

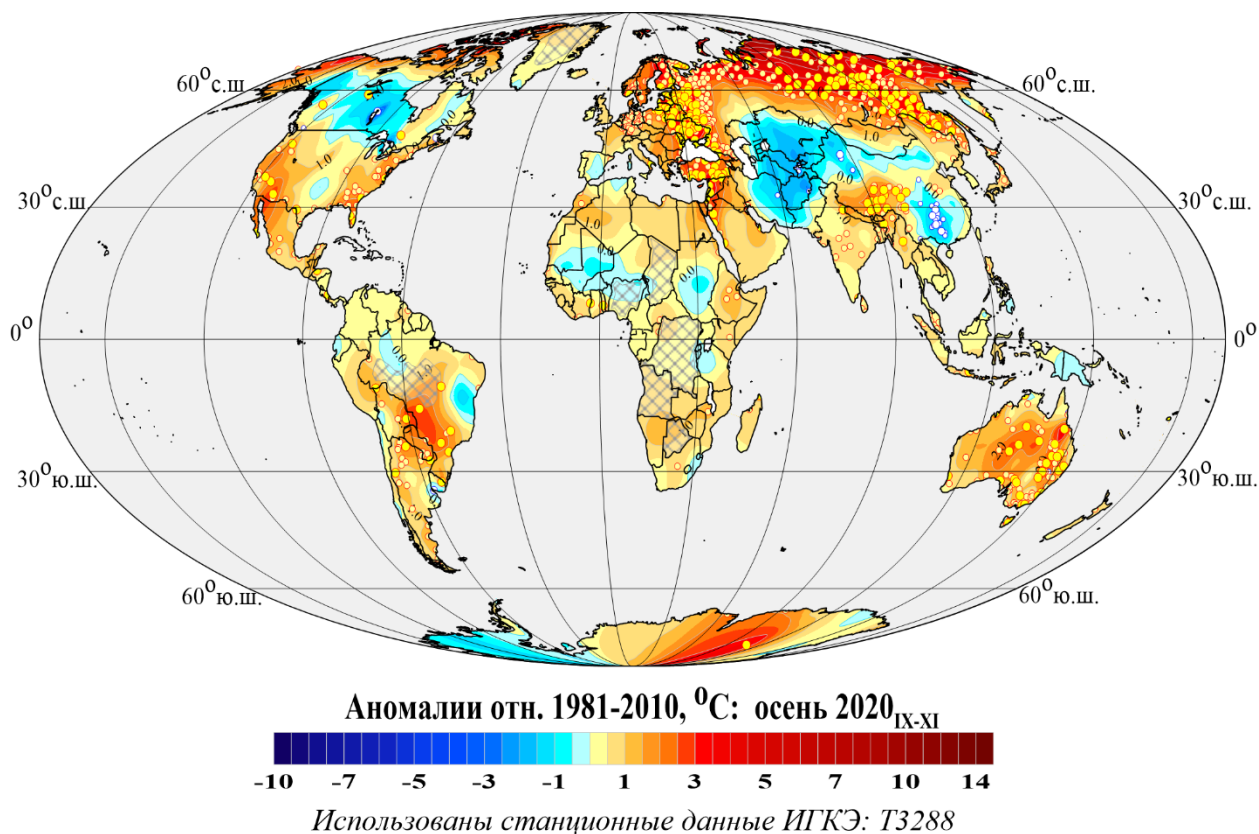
Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу
окружающей среды

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

Бюллетень мониторинга изменений климата Земного шара

Приземная температура

Осень 2020



Москва 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ^{1,2}

1. ВВЕДЕНИЕ	3
2. ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ У ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМНОГО ШАРА ОСЕНЬЮ 2020 года. ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ АНОМАЛИИ	6
3. КРУПНОМАСШТАБНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ЗЕМНОГО ШАРА ЗА ПЕРИОД ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ 1850-2020 гг. (осенний сезон)	11
4. ВРЕМЕННЫЕ РЯДЫ РЕГИОНАЛЬНО ОСРЕДНЕННЫХ АНОМАЛИЙ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ, 1911-2020 гг. (осенний сезон)	16
5. ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА, 1976-2020 гг. (осенний сезон)	20
6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ	23

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

² На обложке приведено поле средних сезонных аномалий температуры приземного воздуха над сушей Земного шара: осень 2020 года. Использованы станционные данные ИГКЭ.

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящем бюллетене представлены данные о климатических аномалиях осеннего сезона 2020 года и обновленные (с учетом этих данных) оценки тенденций в изменении температурного режима осенних сезонов на территории земного шара в течение 1976–2020 гг. Оценки приведены для сезона в целом и каждого из осенних месяцев (сентябрь–октябрь–ноябрь).

Бюллетень подготовлен в рамках оперативного мониторинга климата в ФГБУ «ИГКЭ (система GCCM – Global Climate Monitoring»³), с использованием данных метеорологических наблюдений о среднемесячной температуре приземного воздуха на 3288 наземных станциях земного шара (массив T3288, данные ИГКЭ; массив сформирован и ежемесячно пополняется средствами технологии мониторинга на основе телеграмм КЛИМАТ, СИНОП).

Параллельно в бюллетене приводятся оценки по данным о приповерхностной температуре на сети 5-градусных боксов, охватывающей всю территорию земного шара, включая континенты и океаны (массивы HadCRUT4, CRUTEM4, HadSST3⁴, данные метеослужбы Великобритании; в бюллетене упоминаются как «данные Hadley/CRU»).

Таким образом, массив T3288 служит базовым массивом для оценки состояния температурных условий на суше земного шара, а массив HadCRUT4 используется для создания полной картины над сушей и океанами. Глобальные временные ряды HadCRUT4, CRUTEM4, HadSST3 приводятся как дополнительная информация из альтернативного источника (в том числе, для сравнения с одноименными данными ИГКЭ с целью лучшего понимания меры их неопределенности). В соответствии с рекомендацией ВМО⁵, все основные оценки приводятся в аномалиях температуры относительно базового периода 1981-2010 гг.

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

Сравнение глобальных временных рядов сезонных аномалий температуры приземного воздуха (осень) по данным T3288 (ИГКЭ) и CRUTEM4 (Hadley/CRU).

Цель предлагаемого сравнения - с одной стороны, убедиться в репрезентативности массива T3288, а с другой – оценить меру неопределенности оценок, полученных с

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

⁴ Массивы CRUTEM4 (температура воздуха над сушей), HadSST3 (температура воды на поверхности океанов и морей) и HadCRUT4 (объединенные данные над континентами и океанами) созданы и поддерживаются совместно двумя коллективами Великобритании – Хэдли-центром (Met Office Hadley Centre) и Университетом Восточной Англии (CRU UEA). Данные ежемесячно обновляются и публикуются производителем на web-сайтах <http://www.MetOffice.gov.uk> и <http://www.cru.uea.ac.uk> в форме глобальных сеточных полей (в центрах 5-градусных боксов) и глобальных временных рядов (для Земного шара и обоих полушарий). В данном выпуске использованы данные HadCRUT.4.6.0.0, CRUTEM.4.6.0.0, HadSST.3.1.1.0 от 20.12.2020 – 05.01.21.

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

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

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).

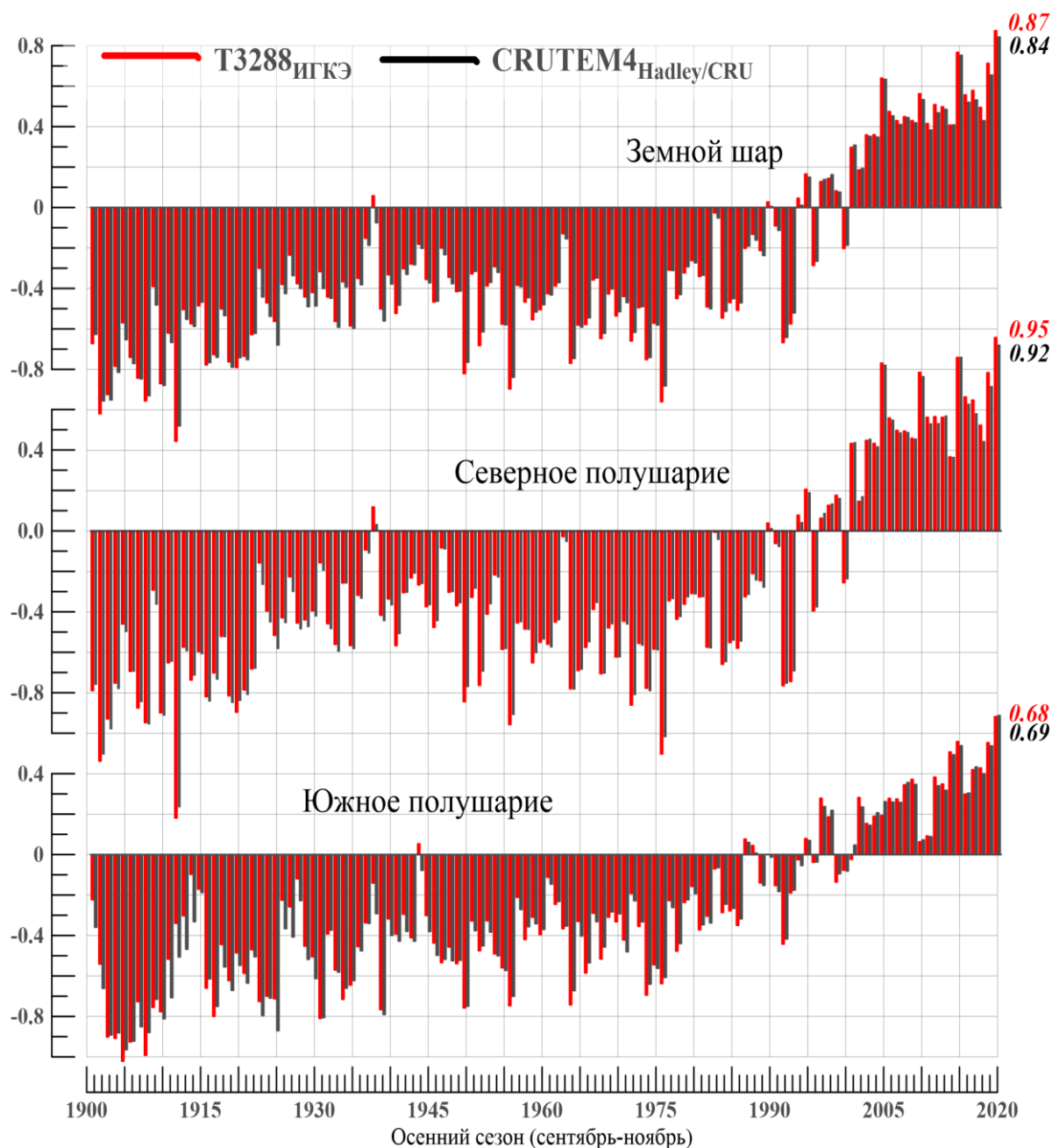


Рисунок 1.1 – Временные ряды пространственно осредненных сезонных аномалий температуры приземного воздуха над сушей Земного шара, Северного и Южного полушарий (1901-2020 гг., осень, °C).

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

Количественные результаты их сравнения (статистические характеристики попарных разностей) по данным за 1976-2020 гг. (период современного глобального потепления) и 1921-2020 гг. (последнее столетие) приведены в табл. 1.1 для Земного шара, Северного и Южного полушарий (только суша!).

Среднее различие рядов за 1921-2020 гг. не превышает 0.04°C (табл. 1.1, рис. 1.1), а за период 1976-2020 гг. и вовсе равно нулю. Стандартное отклонение различий за эти

периоды (0.03–0.07°C) на порядок ниже стандартного отклонения самих рядов (0.3–0.5°C). Максимальные различия за период с 1976 г. не превышали 0.08°C, но в целом за вековой период в Северном полушарии достигали 0.26°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 T3288 (ИГКЭ) и CRUTEM4 (Hadley/CRU) в среднем за осенний сезон для территории суши Земного шара (ЗШ), Северного (СП) и Южного (ЮП) полушарий

Оценка	1976-2020			1921-2020		
	ЗШ	СП	ЮП	ЗШ	СП	ЮП
Корреляция рядов	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99
Среднее различие, °C	0.00	0.00	0.00	-0.03	-0.04	0.02
СКО (сигма) различий, °C	0.03	0.03	0.03	0.06	0.07	0.05
Среднее абсолютное различие, °C	0.02	0.02	0.02	0.05	0.05	0.04
Макс. абсолютное различие, °C	0.08	0.08	0.08	0.23	0.26	0.18
Разность коэфф. тренда, °C /10лет	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	-0.01
СКО T3288, °C	0.48	0.59	0.29	0.56	0.67	0.34
СКО CRUTEM4, °C	0.47	0.58	0.29	0.52	0.63	0.34

Таким образом, статистические оценки изменчивости температуры приземного воздуха, полученные по данным массива T3288, очень близки к оценкам по данным эталонного 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 сезонных аномалий температуры (осень) *на суше Земного шара* в последние годы, начиная с 2016. Можно видеть (рис. 1.1, табл. 1.2), что осенью 2019 и 2020 гг., произошли значительные скачки температуры, так что температура 2020 для всех полушарий стала максимальной в соответствующих рядах.

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

Межгодовые разности	Данные T3288, °C (ИГКЭ)			Данные CRUTEM4, °C (Hadley/CRU)		
	ЗШ	СП	ЮП	ЗШ	СП	ЮП
2017-2016	0.023	-0.016	0.121	0.011	-0.048	0.129
2018-2017	-0.084	-0.124	0.008	-0.101	-0.136	-0.033
2019-2018	0.218	0.260	0.125	0.225	0.271	0.137
2020-2019	0.161	0.173	0.129	0.188	0.205	0.150
2020-2015	0.107	0.098	0.123	0.091	0.061	0.149
2020-2016	0.318	0.293	0.383	0.323	0.292	0.383

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

В соответствии с оценками для всей территории (суша+море, HadCRUT4) самым теплым осенним сезоном остается осень 2015 г. как в целом по земному шару, так и в каждом полушарии (табл. 2.1). Текущий сезон (осень 2020 г.) стал третьим самым теплым для Земного шара (аномалия $+0.42^{\circ}\text{C}$), вторым - для Северного полушария (аномалия 0.71°C) и лишь одиннадцатым - для Южного полушария (аномалия $+0.135^{\circ}\text{C}$).

По данным наземных станций (только суша!), сезон оказался рекордно теплым для всех трех глобальных территорий (ЗШ, СП, ЮП), причем превышение относительно предыдущего рекорда (осень 2015 года) составило по разным данным от 0.06 до 0.15°C .

Температура поверхности океанов в Северном полушарии на третьем месте, а в Южном - на 19-м с аномалией 0.053°C .

В Тихом океане (20-65N), в Арктическом поясе (65-90N), в Умеренном поясе СП (25-65N), в Евразии (в том числе в Европе), в Южной Америке, в Австралии осень была рекордно «теплой» (табл. 2.2).

Таблица 2.1 – Пять самых теплых осенних сезонов по данным разных источников для Земного шара (ЗШ), Северного (СП) и Южного (ЮП) полушарий: средняя за осенний сезон аномалия температуры VT и год наблюдения

№	ЗШ		СП		ЮП	
	VT, $^{\circ}\text{C}$	Год (осень)	VT, $^{\circ}\text{C}$	Год (осень)	VT, $^{\circ}\text{C}$	Год (осень)
HadCRUT4 (Hadley/CRU, суша+море)						
1	0.550	2015	0.765	2015	0.337	2015
2	0.443	2019	0.708	2020	0.292	1997
3	0.420	2020	0.656	2019	0.236	2018
4	0.350	2016	0.530	2005	0.232	2019
5	0.345	2018	0.506	2016	0.207	2009
T3288 (ИГКЭ, суша)						
1	0.874	2020	0.955	2020	0.682	2020
2	0.767	2015	0.857	2015	0.559	2015
3	0.713	2019	0.829	2005	0.553	2019
4	0.640	2005	0.783	2010	0.507	2014
5	0.579	2017	0.782	2019	0.428	2018
CRUTEM4 (Hadley/CRU, суша)						
1	0.843	2020	0.920	2020	0.687	2020
2	0.752	2015	0.859	2015	0.538	2015
3	0.655	2019	0.821	2005	0.537	2019
4	0.634	2005	0.764	2010	0.493	2014
5	0.533	2010	0.715	2019	0.433	2017
HadSST3 (Hadley/CRU, море)						
1	0.503	2015	0.695	2015	0.268	2015
2	0.409	2019	0.657	2019	0.245	1997
3	0.364	2016	0.644	2020	0.232	2016
4	0.358	2018	0.539	2016	0.204	2018
5	0.325	2014	0.530	2014	0.170	2019
6	0.324	2020	0.510	2018	0.166	2001

Особенности географического распределения сезонных аномалий. На рисунках 2.1-2.2 представлены пространственные распределения аномалий приповерхностной температуры (сезонные и ежемесячные), а в таблицах 2.2-2.3 - оценки регионально осредненных аномалий (в абсолютной и вероятностной шкале) и количество локальных экстремумов в крупных регионах мира.

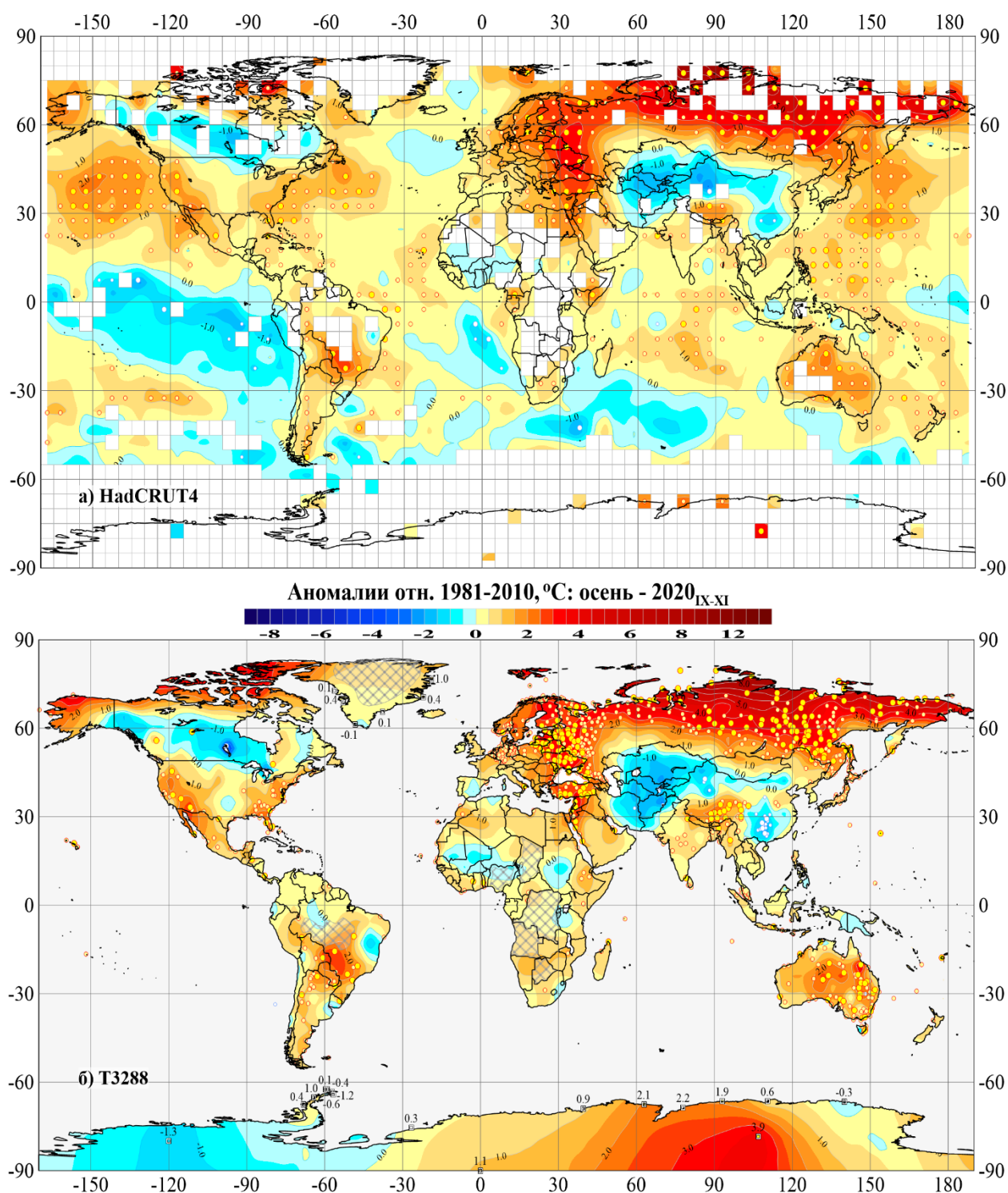


Рисунок 2.1 – Пространственное распределение аномалий приземной температуры на территории Земного шара осенью 2020 г.: а) по сеточным данным HadCRUT4 (Hadley/CRU, UK); б) по станционным данным T3288 (ИГКЭ)

Аномалии приведены в отклонениях от средних за 1981-2010 гг. Кружками белого (минимумы) и желтого (максимумы) цвета указано положение боксов/станций с рекордными значениями аномалий. Значками меньшего размера указано положение 5%-х экстремумов того же знака. Для

станций Антарктиды и Гренландии непосредственно в точках расположения станций показаны числовые значения наблюдаемых аномалий. Пустыми боксами (а) и штриховкой (б) показаны области отсутствия наблюдений.

Таблица 2.2 - Пространственно осредненные значения аномалии (°C) приземной температуры и их вероятности неперевышения для крупных регионов Земного шара осенью 2020 г., в среднем за сезон и в каждом из месяцев

Регион	Осень		Сентябрь		Октябрь		Ноябрь	
	vT_{IX-XI}	F%	vT_{IX}	F%	vT_X	F%	vT_{XI}	F%
HadCRUT4 (суша+море)								
Земной шар	0.42	98	0.44	98	0.33	96	0.49	99
Северное полушарие	0.71	99	0.72	97	0.59	98	0.82	100
Южное полушарие	0.14	91	0.16	95	0.08	84	0.16	93
Атлантика (15-70N)	0.50	96	0.53	98	0.54	95	0.42	95
Тихий океан (20-65N)	1.05	100	1.08	100	1.06	100	1.01	100
Арктический пояс (65-90N)	2.28	100	1.56	99	1.97	97	3.51	100
Умеренный пояс СП (25-65N)	0.87	100	0.90	98	0.67	98	1.06	100
Тропики (25S-25N)	0.25	92	0.32	96	0.24	91	0.20	88
Умеренный пояс ЮП (65-25S)	0.14	90	0.14	89	0.06	79	0.26	98
Антарктический пояс (90-65S)	1.02	95	1.45	90	0.60	82	1.05	93
IGCE-T3288 (суша)								
Земной шар	0.87	100	0.83	100	0.62	97	1.15	100
Северное полушарие	0.96	100	0.85	98	0.67	95	1.33	100
Южное полушарие	0.68	100	0.79	100	0.52	97	0.72	99
Северная Америка	0.54	84	0.36	83	-0.09	43	1.37	92
Евразия	1.23	100	1.23	99	0.85	95	1.62	98
Европа	1.83	100	1.69	99	1.65	100	2.16	95
Азия	1.05	98	1.08	99	0.56	90	1.51	96
Южная Америка	0.77	100	1.00	98	0.71	98	0.56	97
Африка	0.41	89	0.36	90	0.48	91	0.29	86
Австралия	1.41	100	1.74	99	0.42	83	2.01	100
Антарктида	0.49	80	1.38	91	-0.15	45	0.25	68
CRUTEM4 (суша)								
Земной шар	0.84	100	0.80	100	0.61	98	1.12	100
Северное полушарие	0.92	100	0.80	97	0.65	95	1.31	100
Южное полушарие	0.69	100	0.78	100	0.55	97	0.74	100

Условные обозначения:

1. vT – наблюденная аномалия осенью 2020 года, °C (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 неперевышения)
3. Синим шрифтом выделены отрицательные аномалии
4. Красным шрифтом выделены абсолютные максимумы (жирным шрифтом) и аномалии с вероятностью неперевышения 99%

Осенью 2020 г. на территории Земного шара явно доминировали положительные аномалии – на них приходится около 73% всех сезонных наземных данных и более 78% данных в боксах (рис. 2.1, табл. 2.3). Многочисленные 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 северных умеренных широтах Тихого океана и западной Атлантики. В целом, в северном полушарии, севернее 25-й параллели, 75% всех локальных аномалий были выше 95-го процентиля, в том числе 29% побили прежние абсолютные максимумы.

На этом фоне следует отметить также и области отрицательных аномалий на континентах (вся территория Канады; значительная часть центральной Азии и Китая и западный сектор Антарктиды) и на акваториях южных океанов (40% боксов ЮП). Однако отрицательные аномалии этой осенью очень редко достигали уровня 5-го процентиля (не более 2% данных в отдельных регионах).

Таблица 2.3 – Частотное распределение локальных экстремумов осенью 2020 г. по знаку и интенсивности аномалий и регионам Земного шара (по данным T3288 и HadCRUT4; все значения приведены в процентах от NN)

Регион и число боксов/станций в регионе (NN)		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	1703	23.6	3.7	72.7	1.1	26.4	0.4	7.1
СП	978	14.0	2.8	83.2	0.6	33.9	0.2	10.8
ЮП	725	36.6	5.0	58.5	1.8	16.1	0.6	2.1
90-65N	106	7.5	0.0	92.5	0.0	39.6	0.0	17.0
65-25N	546	14.8	2.2	83.0	0.5	35.2	0.2	11.9
25S-25N	650	24.0	3.8	72.2	2.0	25.5	0.6	5.1
25-65S	387	40.1	6.7	53.2	0.8	11.6	0.3	1.0
65-90S	14	14.3	0.0	85.7	0.0	28.6	0.0	7.1
T3288 (только суша)								
ЗШ	2642	19.4	2.4	78.2	1.3	31.7	0.3	10.7
СП	2218	20.2	2.4	77.5	1.4	31.5	0.3	10.7
ЮП	425	15.5	2.6	81.9	0.9	32.7	0.5	10.4
С. Америка	434	27.9	2.5	69.6	1.8	15.2	0.5	3.5
Евразия	1479	18.1	2.3	79.6	1.8	38.1	0.3	14.3
Ю. Америка	112	19.6	3.6	76.8	0.9	26.8	0.9	11.6
Африка	159	28.3	3.8	67.9	0.0	11.9	0.0	1.3
Австралия	163	11.7	1.2	87.1	1.2	49.7	0.0	16.6
Антарктида	18	38.9	0.0	61.1	0.0	16.7	0.0	5.6
Европа	534	3.9	2.4	93.6	0.0	50.2	0.0	15.5
Азия	954	19.4	2.4	78.2	1.3	31.7	0.3	10.7

Внутрисезонные особенности распределения аномалий (рис. 2.2, табл. 2.2). Все три месяца осеннего сезона в целом были экстремально теплыми. Особенно тепло было в сентябре (средняя по ЗШ аномалия составила +0.44°C, ранг 3) и ноябре (+0.49°C, ранг 2). Локализация наиболее крупных аномалий почти не менялась от месяца к месяцу, хотя менялась их интенсивность и площадь охвата. Из регионов выделяются Европа и Тихий океан, где для всех трех месяцев зафиксированы новые температурные рекорды. Максимальных значений регионально осредненные аномалии достигли в ноябре, в

Австралии, Европе и в Арктическом широтном поясе – соответственно +2.01, +2.16 и +3.51°C (табл. 2.2).

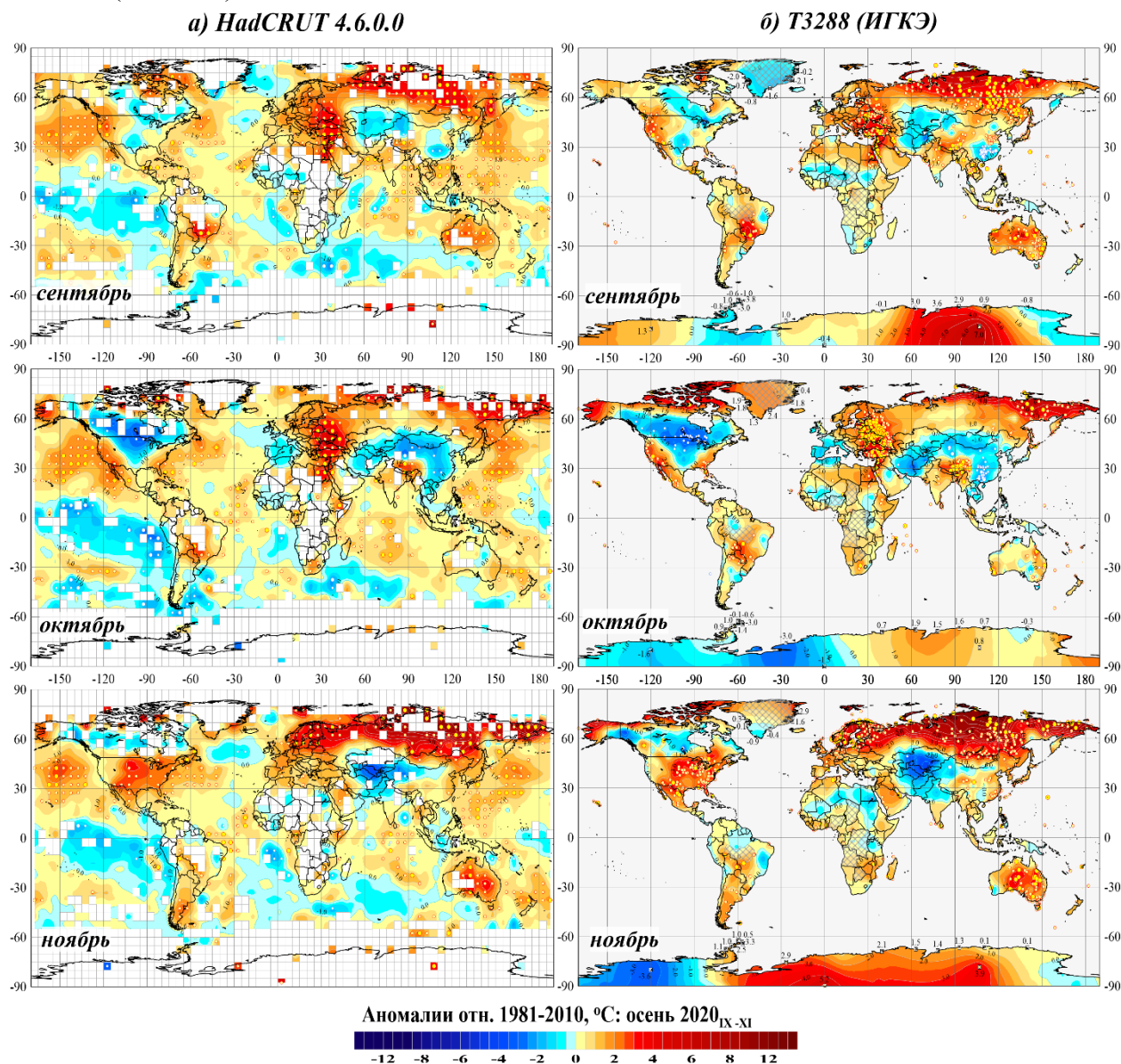


Рисунок 2.2 – Пространственное распределение среднемесячных аномалий приземной температуры на территории Земного шара осенью 2020 г. (сентябрь-ноябрь).

Условные обозначения см. рис. 2.1

Отметим, что в данном сезоне межмесячные изменения в конфигурации поля аномалий наиболее заметны на территории Северной Америки. Так, в сентябре отрицательные аномалии охватывали здесь восточную территорию Канады и США и Гренландию (аномалии до -1.5, -2.0 °C), в октябре – они усилились и распространились на большую часть Канады и США (аномалии до -3.5°C с многочисленными локальными экстремумами холода), в ноябре – сохранились только на территории Канады, тогда как территория США вместе с примыкающими акваториями оказалась в области 95%-х аномалий тепла.

Область отрицательных аномалий на юге Евразии (и в Антарктиде) также в октябре имела наибольшую площадь охвата и на многих станциях фиксировались 5%-е экстремумы холода. Области отрицательных аномалий в океанах ЮП менялись слабо, а их наибольшая интенсивность наблюдалась в октябре (во многих тихоокеанских боксах зафиксированы 5%-е экстремумы холода).

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

Многолетние и межмесячные изменения глобальной температуры. На рис. 3.1 представлены межгодовые (по вертикали) и межмесячные (по горизонтали) изменения глобально осредненных аномалий приповерхностной температуры (для Земного шара и полушарий) на протяжении всего периода инструментальных наблюдений (с 1850 г.). Аномалии рассчитаны относительно среднего за весь период (1850-2020 гг.).

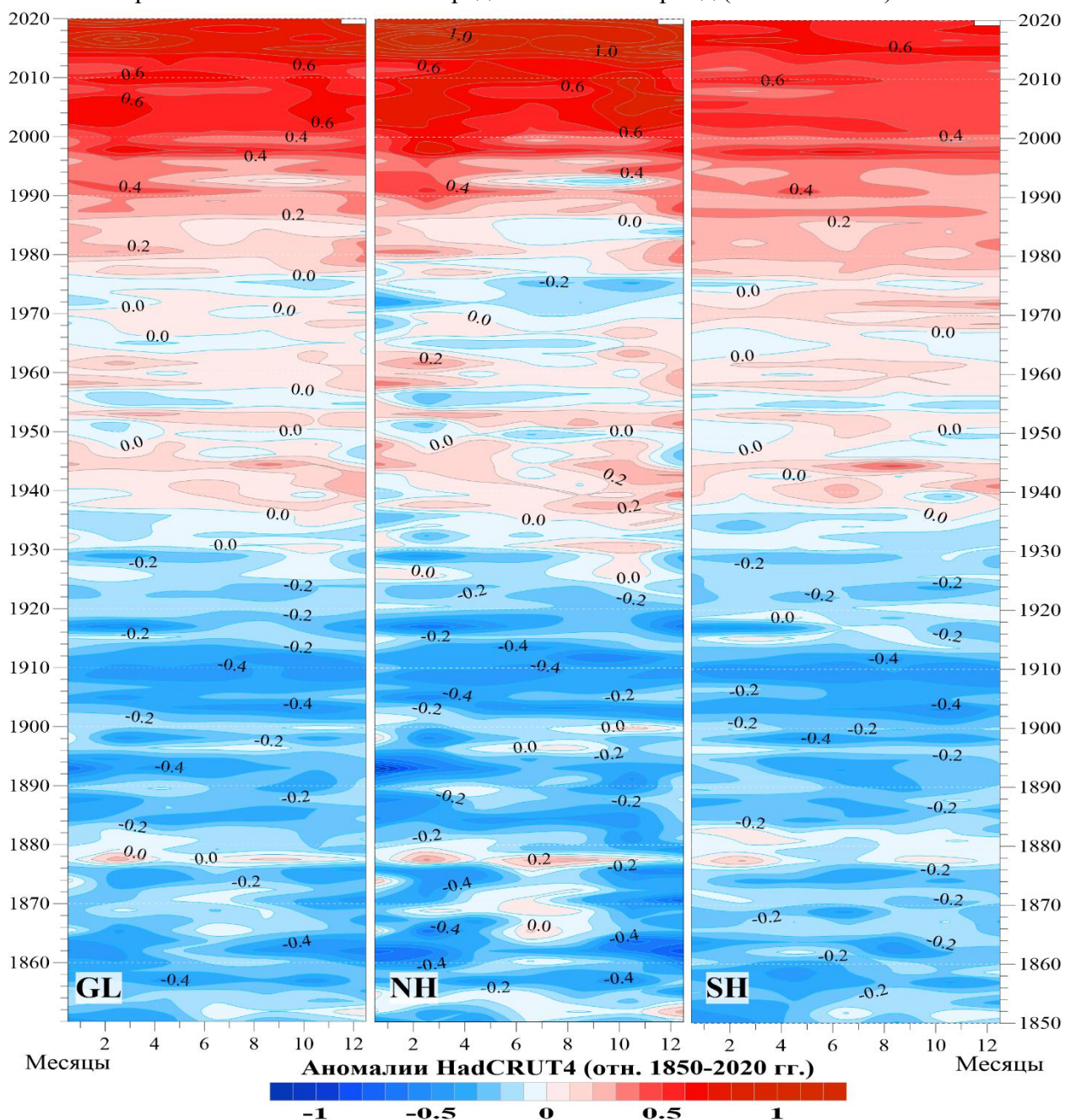
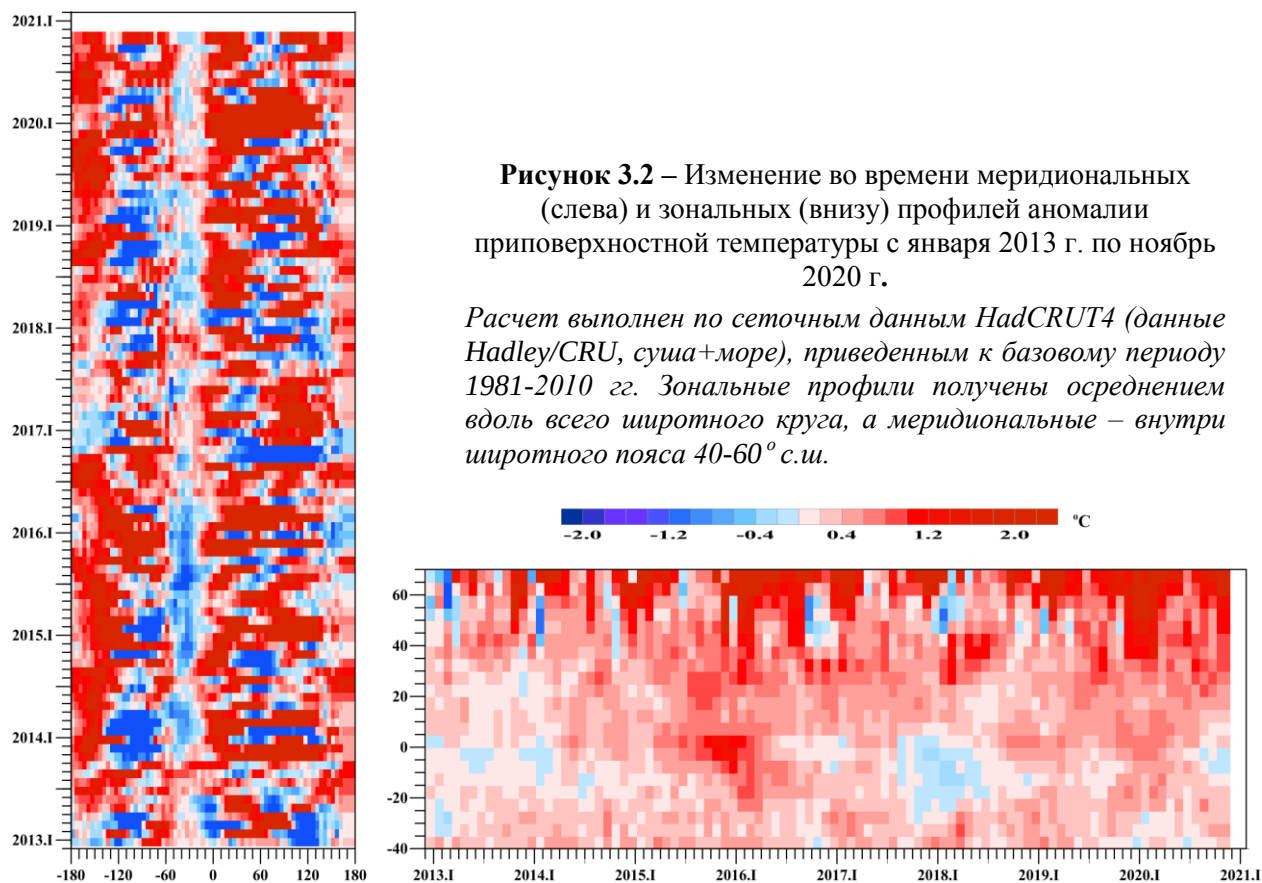


Рисунок 3.1 – Изменение аномалий средней месячной приповерхностной температуры, осредненной по всей территории Земного шара (GL), Северного (NH) и Южного (SH) полушарий в зависимости от месяца (по горизонтали) и года (по вертикали). Использованы данные HadCRUT4 (суша+море, Hadley/CRU, UK) за период с января 1850 по ноябрь 2020 гг. Аномалии выражены в отклонениях от средней за 1850-2020 гг.

На рисунке 3.1 хорошо прослеживаются основные климатические особенности представленного периода: похолодание в начале 20-го столетия, арктическое потепление 1940-х и современное глобальное потепление, ставшее особенно активным с середины 1990-х. Максимального уровня оно достигло в 2015-2018 гг. и наиболее ярко проявилось в Северном полушарии (аномалия до 1.0-1.5°C, тогда как в Южном полушарии только 0.5-0.7°C).

Широтно-долготные разрезы. На рисунке 3.2 можно проследить зональные и меридиональные особенности изменения температурного режима последних лет (2013-2020 гг.), от месяца к месяцу. Меридиональный профиль позволяет проследить изменение термического режима океанов и континентов в умеренных широтах (40-60°с.ш.) северного полушария от 180° з.д. до 180° в.д., то есть от восточного сектора Тихого океана, далее – территория США, затем – Северная Атлантика, Евразия и западный сектор Тихого океана. В основном, представленный период отличается холодными аномалиями в Атлантике и теплыми – в Тихом океане (за исключением периода с середины 2016 до конца 2017 гг.). В текущем сезоне (осень 2020), в умеренных широтах можно отметить области холода в американском секторе, восточной Атлантике и Западной Европе и затем в центре Евразии. С другой стороны, явное тепло в Тихом океане и на западе Атлантики, в восточной Европе и на востоке российской Азии. Все эти особенности согласуются с описанным выше распределением аномалий в течение сезона.

Зональные профили (рис. 3.2б) четко указывают на повышение температуры в приэкваториальном поясе в 2015/2016 гг. (след мощного Эль-Ниньо) и ее понижение в 2018 г. (не получивший развития Ла-Нинья); в 2019-2020 – интенсивное тепло в северном полушарии и около нормы – в южном, с наметившимся понижением температуры минувшей осенью в экваториальной зоне.



Временные ряды глобально осредненной температуры (рисунок 3.3). Интегральную характеристику и оценку интенсивности наблюдаемых изменений приземной температуры Земного шара дают глобально осредненные временные ряды для территории Земного шара и полушарий.

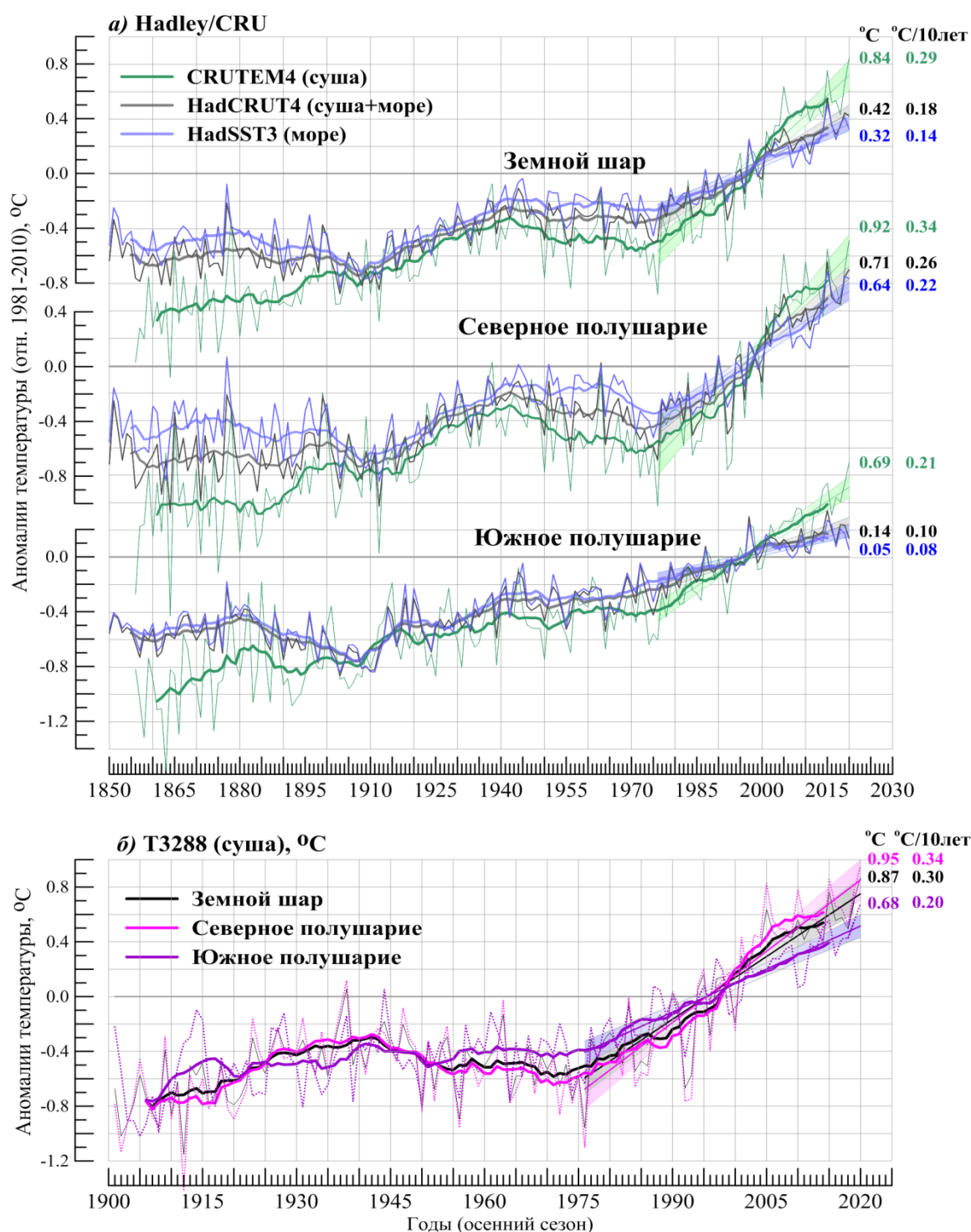


Рисунок 3.3 – Временные ряды сезонных аномалий приземной температуры (осень), осредненных по территории Земного шара, Северного и Южного полушарий:

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

Для всех рядов показан ход 11-летних скользящих средних и линейный тренд за 1976-2020 гг. с 95% доверительным интервалом. Справа приведены числовые значения сезонных аномалий в 2020 г. и коэффициентов линейного тренда за 1976-2020 гг. (°C/10лет, осень).

Из рисунка видно повышение температуры от 2019 к 2020 на суше во всех рассматриваемых регионах (ЗШ, СП, ЮП), а на море – аномалии температуры осенью 2020 ниже, чем осенью 2019. Следует заметить, что средняя скорость потепления осенних сезонов за период с 1976 г. практически не изменилась.

В таблице 3.1 приведены коэффициенты линейного тренда для всех рядов (по всем наборам данных, для Земного шара и обоих полушарий), за 1976-2020 гг. (период современного глобального потепления) и 1921-2020 гг. (последнее 100-летие).

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

Регион	1976-2020				1921-2020			
	Осень	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Осень	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
HadCRUT4 (суша+море)								
Земной шар	0.179	0.175	0.187	0.175	0.078	0.077	0.076	0.080
Северное полушарие	0.258	0.253	0.266	0.254	0.082	0.080	0.078	0.088
Южное полушарие	0.101	0.098	0.109	0.096	0.074	0.074	0.075	0.073
T3288-ИГКЭ (суша)								
Земной шар	0.305	0.293	0.320	0.304	0.102	0.097	0.098	0.111
Северное полушарие	0.347	0.322	0.365	0.354	0.105	0.097	0.096	0.121
Южное полушарие	0.209	0.225	0.218	0.188	0.096	0.098	0.105	0.086
CRUTEM4 (суша)								
Земной шар	0.292	0.282	0.305	0.290	0.105	0.100	0.101	0.113
Северное полушарие	0.335	0.313	0.349	0.344	0.106	0.098	0.098	0.122
Южное полушарие	0.206	0.221	0.216	0.182	0.103	0.106	0.108	0.094
HadSST3 (море)								
Земной шар	0.145	0.149	0.149	0.136	0.066	0.067	0.066	0.066
Северное полушарие	0.218	0.233	0.220	0.198	0.069	0.071	0.070	0.065
Южное полушарие	0.078	0.070	0.084	0.081	0.068	0.067	0.066	0.069

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

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

- потепление осенних сезонов (и современное, и в целом за 100 лет) над сушей протекает быстрее, чем над океанами ($k_1=1.4$ - 2.7 , больше 1), причем этот контраст в последние 40-50 лет в Южном полушарии существенно усилился, тогда как в Северном полушарии остался практически на том же уровне;

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

- в Северном полушарии средняя скорость *современного* потепления осенних сезонов (1976-2020) выше, чем в Южном, особенно над океанами ($k_2=1.6-2.8$); но на 100-летнем периоде этот контраст практически отсутствует (1.0-1.1).
- современное потепление осенних сезонов ускорилось по сравнению со 100-летним в $k_3=3.2-3.3$ раз в Северном полушарии и только в $k_3=1.2-2.2$ раза – в Южном. При этом в Северном полушарии ускорение происходит равномерно на всей территории (на суше и на поверхности океанов), а в Южном – более интенсивно над сушей.

Таблица 3.2 – Сравнение скорости глобального потепления осенних сезонов (у поверхности) в разных факторных подгруппах

k_1	<i>Показатель</i>	1976-2020			1921-2020		
		ЗШ	СП	ЮП	ЗШ	СП	ЮП
k_1	b_{T3288}/b_{HadSST}	2.10	1.59	2.68	1.55	1.52	1.41
	b_{CRUTEM}/b_{HadSST}	2.01	1.54	2.64	1.59	1.54	1.51
k_2	$b_{СП}/b_{ЮП}$	1976-2020			1921-2020		
		T3288	CRUTEM	HadSST	T3288	CRUTEM	HadSST
		1.66	1.63	2.79	1.09	1.03	1.01
k_3	$b_{1976-2020}/b_{1921-2020}$	СП			ЮП		
		T3288	CRUTEM	HadSST	T3288	CRUTEM	HadSST
		3.30	3.16	3.16	2.18	2.00	1.15

4. ВРЕМЕННЫЕ РЯДЫ РЕГИОНАЛЬНО ОСРЕДНЕННЫХ АНОМАЛИЙ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ, 1911-2020 гг. (осенний сезон)

Представленные ниже временные ряды (рисунки 4.1, 4.2, 4.3) рассчитаны по методике ИГКЭ, по сеточным данным HadCRUT4 (для пяти широтных поясов и северных частей Атлантического и Тихого океанов) и по данным станционных наблюдений T3288 (для шести континентов и для Европы и Азии отдельно). Данные до 1911 г. не приводятся, т.к. представляются недостаточно полными и надежными (особенно над океанами). На всех временных рядах показаны тренды за период 1976-2020 гг., условно принятый за период современного глобального потепления. Числовые оценки трендов для всех регионов приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1. – Коэффициенты линейного тренда ($^{\circ}\text{C}/10 \text{ лет}$)
регионально осредненных аномалий приземной температуры осеннего сезона
за 1976-2020 гг. (в целом за сезон и по месяцам)

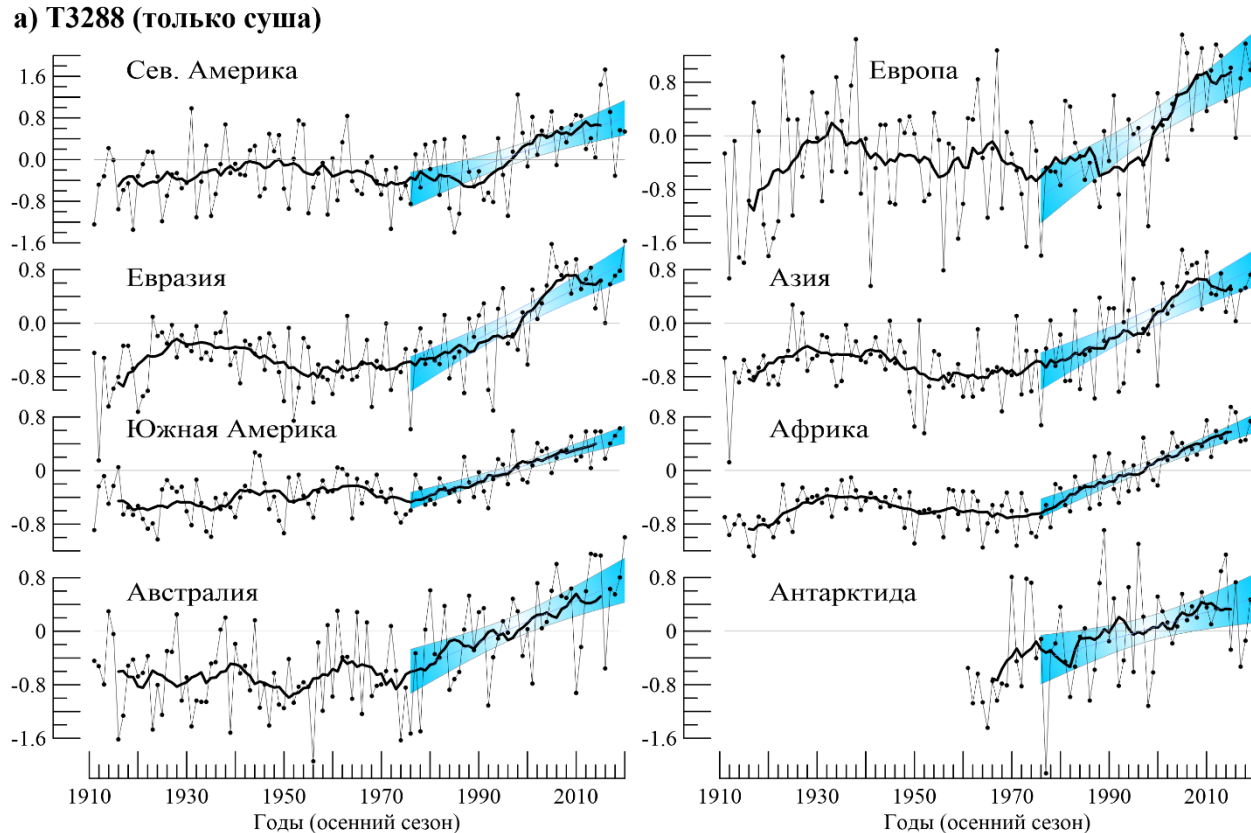
Регион	Осень	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
HadCRUT4 (суша+море)				
Атлантика (15-70N)	0.223	0.224	0.241	0.204
Тихий океан (20-65N)	0.231	0.242	0.230	0.221
Арктический пояс (65-90N)	0.648	0.452	0.745	0.763
Умеренный пояс СП (25-65N)	0.301	0.312	0.309	0.281
Тропики (25S-25N)	0.144	0.141	0.147	0.146
Умеренный пояс ЮП (65-25S)	0.097	0.092	0.105	0.091
Антарктический пояс (90-65S)	0.247	**0.212	0.314	0.211
T3288 (суша)				
Северная Америка	0.314	0.328	0.274	*0.341
Евразия	0.378	0.350	0.427	0.358
Южная Америка	0.231	0.300	0.202	0.199
Африка	0.289	0.242	0.296	0.313
Австралия	0.310	0.317	0.365	*0.258
Антарктида	0.208	**0.194	0.246	*0.172
Европа	0.469	0.473	0.446	0.489
Азия	0.351	0.313	0.417	0.325

Примечание. Звездочкой (*) выделены оценки, статистически значимые на 5%-м уровне; двумя звездочками (**) – оценки с уровнем значимости $\alpha=25\%$. Остальные оценки статистически значимы на 1%-уровне.

Оценки сезонных трендов (осень) для регионов Земного шара и континентов (табл. 4.1) все положительны, статистически значимы на 1% уровне. Регионы наиболее интенсивного потепления – Арктический пояс и Европа: коэффициенты трендов, соответственно, 0.65 и $0.47^{\circ}\text{C}/10 \text{ лет}$. Однако при более детальном рассмотрении оценки не столь однозначны. В Антарктиде значимый на 1% уровне тренд к потеплению наблюдается только в октябре, а в Антарктическом поясе – в октябре и ноябре. Ноябрь выделяется также как месяц с большей неопределенностью оценок «глобального потепления».

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

а) T3288 (только суша)



б) HadCRUT4 (суша+море)

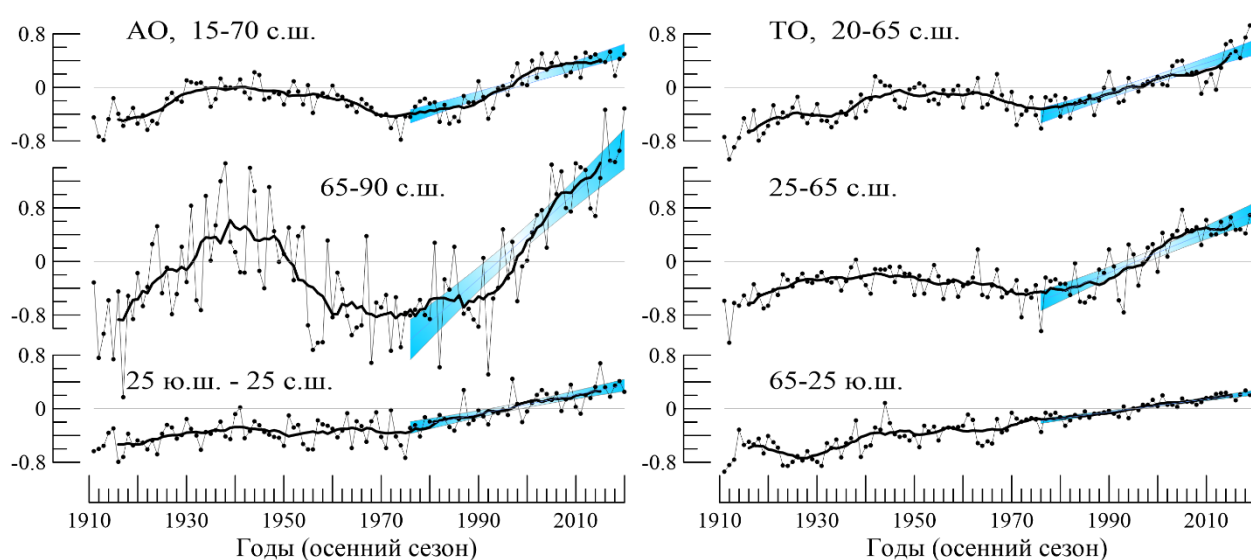


Рисунок 4.1 – Временные ряды пространственно осредненных аномалий приземной температуры осеннего сезона для континентов (а), северных частей Атлантического и Тихого океанов и основных широтных поясов земного шара (б).

Расчеты выполнены по методике ИГКЭ: для континентов - по данным ИГКЭ (массив T3288), для океанов и широтных поясов – по данным Hadley/CRU (массив HadCRUT4). Аномалии приведены в отклонениях от средних за 1981–2010 гг. Сглаженные кривые (жирная линия) получены 11-летним скользящим осреднением. Показан линейный тренд за 1976-2020 гг. с 95%-м доверительным интервалом (голубая заливка).

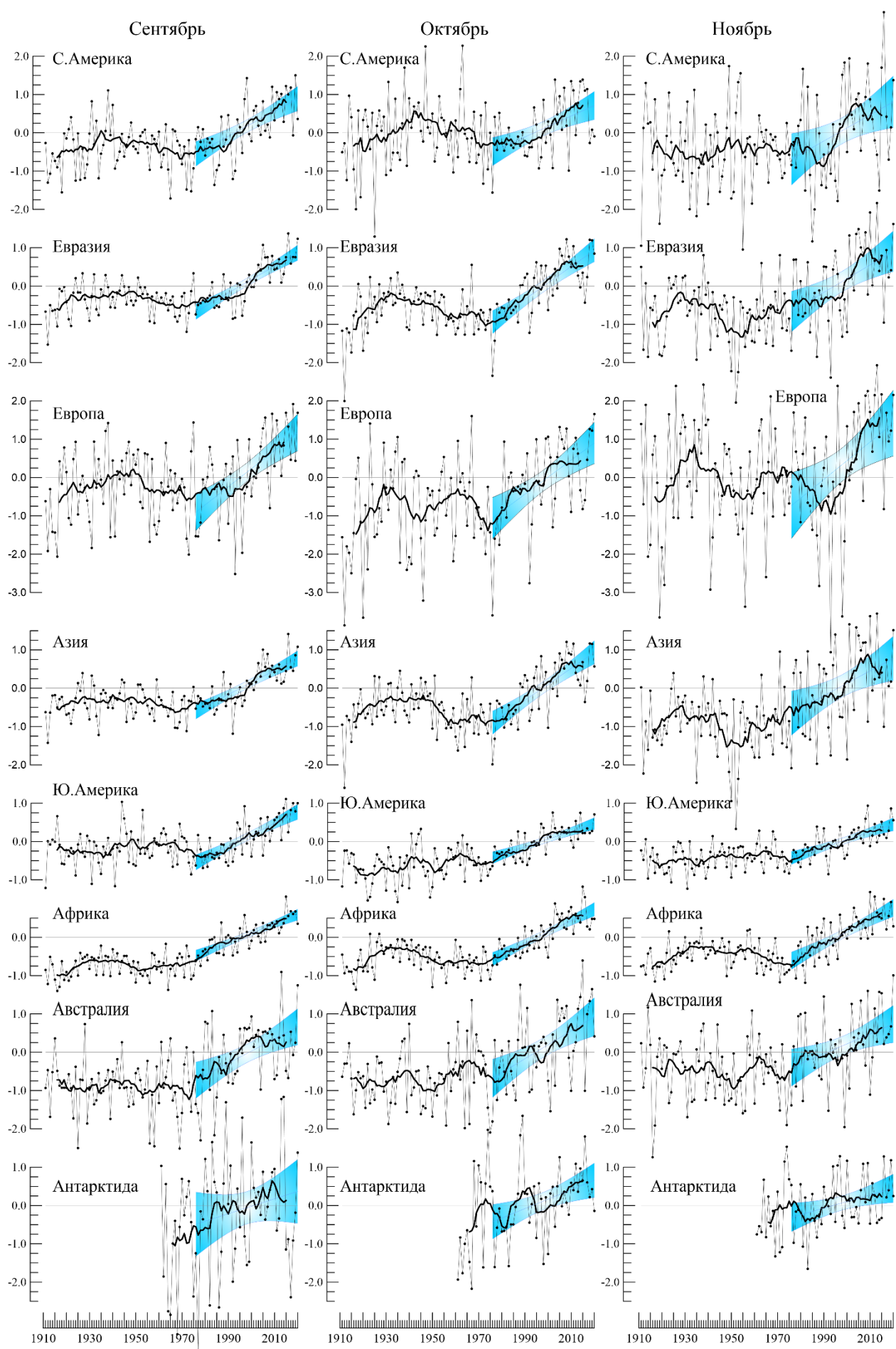


Рисунок 4.2 – См. рис. 4.1, но для аномалий осенних месяцев и только для континентов (Т3288)

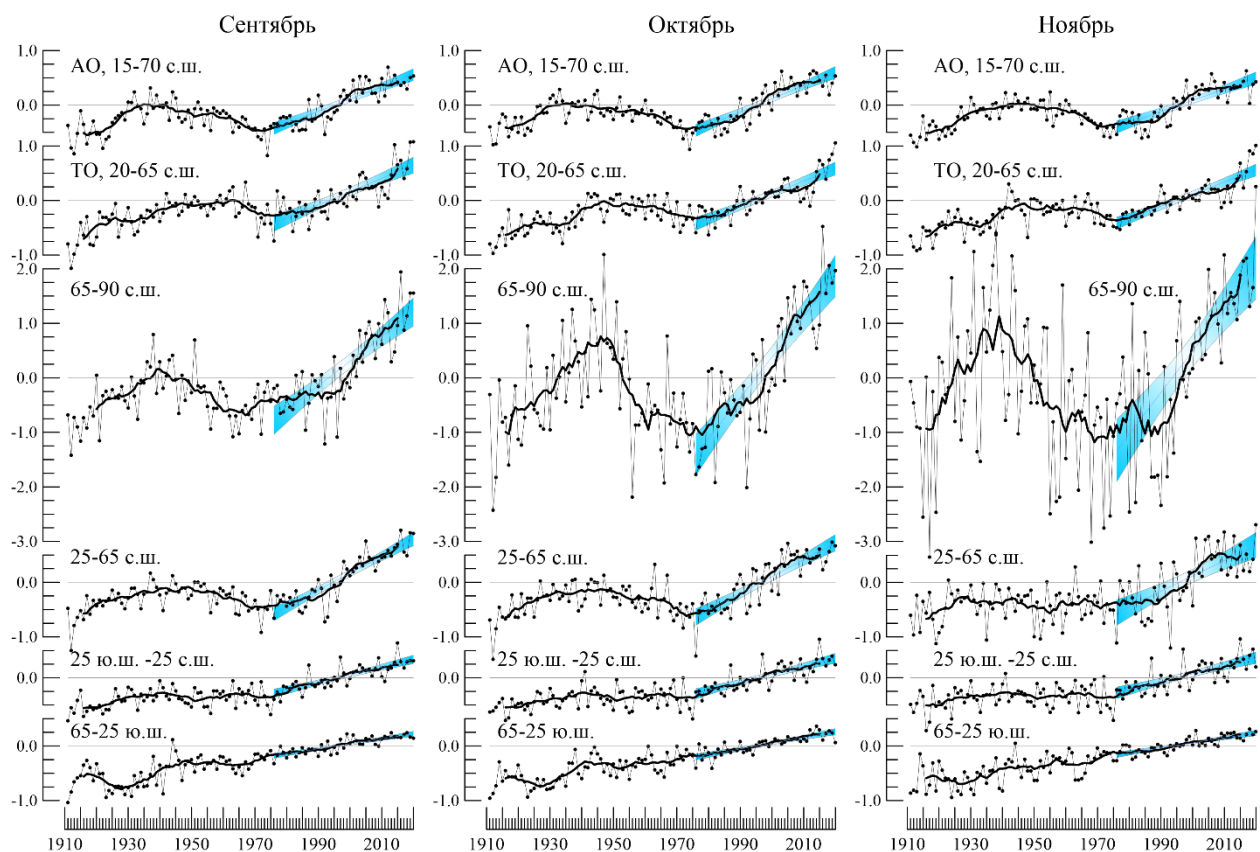


Рисунок 4.3 – См. Рис. 4.1., но для аномалий осенних месяцев и только для океанов и широтных поясов земного шара (HadCRUT4)

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

Ниже приведено географическое распределение коэффициентов линейного тренда приповерхностной температуры за 1976-2020 гг. для осеннего сезона (рис. 5.1) и отдельно для каждого из осенних месяцев (рис. 5.2). Использованы данные наблюдений на 2601 станциях (массив T3288) и в центрах 1644 боксов (массив HadCRUT4), для которых своевременно поступили данные за три осенних месяца 2020 года. В таблице 5.1 приведено их количественное распределение в зависимости от географического региона, направленности тренда и уровня значимости. В ячейках таблицы для каждой анализируемой выборки указано реальное число станций/боксов, учтенных в этой выборке и их доля в общем объеме соответствующих данных

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

Регион	N	<i>b</i> < 0			<i>b</i> = 0	<i>b</i> > 0		
		<i>всего</i>	<i>α</i> ≤0.01	<i>α</i> ≤0.05		<i>всего</i>	<i>α</i> ≤0.01	<i>α</i> ≤0.05
HadCRUT4 (суша+море)								
ЗШ	1644	10.2	0.4	0.8	1.3	88.6	57.4	68.4
СП	969	1.5			0.3	98.1	71.0	81.8
ЮП	675	22.5	1.0	1.9	2.7	74.8	37.9	49.2
90-65N	97					100.0	83.5	91.8
65-25N	546	0.7			0.2	99.1	70.3	82.8
25S-25N	650	12.0	0.2	0.8	1.2	86.8	57.7	69.1
25-65S	338	24.3	1.8	2.4	3.6	72.2	29.3	37.9
65-90N	13	23.1				76.9	38.5	53.8
T3288 (только суша)								
ЗШ	2601	3.3	0.3	0.3	0.3	96.3	60.6	73.4
СП	2198	2.5	0.3	0.3	0.2	97.3	62.1	74.7
ЮП	404	7.9			1.2	90.8	52.2	66.3
С. Америка	429	4.2	0.2	0.2	0.2	95.6	47.6	62.9
Евразия	1475	1.6	0.3	0.3	0.1	98.3	64.7	77.4
Ю.Америка	103	12.6	1.0	1.0	1.0	86.4	50.5	60.2
Африка	147	8.8	0.7	0.7		91.2	57.8	71.4
Австралия	151	4.0			1.3	94.7	58.3	77.5
Антарктида	17	11.8			5.9	82.4	29.4	35.3
Европа	533	0.2				99.8	82.2	93.4
Азия	951	2.4	0.4	0.4	0.1	97.5	54.8	68.3

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

Можно видеть, что *тенденция к потеплению осенних сезонов* наблюдается практически повсеместно – локальные положительные тренды составляют в целом по ЗШ 89% всех оценок (в северном полушарии – все 98%). При этом основная масса оценок – статистически значимы хотя бы на 5%-м уровне (табл. 5.1).

Область наиболее *интенсивного потепления* осенних сезонов (рис. 5.1), по-прежнему, Арктика (до 2.1°C/10 лет вдоль побережья и на островах Карского моря), за ней – Европа (до 0.8°C/10 лет), области на западе США, в центре Южной Америки, на севере Африки (до 0.6°C/10 лет).

В то же время на всех континентах отмечаются области статистически незначимого положительного тренда, наиболее обширные из которых расположены в Сибири, на западе Канады и в Аргентине. Из остальных 11% оценок (нулевой тренд и тенденция к похолоданию) только 0.4% статистически значимы на 1%-м уровне. Эти области располагаются в Боливии (до $-0.1^{\circ}\text{C}/10$ лет), в Бангладеш (до $-0.2^{\circ}\text{C}/10$ лет).

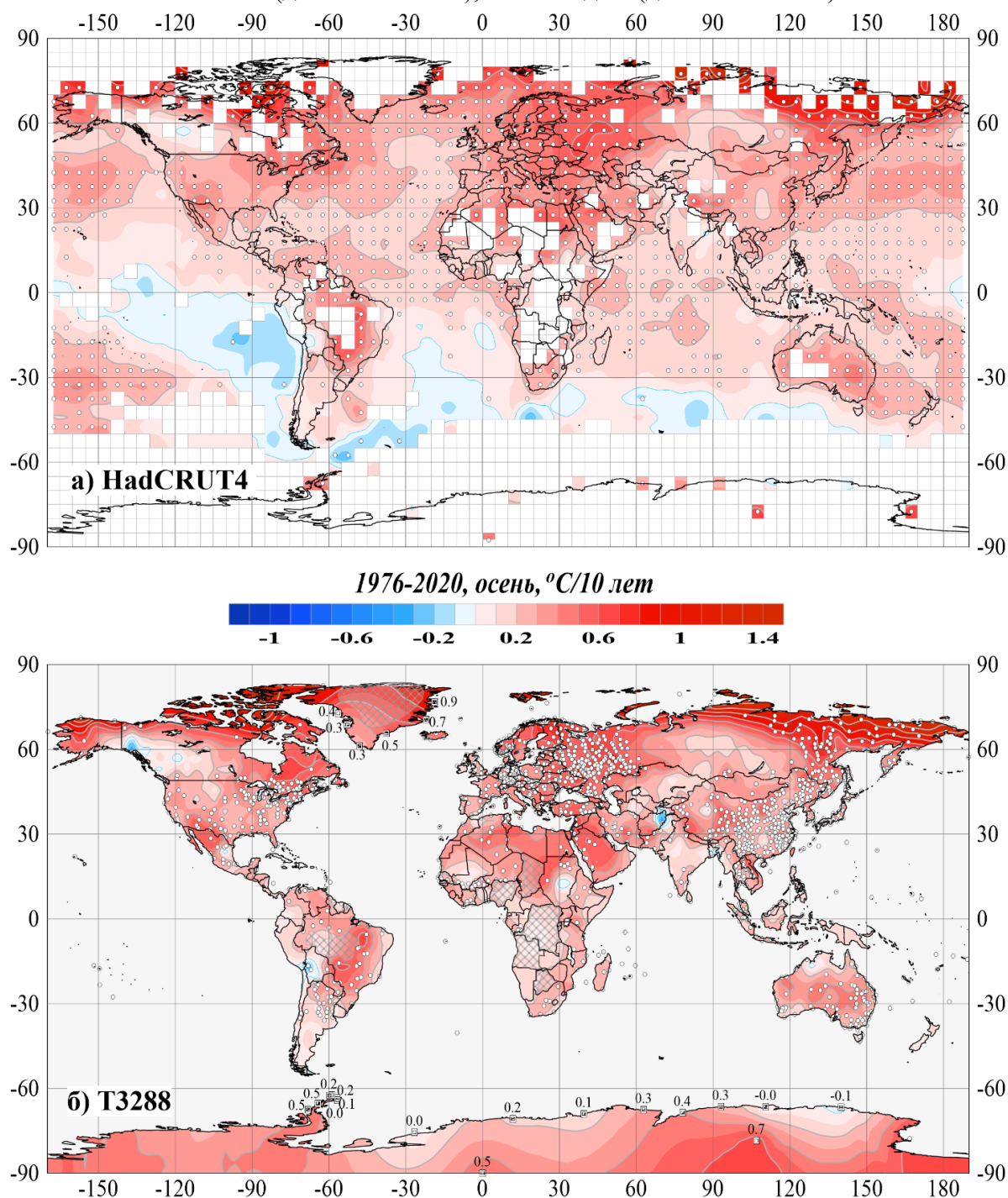


Рисунок 5.1 - Пространственное распределение коэффициентов линейного тренда температуры осеннего сезона у поверхности Земного шара за период 1976-2020 гг. ($^{\circ}\text{C}/10$ лет).

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

В распределениях месячных оценок тренда (рис. 5.2) можно отметить, что тенденция к потеплению Арктики проявляется во все месяцы сезона. Так, в российской Арктике тренд температуры достигает в сентябре $2.3^{\circ}\text{C}/10$ лет, в октябре $1.0^{\circ}\text{C}/10$ лет, в ноябре $2.8^{\circ}\text{C}/10$ лет; в Канадском арктическом архипелаге соответствующие оценки составляют $1.4^{\circ}\text{C}/10$ лет в сентябре и ноябре и $2.3^{\circ}\text{C}/10$ лет в октябре. В Европе и в Северной Америке тенденция к потеплению наиболее активна в сентябре (до $0.8^{\circ}\text{C}/10$ лет).

В течение всего сезона, на всех континентах, кроме Австралии, выделяются области слабого отрицательного тренда, статистически незначимого даже на 10%-м уровне (в Северной Америке и Сибири – обширные). На карте сезонных трендов (рис. 5.1) им соответствуют области слабого, также статистически незначимого, положительного тренда, что указывает скорее на отсутствие в изменении температуры в этих областях реальных однонаправленных тенденций любого знака.

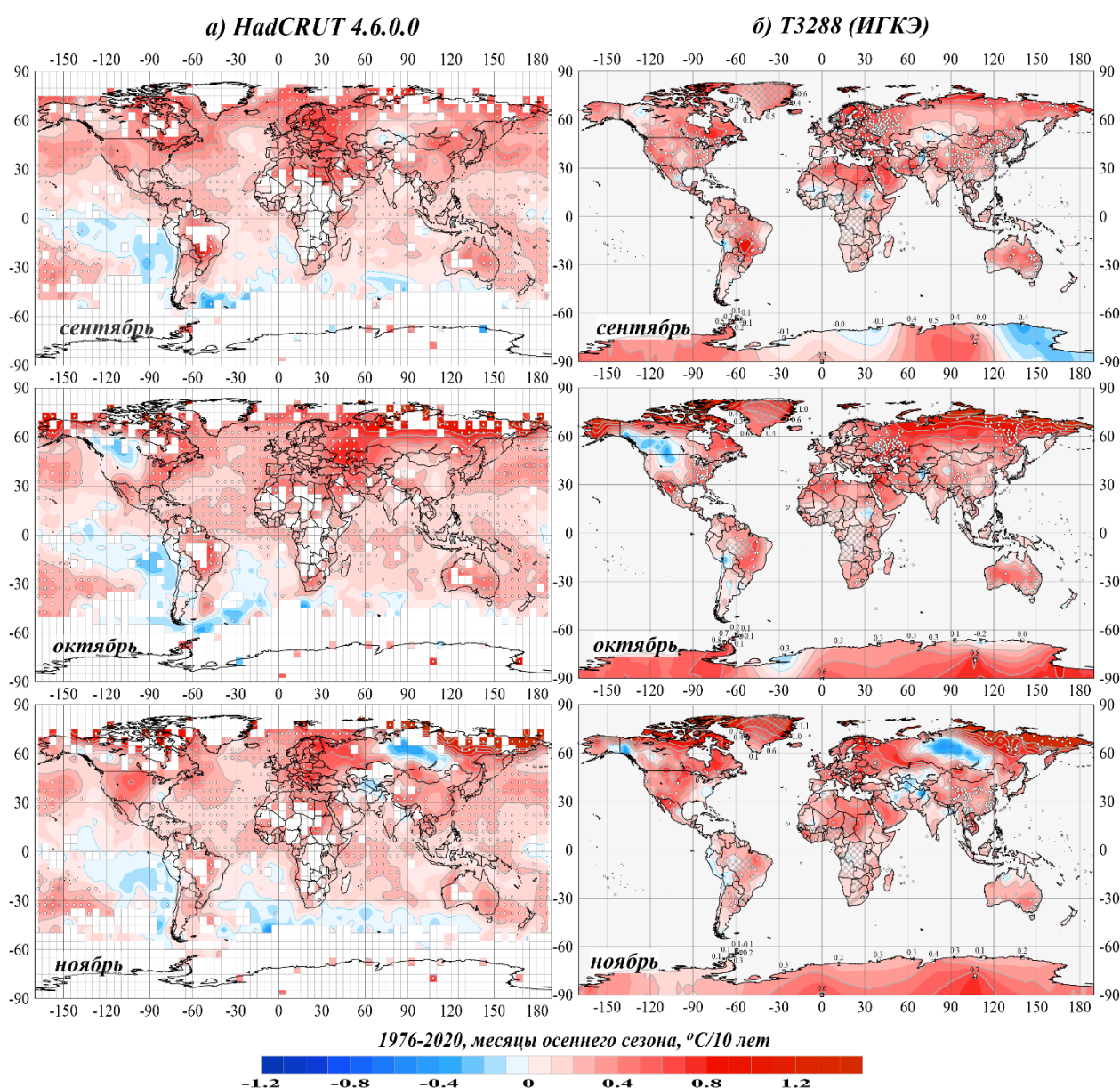


Рисунок 5.2 –См. рис. 5.1., но для коэффициентов тренда среднемесячных аномалий температуры осенних месяцев.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- В соответствии с оценками для всей территории (суша+море, HadCRUT4) текущий сезон (осень 2020 г.) стал третьим самым теплым для Земного шара (аномалия $+0.42^{\circ}\text{C}$), вторым – для Северного полушария (аномалия 0.71°C) и лишь одиннадцатым – для Южного полушария (аномалия $+0.135^{\circ}\text{C}$). По данным наземных станций (только суша!), сезон оказался рекордно теплым для всех трех глобальных территорий (ЗШ, СП, ЮП), причем превышение относительно предыдущего рекорда (осень 2015 года) составило по разным данным от 0.06 до 0.15°C . Температура поверхности океанов в Северном полушарии на третьем месте, а в Южном – на 19-м с аномалией 0.053°C .

- На территории Земного шара по-прежнему доминируют положительные аномалии температуры – на них приходится около 73% всех сезонных наземных данных и более 78% данных в боксах. Многочисленные 5%-е сезонные 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 северных умеренных широтах Тихого океана и западной Атлантики. В целом, в северном полушарии, севернее 25-й параллели, 75% всех локальных осенних аномалий были выше 95-го перцентиля, в том числе 29% побили прежние абсолютные максимумы.

- Рекордно теплым осенний сезон 2020 года стал для регионов: северная часть Тихого океана (20-65N), Арктический пояс (65-90N), Умеренный пояс СП (25-65N), а также для континентов: Евразия (и отдельно Европа), Южная Америка, Австралия.

- Все три месяца осеннего сезона в целом были экстремально теплыми. Локализация наиболее крупных аномалий почти не менялась от месяца к месяцу, хотя менялась их интенсивность и площадь охвата. Самые теплые месяцы – сентябрь и ноябрь. Из регионов выделяются Европа и Тихий океан, где обновились все три месячных максимума. Кроме того, в ноябре регионально осредненные аномалии достигли максимальных значений (более 2.0°C) в Австралии, Европе и в Арктическом широтном поясе.

- При экстремально высоких значениях глобальных температур, на континентах и на акваториях южных океанов наблюдаются области отрицательных аномалий, в которых около 2% локальных значений были ниже 5-го перцентиля. Области отрицательных аномалий в Северной Америке, на юге Евразии и в океанах ЮП имели наибольшую площадь охвата в октябре.

- На большей части Земного шара продолжается потепление осенних сезонов: положительные тренды в целом по ЗШ составляют 89% всех сезонных локальных оценок. Область наиболее интенсивного потепления – Арктика (до $+2.1^{\circ}\text{C}/10$ лет на островах Северного Ледовитого океана) и Европа (до $+0.8^{\circ}\text{C}/10$ лет). При этом среди отрицательных коэффициентов тренда (~10%) статистически значимы на 1%-м уровне 0.4% – в Боливии и Бангладеш.

- В течение всего сезона, на всех континентах, кроме Австралии, выделяются области слабого отрицательного тренда, статистически незначимого даже на 10%-м уровне (в Северной Америке и Сибири – обширные). На карте сезонных трендов им соответствуют области слабого, также статистически незначимого, положительного тренда, что указывает скорее на отсутствие в изменении температуры в этих областях реальных однонаправленных тенденций любого знака.

- Потепление осенних сезонов над сушей протекает быстрее, чем над океанами, что особенно заметно в последние 40-50 лет в Южном полушарии. Современное потепление ускорилось по сравнению со 100-летним: в Северном полушарии – втрое, равномерно на всей территории (на суше и на поверхности океанов), в Южном – в 1.5-2 раза и притом более интенсивно над сушей.