

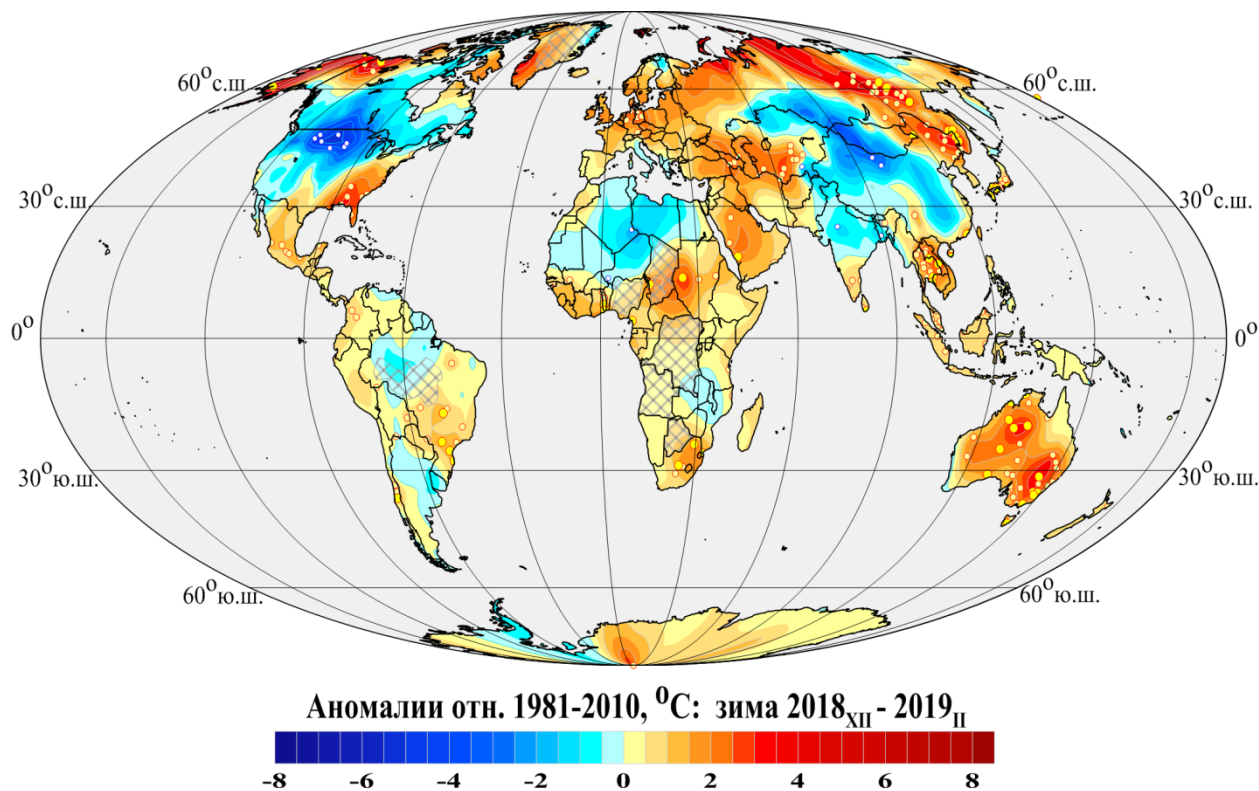
Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу
окружающей среды

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

Бюллетень мониторинга изменений климата Земного шара

Приземная температура

Зима 2018_{ХІІ} - 2019_{ІІ}



Использованы станционные данные ИГКЭ: Т3288

Москва 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ^{1,2}

1. ВВЕДЕНИЕ	3
2. ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ У ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМНОГО ШАРА ЗИМОЙ 2019 года. ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ АНОМАЛИИ	6
3. КРУПНОМАСШТАБНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ЗЕМНОГО ШАРА ЗА ПЕРИОД ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ 1850-2019 гг. (зимний сезон)	12
4. ВРЕМЕННЫЕ РЯДЫ РЕГИОНАЛЬНО ОСРЕДНЕННЫХ АНОМАЛИЙ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ, 1911-2019 гг. (зимний сезон)	16
5. ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА, 1976-2019 гг. (зимний 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: зима 2018/2019 гг.

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящем бюллетене представлены данные о климатических аномалиях зимнего сезона 2018/2019 гг. и обновленные (с учетом этих данных) оценки тенденций в изменении температурного режима зимних сезонов на территории земного шара в течение 1976–2019 гг. Оценки приведены для сезона в целом и каждого из месяцев (декабрь – январь – февраль).

Бюллетень подготовлен в рамках оперативного мониторинга климата в ФГБУ «ИГКЭ»³, с использованием данных метеорологических наблюдений о среднемесячной температуре приземного воздуха на 3288 наземных станциях земного шара (массив Т3288, данные ИГКЭ; массив сформирован и ежемесячно пополняется средствами технологии мониторинга на основе сводок КЛИМАТ, СИНОП из оперативного потока).

Параллельно в бюллетене приводятся оценки по данным о приповерхностной температуре на сети 5-градусных боксов, охватывающей всю территорию земного шара, включая континенты и океаны (массивы HadCRUT4, CRUTEM4, HadSST3, данные метеослужбы Великобритании⁴; в бюллетене упоминаются как «данные Hadley/CRU»).

Таким образом, базовым массивом для оценки состояния температурных условий на суше земного шара служит массив Т3288, а массив HadCRUT4 используется для создания полной картины над сушей и океанами. Глобальные временные ряды CRUTEM4, HadSST3 приводятся как дополнительная информация (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 размещен на сайте ИГКЭ⁶.

Сравнение глобальных временных рядов сезонных аномалий температуры приземного воздуха по данным Т3288 (ИГКЭ) и CRUTEM4 (Hadley/CRU). Близость рядов примерно с середины прошлого столетия четко видна уже визуально (рис. 1.1). Количественные результаты их сравнения (статистические характеристики попарных

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 UK). 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 27.03.2019.

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.

разностей) по данным за 1976-2019 гг. (период современного глобального потепления) и 1920-2019 гг. (последнее столетие) приведены в табл. 1.1 для Земного шара, Северного и Южного полушарий.

Среднее различие рядов за 1920-2019 гг. не превышает 0.04°C (табл. 1.1, рис. 1.1), а за период 1976-2018 гг. отсутствует вовсе. Стандартное отклонение различий за эти периоды ($0.03\text{--}0.07^{\circ}\text{C}$) на порядок ниже стандартного отклонения самих рядов ($0.3\text{--}0.7^{\circ}\text{C}$). За период с 1976 г. максимальные различия не превышали 0.08°C , тогда как в более ранние годы они 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

Показатель	1976-2019			1920-2019		
	ЗШ	СП	ЮП	ЗШ	СП	ЮП
Корреляция рядов	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99
Среднее различие, $^{\circ}\text{C}$	0.00	0.00	0.00	-0.04	-0.04	0.02
СКО (сигма) различий, $^{\circ}\text{C}$	0.03	0.03	0.03	0.07	0.07	0.05
Среднее абсолютное различие, $^{\circ}\text{C}$	0.02	0.02	0.02	0.05	0.05	0.04
Макс. абсолютное различие, $^{\circ}\text{C}$	0.08	0.08	0.08	0.23	0.26	0.18
Разность коэфф. тренда, $^{\circ}\text{C}/10\text{лет}$	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	-0.01
СКО T3288, $^{\circ}\text{C}$	0.45	0.55	0.29	0.54	0.65	0.33
СКО CRUTEM4, $^{\circ}\text{C}$	0.44	0.55	0.28	0.50	0.61	0.34

Согласно данным обоих массивов (рис. 1.1, табл. 1.2) продолжавшееся последние два года снижение глобальной температуры приостановилось – в среднем по Земному шару температура зимнего сезона осталась на уровне прошлой зимы (изменилась на $+0.01^{\circ}\text{C}$). Однако над сушей Северного полушария наблюдается незначительное понижение температуры (на 0.1°C), а в Южном полушарии, как в целом, так и над сушей – заметное повышение (на $0.2\text{--}0.3^{\circ}\text{C}$).

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

Межгодовые разности	Данные T3288, $^{\circ}\text{C}$ (ИГКЭ)			Данные CRUTEM4, $^{\circ}\text{C}$ (Hadley/CRU)		
	ЗШ	СП	ЮП	ЗШ	СП	ЮП
2019-2018	0.010	-0.097	0.266	0.070	-0.007	0.222
2018-2017	-0.271	-0.342	-0.111	-0.293	-0.400	-0.078
2017-2016	-0.415	-0.482	-0.267	-0.446	-0.523	-0.294
2016-2015	0.583	0.656	0.436	0.589	0.657	0.453
2015-2014	0.455	0.606	0.090	0.412	0.574	0.089
2019-2014	0.362	0.341	0.414	0.332	0.301	0.392

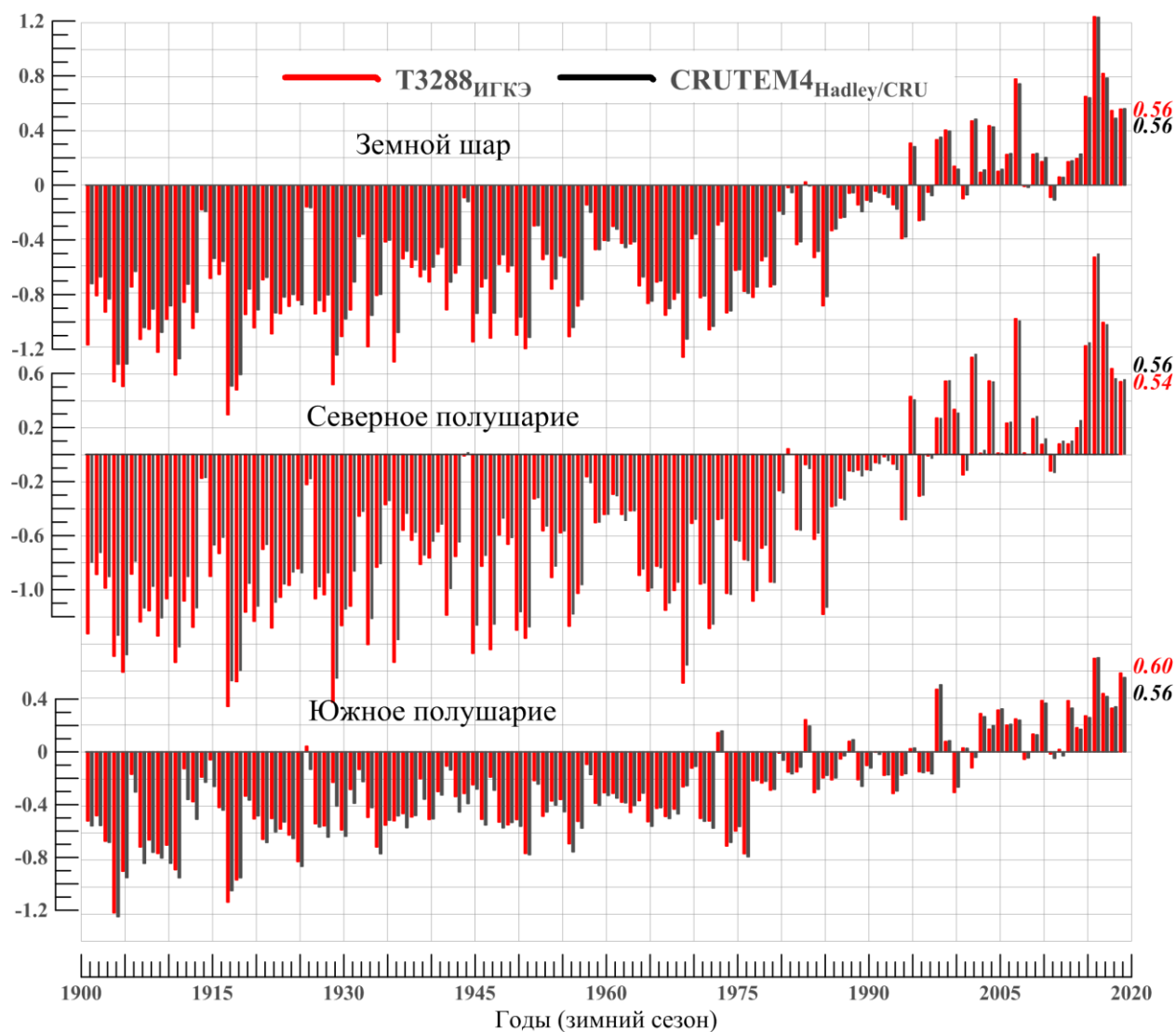


Рисунок 1.1 – Временные ряды пространственно осредненных сезонных аномалий температуры приземного воздуха над сушей Земного шара, Северного и Южного полушарий ($^{\circ}\text{C}$, 1901-2019 гг., зима).

Использованы временные ряды, рассчитанные по данным массива T3288 (ИГКЭ Росгидромета и РАН) и глобальные временные ряды CRUTEM4 (Hadley/CRU). Справа приведены числовые значения сравниваемых рядов в последней точке (зима 2018 /2019 гг.).

2. ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ У ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМНОГО ШАРА ЗИМОЙ 2018/2019 г. ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ АНОМАЛИИ

Зима 2018/2019 года стала одной из самых теплых за всю историю инструментальных наблюдений, как для всего Земного шара, так и для каждого из полушарий (табл. 2.1). Для суши Южного полушария и поверхности Мирового океана сезон стал вторым самым теплым после рекордно теплой зимы 2015/2016 года.

Таблица 2.1 – Самые теплые зимние сезоны по данным разных источников в среднем по территории Земного шара, Северного и Южного полушарий: средняя за сезон аномалия температуры VT и год наблюдения

№	ЗШ		СП		ЮП	
	VT, °C	Год	VT, °C	Год	VT, °C	Год
HadCRUT4 (Hadley/CRU, суша+море)						
1	0.712	2016	0.992	2016	0.432	2016
2	0.423	2017	0.622	2007	0.31	1998
3	0.384	2007	0.601	2017	0.302	2019
4	0.372	2015	0.586	2015	0.283	2010
5	0.359	2019	0.418	2002	0.248	2017
6	0.274	1998	0.417	2019	0.201	2003
7	0.269	2002	0.416	2018	0.156	2015
CRUTEM4 (Hadley/CRU, суша)						
1	1.228	2016	1.486	2016	0.713	2016
2	0.782	2017	0.991	2007	0.563	2019
3	0.741	2007	0.963	2017	0.509	1998
4	0.639	2015	0.829	2015	0.419	2017
5	0.559	2019	0.744	2002	0.369	2010
6	0.489	2018	0.563	2018	0.341	2018
7	0.482	2002	0.556	2019	0.331	2013
T3288 (ИГКЭ, суша)						
1	1.232	2016	1.46	2016	0.709	2016
2	0.817	2017	1.005	2007	0.597	2019
3	0.776	2007	0.978	2017	0.475	1998
4	0.649	2015	0.804	2015	0.442	2017
5	0.556	2019	0.719	2002	0.389	2010
6	0.546	2018	0.636	2018	0.388	2013
7	0.47	2002	0.544	2004	0.331	2018
HadSST3 (Hadley/CRU, море)						
1	0.506	2016	0.598	2016	0.365	2016
2	0.344	2019	0.422	2019	0.261	2010
3	0.303	2017	0.396	2017	0.26	2019
4	0.289	2010	0.361	2015	0.251	2017
5	0.277	1998	0.325	2018	0.211	1998
6	0.251	2015	0.302	2007	0.167	2002
7	0.217	2007	0.285	2010	0.165	2003

Примечание. По данным массива T3288 в Северном полушарии аномалия прошедшего зимнего сезона составляет +0.539°C (ранг 9).

Ниже, на рис. 2.1-2.2, представлены пространственные распределения аномалий приповерхностной температуры для сезона в целом и для каждого из зимних месяцев, а в таблице 2.2 – оценки регионально осредненных аномалий (в абсолютной и вероятностной шкалах) для крупных регионов мира.

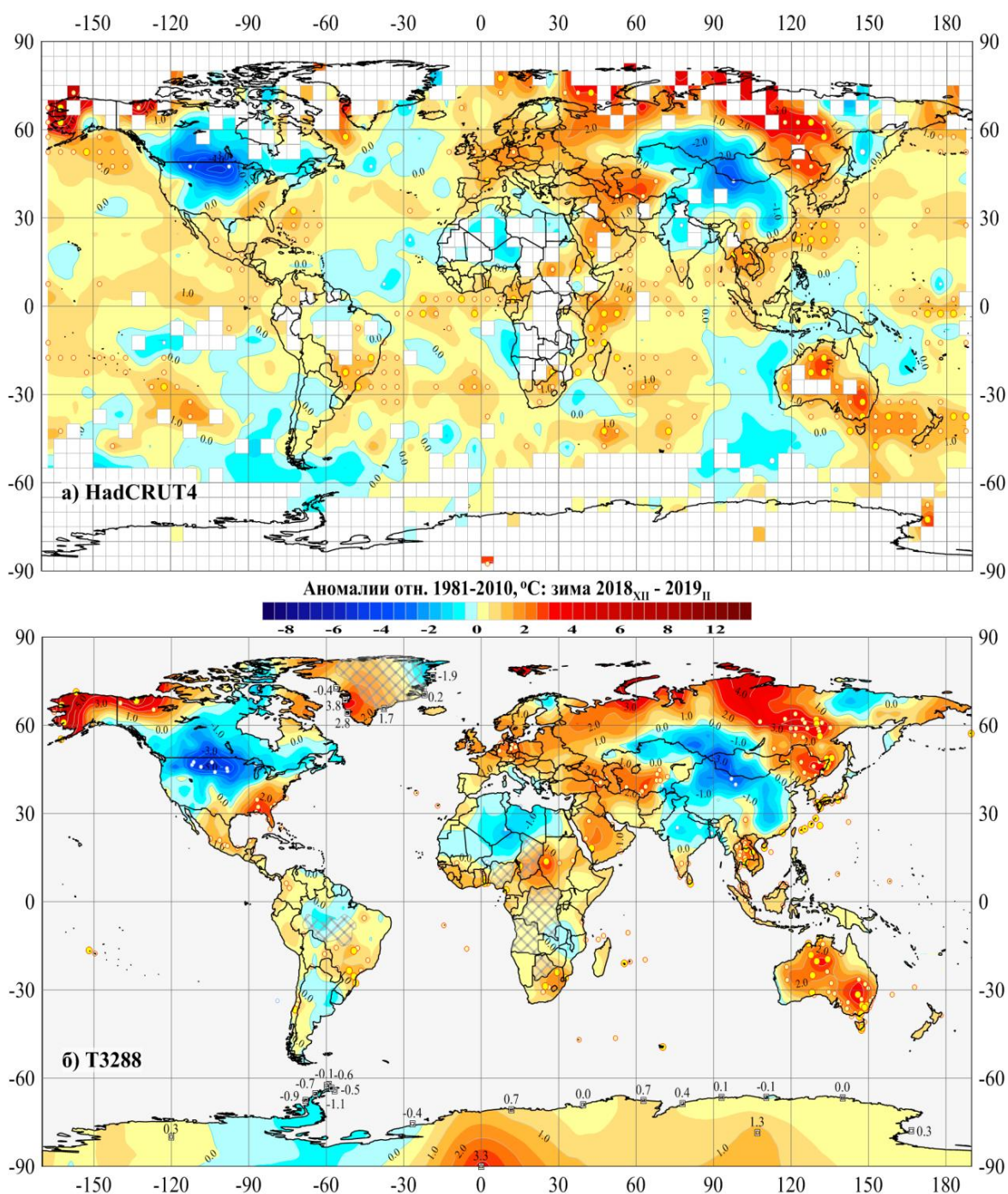


Рисунок 2.1 – Пространственное распределение сезонных аномалий приземной температуры (°C) на территории Земного шара зимой 2018-2019 гг.: а) по сеточным данным HadCRUT4 (Hadley/CRU UK); б) по станционным данным T3288 (ИГКЭ).

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

В соответствии с данными табл. 2.2, зимой 2018/2019 г. экстремально теплые условия, в среднем по региону, сложились в Австралии, в северной части Тихого океана и на суше Южного полушария. Многочисленные локальные экстремумы тепла отмечены также на территории Азии (западная Азия, Дальний Восток) и Аляски (табл. 2.3, рис. 2.1).

Таблица 2.2 - Пространственно осредненные значения аномалии (°C) приземной температуры и их вероятности неперевышения на территории Земного шара зимой 2018-2019 гг., в среднем за сезон и в каждом из месяцев

Регион	Зима		Декабрь		Январь		Февраль	
	vT_{IX-XI}	F%	vT_{IX}	F%	vT_X	F%	vT_{XI}	F%
HadCRUT4 (суша+море)								
Земной шар*	0.36	96	0.34	96	0.41	97	0.33	95
Северное полушарие*	0.42	95	0.36	94	0.51	96	0.38	93
Южное полушарие*	0.3	98	0.31	98	0.32	99	0.28	96
Атлантика (15-70N)	0.28	91	0.09	78	0.29	90	0.44	98
Тихий океан (20-65N)	0.59	100	0.65	100	0.58	100	0.54	99
Арктический пояс (65-90N)	1.52	94	1.77	94	0.34	66	2.32	94
Умеренный пояс СП (25-65N)	0.34	91	0.22	84	0.62	97	0.23	87
Тропики (25S-25N)	0.37	97	0.36	96	0.39	97	0.35	97
Умеренный пояс ЮП (65-25S)	0.35	99	0.39	100	0.36	98	0.29	97
Антарктический пояс (90-65S)	0.26	90	0.19	77	0.02	61	0.33	93
IGCE-T3288 (суша)								
Земной шар	0.56	96	0.56	94	0.69	97	0.48	93
Северное полушарие	0.54	93	0.5	90	0.69	95	0.5	92
Южное полушарие	0.6	99	0.68	99	0.67	100	0.45	97
Северная Америка	-0.24	65	1.73	94	0.42	76	-1.76	27
Евразия	0.67	91	-0.04	69	0.98	95	1.03	91
Европа	1.32	87	1.25	80	-0.08	61	2.81	93
Азия	0.48	89	-0.4	57	1.23	96	0.55	85
Южная Америка	0.22	91	-0.03	73	0.36	92	0.32	92
Африка	0.47	91	0.56	95	0.47	88	0.29	79
Австралия	1.61	100	1.83	100	2.25	100	0.79	92
Антарктида	0.27	81	0.17	69	-0.39	43	0.84	92
CRUTEM4 (суша)								
Земной шар*	0.56	96	0.5	94	0.68	97	0.5	94
Северное полушарие*	0.56	94	0.43	89	0.69	95	0.55	92
Южное полушарие*	0.56	99	0.66	99	0.65	100	0.38	95

Условные обозначения.

1. vT , °C – аномалия 2018/2019 года (базовый период 1981-2010 гг.);
2. F% – значение эмпирической функции распределения $F = \text{prob}(X \leq vT_{2018})$ по данным за 1911-2019 гг. (вероятность неперевышения)
3. Красным шрифтом выделены экстремальные аномалии (ранг 1-2), синим шрифтом – отрицательные аномалии, жирным шрифтом – рекордные значения за период 1911-2019 гг. (рекордным значениям всегда соответствует вероятность неперевышения 100%, ранг 1).

Однако главной особенностью сезона стало большое количество отрицательных аномалий на суше земного шара, расположенных преимущественно в Северном полушарии (более 30% всех станционных данных). При этом в декабре практически все они были расположены на территории Азии, в январе – на всех северных континентах примерно поровну, а в феврале – около 55% в Азии и 35% (притом более интенсивные, до -15°C) – в Северной Америке.

Всего на территории Земного шара средние за сезон отрицательные аномалии зафиксированы на 29.4% всех наземных станций, в их числе 0.9% отнесены к категории 5%-х экстремумов холода, но ни один не стал локальным минимумом (рис. 2.1, табл. 2.3).

К особенностям текущего зимнего сезона можно отнести также, по-видимому, и пониженное, по сравнению с последними годами, количество крупных положительных аномалий в Арктике, регионе наиболее активного потепления. По данным T3288, ни на одной из арктических станций средняя температура января 2019 г. не опустилась ниже 5-го процентиля; а в декабре и феврале таких станций было 11 и 14%, соответственно.

Таблица 2.3 – Количество локальных экстремумов на территории Земного шара зимой 2018/2019 г. по данным массивов T3288 и HadCRUT4 (все значения приведены в процентах от NN)

Регион	NN - число станций/ боксов	Аномалии		5%-е экстремумы холода/тепла		Абсолютные экстремумы	
		N (V<0) %	N (V≥0) %	N (X≤P ₀₅) %	N (X≥P ₉₅) %	N (X=min) %	N (X=max) %
HadCRUT4 (суша+море)							
ЗШ	1748	24.9	75.1	0.7	16.7	0.1	3.4
СП	958	21.8	78.2	1.0	15.9	0.1	2.5
ЮП	790	28.6	71.4	0.3	17.7	0.1	4.4
90-65S	28	21.4	78.6		10.7		3.6
65-25S	443	32.1	67.9	0.2	16.0	0.2	2.7
25S-25N	648	19.0	81.0	0.6	21.6		5.1
25-65N	543	27.4	72.6	1.1	12.5	0.2	1.8
65-90N	86	17.4	82.6	1.2	11.6		3.5
T3288 (только суша)							
ЗШ	1792	29.4	70.6	0.9	14.7		4.1
СП	1476	30.2	69.8	1.1	12.0		3.0
ЮП	317	25.6	74.4	0.3	27.4		9.1
90-65S	14	28.6	71.4		7.1		
65-25S	165	32.1	67.9	0.6	30.3		9.7
25S-25N	359	18.4	81.6	0.8	29.8		8.9
25-65N	1147	33.6	66.4	1.1	8.9		2.0
65-90N	111	18.0	82.0		4.5		2.7

Примечание: Таблица обобщает географические распределения сезонных локальных аномалий и экстремумов на рисунке 2.1

Условные обозначения:

- 1) N – число случаев (в % от NN); 2) V - сезонные аномалии;
- 3) P₀₅, P₉₅ – 5-й и 95-й процентиля;
- 4) min, max – наименьшее и наибольшее значения с 1911 г.

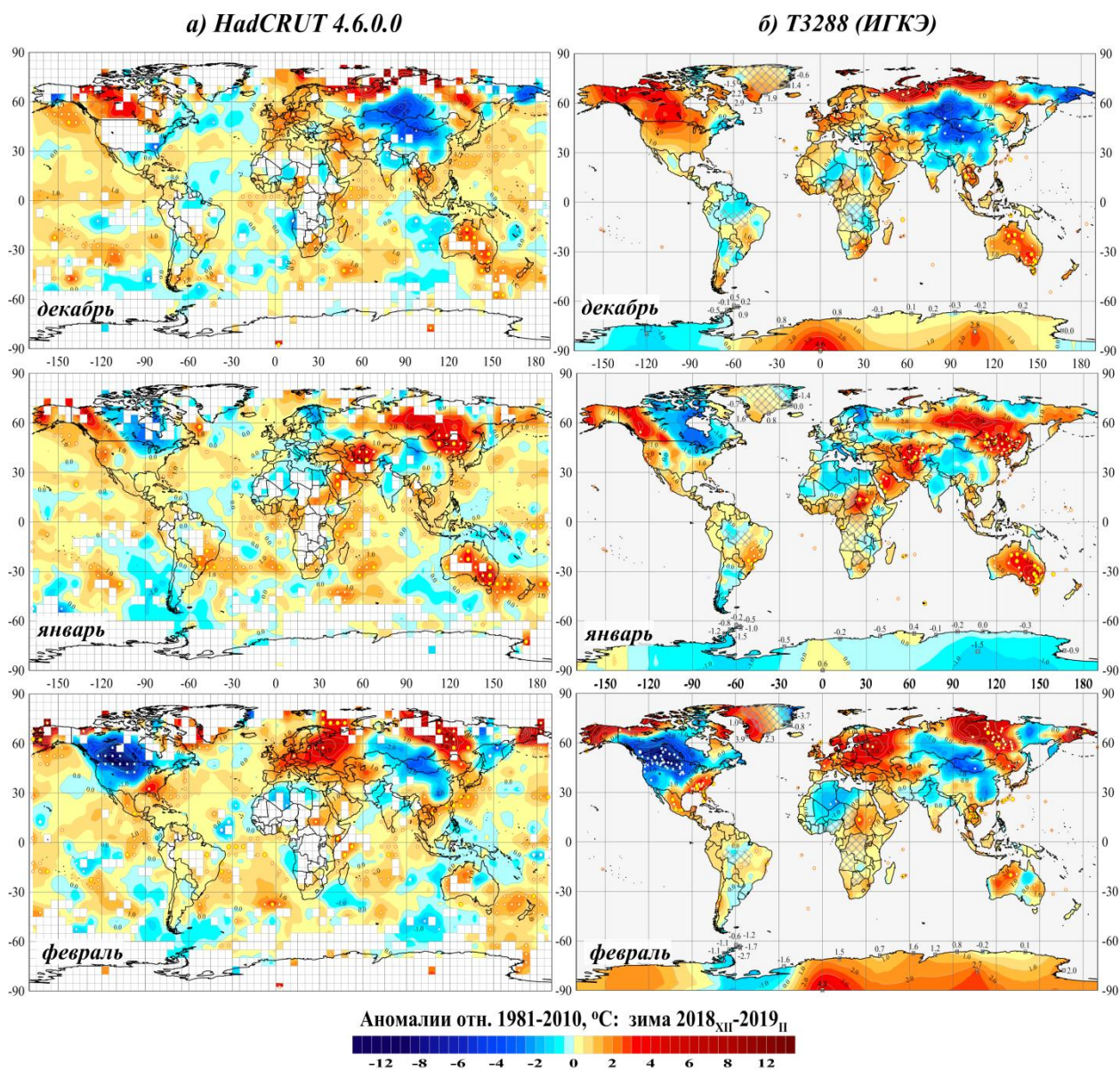


Рисунок 2.2 –См. рис. 2.1, но для средних месячных аномалий приповерхностной температуры в течение зимнего сезона 2018/2019 года

3. КРУПНОМАСШТАБНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ЗЕМНОГО ШАРА ЗА ПЕРИОД ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ, 1850-2019 гг. (зимний 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 наблюдений (1850-2019 гг.).

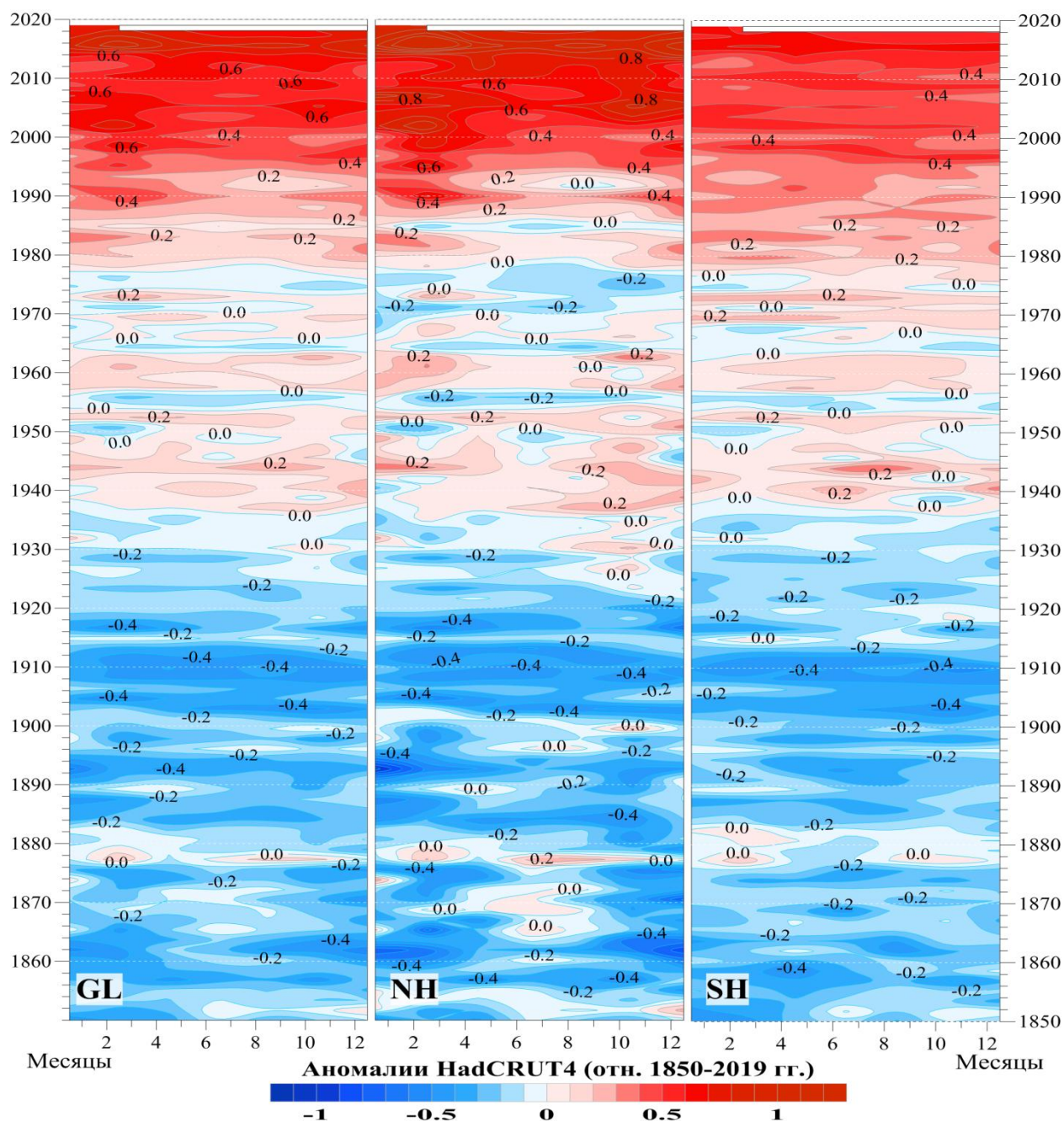
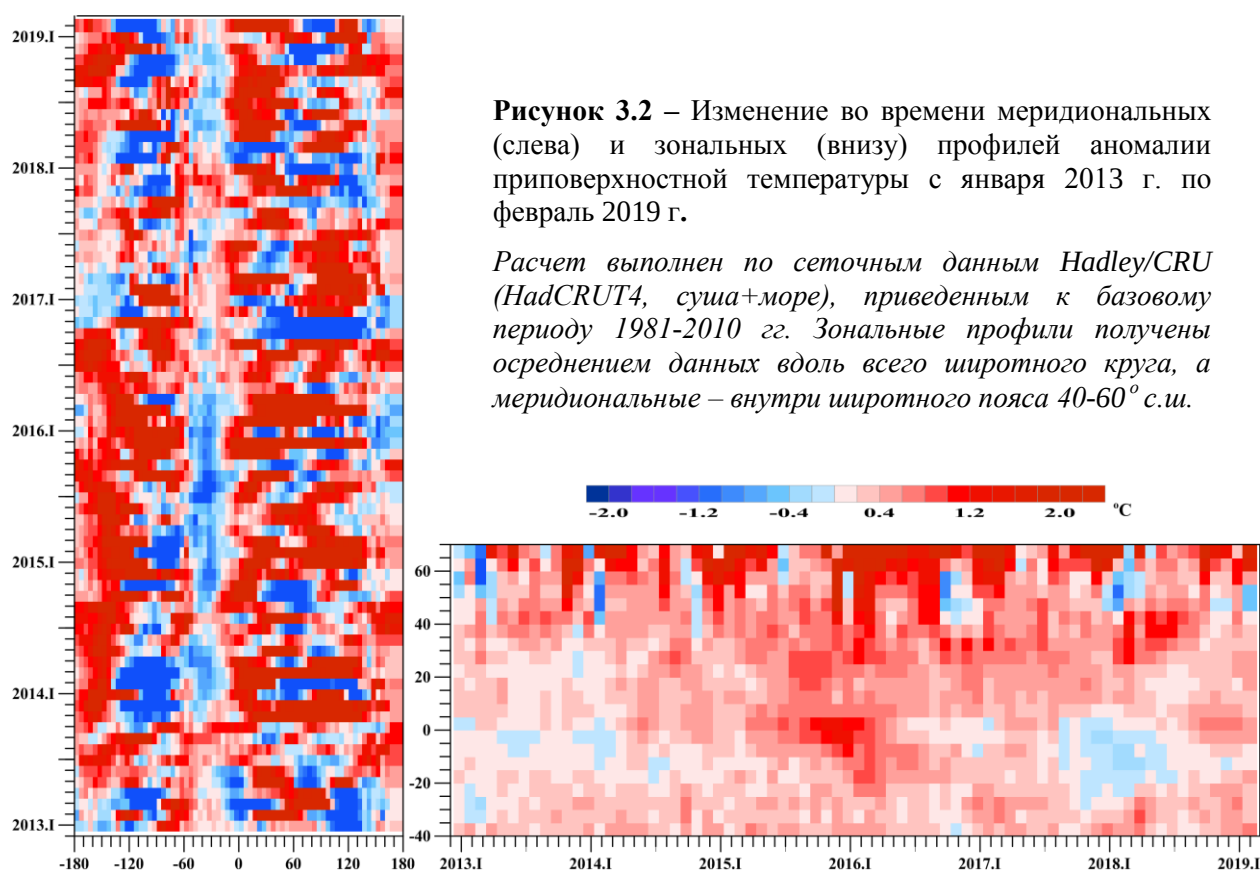


Рисунок 3.1 – Изменение аномалий средней месячной приповерхностной температуры, осредненной по территории Земного шара (GL), Северного (NH) и Южного (SH) полушарий в течение периода с января 1850 по февраль 2019 гг. (по данным HadCRUT4, Hadley/CRU, UK). Аномалии выражены как отклонения от средней за 1850-2019 гг.

На рис. 3.1 хорошо прослеживаются и похолодание в начале 20-го столетия, и арктическое потепление 1940-х, и современное глобальное потепление, ставшее особенно активным с середины 1990-х. Наиболее ярко оно проявляется в Северном полушарии и заметно усилилось в последние годы – примерно с середины 2014 года.

Широтно-долготные разрезы. На рисунке 3.2 (слева) прослеживается чередование теплых и холодных условий в течение зимы 2018/2019 на континентах Северного полушария (в умеренных широтах). Слабая отрицательная аномалия над северной Атлантикой, сохранявшаяся в течение всего 2018 года, практически «заполнилась» в течение этого сезона, тогда как интенсивная положительная аномалия в европейском секторе, напротив, восстановилась после кратковременных холодных эпизодов в ноябре 2018 и январе 2019 гг.

Крупные отрицательные аномалии на континентах Северного полушария отразились на знаке аномалии для всего широтного пояса (рис. 3.2, внизу). Отрицательные аномалии в северных умеренных широтах эпизодически повторяются в осенне-зимний период на протяжении, как минимум, последнего десятилетия.



Временные ряды глобально осредненной температуры. Интегральную характеристику наблюдаемых крупномасштабных изменений приземной температуры дают глобально осредненные временные ряды для территории Земного шара и обоих полушарий, приведенные на рис. 3.3. Соответствующие коэффициенты линейного тренда приведены в таблице 3.1 для всех рядов (по всем наборам данных) за 1976-2019 (период современного глобального потепления) и 1920-2019 (последнее 100-летие).

Показатели k1-k3 (табл. 3.2) количественно уточняют выводы, основанные на визуальном сопоставлении глобальных временных рядов (рис. 3.3) и оценок трендов (табл. 3.1) в разных факторных подгруппах⁷. Эти показатели рассчитаны как отношение соответствующих коэффициентов тренда (см. первый столбец табл. 3.1).

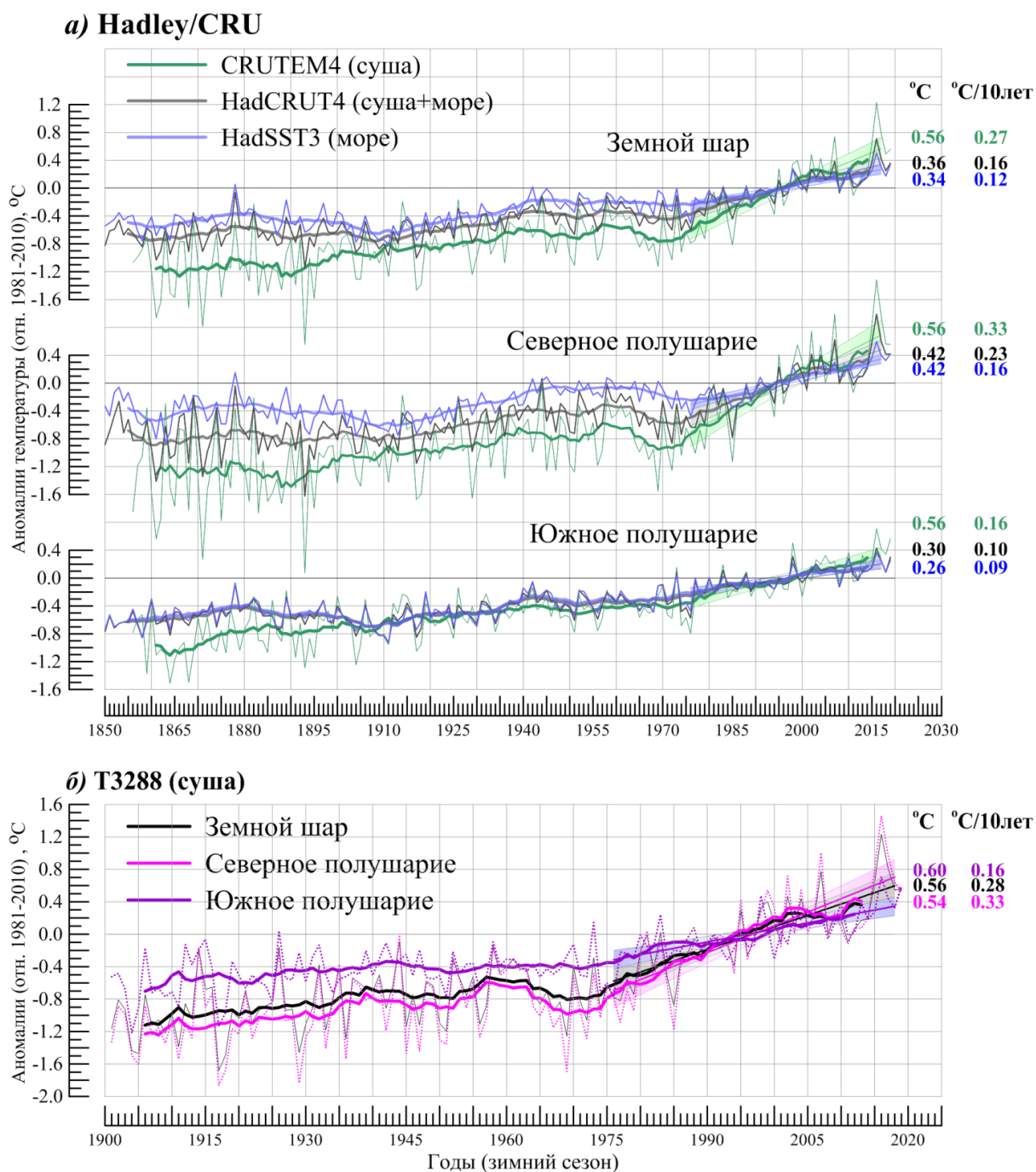


Рисунок 3.3 – Временные ряды сезонных аномалий приземной температуры (зима), осредненных по территории Земного шара, Северного и Южного полушарий:

а) по данным Hadley/CRU, 1850-2019: HadCRUT4, суша+море; CRUTEM4, суша; HadSST3, море;
б) по данным ИГКЭ, 1901-2019: T3288, 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 сезонных аномалий в 2018 г. и значения коэффициентов линейного тренда за 1976-2019 гг. (°C/10лет, осеньsbm

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

Можно видеть, что:

- (1) потепление зимних сезонов (и современное, и в целом за 100 лет) над сушей протекает быстрее, чем над океанами ($k_1=1.3-3.0$);
- (2) в Северном полушарии средняя скорость потепления выше, чем в Южном ($k_2=1.7-2$) для всех случаев, кроме температуры поверхности океана за последние сто лет ($k_2=0.77$);
- (3) современное потепление зимних сезонов на поверхности океанов ускорилось по сравнению со 100-летним в $k_3=2.9$ раз в Северном полушарии и только в $k_3=1.3$ раза – в Южном.

Таблица 3.1 – Коэффициенты линейного тренда ($^{\circ}\text{C}/10 \text{ лет}$) глобальных временных рядов приземной температуры за 1976-2019 гг. и 1920-2019 гг., в среднем за осенний сезон и по месяцам

Регион	1976-2019				1920-2019			
	зима	декабрь	январь	февраль	зима	декабрь	январь	февраль
HadCRUT4 (суша+море)								
Земной шар	0.164	0.164	0.161	0.168	0.085	0.083	0.084	0.09
Северное полушарие	0.228	0.232	0.218	0.235	0.098	0.095	0.092	0.106
Южное полушарие	0.101	0.097	0.103	0.101	0.073	0.07	0.075	0.073
T3288-ИГКЭ (суша)								
Земной шар	0.278	0.272	0.279	0.285	0.145	0.133	0.142	0.16
Северное полушарие	0.327	0.319	0.322	0.344	0.165	0.151	0.157	0.189
Южное полушарие	0.164	0.162	0.179	0.149	0.084	0.081	0.096	0.077
CRUTEM4 (суша)								
Земной шар	0.273	0.266	0.272	0.281	0.131	0.124	0.125	0.145
Северное полушарие	0.329	0.317	0.321	0.35	0.152	0.142	0.139	0.175
Южное полушарие	0.161	0.165	0.175	0.143	0.09	0.088	0.099	0.084
HadSST3 (море)								
Земной шар	0.124	0.129	0.121	0.122	0.062	0.061	0.063	0.063
Северное полушарие	0.16	0.173	0.155	0.153	0.055	0.057	0.055	0.054
Южное полушарие	0.094	0.09	0.094	0.098	0.071	0.068	0.072	0.074

Таблица 3.2 – Сравнение скорости глобального потепления (у поверхности) в разных факторных подгруппах, в среднем за зимний сезон 2018/2019 года

k_1	Показатель	1976-2019			1920-2019		
		ЗШ	СП	ЮП	ЗШ	СП	ЮП
k_1	$b_{T3288}/b_{HadSST3}$	2.24	2.04	1.74	2.34	3.00	1.18
	$b_{CRUTEM4}/b_{HadSST3}$	2.20	2.06	1.71	2.11	2.76	1.27
k_2	$b_{СП}/b_{ЮП}$	1976-2019			1920-2019		
		T3288	CRUTEM	HadSST	T3288	CRUTEM	HadSST
		1.99	2.04	1.70	1.96	1.69	0.77
k_3	$b_{1976-2019}/b_{1920-2019}$	СП			ЮП		
		T3288	CRUTEM	HadSST	T3288	CRUTEM	HadSST
		1.98	2.16	2.91	1.95	1.79	1.32

4. ВРЕМЕННЫЕ РЯДЫ РЕГИОНАЛЬНО ОСРЕДНЕННЫХ АНОМАЛИЙ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ, 1911-2019 гг. (зимний сезон)

Представленные ниже временные ряды (рис. 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 1976-2019 гг., условно принятый за период современного глобального потепления. Числовые оценки трендов для всех регионов приведены в табл. 4.1

Таблица 4.1. – Коэффициенты линейного тренда ($^{\circ}\text{C}/10 \text{ лет}$)
регионально осредненных аномалий температуры зимнего сезона
за 1976-2019 гг. (в целом за сезон и по месяцам)

Регион	Зима	Декабрь	Январь	Февраль
HadCRUT4 (суша+море)				
Атлантика (15-70N)	0.202	0.213	0.206	0.189
Тихий океан (20-65N)	0.148	0.160	0.134	0.151
Арктический пояс (65-90N)	0.605	0.689	0.461	0.677
Умеренный пояс СП (25-65N)	0.248	0.233	0.254	0.259
Тропики (25S-25N)	0.145	0.154	0.139	0.142
Умеренный пояс ЮП (65-25S)	0.096	0.084	0.102	0.098
Антарктический пояс (90-65S)	*-0.069	-0.067	** -0.081	-0.054
T3288 (суша)				
Северная Америка	0.388	0.475	0.523	0.197
Евразия	0.320	*0.255	*0.276	0.437
Европа	0.489	*0.471	0.418	**0.577
Азия	0.274	**0.200	**0.237	0.397
Южная Америка	0.172	0.164	0.188	0.161
Африка	0.247	0.255	0.213	0.269
Австралия	0.178	0.131	0.288	0.107
Антарктида	-0.030	-0.077	-0.028	0.007

Усл. обозначения: * $\alpha \leq 5\%$; ** $\alpha \leq 10\%$; серая заливка - $\alpha > 10\%$, где α – уровень значимости. Оценки, статистически значимые на 1%-уровне, приведены без выделения.

Как следует из табл. 4.1, Антарктика - единственный регион с отрицательным трендом, в среднем за зимний сезон ($-0.07^{\circ}\text{C}/10 \text{ лет}$ для широтного пояса и $-0.03^{\circ}\text{C}/10 \text{ лет}$ в Антарктиде) и в каждом месяце (табл. 4.1). Во всех этих случаях тренд статистически не значим на 10%-м уровне. Фактически, это означает отсутствие линейного тренда как такового. Во всех остальных регионах, в среднем по территории и за сезон, сохраняется тенденция к потеплению, статистически значимая на 1%-уровне (месячные оценки для евразийских регионов менее надежны). Регион наиболее интенсивного потепления - Арктика (0.61, в декабре 0.69 $^{\circ}\text{C}/10 \text{ лет}$), а среди континентов - Европа (0.49 $^{\circ}\text{C}/10 \text{ лет}$ в среднем за сезон). Более детально проследить многолетний ход приземной температуры в каждом регионе можно на рис. 4.1-4.3.

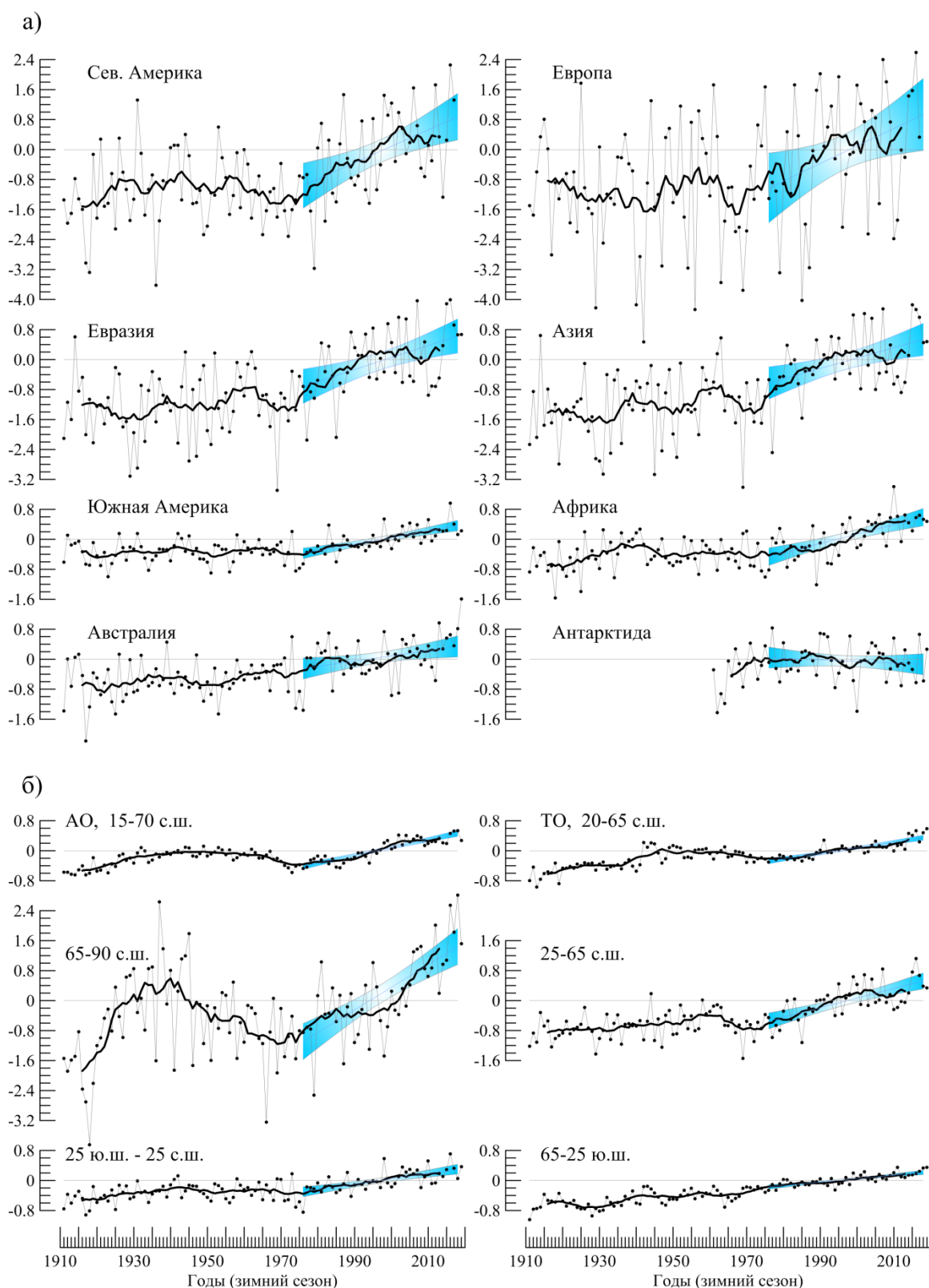


Рисунок 4.1 – Временные ряды пространственно осредненных аномалий приземной температуры зимнего сезона для континентов (а), северных частей Атлантического и Тихого океанов (б,верху) и основных широтных поясов земного шара (б,внизу).

Расчеты выполнены по методике ИГКЭ по данным T3288 (для континентов) и 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 1976-2019гг. с 95%-м доверительным интервалом (голубая заливка).

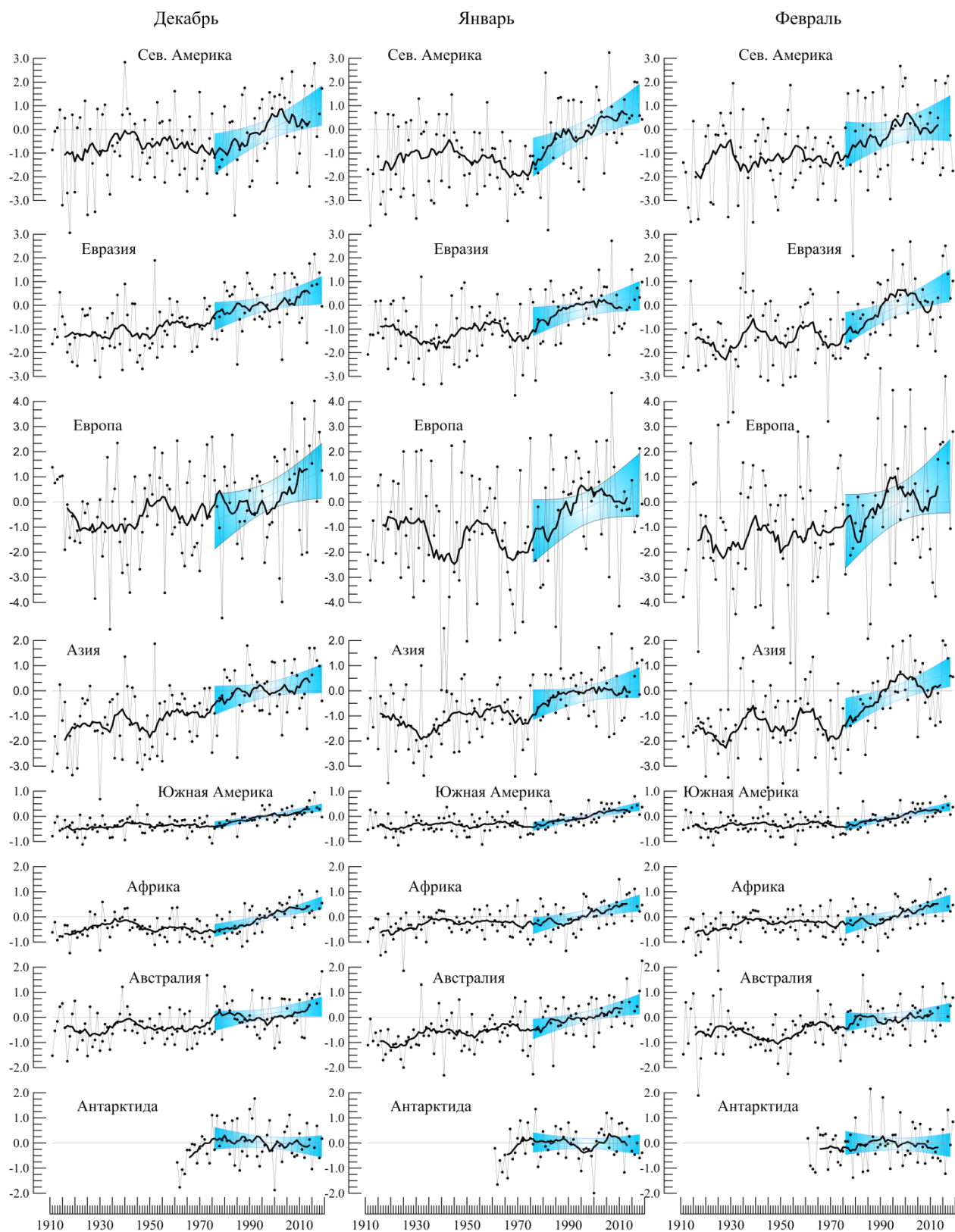


Рисунок 4.2 – См. рис. 4.1. но для аномалий зимних месяцев и только для континентов. *Расчеты выполнены по методике и данным ИГКЭ. Использован массив станционных данных T3288*

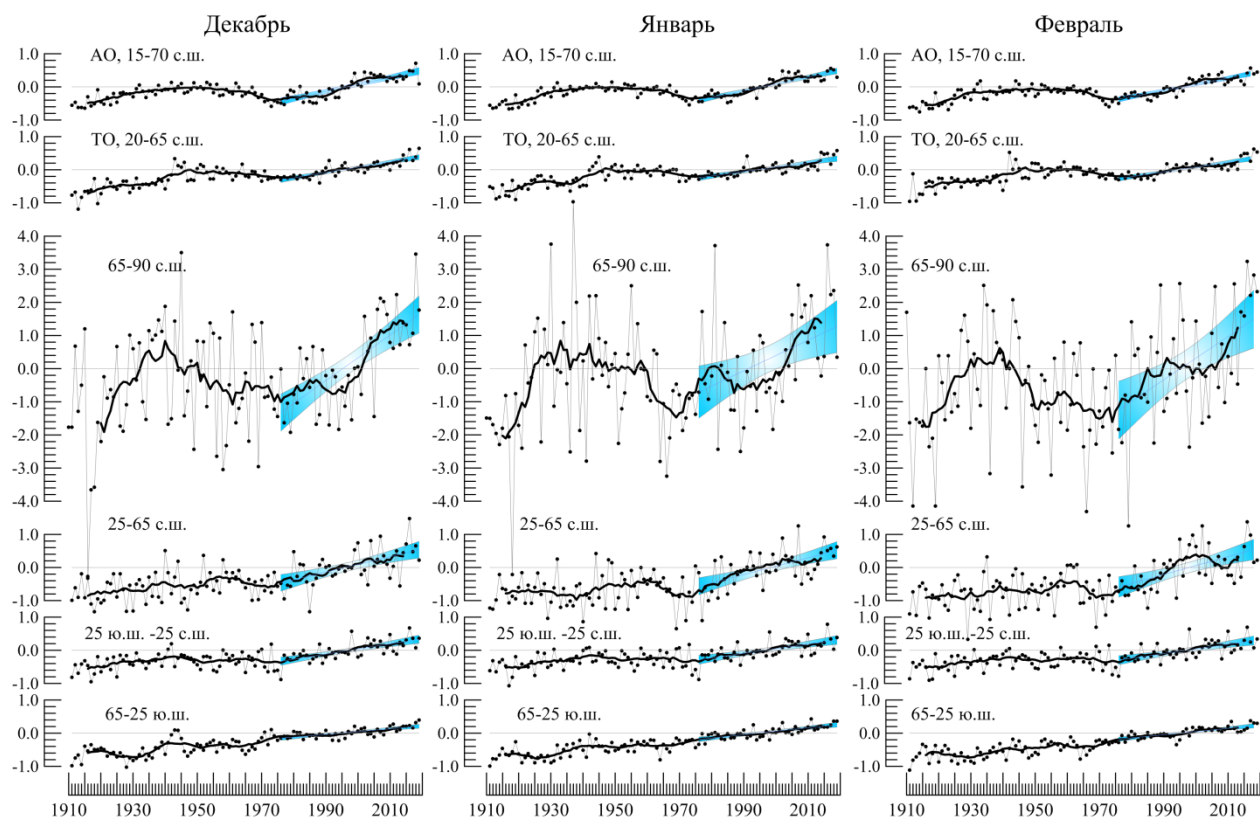


Рисунок 4.3 – См. рис. 4.2., но для океанов и широтных поясов земного шара. *Использованы сеточные данные Hadley/CRU (HadCRUT4. суша+море). Расчеты выполнены по методике ИГКЭ*

5. ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА, 1976-2019 гг. (зимний сезон)

Использованы данные наблюдений на 1770 станциях (массив Т3288) и в центрах 1701 бокса (массив HadCRUT4), для которых своевременно поступили данные за 2018_{II}-2019_{II}. Ниже приведены географические распределения коэффициентов линейного тренда за 1976-2019 гг. для сезона в целом (рис. 5.1) и каждого месяца (рис. 5.2). В таблице 5.1 приведено их количественное распределение в зависимости от географического региона, направленности тренда и его уровня значимости. В таблице указано реальное число станций/боксов, учтенных в расчетах в каждой конкретной выборке.

Таблица 5.1 – Распределение локальных оценок тренда за **1976-2019 (зимний сезон)** 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		
				$\alpha \leq 1$	$\alpha \leq 5$	$\alpha \leq 10$		$\alpha \leq 1$	$\alpha \leq 5$	$\alpha \leq 10$
Т3288	ЗШ	1770	170	7	14	20	1600	474	841	998
			9.6%	0.4%	0.8%	1.1%	90.4%	26.8%	47.5%	56.4%
	СП	1460	132	4	7	12	1328	360	675	816
			9.0%	0.3%	0.5%	0.8%	91.0%	24.7%	46.2%	55.9%
	ЮП	311	38	3	7	8	273	114	166	182
			12.2%	1.0%	2.3%	2.6%	87.8%	36.7%	53.4%	58.5%
HadCRUT4	ЗШ	1701	164	8	23	34	1537	622	839	983
			9.6%	0.5%	1.4%	2.0%	90.4%	36.6%	49.3%	57.8%
	СП	954	29	0	1	1	925	427	550	624
			3.0%	0.0%	0.1%	0.1%	97.0%	44.8%	57.7%	65.4%
	ЮП	747	135	8	22	33	612	195	289	359
			18.1%	1.1%	2.9%	4.4%	81.9%	26.1%	38.7%	48.1%

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

Потепление зимних сезонов наблюдается почти на всей территории земного шара – локальные положительные тренды составляют 90.4% всех оценок по данным Т3288 и HadCRUT4, а из остальных 9.6% (тенденция к похолоданию) только 0.4-0.5% оценок статистически значимы на 1%-м уровне (табл. 5.1).

На фоне доминирующего потепления, на всех континентах выделяются области статистически незначимого (даже на 10%-м уровне) линейного тренда, с отрицательным трендом в центре области, и положительным - на периферии. Наиболее значительные из них – в Азии, Северной Америке и Австралии. Это области «нулевого тренда», что указывает на отсутствие существенной однонаправленной тенденции любого знака.

На акваториях Мирового океана также преобладает положительный тренд, притом в Северном полушарии статистически значимый, преимущественно, на 1%-ом уровне. Слабый отрицательный тренд отмечается на акваториях Южного полушария: на юге Атлантического и Индийского океанов, в экваториальной зоне Тихого океана и у западного побережья Южной Америки.

Область наиболее интенсивного потепления – Арктика (рис. 5.1). На многих станциях вдоль побережья Северного Ледовитого океана тренд достигает +0.8-1.0°C/10 лет (максимум +2.74°C/10 лет на Новой Земле). Отмеченные особенности хорошо согласуются с региональными оценками в табл. 4.1.

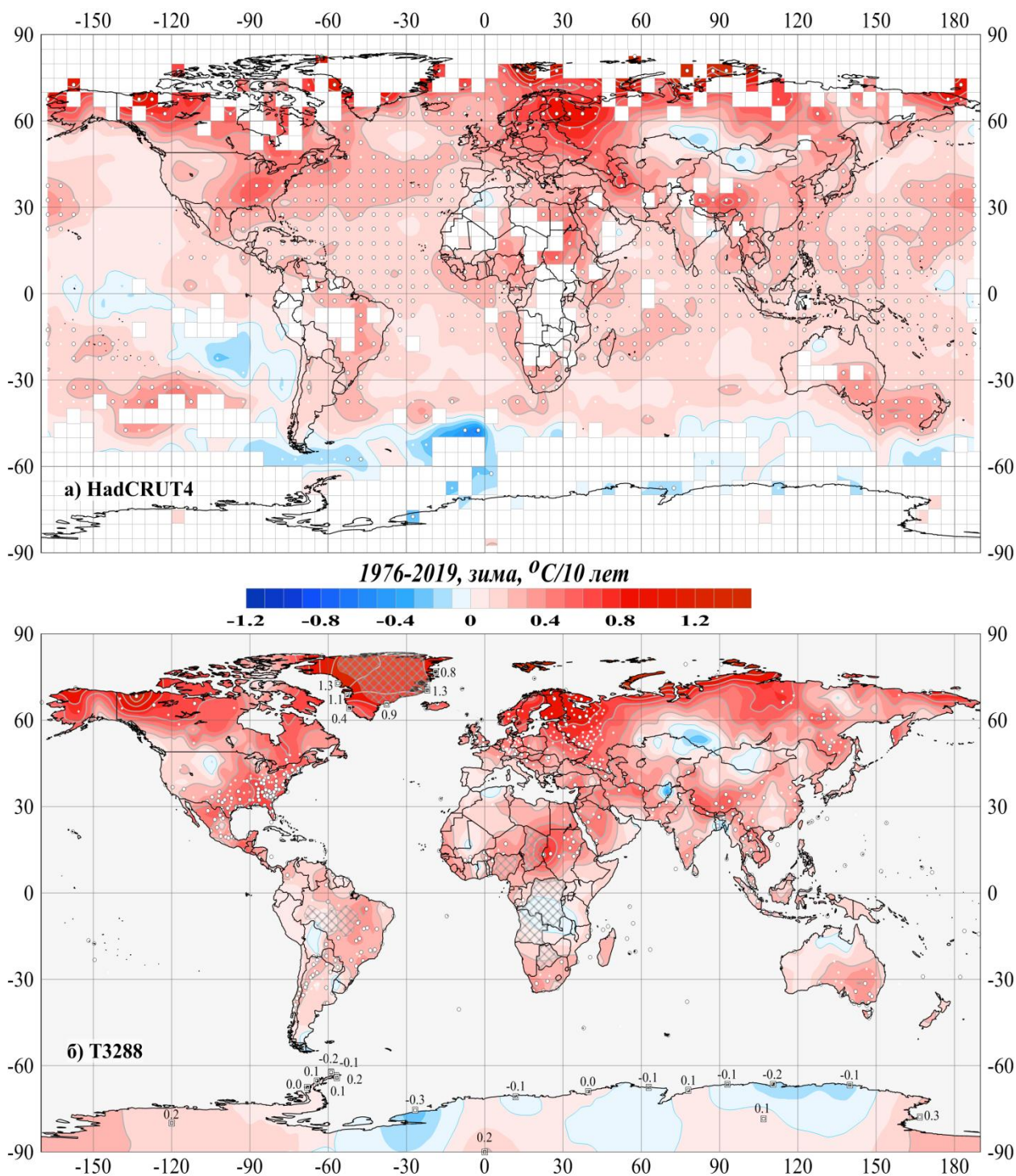


Рисунок 5.1 – Пространственное распределение коэффициентов линейного тренда сезонных аномалий температуры у поверхности Земного шара, 1976-2019 (зима), °C/10 лет

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, на которых тренд статистически значим на 1%-м уровне (с черной обводкой) или на 5%-м уровне (без обводки).

В пространственном распределении месячных трендов, как и сезонных, преобладает тенденция к потеплению, но области с тенденцией к похолоданию выражены ярче: в декабре-январе – в Азии и на Аляске, в феврале – в Северной Америке (усилилась за счет отрицательной аномалии в феврале 2019 года). На акваториях океанов в каждом из зимних месяцев сохраняются особенности сезонного распределения.

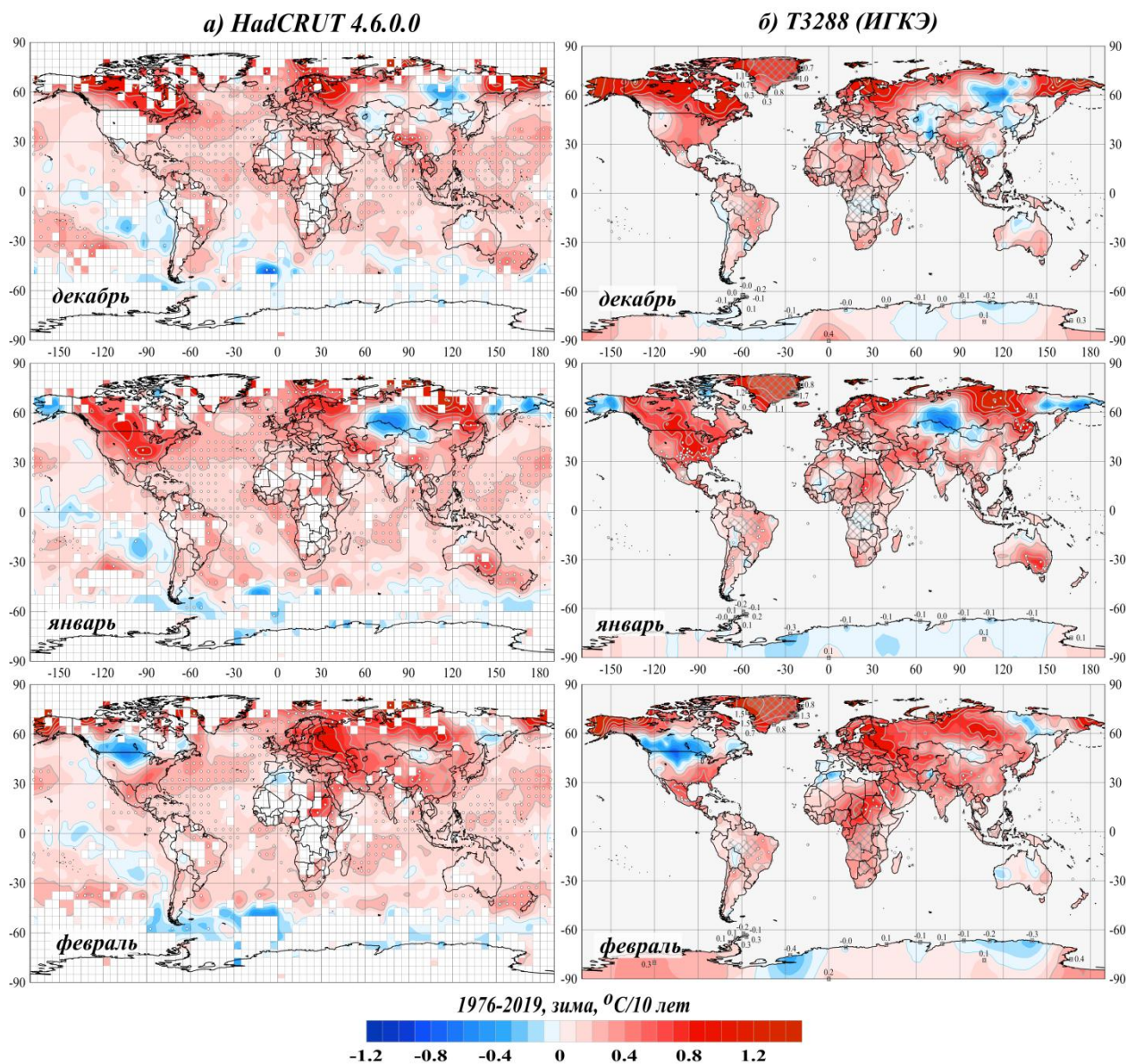


Рисунок 5.2 – См. рис. 5.1., но для коэффициентов тренда среднемесячных аномалий температуры зимних месяцев.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В среднем по Земному шару аномалия температуры воздуха осталась на уровне зимы 2017/2018 года ($+0.01^{\circ}\text{C}$). Некоторая стабилизация глобальной температуры после скачкообразного потепления в 2015-2016 и последующего двухлетнего снижения в 2017-2018 гг. произошла (в сравнении с 2018 г.) на фоне понижения приземной температуры в Северном полушарии (-0.1°C) и повышения в Южном ($+0.2-0.3^{\circ}\text{C}$).

2. Зима 2018/2019 стала второй самой теплой для Мирового океана и суши Южного полушария и притом экстремально теплой для северной части Тихого океана и Австралии. Крупные отрицательные аномалии относительно базового периода 1981-2010 гг. наблюдались на территории Северной Америки и Азии.

3. Главной особенностью сезона стало большое количество отрицательных аномалий на всех континентах (29.4% всех наземных станций) и на поверхности океанов Южного полушария. Однако всего на 0.9% всех станций наблюдались 5%-е экстремумы холода, и ни один из них не стал локальным минимумом.

4. Потепление зимних сезонов наблюдается почти на всей территории земного шара. По стационарным (T3288) и сеточным (HadCRUT4) данным, локальные положительные тренды составляют 90.4% всех оценок, а из остальных 9.6% (тенденция к похолоданию) только 0.4-0.5% оценок статистически значимы на 1%-м уровне

5. Антарктический пояс – единственный регион (из широтных поясов, континентов и северных океанов), где формально выявляется тенденция к похолоданию зимних сезонов (с 1976 года, в среднем по территории региона), хотя и статистически незначимая на 10%-уровне. Во всех остальных широтных поясах тренд положительный и статистически значим на 1%-м уровне. Регион наиболее интенсивного потепления – Арктика ($0.61^{\circ}\text{C}/10$ лет в 1976-2019).

6. Современное глобальное потепление (1976-2019) зимних сезонов (как и других сезонов, и года в целом) протекает быстрее над сушей, чем на поверхности океанов, и в Северном полушарии быстрее, чем в Южном (как на суше, так и на акваториях океанов).

Столетнее потепление (1920-2019) отличается, во-первых, более низкими оценками тренда (средняя скорость потепления) для всех категорий данных и, во-вторых, более высокой скоростью потепления поверхности океанов в Южном полушарии, чем в Северном (при современном потеплении и на континентах, и на акваториях океанов тренд потепления, напротив, выше в Северном полушарии)

7. Крупная отрицательная аномалия, наблюдавшаяся в Северной Америке в феврале 2019 г., заметно усилила отрицательный тренд в данном регионе. Так в 2019 г. локальный тренд в центре очага достиг $-0.9^{\circ}\text{C}/10$ лет (оценка за 1976-2019) вместо $-0.4^{\circ}\text{C}/10$ лет в 2018 г. (за 1976-2018).