

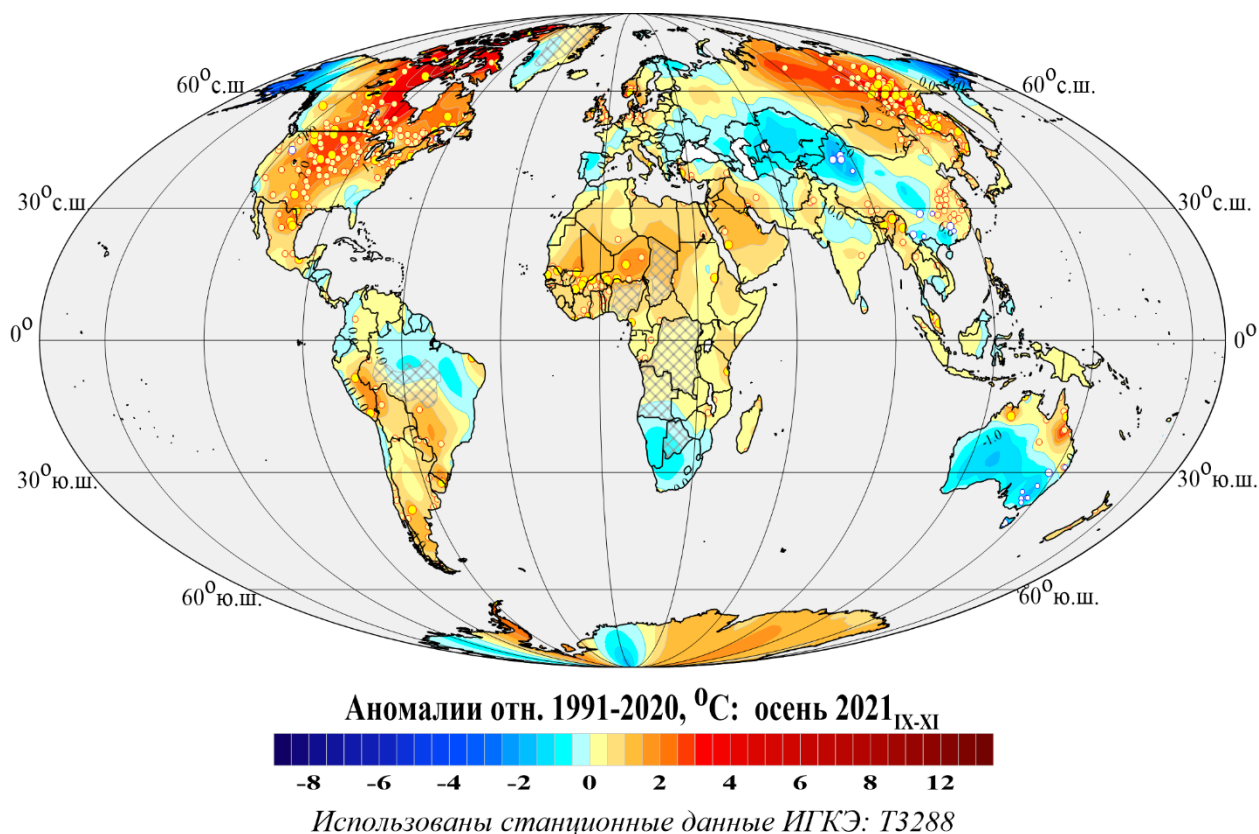
Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу
окружающей среды

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

Бюллетень мониторинга изменений климата Земного шара

Приземная температура

Осень 2021



Москва 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ^{1,2}

1. ВВЕДЕНИЕ	3
2. ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ У ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМНОГО ШАРА ОСЕНЬЮ 2021 года. ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ АНОМАЛИИ	6
3. КРУПНОМАСШТАБНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ЗЕМНОГО ШАРА, 1850-2021 гг. (осенний сезон)	12
4. ВРЕМЕННЫЕ РЯДЫ РЕГИОНАЛЬНО ОСРЕДНЕННЫХ АНОМАЛИЙ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ, 1911-2021 гг. (осенний сезон)	16
5. ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА, 1976-2021 гг. (осенний сезон)	20
6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ	24

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 2021 года. Использованы станционные данные ИГКЭ.

1 ВВЕДЕНИЕ

В настоящем бюллетене представлены данные о климатических аномалиях осеннего сезона 2021 года и обновленные (с учетом этих данных) оценки тенденций в изменении температурного режима осенних сезонов на территории земного шара в течение 1976–2021 гг. Оценки приведены для сезона в целом и каждого из осенних месяцев (сентябрь–октябрь–ноябрь) для аномалий относительно базового периода 1991–2020 гг.

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» и используются в точном соответствии с оригиналом, без какой-либо корректировки).

Развернутый комментарий к материалам бюллетеня с описанием используемых источников, сети станций и элементов методики GCCM размещен на сайте ИГКЭ⁵. Здесь отметим лишь, что массив T3288 служит базовым массивом для оценки состояния температурных условий на суше земного шара, а массив HadCRUT4 и глобальные временные ряды HadCRUT4, HadSST3, CRUTEM4 используются для создания полной картины над сушей и океанами.

Последний из них (CRUTEM4, только суша, Hadley/CRU), полученный по той же системе наблюдений, что и T3288 (только суша, ИГКЭ), но другим коллективом, с использованием других методов и технологий сбора данных, их обработки и анализа, дополнительно используется как эталонный для суждения о репрезентативности и мере неопределенности представленных в бюллетене результирующих оценок и выводов для суши Земного шара.

В частности, для осеннего сезона близость глобальных рядов T3288 и CRUTEM4, по крайней мере, с середины прошлого столетия видна визуально (рис. 1.1) и подтверждается статистиками их попарных разностей (табл.1.1): среднее различие рядов составляет 0.01–0.02°C (за период 1976–2021 в Северном полушарии пренебрежимо мало), стандартное

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 08.01.2022

⁵ О бюллетене GCCM (read me). URL: http://climatechange.igce.ru/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=220&Itemid=76&lang=ru.

отклонение различий ($0.03\text{--}0.05^{\circ}\text{C}$) на порядок ниже стандартного отклонения самих рядов ($0.3\text{--}0.5^{\circ}\text{C}$), а различие рядов в отдельные годы после 1976 г. никогда не поднималось выше 0.09°C (хотя в 1923-1928 и в 1938 гг. достигло $0.15\text{--}0.16^{\circ}\text{C}$). При этом во всех случаях ряды характеризуются исключительно высокой корреляцией (не менее 0.994) и предельно низким различием трендов (до $0.01^{\circ}\text{C}/10$ лет).

Аналогичные оценки с практически с тем же заключением представлены в каждом бюллетене для соответствующего временного интервала (<http://climatechange.igce.ru>).

Дополнительно можно отметить, что с начала 2000-х (в Южном полушарии после 2010-х) в ходе сезонных (осень) глобальных температур над сушей (рис. 1.1) четко выделяются 5-летние периоды, каждый из которых завершается резким повышением температуры, за которым следует откат на более низкий уровень (см. 2005, 2010, 2015, 2020 годы)

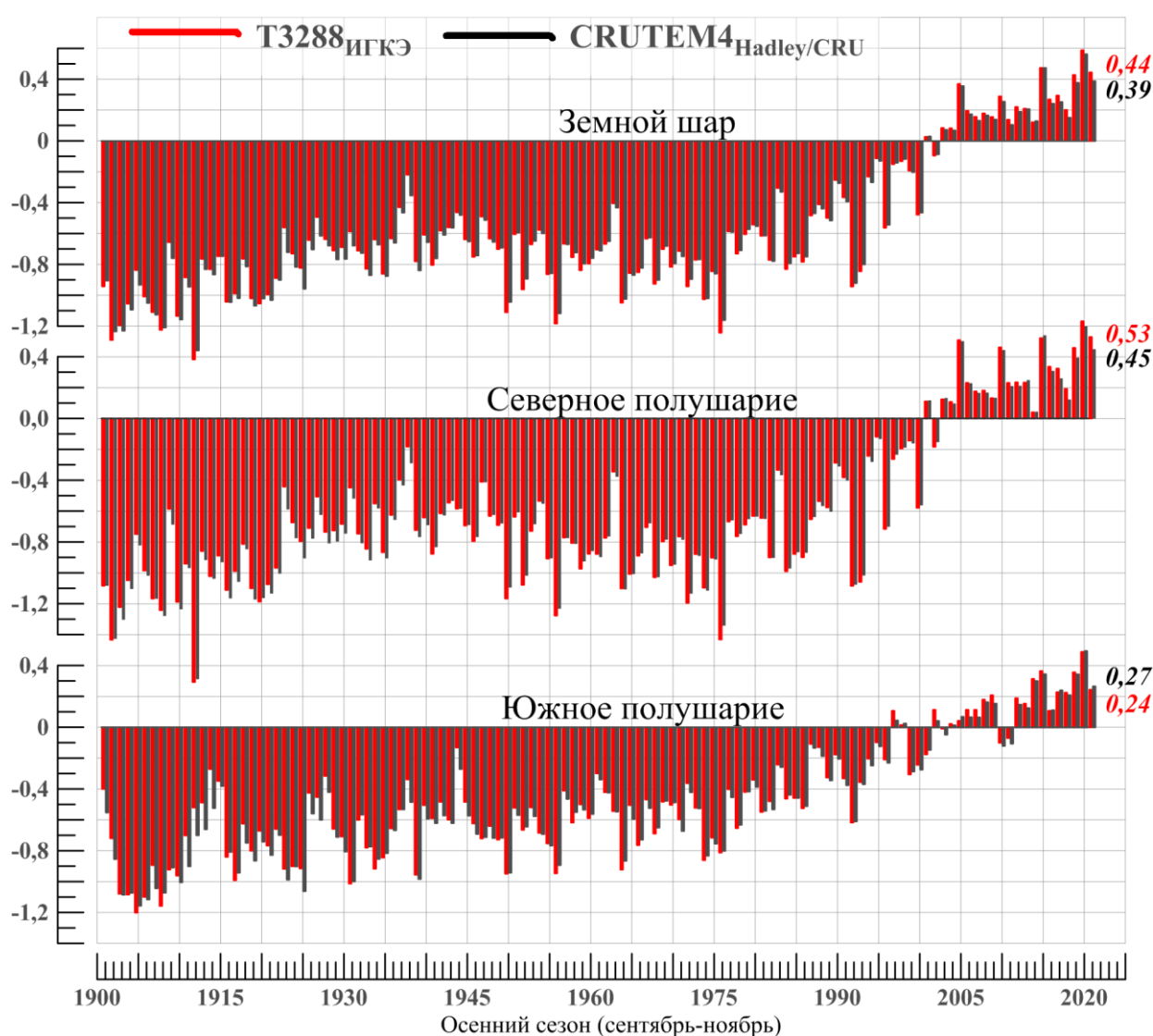


Рисунок 1.1 – Временные ряды пространственно осредненных сезонных аномалий температуры приземного воздуха над сушей Земного шара, Северного и Южного полушарий (1901-2021 гг., осень, $^{\circ}\text{C}$).

Использованы глобальные временные ряды T3288 (рассчитаны по данным и методике ИГКЭ) и оригинальные временные ряды CRUTEM4 (данные Hadley/CRU, <http://www.MetOffice.gov.uk>).

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	1976-2021			1922-2021		
	ЗШ	СП	ЮП	ЗШ	СП	ЮП
Корреляция рядов	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99
Среднее различие, °C	0.01	0.00	0.02	0.01	0.01	0.02
СКО (сигма) различий, °C	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05
Среднее абсолютное различие, °C	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04
Макс. абсолютное различие, °C	0.08	0.09	0.07	0.16	0.15	0.15
Разность коэфф. тренда, °C /10лет	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
СКО T3288, °C	0.45	0.52	0.30	0.42	0.47	0.36
СКО CRUTEM4, °C	0.43	0.50	0.30	0.41	0.46	0.36

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

Текущий сезон (осень 2021 г.), по всем наборам данных («только суша», «только море», «суша+море») стал третьим самым теплым для Земного шара, четвертым – для Северного полушария и пятым – для Южного (исключение: данные T3288, в Северном полушарии осень 2021 г. стала второй самой теплой). Самыми теплыми осенними сезонами для всех трех глобальных территорий (ЗШ, СП, ЮП) остаются: на континентах – осень 2020 года, а на акваториях океанов и на всей территории с учетом океанов – осень 2015.

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

Ранг	ЗШ		СП		ЮП	
	VT, °C	Год (осень)	VT, °C	Год (осень)	VT, °C	Год (осень)
HadCRUT4 (Hadley/CRU, суша+море)						
1	0.376	2015	0.510	2015	0.243	2015
2	0.268	2019	0.452	2020	0.198	1997
3	0.256	2021	0.401	2019	0.142	2018
4	0.246	2020	0.381	2021	0.138	2019
5	0.176	2016	0.274	2005	0.131	2021
T3288 (ИГКЭ, суша)						
1	0.587	2020	0.629	2020	0.488	2020
2	0.473	2015	0.528	2021	0.364	2015
3	0.444	2021	0.520	2015	0.356	2019
4	0.427	2019	0.507	2005	0.313	2014
5	0.368	2005	0.460	2010	0.243	2021
CRUTEM4 (Hadley/CRU, суша)						
1	0.562	2020	0.596	2020	0.494	2020
2	0.473	2015	0.537	2015	0.344	2015
3	0.387	2021	0.499	2005	0.343	2019
4	0.376	2019	0.447	2021	0.300	2014
5	0.355	2005	0.442	2010	0.265	2021
HadSST3 (Hadley/CRU, море)						
1	0.357	2015	0.471	2015	0.194	2015
2	0.262	2019	0.432	2019	0.171	1997
3	0.223	2021	0.419	2020	0.159	2016
4	0.217	2016	0.353	2021	0.130	2018
5	0.211	2018	0.314	2016	0.111	2021

Из крупных регионов (континенты, океаны, основные широтные пояса), судя по регионально осредненным значениям аномалий (табл. 2.2), экстремально теплые условия сложились в этом сезоне в северной части Атлантики (15-70°с.ш.) и в поясе южных умеренных широт (65-25°ю.ш.), где сезон в целом оказался для своего региона самым теплым в истории наблюдений, а каждый месяц – одним из первых двух самых теплых. Соответственно, теплая осень оказалась и на территории южных континентов – в Южной Америке (особенно в сентябре) и в Африке (в сентябре и ноябре).

Отрицательные аномалии (в среднем по территории континентов) наблюдались в этом сезоне сразу на нескольких континентах. Однако, поскольку они рассчитаны относительно среднего за 1991-2020 гг. (самое теплое 30-летие в рядах), судить о степени их экстремальности лучше по значениям в вероятностной шкале F. По-видимому, в данном сезоне действительно холодными можно считать региональные температурные условия в ноябре – в Австралии и Антарктическом поясе (соответственно, аномалии V= -1.39, -0.55 °C; F=18%, 39%) и в сентябре – в Европе (V=-0.61°C, F=43%). Приблизительно, в ноябре можно отнести к ним еще и условия в Антарктиде (V= -0.34 °C, F=54%).

Таблица 2.2 - Пространственно осредненные значения аномалии приземной температуры в крупных регионах Земного шара и их вероятности непревышения (осень 2021 г., в среднем за сезон и в каждом из месяцев)

Регион		Осень		Сентябрь		Октябрь		Ноябрь	
		vT, °C	F%	vT, °C	F%	vT, °C	F%	vT, °C	F%
HadCRUT4 (суша+море)									
Земной шар		0.26	98.2	0.24	96.4	0.27	98.2	0.26	98.2
Северное полушарие		0.38	97.3	0.35	96.4	0.39	98.2	0.40	98.2
Южное полушарие		0.13	96.4	0.13	98.2	0.15	97.3	0.12	95.5
Атлантика, 15-70N		0.47	100	0.43	99.1	0.52	100	0.48	100
Тихий океан, 20-65N		0.36	95.5	0.50	97.3	0.26	94.5	0.33	96.4
Широтные пояса	65-90N	0.38	87.3	0.29	87.3	0.85	92.7	0.04	72.7
	25-65N	0.55	99.1	0.54	97.3	0.49	100	0.61	98.2
	25S-25N	0.11	90.9	0.12	91.8	0.15	92.7	0.10	89.1
	65-25S	0.24	100	0.16	100	0.23	99.1	0.31	100
	90-65S	1.12	97.4	1.96	93.6	1.95	97.4	-0.55	39
T3288 (только суша)									
Земной шар		0.44	98.2	0.43	97.3	0.49	99.1	0.41	96.4
Северное полушарие		0.53	99.1	0.39	95.5	0.57	100	0.62	96.4
Южное полушарие		0.24	96.4	0.52	99.1	0.29	94.5	-0.08	80.9
Северная Америка		1.24	99.1	0.84	98.2	1.81	98.2	1.10	90.9
Евразия		0.35	91.8	0.24	89.1	0.18	86.4	0.66	93.6
Южная Америка		0.45	99.1	1.00	100	0.37	96.4	-0.05	79.1
Африка		0.54	98.2	0.69	99.1	0.10	88.2	0.84	99.1
Австралия		-0.39	62.7	0.09	78.2	0.08	78.2	-1.39	18.2
Антарктида		0.61	92.2	1.09	87	1.08	93.5	-0.34	54.5
Европа		0.18	80	-0.61	43.6	0.29	77.3	0.84	80
Азия		0.41	92.7	0.48	95.5	0.18	88.2	0.60	89.1
CRUTEM4 (только суша)									
Земной шар		0.39	98.2	0.43	98.2	0.42	98.2	0.31	93.6
Северное полушарие		0.45	97.3	0.36	94.5	0.48	99.1	0.50	94.5
Южное полушарие		0.27	96.4	0.58	100	0.30	95.5	-0.08	80.9

Условные обозначения:

1. vT – наблюдаемая аномалия осенью 2021 года, °C (базовый период 1981-2010 гг.)
2. F% – значение эмпирической функции распределения $F = \text{prob}(X \leq vT_{2021})$ по данным за 1911-2021 гг. (вероятность непревышения)
3. Синим шрифтом выделены отрицательные аномалии
4. Красным шрифтом выделены абсолютные максимумы (F=100%, жирным шрифтом) и аномалии с вероятностью непревышения $99\% \leq F < 100\%$ (т.е. с рангами 1 и 2)

Более полное представление о региональных особенностях сложившихся этой осенью температурных условий и локализации наиболее крупных аномалий дает географическое распределение локальных аномалий (рис. 2.1) и их частотное распределение по знаку и интенсивности (табл. 2.3).

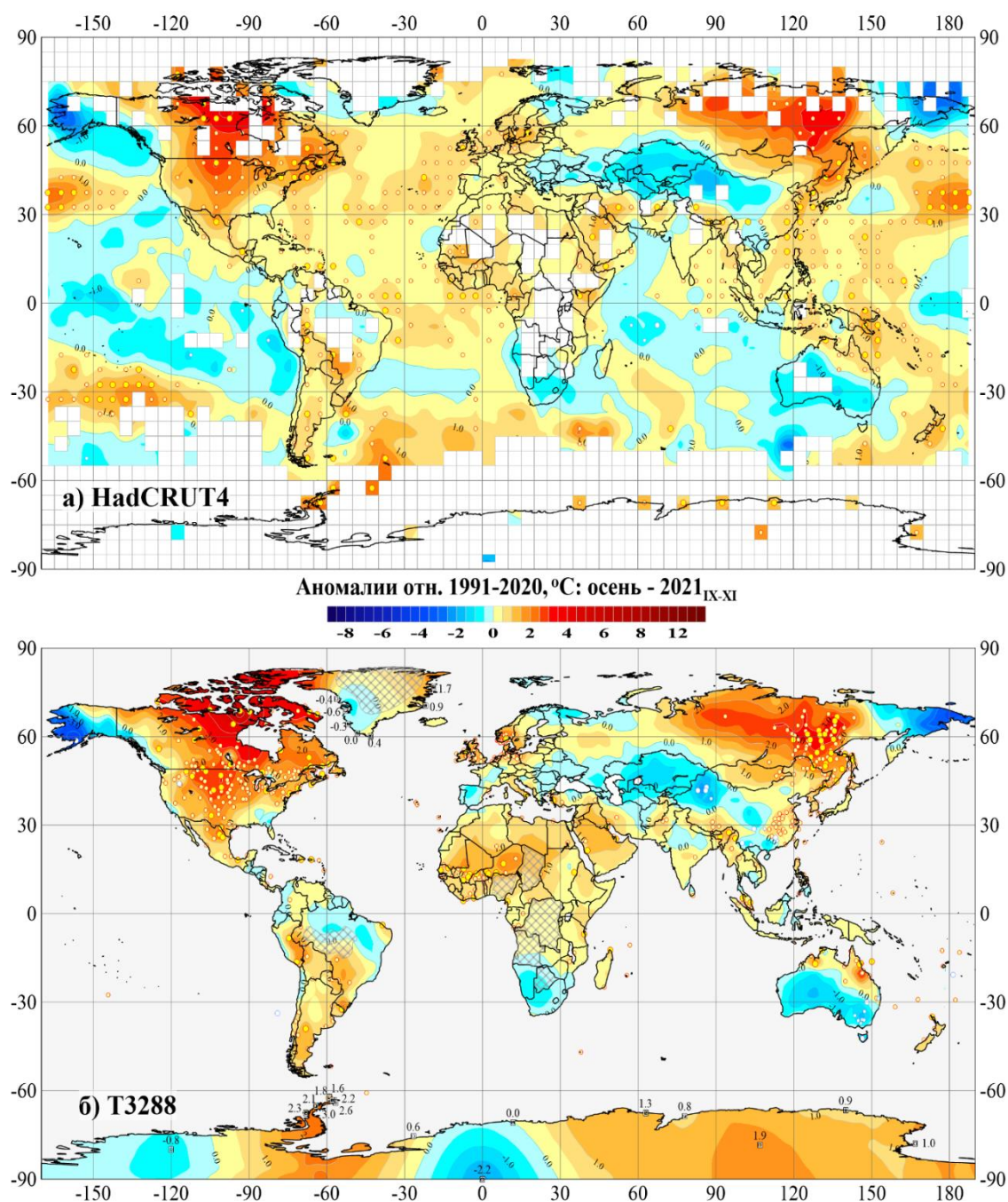


Рисунок 2.1 – Пространственное распределение аномалий приземной температуры на территории Земного шара осенью 2021 г.: а) по сеточным данным HadCRUT4 (Hadley/CRU, UK); б) по станционным данным T3288 (ИГКЭ)

Аномалии приведены в отклонениях от средних за 1991-2020 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. В точках расположения станций Антарктиды и Гренландии показаны числовые значения наблюдаемых аномалий. Пустыми боксами (а) и штриховкой (б) показаны области отсутствия наблюдений.

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

Регион		NN - число боксов/ станций	Частота значений в каждой категории (% от NN)						
			Аномалии (отн. 1991-2020)			5%- экстремумы холода/тепла		Абсолютные экстремумы	
			V <0	V=0	V> 0	X <=P ₀₅	X>=P ₉₅	X=min	X=max
HadCRUT4 (Hadley/CRU, суша+море)									
Земной шар		1685	30.6	5.3	64.0	0.4	24.5	-	6.3
Северное полушарие		971	24.3	4.4	71.3	0.3	29.5	-	6.6
Южное полушарие		714	39.2	6.6	54.2	0.4	17.8	-	5.9
Атлантика, 15-70N		137	6.6	2.9	90.5	-	43.8	-	6.6
Тихий океан, 20-65N		152	17.1	9.2	73.7	-	25.7	-	6.6
Широтные пояса	65-90N	115	29.6	4.3	66.1	-	8.7	-	1
	25-65N	541	21.1	3.9	75.0	1	32.9	-	7.8
	25S-25N	639	35.4	6.3	58.4	0.3	23.3	-	5.6
	65-25S	376	37.2	6.1	56.6	0.3	19.7	-	7.2
	90-65S	14	14.3	7.1	78.6	-	14	-	-
T3288 (IGCE, только суша)									
Земной шар		2658	27.7	5.3	67.1	1.0	21.0	0.5	4.4
Северное полушарие		2247	26.1	5.3	68.6	0.7	21.9	0.4	4.5
Южное полушарие		412	35.9	5.1	59.0	2.9	16.5	1.2	4.1
Северная Америка		454	12.8	3.1	84.1	1.1	41.4	0.4	8.6
Евразия		1551	31.2	6.1	62.7	0.6	14.8	0.4	2.8
Южная Америка		151	17.9	2.6	79.5	-	17.2	-	3.3
Африка		158	19.6	5.1	75.3	-	33.5	-	10.8
Австралия		142	71.8	4.2	23.9	7.0	7.0	2.1	3.5
Антарктида		18	11.1	5.6	83.3	-	33.3	-	16.7
Европа		553	29.8	10.3	59.9	-	11.8	-	0.5
Азия		1007	32.3	3.7	64.1	1.0	16.3	0.6	4.0
Арктика, 65-90N (суша)		157	42.0	5.7	52.2	-	15.9	-	5.7

Примечание. В объем выборок NN не включаются станции/боксы, по которым в массивах HadCRUT4 и T3288 отсутствуют данные за текущий месяц/сезон. Значения процентилей (P₀₅, P₉₅) рассчитаны для каждого календарного месяца и станции по данным за 1911-2021 гг.

Осенью 2021 г. на территории Земного шара преобладали положительные аномалии – на них приходится около 64% всех сезонных наземных данных и более 67.1% данных в боксах (рис. 2.1, табл. 2.3). На этом фоне следует отметить также и области отрицательных аномалий на континентах (вся территория Аляски и Чукотки; значительная часть центральной Азии, восточная часть Китая и западный сектор Антарктиды) и на акваториях Тихого и Индийского океанов (39.2% доступных боксов ЮП). Однако отрицательные аномалии этой осенью очень редко достигали уровня 5-го процентиля (не более 7% данных для отдельных регионов).

Внутрисезонные особенности распределения аномалий (рис. 2.2, табл. 2.4). В текущем осеннем сезоне наиболее теплыми месяцами были октябрь (средняя по Земному шару аномалия составила +0.27°C, ранг 3) и ноябрь (+0.26°C, ранг 3), главным образом за счет континентов Северного полушария. Из регионов здесь выделяются: Азиатская часть России, территория Канады и север США, где для всех трех месяцев зафиксированы крупные положительные аномалии и новые температурные рекорды.

Крупные области отрицательных аномалий наблюдались от месяца к месяцу на южных континентах: на юге Африки (наибольшие в октябре), в Австралии и в Южной Америке (особенно крупные аномалия в октябре-ноябре).

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

Регион		Всего блоков/ станций NN	Сентябрь		Октябрь		Ноябрь	
			X≤P ₀₅	X≥P ₉₅	X≤P ₀₅	X≥P ₉₅	X≤P ₀₅	X≥P ₉₅
HadCRUT4 (Hadley/CRU, суша+море)								
Земной шар		1685	1.0	16.6	0.6	18.8	1.2	17.4
Северное полушарие		971	0.6	20.9	0.4	21.6	1.1	19.4
Южное полушарие		714	1.5	10.8	0.8	15.0	1.3	14.8
Атлантика, 15-70N		137	-	22.6	-	32.1	1	26.3
Тихий океан, 20-65N		152	-	24.3	-	16.4	-	22.4
Широтные пояса	65-90N	115	1	9.6	-	11.3	2.6	4.3
	25-65N	541	0.2	24.6	0.6	23.5	0.9	18.3
	25S-25N	639	1.9	15.5	1.1	19.1	1.1	21.0
	65-25S	376	1	9.3	-	13.3	1.1	14.9
	90-65S	14	-	14.3	-	36	7.1	-
T3288 (IGCE, только суша)								
Земной шар		2658	0.6	20.0	0.9	16.9	1.7	11.4
Северное полушарие		2247	0.5	20.2	0.5	17.0	1.4	11.7
Южное полушарие		412	1.0	18.7	2.7	16.7	3.4	9.2
Северная Америка		454	0.7	17.0	0.4	39.4	1.8	12.1
Евразия		1551	0.4	20.2	0.6	9.5	1.4	8.8
Южная Америка		151	-	27.8	-	9.9	0.7	5.3
Африка		158	-	37.3	-	18.4	0.6	33.5
Австралия		142	2.1	7.7	6.3	16.9	9.2	3.5
Антарктида		18	-	27.8	-	44.4	-	11.1
Европа		553	0.2	11.8	-	6.7	0.4	2.7
Азия		1007	0.5	24.6	0.9	10.9	2.0	12.1
Арктика, 65-90N (суша)		157	1.3	4.5	-	17.2	0.6	7.0

Примечание. См. примечание к табл. 2.3.

Локализация наиболее крупных аномалий, положительных и отрицательных, от месяца к месяцу менялась незначительно, в основном – на континентах (особенно заметно – в Евразии). При этом их интенсивность и площадь охвата могли измениться очень существенно. Области отрицательных аномалий в океанах Южного полушария менялись слабо, а их наибольшая интенсивность наблюдалась в октябре (во многих тихоокеанских боксах зафиксированы 5%-е экстремумы холода).

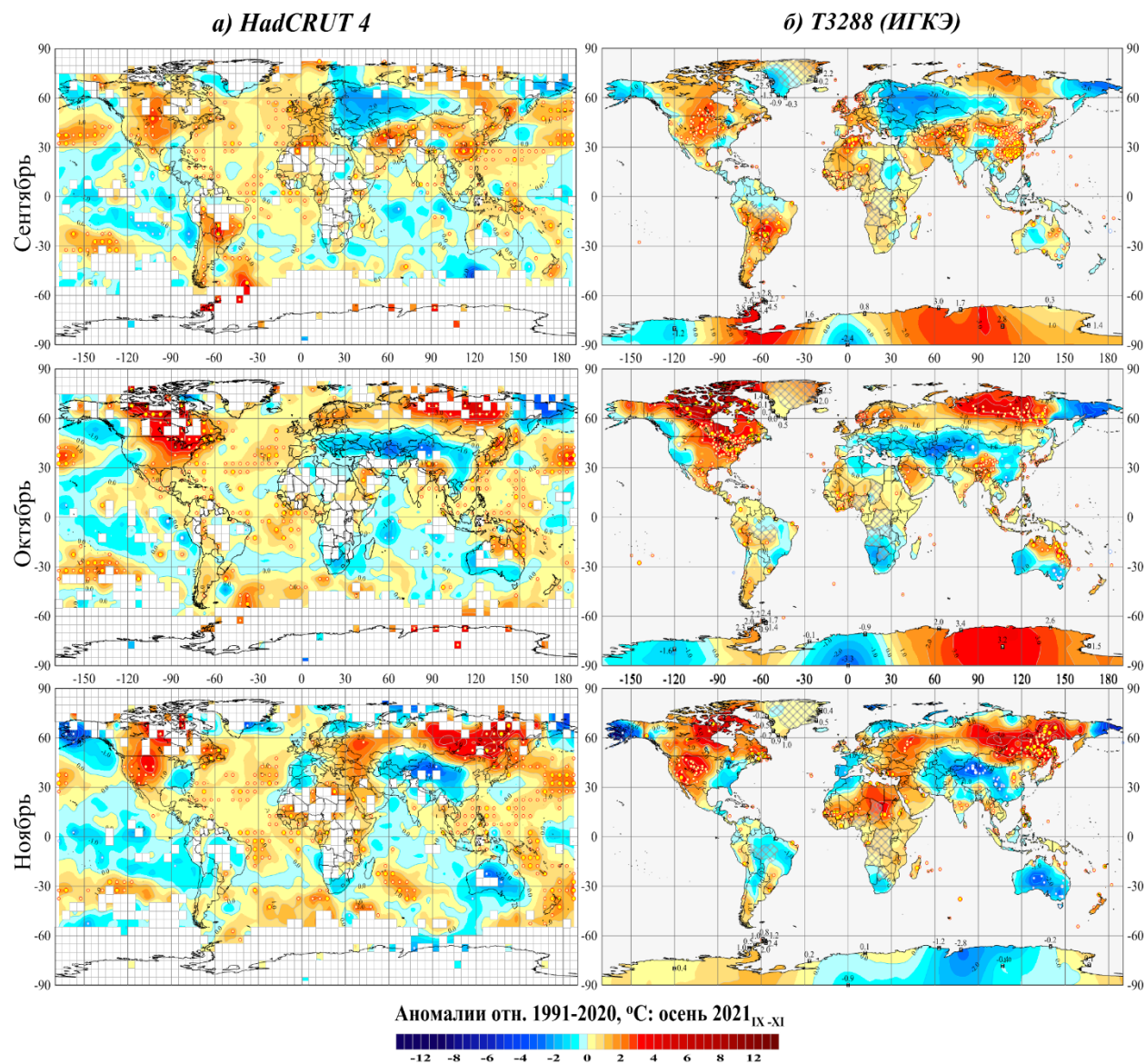


Рисунок 2.2 – См. рисунок 2.1, но для отдельных месяцев 2021

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

Межгодовые 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.).

Можно видеть, что современное глобальное потепление стало особенно активным с середины 1990-х и наиболее ярко проявляется в Северном полушарии, особенно после 2010 года. В 2015-2021 гг. аномалии колеблются в интервале 0.7-1.6 °C в Северном полушарии и 0.3-0.9 °C в Южном (аномалии приведены относительно базового периода 1850-2021 гг.).

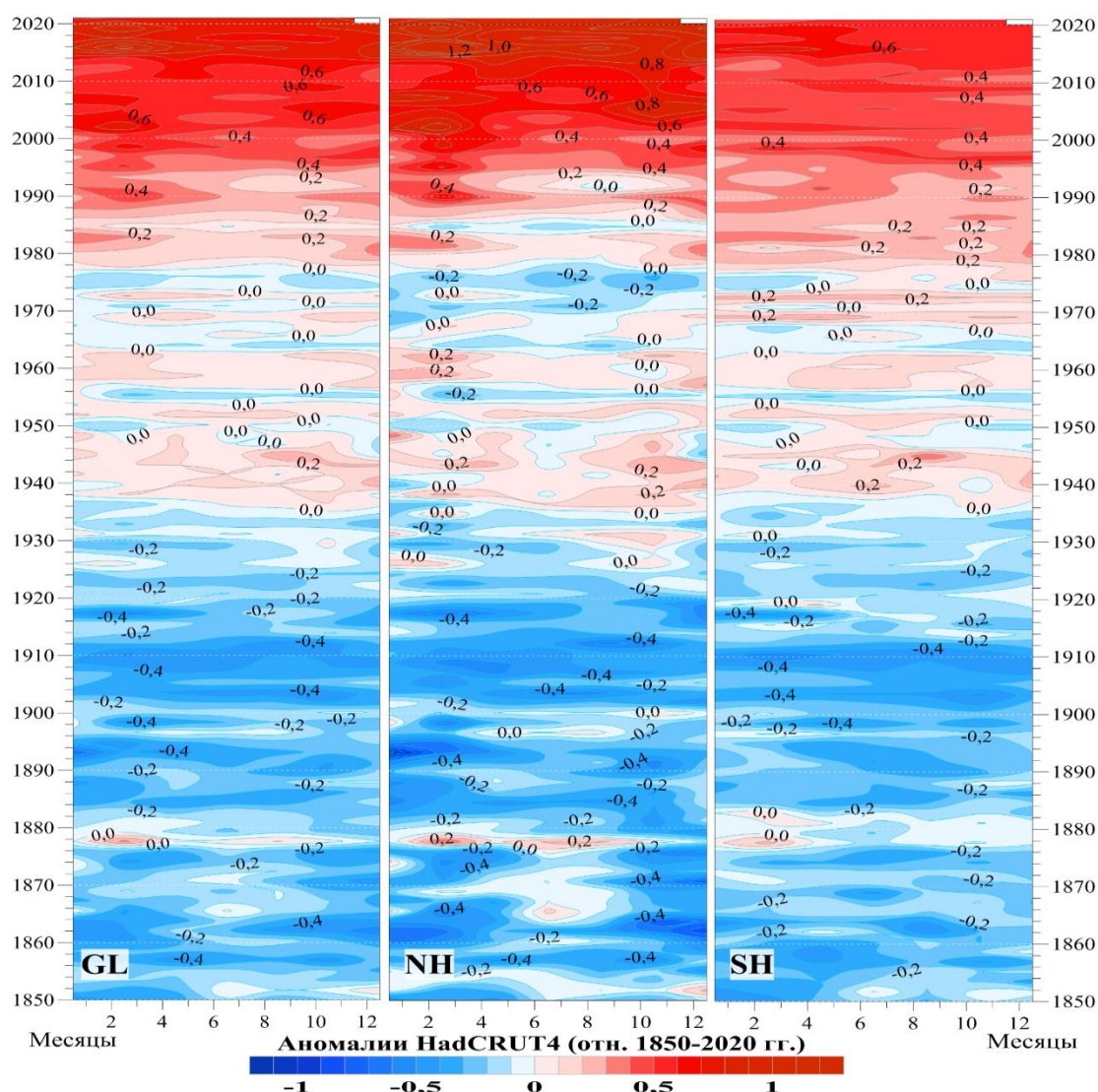


Рисунок 3.1 – Двумерные изоплеты (год-месяц) аномалий глобальной приповерхностной температуры для Земного шара (GL), Северного (NH) и Южного (SH) полушарий, 1850, январь – 2021, ноябрь

Использованы данные HadCRUT4 (суша+море, Hadley/CRU, UK). Аномалии рассчитаны как отклонения от средней за 1850-2021 гг.

Широтно-долготные разрезы. На рисунке 3.2 можно проследить зональные и меридиональные особенности изменения температурного режима последних лет (2014-2021 гг.), от месяца к месяцу.

Меридиональный профиль позволяет проследить изменение режима температуры океанов и континентов в умеренных широтах Северного полушария (40-60°с.ш.), от 180° з.д. до 180° в.д., то есть от восточного сектора Тихого океана, затем – территория США, и далее – Северная Атлантика, Евразия и западный сектор Тихого океана. В основном, до нынешнего сезона представленный период отличался холодными аномалиями в Атлантике и теплыми – в Тихом океане (за исключением периода с конца 2016 до конца 2017 гг., когда в восточном секторе Тихого океана преобладали отрицательные аномалии температуры). В текущем сезоне (осень 2021), в умеренных широтах отрицательные аномалии опять отмечаются в восточном секторе Тихого океана плюс в европейской России (30E-60E), тогда как крупные положительные аномалии – в американском секторе и в Евразии (восточнее 60E), а также до +0.4 °C в Атлантике.

Зональные профили (рис. 3.2б) четко указывают на повышение температуры в тропиках в 2015/2016 гг. (след мощного Эль-Ниньо), заметное понижение температуры в 2018 г. (не получивший развития Ла-Нинья) и два мощных потепления в 2019-20 гг., особенно заметные в Северном полушарии. 2021 год отмечается более теплыми условиями в Северном полушарии (кроме высоких широт в начале года) и слабыми отрицательными аномалиями в южных тропиках.

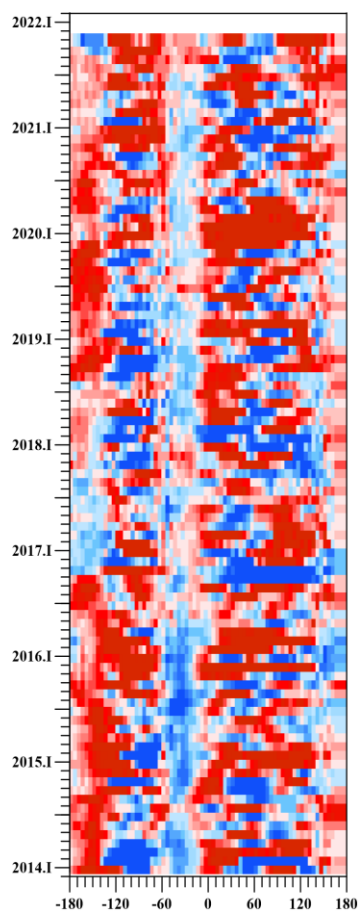
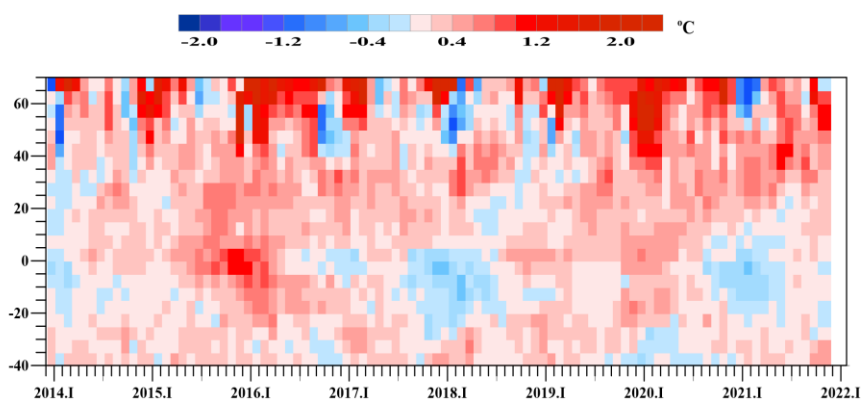


Рисунок 3.2 – Изменение во времени меридиональных (слева) и зональных (внизу) профилей аномалии приповерхностной температуры с января 2014г. по ноябрь 2021 г.

Расчет выполнен по сеточным данным HadCRUT4 (данные Hadley/CRU, суша+море), приведенным к базовому периоду 1991-2020 гг. Зональные профили получены осреднением вдоль всего широтного круга, а меридиональные – внутри широтного пояса 40-60° с.ш.



Временные ряды глобально осредненной температуры. Интегральную характеристику и оценку интенсивности наблюдаемых изменений приземной температуры Земного шара дают глобально осредненные временные ряды для территории Земного шара и полушарий (рис. 3.3). В таблице 3.1 для всех рядов (по всем четырем наборам данных, для

Земного шара и обоих полушарий) приведены коэффициенты линейного тренда за 1976-2021 гг. (период современного глобального потепления) и 1922-2021 гг. (последнее 100-летие).

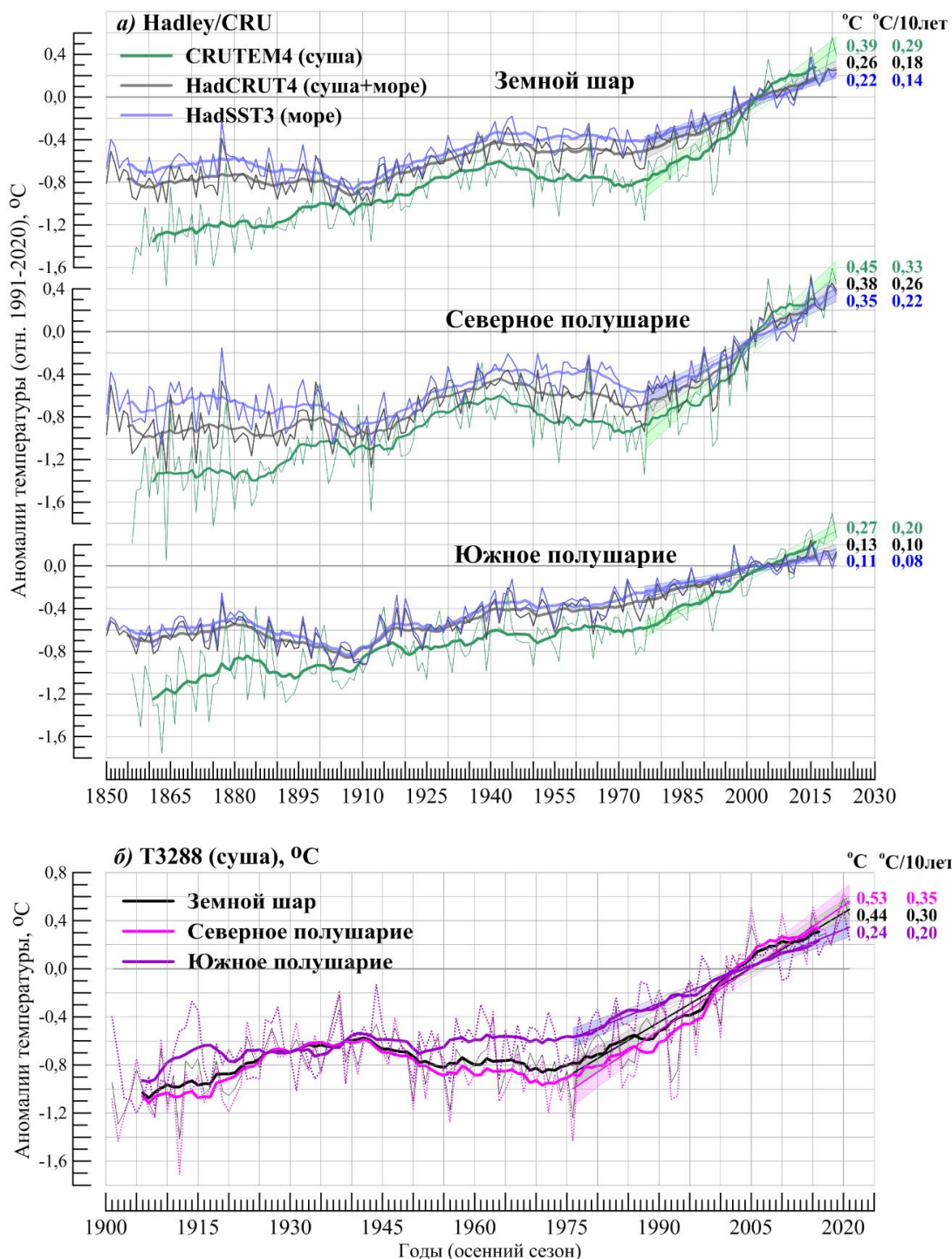


Рисунок 3.3 – Временные ряды сезонных аномалий приземной температуры (осень), осредненных по территории Земного шара, Северного и Южного полушарий:
а) по данным Hadley/CRU, 1850-2021 гг.: HadCRUT4 (суша+море), CRUTEM4 (суша), HadSST3 (море); б) по данным ИГКЭ, 1901-2021 гг.: T3288 (суша).

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

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

Регион	1976-2021				1921-2021			
	Осень	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Осень	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
HadCRUT4 (Hadley/CRU, суша+море)								
Земной шар	0.178	0.174	0.186	0.174	0.080	0.079	0.078	0.082
Северное полушарие	0.257	0.251	0.265	0.254	0.085	0.083	0.081	0.090
Южное полушарие	0.100	0.097	0.109	0.095	0.075	0.075	0.076	0.074
T3288 (ИГКЭ, суша)								
Земной шар	0.303	0.290	0.318	0.300	0.103	0.101	0.100	0.109
Северное полушарие	0.346	0.316	0.365	0.355	0.104	0.099	0.097	0.117
Южное полушарие	0.204	0.229	0.212	0.174	0.100	0.106	0.108	0.087
CRUTEM4 (Hadley/CRU, суша)								
Земной шар	0.290	0.282	0.303	0.286	0.107	0.103	0.104	0.113
Северное полушарие	0.333	0.309	0.347	0.343	0.108	0.100	0.102	0.122
Южное полушарие	0.204	0.227	0.215	0.171	0.104	0.110	0.109	0.094
HadSST3 (Hadley/CRU, только море)								
Земной шар	0.144	0.147	0.149	0.137	0.068	0.068	0.068	0.067
Северное полушарие	0.217	0.232	0.220	0.198	0.071	0.073	0.072	0.067
Южное полушарие	0.078	0.068	0.083	0.082	0.069	0.067	0.068	0.071

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

Показатели k_1 - k_3 (табл. 3.2), рассчитанные как отношение соответствующих коэффициентов тренда, количественно уточняют выводы, основанные на визуальном сопоставлении глобальных временных рядов (рис. 3.3) и оценках трендов (табл. 3.1) в разных группах данных.

Из этих оценок видно, что на 100-летнем интервале средняя скорость потепления в обоих полушариях одинакова, но над сушей в полтора раза больше, чем над океанами. При этом в Южном полушарии, в океанах существенного ускорения потепления на протяжении столетия не произошло ($k_3=1.13$), а на континентах в последние 50 лет оно увеличилось еще вдвое.

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

k_1	Показатель	1976-2021			1922-2021		
		ЗШ	СП	ЮП	ЗШ	СП	ЮП
k_1	b_{T3288}/b_{HadSST}	2.10	1.59	2.62	1.51	1.46	1.45
	b_{CRUTEM}/b_{HadSST}	2.01	1.53	2.62	1.57	1.52	1.51
k_2	$b_{СП}/b_{ЮП}$	1976-2021			1922-2021		
		T3288	CRUTEM	HadSST	T3288	CRUTEM	HadSST
		1.70	1.63	2.78	1.04	1.04	1.03
k_3	$b_{1976-2021}/b_{1921-2021}$	СП			ЮП		
		T3288	CRUTEM	HadSST	T3288	CRUTEM	HadSST
		3.33	3.08	3.06	2.04	1.96	1.13

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

Представленные ниже временные ряды (рис. 4.1-4.3) рассчитаны по методике ИГКЭ, по сеточным данным HadCRUT4 (для широтных поясов, северных частей Атлантического и Тихого океанов) и по данным станционных наблюдений T3288 (для шести континентов и отдельно для Европы и Азии). Данные до 1911 г. не приводятся, т.к. представляются недостаточно полными (особенно над океанами). На всех временных рядах показаны тренды за период 1976-2021 гг., условно принятый за период современного глобального потепления. Числовые оценки трендов для всех регионов приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1. – Коэффициенты линейного тренда ($^{\circ}\text{C}/10 \text{ лет}$)
регионально осредненных аномалий приземной температуры осеннего сезона
за 1976-2021 гг. (в целом за сезон и по месяцам)

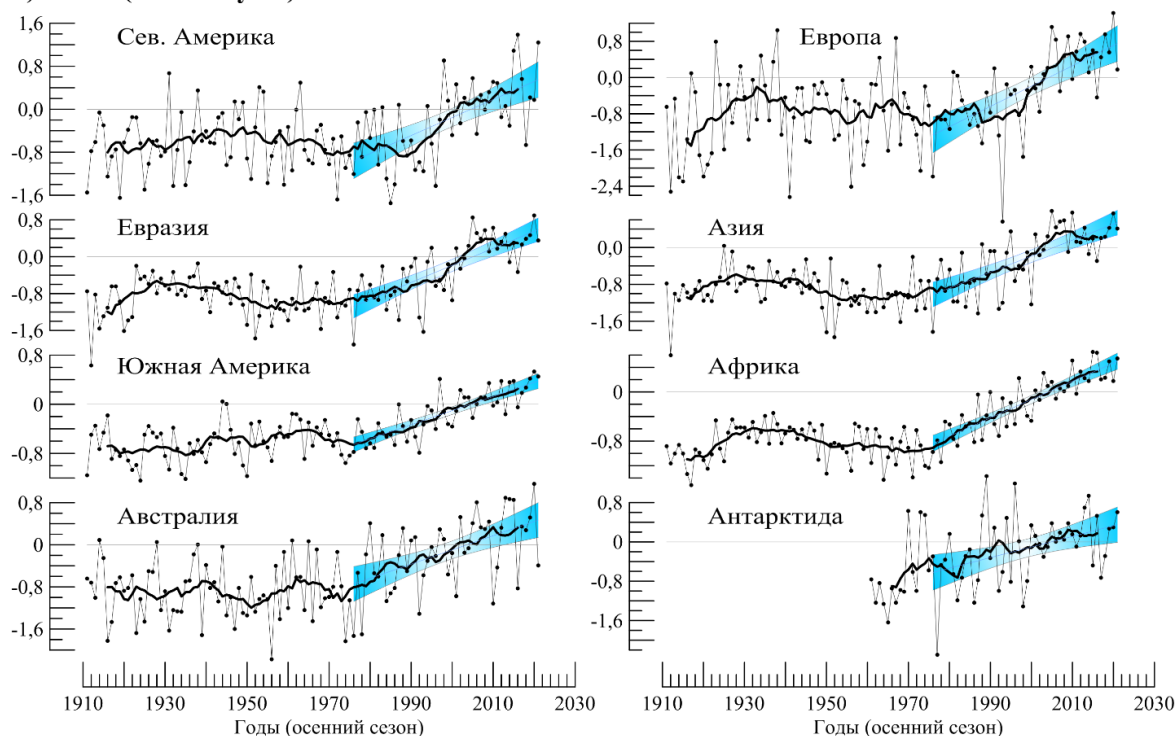
Регион	Осень	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
<i>HadCRUT4 (Hadley/CRU, суша+море)</i>				
Атлантика (15-70N)	0.227	0.226	0.245	0.209
Тихий океан (20-65N)	0.231	0.245	0.227	0.220
Арктический пояс (65-90N)	0.622	0.439	0.732	0.726
Умеренный пояс СП (25-65N)	0.303	0.313	0.311	0.285
Тропики (25S-25N)	0.140	0.139	0.144	0.141
Умеренный пояс ЮП (65-25S)	0.101	0.093	0.109	0.097
Антарктический пояс (90-65S)	0.279	**0.276	0.354	0.206
<i>T3288 (ИГКЭ, суша)</i>				
Северная Америка	0.335	0.335	0.314	0.358
Евразия	0.370	0.339	0.413	0.359
Южная Америка	0.230	0.309	0.200	0.186
Африка	0.298	0.255	0.296	0.335
Австралия	0.270	0.302	0.328	*0.187
Антарктида	0.216	**0.203	0.252	*0.185
Европа	0.448	0.430	0.430	0.485
Азия	0.347	0.311	0.405	0.327

Примечание. Звездочкой (*) выделены оценки с критическим уровнем значимости 5%; двумя звездочками (**) – оценки с уровнем значимости $\alpha > 12\%$. Остальные оценки статистически значимы уже на 1%-уровне.

Оценки сезонных трендов (осень) для крупных регионов Земного шара, все положительны и для всех, кроме южных континентов, статистически значимы на 1% уровне. Регионы наиболее интенсивного потепления – Арктический пояс и Европа: коэффициенты трендов, соответственно, 0.62 и $0.45^{\circ}\text{C}/10 \text{ лет}$.

В Антарктиде значимый на 1% уровне тренд к потеплению наблюдается только в октябре; в Антарктическом поясе – в октябре и ноябре; и в Австралии – в сентябре и в октябре. 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)

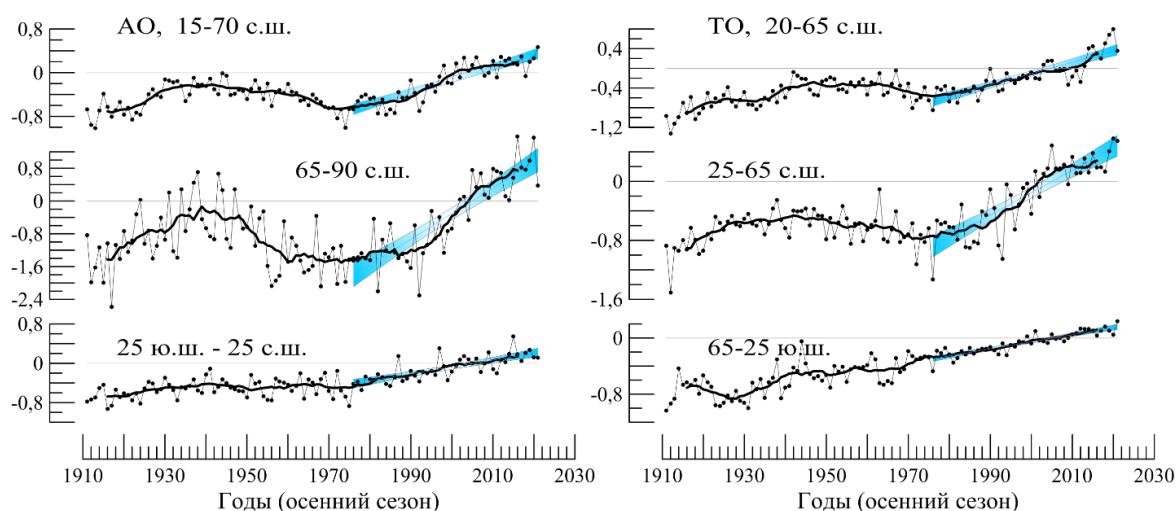


Рисунок 4.1 – Временные ряды пространственно осредненных аномалий приземной температуры осеннего сезона для: (а) континентов и (б) северных частей Атлантического и Тихого океанов и основных широтных поясов земного шара

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 1991–2020 гг. Сглаженные кривые (жирная линия) получены 11-летним скользящим осреднением. Показан линейный тренд за 1976-2021 гг. с 95%-м доверительным интервалом (голубая заливка)

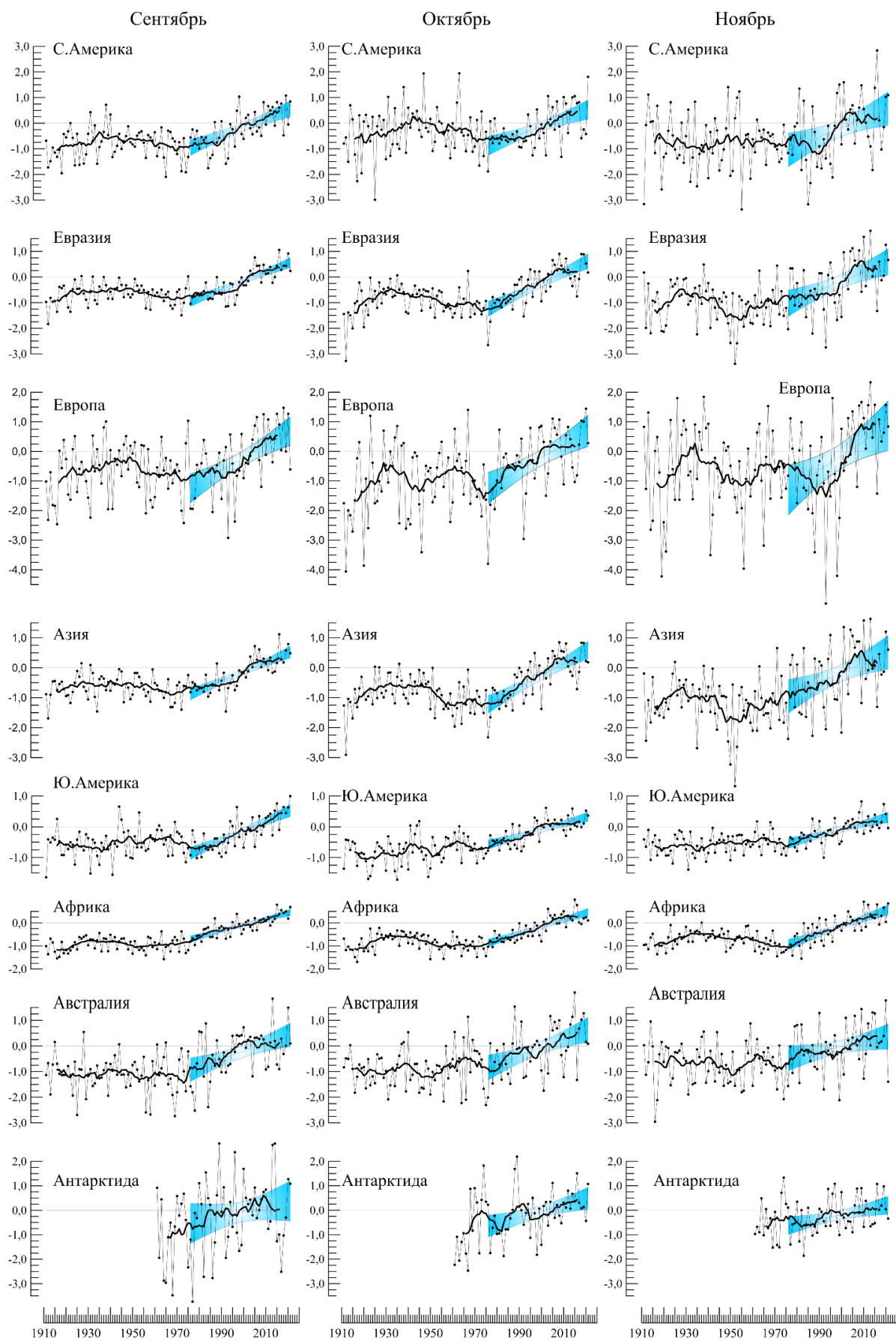


Рисунок 4.2 – См. рис. 4.1, но для аномалий осенних месяцев и только для континентов (Т3288)

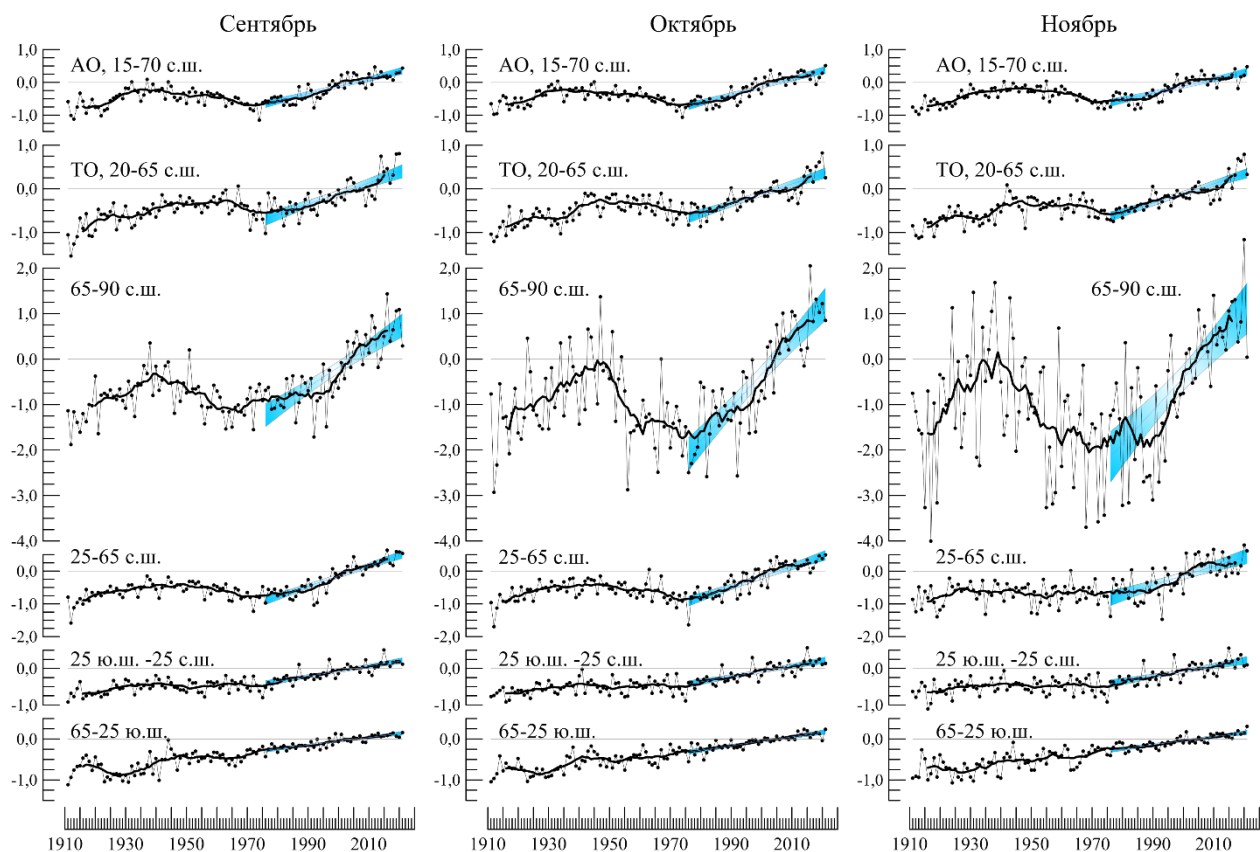


Рисунок 4.3 – См. Рис. 4.1., но для аномалий осенних месяцев и только для океанов и широтных поясов земного шара (HadCRUT4)

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

Ниже приведено географическое распределение коэффициентов линейного тренда приповерхностной температуры за 1976-2021 гг. для осеннего сезона (рис. 5.1) и отдельно для каждого из осенних месяцев (рис. 5.2). Использованы данные наблюдений на 2635 станциях (массив T3288) и в центрах 1627 боксов (массив HadCRUT4), для которых своевременно поступили данные за три осенних месяца 2021 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 попавших в нее доступных станций/боксов и их доля в общем объеме соответствующих данных

Таблица 5.1 – Распределение (в %) локальных оценок тренда за 1976-2021 (осенний сезон) в зависимости от знака коэффициента тренда **b** и уровня значимости **α**

Регион	NN	b < 0			b = 0	b > 0		
		всего	$\alpha \leq 0.01$	$0.01 < \alpha \leq 0.05$		всего	$\alpha \leq 0.01$	$0.01 < \alpha \leq 0.05$
HadCRUT4 (Hadley/CRU, суша+море)								
ЗШ	1627	9.9	0.8	8.6	1.0	89.1	69.2	15.7
СП	962	1.4	-	1.4	-	98.6	82.0	12.4
ЮП	665	22.3	2.0	19.1	2.4	75.3	50.7	20.6
65-90N	137	-	-	-	-	100.0	97.8	-
25-65N	152	-	-	-	-	100.0	98.0	1.3
25S-25N	107	-	-	-	-	100.0	91.6	6.5
65-25S	540	0.6	-	0.6	-	99.4	82.2	12.2
90-65S	638	12.2	0.9	10.8	0.8	87.0	69.6	13.2
T3288 (ИГКЭ, только суша)								
ЗШ	2635	3.5	0.6	2.8	0.3	96.2	73.9	17.0
СП	2237	2.5	0.4	2.0	0.1	97.3	75.7	16.3
ЮП	399	8.8	1.3	7.3	1.3	90.0	63.4	20.8
С. Америка	452	4.2	0.7	3.3	-	95.8	66.8	21.0
Евразия	1549	1.6	0.3	1.2	0.1	98.3	77.9	15.3
Ю. Америка	148	12.8	3.4	8.8	2.0	85.1	53.4	25.0
Африка	152	7.2	0.7	6.6	0.7	92.1	74.3	15.1
Австралия	135	5.2	-	5.2	-	94.8	69.6	19.3
Антарктида	17	5.9	-	5.9	5.9	88.2	41.2	41.2
Европа	553	0.2	-	0.2	-	99.8	93.7	3.6
Азия	1005	2.4	0.5	1.8	0.2	97.4	69.3	21.8
Арктика, 65-90N (суша)	157	-	-	-	-	100.0	93.0	4.5

Примечание. Таблица обобщает распределение оценок на рис. 5.1. Процентное содержание данных рассчитано относительно NN (NN - общее количество доступных сезонных данных в регионе)

Тенденция к потеплению осенних сезонов у поверхности земли наблюдается почти повсеместно –положительные тренды составляют в целом более 96% всех стационарных оценок (по данным T3288), из которых почти 74% статистически значимы на 1%-м уровне. На Земном шаре (данные HadCRUT4, суша+море), севернее параллели 25S (СП и тропики ЮП) все оценки положительны, более 90% из них значимы на 1% уровне.

Область наиболее активного осеннего потепления (рис. 5.1, 5.2) – по-прежнему, Арктика: острова Карского моря и побережье: до 2.3 °C/10 лет в октябре и до 2.6 °C/10 лет

в ноябре). За ней следуют: Европа, области на западе США и в центре Южной Америки – до 0.8°C/10 лет (сентябрь) и на севере Африки – до 0.6°C/10 лет (также сентябрь). При этом среди положительных трендов на всех континентах отмечаются области статистически незначимого положительного тренда, наиболее обширные из которых расположены в центре Евразии, на западе Канады и в Аргентине.

Из 3.5% отрицательных станционных оценок (93 станции с тенденцией к похолоданию) статистически значимы на 1%-м уровне только 0.6% (16 станций). Эти области располагаются в Боливии (тренд до -0.1°C/10 лет) и в Бангладеш (тренд до -0.2°C/10 лет).

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

Регион	NN	F ($\alpha \leq 5\%$), %					
		Сентябрь		Октябрь		Ноябрь	
		b <0	b >0	b <0	b >0	b <0	b >0
HadCRUT4 (Hadley/CRU, суша+море)							
Земной шар	1627	0.8	60.7	0.6	61.1	0.4	53.4
Северное полушарие	962	-	77.1	-	74.0	0.1	64.8
Южное полушарие	665	2.0	36.8	1.4	42.4	0.8	37.0
Атлантика (15-70N)	137	-	86.1	-	97.8	-	83.2
Тихий океан (20-65N)	152	-	94.7	-	86.2	-	82.9
65-90N	107	-	98.1	-	84.1	-	70.1
25-65N	540	-	78.5	-	73.3	-	59.1
25S-25N	638	0.8	56.7	0.6	61.8	0.3	59.6
65-25S	329	2.4	28.6	1.5	32.8	1.2	28.0
90-65S	13	-	15.4	-	46.2	-	23.1
T3288 (ИГКЭ, суша)							
Земной шар	2635	0.5	64.5	0.5	54.0	0.3	42.6
Северное полушарие	2237	0.4	67.0	0.4	55.7	0.3	43.0
Южное полушарие	399	0.8	50.4	1.0	44.6	0.5	40.6
Северная Америка	452	0.2	61.3	0.9	53.5	0.2	29.4
Евразия	1549	0.1	69.2	0.2	54.6	0.3	43.7
Южная Америка	148	1.4	44.6	2.7	23.6	1.4	39.2
Африка	152	3.3	53.9	0.7	56.6	0.7	59.2
Австралия	135	0.7	54.1	-	56.3	0.7	32.6
Антарктида	17	-	5.9	-	29.4	-	23.5
Европа	553	-	77.0	-	54.8	-	49.4
Азия	1005	0.2	64.8	0.3	54.8	0.4	40.2
Арктика, 65-90N (суша)	157	-	78.3	-	93.0	-	68.2

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

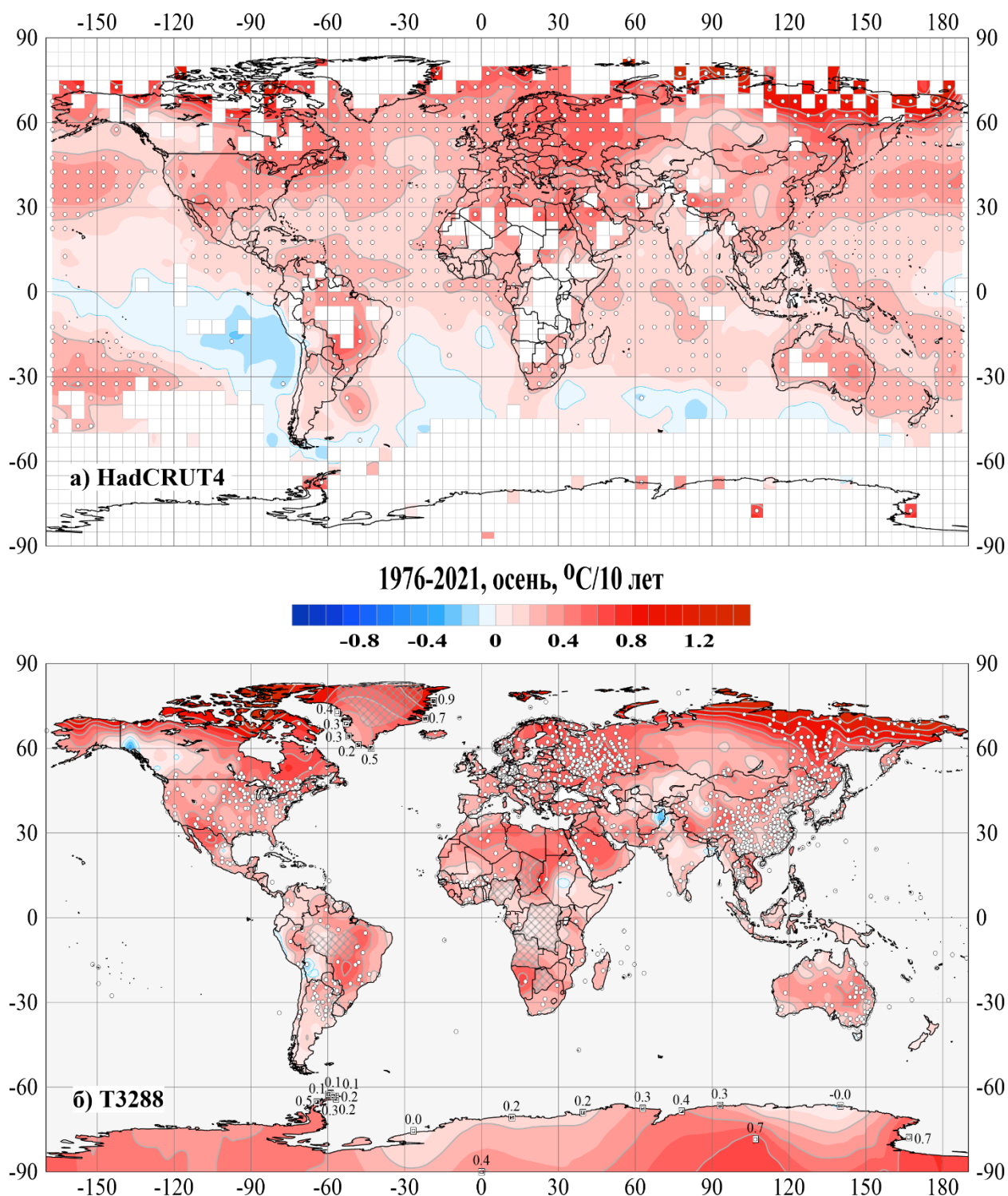


Рисунок 5.1 - Пространственное распределение коэффициентов линейного тренда температуры осеннего сезона у поверхности Земного шара за период 1976-2021 гг. ($^{\circ}\text{C}/10$ лет).

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

Во все месяцы сезона, выделяются области слабого отрицательного тренда, статистически незначимого даже на 10%-м уровне (в октябре – в Северной Америке, в ноябре, обширные – в Сибири и Средней Азии). На карте сезонных трендов (рис. 5.1) им соответствуют области статистически незначимого, слабого положительного тренда, что указывает скорее на отсутствие здесь реальных однонаправленных тенденций любого знака.

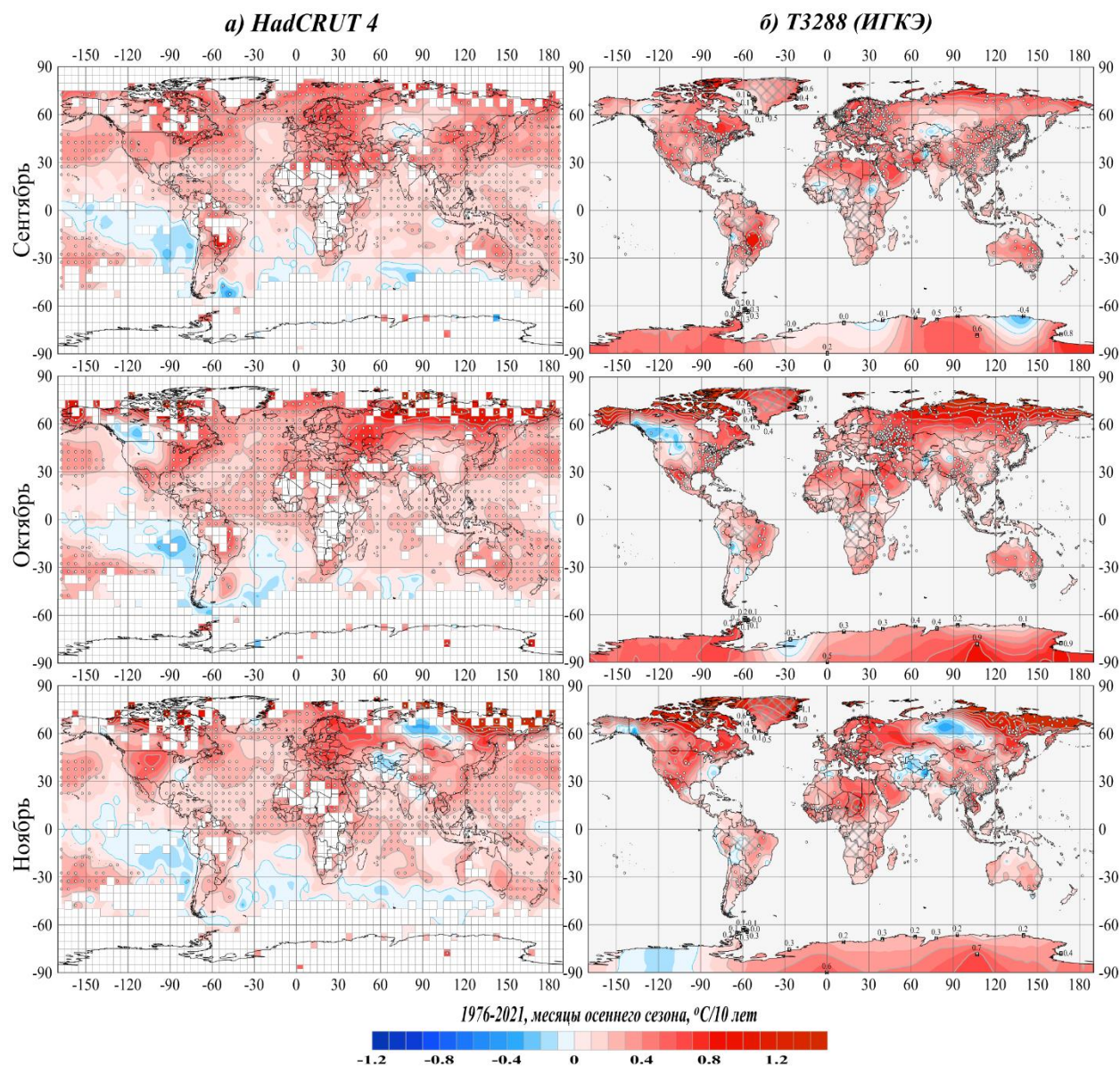


Рисунок 5.2 – См. рис. 5.1, но для коэффициентов тренда среднемесячных аномалий температуры осенних месяцев.

6 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- Осенний сезон 2021 г., по всем наборам данных («только суша» - «только море» - «суша+море») стал третьим самым теплым для Земного шара, четвертым – для Северного полушария и пятым – для Южного (исключение: данные T3288, в Северном полушарии осень 2021 г. стала второй самой теплой). Самыми теплыми осенними сезонами для всех трех глобальных территорий (ЗШ, СП, ЮП) остаются: на континентах – осень 2020 года, а на акваториях океанов и совместно (суша+море) – осень 2015.

- В глобальных рядах осенних температур, с начала 2000-х гг. (для Южного полушария – после 2010) четко выделяются 5-летние периоды, каждый из которых завершается резким повышением температуры (в 2005, 2010, 2015, 2020 гг.), за которым следует откат на более низкий уровень.

- Экстремально теплые условия сложились в этом сезоне в северной части Атлантики (15-70°с.ш.) и в поясе южных умеренных широт (65-25°ю.ш.), где сезон в целом оказался для своего региона самым теплым в истории наблюдений, а каждый месяц – одним из первых двух самых теплых. Из месяцев самым теплым оказался в Южном полушарии – сентябрь (особенно тепло в Южной Америке), в Северном – октябрь (особенно тепло в Умеренном поясе (25-65N)).

- В Северной Америке и на северо-востоке Евразии крупные положительные аномалии наблюдались в течение всего сезона (менялась лишь интенсивность аномалий и площадь охвата). Положительные аномалии с 95% -экстремумами наблюдались также в Тихом океане, в умеренных широтах Северного и Южного полушарий.

- Отрицательные аномалии сразу на нескольких континентах (в среднем по территории) необычны на фоне современного глобального потепления. Однако, поскольку базовым периодом здесь служит самое теплое 30-летие в истории наблюдений (1991-2020), ориентируясь на значение функции распределения F (вероятность непревышения), действительно холодными в этом сезоне можно считать региональные температурные условия в ноябре – в Австралии и Антарктическом поясе (соответственно, аномалии $V = -1.39, -0.55$ °C; $F = 18\%, 39\%$) и в сентябре – в Европе ($V = -0.61$ °C, $F = 43\%$). В ноябре к ним можно отнести еще и Антарктиду ($V = -0.34$ °C, $F = 54\%$).

Все три месяца отрицательные аномалии наблюдались в тропиках Тихого и Индийского океанов, а также огромная область их в Евразии, локализация области от месяца к месяцу менялась, в ноябре – отмечались с 5%-ми экстремумы холода в Китае

- На большей части Земного шара продолжается потепление осенних сезонов: положительные тренды в целом по ЗШ составляют более 96% всех станционных оценок (по данным T3288), из которых почти 74% статистически значимы на 1%-м уровне. По данным HadCRUT4 (суша+море), севернее параллели 25S (вся территория СП плюс южные тропики) все оценки положительны, более 90% значимы на 1% уровне.

- Область наиболее интенсивного потепления – Арктика (до +2.0°C/10 лет; в отдельные месяцы – до 2.6) и Европа (до +0.8°C/10 лет). Среди отрицательных коэффициентов тренда (3.5% станций/9.9% боксов) статистически значимы на 1%-м уровне оценки на 0.6% станций (станции Боливии и Бангладеш). Во все месяцы сезона, выделяются области слабого отрицательного тренда (статистически незначимого даже на 10%- уровне). Им соответствуют на сезонной карте области слабого, также статистически незначимого положительного тренда, что указывает скорее на отсутствие в этих областях реальных односторонних тенденций любого знака.

- На 100-летнем интервале (1922-2021) средняя скорость осеннего глобального потепления в обоих полушариях одинакова, но в каждом из них над сушей она в полтора раза больше, чем над океанами. В последние 40-50 лет (1976-2021) интенсивность потепления, в сравнении со 100-летним, удвоилась в Северном полушарии и над сушей, и на поверхности океанов, а в Южном – только над сушей. На акваториях океанов Южного полушария существенного ускорения потепления осенних сезонов к настоящему времени не произошло (коэффициент ускорения $k=1.11$, а именно: 0.078 против 0.069 °C/10 лет).