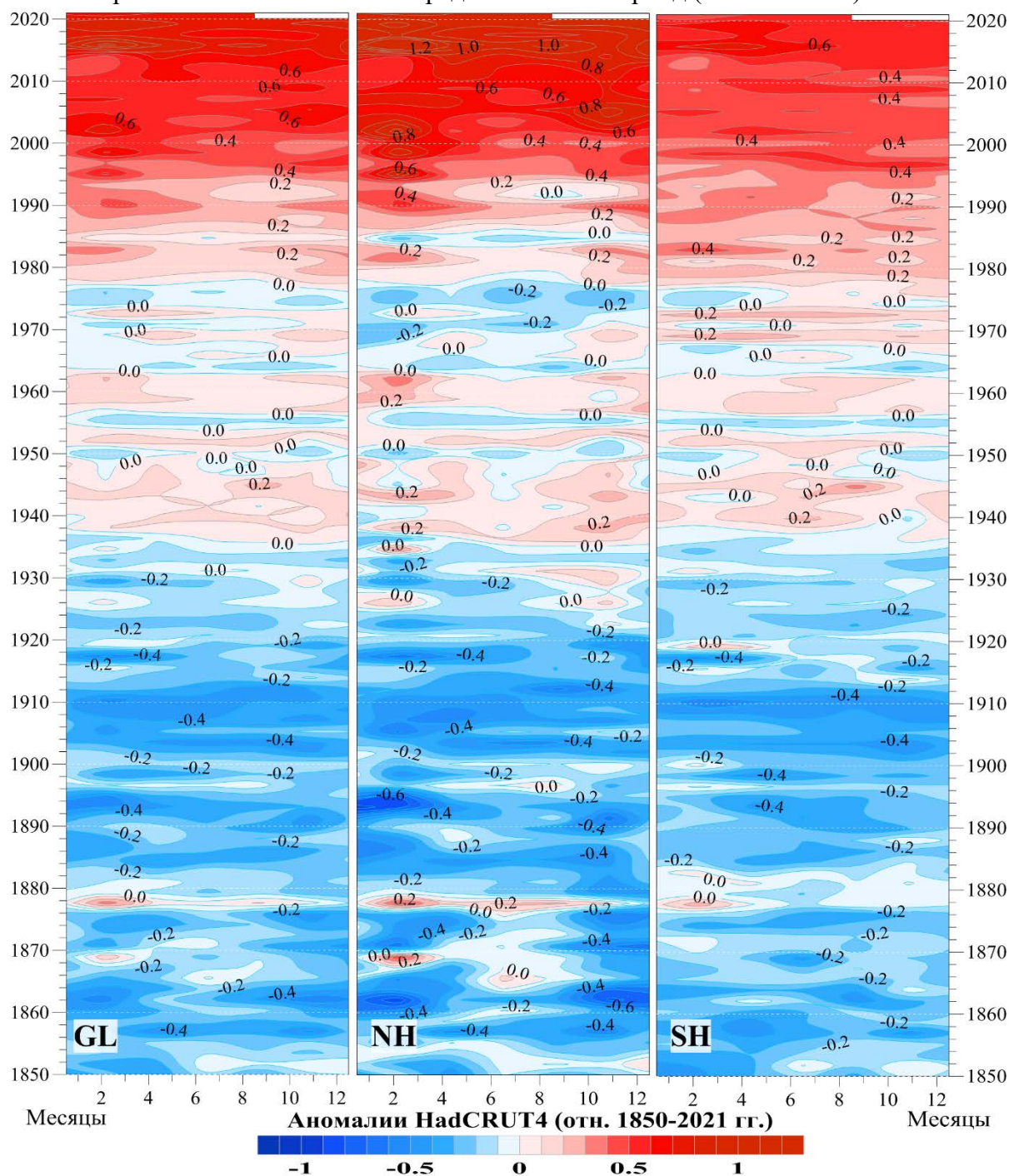
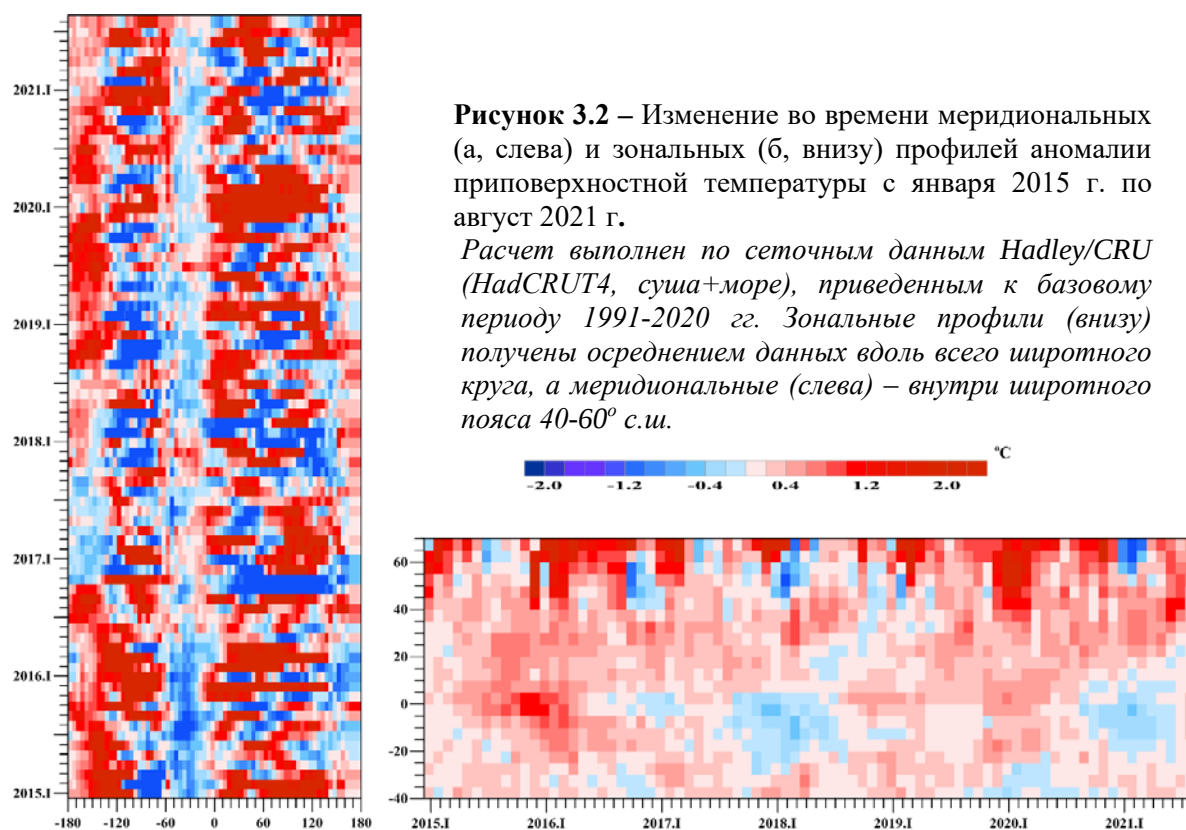


Рисунок 3.1 – Изменение аномалий средней месячной приповерхностной температуры ($^{\circ}\text{C}$), осредненных по территории Земного шара (GL), Северного (NH) и Южного (SH) полушарий, в течение периода с января 1850 по май 2021 гг. Аномалии выражены как отклонения от средней за 1850-2021 гг. Использованы данные Hadley/CRU: HadCRUT4, UK

На рисунке 3.1 хорошо виден пик похолодания в начале 20-го столетия (аномалии ниже -0.4°C), «арктическое» потепление 1940-х и далее чередование «холодных» и «теплых» периодов в обоих полушариях (аномалии до $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$). В Северном полушарии оно продлилось до середины 1990-х гг., а в Южном – уже с конца 1970-х началось потепление, названное «глобальным». Фактически оно охватило оба полушария лишь в конце 1990-х и продолжается вплоть до настоящего времени, с краткосрочными замедлениями, но в целом постепенно усиливаясь (особенно заметно в Северном полушарии, аномалии выше 1.2°C). Таким образом, современное глобальное потепление началось в Южном полушарии во второй половине 1970-х гг., но с конца 1990-х протекает более интенсивно в Северном полушарии. В последние 10 лет средние месячные аномалии в Северном полушарии колеблются в диапазоне $[-0.4; +1.9^{\circ}\text{C}]$, а в Южном – $[-0.2; +0.4^{\circ}\text{C}]$ относительно норм 1991-2020 гг. Относительно доиндустриального базового периода (1851-1900 гг.), это соответствует диапазонам $[+0.6, +2.0^{\circ}\text{C}]$ и $[+0.5, +1.1^{\circ}\text{C}]$, соответственно.

Широтно-долготные разрезы. Ниже для выявления крупномасштабных особенностей пространственно-временных колебаний приземной температуры в течение последних 7 лет используются широтно-долготные профили, или пространственно-временные двумерные изоплеты месячного разрешения (рис. 3.2а, 3.2б).

Меридиональный профиль (рис. 3.2а) показывает временной ход аномалий температуры (вертикальная шкала – время) вдоль широты (горизонтальная шкала – долгота), в среднем по широтному поясу 40° – 60° с.ш., с запада на восток, от 180° з.д. до 180° в.д. Таким образом, последовательные участки горизонтальной оси соответствуют меридиональным секторам умеренного широтного пояса Северного полушария, начиная от западного сектора Тихого океана. За ним следуют: Североамериканский, Атлантический, Европейский, Азиатский и, наконец, восточный тихоокеанский сектора. Летнему сезону 2021 года на диаграмме соответствуют верхние три строки.



Зональный профиль (рис. 3.2б) также отражает ход аномалий приповерхностной температуры в течение последних семи лет (горизонтальная шкала – время), но вдоль меридиана (вертикальная шкала – широта), в среднем по каждому 5-градусному широтному кругу. Таким образом, каждый вертикальный столбец на диаграмме иллюстрирует изменение зонально осредненных аномалий температуры в фиксированный момент времени (месяц) вдоль меридиана, от 40-35° ю.ш. до 80° с.ш. На этой диаграмме летнему сезону 2021 года соответствуют три последних столбца справа.

Как следует из рисунка 3.2а, в *европейском секторе* широтного пояса [40, 60 с.ш.] в летний сезон 2021 г. теплыми были все месяцы, кроме августа в западной Европе. В *азиатском секторе* в июне и августе наблюдались отрицательные аномалии (до -1.2°C и -0.8°C, соответственно). В *секторе Северной Америки* (также в рамках указанного широтного пояса) преобладали положительные аномалии, местами – интенсивные: в июне и июле в западном секторе, и в августе – в восточном. Отрицательные аномалии наблюдались здесь только в июне (в восточном секторе, до -1.34 °C) и в августе (слабые, на западном побережье). В *океанических секторах* условия более стабильны. Тихий океан продолжает оставаться исключительно теплым в западном секторе уже третий год подряд; хотя в течение последнего полугодия в восточном секторе положительные аномалии выражены ярче. В Атлантике сохраняются условия, в среднем близкие к норме.

С другой стороны, конфигурация зональных профилей (рис. 3.2б) говорит о том, что летом 2021 года, в приэкваториальных широтах Южного полушария (0-20° ю.ш.), по-видимому, завершился примерно полугодовой «холодный» период, тогда как в умеренных широтах Северного полушария (севернее 30° с.ш.) все три месяца наблюдались положительные аномалии (в июне и июле до +1.2 °C).

Временные ряды глобально осредненной температуры. Интегральную оценку направленности и интенсивности наблюдаемых крупномасштабных изменений приземной температуры дают глобально осредненные временные ряды для территории Земного шара и обоих полушарий (рис. 3.3) и рассчитанные по ним оценки трендов (табл. 3.1-3.2).

Коэффициенты линейного тренда (°C/10 лет) приведены в таблице 3.1 для всех 12 глобальных рядов (по четырем наборам данных, для Земного шара и обоих полушарий) за 1976-2021 гг. (период современного глобального потепления) и 1922-2021 гг. (последнее 100-летие). Отметим дополнительно, что оценки тренда за 1976-2021 гг., в сравнении с аналогичными оценками за 1976-2020⁷ гг., изменились весьма незначительно. Максимальное уменьшение составило -0.006 °C/10 лет (для суши Южного полушария по данным T3288-ИГКЭ (суша) в июне), а максимальное увеличение составило +0.006 °C/10 лет (для суши Северного полушария по данным CRUTEM4 (суша) в июне).

В таблице 3.2 приведены показатели $k_1 - k_3$, сравнивающие оценки коэффициентов тренда в разных подгруппах данных (см. расшифровку в столбце «показатель»). Эти показатели количественно уточняют выводы, основанные на визуальном сопоставлении глобальных временных рядов (рис. 3.3) и соответствующих им оценок трендов (табл. 3.1).

⁷ Аналогичные оценки за 1976-2020 гг. доступны на сайте ИГКЭ в сезонном обзоре «Бюллетень мониторинга изменений климата Земного шара. Приземная температура. Лето 2020» http://climatechange.igce.ru/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=31&Itemid=76&lang=ru

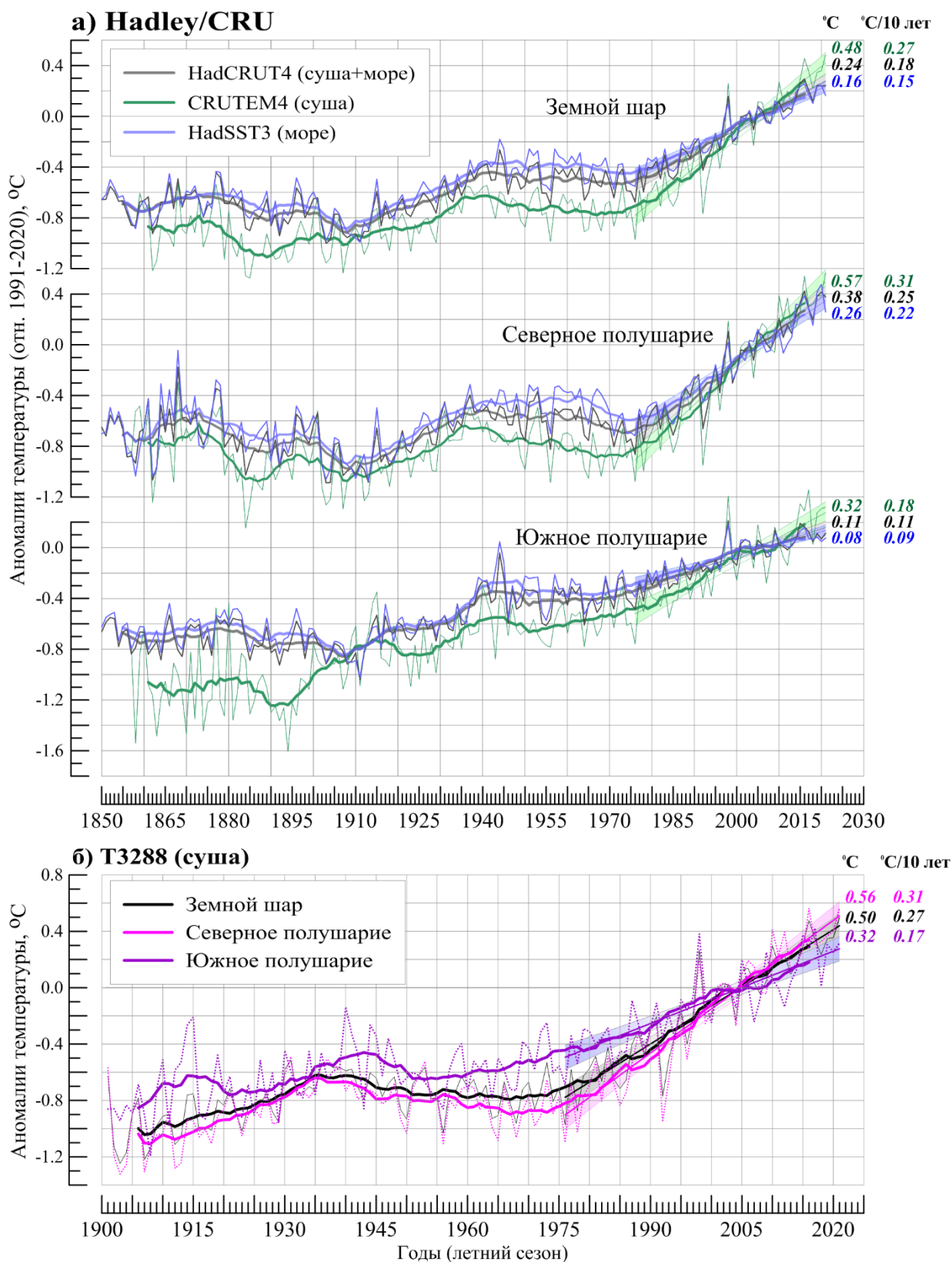


Рисунок 3.3 – Временные ряды сезонных аномалий приземной температуры (лето), осредненных по территории Земного шара, Северного и Южного полушарий: а) по данным Hadley/CRU, 1850-2021 гг.: HadCRUT4 (суша+море), CRUTEM4 (суша), HadSST3 (море); б) по данным ИГКЭ, 1901-2021 гг.: T3288 (суша).

Для всех рядов показан ход 11-летних скользящих средних и линейный тренд за 1976-2021 гг. с 95% доверительным интервалом. Справа приведены числовые значения сезонных аномалий в 2021 г. и значения коэффициентов линейного тренда за 1976-2021 гг. (°C/10лет, лето).

Таблица 3.1 – Коэффициенты линейного тренда ($^{\circ}\text{C}/10 \text{ лет}$)
глобальных временных рядов приземной температуры
за 1976-2021 гг. и 1922-2021 гг., в среднем за летний сезон и по месяцам

Регион	1976-2021				1922-2021			
	Лето	июнь	июль	август	Лето	июнь	июль	август
HadCRUT4 (суша+море)								
Земной шар	0.180	0.177	0.177	0.186	0.082	0.084	0.081	0.081
Северное полушарие	0.252	0.246	0.250	0.262	0.091	0.096	0.089	0.087
Южное полушарие	0.108	0.108	0.104	0.110	0.073	0.071	0.073	0.076
T3288-ИГКЭ (суша)								
Земной шар	0.270	0.278	0.265	0.266	0.111	0.125	0.105	0.103
Северное полушарие	0.314	0.323	0.307	0.311	0.117	0.135	0.109	0.105
Южное полушарие	0.171	0.175	0.169	0.165	0.095	0.093	0.094	0.096
CRUTEM4 (суша)								
Земной шар	0.267	0.274	0.262	0.264	0.110	0.120	0.107	0.104
Северное полушарие	0.311	0.322	0.304	0.309	0.114	0.131	0.109	0.103
Южное полушарие	0.177	0.179	0.178	0.174	0.103	0.099	0.104	0.106
HadSST3 (море)								
Земной шар	0.154	0.142	0.154	0.166	0.071	0.069	0.071	0.073
Северное полушарие	0.222	0.199	0.226	0.241	0.078	0.075	0.079	0.080
Южное полушарие	0.091	0.089	0.086	0.096	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, в среднем за летний сезон
для Земного шара (ЗШ), Северного (СП) и Южного полушария (ЮП)

Показатель		1976-2021			1922-2021		
		ЗШ	СП	ЮП	ЗШ	СП	ЮП
k ₁	b_{T3288} / b_{HadSST}	1.75	1.41	1.88	1.56	1.50	1.42
	b_{CRUTEM} / b_{HadSST}	1.73	1.40	1.95	1.55	1.46	1.54
k ₂	$b_{СП} / b_{ЮП}$	1976-2021			1922-2021		
		T3288	CRUTEM	HadSST	T3288	CRUTEM	HadSST
		1.84	1.76	2.44	1.23	1.11	1.16
k ₃	$b_{1976-2021} / b_{1922-2021}$	СП			ЮП		
		T3288	CRUTEM	HadSST	T3288	CRUTEM	HadSST
		2.68	2.73	2.85	1.80	1.72	1.36

Из оценок таблицы 3.2 можно сделать следующий вывод.

Во всех рассмотренных случаях оценки всех трех показателей k₁-k₃ больше 1. Это значит, что, как правило, глобальное потепление над сушей протекает быстрее, чем над океанами (k₁=1.4-1.95), в Северном полушарии активнее, чем в Южном (k₂=1.84-2.44) и в последние 56 лет ускорилось в сравнении с минувшим столетием в целом (k₃=1.36 – 2.85). В Северном полушарии средний коэффициент ускорения современного потепления относительно 100-летнего примерно одинаков для континентов и океанов (2.68 – 2.85), а в Южном - коэффициент ускорения заметно выше над сушей (~1.75 против 1.36) и притом существенно ниже, чем в Северном.

4. ВРЕМЕННЫЕ РЯДЫ РЕГИОНАЛЬНО ОСРЕДНЕННЫХ АНОМАЛИЙ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ, 1911-2021 гг. (летний сезон)

Представленные ниже временные ряды (рис. 4.1, 4.2, 4.3) регионально осредненных аномалий 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 плюс отдельно для Европы и Азии). Данные до 1911 г. не приводятся, т.к. представляются недостаточно полными и надежными (особенно над океанами). На всех временных рядах показаны тренды за период 1976-2021 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 1976-2021 гг. (в целом за сезон и по месяцам)

Регион	Лето		Июнь		Июль		Август	
	b	a	b	a	b	a	b	a
<i>HadCRUT4 (суша+море)</i>								
Атлантика (15-70N)	0.199	0.0	0.174	0.0	0.187	0.0	0.234	0.0
Тихий океан (20-65N)	0.244	0.0	0.220	0.0	0.255	0.0	0.258	0.0
Арктический пояс (65-90N)	0.434	0.0	0.497	0.0	0.377	0.0	0.430	0.0
Умеренный пояс СП (25-65N)	0.312	0.0	0.295	0.0	0.311	0.0	0.329	0.0
Тропики (25S-25N)	0.145	0.0	0.146	0.0	0.142	0.0	0.146	0.0
Умеренный пояс ЮП (65-25S)	0.110	0.0	0.117	0.0	0.106	0.0	0.105	0.0
Антарктический пояс (90-65S)	0.131	24.8	-0.028	94.9	0.116	56.0	0.322	6.9
<i>T3288 (только суша)</i>								
Северная Америка	0.276	0.0	0.299	0.0	0.267	0.0	0.264	0.0
Евразия	0.373	0.0	0.387	0.0	0.352	0.0	0.380	0.0
Южная Америка	0.162	0.0	0.195	0.0	0.109	8.2	0.179	0.1
Африка	0.287	0.0	0.320	0.0	0.296	0.0	0.238	0.0
Австралия	0.168	0.2	0.117	20.1	0.277	0.0	0.109	18.2
Антарктида	0.058	72.1	-0.183	21.2	0.133	56.2	0.245	11.6
Европа	0.518	0.0	0.456	0.0	0.523	0.0	0.569	0.0
Азия	0.276	0.0	0.299	0.0	0.267	0.0	0.264	0.0

Условные обозначения. Синим шрифтом выделены ячейки с отрицательным трендом (тенденция к похолоданию). Оценки с уровнем значимости $\alpha \geq 5\%$ выделены заливкой серого цвета. Их доверительная вероятность менее 95%, т.е. они на 5%-м уровне статистически не значимы. Остальные оценки, как показывает таблица, все статистически значимы на 1%-м уровне ($\alpha \leq 1\%$)

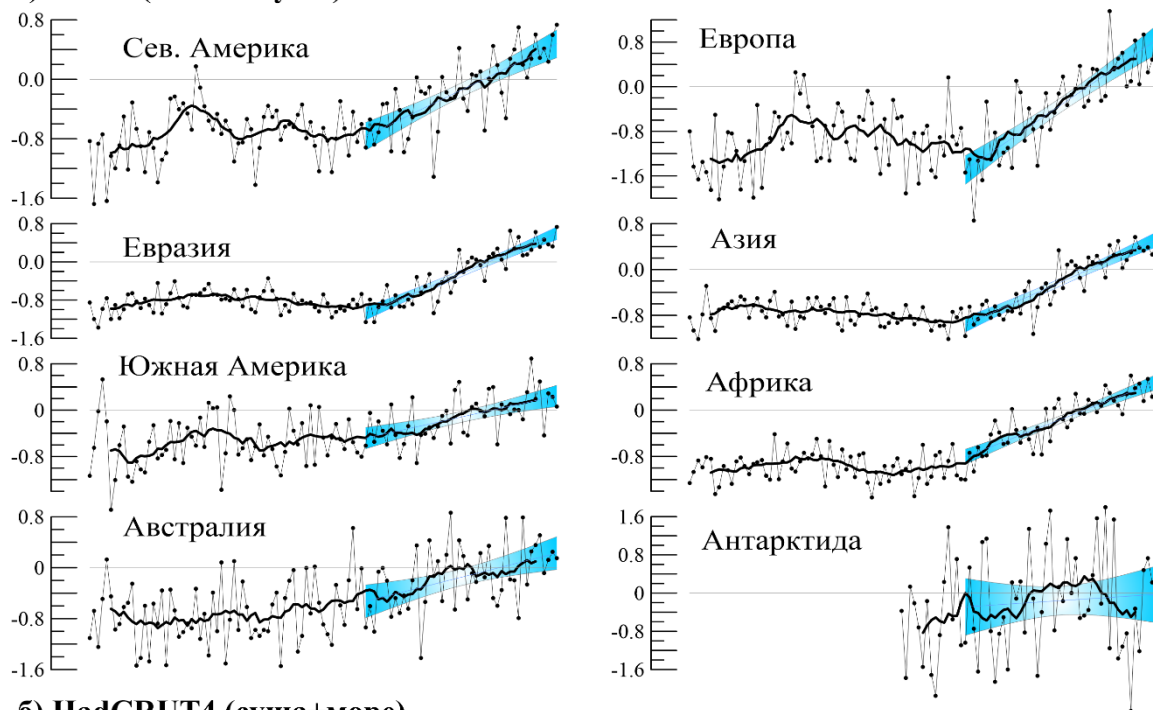
Оценки тренда температуры в таблице 4.1 уверенно указывают на тенденцию к потеплению летних сезонов (в среднем по территории региона), в целом по Земному шару и полушариям, а также во всех рассмотренных крупных регионах (широтных поясах, северных океанах и всех континентах), кроме Южной полярной области. В Антарктическом поясе (и в Антарктиде) оценки линейного тренда статистически не значимы даже на 20%-, 50%- и 70%-м уровнях, как в целом за сезон, так и в отдельные месяцы. В июне они формально указывают на тенденцию к похолоданию, но наличие ненулевого линейного тренда отвергается с чрезвычайно высокой уверенностью (94.9% против 5.1% !!). В отдельные месяцы к ним добавляются Австралия (июнь, август) и Южная Америка (июль).

Таким образом, регионы наиболее интенсивного потепления летних сезонов – Европа (+0.518, максимум в августе +0.569 $^{\circ}\text{C}/10 \text{ лет}$) и Арктический широтный пояс

($+0.434$, максимум в июне $+0.497$ °C/10 лет). Наименее выражено потепление на континентах Южного полушария – в Антарктиде, Австралии и Южной Америке.

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 и их изменении в табл. 4.1.

а) T3288 (только суша)



б) HadCRUT4 (суша+море)

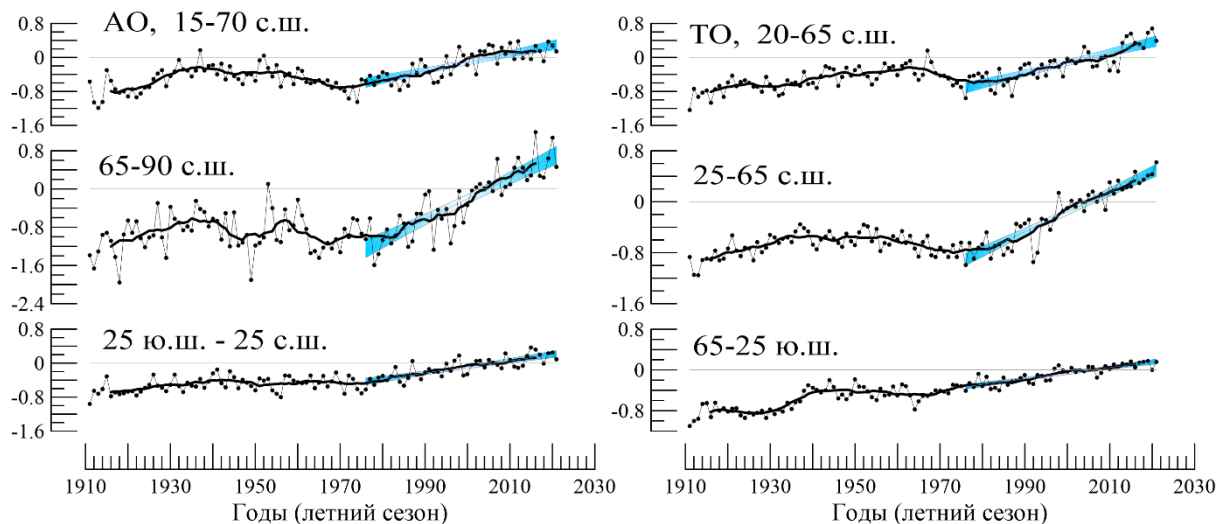


Рисунок 4.1 – Временные ряды пространственно осредненных аномалий приземной температуры летнего сезона: (а) для континентов; (б) для северных частей Атлантического и Тихого океанов и основных широтных поясов земного шара.

Расчеты выполнены по методике ИГКЭ по данным T3288 (для континентов, а) и HadCRUT4 (для океанов и широтных поясов, б). Аномалии приведены в отклонениях от средних за 1991–2020 гг. Сглаженные кривые (жирная линия) получены 11-летним скользящим осреднением. Показан линейный тренд за 1976–2021 гг. с 95%-м достоверным интервалом (голубая заливка).

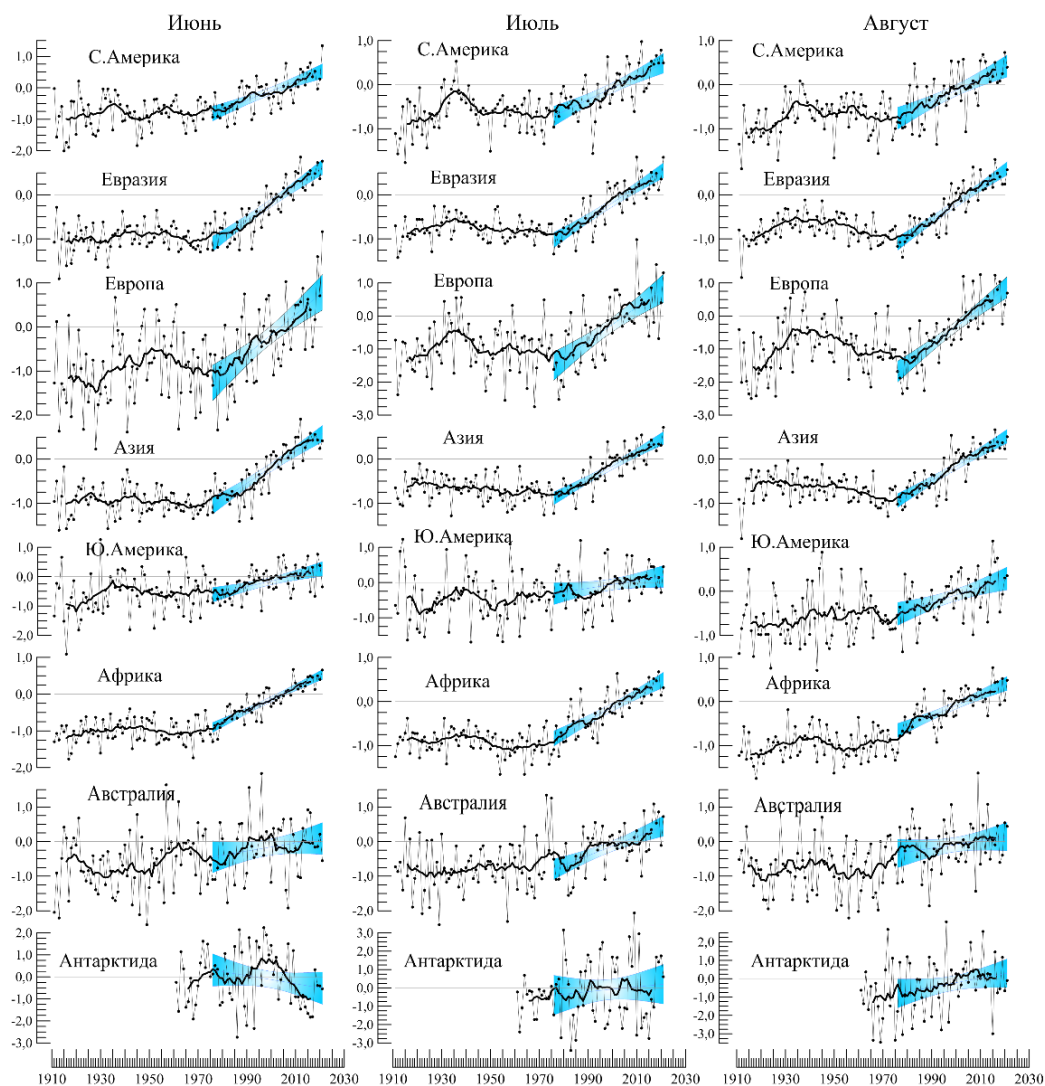


Рисунок 4.2 – См. рис. 4.1. но для аномалий летних месяцев и только для континентов. Расчеты выполнены по методике и данным ИГКЭ. Использован массив станционных данных Т3288.

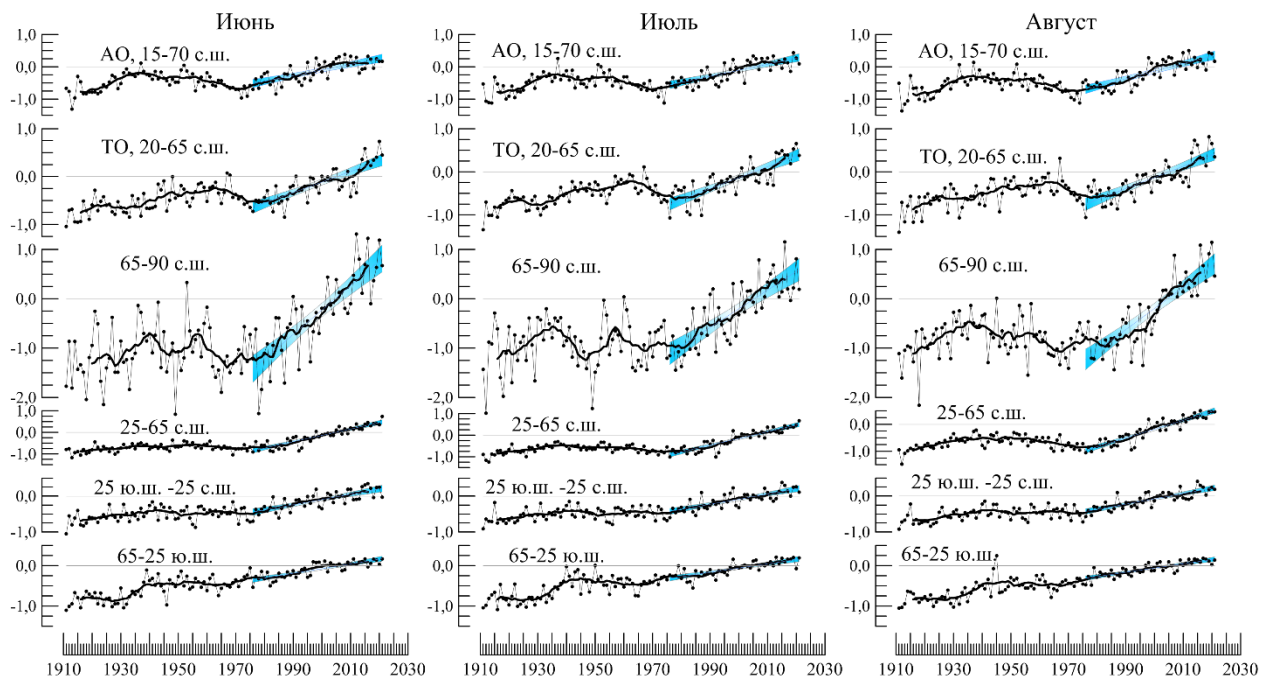


Рисунок 4.3 – См. рис. 4.2., но для океанов и широтных поясов земного шара. Использованы сеточные данные Hadley/CRU (HadCRUT4, суша+море). Расчеты выполнены по методике ИГКЭ.

5. ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА, 1976-2021 гг. (летний сезон)

Ниже приведены географические распределения коэффициентов линейного тренда аномалий приповерхностной температуры за 1976-2021 гг. для летнего сезона (рис. 5.1) и каждого летнего месяца (рис. 5.2). Использованы данные наблюдений на 2592 станциях (массив T3288) и в центрах 1607 боксов (массив HadCRUT4). В таблице 5.1 приведено их количественное распределение по категориям в зависимости от географического региона, направленности тренда и его уровня значимости. В таблице указано реальное число станций/боксов, учтенных в расчетах в каждой конкретной выборке. Аналогичные оценки для отдельных месяцев приведены в таблице 5.2.

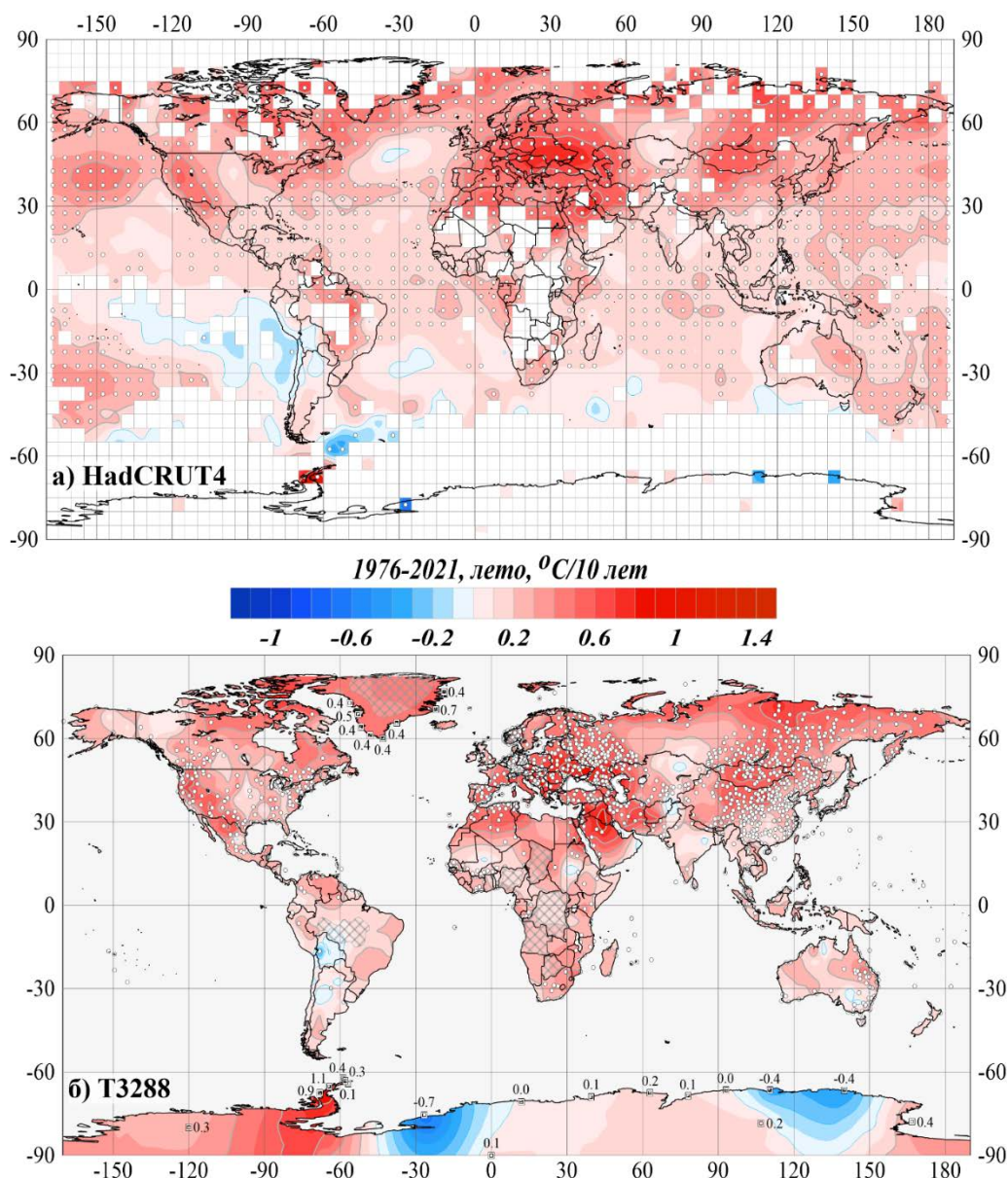


Рисунок 5.1 – Пространственное распределение сезонных (лето) оценок локальных коэффициентов линейного тренда приземной температуры за период 1976-2021 гг. ($^{\circ}\text{C}/10$ лет)

Использованы данные: а) HadCRUT4 - сеточные данные Hadley/CRU, UK (суша+море); б) T3288 – станционные данные ИГКЭ (только суша). Пустыми боксами (5.1а) и штриховкой (5.1б) 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.

Факт продолжающегося глобального потепления обсуждался выше (гл. 3-4) с привлечением доступных оценок для Земного шара, Северного и Южного полушарий, отдельных широтных поясов, континентов и северных океанов. В данном разделе анализируются локальные оценки трендов и региональные особенности текущего состояния глобального потепления летних сезонов.

Таблица 5.1 – Распределение локальных оценок тренда (лето) в крупных регионах Земного шара по знаку коэффициента тренда **b** и уровню статистической значимости **α**

Регион		NN	b<0			b=0	b>0		
			всего	$\alpha \leq 5\%$	$\alpha \geq 10\%$		всего	$\alpha \leq 5\%$	$\alpha \geq 10\%$
T3288 (только суша)									
Земной шар		2592	4.7	0.6	4.0	0.7	94.6	74.1	15.7
Северное полушарие		2199	2.5	0.4	2.1	0.3	97.3	79.4	13.1
Южное полушарие		394	17.5	2.0	14.7	2.8	79.7	44.7	30.2
Северная Америка		447	3.6	0.9	2.7	0.4	96.0	65.8	23.0
Евразия		1514	1.8	0.1	1.7	0.1	98.1	83.4	10.8
Южная Америка		117	23.9	5.1	17.9	6.0	70.1	19.7	44.4
Африка		151	5.3	0.7	4.6	0.7	94.0	80.1	12.6
Австралия		163	19.6	0.6	19.0	2.5	77.9	46.6	24.5
Антарктида		18	16.7	11.1	-	-	83.3	16.7	55.6
Европа		547	0.2	-	0.2	-	99.8	92.0	4.9
Азия		976	2.7	0.2	2.5	0.2	97.1	78.7	14.0
Арктика, 65-90N (суша)		155	1.3	-	1.3	0.6	98.1	85.8	9.0
HadCRUT4 (суша+море)									
Земной шар		1607	6.0	0.9	4.9	0.7	93.2	71.7	16.6
Северное полушарие		960	0.7	-	0.7	0.1	99.2	85.3	9.3
Южное полушарие		647	13.9	2.2	11.1	1.7	84.4	51.6	27.4
Атлантика, 15-70N		136	1.5	-	1.5	-	98.5	86.0	8.1
Тихий океан, 20-65N		152	-	-	-	-	100.0	99.3	-
Широтные пояса	90-65N	99	1.0	-	1.0	-	99.0	90.9	6.1
	65-25N	541	0.6	-	0.6	-	99.4	86.9	7.6
	25S-25N	637	6.0	0.3	5.2	0.6	93.4	72.2	16.5
	25-65S	316	16.5	2.8	13.3	2.5	81.0	41.5	33.2
	65-90S	14	21.4	21.4	-	-	78.6	14.3	64.3

Примечание. Таблица обобщает распределение оценок на рис. 5.1. Процентное содержание рассчитано относительно NN (NN - общее количество станций/боксов в регионе). В столбце « $\alpha \leq 5\%$ » приведена доля оценок, статистически значимых на 5%-м уровне; в столбце « $\alpha \geq 10\%$ » - доля оценок, статистически не значимых даже на 10%-м уровне.

На большей части Земного шара продолжается потепление летних сезонов – 94.6% станций (93.2% боксов) показывают положительные тренды (табл. 5.1, рис. 5.1). Наиболее интенсивно оно протекает в центральной и юго-восточной Европе 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 боксов тренд положительный, в том числе 90.9% оценок статистически значимы на 5%-уровне. Этот вывод согласуется и с региональными оценками трендов в

таблице 4.1. Дополнительно отметим, что из 155 наземных станций, расположенных в этом широтном поясе, ни на одной отрицательный тренд не был статистически значимым хотя бы на 5% уровне, и что положительный тренд на ряде станций превысил отметку $+1.0^{\circ}\text{C}/10$ лет.

Тенденция к похолоданию обнаружена лишь на 123 из 2592 станций (97 боксах из 1607), но статистически значимых хотя бы на 5%-уровне среди них только 16 (боксов – 14). Отметим, что эти 16 станций равномерно разделились по двум полушариям (по 8 в каждом), 6 из них расположены в Южной Америке. С другой стороны, 14 боксов с отрицательными трендами все находятся в Южном полушарии (у восточного побережья Южной Америки и в Антарктиде).

Следует обратить внимание и на значительные области «околонулевых» трендов (до $0.2^{\circ}\text{C}/10$ лет) на континентах: Евразия, Индия, Северная и Южная Америки, Австралия. Как и области отрицательных трендов, 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).

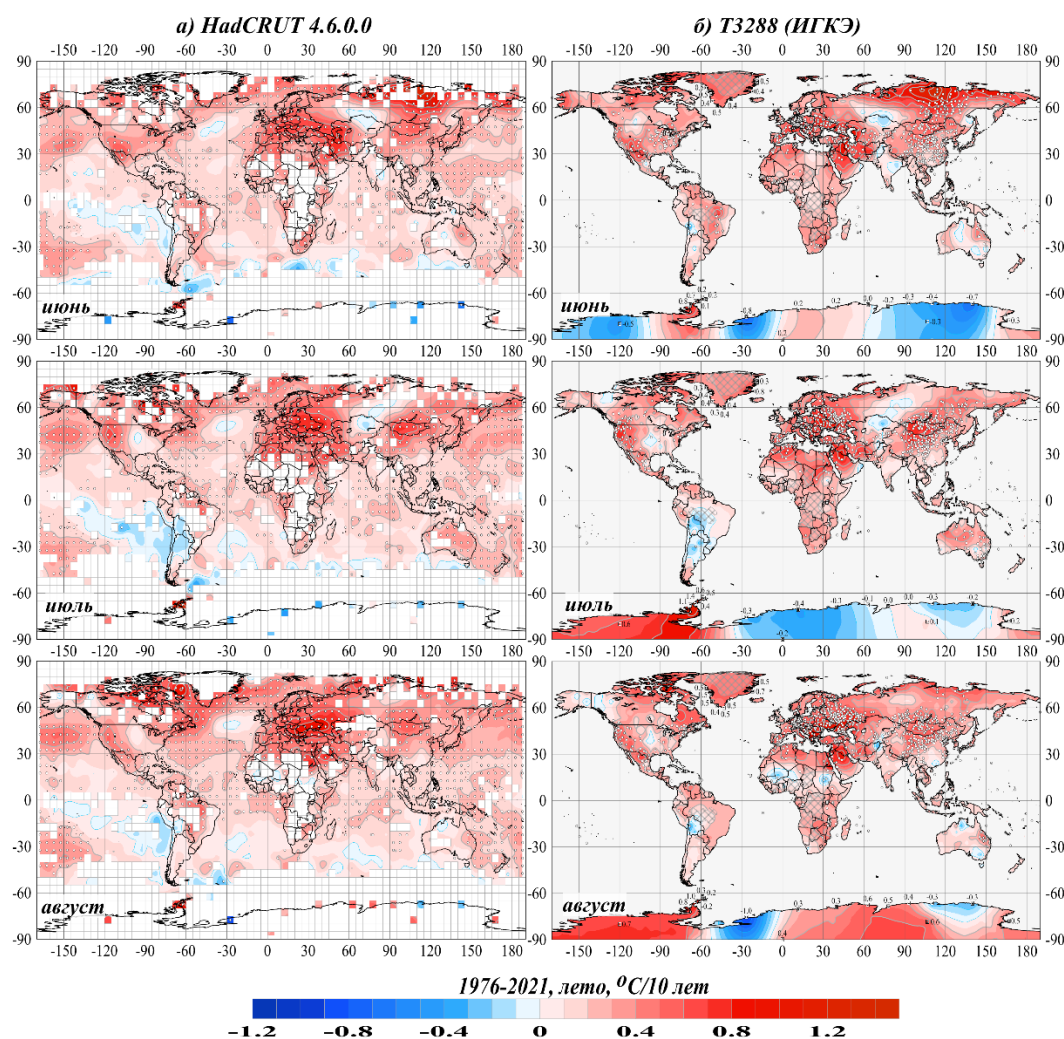


Рисунок 5.2 – См. рис. 5.1., но для коэффициентов тренда среднемесячных аномалий температуры весенних месяцев.

Таблица 5.2 –Доля статистически значимых оценок тренда ($\alpha \leq 5\%$) каждого знака в отдельные месяцы сезона, 1976-2021 гг. (% от N)

Регион	NN	F ($\alpha \leq 5\%$), %					
		Июнь		Июль		Август	
		b <0	b >0	b <0	b >0	b <0	b >0
HadCRUT4 (суша+море)							
Земной шар	1607	0.3	56.8	0.4	59.1	0.4	63.8
С. полушарие	960	0.1	67.6	-	72.3	0.1	79.5
Южн. полушарие	647	0.6	40.8	1.1	39.6	0.9	40.6
Атлантика (15-70N)	136	-	66.9	-	71.3	-	86.0
Тихий океан (20-65N)	152	-	80.9	-	96.1	-	94.7
90-65N	99	-	71.7	-	58.6	-	96.0
65-25N	541	-	69.1	-	77.8	-	80.2
25S-25N	637	0.2	55.6	0.6	58.6	0.5	62.5
25-65S	316	0.9	35.4	0.9	30.4	0.9	30.7
65-90S	14	7.1	14.3	-	14.3	7.1	14.3
T3288 (только суша)							
Земной шар	2592	0.3	57.6	0.3	57.6	0.9	62.2
Северное полушарие	2199	0.2	61.7	0.2	60.8	0.7	67.9
Южное полушарие	394	1.0	34.8	0.8	40.1	2.0	29.9
Северная Америка	447	0.4	50.3	0.7	46.5	0.4	49.0
Евразия	1514	0.1	64.0	-	63.5	0.3	73.6
Южная Америка	117	2.6	34.2	3.4	12.0	4.3	13.7
Африка	151	-	70.2	-	74.2	4.6	60.9
Австралия	163	0.6	22.7	-	46.6	1.8	25.2
Антарктида	18	5.6	11.1	-	22.2	5.6	11.1
Европа	547	-	62.2	-	74.4	-	86.1
Азия	976	0.1	65.3	-	57.5	0.5	66.8
Арктика (65-90N, суша)	155	-	74.2	-	42.6	-	61.3

Примечание. Таблица обобщает распределение оценок на рисунке 5.2. Процентное содержание F($\alpha \leq 5\%$) рассчитано относительно NN (NN - общее количество станций в регионе).

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Летний сезон 2021 года оказался четвертым в упорядоченных по убыванию рядах температуры для Земного шара и Северного полушария (HadCRUT4, суша+море), и рекордно теплым – в рядах для территории суши (T3288 и CRUTEM4). В среднем по Южному полушарию летний сезон оказался на шестом месте по данным для всей территории (HadCRUT4, суша+море), на четвертом – для территории суши (T3288 и CRUTEM4) и на седьмом – для акваторий южных океанов.

Сезонная аномалия приповерхностной температуры (лето 2021 г.), осредненная по территории суши Земного шара, Северного и Южного полушарий, составляет 0.50, 0.56 и 0.32°C по данным T3288 (ИГКЭ) и 0.48, 0.57, 0.32°C по данным HadCRUT4 (Hadley/CRU)⁸.

2. Сезонные аномалии, осредненные по территории крупных регионов Земного шара (континенты, океаны, широтные пояса), почти все превысили уровень 90-го процентиля (кроме континентов Южного полушария и Южной полярной области). В умеренном широтном поясе [25, 65N] лето было рекордно теплым за счет рекордно теплых северных континентов (Северная Америка и Евразия: на обоих аномалия +0.73°C, ранг 1) и очень теплых условий в северной части Тихого океана (средняя по акватории аномалия 0.39°C, ранг5).

3. Крупные положительные аномалии были сосредоточены на континентах Северного полушария в течение всего сезона. В Северной Америке они охватили большую часть территории США и континентальной территории Канады с прилегающими акваториями Тихого и Атлантического океанов. В Евразии – это вся Европа, кроме Португалии, Испании и, частично, Франции, и большая часть Азии.

Еще одна особенность сезона – наличие в течение всех трех месяцев больших областей с отрицательными аномалиями температуры, хотя и не столь экстремальными. Области отрицательных аномалий в этом сезоне есть и на суше (практически на всех континентах), и на акваториях Мирового океана. Наиболее значительные из них расположены в Южном полушарии (Антарктида и Южная полярная область в целом).

4. Межмесячные различия в характере температурных условий связаны, главным образом, с изменением локализации и интенсивности очагов аномалий. Температурные условия в июне очень близки к сезонным, но аномалии более интенсивны. В Европе июньские аномалии превысили уровень 95-го процентиля на более половины всех станций (50.6%). В дальнейшем площадь под положительными аномалиями на суше Северного полушария сокращалась, и в августе отрицательные аномалии охватили значительную территорию Канады и США, практически всю Европу (западнее 30-го меридиана), северо-восток России, Монголию, Китай и юго-восточную Азию, а также западный сектор Антарктиды.

5. 10. На большей части Земного шара продолжается потепление летних сезонов – около 94.6% станций (93.2% боксов) показывают положительные тренды. Регионы наиболее интенсивного потепления – Арктика (65-90N) и Европа: средняя скорость потепления летних сезонов в течение 1976-2021 гг. составила +0.43 и +0.52 °C/10 лет, соответственно. Локальные оценки достигают максимально +0.90, +0.97 °C/10 лет.

6. Тенденция к похолоданию обнаружена лишь на 5% всех станций (123 из 2592). Из них статистически значимых хотя бы на 5%-м уровне всего 0.8% (16 станций). В поле

⁸ Здесь и далее значения аномалий приводятся в отклонениях от среднего за 1991-2020 гг.

локальных коэффициентов тренда (рис. 5.1) обнаруживаются также значительные области околонулевых значений (значения до $0.2^{\circ}\text{C}/10$ лет получены на 740 станциях из 2592, т.е. 28.5%). Они расположены, в основном, на континентах: Евразия, Индия, Северная и Южная Америки, Австралия. Как и области отрицательных трендов, при определенной динамике они могут стать признаками возможного ослабления глобального потепления.

7. Современное потепление летних сезонов (1976-2021) ускорилось по сравнению со 100-летним примерно в 2.7-2.9 раз в Северном полушарии и только в 1.4-1.8 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 (~1.75 против 1.36).