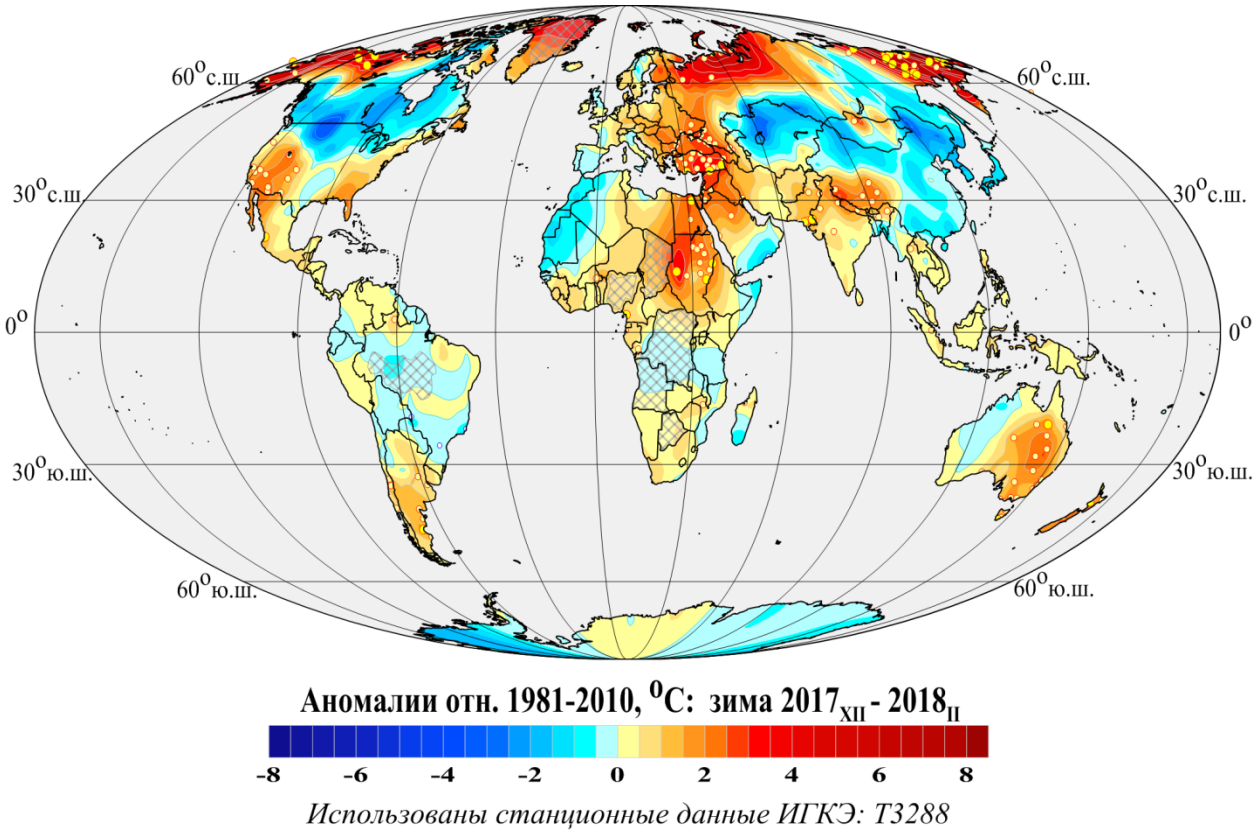
Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды

ФГБУ «Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН»

Бюллетень мониторинга изменений климата Земного шара

Приземная температура

Зима 2017_{XII} - 2018_{II}



Использованы станционные данные ИГКЭ: Т3288

Москва 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ[1,2]

1. ВВЕДЕНИЕ …….. 3

2. ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ У ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМНОГО ШАРА ЗИМОЙ 2017/2018 года. ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ АНОМАЛИИ … 6

3. КРУПНОМАСШТАБНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ЗЕМНОГО ШАРА ЗА ПЕРИОД ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ 1850-2018 гг. (зимний сезон) ……. 11

4. ВРЕМЕННЫЕ РЯДЫ РЕГИОНАЛЬНО ОСРЕДНЕННЫХ АНОМАЛИЙ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ, 1911-2018 гг. (зимний сезон) ……..…. 16

5. ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА, 1976-2018 гг. (зимний сезон) ……..…… 20

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ ……..... 23

7. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ ……... 24

[1] Бюллетень подготовлен в ФГБУ «ИГКЭ Росгидромета и РАН». 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 Росгидромета и РАН», размещаются на сайте http://climatechange.igce.ru/

[2] На обложке приведено поле средних сезонных аномалий температуры приземного воздуха над сушей Земного шара: зима 2017/2018 года.

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящем бюллетене представлены данные о климатических аномалиях зимнего сезона 2017/2018 года и обновленные (с учетом этих данных) оценки тенденций в изменении температурного режима зимних сезонов на территории земного шара в течение 1976–2018 гг. (по разделу «приземная температура»). Оценки приведены для сезона в целом и каждого из месяцев (декабрь-январь-февраль).

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

Параллельно в бюллетене приводятся оценки по данным о приповерхностной температуре на глобальной сети 5-градусных боксов, охватывающих всю территорию земного шара, включая континенты и океаны (массивы HadCRUT4, CRUTEM4, HadSST3, данные метеослужбы Великобритании[4]; в бюллетене упоминаются как «данные Hadley/CRU»). Таким образом, массив Т3288 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 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).

Развернутый комментарий к материалам бюллетеня с описанием используемых источников, сети станций и элементов методики размещен на сайте ИГКЭ (ИГКЭ, 2015).

Важно отметить, что, начиная с данного выпуска, в соответствии с рекомендацией ВМО (WMO, 2018) аномалии температуры в бюллетене приводятся относительно базового периода 1981-2010 гг. (вместо 1961-1990 гг.). Такое представление дает более реалистичную картину степени (и знака) аномальности текущих условий при современном климате, но не влияет на оценки долгопериодных тенденций (линейных трендов). Смещение аномалий, вызванное переходом к новому базовому периоду, полностью определяется различием их многолетних средних (климатических норм) в точках наблюдений, глобальные распределения которых в настоящее время доступны на сайте ИГКЭ (ИГКЭ, 2018) для всех календарных месяцев, сезонов и года в целом. Более полное сравнение сезонных особенностей температурного режима этих периодов в глобальном масштабе читатель может найти в статье (Груза и др., 2018), а для территории России – в монографии (Груза, Ранькова, 2012).

---

[3] Решение Центральной методической комиссии по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим 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 29.03.2018.

Сравнение глобальных временных рядов сезонных аномалий температуры приземного воздуха по данным T3288 (ИГКЭ) и CRUTEM4 (Hadley/CRU). Близость рядов примерно с середины прошлого столетия видна уже визуально (рис. 1.1). Количественные результаты их сравнения (статистические характеристики их попарных разностей) на интервалах 1976-2018 гг. и 1919-2018 гг. (зимний сезон) приведены в табл. 1.1, 1.2 для Земного шара, Северного и Южного полушарий.

Действительно, среднее различие их соответствующих значений за 1976-2018 гг. (табл. 1.1) не превышает ±0.02°С. Стандартное отклонение различий (0.03°С) на порядок ниже стандартного отклонения самих рядов (0.3-0.6°С) за этот период. За последние 100 лет как средние различия, так и их стандартные отклонения немного больше, при этом максимальные различия могут достигать 0.5°С (табл. 1.1, рис. 1.1). Тем не менее все ряды характеризуются исключительно высокой корреляцией (не ниже 0.99) и предельно низким различием трендов (до ±0.02°С/10 лет).

Таблица 1.1 – Оценки близости/различия глобальных временных рядов T3288 (ИГКЭ) и CRUTEM4 (Hadley/CRU) в среднем за зимний сезон по территории суши Земного шара (ЗШ), Северного (СП) и Южного (ЮП) полушарий

Оценка	1976-2018			1919-2018		
	ЗШ	СП	ЮП	ЗШ	СП	ЮП
Корреляция рядов	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99
Среднее различие, °С	0.02	0.01	-0.01	-0.05	-0.06	0.03
СКО (сигма) различий, °С	0.03	0.03	0.03	0.08	0.08	0.06
Среднее абсолютное различие, °С	0.03	0.03	0.02	0.06	0.07	0.04
Максимальное различие, °С	0.09	0.12	0.08	0.45	0.53	0.23
Разность коэффициентов тренда, °С/10лет	0.01	0.00	0.00	0.02	0.02	-0.01
СКО T3288, °С	0.45	0.55	0.27	0.56	0.66	0.35
СКО CRUTEM4, °С	0.43	0.54	0.27	0.50	0.61	0.35

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

Межгодовые разности	Данные T3288, °С (ИГКЭ)			Данные CRUTEM4, °С (Hadley/CRU)		
	ЗШ	СП	ЮП	ЗШ	СП	ЮП
2018-2017	-0.271	-0.342	-0.111	-0.293	-0.402	-0.072
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	0.456	0.606	0.090	0.412	0.574	0.089
2018-2014	0.353	0.438	0.148	0.262	0.306	0.176

Дополнительно отметим (табл. 1.2), что по обоим источникам глобальная приземная температура текущего сезона, в сравнении с температурой прошлогодней зимы, понизилась, продолжая тенденцию к снижению зимних температур после 2016 г.

(наиболее интенсивно – в Северном полушарии, до -0.4°C). Тем не менее, это снижение пока не компенсировало скачкообразное повышение зимних температур в 2015-2016 гг., так что общее изменение глобальной температуры относительно 2014 г. остается положительным.

Таким образом, статистические оценки изменчивости температуры приземного воздуха зимних сезонов, полученные по данным массива Т3288, очень близки к оценкам по данным всемирно признанного массива CRUTEM4 (как и для других сезонов, и года в целом[5]). Применительно к оценкам трендов этот вывод особенно убедителен.

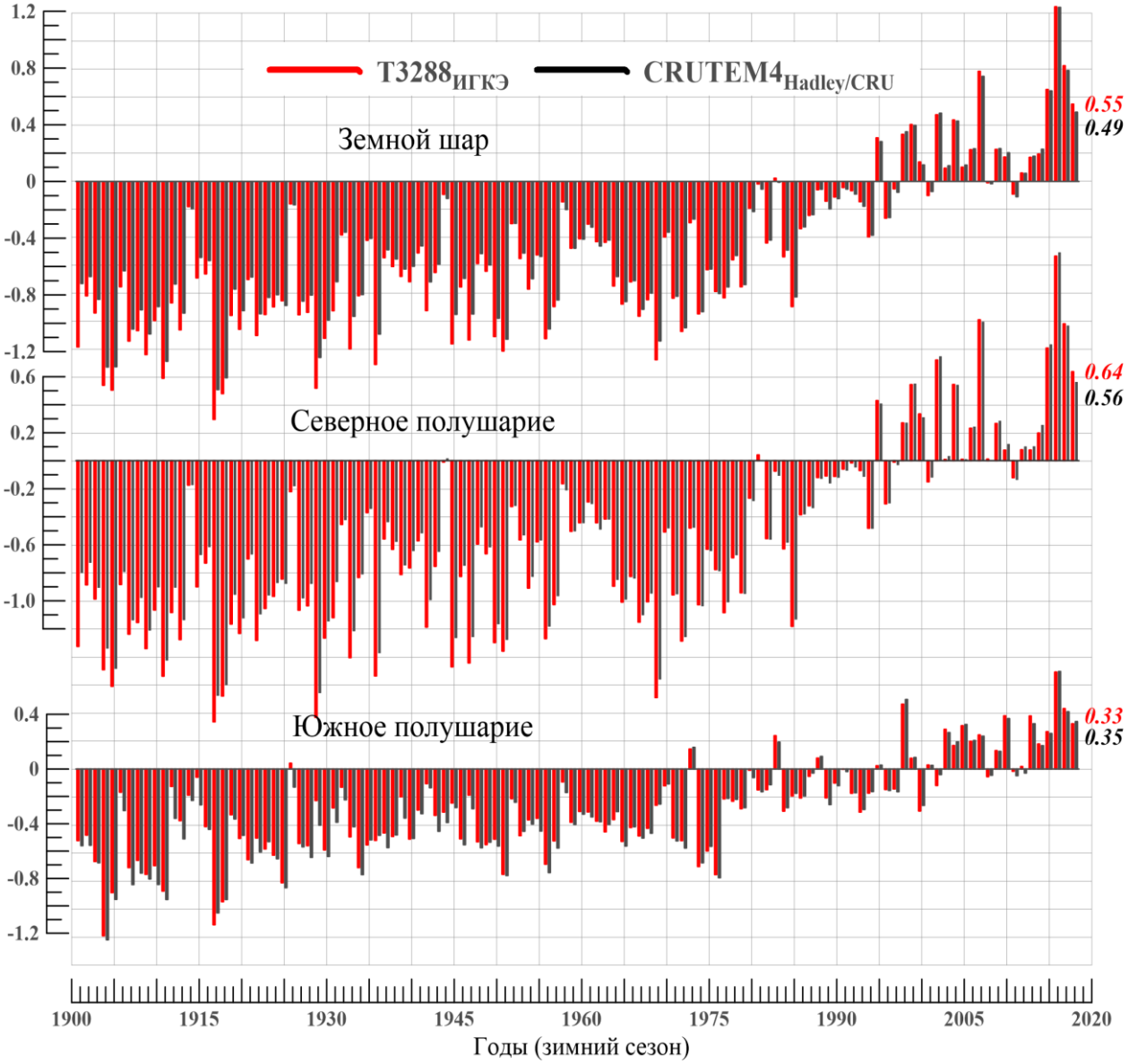


Рисунок 1.1 – Временные ряды пространственно осредненных сезонных аномалий температуры приземного воздуха над сушей Земного шара, Северного и Южного полушарий (°C, 1901-2018 гг., зима).

Использованы временные ряды, рассчитанные по данным массива Т3288 (ИГКЭ Росгидромета и РАН) и глобальные временные ряды CRUTEM4 (Hadley/CRU).

[5] Аналогичные оценки для других сезонов приведены в соответствующих предыдущих выпусках бюллетеня и доступны по адресу http://climatechange.igce.ru

2. ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ У ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМНОГО ШАРА ЗИМОЙ 2017/2018 года. ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ АНОМАЛИИ

В целом для Земного шара и каждого полушария, над сушей и океанами, по всем источникам данных, самым теплым зимним сезоном в истории наблюдений (с 1911 года) была зима 2015/2016 года (табл. 2.1). Зимний сезон 2016/2017 года занимает вторые-третьи места в упорядоченных по убыванию рядах глобальных температур (для Земного шара и полушарий), а текущая зима 2017/2018 года оказалась существенно холоднее – 5-6 место в рядах приземной температуры над сушей и в целом по Северному полушарию (суша+море). В среднем по всей территории Земного шара, за счет холодных океанов Южного полушария, сезон не вошел даже в первую шестерку самых теплых зим.

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

№	ЗШ		СП		ЮП	
	VT, °C	Год (зима)	VT,°C	Год (зима)	VT,°C	Год (зима)
HadCRUT4 (Hadley/CRU, суша+море)						
1	0.712	2016	0.992	2016	0.432	2016
2	0.423	2017	0.622	2007	0.310	1998
3	0.384	2007	0.601	2017	0.283	2010
4	0.372	2015	0.586	2015	0.248	2017
5	0.274	1998	0.418	2002	0.201	2003
6	0.269	2002	0.409	**2018**	0.156	2015
T3288 (ИГКЭ, суша)						
1	1.232	2016	1.460	2016	0.709	2016
2	0.817	2017	1.006	2007	0.475	1998
3	0.777	2007	0.978	2017	0.442	2017
4	0.649	2015	0.804	2015	0.389	2010
5	0.546	**2018**	0.719	2002	0.388	2013
6	0.471	2002	0.636	**2018**	0.331	**2018**
CRUTEM4 (Hadley/CRU, суша)						
1	1.228	2016	1.486	2016	0.713	2016
2	0.782	2017	0.991	2007	0.509	1998
3	0.741	2007	0.963	2017	0.419	2017
4	0.639	2015	0.829	2015	0.369	2010
5	0.489	**2018**	0.744	2002	0.347	**2018**
6	0.482	2002	0.561	**2018**	0.331	2013
HadSST3 (Hadley/CRU, море)						
1	0.506	2016	0.598	2016	0.365	2016
2	0.303	2017	0.396	2017	0.261	2010
3	0.289	2010	0.361	2015	0.251	2017
4	0.277	1998	0.325	**2018**	0.211	1998
5	0.251	2015	0.302	2007	0.167	2002
6	0.217	2007	0.285	2010	0.165	2003

Примечание. В таблице год наблюдения указан по дате окончания сезона (например: «2016» означает сезон 2015/2016 года).

Особенности географического распределения аномалий (рис. 2.1, табл. 2.2-2.3)**.** Зима 2017/2018 года, на фоне положительных аномалий глобальных температур, характеризуется обширными ареалами отрицательных аномалий на континентах Северного полушария (Канада, север США, Казахстан, Китай, Дальний Восток России – 17% станций по данным ИГКЭ) и в океанах Южного полушария (30% всех боксов по данным Hadley/CRU). В Антарктиде также наблюдались отрицательные аномалии (на 9 станциях из 14 станций), но экстремумов здесь зафиксировано не было.

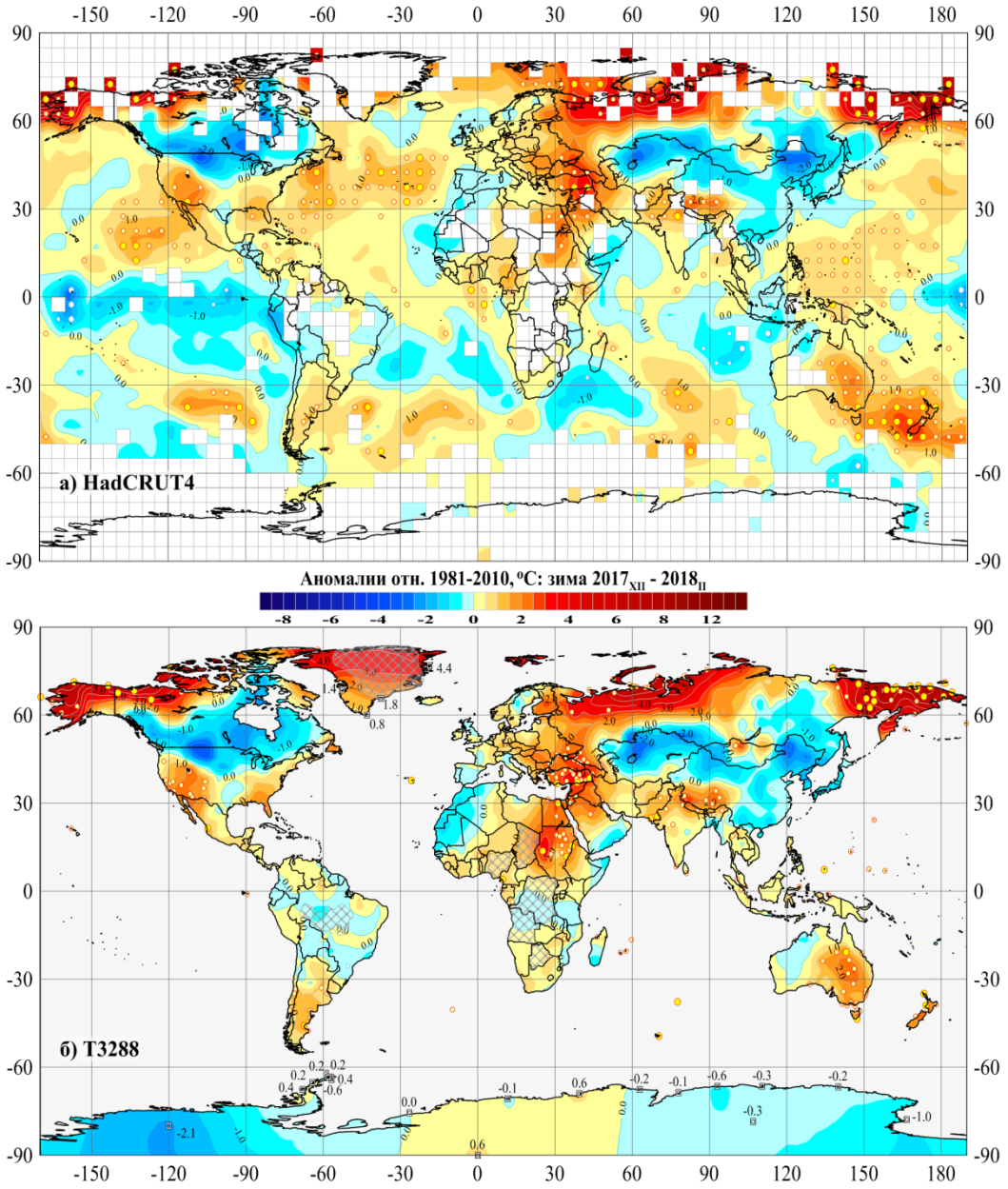


Рисунок 2.1 – Пространственное распределение аномалий приземной температуры (°С) на территории Земного шара зимой 2017-2018 гг.: *а)* по сеточным данным HadCRUT4 (Hadley/CRU, UK); *б)* по станционным данным Т3288 (ИГКЭ).

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 (вверху) и штриховкой (внизу) показаны области отсутствия наблюдений.

Значительными положительными аномалиями по-прежнему отмечен Арктический регион; при этом на 40% боксов (43% станций) здесь наблюдались 5%-е экстремумы тепла, а на 17% боксов (20% станций) перекрыты прежние максимумы. Среди регионально осредненных аномалий (табл. 2.2) также выделяется Северная Атлантика, где этот зимний сезон оказался рекордно теплым.

Таблица 2.2 - Пространственно осредненные значения аномалии (°C) приземной температуры и их вероятности непревышения на территории Земного шара зимой 2017/2018 гг., в среднем за сезон и в каждом из месяцев

Регион	Зима		Декабрь 2017		Январь		Февраль	
	vT_{XII-II}	F%	vT_{XII}	F%	vT_{I}	F%	vT_{II}	F%
HadCRUT4 (суша+море)								
Земной шар*	0.25	94	0.32	96	0.23	94	0.18	90
Северное полушарие*	0.41	95	0.56	97	0.35	94	0.32	93
Южное полушарие*	0.08	86	0.08	87	0.12	87	0.04	84
Атлантика (15-70N)	**0.53**	**100**	**0.71**	**100**	0.51	99	0.40	97
Тихий океан (20-65N)	0.49	99	0.38	98	0.46	97	**0.62**	**100**
Арктический пояс (65-90N)	**2.85**	**100**	3.43	99	2.35	94	2.93	99
Умеренный пояс СП (25-65N)	0.39	92	0.65	95	0.34	90	0.15	85
Тропики (25S-25N)	0.05	82	0.06	84	0.04	79	0.06	83
Умеренный пояс ЮП (65-25S)	0.33	99	**0.32**	**100**	0.37	99	0.31	98
Антарктический пояс (90-65S)	0.01	69	**-0.18**	41	0.19	80	**-0.03**	60
IGCE-T3288 (суша)								
Земной шар	0.55	96	0.79	98	0.46	95	0.38	93
Северное полушарие	0.64	95	0.95	98	0.50	95	0.43	91
Южное полушарие	0.33	95	0.42	96	0.34	96	0.25	91
Северная Америка	0.34	84	0.65	75	0.58	78	**-0.26**	60
Евразия	0.66	91	1.38	97	0.32	79	0.29	80
Европа	1.34	88	2.78	97	2.13	94	**-1.07**	44
Азия	0.46	89	0.98	90	**-0.15**	67	0.58	86
Южная Америка	0.13	86	0.29	92	0.07	76	0.06	72
Африка	0.53	93	0.33	84	0.21	74	0.96	97
Австралия	0.82	99	0.94	95	1.05	98	0.46	87
Антарктида	**-0.58**	26	**-0.59**	23	**-0.59**	28	**-0.08**	60
CRUTEM4 (суша)								
Земной шар*	0.49	96	0.71	98	0.41	94	0.35	91
Северное полушарие*	0.56	95	0.84	97	0.45	94	0.39	89
Южное полушарие*	0.63	96	0.71	98	0.65	96	0.54	93

Условные обозначения.

1. *vT*, °C – наблюденная аномалия зимой 2017/2018 года (базовый период 1981-2010 гг.);

2. F% –значение эмпирической функции распределения F=prob(X≤ vT_{2018}) по данным за 1911-2017 гг. (вероятность непревышения)

3. Красным шрифтом выделены абсолютные максимумы – наибольшие из всех значений ряда за 1911-2018 гг.

4. Синим шрифтом выделены отрицательные аномалии.

Таблица 2.3 – Количество локальных экстремумов на территории Земного шара зимой 2017/2018 гг. по данным массивов T3288 и HadCRUT4 (все значения приведены в процентах от N)

Регион	N - число станций/ боксов	Аномалии, %		5%-е экстремумы тепла/холода, %		Абсолютные экстремумы, %	
		V<0	V≥0	$X \le P_{05}$	$X \ge P_{95}$	$X=P_0$ (min)	$X=P_{100}$ (max)
HadCRUT4 (суша+море)							
ЗШ	1710	21.5	78.5	0.9	15.2	0.4	3.5
СП	957	14.6	85.4	0.3	18.6	0.2	3.8
ЮП	753	30.3	69.7	1.7	10.9	0.7	3.1
90-65S	25	48.0	52.0				
65-25S	402	22.6	77.4	0.5	15.7		5.2
25S-25N	654	26.8	73.2	2.1	12.1	1.1	1.1
25-65N	539	21.2	78.8	0.4	13.7	0.4	2.0
65-90N	86	4.7	95.3		**39.5**		**17.4**
T3288 (только суша)							
ЗШ	1821	17.5	82.5	0.2	12.2		2.6
СП	1499	17.1	82.9	0.1	11.7		2.7
ЮП	323	19.5	80.5	0.9	14.6		2.2
90-65S	**14**	**64.3**	**35.7**				
65-25S	167	8.4	91.6	0.6	21.0		3.6
25S-25N	369	20.3	79.7	0.8	12.7		2.4
25-65N	1192	27.3	72.7		11.6		2.2
65-90N	109	3.7	96.3		**43.1**		**20.2**

Усл. обозначения: V - сезонные/месячные аномалии; P_{05}, P_{95} – 5-й и 95-й процентили; P_0, P_{100} – наименьшее и наибольшее значения с 1911 г. Таблица обобщает распределения локальных аномалий и экстремумов на рис. 2.1.

Внутрисезонные особенности распределения аномалий. Положительные аномалии в Арктическом регионе и обширные области похолодания на акваториях океанов Южного полушария и в Антарктиде наблюдались во все месяцы зимнего сезона, тогда как области отрицательных аномалий на континентах Северного полушария, напротив, меняли локализацию от месяца к месяцу (напомним, что рассматриваются аномалии относительно базового периода 1981-2010 гг.)

В *декабре* средняя по территории Евразии температура достигла уровня 97-го процентиля – главным образом, за счет территории Восточной Европы и практически всей территории России (кроме Средней Сибири) и Монголии (рис. 2.2а). Заметна сильная отрицательная аномалия на востоке Канады (до 3°С). Рекордно теплыми регионами в декабре стали Северная Атлантика и пояс умеренных широт Южного полушария – по-видимому, за счет значительной области положительных экстремумов в районе Новой Зеландии (рис. 2.2, табл. 2.2).

Яркой особенностью *января* является значительная отрицательная аномалия в центре Евразии (до -5 °С по данным Т3288, рис. 2.2), которая внесла основной вклад в отрицательную аномалию Азиатского региона в целом (-0.15 °С, табл. 2.2).

В *феврале* большая часть территории континентов Северного полушария была охвачена отрицательными аномалиями; особенно крупные аномалии отмечены в среднем по территории Европы (-1.07 °С) и Северной Америки (-0.26 °С) (табл. 2.2, рис. 2.2). Значительные положительные аномалии наблюдались в северо-восточной Африке и передней Азии, а также на Западном побережье США и Мексики (рис. 2.2).

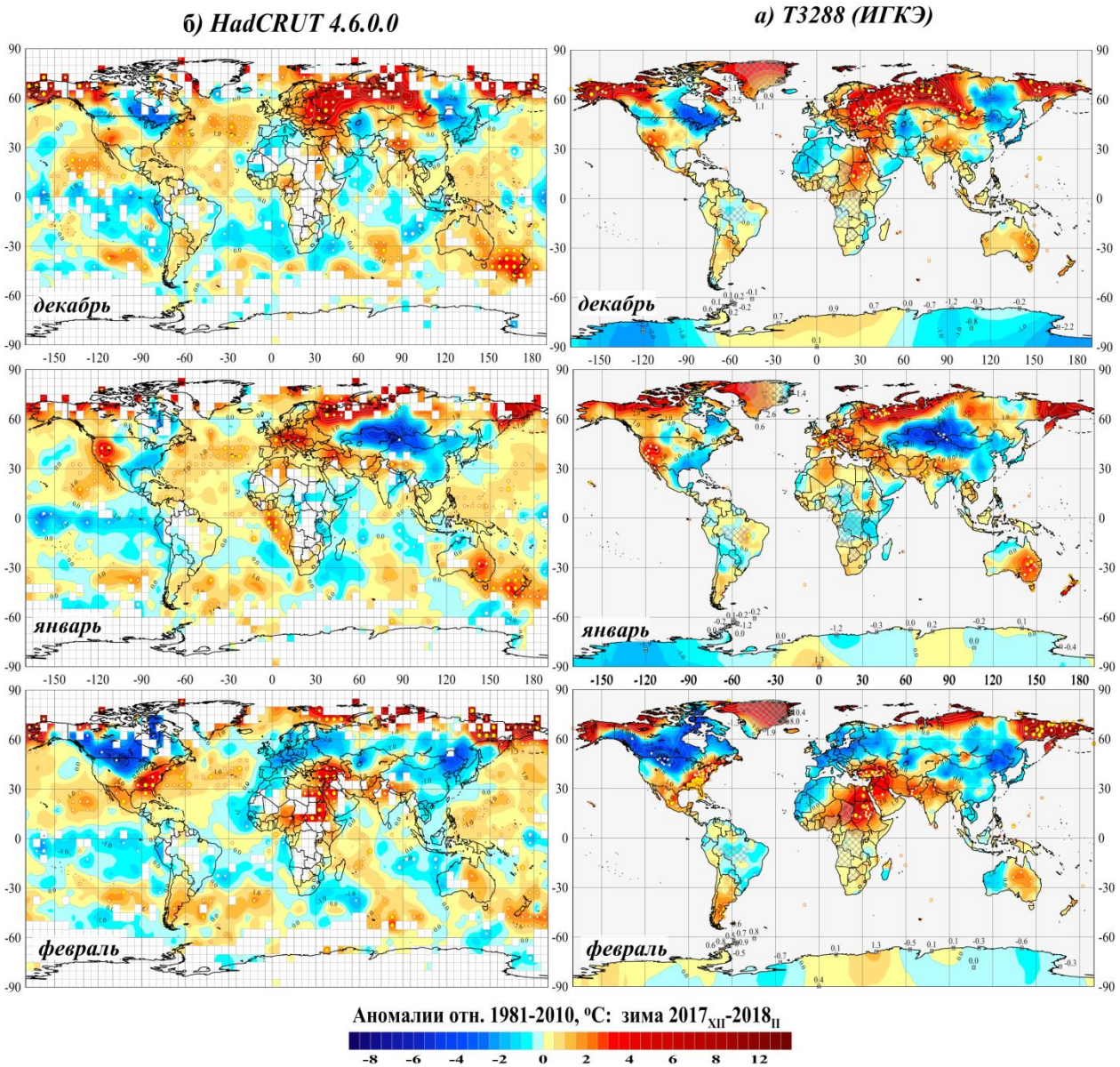


Рисунок 2.2 – См. рис. 2.1, но для среднемесячных аномалий зимнего сезона.

3. КРУПНОМАСШТАБНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ЗЕМНОГО ШАРА ЗА ПЕРИОД ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ, 1850-2018 гг. (зимний сезон)

Изменение глобальных температур. 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 даны относительно двух базовых периодов: 1961-1990 (а, слева) и 1981-2010 гг. (б, справа)

Основываясь на оценках относительно базового периода 1961-1990 гг. (а), принято считать, что начало современного глобального потепления относится примерно к середине 1970-х – началу 1980-х. Именно в это время температура достигла среднего уровня 1961-1990 гг., и в поле изоплет четко обозначилось появление положительных аномалий, хотя их глобальный характер прослеживается лишь с середины 1990-х. По отклонениям от среднего за 1981-2010 гг. (б) потепление становится заметным лишь на стыке столетий, в конце 1990-х –начале 2000-х. В действительности, это чисто визуальный эффект, поскольку с конца 1970-х и на правом рисунке явно видно ослабление отрицательных аномалий, что также указывает на начинающееся потепление.

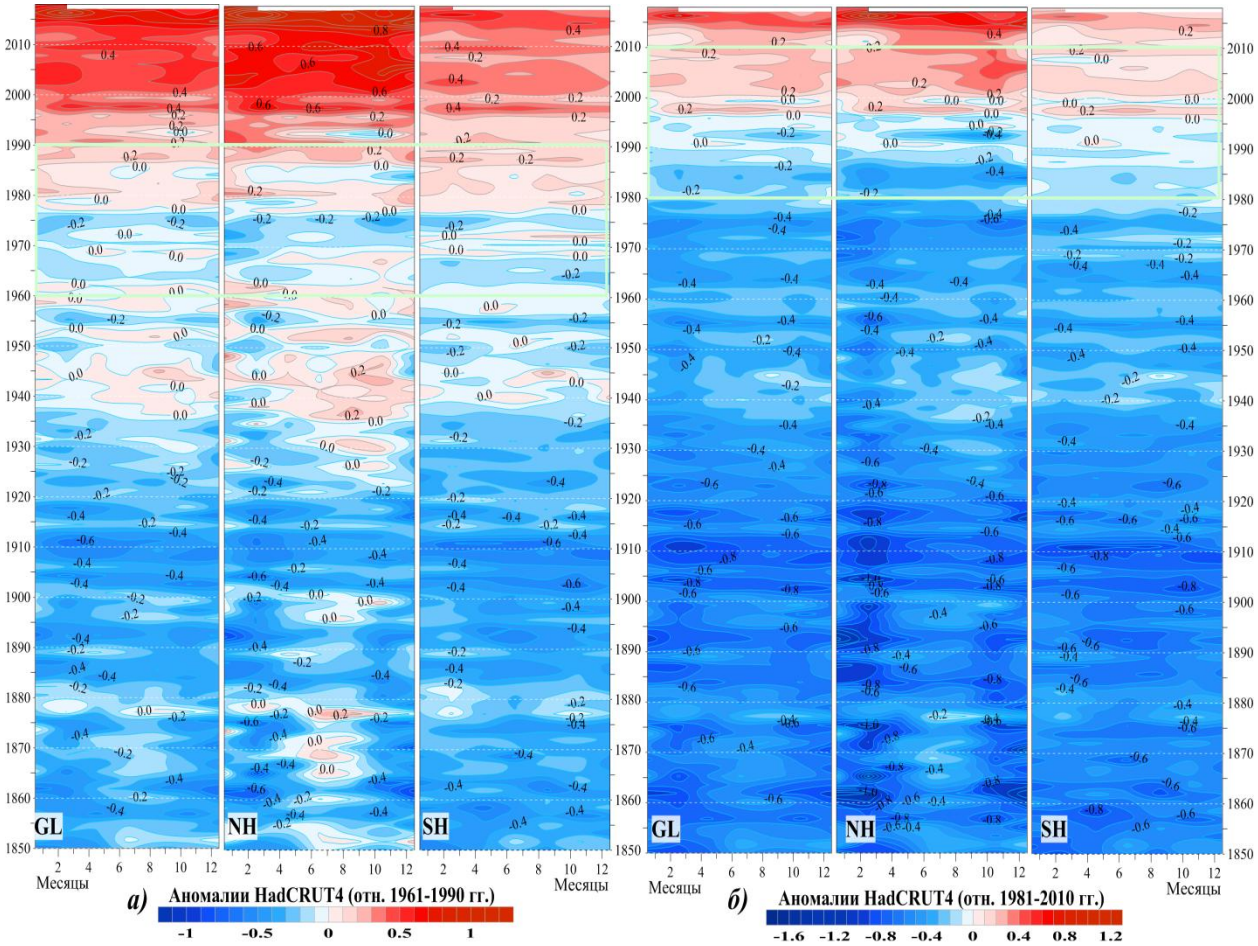


Рисунок 3.1 – Изменение аномалий средней месячной приповерхностной температуры, осредненной по территории Земного шара (GL), Северного (NH) и Южного (SH) полушарий в течение периода с января 1850 по февраль 2018 гг. (по данным HadCRUT4, Hadley/CRU, UK). Аномалии выражены как отклонения от средней за 1961-1990 гг. (а) и за 1981-2010 гг. (б).

На наш взгляд, нагляднее всего для такого анализа использовать аномалии относительно всего анализируемого периода (рис. 3.2). Здесь четко отслеживается и арктическое потепление 40-х гг., и сменившие его разнонаправленные процессы в Северном и Южном полушариях, и современное особенно активное потепление, притом действительно глобальное, с середины 1990-х. Наиболее ярко оно проявилось в Северном полушарии с максимумом в осенне-зимний период и особенно усилилось в последние годы – примерно с середины 2014 г. (следует отметить, однако, определенную близость климатических норм всего периода и 1961-1990 гг.).

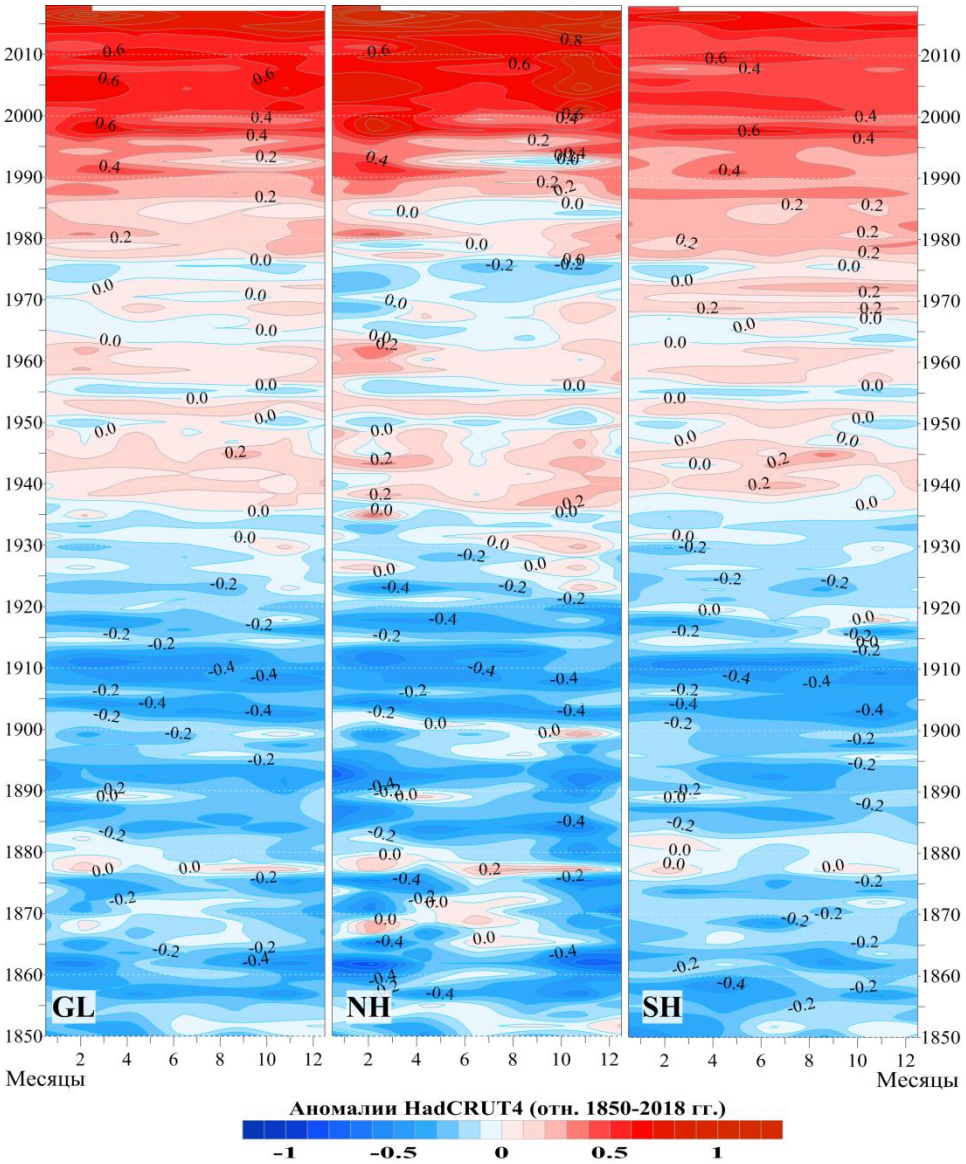


Рисунок 3.2 – Изменение аномалий средней месячной приповерхностной температуры, осредненной по территории Земного шара (GL), Северного (NH) и Южного (SH) полушарий в течение периода с января 1850 по февраль 2018 гг. (по данным HadCRUT4, Hadley/CRU, UK). Базовый период 1850-2018 гг.

Широтно-долготные разрезы. Значительные отрицательные аномалии, наблюдавшиеся на территории континентов Северного полушария и в океанах Южного полушария зимой 2017/2018 года, проявляются и в изменениях широтно-долготных профилей приповерхностной температуры (рис. 3.3). Изменение меридиональных профилей (в поясе северных умеренных широт) за последние 6 лет (рис. 3.3а) показывает преобладание положительных аномалий по всему земному шару с периодически

возникающими областями отрицательных аномалий в Евразии и Северной Америке (более заметными в последние полтора года) , а также чередование длительных периодов отрицательных и положительных аномалий в Северной Атлантике и Тихом океане. Наличие отрицательной аномалии на океанической поверхности в Южном полушарии, начиная со второй половины 2017 г., а также ведущая роль высоких широт Северного полушария в потеплении зимних сезонов отчетливо видны на рис. 3.2б.

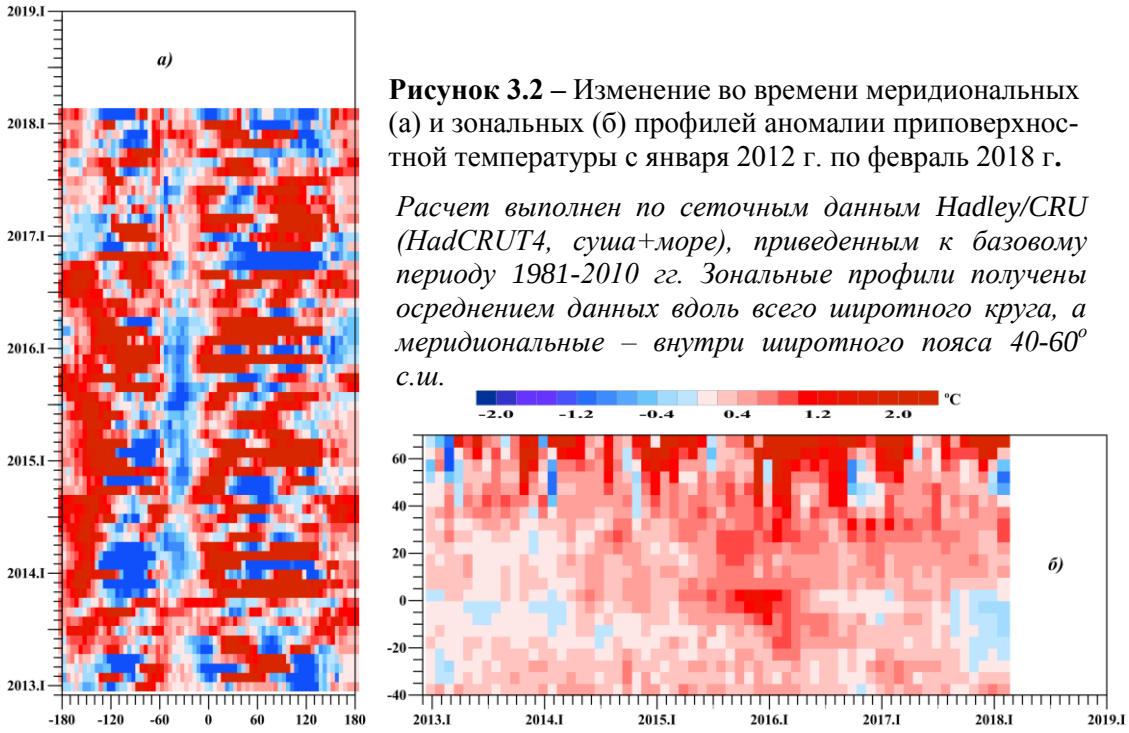


Рисунок 3.2 – Изменение во времени меридиональных (а) и зональных (б) профилей аномалии приповерхностной температуры с января 2012 г. по февраль 2018 г**.**

Расчет выполнен по сеточным данным Hadley/CRU (HadCRUT4, суша+море), приведенным к базовому периоду 1981-2010 гг. Зональные профили получены осреднением данных вдоль всего широтного круга, а меридиональные – внутри широтного пояса 40-60^o с.ш.

Временные ряды глобально осредненной температуры. Интегральную характеристику и оценку интенсивности наблюдаемых крупномасштабных изменений приземной температуры дают глобально осредненные временные ряды для территории Земного шара и обоих полушарий по всем используемым наборам данных (рис. 3.3) и их количественные описания (табл. 3.1, 3.2). По всем данным: суша+море (HadCRUT4), только суша (T3288 и CRUTEM4) и только море (HadSST3), в межгодичных колебаниях зимних глобальных температур отмечается их последовательное двукратное (в 2017 и 2018 гг.) снижение после скачкообразного повышения в 2016 г. (рис. 3.3).

В таблице 3.1 приведены региональные коэффициенты линейного тренда. 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 подгруппах. Их сравнение показывает, что современное потепление зимних сезонов (1976-2018 гг.), а также потепление в целом за 100 лет (кроме океанических акваторий), в Северном полушарии протекает в 1.7-2.2 раза быстрее, чем в Южном (табл. 3.2). При этом за период 1976-2018 гг. над сушей теплеет примерно вдвое быстрее, чем над океанами, а за столетний период 1919-2018 гг. в Северном полушарии – даже в 3 раза. Это значит, что на протяжении всего столетия потепление на суше протекает существенно активнее, чем на поверхности океанов (во всех случаях k_1>1). Однако, раньше этот контраст был значителен лишь для Северного полушария, а к текущему моменту разрыв между полушариями в этом отношении сгладился, и контраст между скоростью потепления у поверхности суши и океанов приблизился к двукратному в

обоих полушариях (k_1 = 2.1 в Северном полушарии и 1.7 в Южном по обоим источникам данных).

Ускорение потепления зимних сезонов в последние 40-50 лет, в сравнении с последним 100-летием, на всей территории суши близко к двукратному; над океанами это ускорение заметно выше в Северном полушарии (около 3) и весьма незначительно (порядка 1.3) в Южном (табл. 3.2, показатель k_3).

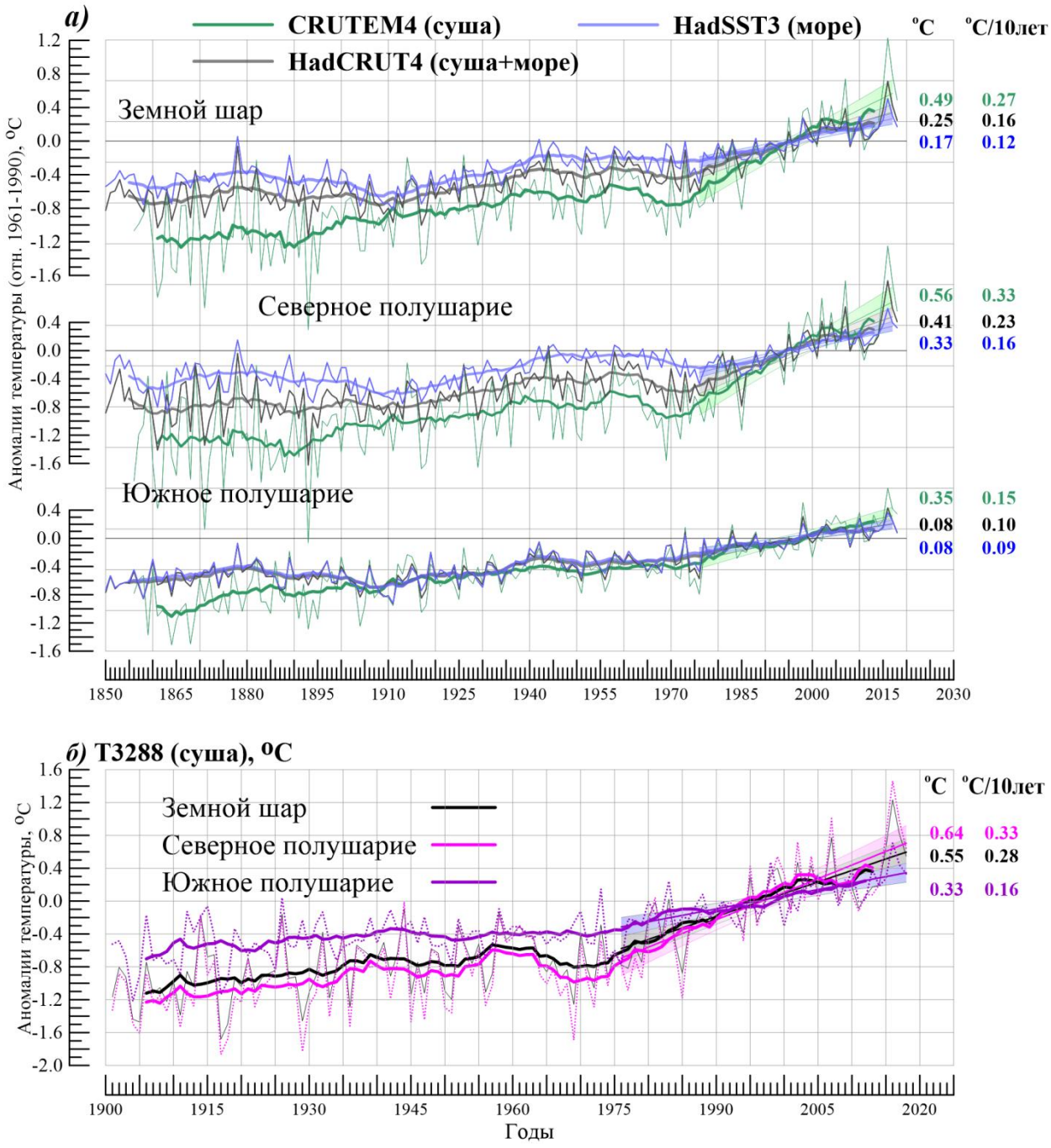


Рисунок 3.3 – Временные ряды сезонных аномалий приземной температуры (зима), осредненных по территории Земного шара, Северного и Южного полушарий: а) по данным Hadley/CRU, 1850-2018 гг.: HadCRUT4 (суша+море), CRUTEM4 (суша), HadSST3 (море); б) по данным ИГКЭ Росгидромета и РАН, 1901-2018 гг.: T3288 (суша).
Для всех рядов показан ход 11-летних скользящих средних и линейный тренд за 1976-2018 гг. с 95% доверительным интервалом. Справа приведены числовые значения сезонных аномалий в 2018 г. и значения коэффициентов линейного тренда за 1976-2018 гг. (°C/10лет, зима).

Таблица 3.1 – Коэффициенты линейного тренда (*^{o}C/10 лет*) глобальных временных рядов приземной температуры за 1976-2018 гг. и 1919-2018 гг., в среднем за зимний сезон и по месяцам

Регион	1976-2018				1919-2018			
	Зима	Декабрь	Январь	Февраль	Зима	Декабрь	Январь	Февраль
HadCRUT4 (суша+море)								
Земной шар	0.165	0.165	0.159	0.169	0.083	0.081	0.081	0.087
Северное полушарие	0.231	0.237	0.217	0.239	0.096	0.094	0.090	0.105
Южное полушарие	0.098	0.094	0.101	0.099	0.07	0.068	0.072	0.069
T3288-ИГКЭ (суша)								
Земной шар	0.28	0.275	0.277	0.289	0.142	0.130	0.138	0.157
Северное полушарие	0.333	0.328	0.322	0.352	0.163	0.150	0.154	0.186
Южное полушарие	0.157	0.152	0.171	0.146	0.08	0.076	0.091	0.074
CRUTEM4 (суша)								
Земной шар	0.275	0.27	0.27	0.285	0.128	0.122	0.121	0.142
Северное полушарие	0.335	0.327	0.321	0.357	0.149	0.141	0.134	0.172
Южное полушарие	0.155	0.157	0.167	0.141	0.086	0.084	0.094	0.081
HadSST3 (море)								
Земной шар	0.122	0.127	0.12	0.12	0.06	0.060	0.061	0.060
Северное полушарие	0.159	0.172	0.154	0.151	0.054	0.056	0.054	0.052
Южное полушарие	0.092	0.088	0.092	0.096	0.069	0.066	0.070	0.070

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

Таблица 3.2 – Сравнение скорости глобального потепления (у поверхности) в разных факторных подгруппах, в среднем за зимний сезон 2017/2018 года

	Показатель	1976-2018			1919-2018		
		ЗШ	СП	ЮП	ЗШ	СП	ЮП
k_1	$b_{T3288}/b_{HadSST3}$	2.30	2.09	1.71	2.37	3.02	1.16
	$b_{CRUTEM4}/b_{HadSST3}$	2.25	2.11	1.68	2.13	2.76	1.25
k_2	$b_{СП}/b_{ЮП}$	1976-2018			1919-2018		
		T3288	CRUTEM	HadSST	T3288	CRUTEM	HadSST
		2.12	2.16	1.73	2.04	1.73	0.78
k_3	$b_{1976\text{-}2018}/b_{1919\text{-}2018}$	СП			ЮП		
		T3288	CRUTEM	HadSST	T3288	CRUTEM	HadSST
		2.04	2.25	2.94	1.96	1.80	1.33

4. ВРЕМЕННЫЕ РЯДЫ РЕГИОНАЛЬНО ОСРЕДНЕННЫХ АНОМАЛИЙ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ, 1911-2018 гг. (зимний сезон)

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 всех шести континентов, а также для Европы и Азии отдельно). Данные до 1911 г. не приводятся, т.к. представляются недостаточно полными и надежными (особенно над океанами). На всех временных рядах показаны тренды за период 1976-2018 гг., условно принятый за период современного глобального потепления. Числовые оценки трендов приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1. – Коэффициенты линейного тренда (*°C/10 лет*)
регионально осредненных аномалий приземной температуры зимнего сезона
за 1976-2018 гг. (в целом за сезон и по месяцам)

Регион	Зима	Декабрь	Январь	Февраль
HadCRUT4 (суша+море)				
Атлантика (15-70N)	0.209	0.225	0.213	0.188
Тихий океан (20-65N)	0.141	0.151	0.126	0.146
Арктический пояс (65-90N)	0.605	0.683	0.492	0.657
Умеренный пояс СП (25-65N)	0.254	0.243	0.251	0.269
Тропики (25S-25N)	0.143	0.153	0.136	0.141
Умеренный пояс ЮП (65-25S)	0.092	0.078	0.099	0.096
Антарктический пояс (90-65S)	***-0.081**	**-0.075**	****-0.085**	***-0.068**
T3288 (суша)				
Северная Америка	0.421	*0.451	0.545	0.265
Евразия	0.320	*0.278	*0.260	0.433
Европа	*0.480	**0.471	**0.443	**0.525
Азия	0.277	**0.230	0.210	0.405
Южная Америка	0.177	0.177	0.190	0.162
Африка	0.251	0.255	0.216	0.283
Австралия	*0.140	0.084	0.237	0.090
Антарктида	**-0.042**	**-0.087**	**-0.018**	**-0.021**

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

Наибольшее потепление зимних сезонов по региональным оценкам отмечается в Арктическом поясе (0.6 °C/10 лет) и Европейском регионе (0.5 °C/10 лет) (табл. 4.1, рис. 4.1). В Евразии и умеренных широтах Северного полушария во временных рядах можно заметить замедление потепления в начале 2000-х гг. (рис. 4.1). На фоне продолжающегося потепления зимних сезонов в целом по Евразии (особенно в Европе) примерно с начала 2000-х гг. наблюдается понижение температуры в январе и феврале (рис. 4.2).

В целом можно отметить, что сезонные оценки трендов в таблице 4.1, с добавлением 2018 года практически не изменились. По сравнению с оценками за 1976-2017 гг., на 0.03°C/10 лет усилилось потепление в Арктике и на 0.02-0.05°C/10 лет усилился отрицательный тренд в Антарктиде и Антарктическом поясе. Изменение остальных коэффициентов тренда составило менее 0.01 °C/10 лет.

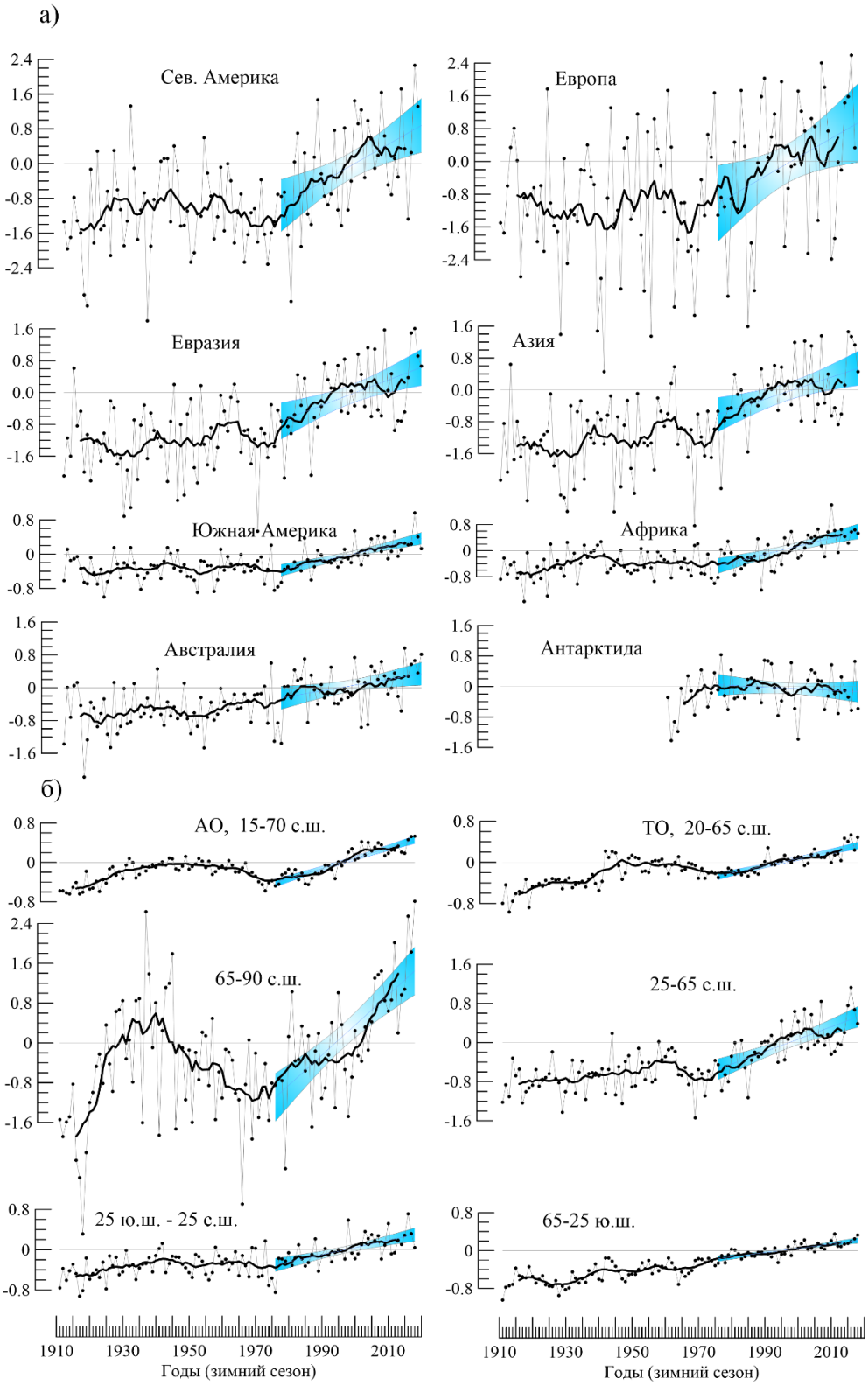


Рисунок 4.1 – Временные ряды пространственно осредненных среднегодовых аномалий приземной температуры для континентов (а), северных частей Атлантического и Тихого океанов (б, вверху) и основных широтных поясов земного шара (б, а внизу).

Расчеты выполнены по методике ИГКЭ по данным T3288 (для континентов) (а) и HadCRUT4 (для океанов и широтных поясов) (б). Аномалии приведены в отклонениях от средних за 1981–2010. Сглаженные кривые (жирная линия) получены 11-летним скользящим осреднением. Показан линейный тренд за 1976-2018 гг. с 95%-м доверительным интервалом (голубая заливка).

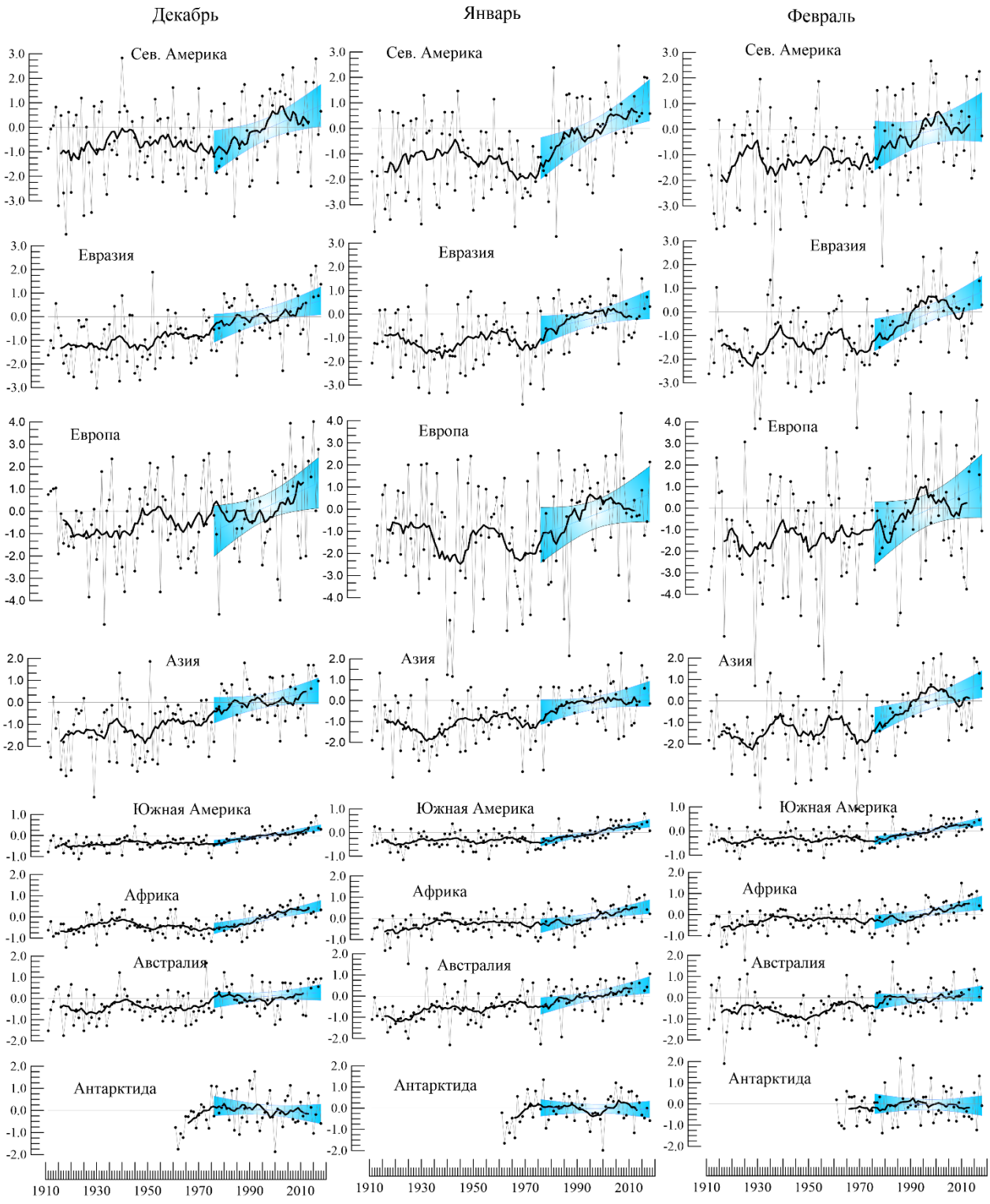


Рисунок 4.2 – См. рис. 4.1, но для аномалий зимних месяцев и только для континентов. *Расчеты выполнены по методике и данным ИГКЭ. Использован массив станционных данных Т3288.*

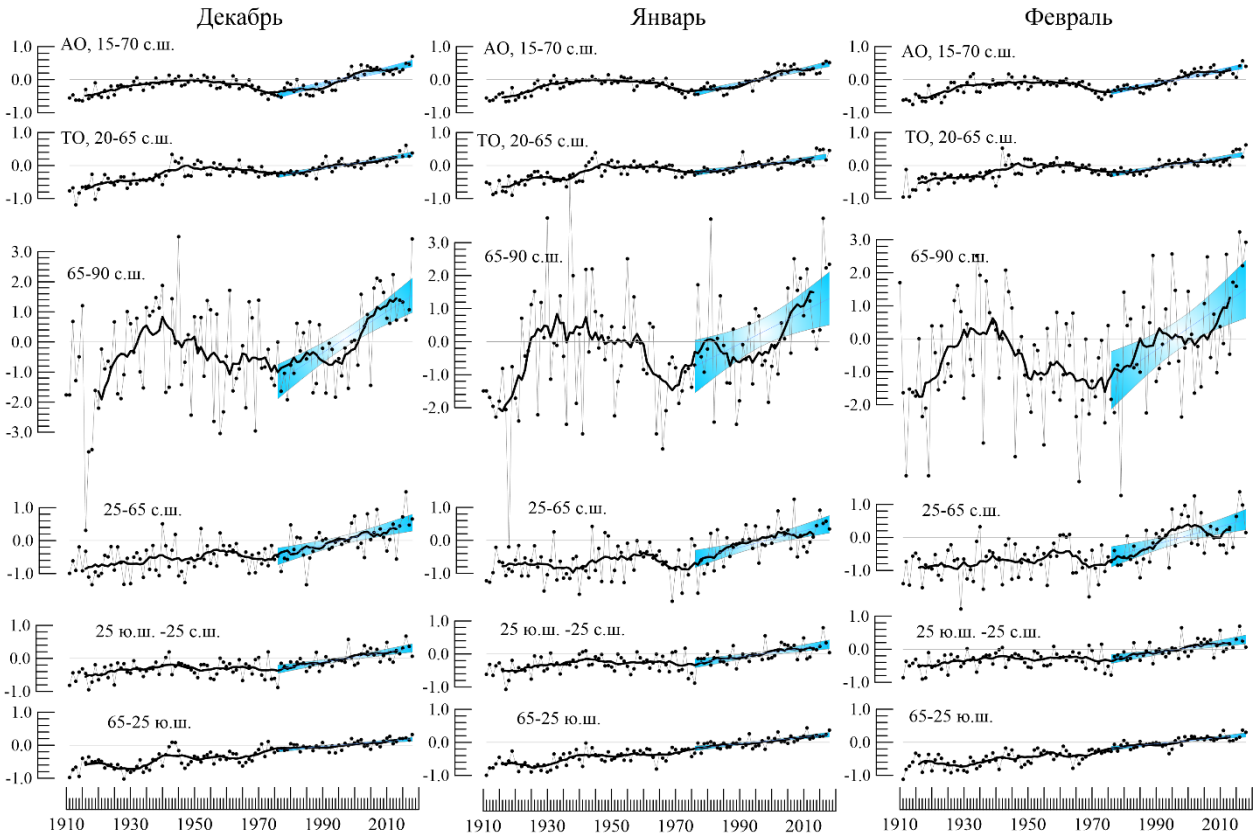


Рисунок 4.3 – См. рис. 4.2, но для океанов и широтных поясов земного шара. *Использованы сеточные данные Hadley/CRU, UK (массив HadCRUT4, суша+море). Расчеты выполнены по методике ИГКЭ.*

5. ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА, 1976-2018 гг. (зимний сезон)

Использованы данные наблюдений на 1868 станциях (массив T3288) и в центрах 1772 боксов (массив HadCRUT4), для которых своевременно поступили данные за зимние месяцы 2017-2018 гг., и число наблюдений n>=n0, где n0=35. Ниже приведены: географическое распределение оценок тренда в форме полей изолиний с указанием областей статистически значимых оценок (рис. 5.1, 5.2) и количественное распределение оценок в зависимости от географического региона, направленности тренда и, его уровня значимости (табл. 5.1). В таблице указано реальное число станций/боксов, участвующих в расчетах в каждой конкретной выборке.

Таблица 5.1 – Распределение локальных оценок тренда температуры приземного воздуха (средней за зимний сезон и каждый из месяцев) за 1976-2018 гг. в зависимости от знака коэффициента тренда ***b*** и уровня значимости ***α***

Данные		N	b<0				b>=0			
			Всего	в том числе			Всего	в том числе		
				α <=1	α <=5	α <=10		α <=1	α <=5	α <=10
HadCRUT4 (суша+море)	XII-II	1707	185	8	19	34	1522	608	814	953
			10.8%	0.5%	1.1%	2.0%	89.2%	35.6%	47.7%	55.8%
	XII	1595	215	3	13	19	1380	480	655	764
			13.5%	0.2%	0.8%	1.2%	86.5%	30.1%	41.1%	47.9%
	I	1677	247	4	14	22	1430	428	631	780
			14.7%	0.2%	0.8%	1.3%	85.3%	25.5%	37.6%	46.5%
	II	1683	212	3	22	34	1471	385	616	758
			12.6%	0.2%	1.3%	2.0%	87.4%	22.9%	36.6%	45.0%
T3288v (суша)	XII-II	1795	154	9	12	17	1641	447	780	976
			8.6%	0.5%	0.7%	0.9%	91.4%	24.9%	43.5%	54.4%
	XII	1820	274	8	9	15	1546	236	415	587
			15.1%	0.4%	0.5%	0.8%	84.9%	13.0%	22.8%	32.3%
	I	1773	262	5	14	18	1511	261	539	717
			14.8%	0.3%	0.8%	1.0%	85.2%	14.7%	30.4%	40.4%
	II	1729	201	2	9	15	1528	176	366	546
			11.6%	0.1%	0.5%	0.9%	88.4%	10.2%	21.2%	31.6%

Примечание. Таблица обобщает распределение оценок на рис. 5.1, в целом по территории земного шара. Процентное содержание данных рассчитано относительно N (N - общее количество станций/боксов).

На территории суши практически на всей поверхности земного шара отмечается потепление зимних сезонов – положительные тренды составляют 91% всех станционных оценок и 89% оценок в боксах (рис. 5.1, табл. 5.1). Наиболее интенсивные области потепления находятся в арктической зоне, ЕЧР, Западном побережье США, Центральной Африке и Азии. Слабая тенденция к похолоданию на континентах наблюдается лишь в некоторых областях – обширная область практически нулевых (слабо отрицательных) трендов в Западной Сибири–Казахстане–Монголии, на севере Австралии, в Южной Америке, в Восточной Антарктиде (суммарно они составляют около 9% всех оценок, из которых только 0.5% значимы на 1%-м уровне). На акваториях океанов значимые отрицательные тренды (на 1%-м уровне) отмечаются в Южном океане.

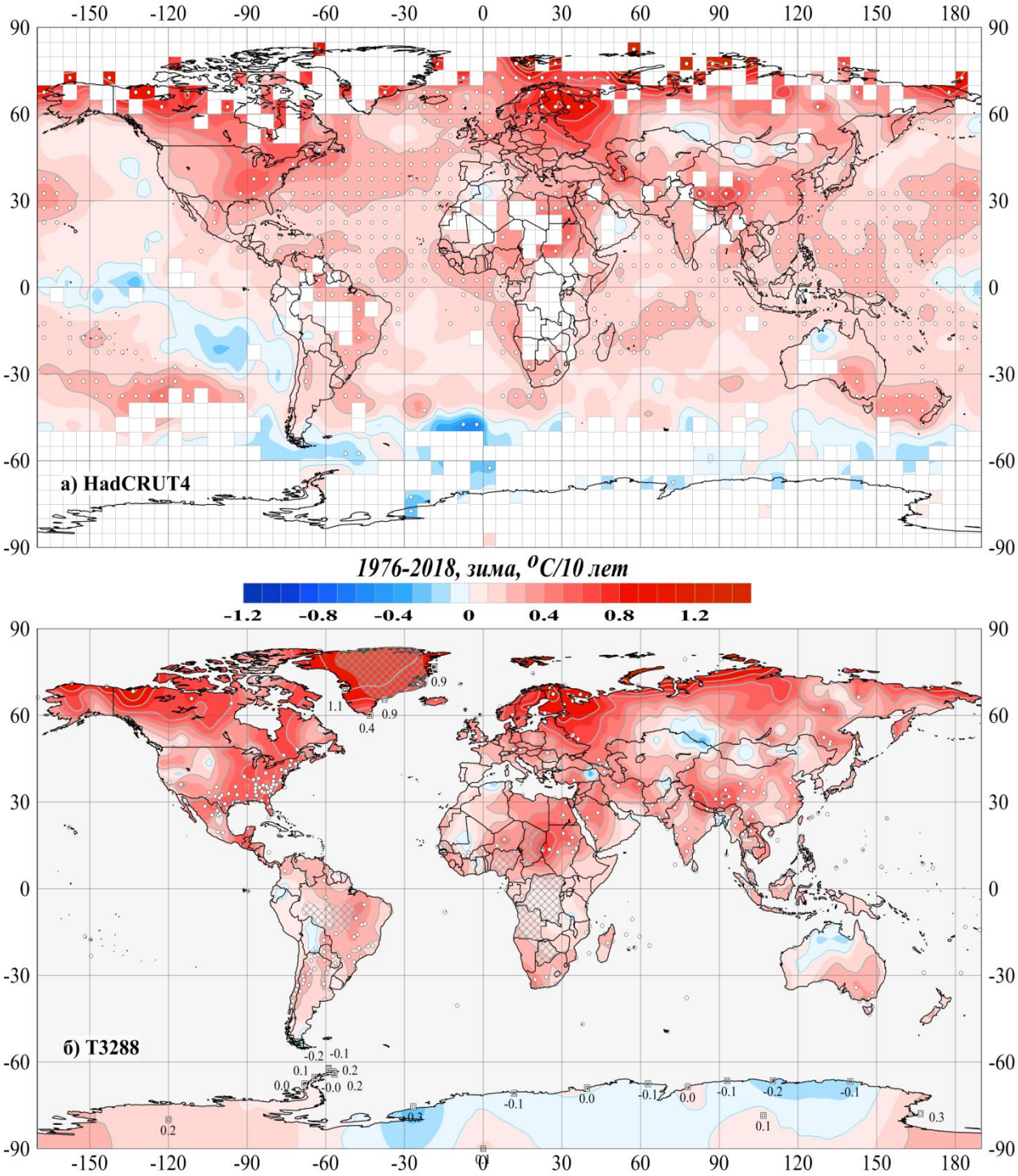


Рисунок 5.1 - Пространственное распределение коэффициентов линейного тренда температуры зимнего сезона у поверхности Земного шара за период 1976-2018 гг. (°C/10 лет).

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

Области похолодания в Южном океане и тропической части Тихого океана наблюдаются на протяжении всего сезона (рис. 5.2). Локализация и интенсивность отрицательных трендов в центральной Евразии от месяца к месяцу меняется. В *декабре* – это обширный очаг в Восточной Сибири (до -0,5^{o}C) и область практически нулевого тренда в Западной Сибири и Казахстане. В *январе* область с тенденцией к похолоданию занимает территорию Западной Сибири, а также Дальний Восток и Чукотский полуостров. В *феврале* на территории Дальнего Востока и юга Западной Сибири наблюдаются области практически нулевых трендов, а обширная область отрицательных трендов отмечается в центре Северной Америки – Канаде и США. При этом, все отрицательные тренды статистически незначимы. Географическое распределение положительных трендов от месяца к месяцу существенно не меняется и, в целом, сходно с распределением сезонных оценок.

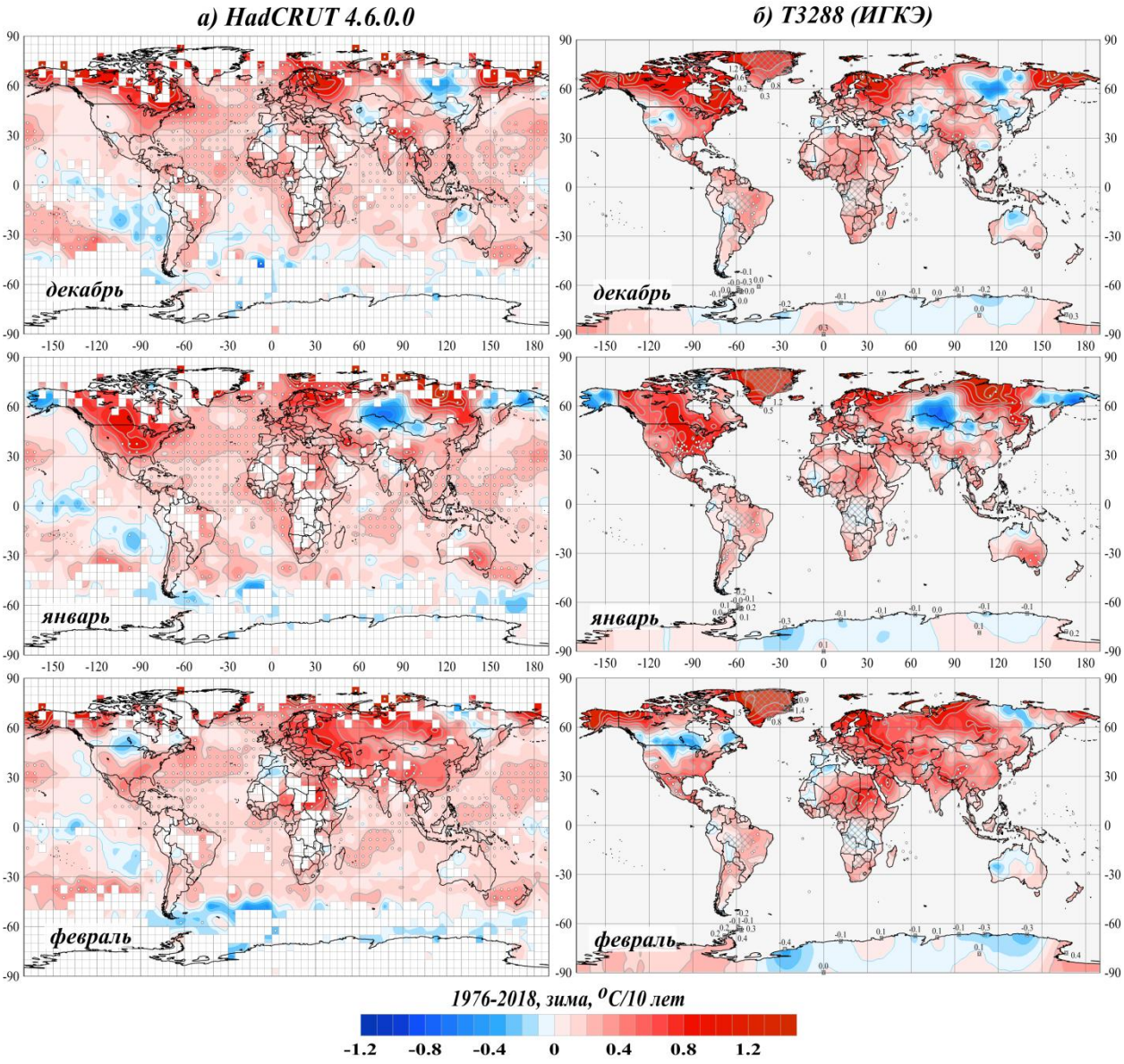


Рисунок 5.2 – См. рис. 5.1, но для коэффициентов тренда среднемесячных аномалий температуры зимних месяцев.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В среднем по всей территории Земного шара, как и порознь над сушей и океанами, в ходе приземной температуры последних лет отмечается последовательное двукратное (в 2017 и 2018 гг.) снижение зимних температур после их скачкообразного повышения в 2015-2016 гг.

2. Зимний сезон 2017/2018 года занимает лишь 5-6 место по данным над сушей Земного шара и обоих полушарий, а с учетом океанов он не вошел даже в первые шесть теплых зим. Самой теплой за всю историю наблюдений, по-прежнему, остается зима 2015/2016 года.

3. В целом, зима 2017/2018 года характеризуется преобладанием положительных аномалий среди локальных сезонных оценок: доля положительных аномалий на земном шаре составила 83% станционных оценок (только суша) и 79% оценок в боксах (суша+море). Отмечались обширные положительные аномалии в Арктическом регионе – на 43% станций значения были выше 95-го процентиля, а на 20% перекрыты локальные максимумы. Сезон оказался экстремально теплым для Североатлантического региона.

4. На общем фоне положительных аномалий выделяются крупные отрицательные аномалии на континентах Северного полушария и обширные области с температурой ниже нормы на акваториях океанов Южного полушария и в Антарктиде. Эти отрицательные аномалии составляют, по-видимому, главную особенность текущего зимнего сезона: в Южном океане они наблюдались на протяжении всего сезона, а на континентах Северного полушария – главным образом, в феврале.

5. Несмотря на отмеченные выше крупные отрицательные аномалии температуры на континентах СП в текущем сезоне, локальные оценки трендов за 1976-2018 гг. на территории суши Земного шара практически повсеместно, по-прежнему, указывают на продолжающееся потепление зимних сезонов – положительные тренды составляют 91% всех станционных оценок и 89% оценок в боксах. Наибольшее потепление зим по региональным оценкам отмечается в Арктическом поясе (0.6 ^{o}C/10 лет) и на территории Европы (0.5 ^{o}C/10 лет) – эти оценки, в сравнении с периодом 1976-2017 гг., изменились незначительно. Обширная область практически нулевых или отрицательных (в зависимости от месяца сезона) трендов располагается в Западной Сибири–Казахстане–Монголии. Также небольшие области похолодания наблюдаются на севере Австралии, в Южной Америке, в Восточной Антарктиде и на акваториях океанов Южного полушария. Из отрицательных трендов только 0.5% значимы на 1%-уровне.

6. Устойчивое глобальное потепление зимних сезонов наблюдается с конца 1990-х гг., наиболее сильное – с 2014 г., но, как и для других сезонов, начальной точкой современного потепления зимних сезонов следует считать конец 1970-х гг. (условно принят 1976 г.). Современное потепление (1976-2018 гг.), как и потепление последнего 100-летия (кроме океанических акваторий), в Северном полушарии протекает в 1.7-2.2 раза быстрее, чем в Южном; в обоих полушариях у поверхности суши примерно вдвое быстрее, чем на поверхности океанов. На столетнем интервале 1919-2018 гг. контраст суша-океан существенно выше в Северном полушарии (в 3 раза быстрее) и почти отсутствует в Южном (лишь на 10-20% быстрее).

7. Современное потепление (1976-2018) ускорилось в сравнении со 100-летним (1919-2018) на всей территории Земного шара, но очень неравномерно. Особенно

значительно ускорение над океаническими акваториями Северного полушария (примерно в 3 раза). На территории суши (в обоих полушариях) оно близко к двукратному, а на поверхности океанов Южного полушария держится на уровне 1.3.

8. В заключение приведем глобальные оценки сезонных аномалий приповерхностной температуры текущей зимы, рассчитанные относительно трех базовых периодов:

Базовый период	HadCRUT4 (суша+море), °C			T3288/CRUTEM4 (суша), °C		
	ЗШ	СП	ЮП	ЗШ	СП	ЮП
1981-2010	0.25	0.41	0.08	0.55/0.49	0.64/0.57	0.33/0.35
1961-1990	0.56	0.81	0.30	1.11/1.03	1.33/1.22	0.59/0.63
1880-1900	0.90	1.21	0.59	1.70/1.61	2.00/1.88	1.02/1.07

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

ИГКЭ, 2015. О бюллетене GCCM (read me). URL: http://climatechange.igce.ru /index.php?option=com_docman &task=doc_download&gid=220 &Itemid=76&lang=ru

ИГКЭ, 2018. Сравнение 30-летий:1981-2010 и 1961-1990. URL: http://climatechange. igce.ru/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=220&Itemid=76&lang=ru

Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата России. – Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2012, 195 с.

Г.В. Груза, Э.Я. Ранькова, Э.В. Рочева, О.Ф. Самохина, И.А. Корнева, М.А. Алешина, 2018. Особенности температурного режима у поверхности земного шара в 2017. // Фундаментальная и прикладная климатология. 2018. Т. I. С. 113-137 (в печати).

WMO, 2018: Press Release Number: 18-01-2018/WMO confirms 2017 among the three warmest years on record. https://public.wmo.int/en/media/press-release/wmo-confirms-2017-among-three-warmest-years-record.