

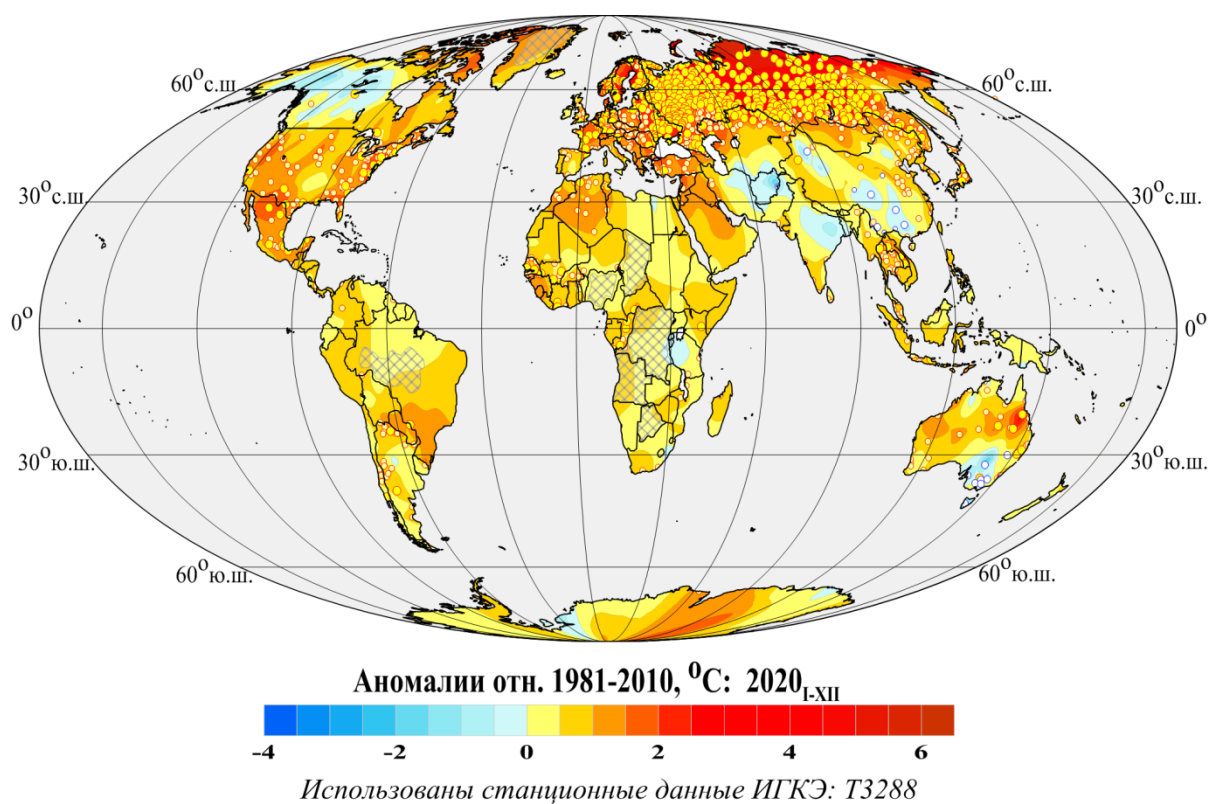
Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу
окружающей среды

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

Бюллетень мониторинга изменений климата Земного шара

Приземная температура – 2020

Годовой обзор



Москва 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ^{1,2}

1. ВВЕДЕНИЕ	3
2. ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ У ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМНОГО ШАРА В 2020 году. ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ АНОМАЛИИ	6
3. КРУПНОМАСШТАБНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ЗЕМНОГО ШАРА ЗА ПЕРИОД ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ 1850-2020 гг.	17
4. ВРЕМЕННЫЕ РЯДЫ РЕГИОНАЛЬНО ОСРЕДНЕННЫХ АНОМАЛИЙ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ, 1911-2020 гг.	22
5. ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА, 1976-2020 гг.	27
6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ	32

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 среднегодовых аномалий температуры приземного воздуха над сушей Земного шара: 2020 год (январь-декабрь). Использованы станционные данные ФГБУ «ИГКЭ»: Т3288

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящем бюллетене представлены данные о климатических аномалиях температурного режима 2020 года у поверхности земного шара и обновленные (с учетом этих данных) оценки тенденций в его изменении в течение 1976–2020 гг. Оценки приведены для года в целом и каждого из сезонов (зима, весна, лето, осень).

Бюллетень подготовлен в рамках оперативного мониторинга климата GCCM (Global Climate Change Monitoring) 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 сводок КЛИМАТ, СИНОП).

Параллельно в бюллетене приводятся оценки по данным о приповерхностной температуре (температура приземного воздуха над сушей и поверхностного слоя воды на акваториях океанов) на глобальной 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, базовым массивом для оценки состояния температурных условий на суше земного шара служит массив T3288, а массив HadCRUT4 используется для создания полной картины над сушей и океанами. Глобальные временные ряды HadCRUT4, CRUTEM4, HadSST3 приводятся непосредственно по данным производителя как информация из альтернативного источника. В соответствии с рекомендацией ВМО⁵, все основные оценки приводятся в аномалиях температуры относительно базового периода 1981-2010. Термины «приземная температура» и «приповерхностная температура» рассматриваются в бюллетене как синонимы. Развернутый комментарий к материалам бюллетеня с описанием используемых источников, сети станций и элементов методики размещен на сайте ИГКЭ⁶

Дополнительно отметим, что с настоящего времени, в связи с существенным сокращением объема поступающих с каналов связи оперативных климатических наблюдений (сводки КЛИМАТ), в технологию GCCM введена дополнительная процедура расчета недостающих данных КЛИМАТ (температура приземного воздуха, осадки) по данным соответствующих синоптических наблюдений (СИНОП).

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 глобально осредненных 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 13.01.2021.

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). – http://climatechange.igce.ru /index.php?option=com_docman &task=doc_download&gid=220 &Itemid=76&lang=ru

Сравнение глобальных временных рядов температуры приземного воздуха по данным массивов T3288 (ИГКЭ) и CRUTEM4 (Hadley/CRU). Цель сравнения: с одной стороны – убедиться в репрезентативности массива T3288, с другой – оценить меру неопределенности оценок, полученных с использованием единой системы наблюдений, но разных методов и технологий сбора данных, их обработки и анализа. Близость рядов примерно с середины прошлого столетия четко видна уже визуально (рис. 1.1). Количественные оценки (статистические характеристики попарных разностей) по данным за 1976-2020 гг. (период современного глобального потепления) и 1920-2020 гг. (последнее столетие) приведены в таблице 1.1 для Земного шара, Северного и Южного полушарий (только суша!).

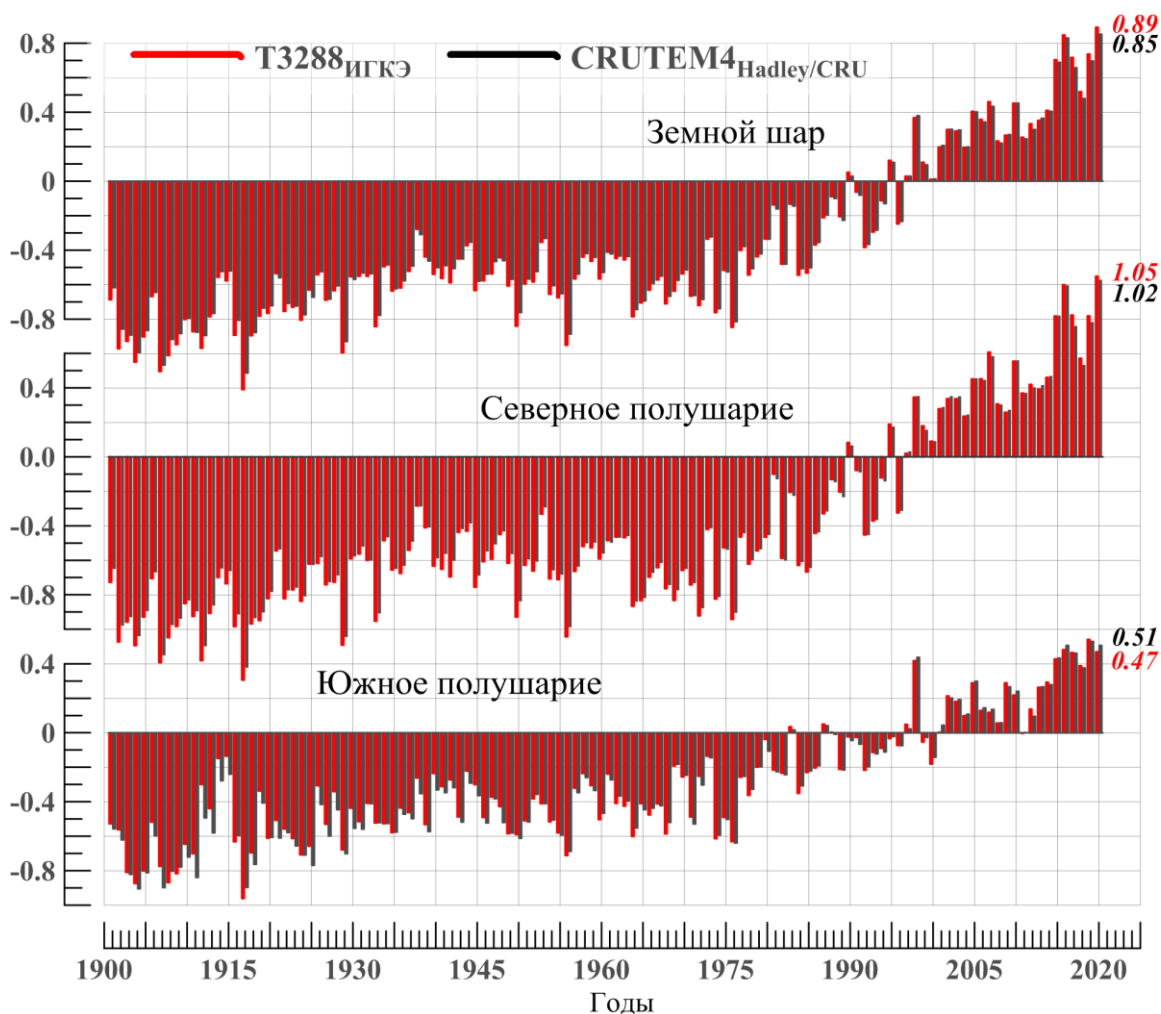


Рисунок 1.1 – Временные ряды пространственно осредненных годовых аномалий температуры приземного воздуха ($^{\circ}\text{C}$) над сушей Земного шара, Северного и Южного полушарий. *Использованы временные ряды, рассчитанные по данным массива T3288 (ИГКЭ) и глобальные временные ряды CRUTEM4 (Hadley/CRU), 1901-2020 гг.*

Среднее различие рядов за 1921-2020 гг. не превышает 0.02°C , а за последние 45 лет и вовсе пренебрежимо мало. Стандартное отклонение различий за эти периоды ($0.02\text{--}0.04^{\circ}\text{C}$) на порядок ниже стандартного отклонения самих рядов ($0.26\text{--}0.51^{\circ}\text{C}$). Максимальные различия за период с 1976 г. не превышали 0.07°C , а в целом за столетие 0.12°C . 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) (табл. 1.1).

Таблица 1.1 – Оценки близости/различия глобальных временных рядов T3288 (ИГКЭ) и CRUTEM4 (Hadley/CRU) в среднем 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	0.999	0.996	0.999	0.999	0.993
Среднее различие, °C	0.004	0.003	-0.001	-0.013	-0.017	0.013
СКО (сигма) различий, °C	0.021	0.020	0.023	0.029	0.029	0.038
Среднее абсолютное различие, °C	0.017	0.016	0.018	0.025	0.025	0.029
Макс. абсолютное различие, °C	0.059	0.065	0.068	0.082	0.094	0.117
Разность коэфф. тренда, °C/10лет	0.010	0.006	-0.002	0.005	0.006	-0.007
СКО T3288, °C	0.414	0.487	0.260	0.446	0.507	0.315
СКО CRUTEM4, °C	0.399	0.478	0.259	0.427	0.488	0.324

Таким образом, статистические оценки изменчивости температуры приземного воздуха по данным массива T3288 (в данном случае – среднегодовым), очень близки к оценкам по данным всемирно признанного массива CRUTEM4. Для каждого из сезонов аналогичные оценки с тем же заключением представлены в соответствующих выпусках сезонных бюллетеней.

Интересно проследить характер изменений глобальной температуры в последние годы, начиная с момента ее последнего максимума после двукратного скачкообразного повышения в 2015–2016 гг. (рис. 1.1, табл. 1.2). Можно видеть, что в 2017 и 2018 гг. произошло заметное понижение температуры на суше обоих полушарий, но к 2020 году температурный рекорд 2016 года практически восстановился (в Северном полушарии он слегка превышен). При этом как понижение, так и последующее повышение температуры особенно существенны в Северном полушарии, тогда как в Южном полушарии они менее определены.

Отметим, что как выводы, так и оценки для индивидуальных лет (табл. 1.2) по данным T3288 и CRUTEM4 хорошо согласуются между собой (расхождения не более $\pm 0.05^{\circ}\text{C}$).

Таблица 1.2 – Изменения глобальной температуры после максимума в 2016 г. (в среднем по территории суши Земного шара и полушарий)

Период	T3288, °C (ИГКЭ)			CRUTEM4, °C (Hadley/CRU)		
	ЗШ	СП	ЮП	ЗШ	СП	ЮП
2016 (max)	0.848	0.998	0.483	0.831	0.993	0.507
2017-2016	-0.130	-0.176	-0.017	-0.172	-0.236	-0.045
2018-2017	-0.198	-0.251	-0.077	-0.179	-0.226	-0.085
2019-2018	0.218	0.246	0.153	0.217	0.248	0.153
2020-2019	0.155	0.230	-0.072	0.156	0.246	-0.023
2018-2016	-0.328	-0.427	-0.094	-0.351	-0.462	-0.130
2020-2016	0.045	0.049	-0.013	0.022	0.032	0.000

2. ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ У ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМНОГО ШАРА в 2020 ГОДУ. ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ АНОМАЛИИ

В соответствии с полученными оценками (табл. 2.1), в целом по Земному Шару 2020 год был вторым среди самых теплых лет (после 2016), на территории суши – первым, а на акваториях Мирового океана – четвертым. В Северном полушарии по всем вариантам данных (суша, море, суша+море) 2020 год был самым теплым, в Южном полушарии по тем же данным – вторым-третьим, девятым и шестым, соответственно.

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

Ранг	ЗШ		СП		ЮП	
	VT, °C	Год	VT, °C	Год	VT, °C	Год
HadCRUT4 (Hadley/CRU, суша+море)						
1	0.504	2016	0.756	2020	0.308	2016
2	0.475	2020	0.701	2016	0.279	2019
3	0.470	2015	0.670	2015	0.274	2015
4	0.443	2019	0.609	2019	0.242	1998
5	0.384	2017	0.559	2017	0.211	2017
6	0.304	2018	0.426	2018	0.198	2020
T3288 (ИГКЭ, суша)						
1	0.893	2020	1.047	2020	0.542	2019
2	0.848	2016	0.998	2016	0.483	2016
3	0.738	2019	0.822	2017	0.470	2020
4	0.718	2017	0.817	2019	0.466	2017
5	0.705	2015	0.816	2015	0.429	2015
CRUTEM4 (Hadley/CRU, суша)						
1	0.853	2020	1.025	2020	0.530	2019
2	0.831	2016	0.993	2016	0.507	2020
3	0.697	2019	0.817	2015	0.507	2016
4	0.690	2015	0.779	2019	0.462	2017
5	0.659	2017	0.757	2017	0.438	1998
HadSST3 (Hadley/CRU, море)						
1	0.408	2016	0.618	2020	0.291	2016
2	0.387	2015	0.535	2019	0.230	2015
3	0.377	2019	0.535	2016	0.229	2019
4	0.374	2020	0.526	2015	0.199	1998
5	0.300	2017	0.439	2017	0.19	2017

Примечание. По температуре поверхностного слоя воды на акваториях ЮП, 2020 год занял 9-е место среди наиболее теплых лет, из которых первые 5 приведены в таблице; за ними следуют: 2010, 2018, 2009 и 2020 гг. с аномалиями 0.167, 0.166, 0.166, 0.159°C, соответственно

Географическое распределение среднегодовых аномалий приведено на рис. 2.1. В таблице 2.2 представлены значения и ранги пространственно осредненных аномалий для крупных регионов мира (Земной шар, полушария, континенты, океаны и основные широтные пояса). В таблице 2.3 для них же приведены частотные распределения локальных аномалий по знаку и степени экстремальности, а в таблицах 2.4 и 2.5 - ход среднемесячных аномалий в течение года и месяцы с экстремальными аномалиями (ранг не выше третьего).

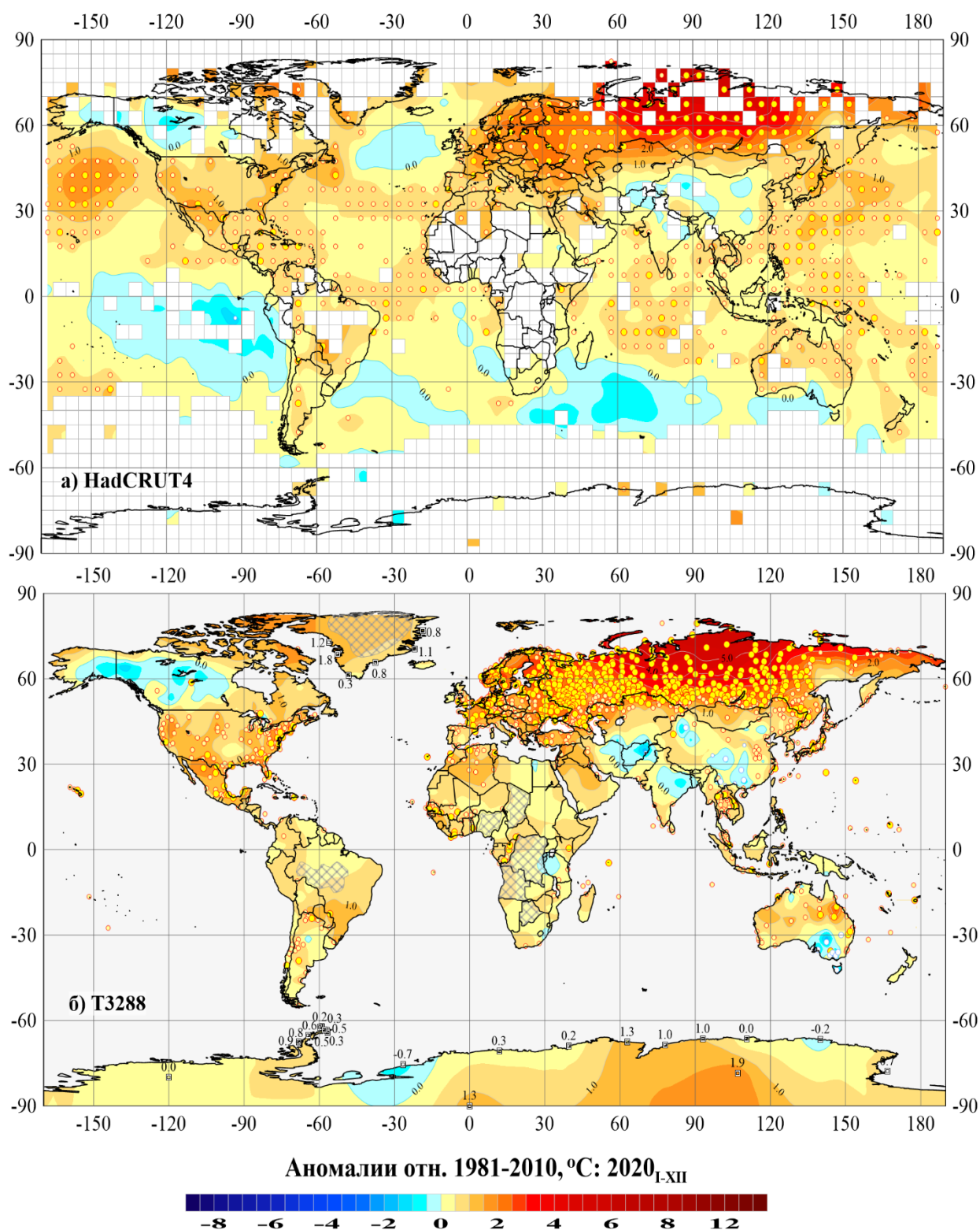


Рисунок 2.1 – Пространственное распределение среднегодовых аномалий приземной температуры (°C) на территории Земного шара в 2020 г.: а) по сеточным данным HadCRUT4 (Hadley/CRU, UK); б) по станционным данным T3288 (ИГКЭ).

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.

В соответствии со среднегодовыми оценками (рис. 2.1, табл. 2.3), в 2020 г. на территории Земного шара преобладали положительные аномалии температуры (более 82-88% всех наблюдений по данным HadCRUT4/T3288). Среди них 38-49% оказались выше 95-го перцентиля (5%-е экстремумы тепла), в том числе 12-24% стали для своих пунктов рекордными. Из континентов выделяется Евразия: 60% значений выше 95-го перцентиля, из них 34% - абсолютные максимумы; из широтных поясов – северные умеренные широты (за счет рекордно теплых Евразии и Тихого океана).

Из сезонов рекордно теплыми были: в Южной Америке – весна и осень, в Австралии – только осень, а в регионах северного полушария – все сезоны года, кроме лета. К ним относятся: Тихий океан (20-65 с.ш.) и Евразия, пояс умеренных широт в целом, а также порознь Европа, и Азия (табл. 2.2).

Таблица 2.2. Регионально осредненные значения аномалии приземной температуры в 2020 г. и их вероятности превышения (в среднем за год и в каждом из сезонов)

Регион	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	vT	F%	vT	F%	vT	F%	vT	F%	vT	F%
HadCRUT4 (суша+море)										
Земной шар	0.48	99	0.64	99	0.55	99	0.42	97	0.42	98
Северное полушарие	0.76	100	0.96	99	0.79	99	0.67	99	0.71	99
Южное полушарие	0.20	95	0.33	99	0.30	96	0.17	95	0.14	91
Атлантика (15-70N)	0.48	99	0.51	98	0.51	100	0.47	96	0.49	96
Тихий океан (20-65N)	0.85	100	0.61	100	0.73	100	0.96	100	1.05	100
Арктический пояс (65-90N)	1.94	99	1.59	95	2.04	98	1.52	99	2.26	99
Умеренный пояс СП (25-65N)	0.90	100	1.31	100	0.92	100	0.74	99	0.87	100
Тропики (25S-25N)	0.40	98	0.49	97	0.51	99	0.39	98	0.26	92
Умеренный пояс ЮП (65-25S)	0.14	86	0.19	95	0.19	94	0.10	84	0.14	90
Антарктический пояс (90-65S)	0.53	95	0.29	91	0.53	81	0.53	84	1.02	95
IGCE-T3288 (суша)										
Земной шар	0.89	100	1.28	100	0.95	99	0.62	99	0.87	100
Северное полушарие	1.05	100	1.58	100	1.16	99	0.70	98	0.96	100
Южное полушарие	0.47	98	0.57	98	0.42	95	0.43	95	0.68	100
Северная Америка	0.78	94	1.23	93	0.32	83	0.88	99	0.54	84
Евразия	1.32	100	2.36	100	1.70	100	0.66	95	1.23	100
Южная Америка	0.57	99	0.43	97	0.81	100	0.44	92	0.77	100
Африка	0.58	96	0.53	92	0.74	95	0.45	93	0.41	89
Австралия	0.50	92	1.06	99	-0.10	70	0.42	90	1.41	100
Антарктида	0.43	88	0.70	99	0.74	86	0.31	78	0.49	80
Европа	1.85	100	4.39	100	1.20	94	0.90	95	1.83	100
Азия	1.18	100	1.82	100	1.83	100	0.58	93	1.05	98
CRUTEM4 (суша)										
Земной шар	0.85	100	1.27	100	0.89	99	0.62	99	0.84	100
Северное полушарие	1.03	100	1.59	100	1.12	99	0.68	97	0.92	100
Южное полушарие	0.51	99	0.63	99	0.44	96	0.49	97	0.69	100

Условные обозначения.

1. vT , °C – наблюденная аномалия в 2020 году (базовый период 1981-2010 гг.);
2. F% – значение эмпирической функции распределения $F=\text{prob}(X \leq vT_{2020})$ по данным за 1911-2020 гг. (вероятность превышения)
3. Красным шрифтом выделены абсолютные максимумы (наибольшие из всех значений ряда за 1911-2020 гг.), синим - отрицательные аномалии (в 2020 г. – отсутствуют)

Отрицательные сезонные аномалии наблюдались и на суше, и на акваториях океанов. На суше они зафиксированы на континентах северного полушария (Канада, юг Евразии) и в очень небольших областях на юге Австралии и в Антарктиде (в районе Земли Котса). На акваториях океанов отмечены в Северной Атлантике (в районе Исландской котловины) и в океанах южного полушария: в восточной части Тихого океана и на юге Атлантического и Индийского океанов.

Таблица 2.3 – Частотное распределение локальных среднегодовых аномалий для крупных регионов Земного шара в 2020 г. по данным массивов HadCRUT4 и T3288 (все значения приведены в процентах от NN)

(все значения приведены в процентах от NN)

Регион	NN	Число значений в каждой категории (в % от NN)						
NN- число боксов/станций в регионе		Аномалии (отн. 1981-2010 гг.)			5%-е экстремумы холода/тепла		Абсолютные экстремумы	
		$V < 0$	$V = 0$	$V > 0$	$X \leq P_{05}$	$X \geq P_{95}$	$X = \min$	$X = \max$
HadCRUT4 (суша+море)								
ЗШ	1538	13.2	5.1	81.7	0.1	38.0	0.0	11.8
СП	908	5.3	3.1	91.6	0.0	50.0	0.0	16.7
ЮП	630	24.6	8.1	67.3	0.2	20.6	0.0	4.6
65-90N	79	2.5	2.5	94.9	0.0	39.2	0.0	24.1
25-65N	526	6.8	4.0	89.2	0.0	50.6	0.0	19.2
25S-25N	606	10.9	4.1	85.0	0.2	41.9	0.0	9.7
65-25S	315	30.8	9.2	60.0	0.0	10.2	0.0	0.6
90-65S	12	16.7	16.7	66.7	0.0	8.3	0.0	0.0
T3288 (только суша)								
ЗШ	2500	9.5	2.4	88.1	0.7	49.0	0.5	23.6
СП	2145	8.4	1.9	89.7	0.5	52.8	0.2	26.7
ЮП	356	16.3	5.6	78.1	2.2	26.4	2.2	5.3
С. Америка	421	15.7	1.0	83.4	0.0	32.1	0.0	8.1
Евразия	1458	7.0	2.1	90.9	0.7	59.6	0.3	34.4
Ю. Америка	103	4.9	3.9	91.3	0.0	26.2	0.0	3.9
Африка	126	6.3	4.0	89.7	0.0	46.8	0.0	15.1
Австралия	145	32.4	6.2	61.4	5.5	22.1	5.5	4.8
Антарктида	18	11.1	11.1	77.8	5.6	5.6	0.0	0.0
Европа	518	0.0	0.6	99.4	0.0	86.9	0.0	54.1
Азия	949	10.7	2.8	86.4	1.1	44.9	0.5	23.7

Условные обозначения:

1. $V < 0$, $V = 0$, $V > 0$ – категории аномалий; 2. P_{05} , P_{95} – 5-я и 95-я процентиля
3. $\min$, $\max$ – наименьшее и наибольшее значения с 1911 г.

В соответствии с ежемесячными оценками, экстремально теплый температурный режим (ранг приземной температуры не выше 3) устойчиво сохранялся в течение года лишь в северном полушарии (на акваториях океанов – все 12 месяцев подряд, на суше – 7 месяцев). Основной вклад принадлежит Тихоокеанскому региону и Евразии (табл. 2.4, табл. 2.5). Отрицательные аномалии (в среднем по территории регионов) наблюдались в отдельные месяцы практически на всех континентах, кроме Африки (в Евразии – только в декабре). На акваториях океанов на глобальном (полушарном) уровне они не зафиксированы; лишь в декабре в целом по Южному полушарию она понизилась до уровня климатической нормы (аномалия -0.01°C), за счет Антарктического пояса, где средняя аномалия в декабре составила -0.6°C .

Таблица 2.4 – Пространственно осредненные значения среднемесячных аномалий приземной температуры в 2020 г. в целом по Земному шару и полушариям

Регион	Месяцы 2020 г.												Год I-XII
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
HadCRUT4 (суша+море)													
ЗШ	0.66₁	0.66 ₂	0.70 ₂	0.50 ₂	0.44₁	0.40 ₄	0.41 ₄	0.44 ₃	0.44 ₃	0.33 ₅	0.49 ₂	0.25 ₁₀	0.47 ₂
СП	1.01₁	1.06 ₂	1.00 ₂	0.69 ₂	0.69₁	0.62 ₄	0.69₁	0.69 ₂	0.72 ₄	0.59 ₃	0.81₁	0.51 ₇	0.76₁
ЮП	0.31 ₃	0.27 ₆	0.39 ₂	0.32 ₄	0.19 ₉	0.18 ₉	0.13 ₁₅	0.19 ₈	0.16 ₆	0.08 ₁₈	0.17 ₉	-0.01 ₂₇	0.20 ₆
T3288 (суша)													
ЗШ	1.30₁	1.39 ₂	1.33 ₂	0.81 ₃	0.71₁	0.67 ₄	0.55 ₇	0.60 ₃	0.83₁	0.62 ₄₋₅	1.15₁	0.53 ₉	0.89₁
СП	1.62₁	1.80 ₂	1.64 ₂	0.88 ₄	0.95₁	0.73 ₄	0.65 ₅	0.67 ₃	0.85 ₃	0.67 ₆	1.33₁	0.66 ₉	1.05₁
ЮП	0.53 ₃	0.42 ₅	0.46 ₆	0.61 ₃	0.15 ₁₆	0.54 ₂	0.25 ₁₃	0.41 ₆	0.79₁	0.52 ₄	0.72 ₂	0.21 ₁₆	0.47 ₃
CRUTEM4 (суша)													
ЗШ	1.31₁	1.36 ₂	1.26 ₂	0.75 ₃	0.67 ₂	0.71 ₂	0.53 ₇	0.61 ₃	0.79₁	0.61 ₃	1.12₁	0.50 ₉	0.85₁
СП	1.67₁	1.82 ₂	1.61 ₂	0.83 ₄	0.92₁	0.74 ₄	0.63 ₅	0.68 ₃	0.80 ₄	0.65 ₆	1.31₁	0.64 ₉	1.03₁
ЮП	0.59 ₃	0.43 ₄	0.55 ₃	0.61 ₃	0.17 ₁₅	0.63₁	0.35 ₁₀	0.48 ₆	0.78₁	0.55 ₄	0.74₁	0.22 ₁₆	0.51 ₂₋₃
HadSST3 (море)													
ЗШ	0.42 ₂	0.40 ₂	0.46 ₂	0.44 ₂	0.38 ₃	0.34 ₄	0.41 ₂	0.44 ₁	0.36 ₄	0.31 ₆	0.31 ₄	0.23 ₈	0.37 ₄
СП	0.57 ₂	0.56₁	0.57₁	0.61₁	0.57₁	0.60₁	0.75₁	0.76₁	0.72 ₂	0.64 ₃	0.57 ₃	0.52 ₂	0.62₁
ЮП	0.27 ₂	0.25 ₄	0.36 ₂	0.28 ₄₋₅	0.22 ₆	0.11 ₁₆	0.12 ₁₁	0.16 ₁₁	0.07 ₁₃	0.01 ₂₂	0.08 ₁₅	-0.01 ₂₇	0.16 ₉

Примечание. Нижними индексами показаны ранги в соответствующих упорядоченных по убыванию временных рядах 1911-2020 гг. Красным цветом выделены абсолютные максимумы (ранг 1, жирный шрифт) и значения с рангами 2 и 3

Таблица 2.5 – Регионально осредненные значения аномалий приземной температуры для континентов, северных частей Атлантического и Тихого океанов и основных широтных поясов земного шара в 2020 г. (в среднем за год и по месяцам)

Регион	Месяцы 2020 г.												Год I-XII
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
HadCRUT4 (суша+море)													
АО,15-70 N	0.5 ₃	0.6₁	0.5₁	0.6₁	0.4 ₅	0.3 ₁₀	0.5 ₄	0.6 ₄	0.5 ₃	0.5 ₆	0.4 ₆	0.4 ₈	0.5 ₂
ТО,40-60N	0.6₁	0.6 ₂	0.7₁	0.6 ₂	0.9₁	1.0₁	0.9₁	1.0 ₃	1.1₁	1.1₁	1.0₁	0.8₁	0.8₁
65-90N	1.5 ₁₈	1.9 ₁₂	2.0 ₈	2.6 ₃	1.5 ₃	1.7 ₃	1.2 ₂	1.6 ₁	1.6 ₂	2.0 ₄	3.4₁	1.8 ₈	1.9 ₂
25-65N	1.4₁	1.5₁	1.3₁	0.7 ₃	0.8 ₂	0.7 ₆	0.8 ₁	0.8 ₂	0.9 ₃	0.7 ₃	1.1₁	0.6 ₈	0.9₁
25S-25N	0.5 ₃	0.5 ₄	0.6 ₂	0.5 ₃	0.4 ₄	0.4 ₄	0.4 ₃	0.4 ₅	0.3 ₅	0.2 ₁₁	0.2 ₁₄	0.2 ₁₆	0.4 ₃
65-25S	0.2 ₁₂	0.2 ₁₁	0.3 ₆	0.2 ₁₂	0.1 ₁₇	0.2 ₁₅	0.0 ₂₈	0.1 ₁₆	0.1 ₁₃	0.1 ₂₅	0.3 ₃	0.1 ₂₀	0.1 ₁₆
90-65S	0.1 ₂₁	0.2 ₁₁	-0.4 ₆₃	1.3 ₇	1.2 ₁₆	0.1 ₂₅	1.1 ₁₅	0.8 ₂₀	1.4 ₉	0.6 ₁₅	1.1 ₆	-0.6 ₇₂	0.5 ₅
T3288 (суша)													
С. Америка	1.6 ₆	0.6 ₂₀	1.0 ₉	-0.3 ₄₅	0.3 ₂₂	0.6 ₉	1.1 ₂	1.0₁	0.4 ₂₀	-0.1 ₆₃	1.4 ₁₀	2.1 ₅	0.8 ₈
Евразия	2.5 ₂	3.0₁	2.5 ₂	1.4 ₇	1.2 ₂	0.8 ₉	0.7 ₅	0.6 ₁₁	1.2 ₂	0.8 ₆	1.6 ₃	-0.3 ₄₀	1.3₁
Ю. Америка	0.6 ₄	0.3 ₁₀	1.6₁	0.6 ₆	0.3 ₂₃	0.6 ₉	-0.2 ₅₉	0.5 ₁₄	1.0 ₃	0.7 ₃	0.6 ₄	0.3 ₁₂	0.6 ₂
Африка	0.2 ₃₁	0.8 ₆	0.7 ₈	0.7 ₅	0.9 ₄	0.6 ₆	0.4 ₁₅	0.2 ₁₈	0.4 ₁₂	0.5 ₁₁	0.3 ₁₆	1.1₁	0.6 ₅
Австралия	0.8 ₈	0.2 ₂₆	-0.1 ₅₂	1.0 ₇	-1.3 ₈₈	0.4 ₂₃	0.1 ₃₅	0.7 ₉	1.7 ₂	0.4 ₂₀	2.0₁	-0.1 ₄₆	0.5 ₁₀
Антарктида	0.3 ₁₈	1.0 ₆	-1.4 ₆₅	1.7 ₈	1.9 ₈	-0.8 ₃₉	1.9 ₈	-0.2 ₃₈	1.4 ₈	-0.1 ₄₃	0.2 ₂₅	-0.8 ₆₂	0.4 ₁₀
Европа	4.2 ₂	5.0 ₃	3.2₁	0.5 ₂₈	0.0 ₄₄	1.1 ₆	0.7 ₁₅	0.8 ₁₃	1.7 ₂	1.7₁	2.2 ₇	1.2 ₂₄	1.9₁
Азия	2.0 ₂	2.5₁	2.3 ₄	1.7 ₂	1.6₁	0.6 ₁₂	0.6 ₉	0.5 ₉	1.1 ₂	0.6 ₁₂	1.5 ₅	-0.7 ₆₁	1.2₁

Примечание. См. примечание к табл. 2.4

Сезонные особенности распределения аномалий. Пространственные распределения сезонных аномалий представлены на рисунке 2.2 и детализированы на рисунке 2.3 для отдельных месяцев каждого сезона.

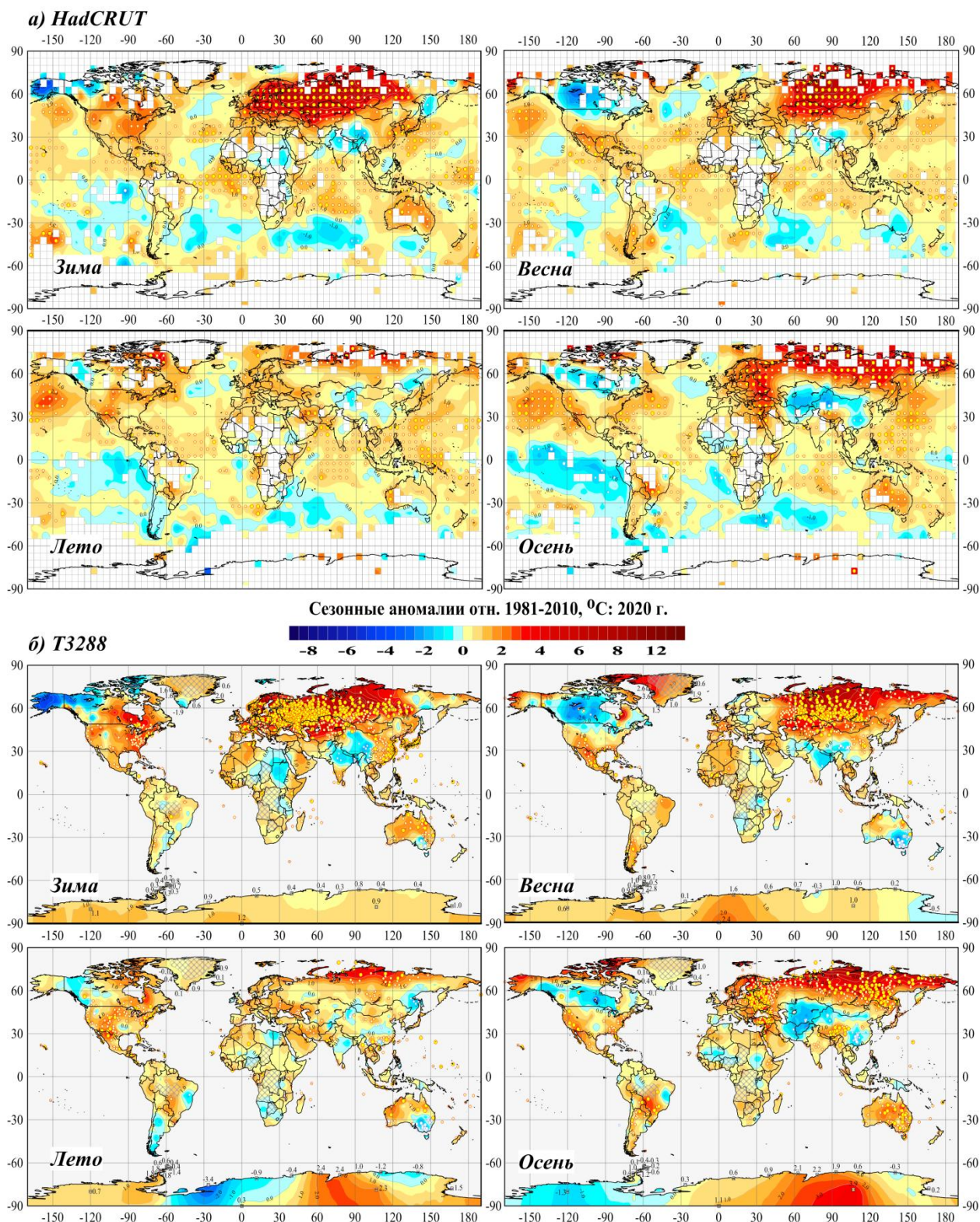


Рисунок 2.2 – См. рис. 2.1, но для сезонных аномалий 2020 г.:

- а) по данным в центрах 5-градусных боксов на полной сетке HadCRUT4 (суша+море);
- б) по данным наземных станционных наблюдений T3288 (только суша)

Зимний сезон 2019/2020 стал вторым из самых теплых сезонов в целом по всей территории Земного шара и двум полушариям, уступая только сезону 2015/2016 гг.

Главной особенностью нынешней зимы (рис. 2.2, 2.3а) стали экстремально теплые условия в Европе, Антарктиде и Тихом океане. При этом в Европе и в Тихом океане (в районе Северо-Восточной котловины) в течение всех месяцев сезона наблюдались 95%-е аномалии а в Канаде, Индокитае, Восточной Сибири и на южных акваториях Тихого, Атлантического и Индийского океанов – области отрицательных аномалий

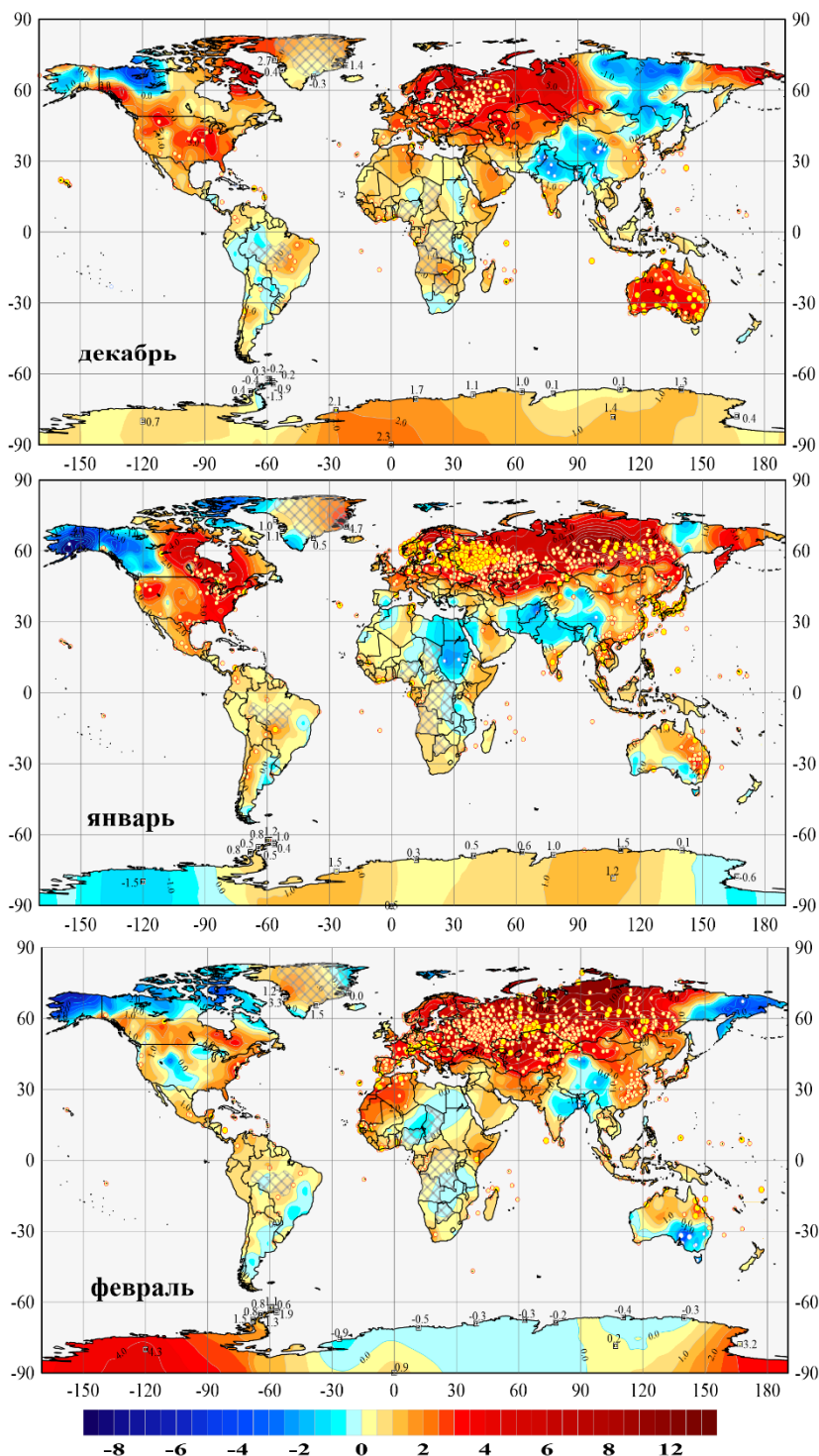


Рисунок 2.3а – Аномалии среднемесячной температуры приземного воздуха: декабрь 2019 – февраль 2020 (Т3288, °С).

температуры.

В целом по Земному шару, доля сезонных 5%-х экстремумов тепла составила 27% всех данных HadCRUT4 (суша+море) и 42.5% данных станций Т3288 (только суша), в том числе 18.9% - абсолютные максимумы. Многочисленные локальные экстремумы тепла отмечены на территории Азии (Средняя Азия, восточные районы Китая, Япония) и Восточного побережья США, Австралии. При этом в Австралии абсолютный максимум в среднем по континенту, а также локальные максимумы, были достигнуты в декабре 2019. На акваториях океанов основные очаги тепла располагались на севере Тихого океана (рекорды в декабре и январе и в среднем за сезон). В феврале 2020 г. рекордно теплым был север Атлантики.

Весна 2020 года (рис. 2.2, 2.3б) была исключительно теплой (второй самый теплый весенний сезон после весны 2016). Новые температурные рекорды установлены в регионах: пояс умеренных широт Северного полушария (в целом, и в каждом из двух его океанических секторов),

Евразия (в целом по континенту и отдельно по территории Азии) и Южная Америка. При этом четверть всех локальных значений оказались выше 95-го перцентиля (большая часть в Северном полушарии), и среди них менее 10% - абсолютные максимумы (в основном, в Азии и Африке). В Южной полярной области (Антарктика) абсолютных экстремумов не выявлено.

Крупные положительные аномалии температуры охватили практически всю бореальную Азию (до $+8.7^{\circ}\text{C}$). Менее интенсивные, но обширные аномалии отмечены на территории Западной Европы, Центральной и Южной Америки, Индонезии и Новой Зеландии, а также в Атлантике (южнее 40°N), Тихом и Индийском океанах.

Отрицательные аномалии сосредоточены на юге Австралии (65% всех значений, 9% - абсолютные минимумы), на материковой территории Канады и приграничной территории Индии и Китая, а также в южных широтах Атлантики, Тихого и Индийского океанов.

Изменения температурных условий от месяца к месяцу связаны, главным образом, с локализацией и величиной крупных аномалий во внетропических широтах обоих полушарий: в Северном полушарии – в основном, на континентах, в Южном – еще и на акваториях океанов.

Летний сезон 2020 года (рис. 2.2, 2.3в). Основная особенность сезона – температурный рекорд океанов Северного полушария, причем основной вклад принадлежит Тихому и Индийскому океанам и, в меньшей мере, Атлантике. В то же время в Южном полушарии океаны практически все месяцы оставались холодными (12-е место в среднем за сезон). В Антарктиде и в Южной Америке, средняя по

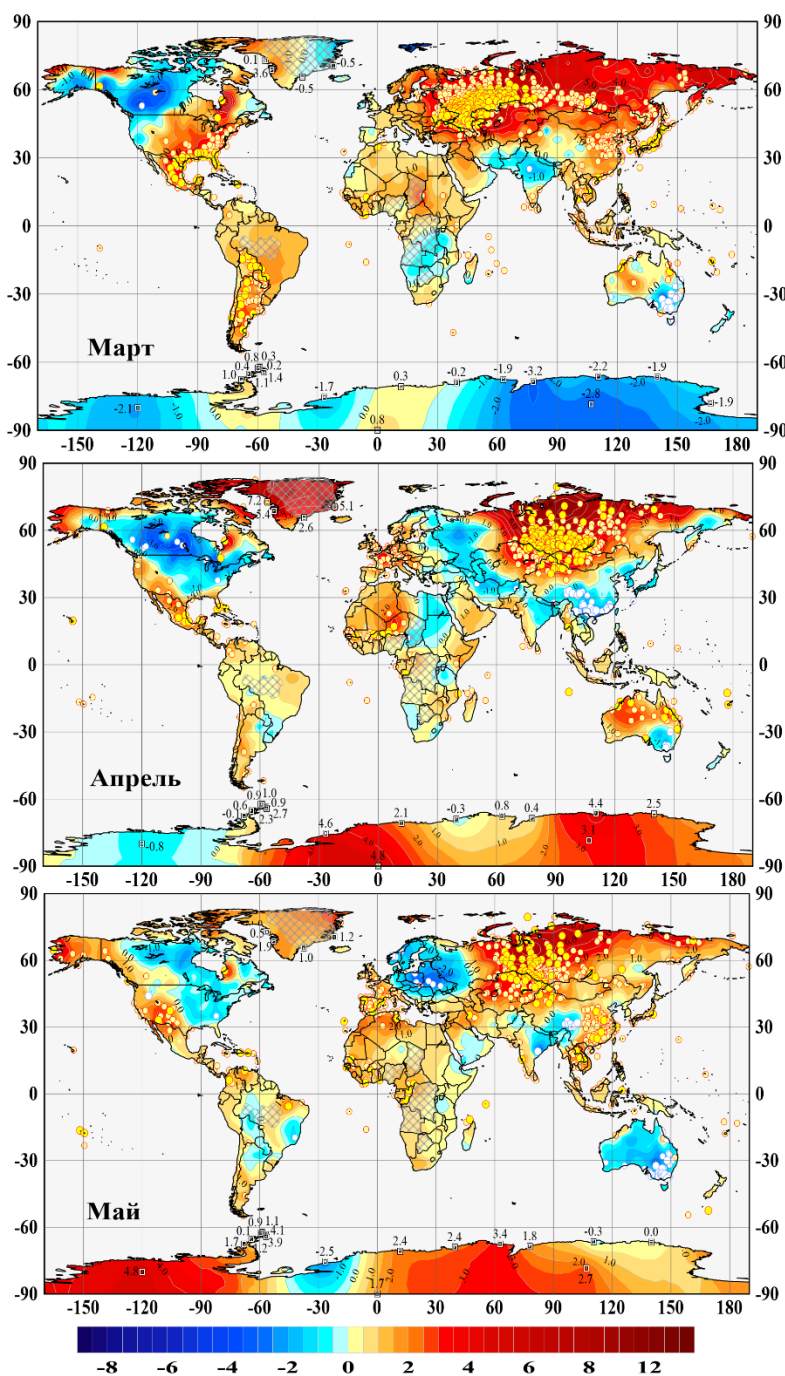


Рисунок 2.36 – Аномалии среднемесячной температуры приземного воздуха: март – май 2020 (T_{3288} , $^{\circ}\text{C}$).

континенту температура в отдельные месяцы была ниже климатической нормы. На континентах крупных положительных сезонных аномалий не наблюдалось. Можно выделить лишь четыре сравнительно небольшие области, где отмечались локальные сезонные аномалии выше 95-го перцентиля: США и Центральная Америка, Центральная Европа, Передняя Азия и Австралия.

При этом локализация аномалий и площадь охвата менялись от месяца к месяцу. Так, 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.

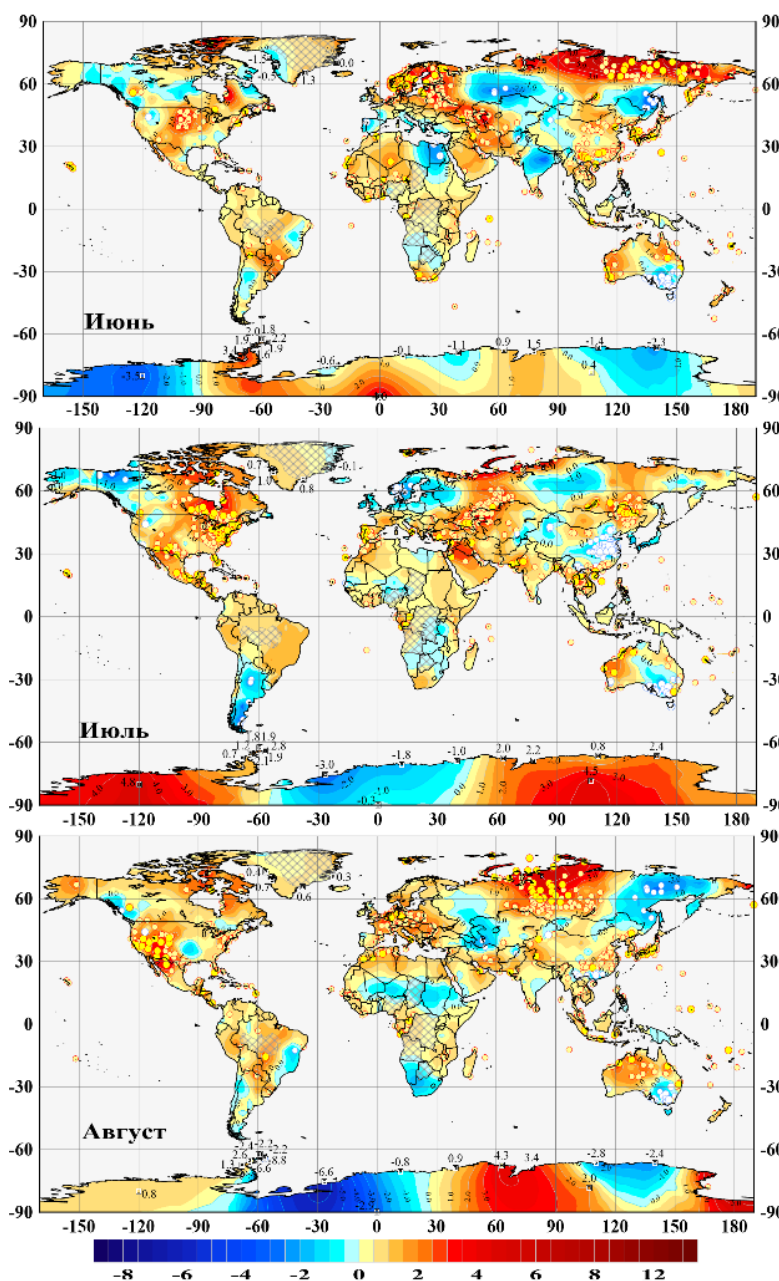


Рисунок 2.3в – Аномалии среднемесячной температуры приземного воздуха: июнь – август 2020 (Т3288, °С).

В *Евразии* отмечается чередование аномалий противоположного знака, причем области тепла, как правило, более интенсивные и включают многочисленные локальные экстремумы.

В то же время области локальных отрицательных аномалий отмечаются в этом сезоне практически на всех континентах. Помимо Евразии, это, в первую очередь, юго-восток Австралии, Канада и Южная Америка. В Австралии по данным 48% станций, температура летнего сезона была ниже климатической нормы, а 17.3% всех значений оказались ниже 5-го перцентиля (5%-е экстремумы холода). В Антарктиде в июне и в августе аномалии температуры были отрицательными на большинстве станций.

Осенний сезон (рис. 2.2, 2.3г) оказался рекордно теплым для суши всех трех глобальных территорий (ЗШ, СП, ЮП) и для континентов: Евразия (и отдельно Европа), Южная Америка и Австралия. Как результат, сезон стал рекордно теплым и для арктического и

умеренного северных широтных поясов в целом. По температуре поверхности океанов в Северном полушарии сезон оказалась третьим самым теплым (за счет рекордно теплого

Тихого океана (20-65°с.ш.)), но в Южном полушарии – только 19-м, с аномалией 0.053°С. Отметим, что положительные сезонные аномалии составляют около 73% всех локальных наземных данных и более 78% данных в боксах.

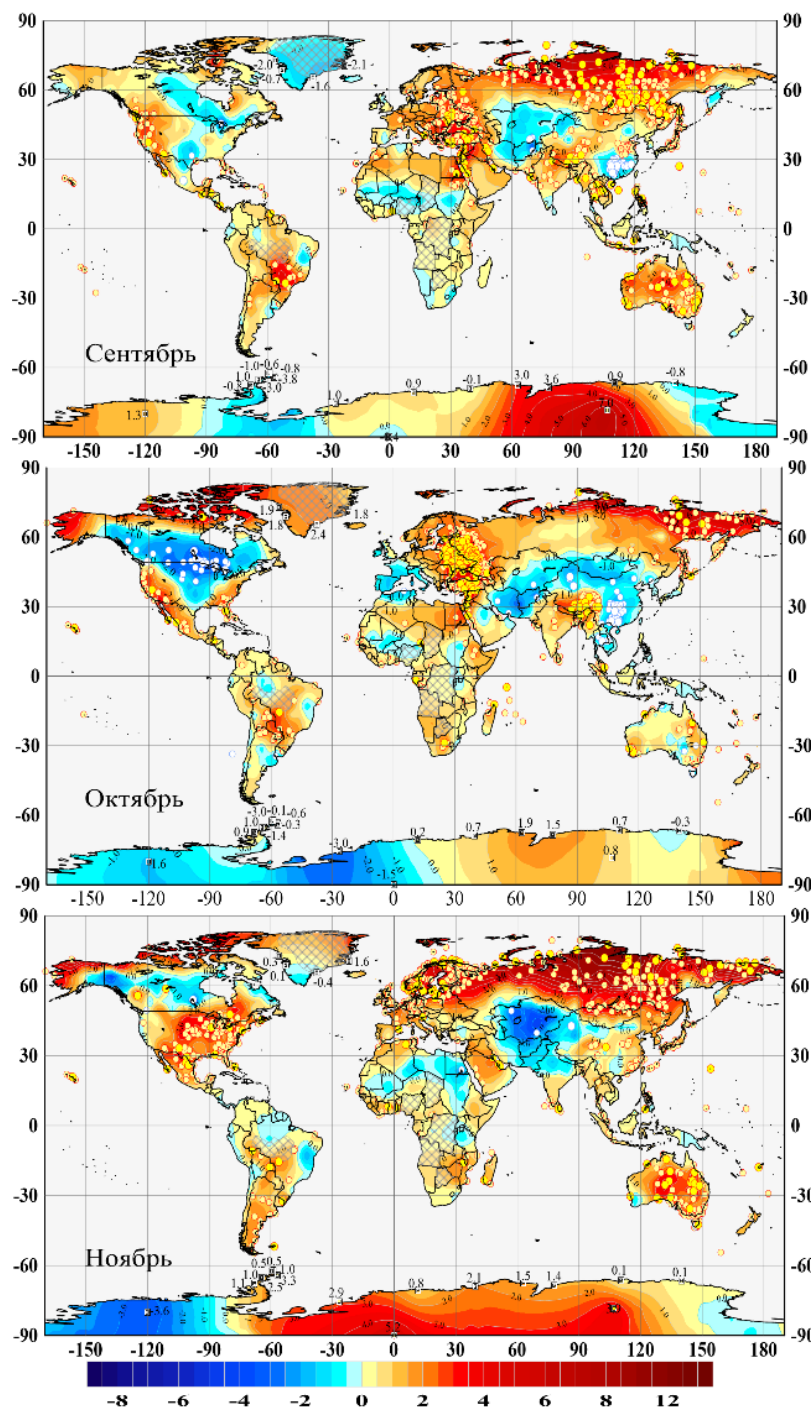


Рисунок 2.3г – Аномалии среднемесячной температуры приземного воздуха: сентябрь–ноябрь 2020 (Т3288, °С).

Многочисленные 95%-е аномалии (5%-е экстремумы тепла) зафиксированы на территории России (50% станций на ЕЧР и 32% – на АЧР), в Австралии (50% станций) и в центре Южной Америки, а также в северном полушарии, в умеренных широтах Тихого океана и западной Атлантики. К северу от 25-ой параллели 75% всех локальных аномалий оказались выше 95-го перцентиля, в том числе 29% побили прежние абсолютные максимумы.

Экстремально теплыми были и все три месяца осеннего сезона, особенно сентябрь (ранг 3) и ноябрь (ранг 2). Из регионов выделяются Европа и Тихий океан, где для всех трех месяцев установлены новые температурные рекорды.

На этом фоне следует отметить также и области отрицательных аномалий на континентах (вся территория Канады; западный сектор Антарктиды и значительная часть центральной Азии и Китая) и на акваториях южных океанов (40% боксов Южного полушария). Однако лишь около 2% из

них были ниже соответствующего 5-го перцентиля (уровень 5%-х экстремумов холода). Особо можно выделить область отрицательных аномалий на юге Евразии, которая в октябре имела наибольшую площадь охвата с многочисленными 5%-ми экстремумами холода. Также в октябре достигли наибольшей интенсивности отрицательные аномалии в

океанах Южного полушария (во многих тихоокеанских боксах зафиксированы 5%-е экстремумы холода).

Декабрь 2020 г. (рис. 2.3д). В упорядоченном по убыванию ряду декабрьских температур, осредненных по территории Земного шара, декабрь занял 10-е место по данным HadCRUT4 (суша+море), 9-е по данным T3288 и CRUTEM4 (только суша) и разделил 8-9 по данным HadSST3 (только море).

Месяц оказался рекордно теплым в регионах: северная часть Тихого океана и Африка. Теплым, но с рангом 5, он был в Северной Америке, несколько теплее климатической нормы – в Южной Америке (ранг

12) и в Европе (ранг 24). Однако в Евразии (и отдельно Азии), Австралии и Антарктиде средняя по территории континента аномалия была отрицательной, как и в Антарктическом широтном поясе. Самая крупная область отрицательных аномалий (и по интенсивности, и по площади) охватывает почти всю азиатскую территорию Евразии, с 5%-ми локальными экстремумами холода в Центральной Азии.

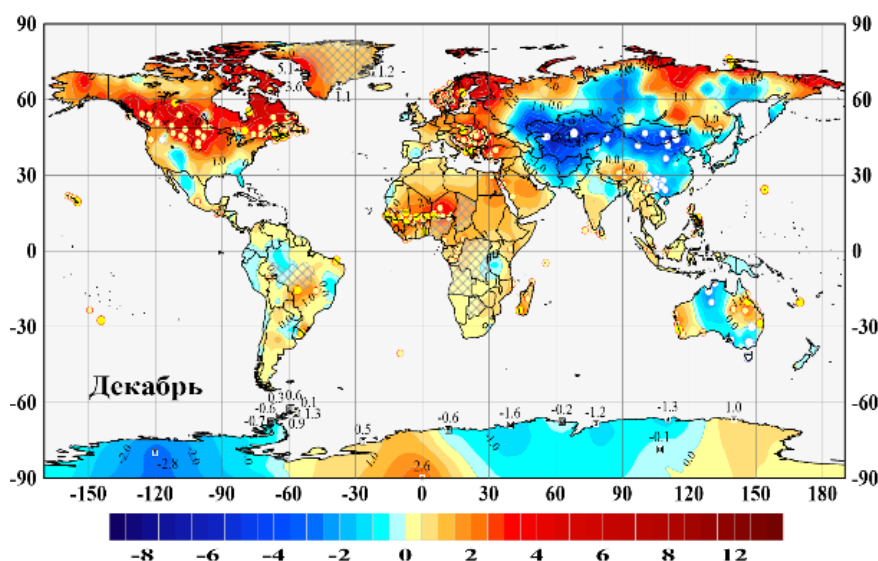


Рисунок 2.3д – Аномалии среднемесячной температуры приземного воздуха для декабря 2020 г. (T3288, °C).

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

Многолетние и межмесячные изменения глобальной температуры. На рисунке 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 соответствующих многолетних средних всего периода наблюдений 1850-2020 гг.

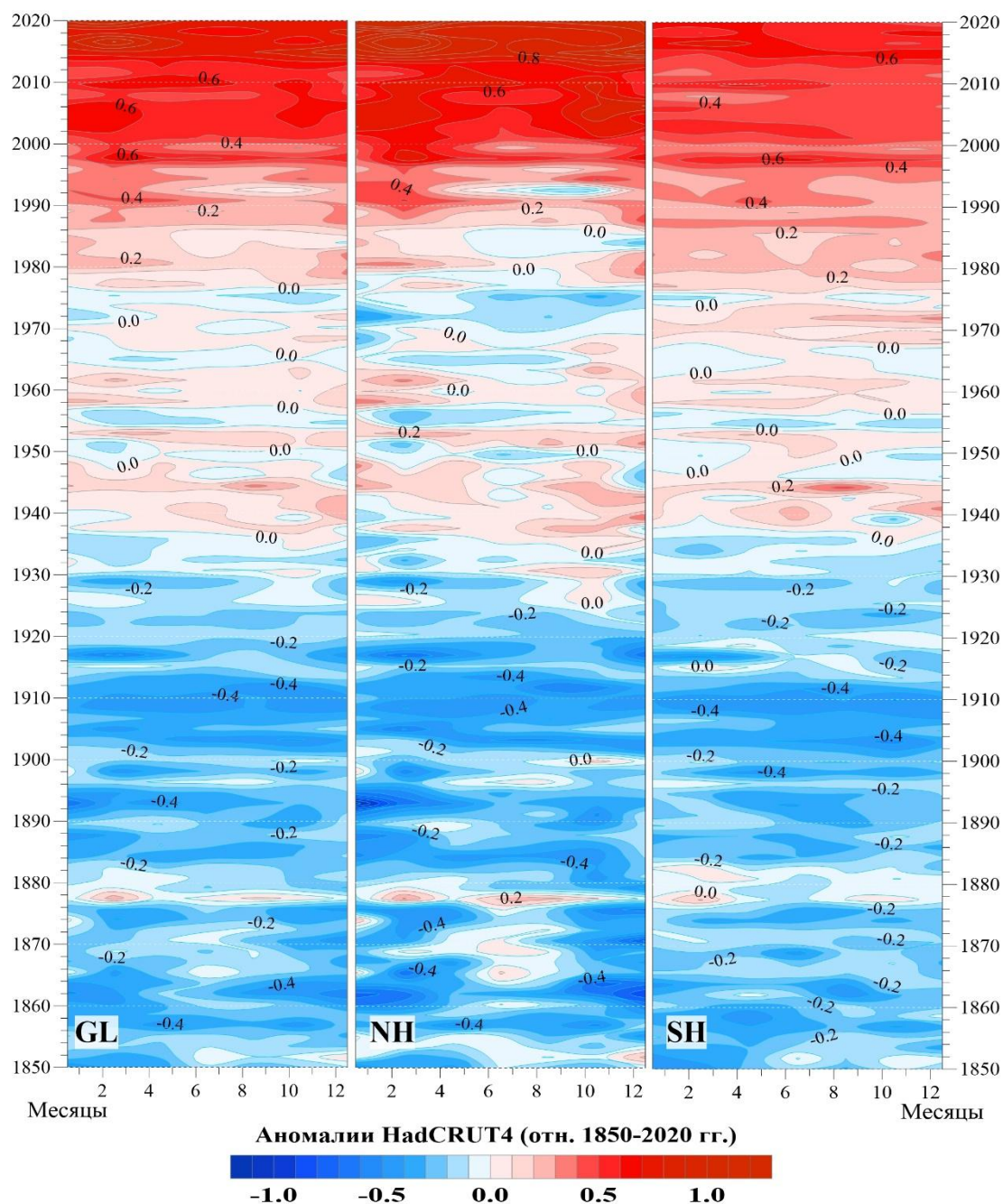
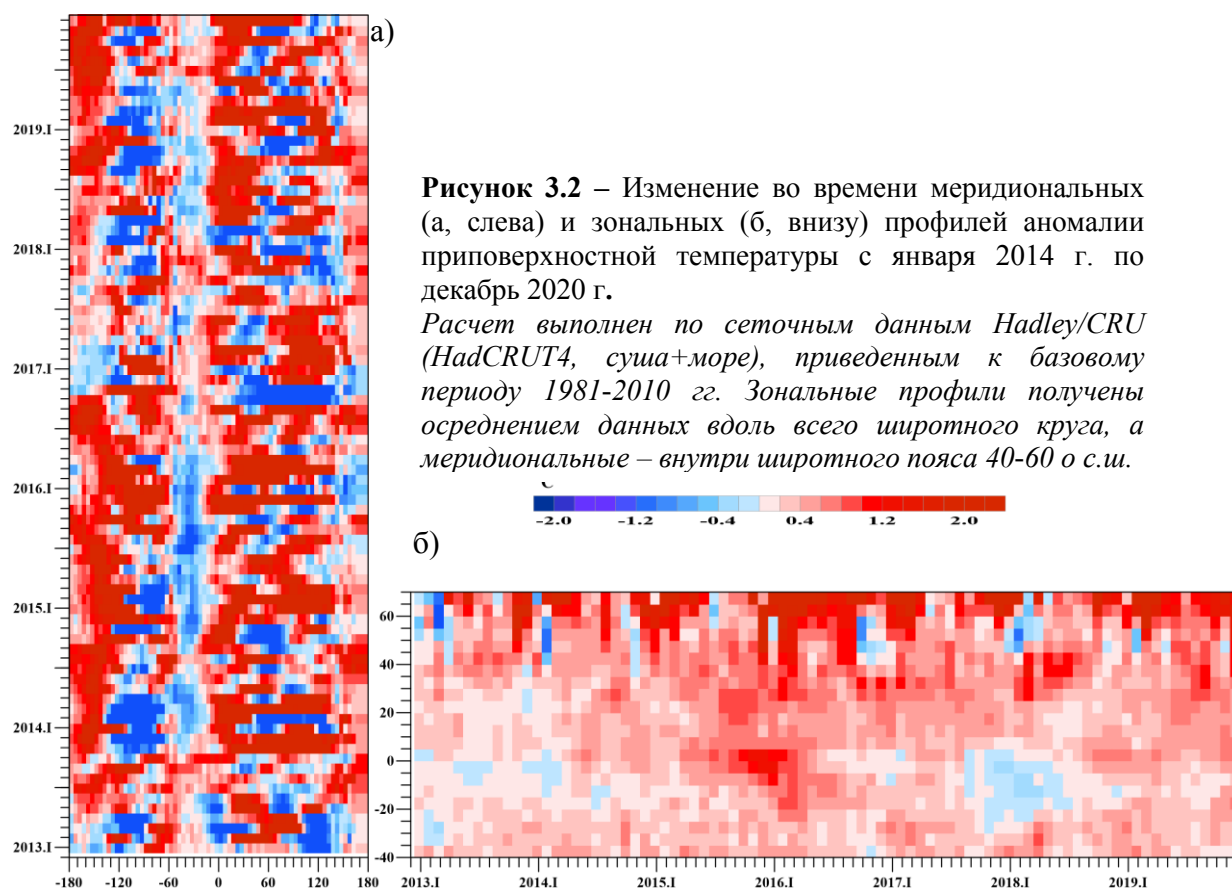


Рисунок 3.1 – Изменение аномалий среднемесячной приповерхностной температуры, осредненной по всей территории (суша+море) Земного шара (GL), Северного (NH) и Южного (SH) полушарий, с января 1850 г. по декабрь 2020 г. (по данным HadCRUT4, Hadley/CRU, UK). Аномалии выражены в отклонениях от средней за 1850-2020 гг.

На рисунке 3.1 хорошо виден пик похолодания в начале 20-го столетия (аномалии ниже -0.5°C), так называемое «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, позже названное «глобальным». Фактически оно охватило оба полушария лишь в начале 1990-х и продолжается вплоть до настоящего времени, постепенно усиливаясь (особенно заметно в Северном полушарии). 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 $[+0.7; +1.2^{\circ}\text{C}]$, а в Южном – $[+0.5; +0.7^{\circ}\text{C}]$

Широтно-долготные разрезы (рис. 3.2аб). Наиболее значительные аномалии в ходе приповерхностной температуры на протяжении последних 6 лет проявляются и в широтно-долготных профилях на рисунке 3.2.



Меридиональные профили (рис.3.2а) показывают знак и интенсивность аномалий в любом секторе широтного пояса 40-60°с.ш.: Тихий океан-С.Америка-Атлантика-Европа-Азия-Тихий океан. Так, **в европейском секторе** в 2020 году холодными были только апрель и май, в азиатском – напротив, весь последующий период, с июня по декабрь (зима была теплой во всем евразийском секторе). В **секторе Северной Америки** чередование холодных и теплых периодов прослеживается более четко. Здесь отрицательные аномалии температуры наблюдались в марте (только на западном побережье Америки), апреле-мае и сентябре-октябре (особенно холодными были апрель и октябрь). В остальные месяцы, включая очень теплый декабрь, аномалии температуры были положительными. **В океанических секторах** условия более стабильны. Тихий океан продолжает оставаться

исключительно теплым уже третий год подряд (особенно в восточном секторе), а в Атлантике сохраняются условия, в среднем, незначительно отклоняющиеся от нормы.

С другой стороны, конфигурация зональных профилей (рис. 3.2б) говорит о том, что после 2018 г. эпизоды «холодных зим» ослабли, и в течение всего 2020 г. практически на всех широтах доминировали положительные аномалии (севернее 30°с.ш. особенно значительные). Исключение составляет приэкваториальный пояс Южного полушария (20-0°ю.ш.), где примерно с сентября начался период некоторого понижения температуры (подобный период наблюдался зимой 2017-2018 гг.).

Временные ряды глобально осредненной температуры (рис. 3.3). Интегральную оценку интенсивности наблюдаемых крупномасштабных изменений приземной температуры дают глобально осредненные временные ряды для территории Земного шара и обоих полушарий и рассчитанные по ним коэффициенты линейного тренда.

В таблице 3.1 приведены значения коэффициентов тренда (°C/10 лет) для всех 12 глобальных рядов (по 4 наборам данных для трех глобальных территорий), а сами ряды представлены на рис. 3.3. Отметим дополнительно, что оценки тренда за 1976-2020 гг., в сравнении с аналогичными оценками за 1976-2019 гг.⁷, изменились весьма незначительно. Уменьшения тренда практически не выявлено, а максимальное увеличение составило 0.006°C/10 лет (для суши Северного полушария по данным обоих источников).

Таблица 3.1 - Коэффициенты линейного тренда (°C/10 лет) глобальных временных рядов приземной температуры за 1976-2020 гг. и 1921-2020 гг., в среднем за год и по сезонам

Регион	1976-2020					1921-2020				
	Год	Зима	Весна	Лето	Осень	Год	Зима	Весна	Лето	Осень
HadCRUT4 (суша+море)										
Земной шар	0.179	0.172	0.187	0.181	0.179	0.084	0.088	0.092	0.08	0.078
Северное полушарие	0.251	0.241	0.255	0.253	0.258	0.094	0.102	0.105	0.087	0.082
Южное полушарие	0.107	0.103	0.120	0.109	0.101	0.075	0.074	0.079	0.073	0.074
T3288-ИГКЭ (суша)										
Земной шар	0.295	0.296	0.312	0.27	0.305	0.128	0.151	0.15	0.107	0.102
Северное полушарие	0.348	0.351	0.381	0.314	0.347	0.141	0.173	0.172	0.113	0.105
Южное полушарие	0.171	0.169	0.150	0.170	0.209	0.092	0.088	0.090	0.090	0.096
CRUTEM4 (суша)										
Земной шар	0.285	0.292	0.297	0.265	0.292	0.123	0.138	0.142	0.106	0.105
Северное полушарие	0.342	0.354	0.371	0.309	0.335	0.135	0.160	0.165	0.109	0.106
Южное полушарие	0.173	0.168	0.148	0.176	0.206	0.098	0.094	0.095	0.101	0.103
HadSST3 (море)										
Земной шар	0.141	0.127	0.140	0.156	0.145	0.066	0.063	0.067	0.07	0.066
Северное полушарие	0.192	0.165	0.167	0.225	0.217	0.065	0.056	0.060	0.076	0.069
Южное полушарие	0.094	0.095	0.116	0.092	0.078	0.070	0.072	0.076	0.067	0.068

⁷ Аналогичные оценки за 1976-2019 гг. доступны на сайте ИГКЭ в годовом обзоре «2019. Изменение климата Земного шара: год (январь-декабрь)»

http://climatechange.igce.ru/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=31&Itemid=76&lang=r

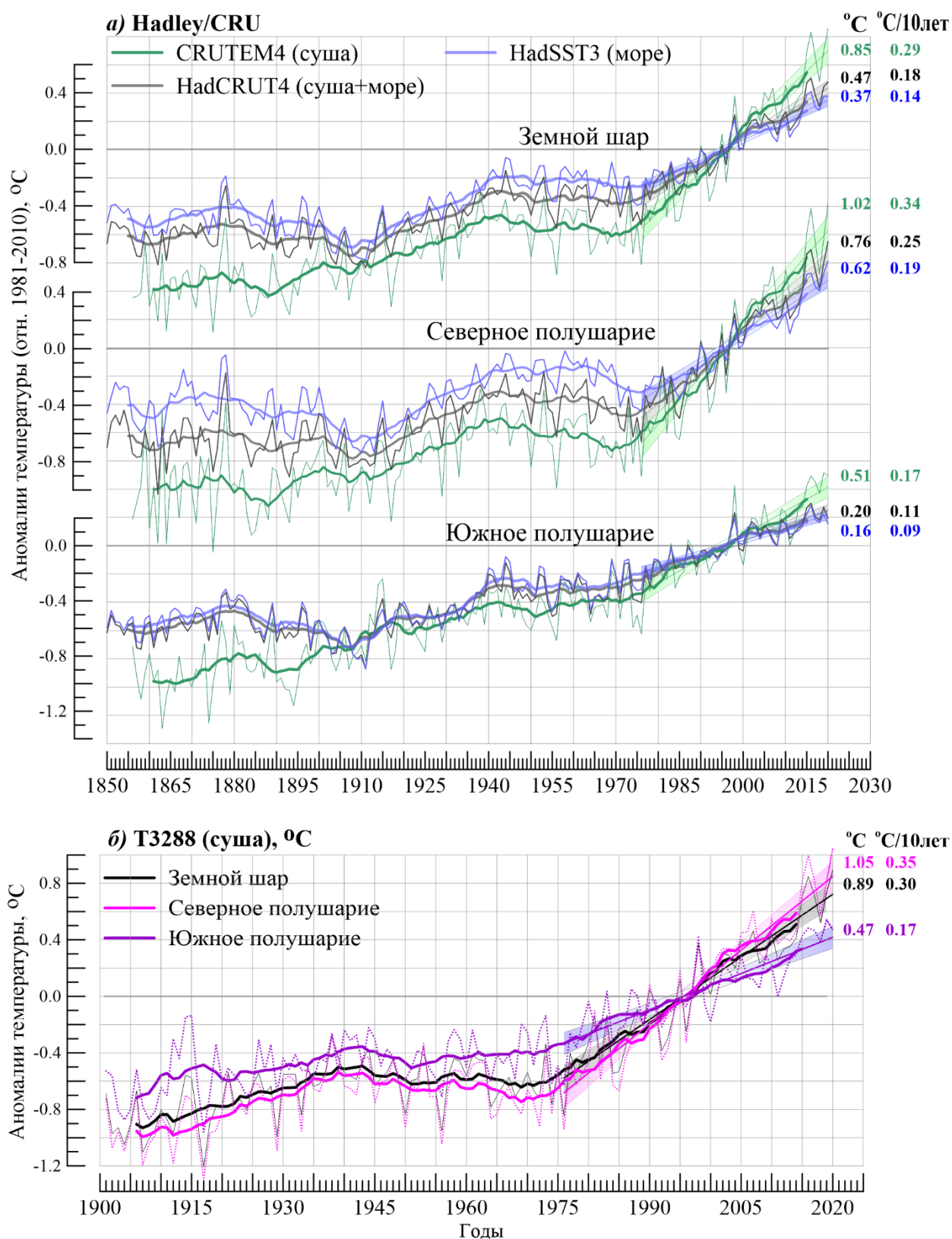


Рисунок 3.3 – Временные ряды среднегодовых аномалий приземной температуры, осредненных по территории Земного шара, Северного и Южного полушарий:
 а) по данным Hadley/CRU: HadCRUT4 (суша+море), CRUTEM4 (суша), HadSST3 (море);
 б) по данным ИГКЭ: T3288 (суша).
 Для всех рядов показан ход 11-летних скользящих средних и линейный тренд за 1976-2020 гг. с 95% доверительным интервалом. Справа приведены числовые значения среднегодовых аномалий в 2020 г. и значения коэффициентов линейного тренда за 1976-2020 гг. (°C/10лет).

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

Из этих оценок видно, что:

- Потепление (и современное, и в целом за 100 лет) над сушей протекает быстрее, чем над океанами: $k_1=1.3$ - 2.2 (k_1 больше 1). Отметим, что в последние 40-50 лет этот контраст («континенты - океаны») в Южном полушарии существенно усилился (1.8 против 1.3), а в Северном полушарии, наоборот, стал слабее (1.8 против 2.2) и в результате стал в обоих полушариях примерно одинаков ($k_1 \approx 1.8$);
- в Северном полушарии средняя скорость потепления выше, чем в Южном: $k_2=1.4$ - 2.0 , за исключением поверхности океанов на 100-летнем интервале – здесь $k_2=0.9$ (меньше 1); для современного потепления $k_2 \approx 2.0$ и на суше, и на поверхности океанов;
- современное потепление ускорилось по сравнению со 100-летним в $k_3=2.5$ - 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 более интенсивно на поверхности океанов, а в Южном – над сушей.

Таблица 3.2 – Сравнение средней скорости глобального потепления (у поверхности) в разных группах данных

k_1	Показатель	1976-2020			1921-2020		
		ЗШ	СП	ЮП	ЗШ	СП	ЮП
k_1	$b_{T3288}/b_{HadSST3}$	2.07	1.81	1.76	1.89	2.16	1.29
	$b_{CRUTEM4}/b_{HadSST3}$	2.01	1.79	1.77	1.82	2.06	1.37
k_2	$b_{СП}/b_{ЮП}$	1976-2020			1921-2020		
		T3288	CRUTEM	HadSST	T3288	CRUTEM	HadSST
		2.02	1.98	1.96	1.51	1.35	0.90
k_3	$b_{1976-2020}/b_{1921-2020}$	СП			ЮП		
		T3288	CRUTEM	HadSST	T3288	CRUTEM	HadSST
		2.51	2.58	2.98	1.88	1.77	1.37

4. ВРЕМЕННЫЕ РЯДЫ РЕГИОНАЛЬНО ОСРЕДНЕННЫХ АНОМАЛИЙ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ, 1911-2020 гг.

Временные ряды (рис. 4.1, 4.2, 4.3) регионально осредненных данных рассчитаны по методике ИГКЭ, по сеточным данным HadCRUT4 (для пяти широтных поясов и северных частей Атлантического и Тихого океанов) и по данным станционных наблюдений T3288 (для всех шести континентов, а также 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 приведены в таблицах 4.1, 4.2. Более подробно проследить особенности многолетнего хода приземной температуры в каждом регионе можно по временным рядам на рисунках 4.1 –4.3.

Таблица 4.1 – Коэффициенты линейного тренда (1976-2020 гг., °C/10 лет) регионально осредненных аномалий приземной температуры (в целом за год и по сезонам)

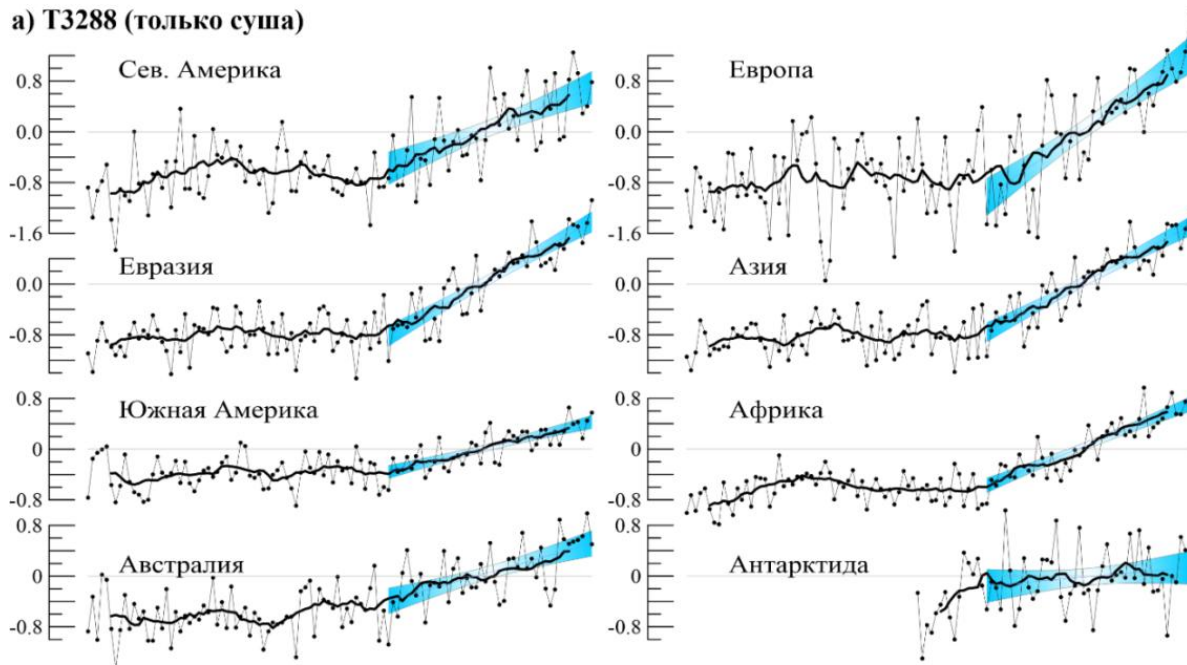
Регион	Год	Зима	Весна	Лето	Осень
HadCRUT4 (суша+море)					
Атлантика (15-70N)	0.197	0.203	0.171	0.204	0.223
Тихий океан (20-65N)	0.199	0.155	0.164	0.244	0.231
Арктический пояс (65-90N)	0.606	0.604	0.673	0.438	0.647
Умеренный пояс СП (25-65N)	0.293	0.271	0.299	0.307	0.301
Тропики (25S-25N)	0.148	0.150	0.152	0.148	0.144
Умеренный пояс ЮП (65-25S)	0.122	0.094	0.122	0.109	0.096
Антарктический пояс (90-65S)	0.080	-0.057	-0.005	0.130	0.247
T3288 (суша)					
Северная Америка	0.288	0.400	*0.163	0.272	0.314
Евразия	0.409	0.368	0.528	0.370	0.378
Южная Америка	0.179	0.173	0.146	0.167	0.231
Африка	0.291	0.244	0.349	0.286	0.289
Австралия	0.206	0.195	0.156	0.175	0.310
Антарктида	0.066	-0.007	-0.007	0.074	0.208
Европа	0.508	0.584	0.467	0.503	0.469
Азия	0.380	0.310	0.544	0.331	0.351

Примечание. Оценки, статистически значимые на 1% уровне ($\alpha=1\%$), приведены без выделения. Символом (*) выделены оценки с 5%-м уровнем значимости, символом (#) – 10%-м. Затенены значения, не значимые даже на 10%-м уровне (высокая вероятность «ложного» тренда) т.е. высокая вероятность отсутствия ненулевого тренда любого знака). Шрифтом синего цвета выделены отрицательные значения коэффициентов тренда (тенденция к похолоданию).

Оценки тренда в таблице 4.1, уверенно (с доверительной вероятностью не ниже 99%) указывают на тенденцию к потеплению климата во все сезоны, в целом по Земному шару и полушариям, а также в среднем по территории всех рассмотренных крупных регионов, кроме Южной полярной области. В Антарктическом поясе (и в Антарктиде) оценки указывают на тенденцию к похолоданию зимой и весной, но в целом (кроме осени) статистически не значимы даже на 10%-м уровне (в ряде случаев $\alpha>50\%$).

Регион наиболее интенсивного потепления – Арктический широтный пояс (суша+море), где оценки колеблются от $+0.438^{\circ}\text{C}/10$ лет (летом) до $+0.673^{\circ}\text{C}/10$ лет (весной). Из континентов выделяется Евразия – тренд в среднем за год $0.409^{\circ}\text{C}/10$ лет, весной $0.528^{\circ}\text{C}/10$ лет. В Европе наиболее интенсивно потепление зимних сезонов ($0.584^{\circ}\text{C}/10$ лет), в Азии – весенних ($0.544^{\circ}\text{C}/10$ лет). Наименее выражено потепление на континентах Южного полушария: в Антарктиде, Австралии и Южной Америке.

а) T3288 (только суша)



б) HadCRUT4 (суша+море)

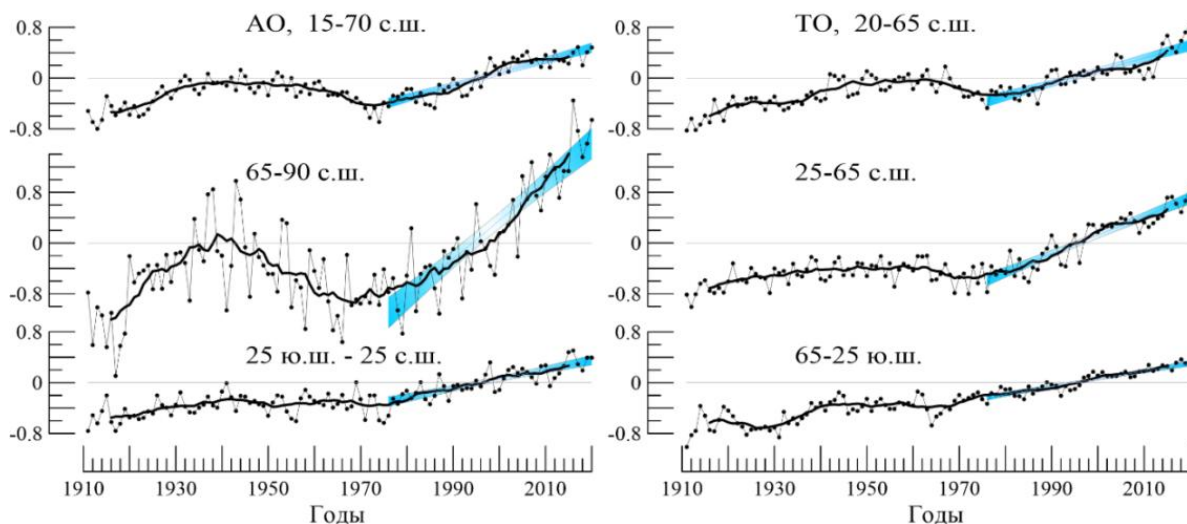


Рисунок 4.1 – Временные ряды пространственно осредненных среднегодовых аномалий приземной температуры для континентов (а), северных частей Атлантического и Тихого океанов и основных широтных поясов земного шара (б).

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 доверительным интервалом (голубая заливка). Расчет пространственно осредненных аномалий выполнен по методике ИГКЭ по данным: а) T3288 (для континентов); б) HadCRUT4 (для океанов и широтных поясов).

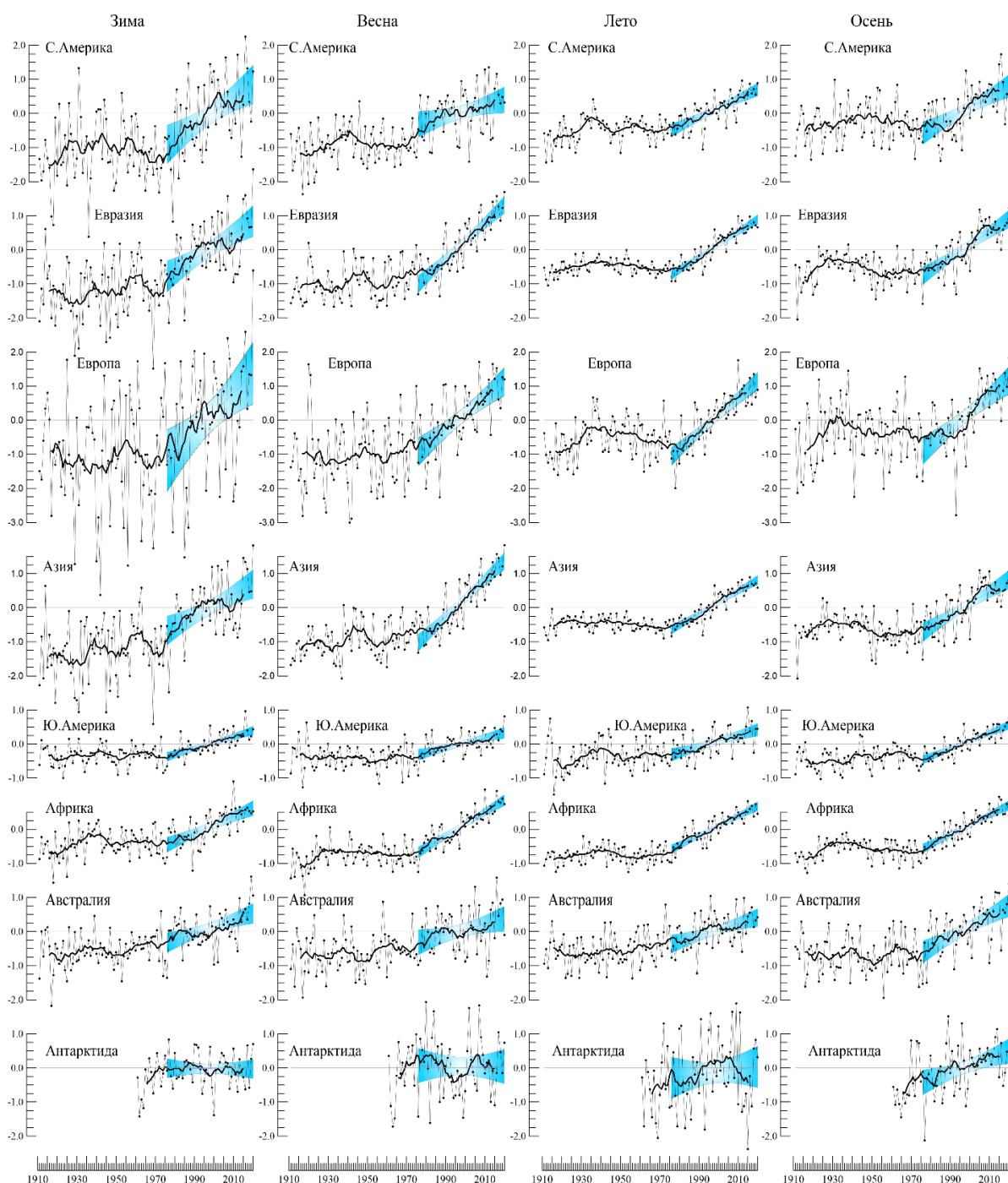


Рисунок 4.2 – См. рисунок 4.1, но для сезонных аномалий и только для континентов Земного шара

В таблице 4.2 приведены аналогичные оценки региональных трендов, но для каждого календарного месяца (рассчитаны по соответствующим региональным временным рядам среднемесячных аномалий). Можно видеть, что эти оценки хорошо согласуются с сезонными оценками (табл. 4.1) и дополняют их.

Так, видна большая неоднородность в структуре изменчивости температурного режима над сушей (в сравнении с океанами), как межгодовой (больше неопределенность оценок тренда), так и межмесячной (судя по колебаниям оценок от месяца к месяцу). Далее, вывод о потеплении осенних сезонов в Антарктической области становится менее уверенным, если учесть, уровень значимости оценок для сентября и октября (уверенно можно говорить только о ноябрьском тренде во всех регионах). Обращают внимание и

оценки тренда для европейского региона в зимние месяцы: при высоких значениях коэффициентов тренда они статистически значимы только на 5%-м уровне. Это, по-видимому, может говорить о высокой межгодовой изменчивости температурного режима в этом регионе (например, в связи с регулярными резкими эпизодами «холодных зим» на фоне общего потепления).

Таблица 4.2 – Сезонный ход коэффициентов линейного тренда ($^{\circ}\text{C}/10 \text{ лет}$) регионально осредненных среднемесячных аномалий приземной температуры

Регион	Месяцы 1976-2020 гг.											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
HadCRUT4 (суша+море)												
АО, 15-70 N	0.21	0.21	0.19	0.17	0.18	0.17	0.18	0.19	0.24	0.22	0.24	0.20
ТО, 40-60 N	0.17	0.14	0.16	0.14	0.16	0.19	0.22	0.26	0.26	0.24	0.23	0.22
65-90 N	0.68	0.47	0.68	0.76	0.77	0.49	0.50	0.39	0.44	0.45	0.75	0.76
25-65 N	0.25	0.28	0.29	0.35	0.28	0.26	0.29	0.31	0.33	0.31	0.31	0.28
25 S-25 N	0.16	0.14	0.15	0.15	0.16	0.15	0.15	0.15	0.15	0.14	0.15	0.15
65-25 S	0.09	0.10	0.10	0.12	0.13	0.11	0.12	0.10	0.11	0.09	0.11	0.09
90-65 S	<i>*-0.05</i>	<i>-0.07</i>	<i>-0.04</i>	<i>-0.07</i>	<i>-0.05</i>	0.11	0.01	0.09	#0.31	#0.21	0.31	0.21
T3288 (суша)												
С.Америка	0.49	0.54	0.21	0.21	0.09	0.19	0.28	0.27	0.27	0.33	0.27	<i>*0.34</i>
Евразия	<i>*0.28</i>	0.33	0.50	0.68	0.51	0.39	0.39	0.35	0.38	0.35	0.43	0.36
Ю.Америка	0.16	0.19	0.16	0.16	0.18	<i>*0.10</i>	0.22	0.09	0.18	0.30	0.20	0.20
Африка	0.26	0.20	0.27	0.36	0.32	0.34	0.32	0.3	0.23	0.24	0.30	0.31
Австралия	<i>*0.20</i>	0.29	0.11	#0.17	<i>*0.24</i>	0.04	0.14	0.28	0.10	0.32	0.37	<i>*0.26</i>
Антарктида	<i>-0.05</i>	<i>-0.02</i>	0.04	0.02	<i>-0.09</i>	0.07	<i>-0.20</i>	0.16	#0.29	0.19	0.25	<i>*0.17</i>
Европа	<i>*0.54</i>	<i>*0.52</i>	<i>*0.68</i>	<i>*0.48</i>	0.53	0.39	0.41	0.51	0.58	0.47	0.45	0.49
Азия	#0.21	<i>*0.28</i>	0.44	0.73	0.52	0.38	0.37	0.30	0.33	0.31	0.42	0.33

Примечание. Усл. обозначения см. таблицу 4.1

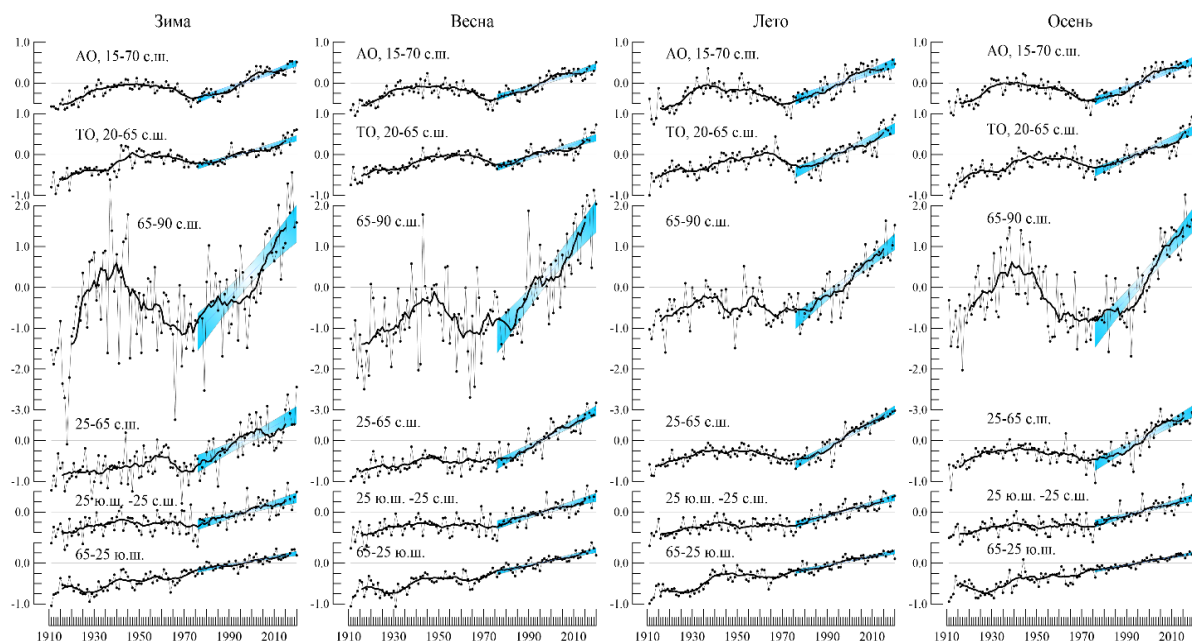


Рисунок 4.2 – См. рисунок 4.1, но для сезонных аномалий и только для северных частей Тихого и Атлантического океанов и широтных поясов Земного шара

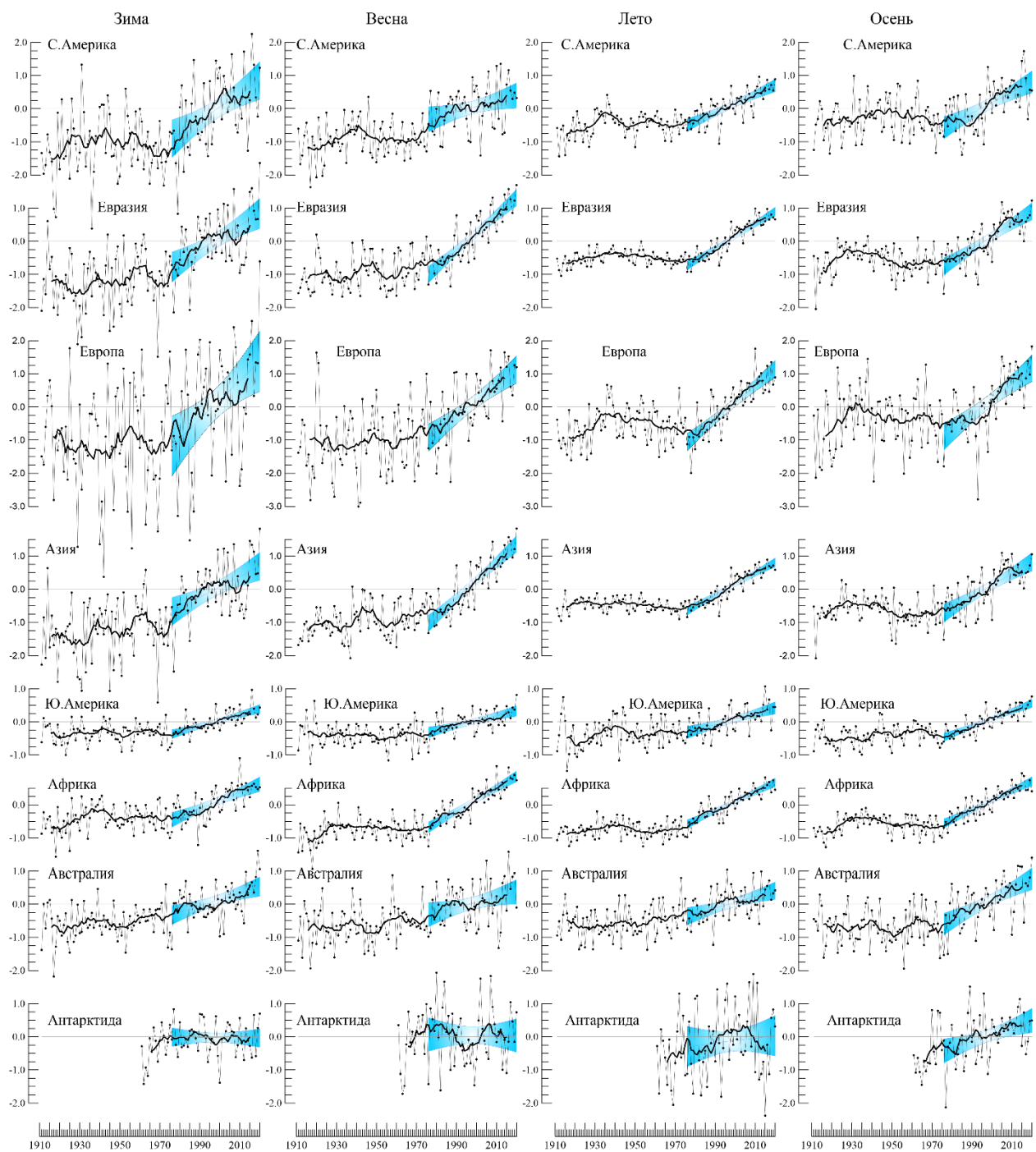


Рисунок 4.3 – См. рисунок 4.1, но для сезонных аномалий и только для континентов Земного шара

5. ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА, 1976-2020 гг.

Оценки получены по данным наблюдений на 2395 станциях (массив T3288) и в центрах 1452 боксов (массив HadCRUT4), для которых временные ряды охватывают не менее 35 лет наблюдений (включая последний). На рисунке 5.1 приведено географическое распределение локальных коэффициентов тренда, а в таблице 5.1 – их количественное распределение по крупным регионам земного шара, включая Земной шар в целом и полушария; их сезонные особенности можно проследить на рисунках 5.2. и 5.3.

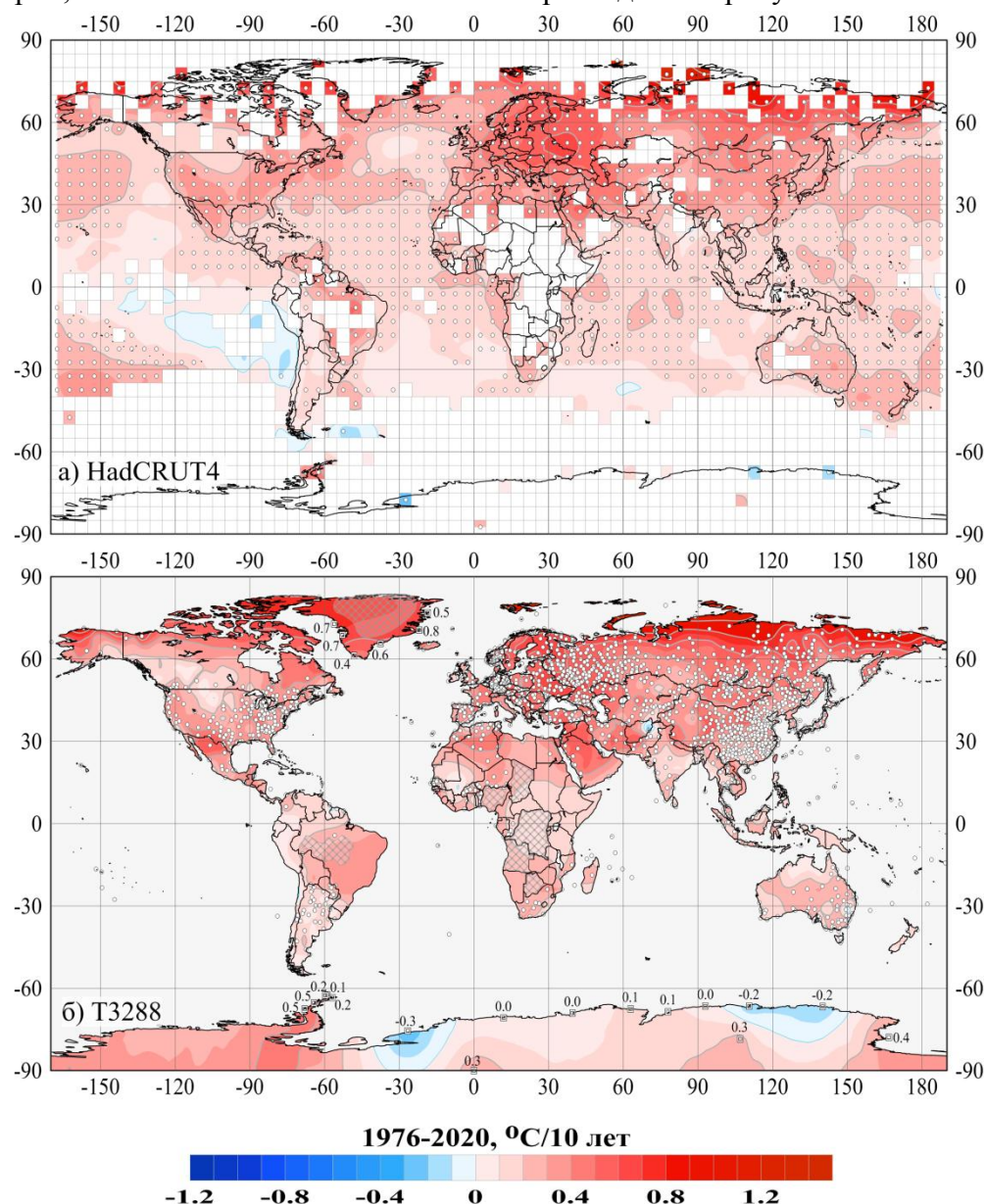


Рисунок 5.1 - Пространственное распределение коэффициентов линейного тренда среднегодовой температуры у поверхности Земного шара, 1976-2020 гг. (°C/10 лет).

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.

Тенденция к потеплению наблюдается почти на всей территории земного шара (рис. 5.1) – положительные тренды составляют около 98% всех локальных оценок (с учетом и без учета океанов). Все детали распределения локальных оценок по регионам, направленности тренда и его статистической значимости можно найти в табл. 5.1.

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

Регион	N	$b < 0$			$b = 0$	$b > 0$		
		$всего$	$\alpha \leq 0.01$	$\alpha \leq 0.05$		$всего$	$\alpha \leq 0.01$	$\alpha \leq 0.05$
HadCRUT4 (суша+море)								
Земной шар	1452	3.0	0.3	0.7	0.2	96.8	74.6	82.4
С. полушарие	902	0.3	-	-	-	99.7	84.5	90.8
Ю. полушарие	550	7.5	0.7	1.8	0.5	92.0	58.4	68.7
90-65 с.ш.	75	-	-	-	-	100.0	97.3	98.7
65-25с.ш.	526	-	-	-	-	100.0	85.2	92.0
25Сш.-25ю.ш.	601	4.0	-	0.2	0.5	95.5	73.5	81.0
25-65 ю.ш.	239	7.1	0.8	2.5	-	92.9	49.0	61.9
65-90 ю.ш.	11	27.3	18.2	27.3	-	72.7	27.3	36.4
T3288 (только суша)								
Земной шар	2395	2.0	0.2	0.3	0.5	97.5	80.1	87.6
С. полушарие	2083	1.2	0.1	0.2	0.2	98.5	83.6	90.4
Ю. полушарие	313	7.3	0.3	0.3	1.9	90.7	56.9	69.0
С.Америка	406	2.2	-	-	0.7	97.0	57.1	70.9
Евразия	1441	0.8	0.1	0.2	0.1	99.2	91.2	96.0
Ю.Америка	95	10.5	2.1	2.1	4.2	85.3	45.3	62.1
Африка	93	5.4	-	1.1	-	94.6	84.9	92.5
Австралия	124	4.0	-	-	1.6	94.4	58.1	71.0
Антарктида	17	17.6	-	-	-	82.4	17.6	23.5
Европа	515	0.2	-	-	-	99.8	98.3	99.4
Азия	935	1.1	0.2	0.3	0.1	98.8	87.4	94.2

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

Область наиболее интенсивного потепления – Арктика: тренд положителен во всех боксах, и на 97.3% из них статистически значим на 1%-м уровне (по данным HadCRUT, суша+море). Вдоль побережья Северного Ледовитого океана практически всюду тренд достигает $+0.8^{\circ}\text{C}/10$ лет и более.

Из континентов, как и по региональным оценкам (табл. 4.1, 4.2), выделяется регион Европы, где 99.8% данных указывают на потепление, притом 98.3% статистически значимы на 1%-м уровне и еще 1.1% - на 5%-м. В Восточной Европе скорость потепления достигает $+0.7-0.8^{\circ}\text{C}/10$ лет. Близкая ситуация в Азии и, как результат, в Евразии в целом. Большая часть океанической поверхности в Северном полушарии и тропическом поясе (кроме восточного сектора Тихого океана у побережья Южной Америки) также характеризуется статистически значимыми на 1%-м уровне трендами к потеплению. Интенсивное потепление также отмечается в Северной Атлантике и на севере Тихого океана (до $0.3-0.4^{\circ}\text{C}/10$ лет, рис. 5.1).

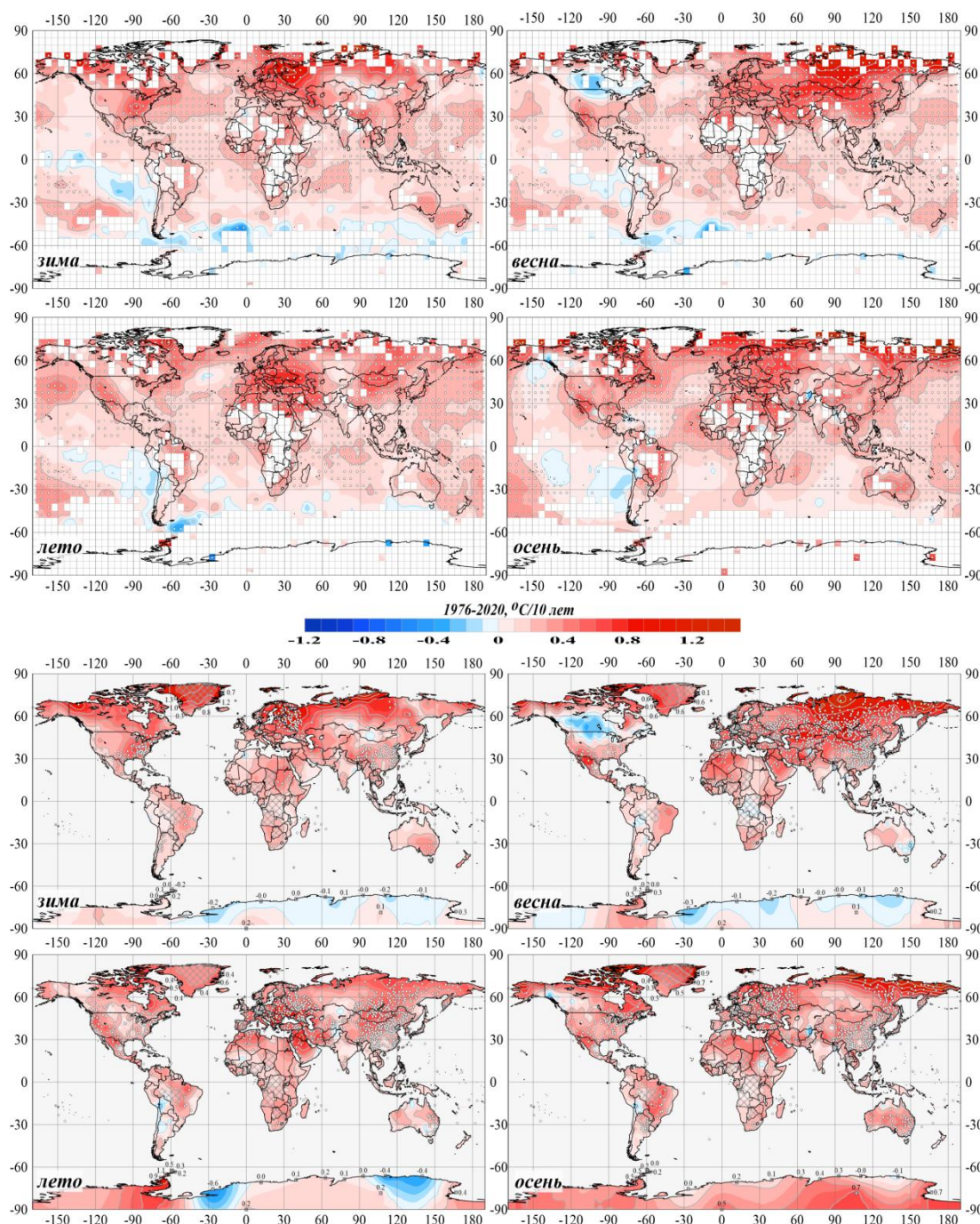


Рисунок 5.2 – См. рис. 5.1, но для коэффициентов тренда сезонных аномалий температуры

Тенденция к похолоданию на территории земного шара отмечена на 5% боксов (2% станций); с уровнем значимости $\alpha \leq 0.05$ всего 0.7% (0.3%). Согласно станционным данным (Т3288, только суша), в полярном широтном поясе, как уже отмечено выше, не обнаружено ни одной станции с тенденцией к похолоданию, а в поясе умеренных широт (25-65°с.ш.) таких станций оказалось 17 (1%) и статистически значимых из них только две (по одной с уровнем значимости 1% и 5%).

На территории континентов таких станций всего 6 (табл. 5.1) – на севере США, в Антарктиде, Пакистане и Чили. Практически все остальные станционные оценки, указывающие на тенденцию к похолоданию, не достигают и $-0.1^{\circ}\text{C}/10$ лет и статистически не значимы. На акваториях океанов отрицательный тренд зафиксирован в Тихом океане у побережья Южной Америки (до $-0.1^{\circ}\text{C}/10$ лет) и на юго-западе Атлантики (до $-0.3^{\circ}\text{C}/10$ лет у берегов Огненной Земли).

Зима (рис.5.2, 5.3а). В географическом распределении трендов для зимнего сезона, в среднем и для каждого месяца, преобладает тенденция к потеплению. Наиболее интенсивное потепление (более $1.0^{\circ}\text{C}/10$ лет, уровень статистической значимости 1%) наблюдалось в Гренландии, на западе США, в Скандинавии, в Восточной Европе, в Юго-Восточной Азии. В декабре значительное потепление фиксируется на северо-востоке Евразии, в январе – в Якутии и на Дальнем Востоке (значимо на 1% уровне), в феврале – на западе и в центре АЧР. На сезонной карте тренд к похолоданию просматривается только в небольших областях Антарктиды и в восточной части Тихого океана (у побережья Южной Америки). В течение всего сезона, на всех континентах выделяются области отрицательного тренда. Наиболее значительные из них - в Северной Америке (до $-1^{\circ}\text{C}/10$ лет) и Сибири (до -0.8°C). На акваториях океанов в каждом из зимних месяцев сохраняются особенности сезонного распределения.

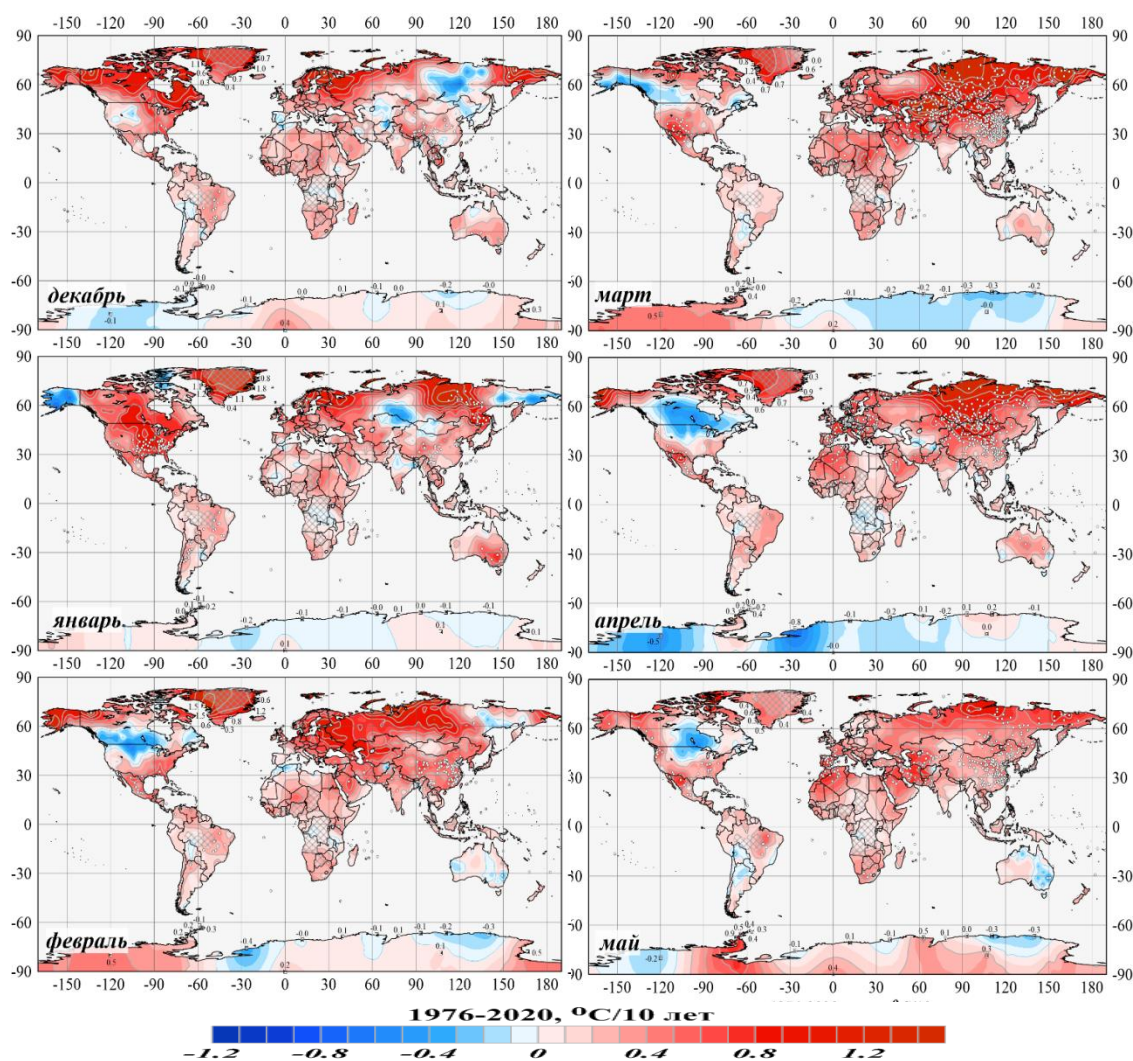


Рисунок 5.3а – См. рис. 5.2, но для трендов среднемесячной температуры зимнего (слева) и весеннего (справа) сезонов и только на континентах (Т3288, ИГКЭ)

Весна (рис.5.2, 5.3б). Положительным статистически значимым трендом охвачена практически вся территория Евразии (до $+1.6^{\circ}\text{C}/10$ лет на севере Красноярского края), за исключением некоторых районов Восточно-Европейской равнины и юго-восточной Азии.

Обширная область с тенденцией к похолоданию выделяется в Северной Америке (до $-0.4^{\circ}\text{C}/10$ лет), а также в Антарктиде, но обе они статистически не значимы.

Лето (рис.5.2, 5.3а). Как и в другие сезоны, летом преобладает тенденция к потеплению. Наиболее высокая скорость потепления в течение всего сезона отмечается в Европе (до $+0.9^{\circ}\text{C}/10$ лет), Малой и Передней Азии и в Монголии (до $0.8^{\circ}\text{C}/10$ лет), в Антарктиде (до $1.1^{\circ}\text{C}/10$ лет на Антарктическом полуострове) и на территории США. В июне статистически значимое потепление отмечается на большей части АЧР.

Статистически значимые тенденции к похолоданию получены в Восточной Антарктиде и в Атлантическом океане в районе Огненной Земли (около $-0.4^{\circ}\text{C}/10$ лет). Отрицательные тренды отмечаются также в течение всех трех месяцев также в Западной Сибири, на территории Средней Азии и в Боливии, а также в июле в Аргентине.

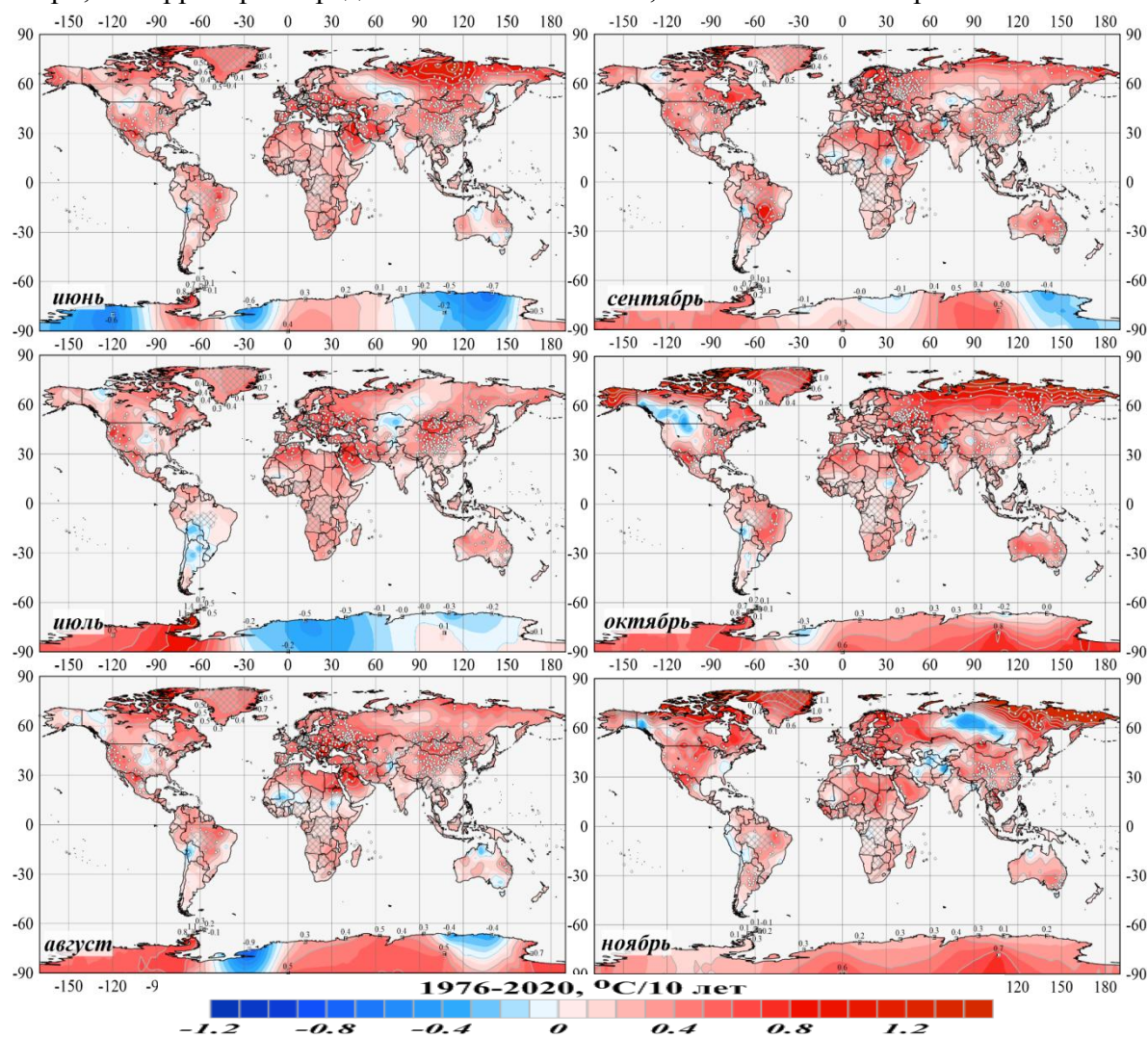


Рисунок 5.3b – См. рис. 5.2, но для трендов среднемесячной температуры летнего (слева) и осеннего (справа) сезонов и только на континентах (Т3288, ИГКЭ)

Осенью (рис.5.2, 5.3б), практически в каждом месяце, интенсивное статистически значимое потепление происходит в Арктике, на Дальнем Востоке (до $2.1^{\circ}\text{C}/10$ лет в Восточной Сибири), на территории Европы (до $0.8^{\circ}\text{C}/10$ лет) и в Юго-Восточной Азии, а также в США (в сентябре и в октябре).

Тенденция к похолоданию (до $-0.5^{\circ}\text{C}/10$ лет), как правило, статистически незначимая, отмечена в Антарктиде (в сентябре на Земле Уилкса), на территории Канады и США (в октябре), в Сибири и Центральной Азии (в ноябре). На сезонной карте им соответствуют области с практически нулевым трендом. Отрицательные тренды (около $-0.1^{\circ}\text{C}/10$ лет, также незначимые) отмечены также в океанах Южного полушария.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ⁸

1. В целом по Земному Шару 2020 год (аномалия $+0.504^{\circ}\text{C}$) был вторым среди самых теплых лет, на территории суши – первым, а на акваториях Мирового океана – четвертым. В Северном полушарии по всем вариантам данных (суша, море, суша+море) 2020 год был самым теплым, в Южном полушарии по тем же данным – вторым-третьим, девятым и шестым, соответственно. По данным ИГКЭ (только суша!), после максимума 2016 (аномалия $+0.848^{\circ}\text{C}$) в 2017 и 2018 гг. произошло заметное понижение температуры на суше обоих полушарий, но в 2020 г. температурный рекорд практически восстановлен (в Северном полушарии превышен на 0.05°C).

2. В 2020 году на территории Земного шара, по-прежнему, доминируют положительные аномалии температуры, что подтверждено данными более 88% станционных наблюдений (среди них 49% выше 95-го процентиля, а 24% стали для своих пунктов рекордными). Из континентов выделяется Евразия (60% значений выше 95-го процентиля, в том числе 34% – абсолютные максимумы), с учетом океанов – широтный пояс $25\text{--}60^{\circ}\text{с.ш.}$ (за счет рекордно теплых Евразии и Тихого океана).

Из сезонов рекордно теплыми были: в Южной Америке – весна и осень, в Австралии – только осень, а в регионах северного полушария – все сезоны, кроме лета.

3. Отрицательные аномалии ($\sim 10\%$ всех данных) наблюдались, в основном, на континентах северного полушария (Канада, юг Евразии), в очень небольших областях на юго-востоке Австралии и в Антарктиде. На акваториях океанов они отмечены в Северной Атлантике (в районе Исландской котловины) и в океанах южного полушария: в восточной части Тихого океана и на юге Атлантического и Индийского океанов.

4. На большей части Земного шара продолжается потепление: положительные тренды составляют около 98% всех локальных оценок. Регион наиболее интенсивного потепления – Арктический пояс (севернее 65°с.ш.), где средняя скорость потепления за период 1976–2020 гг. составила $0.59^{\circ}\text{C}/10$ лет. Без учета океанов, таким регионом является Европа, где тренд среднегодовой температуры составляет $0.49^{\circ}\text{C}/10$ лет, а температуры летнего сезона – $0.51^{\circ}\text{C}/10$ лет.

5. Современное (1976–2020 гг.) глобальное потепление в Северном полушарии протекает быстрее, чем в Южном (в 1.3–2.2 раза), и в обоих полушариях над сушей почти вдвое быстрее, чем над океанами (в 1.8 раза). При этом на 100-летнем интервале времени этот контраст (суша-море) в Южном полушарии был значительно слабее (в 1.3–1.4 раза). В целом, средняя скорость современного потепления выше таковой для последнего столетия примерно в 2.5–3.0 раза в Северном полушарии (наиболее интенсивно – на акваториях океанов) и в 1.4–1.9 раза – в Южном (максимально – на континентах).

6. Приведенные в бюллетене глобальные оценки температурного режима у поверхности земли в 2020 г., полученные по данным массива T3288 (данные ФГБУ «ИГКЭ»), хорошо согласуются с оценками по одноименным данным массива CRUTEM4 (данные Hadley/CRU, один из базовых массивов ВМО). Вывод основан на сравнении погодичных данных и статистических оценок, полученных по этим двум массивам. Результаты сравнения представляются в каждом выпуске бюллетеня (для года и/или сезона) и доступны по адресу <http://climatechange.igce.ru>.

⁸ Все значения аномалий приведены относительно базового периода 1981–2010 гг. (см. Введение)