

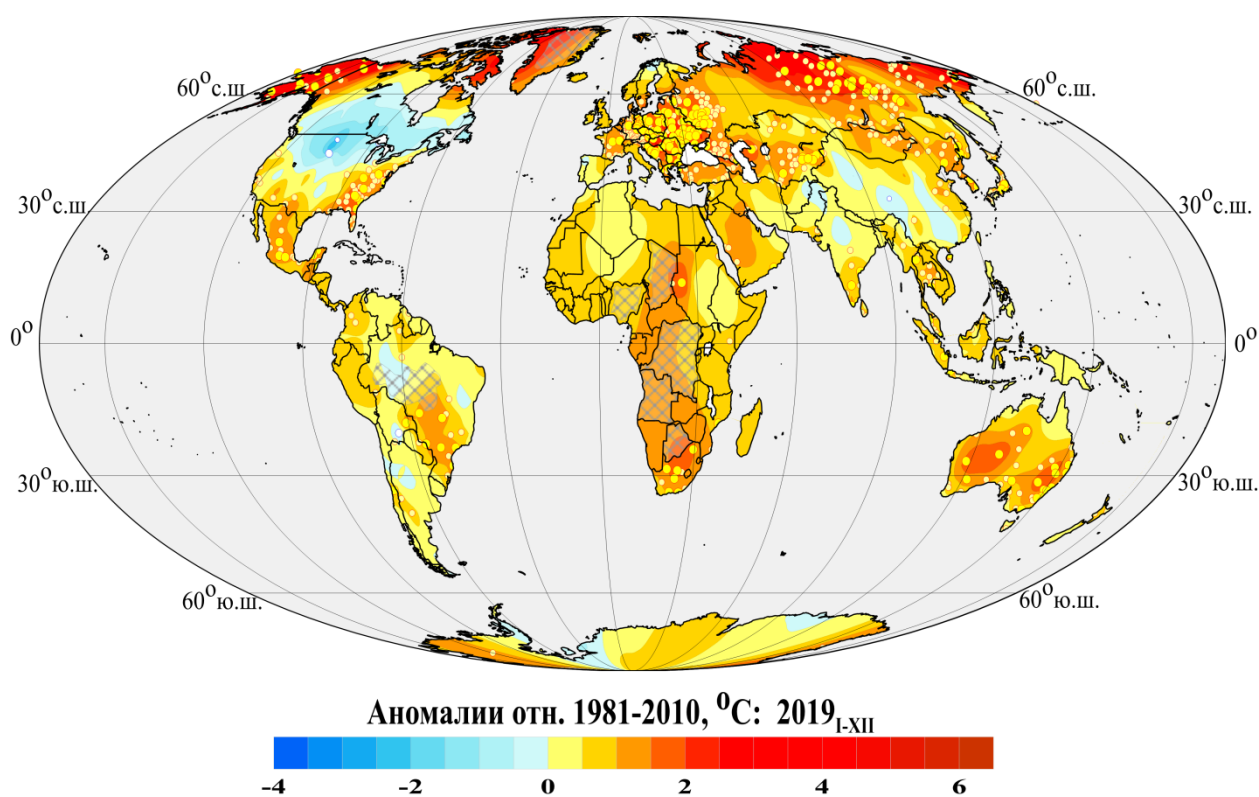
Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу
окружающей среды

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

Бюллетень мониторинга изменений климата Земного шара

Приземная температура – 2019

Годовой обзор



Москва 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ^{1,2}

1. ВВЕДЕНИЕ	3
2. ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ У ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМНОГО ШАРА В 2019 году. ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ АНОМАЛИИ	6
3. КРУПНОМАСШТАБНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ЗЕМНОГО ШАРА ЗА ПЕРИОД ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ 1850-2019 гг.	16
4. ВРЕМЕННЫЕ РЯДЫ РЕГИОНАЛЬНО ОСРЕДНЕННЫХ АНОМАЛИЙ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ, 1911-2019 гг.	21
5. ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА, 1976-2019 гг.	26
6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ	29

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: 2019 год (январь-декабрь). Использованы станционные данные ФГБУ «ИГКЭ»: Т3288

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящем бюллетене представлены данные о климатических аномалиях температурного режима 2019 года у поверхности земного шара и обновленные (с учетом этих данных) оценки тенденций в его изменении в течение 1976–2019 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 телеграмм 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 дополнительная информация из альтернативного источника (в том числе, для сравнения с одноименными данными ИГКЭ с целью лучшего понимания меры их неопределенности). В соответствии с рекомендацией ВМО⁵, все основные оценки приводятся в аномалиях температуры относительно базового периода 1981-2010 гг. 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.

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 14.01.2020.

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

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

Сравнение глобальных временных рядов среднегодовых аномалий температуры приземного воздуха по данным массивов T3288 (ИГКЭ) и CRUTEM4 (Hadley/CRU). Цель предлагаемого 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 результаты их сравнения (статистические характеристики попарных разностей) по данным за 1976-2019 гг. (период современного глобального потепления) и 1920-2019 гг. (последнее столетие) приведены в таблице 1.1 для Земного шара, Северного и Южного полушарий (только суша!).

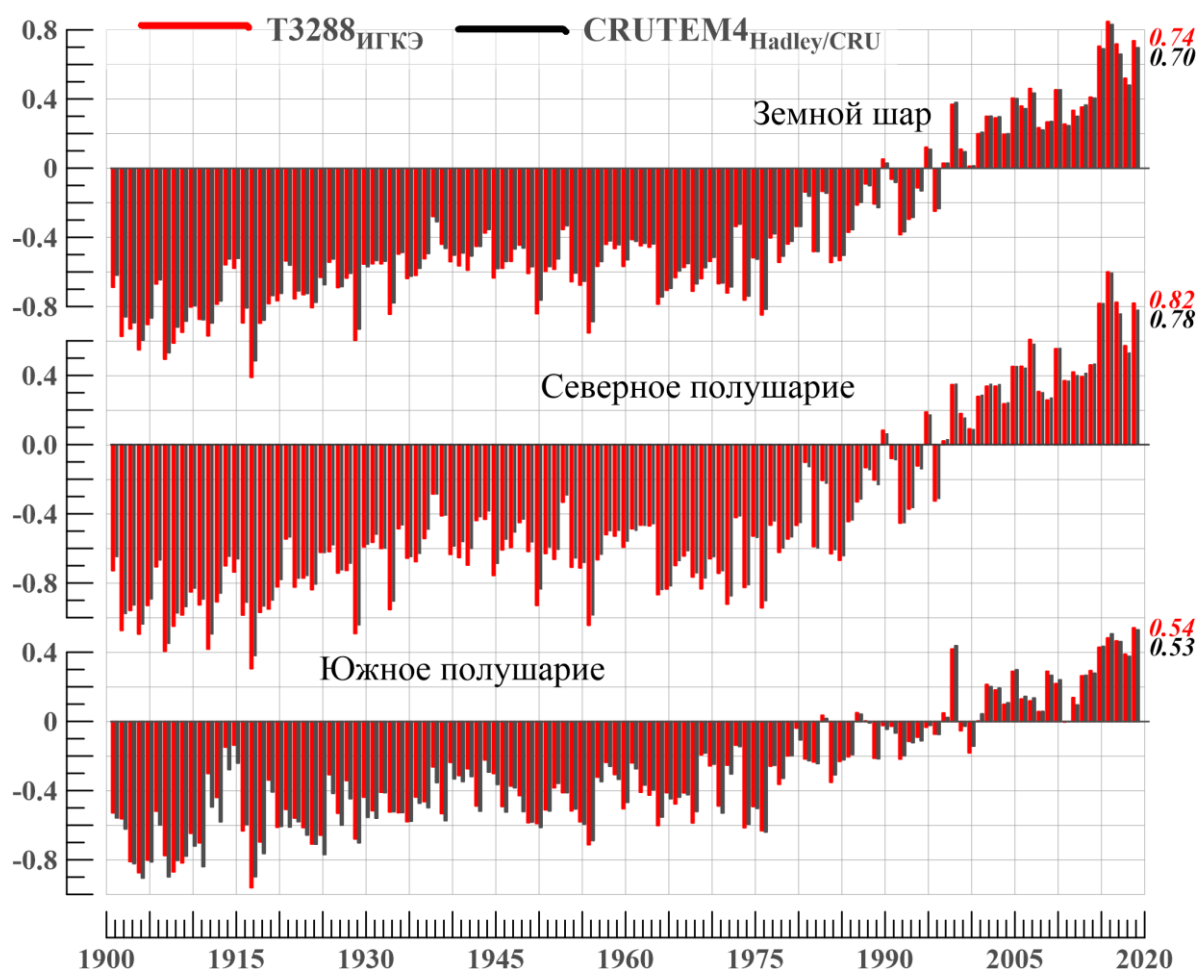


Рисунок 1.1 – Временные ряды пространственно осредненных годовых аномалий температуры приземного воздуха над сушей Земного шара, Северного и Южного полушарий (°C, 1901-2019 гг.). *Использованы временные ряды, рассчитанные по данным массива T3288 (ИГКЭ) и глобальные временные ряды CRUTEM4 (Hadley/CRU).*

Среднее различие рядов за 1920-2019 гг. не превышает 0.02°C , а за период 1976-2019 гг. и вовсе пренебрежимо мало (табл. 1.1). Стандартное отклонение различий за эти периоды ($0.02\text{--}0.04^{\circ}\text{C}$) на порядок ниже стандартного отклонения самих рядов ($0.3\text{--}0.5^{\circ}\text{C}$). Максимальные различия за период с 1976 г. не превышали 0.07°C , а в целом за столетие в Южном полушарии достигали 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).

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

Оценка	1976-2019			1919-2019		
	ЗШ	СП	ЮП	ЗШ	СП	ЮП
Корреляция рядов	0.999	0.999	0.996	0.999	0.999	0.993
Среднее различие, °С	0.003	0.002	0.000	-0.013	-0.017	0.013
СКО (сигма) различий, °С	0.021	0.020	0.022	0.029	0.029	0.037
Среднее абсолютное различие, °С	0.016	0.016	0.017	0.025	0.026	0.029
Макс. абсолютное различие, °С	0.059	0.065	0.068	0.082	0.094	0.117
Разность коэфф. тренда, °С/10лет	0.009	0.006	-0.001	0.005	0.006	-0.006
СКО Т3288, °С	0.399	0.470	0.254	0.432	0.490	0.310
СКО CRUTEM4, °С	0.386	0.461	0.253	0.413	0.472	0.317

Таким образом, статистические оценки изменчивости температуры приземного воздуха, полученные по данным массива Т3288, очень близки к оценкам по данным всемирно известного массива CRUTEM4. Для каждого из сезонов аналогичные материалы с тем же заключением представлены в соответствующих выпусках сезонных бюллетеней.

Дополнительно в таблице 1.2 приведены значения межгодовых изменений среднегодовой температуры *на суше Земного шара* в последние годы, начиная с момента ее двукратного скачкообразного повышения в 2015 и 2016 гг. (по обоим источникам). Можно видеть (рис. 1.1, табл. 1.2), что в 2019 году произошло значительное повышение температуры по сравнению с предыдущим годом, которое скомпенсировало ее снижение в 2017-2018 гг., вследствие чего глобальная температура достигла уровня 2015 года (даже немного его превысив), а в Южном полушарии даже превысила уровень рекордного 2016 года.

Таблица 1.2 – Межгодовые изменения среднегодовой приземной температуры, в среднем по территории суши Земного шара и полушарий, 2015-2019 гг.

Межгодовые разности	Данные Т3288, °С (ИГКЭ)			Данные CRUTEM4, °С (Hadley/CRU)		
	ЗШ	СП	ЮП	ЗШ	СП	ЮП
2017-2016	-0.13	-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	0.217	0.246	0.153	0.217	0.248	0.153
2019-2015	0.032	0.001	0.113	0.007	-0.038	0.096
2019-2016	-0.111	-0.181	0.059	-0.134	-0.214	0.023

2. ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ У ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМНОГО ШАРА В 2019 ГОДУ. ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ АНОМАЛИИ

В соответствии с полученными оценками (табл. 2.1), по всем вариантам данных (суша, море, суша+море) 2019 год оказался в первой тройке самых теплых лет (вместе с 2016 и 2015 гг.). При этом в Южном полушарии он стал рекордно теплым в среднем по территории суши, а в Северном полушарии – по акваториям океанов.

Таблица 2.1 – Пять самых теплых лет для Земного шара, Северного и Южного полушарий по данным разных источников: средняя за год аномалия температуры VT и год наблюдения

№	ЗШ		СП		ЮП	
	VT, °C	Год	VT, °C	Год	VT, °C	Год
HadCRUT4 (Hadley/CRU, суша+море)						
1	0.504	2016	0.701	2016	0.308	2016
2	0.470	2015	0.670	2015	0.279	2019
3	0.443	2019	0.609	2019	0.274	2015
4	0.384	2017	0.559	2017	0.242	1998
5	0.304	2018	0.426	2018	0.211	2017
T3288 (ИГКЭ, суша)						
1	0.848	2016	0.998	2016	0.542	2019
2	0.737	2019	0.822	2017	0.483	2016
3	0.718	2017	0.817	2019	0.466	2017
4	0.705	2015	0.816	2015	0.429	2015
5	0.520	2018	0.607	2007	0.419	1998
CRUTEM4 (Hadley/CRU, суша)						
1	0.831	2016	0.993	2016	0.530	2019
2	0.697	2019	0.817	2015	0.507	2016
3	0.690	2015	0.779	2019	0.462	2017
4	0.659	2017	0.757	2017	0.438	1998
5	0.480	2018	0.582	2007	0.434	2015
HadSST3 (Hadley/CRU, море)						
1	0.408	2016	0.535	2019	0.291	2016
2	0.387	2015	0.535	2016	0.230	2015
3	0.377	2019	0.526	2015	0.228	2019
4	0.300	2017	0.439	2017	0.199	1998
5	0.275	2018	0.409	2018	0.190	2017

Географическое распределение среднегодовых аномалий. В 2019 году, как обычно в последние годы, на территории Земного шара преобладали положительные аномалии температуры (рис. 2.1). Забегая вперед, отметим, что их доля по данным боксов/станций (HadCRUT4/T3288) составила более 80-85% всех наблюдений, 35-40% оказались выше 95-го перцентиля, и 10-15% стали для своих пунктов рекордными.

На континентах наибольшая доля положительных аномалий наблюдалась в Европе – около 99% всех данных, в том числе почти 30% - абсолютные максимумы и еще более 30% выше 95-го перцентиля (рис. 2.1, табл. 2.2, 2.3 – T3288). В целом по территории Евразии аналогичные оценки составили: более 95% всех значений температуры выше климатической нормы, более 15% – рекордные максимумы и еще 30% – выше 95-го перцентиля.

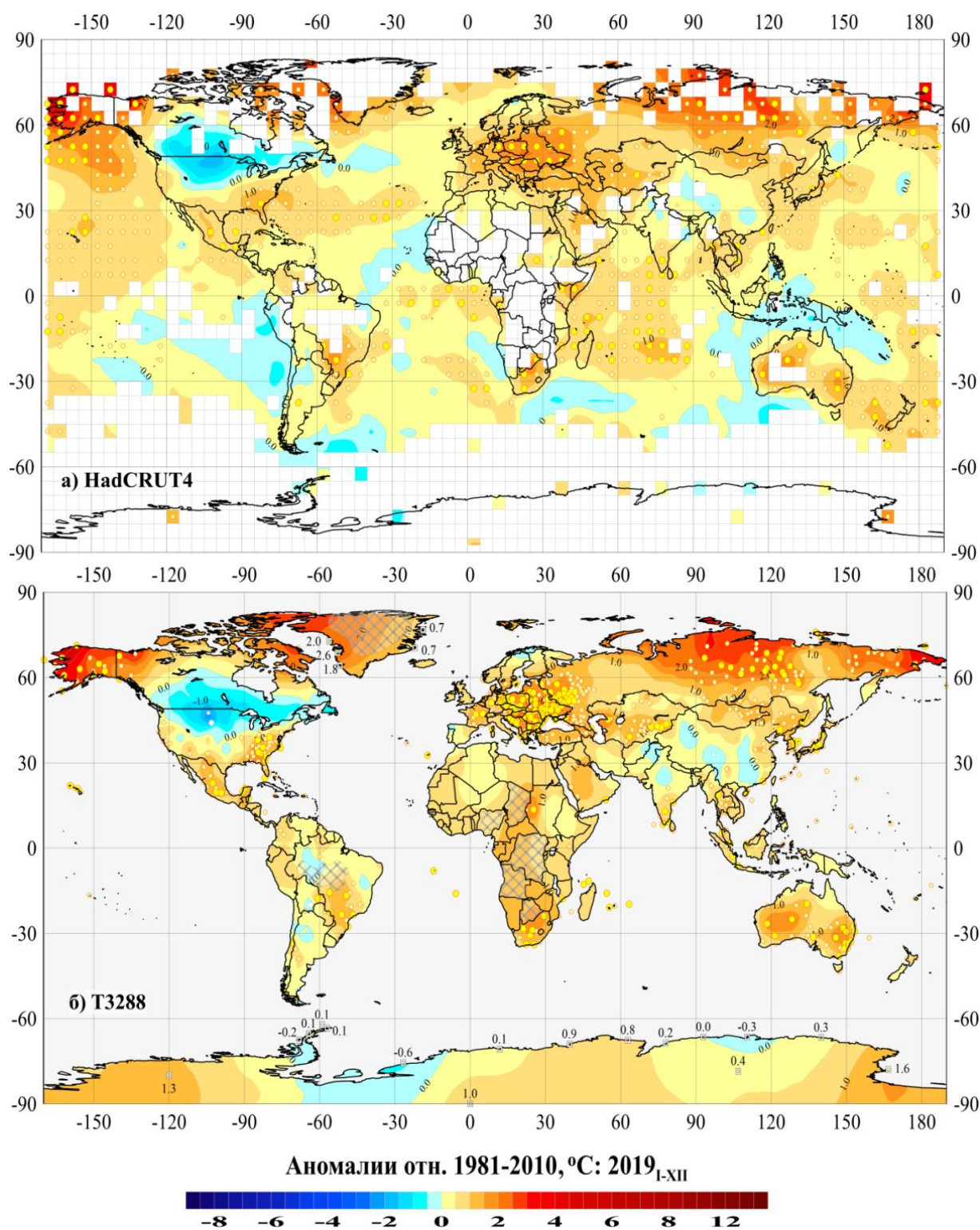


Рисунок 2.1 – Пространственное распределение среднегодовых аномалий приземной температуры (°C) на территории Земного шара в 2019 г.: а) по сеточным данным HadCRUT4 (Hadley/CRU, UK); б) по станционным данным T3288 (ИГКЭ).

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

Ниже, для крупных регионов мира (Земной шар, полушария континенты, океаны и основные широтные пояса) представлены пространственно осредненные значения и ранги наблюдаемых в 2019 г. аномалий (табл. 2.2) и соответствующие частотные распределения локальных аномалий по знаку и степени экстремальности (табл. 2.3).

Таблица 2.2 - Пространственно осредненные значения аномалии приземной температуры на территории Земного шара в 2019 г. (°C) 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	0.44	98	0.37	96	0.46	98	0.42	98	0.44	99
Северное полушарие	0.61	98	0.44	96	0.58	98	0.63	99	0.66	99
Южное полушарие	0.28	99	0.3	98	0.33	98	0.21	95	0.23	97
Атлантика (15-70N)	0.41	97	0.28	92	0.3	94	0.57	100	0.43	94
Тихий океан (20-65N)	0.73	100	0.59	100	0.53	99	0.87	100	0.93	100
Арктический пояс (65-90N)	1.56	98	1.48	94	2.38	100	1.03	97	1.66	99
Умеренный пояс СП (25-65N)	0.66	98	0.4	92	0.62	97	0.72	99	0.69	99
Тропики (25S-25N)	0.39	98	0.36	97	0.37	97	0.36	97	0.41	98
Умеренный пояс ЮП (65-25S)	0.3	98	0.34	99	0.36	99	0.3	99	0.21	95
Антарктический пояс (90-65S)	0.29	84	0.26	90	0.07	59	0.56	85	0.38	77
IGCE-T3288 (суша)										
Земной шар	0.74	99	0.56	96	0.84	99	0.61	99	0.7	99
Северное полушарие	0.82	98	0.54	93	0.96	99	0.67	97	0.77	97
Южное полушарие	0.54	100	0.6	99	0.56	99	0.48	97	0.55	99
Северная Америка	0.41	89	-0.24	65	0.48	89	0.55	94	0.57	86
Евразия	0.97	98	0.67	91	1.23	96	0.72	96	0.78	95
Европа	1.26	99	1.32	87	1.26	95	0.67	92	0.96	90
Азия	0.87	96	0.48	89	1.21	96	0.71	97	0.72	94
Южная Америка	0.45	99	0.22	91	0.37	93	0.45	93	0.63	100
Африка	0.74	98	0.47	91	0.9	98	0.74	99	0.65	97
Австралия	0.99	100	1.61	100	0.94	98	0.33	87	0.81	96
Антарктида	0.41	88	0.27	81	-0.15	47	0.82	87	0.47	79
CRUTEM4 (суша)										
Земной шар	0.7	99	0.58	96	0.75	99	0.61	98	0.66	99
Северное полушарие	0.78	98	0.59	95	0.88	99	0.68	98	0.72	97
Южное полушарие	0.53	100	0.55	99	0.5	98	0.45	96	0.54	99

Условные обозначения.

1. vT, °C – наблюдаемая аномалия в 2019 году (базовый период 1981-2010 гг.);
2. F% – значение эмпирической функции распределения $F = \text{prob}(X \leq vT_{2019})$ по данным за 1911-2019 гг. (вероятность превышения)
3. Красным шрифтом выделены абсолютные максимумы (наибольшие из всех значений ряда за 1911-2019 гг.), синим - отрицательные аномалии

Помимо Европы, в Евразии интенсивные очаги тепла сформировались в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке, в Казахстане, на северо-востоке Китая, в Монголии и в Японии (рис. 2.1). Центральная часть североамериканского континента, напротив, занята областью холода (аномалии до -3.0°C на севере США), а очаги тепла наблюдались на Аляске (аномалии до +5.1 °C), в Мексике и на юго-востоке США. В целом для суши

Южного полушария, как уже отмечалось (табл. 2.1), год стал самым теплым в истории наблюдений – по-видимому, за счет Австралии (60% значений выше 95-го перцентиля и рекордное значение в среднем по континенту) и южной территории Африки (26% – 5%-е экстремумы тепла и 14% из них – рекордные максимумы).

С учетом океанов (рис. 2.1, табл. 2.2, 2.3 – HadCRUT4), доля положительных аномалий выше всего в Арктическом поясе: 97% всех боксов с данными, около 12% – абсолютные максимумы и еще 25% – 5% -е экстремумы тепла. К регионам с высокой долей значений выше 95-го перцентиля (более 40%) относятся также тропический широтный пояс и пояс умеренных широт Северного полушария. В северной части Тихого океана (20-65°с.ш.) средняя по региону температура перекрыла региональный рекорд не только в среднем за год, но и во все сезоны 2019 г., кроме весны (при этом весенние сезоны 2019 и 2018 гг. разделили 2-3 место после 2016 – см. временной ряд ТО, рис. 4.2).

Таблица 2.3 – Частотное распределение среднегодовых локальных аномалий на территории Земного шара в 2019 г. по данным массивов T3288 и HadCRUT4 (все значения приведены в процентах от NN)

Регион NN - число боксов/ станций		Число значений в каждой категории (в % от NN)						
		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	1525	14.0	4.7	81.4	–	36.2	–	8.7
СП	909	8.4	2.9	88.8	–	41.8	–	8.7
ЮП	616	22.2	7.3	70.5	–	27.9	–	8.8
90-65S	14	28.6	7.1	64.3	–	14.3	–	–
65-25S	302	21.9	6.0	72.2	–	21.5	–	5.3
25S-25N	598	14.5	6.2	79.3	–	40.3	–	10.7
25-65N	533	10.1	2.8	87.1	–	40.3	–	8.3
65-90N	78	2.6	–	97.4	–	37.2	–	11.5
T3288 (только суша)								
ЗШ	1662	10.5	3.0	86.5	0.4	40.7	0.2	13.5
СП	1372	10.8	1.7	87.5	0.3	42.3	0.1	13.3
ЮП	290	9.3	9.0	81.7	0.7	33.1	0.7	14.8
С. Америка	302	34.1	3.3	62.6	1.0	28.8	0.3	8.6
Евразия	882	4.1	0.8	95.1	0.1	46.1	0.0	15.5
Ю. Америка	140	13.6	13.6	72.9	0.7	17.1	0.7	7.1
Африка	57	10.5	12.3	77.2	–	26.3	–	14.0
Австралия	72	–	2.8	97.2	–	59.7	–	23.6
Антарктида	18	16.7	11.1	72.2	5.6	5.6	–	–
Европа	327	1.2	0.3	98.5	–	63.6	–	29.4
Азия	562	5.7	1.1	93.2	0.2	36.5	–	7.7

Условные обозначения:

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

Сезонные особенности распределения аномалий. Пространственные распределения сезонных аномалий представлены на рисунке 2.2 и детализированы на рисунке 2.3 для отдельных месяцев каждого сезона. Значения регионально осредненных аномалий и их ранги (по убыванию температуры) приведены в таблицах 2.4, 2.5 для всех рассматриваемых регионов (включая глобальные) и всех 12 месяцев.

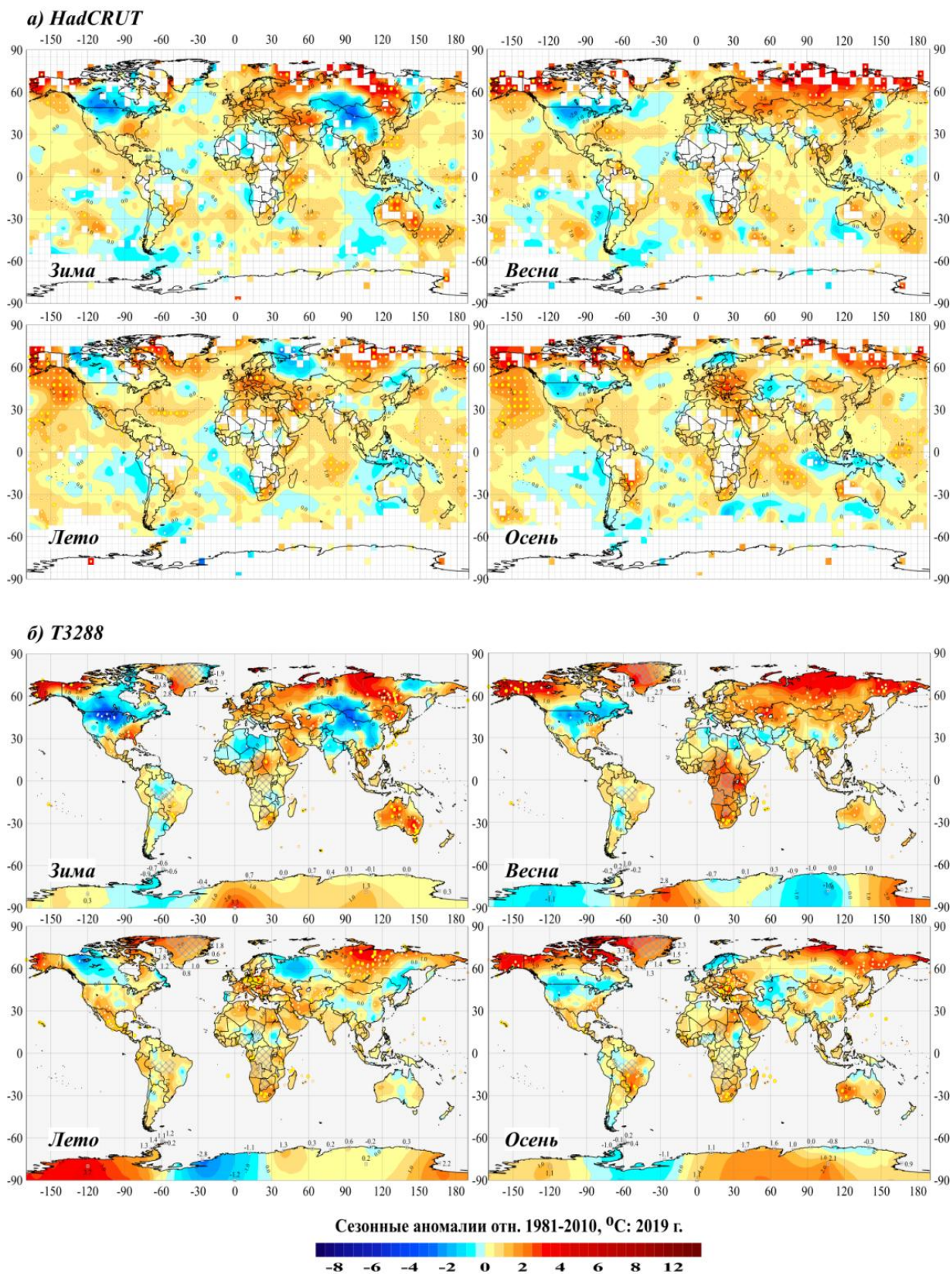


Рисунок 2.2 – См. рис. 2.1, но для средних сезонных аномалий 2019 г.:
а) по данным в центрах 5-градусных боксов на полной сетке HadCRUT4 (суша+море);
б) по данным наземных станционных наблюдений T3288 (только суша)

Зимний сезон (рис. 2.2, 2.3а). В целом по региону экстремально теплые условия (вероятность непревышения регионально осредненной аномалии 99-100%) сложились в этом сезоне северной части Тихого океана, в Австралии и в целом на суше Южного полушария (табл. 2.2). Многочисленные локальные экстремумы тепла были отмечены также на территории Азии (западная Азия, Дальний Восток) и Аляски. Однако главной особенностью сезона, по-видимому, следует считать повышенное количество локальных отрицательных аномалий на суше земного шара (чуть более 30% всех станционных данных в Северном полушарии и 25% в Южном). При этом наиболее интенсивные из них в декабре были расположены на территории Азии, в январе, в основном, в Северной Америке, в феврале на обоих континентах Северного полушария, но более интенсивные (до -15°C) – в Северной Америке. Можно отметить и еще одну особенность этой зимы – пониженная, по сравнению с последними годами, доля крупных аномалий тепла в Арктике, регионе наиболее активного потепления. В целом за год эта тенденция пока не так заметна:

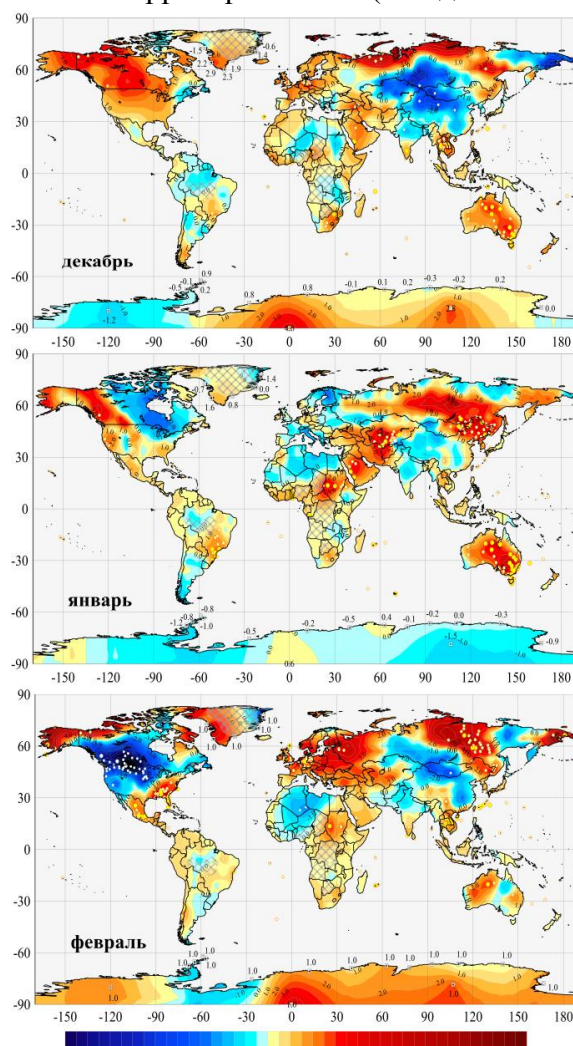


Рисунок 2.3а – Аномалии среднемесячной температуры приземного воздуха: декабрь 2018 – февраль 2019 (T3288, $^{\circ}\text{C}$).

особенностью сезона, по-видимому, следует считать повышенное количество локальных отрицательных аномалий на суше земного шара (чуть более 30% всех станционных данных в Северном полушарии и 25% в Южном). При этом наиболее интенсивные из них в декабре были расположены на территории Азии, в январе, в основном, в Северной Америке, в феврале на обоих континентах Северного полушария, но более интенсивные (до -15°C) – в Северной Америке. Можно отметить и еще одну особенность этой зимы – пониженная, по сравнению с последними годами, доля крупных аномалий тепла в Арктике, регионе наиболее активного потепления. В целом за год эта тенденция пока не так заметна:

Доля 5%-х экстремумов тепла в 2016-2019 гг.				
Год	Зимний сезон		Год в среднем	
	T3288	HadCRUT4	T3288	HadCRUT4
2016	35%	36%	74%	77%
2017	23%	32%	46%	49%
2018	43%	38%	34%	35%
2019	5%	12%	37%	37%

Весенний сезон (рис. 2.2, 2.3б) был исключительно теплым практически на всей территории, кроме Южной полярной области. Это подтверждается уже значениями сезонной аномалии (табл. 2.2),

которые почти для всех регионов (кроме Антарктического пояса, Антарктиды и Северной Америки) превысили уровень 95-го перцентиля или были близки к нему. Действительно, положительные аномалии охватили почти 90% территории Евразии, 80% Австралии и более 50% каждого из остальных континентов. В арктическом широтном поясе положительные аномалии составили около 95% всех данных, в том числе 24% были выше 95-го перцентиля, и среди них 7% - абсолютные максимумы. Наиболее интенсивные очаги тепла расположены вдоль арктического побережья России (в Архангельской области (до 4.7°C), Красноярском крае и Якутии), на Аляске (с максимумом 8.4°C) и в Канадском арктическом архипелаге (до $+4.1^{\circ}\text{C}$). Крупные положительные аномалии зафиксированы в Африке: 20% доступных станционных данных превышают уровень 95-го перцентиля, из них более половины – абсолютные максимумы (до $+4.1^{\circ}\text{C}$ в центре

материка и до 3.3°C на юге). Стоит отметить высокую долю положительных экстремумов в тропическом поясе – 24.5%, среди которых 4% - абсолютные максимумы.

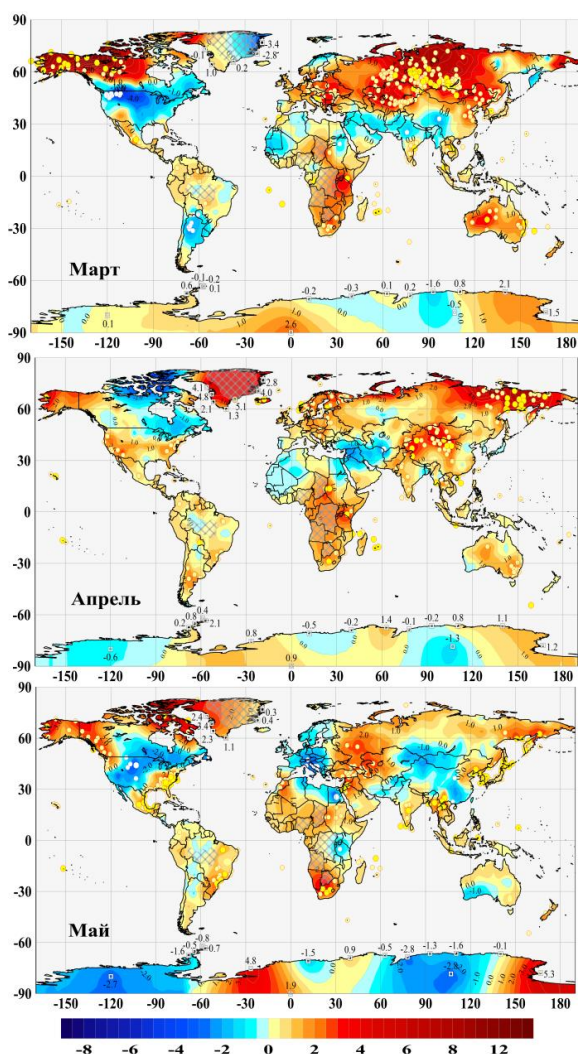


Рисунок 2.3б – Аномалии среднемесячной температуры приземного воздуха: март – май 2019 (Т3288, $^{\circ}\text{C}$).

Лето (рис. 2.2, 2.3в). Положительные аномалии летнего сезона составили 66%, при этом отмечалось большое количество экстремумов тепла выше 95-го процентиля – 26%, из которых 6% - абсолютные максимумы. Доля 5%-х экстремумов тепла в среднем за сезон составила: в Северной Америке - 23%, в Евразии - 27%, в Европе 35%, а в Африке достигла 39%, из которых 13% перекрыли прежний максимум. Области наиболее интенсивных сезонных аномалий тепла с многочисленными экстремумами располагались на Аляске-Чукотке, в Центральной Европе и Сибири (до 3.6°C), а также в тропиках Северного

Значительные области холода весной наблюдались в центральной части и на северо-востоке Северной Америки (до -3.4°C в США), а также на севере Африки и в Передней Азии (до -2.0°C в Египте), в Южной Америке (до -1.5°C в Аргентине) и на акваториях соседних океанов, на восточных станциях Антарктиды (до -1.6°C). В марте большая часть Евразии, от Европы до Дальнего Востока, была занята обширной положительной аномалией, а в мае практически вся территория Европы, а также Средиземноморье Монголия, Китай и Казахстан были охвачены отрицательными аномалиями.

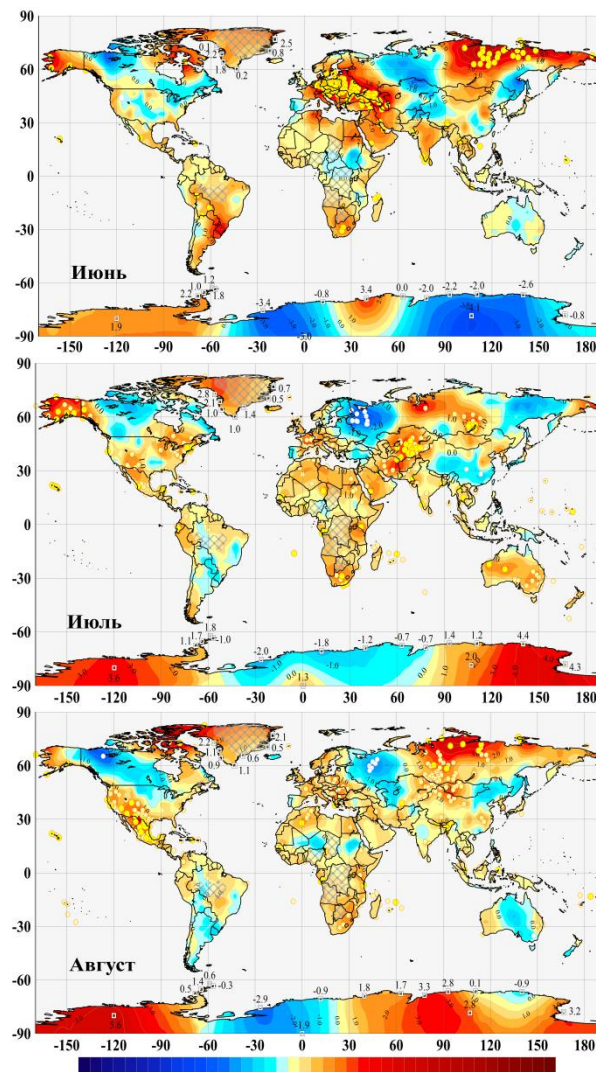


Рисунок 2.3в – Аномалии среднемесячной температуры приземного воздуха: июнь – август 2019 (Т3288, $^{\circ}\text{C}$).

полушария. *Июнь* стал рекордно теплым для всей суши Земного шара и для Европы (табл. 2.4, 2.5). В течение всего сезона положительные аномалии сохранялись в Западной Европе и на юге Северной Америки. Отрицательные аномалии в этом сезоне наблюдались в центральной и северо-западной части Канады (до -2.5°C), на ЕЧР, на Дальнем Востоке (до -1.6°C), в Китае и Антарктиде (до -2.8°C). На акваториях океанов летний сезон оказался рекордно теплым в Северной Атлантике и в северной части Тихого океана, причем в Тихом океане экстремально теплыми были *все летние месяцы*, а в Северной Атлантике – *июль*, за счет очагов тепла вблизи западного побережья Гренландии и тропической области (табл. 2.2, 2.5). В целом по Мировому океану прежний максимум был перекрыт *в августе*, а на океанах Северного полушария – еще и *в июле* (табл. 2.4).

Осень 2019 г. (рис. 2.2, 2.3г) характеризуется наличием областей с отрицательными аномалиями на всех континентах (рис. 2.3г). Так, в Северной Америке отрицательные аномалии зафиксированы на 32% станций, в Австралии – на 21%, в Антарктиде – на 44% станций. В частности, обширные области холода (аномалии до -2°C) наблюдались в Северной Америке (на границе США и Канады), Евразии (северная Европа, Казахстан, Средняя Азия) и Антарктиде, а также более слабые – в центральной части Африки, Южной Америке и на севере Австралии. Более интенсивными области холода были в Северной Америке *в октябре* и *ноябре* и в Евразии – *в ноябре*.

Наиболее крупные положительные аномалии зафиксированы на севере Канады и Аляске (до 6.8°C), в Гренландии (до 3.3°C), в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке. В целом за сезон, 23% станционных данных были выше 95-го процентиля, из них 5% - абсолютные максимумы. В Евразии доля 5%-х экстремумов тепла - 22%, в Африке – 22% (из них 9% - абсолютные максимумы), в Южной Америке – 19%, в Европе – 30%.

Рекордного значения достигла средняя по региону сезонная температура Южной Америки и северной части Тихого океана (табл. 2.2). Обширные очаги тепла наблюдались в регионе Мексиканского залива, в Индийском океане и экваториальной части Тихого и Атлантического океанов. *Сентябрь* стал рекордно теплым для Северной Америки, северной части Тихого океана и в целом для океанов Северного полушария. *Октябрь* в этом году был самым теплым в истории наблюдений для суши Земного шара и Северного полушария, а *ноябрь* – для Южного полушария (табл. 2.4).

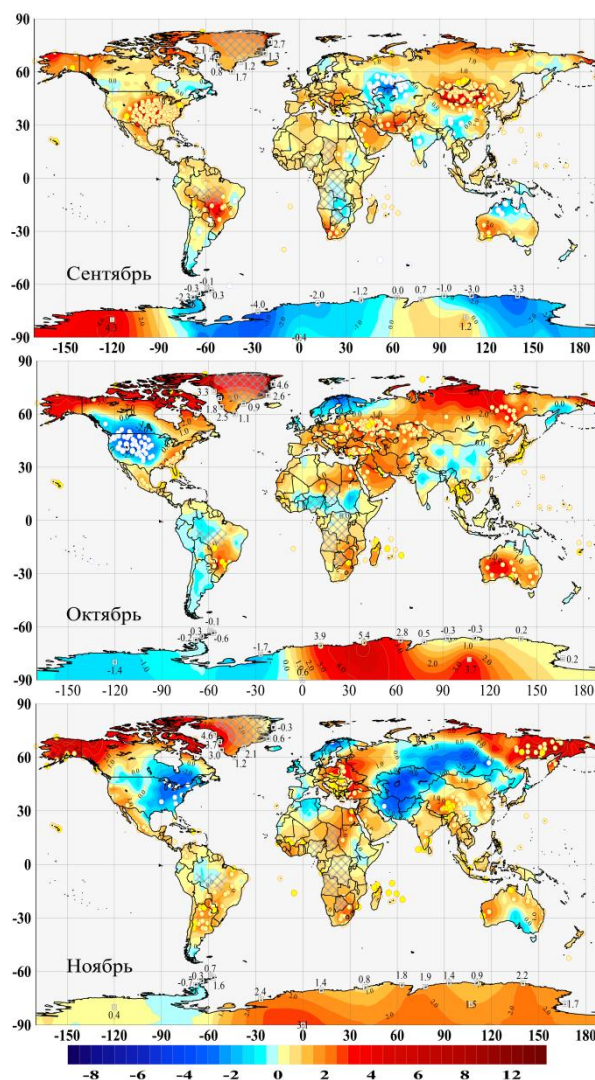


Рисунок 2.3г – Аномалии среднемесячной температуры приземного воздуха: сентябрь – ноябрь 2019 (T3288, $^{\circ}\text{C}$).

Таблица 2.4 –Пространственно осредненные значения среднемесячных аномалий приземной температуры в 2019 г.,в целом по Земному шару и полушариям

Регион	Месяцы 2019 г.												Год I-XII
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
HadCRUT4 (суша+море)													
*ЗШ	0.41 ₄	0.32 ₆	0.55 ₂	0.48 ₂	0.34 ₄	0.43 ₃	0.42 ₂	0.42 ₃	0.44 ₃	0.47 ₂	0.42 ₂	0.61 ₂	0.44 ₃
*СП	0.51 ₅	0.37 ₉	0.75 ₃	0.59 ₃	0.41 ₈	0.63 ₂	0.61 ₂	0.67 ₂	0.76 ₂	0.68 ₂	0.53 ₇	0.81 ₂	0.61 ₃
*ЮП	0.32 ₂	0.27 ₅	0.35 ₂	0.38 ₂	0.26 ₄	0.23 ₅	0.23 ₄	0.18 ₁₀	0.12 ₁₁	0.26 ₃	0.32 ₃	0.41 ₂	0.28 ₂
T3288 (суша)													
ЗШ	0.69 ₄	0.48 ₉	1.09 ₂	0.87 ₂	0.49 ₈	0.75 ₁	0.58 ₅	0.51 ₄	0.74 ₂	0.78 ₁	0.62 ₇	1.17 ₂	0.74 ₂
СП	0.69 ₆	0.50 ₁₀	1.29 ₃	0.97 ₂	0.52 ₉	0.86 ₂	0.58 ₆	0.59 ₄	0.91 ₂	0.86 ₁	0.56 ₁₁	1.29 ₂	0.82 ₃
ЮП	0.67 ₁	0.45 ₄	0.58 ₃	0.61 ₃	0.44 ₅	0.50 ₃	0.59 ₃	0.30 ₇	0.34 ₉	0.59 ₃	0.74 ₁	0.89 ₁	0.54 ₁
CRUTEM4 (суша)													
*ЗШ	0.68 ₄	0.50 ₈	0.98 ₂	0.80 ₂	0.48 ₈	0.75 ₁	0.58 ₆	0.50 ₄	0.67 ₂	0.72 ₂	0.57 ₈	1.14 ₂	0.70 ₂
*СП	0.69 ₆	0.55 ₁₀	1.22 ₃	0.92 ₂	0.50 ₁₁	0.87 ₂	0.58 ₆	0.60 ₄	0.85 ₂	0.79 ₁	0.50 ₁₂	1.28 ₂	0.78 ₃
*ЮП	0.65 ₁	0.38 ₆	0.51 ₃	0.57 ₃	0.43 ₅	0.50 ₄	0.56 ₃	0.30 ₇	0.31 ₈	0.58 ₃	0.73 ₁	0.87 ₁	0.53 ₁
HadSST3 (море)													
*ЗШ	0.34 ₂	0.33 ₃	0.36 ₂	0.37 ₃	0.31 ₄	0.34 ₄	0.40 ₂	0.43 ₁	0.39 ₃	0.41 ₂	0.43 ₂	0.42 ₂	0.38 ₃
*СП	0.41 ₃	0.41 ₂	0.40 ₂	0.40 ₄	0.40 ₅	0.53 ₂	0.67 ₁	0.74 ₁	0.72 ₁	0.65 ₂	0.60 ₂	0.52 ₂	0.54 ₂
*ЮП	0.26 ₂	0.26 ₃	0.33 ₃	0.34 ₂	0.24 ₄	0.16 ₁₁	0.17 ₅	0.17 ₇	0.07 ₁₃	0.18 ₅	0.26 ₄	0.30 ₃	0.23 ₃

Примечание. Нижними индексами показаны ранги в упорядоченных по убыванию временных рядах для соответствующего месяца 1911-2019 гг. Красным шрифтом выделены абсолютные максимумы (ранг 1, жирный шрифт) и значения с рангами 2 и 3. Звездочкой (*) в боковике таблицы указаны временные ряды Hadley/CRU.

Декабрь характеризуется обширной областью положительных аномалий на большей части территории Евразии и Северной Америки (рис. 2.3д), с многочисленными абсолютными максимумами (в Европе до 7.7°C, в США до 5.9°C). В Северном полушарии рекордно теплым (как и большую часть второй половины 2019 года) был также Тихий океан (табл. 2.5). В Южном полушарии месяц стал самым теплым в истории наблюдений для всей территории суши и, в том числе для Австралийского континента (табл. 2.4, 2.5), который весь был занят одним очагом тепла с большим количеством локальных максимумов (до 5.0°C). Отрицательные аномалии наблюдались в этом месяце в Восточной Сибири, Китае, Индии, на северо-востоке Канады, Аляске и в центральной части Южной Америки.

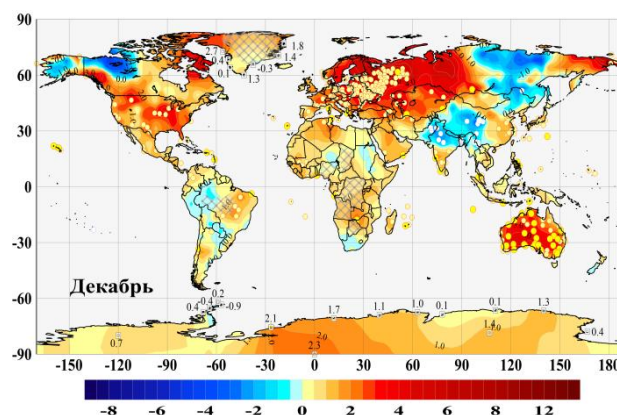


Рисунок 2.3д – Аномалии среднемесячной температуры приземного воздуха для декабря 2019 г. (T3288, °C).

**Таблица 2.5 – Регионально осредненные значения
аномалий приземной температуры
для континентов, северных частей Атлантического и Тихого
океанов и основных широтных поясов земного шара
в 2019 г. (в среднем за год и по месяцам)**

Регион	Месяцы 2019 г.												Год I-XII
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
T3288 (суша)													
С.Америка	0.42 ₂₇	-1.76 ₈₀	0.68 ₁₆	0.60 ₁₂	0.13 ₂₉	0.29 ₂₃	0.79 ₅	0.54 ₉	1.50 ₁	0.08 ₅₁	0.16 ₃₈	1.45 ₁₄	0.41 ₁₃
Евразия	0.98 ₆	1.03 ₁₁	1.99 ₇	1.20 ₈	0.47 ₁₃	1.14 ₂	0.42 ₁₄	0.57 ₉	0.76 ₆	1.19 ₃	0.42 ₂₃	1.44 ₄	0.97 ₃
Европа	-0.08 ₄₃	2.81 ₉	2.16 ₆	1.11 ₁₄	0.45 ₂₃	1.99 ₁	-0.33 ₅₁	0.27 ₃₀	0.43 ₃₅	1.22 ₆	1.22 ₂₉	3.78 ₃	1.26 ₂
Азия	1.23 ₅	0.55 ₁₇	1.96 ₅	1.24 ₉	0.42 ₁₃	0.84 ₆	0.63 ₆	0.66 ₆	0.86 ₄	1.15 ₄	0.18 ₂₈	0.79 ₁₅	0.87 ₅
Ю.Америка	0.36 ₁₀	0.32 ₁₀	-0.06 ₃₄	0.56 ₅	0.57 ₈	1.00 ₂	0.25 ₂₈	0.09 ₂₈	0.79 ₈	0.27 ₁₁	0.86 ₂	0.35 ₈	0.45 ₂
Африка	0.47 ₁₄	0.29 ₂₄	0.61 ₉	0.79 ₄	0.72 ₅	0.80 ₂	0.93 ₁	0.66 ₂	0.67 ₃	0.48 ₁₀	0.75 ₅	0.73 ₅	0.74 ₃
Австралия	2.25 ₁	0.79 ₁₀	1.66 ₁	0.86 ₉	0.28 ₂₃	0.07 ₄₁	1.15 ₅	-0.27 ₄₆	0.24 ₂₆	1.64 ₃	0.67 ₁₅	2.88 ₁	0.99 ₁
Антарктида	-0.39 ₄₄	0.84 ₇	0.36 ₂₀	0.18 ₃₇	-1.12 ₅₄	-0.74 ₃₇	1.60 ₁₂	1.60 ₇	-0.19 ₃₃	0.42 ₂₂	1.18 ₄	0.88 ₁₁	0.41 ₁₀
HadCRUT4 (суша+море)													
АО,15-70 N	0.29 ₁₂	0.44 ₃	0.35 ₃	0.26 ₈	0.28 ₁₀	0.40 ₈	0.62 ₁	0.68 ₂	0.51 ₅	0.40 ₁₀	0.38 ₇	0.46 ₄	0.41 ₄
ТО,40-60 N	0.58 ₁	0.54 ₂	0.58 ₂	0.53 ₂	0.50 ₄	0.65 ₂	0.82 ₁	1.11 ₁	1.07 ₁	0.85 ₁	0.86 ₂	0.66 ₁	0.73 ₁
65-90 N	0.34 ₃₈	2.31 ₈	3.43 ₂	2.29 ₆	1.35 ₄	1.14 ₅	0.57 ₉	1.38 ₂	1.55 ₂	1.74 ₅	1.66 ₁₂	1.28 ₁₉	1.56 ₃
25-65 N	0.62 ₄	0.22 ₁₆	0.92 ₄	0.62 ₅	0.33 ₁₂	0.70 ₃	0.67 ₅	0.77 ₂	0.91 ₂	0.74 ₁	0.42 ₁₁	1.05 ₂	0.66 ₃
25 S-25 N	0.39 ₄	0.34 ₄	0.38 ₄	0.41 ₄	0.34 ₆	0.39 ₄	0.38 ₃	0.32 ₅	0.32 ₄	0.40 ₃	0.53 ₂	0.55 ₃	0.39 ₃
65-25 S	0.36 ₃	0.28 ₄	0.33 ₄	0.42 ₂	0.33 ₃	0.26 ₄	0.32 ₁	0.23 ₈	0.16 ₁₀	0.24 ₅	0.21 ₇	0.26 ₄	0.30 ₃
90-65 S	0.02 ₃₆	0.34 ₇	0.25 ₁₉	0.28 ₂₇	-0.37 ₃₉	-0.58 ₃₉	0.78 ₁₇	1.39 ₁₂	-1.07 ₅₀	1.10 ₇	1.00 ₆	0.47 ₉	0.29 ₁₃

Примечание. Нижними индексами показаны ранги в упорядоченных по убыванию временных рядах для соответствующего месяца 1911-2019 гг. Красным шрифтом выделены абсолютные максимумы (ранг 1, жирный шрифт) и значения с рангами 2 и 3, синим шрифтом – отрицательные аномалии (температура ниже климатической нормы 1981-2010 гг.).

3. КРУПНОМАСШТАБНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ЗЕМНОГО ШАРА ЗА ПЕРИОД ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ, 1850-2019 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 средней всего периода наблюдений 1850-2019 гг..

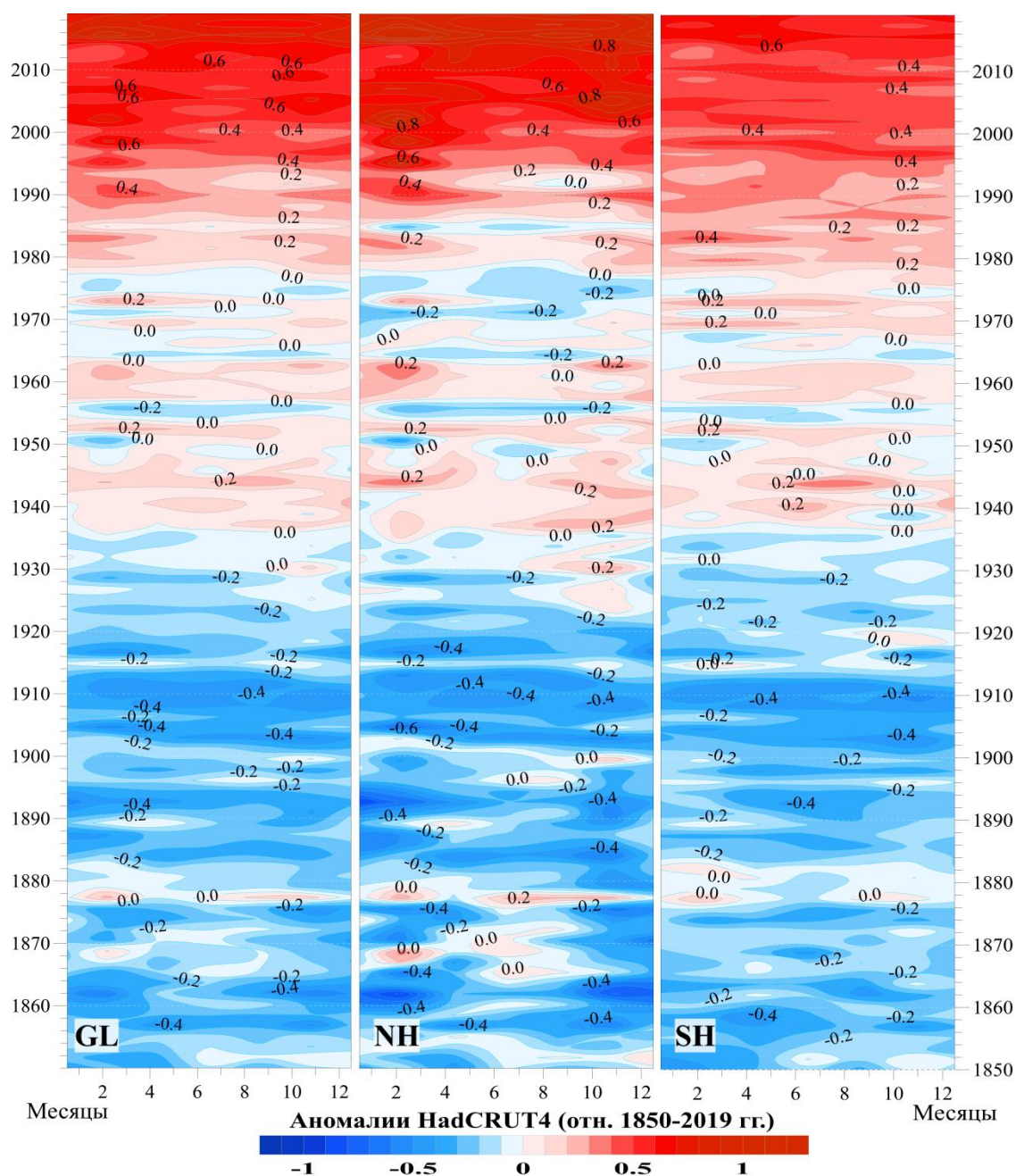
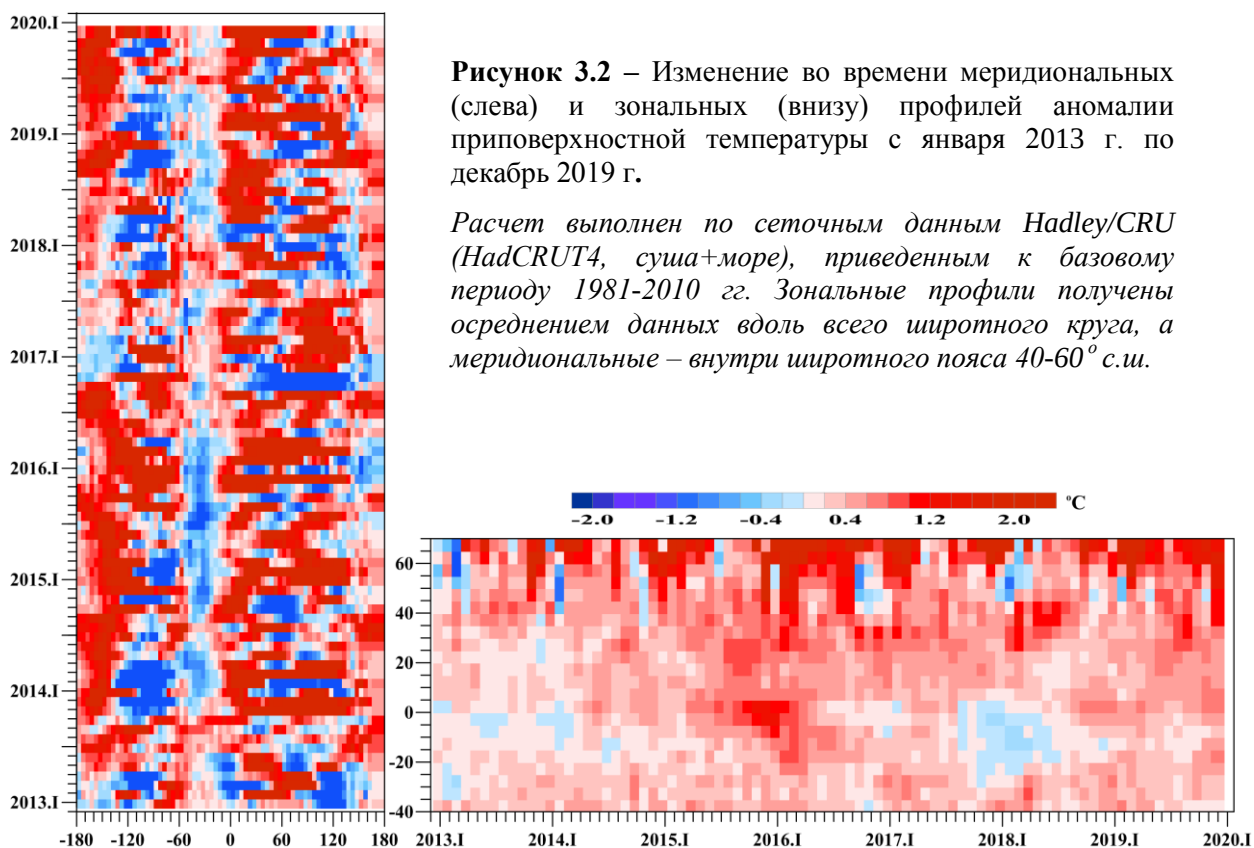


Рисунок 3.1 – Изменение аномалий среднемесячной приповерхностной температуры, осредненной по всей территории (суша+море) Земного шара (GL), Северного (NH) и Южного (SH) полушарий, с января 1850 г. по декабрь 2019 г. (по данным HadCRUT4, Hadley/CRU, UK). Аномалии выражены в отклонениях от средней за 1850-2019 гг.

На рис. 3.1 хорошо прослеживаются и похолодание в начале 20-го столетия, и арктическое потепление 1940-х, и современное особенно активное потепление, ставшее действительно глобальным к середине 1990-х. Наиболее ярко оно проявляется в Северном полушарии и особенно усилилось в последние годы – примерно с середины 2014 г.

Широтно-долготные разрезы. Наличие значительных аномалий обоих знаков проявляется и в широтно-долготных профилях приповерхностной температуры (рис. 3.2). Как и в предыдущие годы, меридиональные профили в 2019 году показывают смену холодных и теплых аномалий на континентах Северного полушария (40-60°с.ш.), но в Евразии – с преобладанием теплых, а в Северной Америке с преобладанием холодных, особенно в первой половине года (рис. 3.2а). Температура водной поверхности в Северной Атлантике в первой половине года была также ниже нормы, а Тихий океан продолжает оставаться исключительно теплым уже второй год подряд.

В зональных профилях (рис. 3.2б) ярко видно, что Арктический пояс был самым теплым практически на протяжении всего 2019 года. Причем положительными аномалиями занят весь тропический пояс Северного полушария, как было и в рекордно теплом периоде 2014-2018 гг. В декабре экстремально тепло было на всех широтах севернее 35 с.ш.



Временные ряды глобально осредненной температуры. Интегральную оценку интенсивности наблюдаемых крупномасштабных изменений приземной температуры дают глобально осредненные временные ряды для территории Земного шара и обоих полушарий. На рисунке 3.3 заметно повышение глобальной температуры от 2018 г. к 2019, однако средняя скорость потепления по сравнению с оценками за 1976-2018 гг. осталась без изменения.

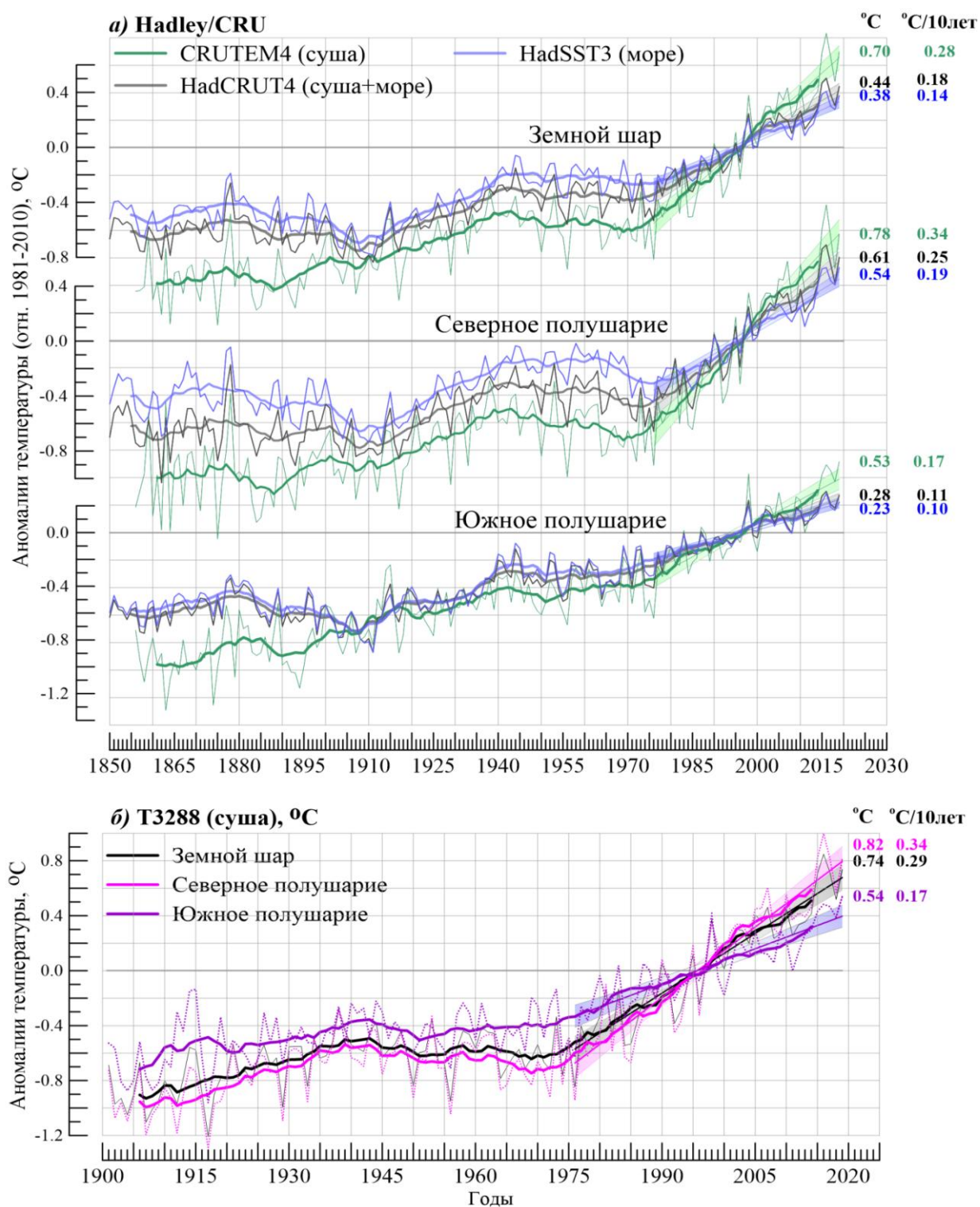


Рисунок 3.3 – Временные ряды среднегодовых аномалий приземной температуры, осредненных по территории Земного шара, Северного и Южного полушарий: а) по данным Hadley/CRU: HadCRUT4 (суша+море), CRUTEM4 (суша), HadSST3 (море); б) по данным ИГКЭ: Т3288 (суша).

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

В таблице 3.1 приведены коэффициенты линейного тренда всех рядов (по всем наборам данных). Можно видеть, что современное потепление на суше происходит более интенсивно в переходные сезоны: в Северном полушарии – весной, в Южном – осенью, а на поверхности океанов – в Южном полушарии – весной, а в Северном – летом и осенью.

Таблица 3.1 - Коэффициенты линейного тренда (°C/10 лет) глобальных временных рядов приземной температуры за 1976-2019 гг. и 1920-2019 гг., в среднем за год и по сезонам

Регион	1976-2019					1920-2019				
	Год	Зима	Весна	Лето	Осень	Год	Зима	Весна	Лето	Осень
HadCRUT4 (суша+море)										
Земной шар	0.177	0.165	0.185	0.182	0.180	0.082	0.085	0.090	0.079	0.076
Северное полушарие	0.247	0.229	0.250	0.252	0.255	0.091	0.098	0.101	0.085	0.080
Южное полушарие	0.108	0.100	0.119	0.112	0.104	0.074	0.073	0.078	0.073	0.072
T3288-ИГКЭ (суша)										
Земной шар	0.290	0.278	0.306	0.272	0.301	0.123	0.145	0.144	0.104	0.099
Северное полушарие	0.341	0.327	0.375	0.316	0.343	0.136	0.165	0.165	0.110	0.102
Южное полушарие	0.169	0.164	0.148	0.170	0.204	0.090	0.084	0.089	0.089	0.092
CRUTEM4 (суша)										
Земной шар	0.281	0.274	0.292	0.266	0.288	0.118	0.131	0.136	0.103	0.101
Северное полушарие	0.336	0.330	0.365	0.311	0.332	0.130	0.152	0.158	0.105	0.102
Южное полушарие	0.170	0.161	0.146	0.174	0.201	0.096	0.090	0.093	0.099	0.099
HadSST3 (море)										
Земной шар	0.140	0.124	0.138	0.155	0.146	0.065	0.062	0.066	0.069	0.065
Северное полушарие	0.188	0.160	0.162	0.220	0.214	0.063	0.055	0.058	0.074	0.067
Южное полушарие	0.096	0.094	0.116	0.095	0.082	0.070	0.071	0.075	0.067	0.066

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

- потепление (и современное, и в целом за 100 лет) над сушей протекает быстрее, чем над океанами: $k_1=1.4-2.2$ (больше 1). Отметим, что в последние 40-50 лет этот контраст («континенты - океаны») в Южном полушарии существенно усилился, а в Северном полушарии, наоборот, стал слабее 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;

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

- 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 «факторных» подгруппах

k_1	<i>Показатель</i>	1976-;2019			1920-2019		
		ЗШ	СП	ЮП	ЗШ	СП	ЮП
	$b_{T3288}/b_{HadSST3}$ $b_{CRUTEM4}/b_{HadSST3}$	2.07 2.01	1.81 1.79	1.76 1.77	1.89 1.82	2.16 2.06	1.29 1.37
k_2	$b_{СП}/b_{ЮП}$	1976-2019			1920-2019		
		T3288	CRUTEM	HadSST	T3288	CRUTEM	HadSST
		2.02	1.98	1.96	1.51	1.35	0.90
k_3	$b_{1976-2019}/b_{1920-2019}$	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, 1911-2019 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 1976-2019 гг., условно принятый за период современного глобального потепления. Числовые оценки трендов приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1 – Коэффициенты линейного тренда (1976-2019 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	0.168	0.204	0.225
Тихий океан (20-65N)	0.189	0.148	0.154	0.234	0.217
Арктический пояс (65-90N)	0.594	0.603	0.664	0.425	0.629
Умеренный пояс СП (25-65N)	0.287	0.249	0.293	0.308	0.297
Тропики (25S-25N)	0.147	0.145	0.148	0.147	0.147
Умеренный пояс ЮП (65-25S)	0.127	0.095	0.125	0.115	0.100
Антарктический пояс (90-65S)	0.068	*-0.069	-0.023	0.118	0.233
T3288 (суша)					
Северная Америка	0.286	0.388	*0.165	0.266	0.322
Евразия	0.398	0.32	0.516	0.378	0.367
Южная Америка	0.174	0.172	0.131	0.167	0.224
Африка	0.294	0.247	0.353	0.293	0.295
Австралия	0.207	0.178	*0.171	0.175	0.29
Антарктида	0.057	-0.03	-0.029	0.065	0.208
Европа	0.487	0.489	0.464	0.511	0.448
Азия	0.372	0.274	0.529	0.338	0.343

Условные обозначения:

* $0.01 < \alpha \leq 0.05$ (тренд статистически значим на 5%-м уровне)

$0.20 < \alpha \leq 0.92$ (ложный тренд, статистически незначим даже на 20%-м уровне)

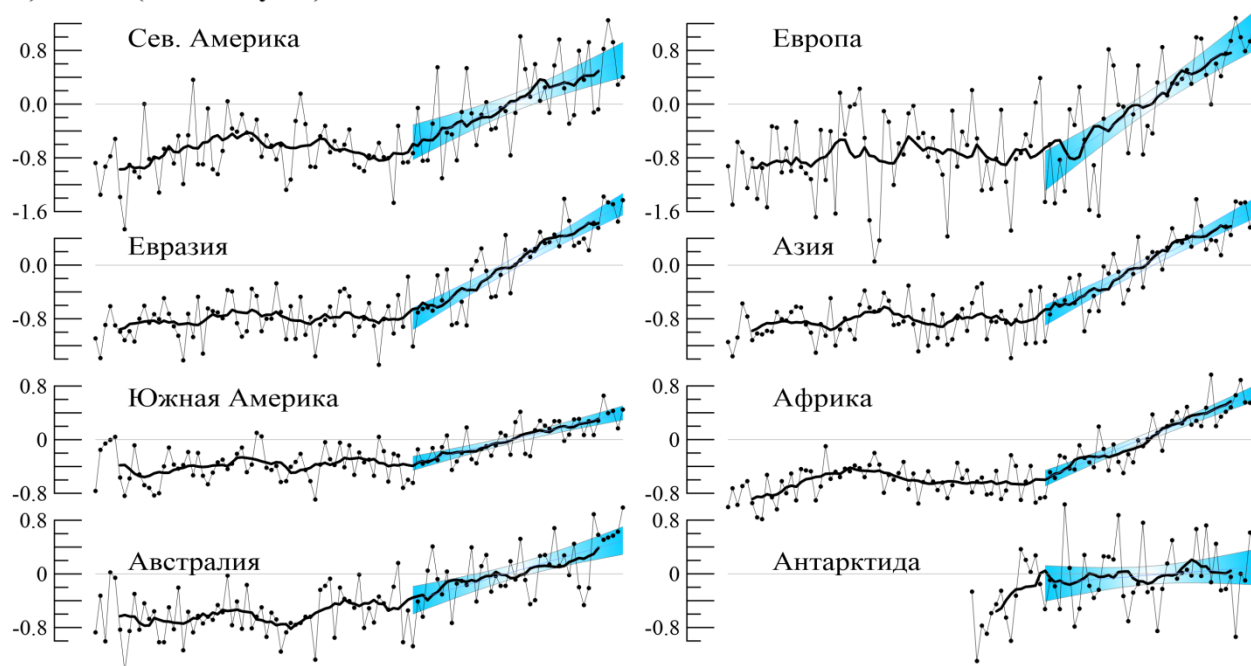
Остальные оценки статистически значимы на 1%-м уровне.

Синим шрифтом выделены отрицательные значения (тенденция к похолоданию)

В соответствии с региональными оценками (табл. 4.1, рис. 4.1-4.3), наиболее интенсивное потепление происходит в Арктическом поясе (суша+море): в среднем за год и в течение всех сезонов, кроме летнего, $0.59^{\circ}\text{C}/10$ лет и выше. Из континентов выделяется Европа, где тренд составляет, в среднем за год, $0.49^{\circ}\text{C}/10$ лет (летом $+0.51^{\circ}\text{C}/10$ лет). Наименее выражено потепление на континентах Южного полушария: в Антарктиде, Австралии и Южной Америке. В Антарктическом поясе оценки указывают на тенденцию к похолоданию зимой и весной, но в целом (кроме осени) статистически не значимы даже на 10%-м уровне.

Более подробно проследить особенности многолетнего хода приземной температуры в каждом регионе можно по временным рядам на рисунках 4.1 – 4.3.

а) T3288 (только суша)



б) HadCRUT4 (суша+море)

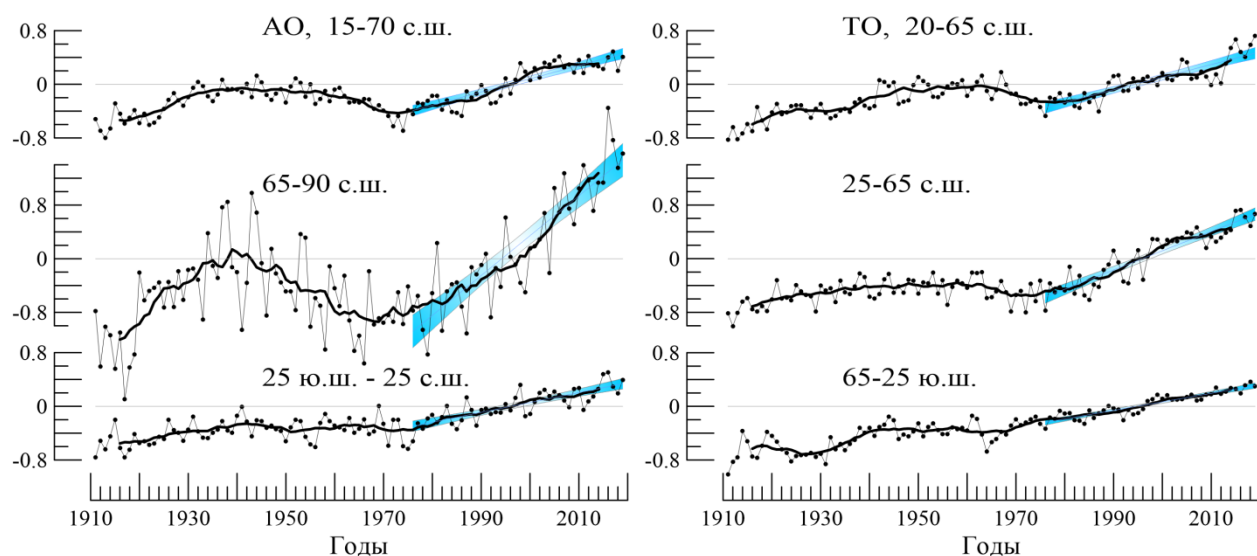


Рисунок 4.1 – Временные ряды пространственно осредненных среднегодовых аномалий приземной температуры для континентов (а), северных частей Атлантического и Тихого океанов (б, сверху) и основных широтных поясов земного шара (б, внизу).

Расчеты пространственно осредненных аномалий выполнены по методике ИГКЭ по данным: а) T3288 (для континентов); б) HadCRUT4 (для океанов и широтных поясов). 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).

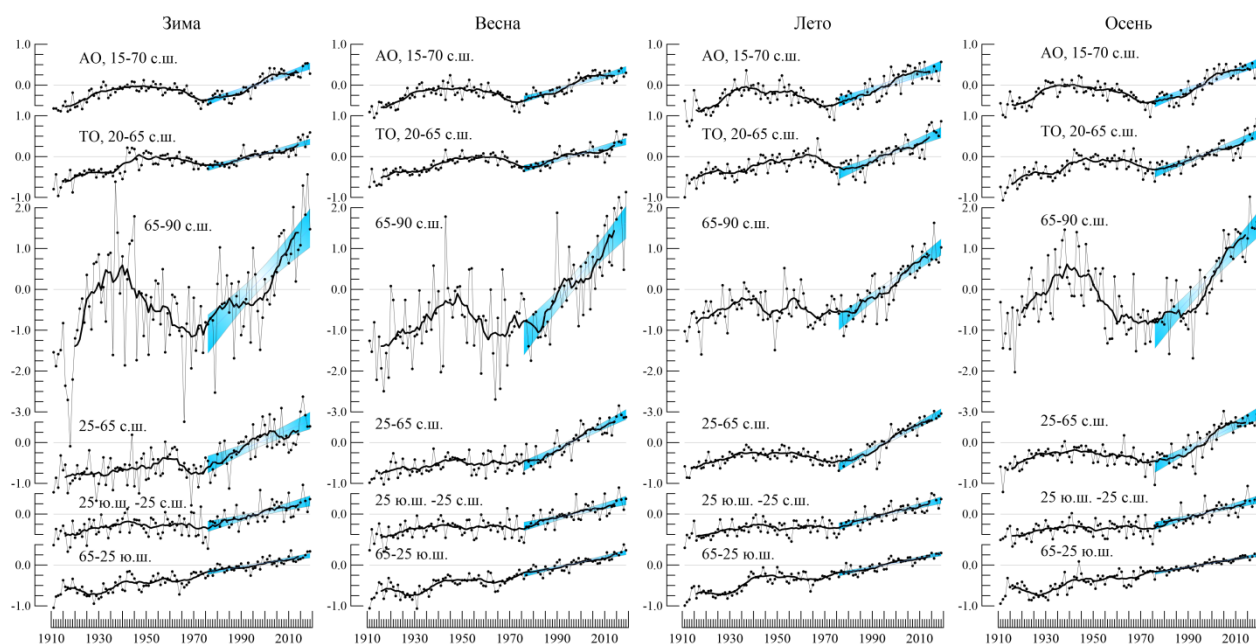


Рисунок 4.2 – См. рисунок 4.1, но для сезонных аномалий и только для океанов и широтных поясов земного шара

Таблица 4.2 – Сезонный ход коэффициентов линейного тренда приземной температуры, осредненной по территории континентов, северных частей Атлантического и Тихого океанов и основных широтных поясов земного шара, 1976-2019 гг. (°C/10 лет)

Регион	Месяцы												Год I-XII
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
T3288 (суша)													
С.Америка	0.52	0.20	0.19	0.10	0.19	0.28	0.26	0.26	0.35	0.3	*0.32	0.48	0.29
Евразия	*0.28	0.44	0.66	0.51	0.38	0.39	0.35	0.39	0.34	0.43	0.34	*0.28	0.4
Ю.Америка	0.19	0.16	*0.12	0.17	!0.10	0.21	0.11	0.17	0.29	0.19	0.2	0.16	0.17
Африка	0.21	0.27	0.36	0.32	0.34	0.32	0.31	0.25	0.25	0.3	0.32	0.26	0.29
Австралия	0.29	0.11	**0.19	*0.23	0.09	0.14	0.29	0.09	0.28	0.38	*0.22	*0.19	0.21
Антарктида	-0.03	0.01	0.06	-0.15	0.02	-0.21	0.10	**0.32	0.16	0.27	*0.18	-0.06	0.06
Европа	0.42	**0.58	!0.41	0.55	0.42	0.41	0.52	0.59	0.46	0.42	*0.47	*0.60	0.49
Азия	**0.24	0.4	0.72	0.51	0.36	0.38	0.3	0.33	0.3	0.43	*0.30	0.19	0.37
HadCRUT4 (суша+море)													
АО,15-70 N	0.21	0.19	0.16	0.17	0.17	0.18	0.19	0.24	0.23	0.24	0.21	0.21	0.2
ТО,40-60 N	0.13	0.15	0.13	0.15	0.18	0.2	0.25	0.25	0.23	0.22	0.21	0.17	0.19
65-90 N	0.46	0.68	0.76	0.76	0.48	0.49	0.38	0.43	0.44	0.74	0.72	0.72	0.59
25-65 N	0.25	0.26	0.34	0.28	0.26	0.29	0.31	0.33	0.31	0.31	0.27	0.25	0.29
25 S-25 N	0.14	0.14	0.14	0.16	0.15	0.15	0.14	0.15	0.14	0.15	0.15	0.14	0.15
65-25 S	0.1	0.1	0.12	0.14	0.12	0.12	0.11	0.11	0.09	0.11	0.09	0.09	0.13
90-65 S	** -0.08	-0.05	-0.06	-0.10	0.08	0.00	0.06	0.30	0.18	0.32	0.2	-0.06	0.07

Усл. обозначения:

* $0.01 < \alpha \leq 0.05$ (тренд статистически значим на 5%-м уровне);

** $0.05 < \alpha \leq 0.10$ (тренд статистически значим на 10%-м уровне);

0.10 < $\alpha \leq 0.99$ (ложный тренд, статистически незначим даже на 10%-м уровне)

Остальные оценки статистически значимы на 1%-м уровне ($\alpha \leq 0.01$). Синим шрифтом выделены отрицательные значения (тенденция к похолоданию)

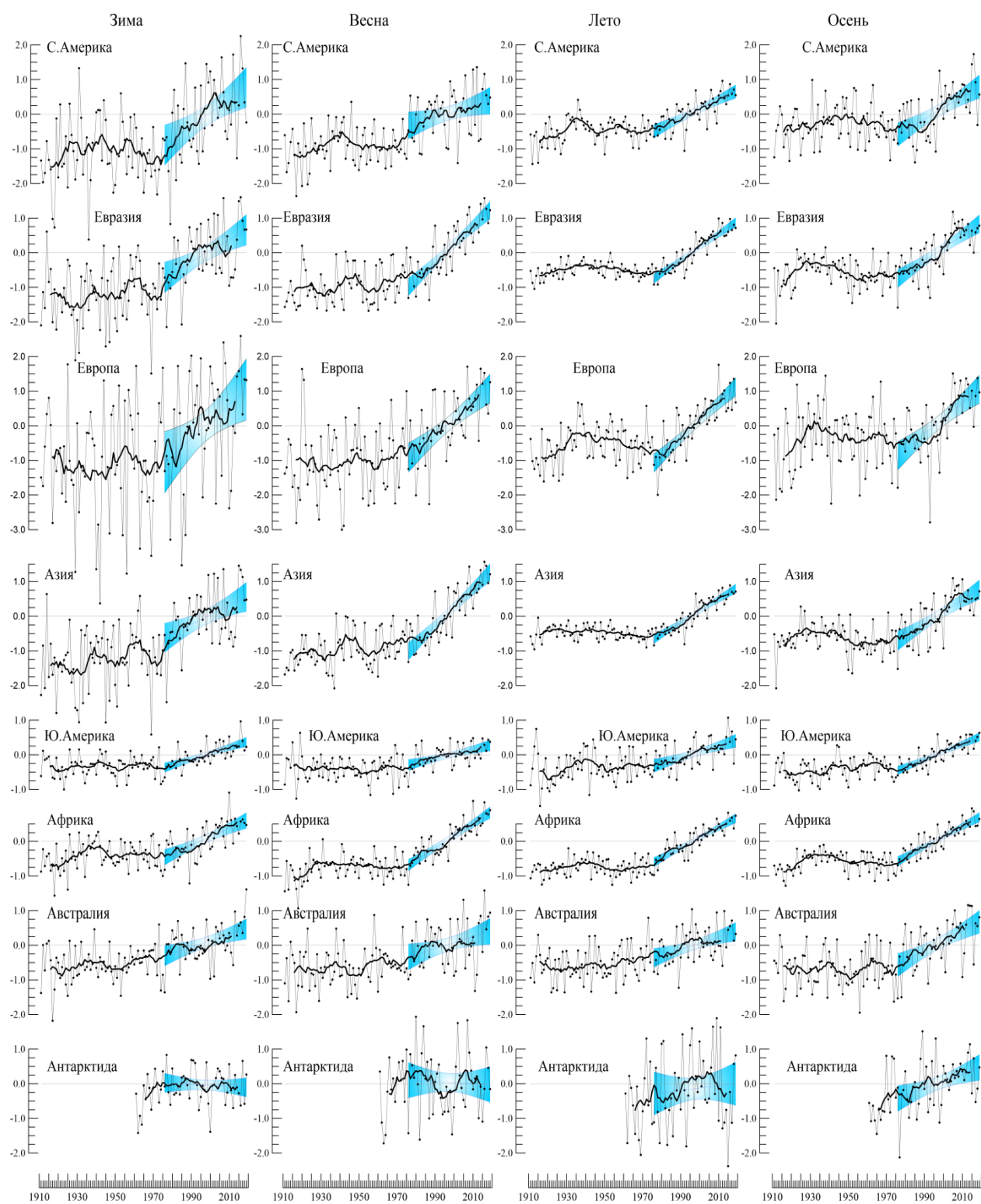


Рисунок 4.3 – См. рисунок 4.1, но для сезонных аномалий и только для континентов.

5. ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА, 1976-2019 гг.

Оценки получены по данным наблюдений на 1616 станциях (массив T3288) и в центрах 1461 боксов (массив HadCRUT4), для которых временные ряды охватывают не менее 35 лет наблюдений (включая последний).

Ниже приведены: географическое распределение коэффициентов тренда в форме полей изолиний с указанием областей статистически значимых оценок (рис. 5.1.-5.2) и количественное распределение оценок в зависимости от статистической значимости и направленности тренда (табл. 5.1). В таблице указано реальное число станций/боксов, используемых в расчетах в каждой выборке.

Таблица 5.1 – Распределение локальных оценок тренда за 1976-2019 гг.
в зависимости от знака коэффициента тренда **b** и уровня значимости **α**

	Данные N		b<0				b>=0			
			Всего	в том числе			Всего	в том числе		
				$\alpha \leq 1$	$\alpha \leq 5$	$\alpha \leq 10$		$\alpha \leq 1$	$\alpha \leq 5$	$\alpha \leq 10$
T3288	ЗШ	1616	36	2	7	8	1580	1251	1389	1440
			2.2%	0.1%	0.4%	0.5%	97.8%	77.4%	86.0%	89.1%
	СП	1353	17	1	3	3	1336	1088	1205	1239
			1.3%	0.1%	0.2%	0.2%	98.7%	80.4%	89.1%	91.6%
	ЮП	263	19	1	4	5	244	163	184	201
			7.2%	0.4%	1.5%	1.9%	92.8%	62.0%	70.0%	76.4%
HadCRUT4	ЗШ	1461	43	6	10	14	1418	1061	1184	1243
			2.9%	0.4%	0.7%	1.0%	97.1%	72.6%	81.0%	85.1%
	СП	906	2	0	0	0	904	740	810	835
			0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	99.8%	81.7%	89.4%	92.2%
	ЮП	555	41	6	10	14	514	321	374	408
			7.4%	1.1%	1.8%	2.5%	92.6%	57.8%	67.4%	73.5%

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

Тенденция к потеплению наблюдается почти на всей территории земного шара – положительные тренды составляют около 97% всех локальных оценок по данным HadCRUT и 98% по данным T3288; из 2% стационарных оценок с тенденцией к похолоданию (отрицательный тренд) только на 2-х станциях (0.1%) тренд статистически значим на 1%-м уровне (табл. 5.1). Область наиболее интенсивного потепления – Арктика: вдоль побережья Северного Ледовитого океана практически всюду тренд достигает +0.8°C/10 лет и более (до +1.5°C/10 лет на Новой Земле, рис. 5.1). Как регион интенсивного потепления также выделяется Европа, на юге Украины скорость потепления достигает +0.7°C/10 лет. Большая часть океанической поверхности в Северном полушарии и тропическом поясе (кроме восточного сектора Тихого океана у побережья Южной Америки) также характеризуются статистически значимыми на 1%-м уровне трендами к потеплению. Наиболее интенсивное потепление происходит в Северной Атлантике и на севере Тихого океана (до 0.3-0.4°C/10 лет, рис. 5.1).

Тенденция к похолоданию, статистически значимая хотя бы на 5%-уровне, на территории континентов обнаружена всего на 7 станциях (табл. 5.1) – на севере США, в Антарктиде, Пакистане и Чили. На двух из них тренд статистически значим на 1%-уровне

– это станции: 72403, Вашингтон, США ($-0.32^{\circ}\text{C}/10$ лет) и 89642, Dumont Durville, Антарктида ($-0.20^{\circ}\text{C}/10$ лет). Практически все остальные стационарные оценки, указывающие на тенденцию к похолоданию, не достигают и $-0.1^{\circ}\text{C}/10$ лет и статистически не значимы. На поверхности 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). Среди них 6 оценок статистически значимы на 1%-м уровне и еще 4 – на 5%-м. Остальные отрицательные оценки, как и на суше, не достигают даже $-0.1^{\circ}\text{C}/10$ лет и статистически незначимы.

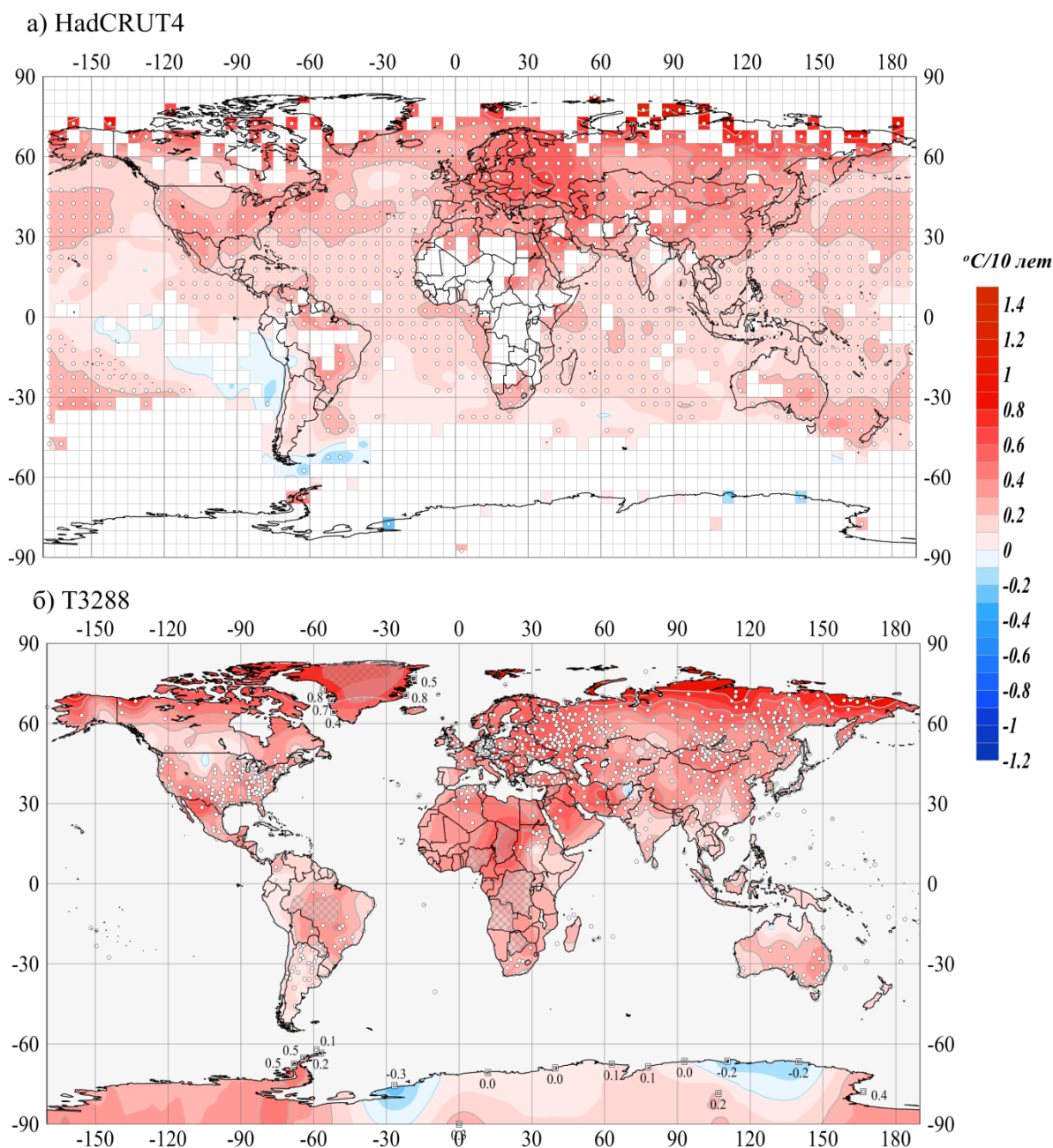


Рисунок 5.1 - Пространственное распределение коэффициентов линейного тренда среднегодовой температуры у поверхности Земного шара, 1976-2019 гг. ($^{\circ}\text{C}/10$ лет). Использованы данные: а) HadCRUT4 - сеточные данные Hadley/CRU, UK (суша+море); б) T3288 – стационарные данные ИГКЭ (только суша). 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.

Межсезонные различия в глобальных распределениях сезонных оценок трендов приповерхностной температуры можно проследить на рисунке 5.2.

Зимой области наибольшего потепления, как и по данным 1976-2018 гг., сосредоточены на континентах Северного полушария – в основном, в Арктическом регионе и на западе США. Наиболее отчетливые области с тенденцией к слабому похолоданию располагаются в Южном полушарии (на юге Атлантики, в Антарктиде и восточных районах Тихого океана вблизи Южной Америки), а также в центре Евразии (до $-0.3^{\circ}\text{C}/10$ лет). При этом некоторые отрицательные значения коэффициентов тренда на юге Атлантики значимы на 1%-м уровне, остальные – не значимы даже на 10%-м уровне.

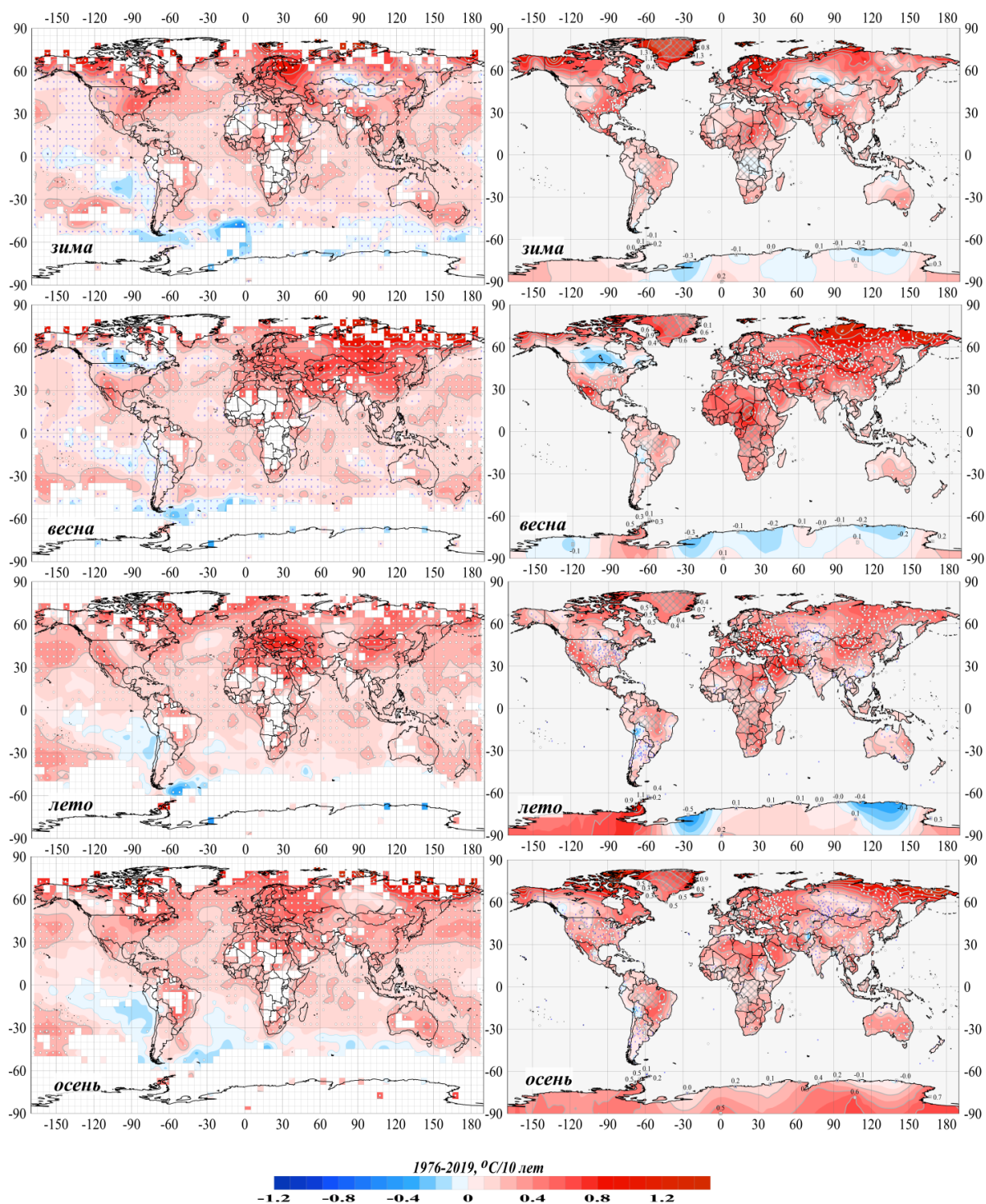


Рисунок 5.2 – См. рис. 5.1, но для коэффициентов тренда сезонных аномалий температуры

Весной выделяется обширная область с тенденцией к похолоданию в Северной Америке (до $-0.4^{\circ}\text{C} / 10$ лет), а также в Антарктиде, но обе они статистически не значимы даже на 10%-м уровне. Положительным статистически значимым трендом охвачена практически вся территория Евразии (с максимальной интенсивностью потепления до $+1.5^{\circ}\text{C} / 10$ лет на севере Красноярского края), за исключением некоторых районов Восточно-Европейской равнины и юго-восточной Азии.

Летом наиболее высокая скорость потепления отмечается в Восточной и Южной Европе (до $+1.4^{\circ}\text{C} / 10$ лет), Передней Азии (до $1.0^{\circ}\text{C} / 10$ лет), Монголии (до $0.8^{\circ}\text{C} / 10$ лет) и в Западной Антарктиде (до $1.1^{\circ}\text{C} / 10$ лет). Как и в другие сезоны, сохраняются отрицательные тренды на поверхности океанов Южного полушария. Значимые тенденции к похолоданию летних сезонов на суше получены в Боливии (до $-0.4^{\circ}\text{C} / 10$ лет, уровень значимости 1%) и в Восточной Антарктиде (до $-0.5^{\circ}\text{C} / 10$ лет).

Осенью географическое распределение трендов сходно с зимним сезоном, однако абсолютные значения коэффициентов трендов меньше. Так, менее интенсивное потепление по сравнению с зимним сезоном происходит в Арктике, и меньше по модулю отрицательные тренды в океанах Южного полушария. Отличительной особенностью осенних сезонов является наличие на территории Сибири, а также на западе Канады, обширных областей с практически нулевым трендом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ⁸

1. По всем источникам данных (суша, море, суша+море) и всем трем глобальным территориям (земной шар, Северное и Южное полушария), 2019 год оказался в первой тройке самых теплых лет (вместе с 2016 и 2015 гг.). При этом в Южном полушарии он стал рекордно теплым в среднем по территории суши, а в Северном полушарии – по акваториям океанов.

2. В 2019 г. глобальная температура практически вернулась к уровню 2015 г. (после заметного снижения в 2017-2018), но рекордным по-прежнему остается 2016 год. Среднегодовые аномалии температуры для суши Земного шара, Северного и Южного полушарий в 2019 году, по данным T3288 (только суша, ИГКЭ), составили 0.737°C (ранг 2), 0.817°C (ранг 3) и 0.542°C (ранг 1), соответственно. С учетом океанов, по данным HadCRUT4 (суша+море, Hadley/CRU), им соответствуют оценки: 0.443°C (ранг 3), 0.609°C (ранг 3) и 0.279°C (ранг 2).

3. В 2019 году, как и в последние годы, на территории Земного шара преобладали положительные аномалии температуры – их доля по данным боксов/станций (HadCRUT4/T3288) составила более 80-85% всех наблюдений, при этом 35-40% - выше 95-го перцентиля и 10-15% стали для своих пунктов рекордно высокими.

4. На континентах доля положительных аномалий выше всего в Европе – около 99% всех данных, в том числе почти 30% - абсолютные максимумы и еще более 30% выше 95-го перцентиля (5%-е экстремумы тепла). На всей территории (с учетом континентов и океанов) относительное число положительных аномалий выше всего в Арктическом поясе: 97% всех боксов с данными, около 12% – абсолютные максимумы и еще 25% – 5% -е экстремумы тепла. Рекордного значения достигла осредненная по территории региона среднегодовая температура в Австралии (60% значений здесь стали выше 95-го перцентиля) и в северной части Тихого океана (20-65°с.ш.), где новый максимум был установлен не только в среднем за год, но и во все сезоны 2019 г., кроме весны.

5. Температурный режим в течение года отмечен значительными аномалиями и контрастами. Как и в 2018 году, *наличие на территории суши интенсивных аномалий противоположного знака можно считать главной особенностью 2019 года*. В каждом из сезонов наблюдалось большое количество локальных экстремумов тепла и региональных рекордов: зимой рекордно теплой стала Австралия и в целом территория суши Южного полушария, весной – Арктика, летом – Северная Атлантика, осенью – Южная Америка. При этом зимой и осенью 2019 г. на континентах отмечалось повышенное количество отрицательных аномалий – около 30% и 20% всех данных соответственно.

6. На большей части Земного шара продолжается потепление: положительные тренды составляют около 97-98% всех локальных оценок. Регион наиболее интенсивного потепления - Арктический пояс (севернее 65°с.ш.), где средняя скорость потепления за период 1976-2019 гг. составила 0.59°C/10 лет. Без учета океанов, таким регионом является Европа, где тренд среднегодовой температуры составляет 0.49°C/10 лет, а температуры летнего сезона – 0.51°C/10 лет.

⁸ Напоминаем, что значения аномалий температуры приводятся здесь относительно базового периода 1981-2010 гг. (см. Введение)

7. Современное (1976-2019 гг.) глобальное потепление в Северном полушарии протекает быстрее, чем над в Южном (в 1.4-2.2 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 (менее чем в 1.5 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).

8. Приведенные в бюллетене глобальные оценки температурного режима у поверхности земли в 2019 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 статистических оценках изменчивости температуры приземного воздуха, полученных по этим двум массивам, и результатах их сравнения, которые представляются для года и/или сезона в каждом выпуске бюллетеня и доступны по адресу <http://climatechange.igce.ru> .