

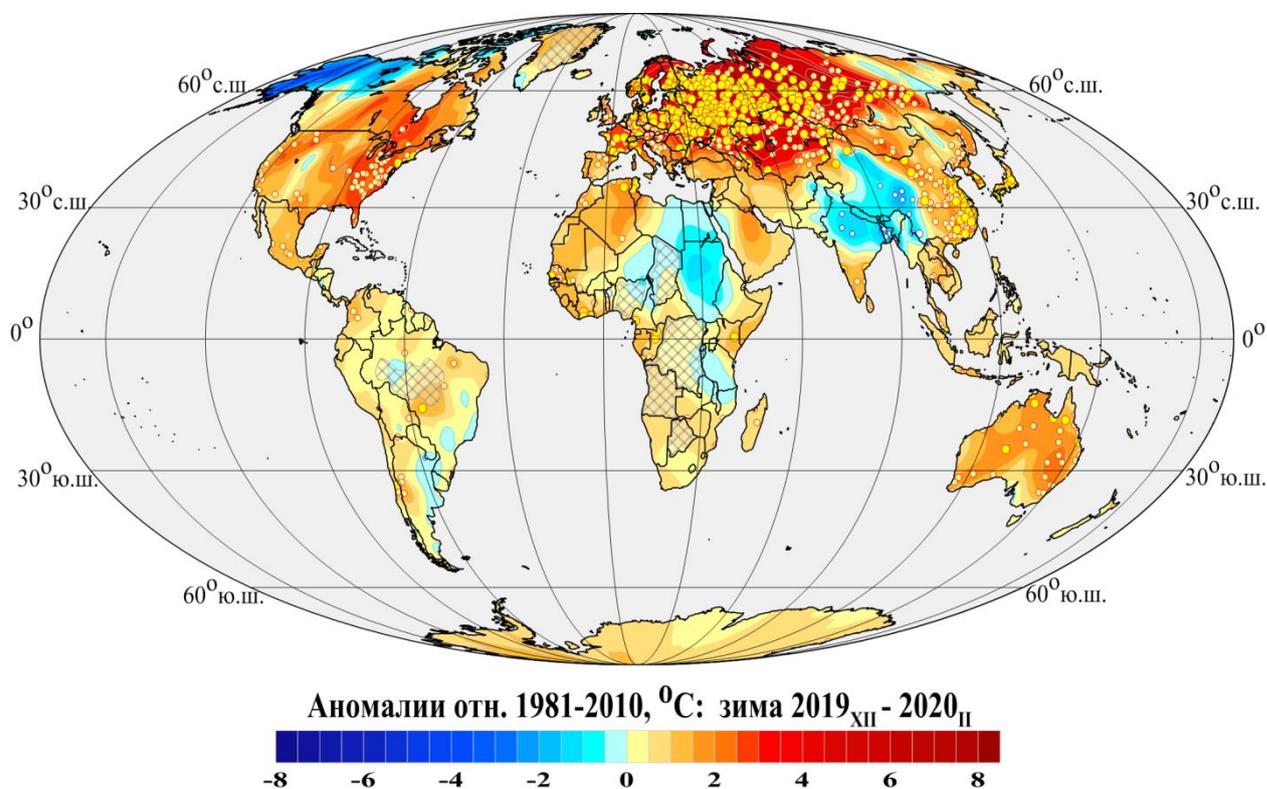
Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу  
окружающей среды

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

# Бюллетень мониторинга изменений климата Земного шара

## Приземная температура

### Зима 2019<sub>XII</sub>-2020<sub>II</sub>



Москва 2020

## ОГЛАВЛЕНИЕ<sup>1,2</sup>

1. ВВЕДЕНИЕ .....	3
2. ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ У ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМНОГО ШАРА ЗИМОЙ 2019-2020 гг. ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ АНОМАЛИИ .....	6
3. КРУПНОМАСШТАБНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ЗЕМНОГО ШАРА ЗА ПЕРИОД ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ 1850-2020 гг. (зимний сезон) .....	11
4. ВРЕМЕННЫЕ РЯДЫ РЕГИОНАЛЬНО ОСРЕДНЕННЫХ АНОМАЛИЙ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ, 1911-2020 гг. (зимний сезон) .....	15
5. ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА, 1976-2020 гг. (зимний сезон) .....	19
6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	23

---

<sup>1</sup> 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/>

<sup>2</sup> На обложке приведено поле средних сезонных аномалий температуры приземного воздуха над сушей Земного шара: зима 2019/2020 гг. (данные Т3288, ИГКЭ)

## 1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящем бюллетене представлены данные о климатических аномалиях температурного режима зимнего сезона 2019-2020 годов у поверхности земного шара и обновленные (с учетом этих данных) оценки тенденций в его изменении в течение 1976–2020 гг. Оценки приведены для сезона в целом и каждого из месяцев (декабрь, январь, февраль).

Бюллетень подготовлен в рамках оперативного мониторинга климата GCCM (Global Climate Change Monitoring) в ФГБУ «ИГКЭ»<sup>3</sup> 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 в процессе оперативного мониторинга на основе сводок КЛИМАТ, СИНОП).

Параллельно в бюллетене приводятся оценки по данным о приповерхностной температуре (температура приземного воздуха над сушей и поверхностного слоя воды на акваториях океанов) на глобальной сети 5-градусных боксов, охватывающей всю территорию земного шара, включая континенты и океаны (массив HadCRUT4, объединяющий данные массивов CRUTEM4 и HadSST3 – данные Великобритании)<sup>4</sup>.

Кроме сеточных данных, в бюллетене используются глобальные временные ряды HadCRUT4, CRUTEM4, HadSST3, которые, как и сеточные данные, ежемесячно скачиваются с сайта производителя и анализируются как дополнительная информация из альтернативного источника. Данные Великобритании используются без какой-либо корректировки; 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. В соответствии с рекомендацией ВМО<sup>5</sup>, все основные оценки приводятся в аномалиях температуры относительно базового периода 1981-2010 гг. Термины «приземная температура» и «приповерхностная температура» рассматриваются в бюллетене как синонимы.

Развернутый комментарий к материалам бюллетеня с описанием используемых источников, сети станций и элементов методики размещен на сайте ИГКЭ<sup>6</sup>.

---

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

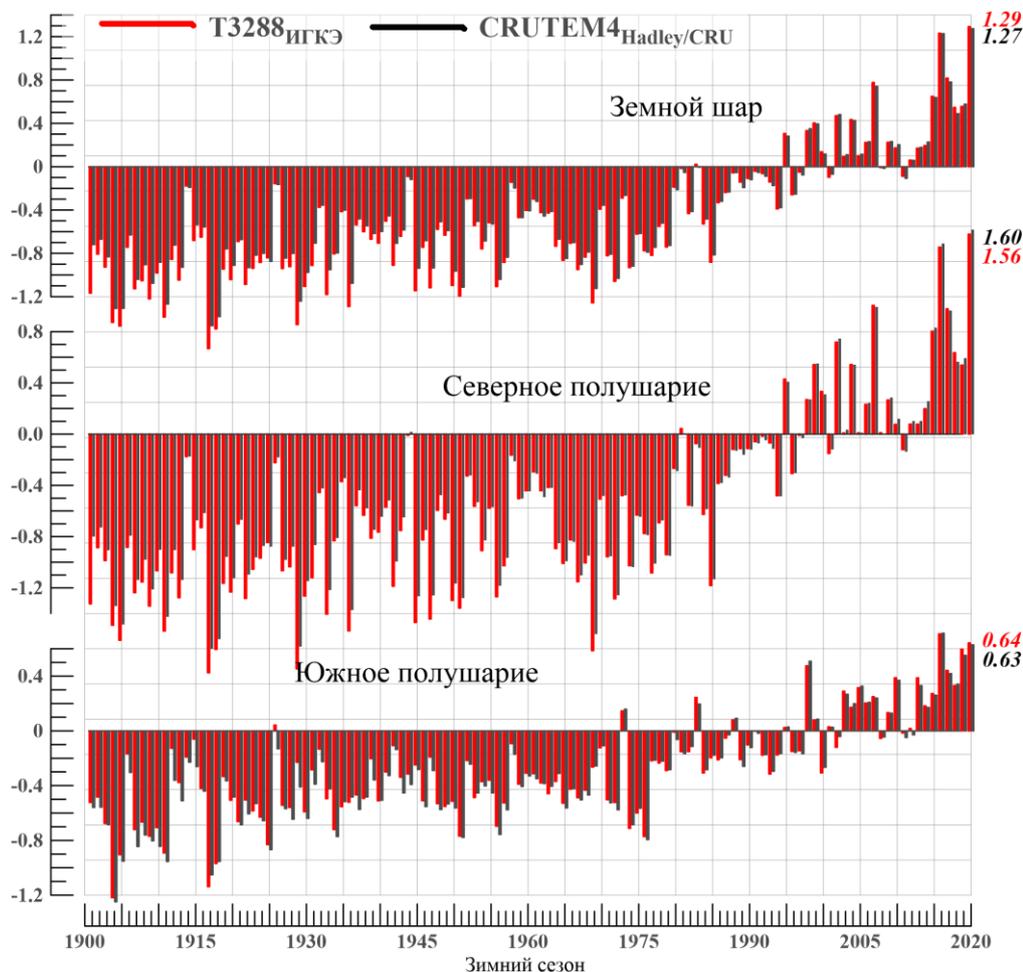
<sup>4</sup> Массивы CRUTEM4 (температура воздуха над сушей), HadSST3 (температура воды на поверхности океанов и морей) и HadCRUT4 (объединенные данные над континентами и океанами) созданы и поддерживаются совместно двумя коллективами Великобритании – Хэдли-центром (Met Office Hadley Centre) и Университетом Восточной Англии (CRU UEA). Данные ежемесячно обновляются и публикуются производителем на web-сайтах <http://www.MetOffice.gov.uk> и <http://www.cru.uea.ac.uk> в форме глобальных сеточных полей (в центрах 5-градусных боксов) и глобально осредненных временных рядов (для Земного шара и обоих полушарий). В данном выпуске использованы данные HadCRUT.4.6.0.0, CRUTEM.4.6.0.0, HadSST.3.1.1.0 от 28.03.2020.

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

<sup>6</sup> О бюллетене GCCM (read me). – [http://climatechange.igce.ru /index.php?option=com\\_docman &task=doc\\_download&gid=220 &Itemid=76&lang=ru](http://climatechange.igce.ru /index.php?option=com_docman &task=doc_download&gid=220 &Itemid=76&lang=ru)

**Сравнение глобальных временных рядов сезонных аномалий температуры приземного воздуха по данным T3288 (ИГКЭ) и CRUTEM4 (Hadley/CRU).** Цель предлагаемого сравнения - с одной стороны, убедиться в репрезентативности массива T3288, а с другой – оценить меру неопределенности оценок, полученных с использованием единой системы наблюдений, но разных методов и технологий сбора данных, их обработки и анализа.

Визуально близость рядов четко начинает прослеживаться с середины прошлого века (рис.1.1). Количественные результаты их сравнения (статистические характеристики попарных разностей) по данным за 1976-2020 гг. (период современного глобального потепления) и 1920-2020 гг. (последнее столетие) приведены в табл. 1.1 для Земного шара, Северного и Южного полушарий. Среднее различие рядов за 1921-2020 гг. не превышает  $0.039^{\circ}\text{C}$  (табл. 1.1, рис. 1.1), а за период 1976-2020 гг.  $0.003^{\circ}\text{C}$ . Стандартное отклонение различий за эти периоды ( $0.027\text{--}0.065^{\circ}\text{C}$ ) на порядок ниже стандартного отклонения самих рядов ( $0.3\text{--}0.67^{\circ}\text{C}$ ). За период с 1976 г. различия не превышали  $0.079^{\circ}\text{C}$ , тогда как в более ранние годы они достигали  $0.257^{\circ}\text{C}$ . При этом во всех случаях ряды характеризуются исключительно высокой корреляцией (не ниже 0.99) и предельно низким различием трендов (до  $\pm 0.013^{\circ}\text{C}/10$  лет).



**Рисунок 1.1** – Временные ряды пространственно осредненных сезонных аномалий температуры приземного воздуха над сушей Земного шара, Северного и Южного полушарий ( $^{\circ}\text{C}$ , 1901-2020 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 2019 /2020 гг.).*

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

Оценка (зимний сезон)	1976-2020			1921-2020		
	ЗШ	СП	ЮП	ЗШ	СП	ЮП
Корреляция рядов	0.999	0.999	0.996	0.996	0.997	0.990
Среднее различие, °С	0.000	-0.003	0.003	-0.035	-0.039	0.020
СКО (сигма) различий, °С	0.027	0.030	0.028	0.065	0.065	0.048
Среднее абсолютное различие, °С	0.022	0.024	0.022	0.048	0.052	0.038
Макс. абсолютное различие, °С	0.075	0.075	0.079	0.229	0.257	0.180
Разность коэфф. тренда, °С/10лет	0.004	-0.004	0.004	0.013	0.013	-0.006
СКО T3288, °С	0.478	0.585	0.295	0.560	0.670	0.338
СКО CRUTEM4, °С	0.466	0.583	0.290	0.518	0.634	0.343

Можно сделать вывод, что статистические оценки изменчивости температуры приземного воздуха, полученные по данным массива T3288, и оценки, полученные по данным эталонного массива CRUTEM4, очень близки между собой.

Согласно данным обоих массивов T3288 и CRUTEM4 (рис. 1.1, табл. 1.2), в этом зимнем сезоне *на суше* произошел резкий скачок приземной температуры после наблюдавшегося снижения в 2017-2019 гг., в результате чего в среднем по Земному шару и Северному полушарию температура вернулась к пиковым значениям 2016 года и даже незначительно превысила их. В Южном полушарии скачок температуры наблюдался предыдущей зимой, а в текущий зимний сезон температура лишь незначительно увеличилась, все еще не достигнув уровня 2016 года.

**Таблица 1.2** – Межгодовые изменения среднегодовой приземной температуры зимнего сезона, в среднем по территории суши Земного шара и полушарий, 2015-2020 гг.

Межгодовые разности	Данные T3288, °С (ИГКЭ)			Данные CRUTEM4, °С (Hadley/CRU)		
	ЗШ	СП	ЮП	ЗШ	СП	ЮП
2017-2016	-0.415	-0.482	-0.267	-0.446	-0.523	-0.294
2018-2017	-0.271	-0.342	-0.111	-0.293	-0.400	-0.078
2019-2018	0.010	-0.097	0.266	0.089	0.029	0.210
2020-2019	0.736	1.023	0.045	0.695	1.003	0.078
2020-2015	0.643	0.758	0.369	0.634	0.766	0.369
2020-2016	0.060	0.102	-0.067	0.045	0.109	-0.084

## 2. ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ У ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМНОГО ШАРА В 2020 ГОДУ. ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ АНОМАЛИИ

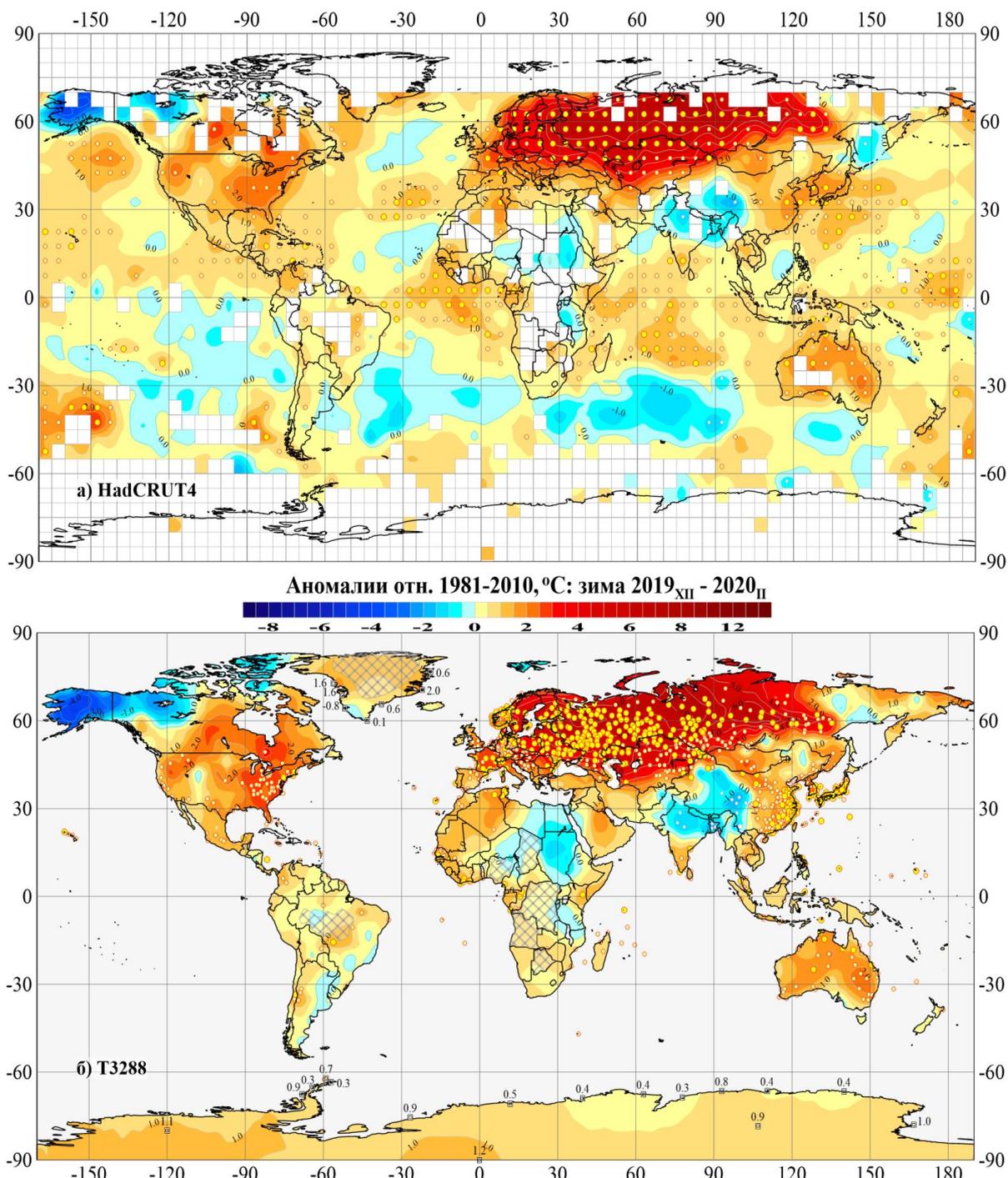
Зимний сезон 2019/2020 стал одним из самых теплых сезонов в целом по всей территории Земного шара и двум полушариям, уступая только сезону 2015/2016 гг. Так, для суши Северного полушария и Земного шара сезон стоит на первом месте, а для суши Южного полушария и всего Мирового океана он стал вторым, после 2015/2016.

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

Ранг	ЗШ		СП		ЮП	
	VT, °C	Год	VT, °C	Год	VT, °C	Год
<b>HadCRUT4 (Hadley/CRU, суша+море)</b>						
1	0.712	2016	0.992	2016	0.432	2016
2	0.642	<b>2020</b>	0.957	<b>2020</b>	0.330	<b>2020</b>
3	0.423	2017	0.622	2007	0.310	1998
4	0.384	2007	0.601	2017	0.297	2019
5	0.372	2015	0.586	2015	0.283	2010
<b>T3288 (ИГКЭ, суша)</b>						
1	1.292	<b>2020</b>	1.562	<b>2020</b>	0.709	2016
2	1.232	2016	1.460	2016	0.642	<b>2020</b>
3	0.817	2017	1.005	2007	0.597	2019
4	0.776	2007	0.978	2017	0.475	1998
5	0.649	2015	0.804	2015	0.442	2017
<b>CRUTEM4 (Hadley/CRU, суша)</b>						
1	1.273	<b>2020</b>	1.595	<b>2020</b>	0.713	2016
2	1.228	2016	1.486	2016	0.629	<b>2020</b>
3	0.782	2017	0.991	2007	0.551	2019
4	0.741	2007	0.963	2017	0.509	1998
5	0.639	2015	0.829	2015	0.419	2017
<b>HadSST3 (Hadley/CRU, море)</b>						
1	0.506	2016	0.598	2016	0.365	2016
2	0.418	<b>2020</b>	0.546	<b>2020</b>	0.285	<b>2020</b>
3	0.342	2019	0.421	2019	0.261	2010
4	0.303	2017	0.396	2017	0.257	2019
5	0.289	2010	0.361	2015	0.251	2017

*Примечание:* в данном бюллетене использованы данные HadSST3 только за декабрь 2019 года и январь 2020 года, т.к. февраль 2020 года на сайте источника отсутствовал.

**Особенности географического распределения сезонных аномалий.** На рисунках 2.1–2.2 представлены пространственные распределения аномалий температуры для сезона в целом и для каждого из зимних месяцев, а в таблицах 2.2–2.4 – оценки для крупных регионов Земного шара. В частности, в таблице 2.2 приведены регионально осредненные значения аномалий (в абсолютной и вероятностной шкале), 2.3 – региональные частотные распределения точечных значений по знаку аномалий и их интенсивности, 2.4 – доля 5%-х экстремумов холода/тепла на территории региона.



**Рисунок 2.1** – Пространственное распределение сезонных аномалий приземной температуры (°С) на территории Земного шара зимой 2019-2020 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 2019/2020 г. рекордно теплые условия сложились в целом на суше Земного шара и Северного полушария и в среднем по территории регионов: Евразия (а также отдельно и Европа и Азия, аномалия в Европе достигла 4.3°С), северная часть Тихого океана, умеренный пояс Северного полушария.

В среднем за зимний сезон 2019/2020 на территории Земного шара преобладали положительные аномалии температуры: 77.3% всех данных (суша+море) и 86.9% только на суше (табл. 2.3, рис. 2.1). Температура ниже климатической нормы наблюдалась в районе полуострова Аляска и северо-востока Канады (до -5.4°C), в северной части Индии и западной части Китая (до -3.5°C), а также на поверхности океанов Южного полушария.

**Таблица 2.2** - Пространственно осредненные значения аномалии приземной температуры на территории Земного шара зимой 2019-2020 гг. (°C) и их вероятности превышения, в среднем за сезон и в каждом из месяцев

Регион	Зима		Декабрь		Январь		Февраль	
	<i>vT</i>	F%	<i>vT</i>	F%	<i>vT</i>	F%	<i>vT</i>	F%
<b>HadCRUT4 (суша+море)</b>								
Земной шар	0.64	99	0.61	99	<b>0.66</b>	<b>100</b>	0.66	99
Северное полушарие	0.96	99	0.81	99	<b>1.01</b>	<b>100</b>	1.05	99
Южное полушарие	0.33	99	0.41	99	0.31	98	0.27	95
Атлантика (15-70N)	0.51	98	0.46	97	0.48	98	<b>0.61</b>	<b>100</b>
Тихий океан (20-65N)	<b>0.61</b>	<b>100</b>	<b>0.66</b>	<b>100</b>	<b>0.61</b>	<b>100</b>	0.57	99
Арктический пояс (65-90N)	1.59	95	1.28	84	1.52	84	1.90	90
Умеренный пояс СП (25-65N)	<b>1.31</b>	<b>100</b>	1.05	99	<b>1.41</b>	<b>100</b>	<b>1.47</b>	<b>100</b>
Тропики (25S-25N)	0.49	97	0.55	98	0.49	98	0.46	97
Умеренный пояс ЮП (65-25S)	0.19	95	0.27	97	0.16	90	0.15	91
Антарктический пояс (90-65S)	0.29	91	0.47	90	0.15	78	0.24	89
<b>IGCE-T3288 (суша)</b>								
Земной шар	<b>1.29</b>	<b>100</b>	1.14	99	<b>1.34</b>	<b>100</b>	1.40	99
Северное полушарие	<b>1.56</b>	<b>100</b>	1.26	99	<b>1.65</b>	<b>100</b>	<b>1.83</b>	<b>100</b>
Южное полушарие	0.64	99	<b>0.87</b>	<b>100</b>	0.57	98	0.42	96
Северная Америка	1.15	93	1.40	88	1.50	95	0.55	81
Евразия	<b>2.31</b>	<b>100</b>	1.42	97	2.50	99	<b>3.01</b>	<b>100</b>
Южная Америка	0.43	96	0.35	94	0.56	97	0.34	92
Африка	0.49	92	0.69	96	0.15	70	0.84	95
Австралия	1.45	99	<b>2.88</b>	<b>100</b>	1.06	97	0.24	76
Антарктида	0.70	99	0.88	87	0.27	78	0.97	93
Европа	<b>4.34</b>	<b>100</b>	3.79	98	4.23	99	5.01	99
Азия	<b>1.76</b>	<b>100</b>	0.78	87	2.04	99	<b>2.47</b>	<b>100</b>
<b>CRUTEM4 (суша)</b>								
Земной шар	<b>1.27</b>	<b>100</b>	1.14	99	<b>1.31</b>	<b>100</b>	1.37	99
Северное полушарие	<b>1.60</b>	<b>100</b>	1.28	99	<b>1.67</b>	<b>100</b>	1.83	99
Южное полушарие	0.63	99	<b>0.86</b>	<b>100</b>	0.59	98	0.43	97

Условные обозначения.

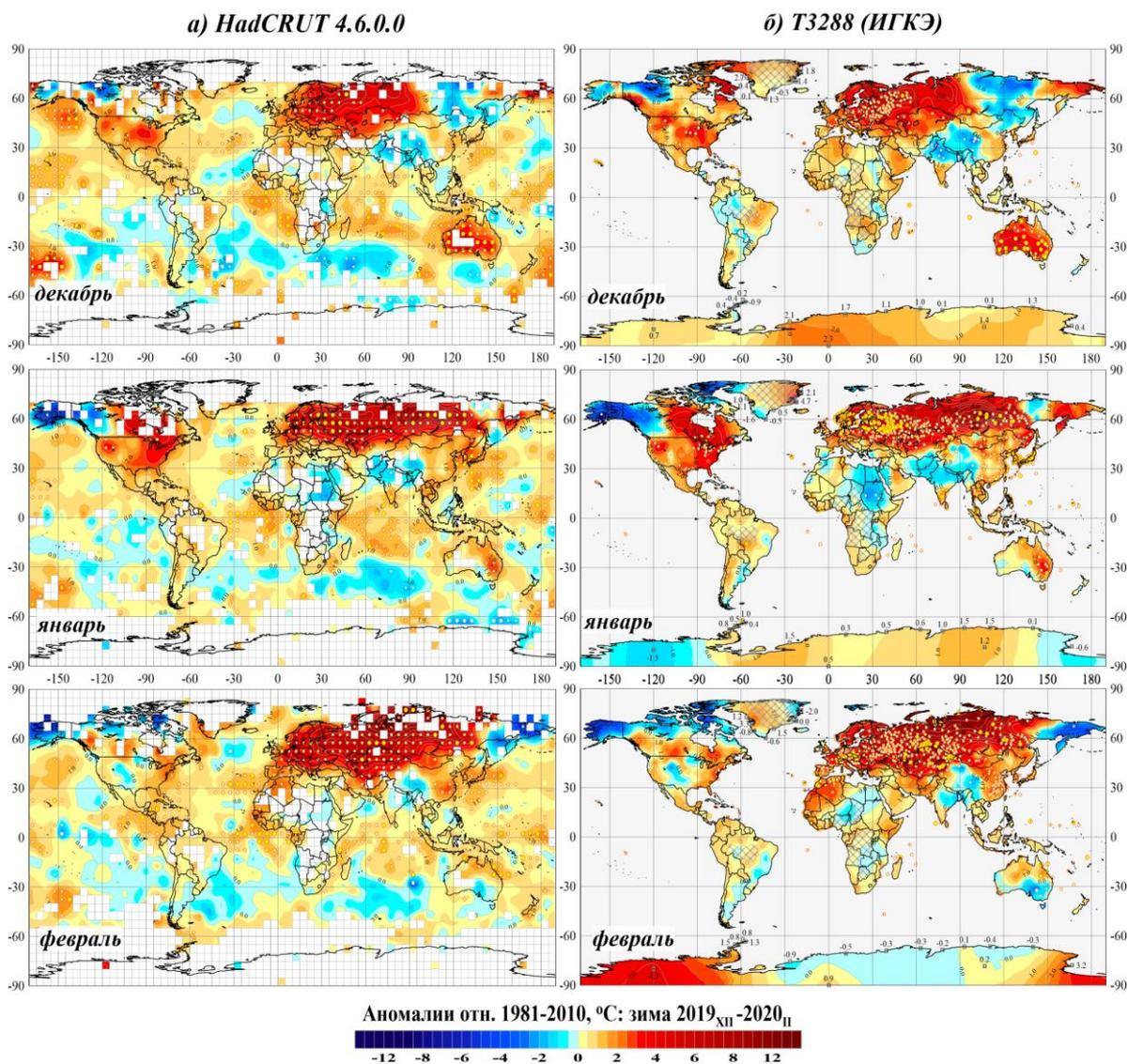
1. *vT*, °C – наблюдаемая аномалия 2019/2020 году (базовый период 1981-2010 гг.);
2. F% – значение эмпирической функции распределения  $F = \text{prob}(X \leq vT_{2019})$  по данным за 1911-2020 гг. (вероятность превышения)
3. Красным шрифтом выделены абсолютные максимумы (наибольшие из всех значений ряда за 1911-2020 гг.), синим - отрицательные аномалии (отсутствуют)

**Главной особенностью сезона** стали экстремально теплые условия в Евразии и Антарктиде (доля положительных аномалий на этих континентах составила 100%, табл. 2.3), как в среднем за сезон, так и в отдельные месяцы (табл. 2.3, 2.4). В Евразии многочисленные экстремумы наблюдались в течение всего сезона (рис. 2.2); в феврале

средняя температура по континенту достигла рекордного значения (табл. 2.2), а доля сезонных 5%-х экстремумов тепла составила 51.7% всех стационарных данных (среди них абсолютных максимумов - 26.5%). При этом в Европе соответствующие значения составили 80.6% и 50% (табл. 2.3).

В целом по Земному шару, доля сезонных 5%-х экстремумов тепла составила 27% всех данных HadCRUT4 (суша+море) и 42.5% данных станций T3288 (только суша), в том числе 18.9% - абсолютные максимумы (табл. 2.3). Многочисленные локальные экстремумы тепла отмечены на территории Азии (Средняя Азия, восточные районы Китая, Япония) и Восточного побережья США, Австралии (табл. 2.2, 2.3, рис. 2.1). При этом в Австралии абсолютный максимум в среднем по континенту, а также локальные максимумы, были достигнуты в декабре. На акваториях океанов основные очаги тепла располагались на севере Тихого океана (рекорды в среднем за сезон, декабрь и январь, табл. 2.2, рис. 2.2). В феврале рекордно теплым был север Атлантики (табл. 2.2).

Всего на территории Земного шара средние за сезон отрицательные аномалии зафиксированы на 18.8% всех боксов, в их числе 0.6% отнесены к категории 5%-х экстремумов холода, и всего 0.1% локальных минимумов (рис. 2.1, табл. 2.3).



**Рисунок 2.2** – См. рис. 2.1, но для средних месячных аномалий приповерхностной температуры в течение зимнего сезона 2019/2020 года.

**Таблица 2.3** – Частотное распределение сезонных локальных аномалий на территории Земного шара зимой 2019-2020 гг. по данным массивов T3288 и HadCRUT4 (все значения приведены в процентах от NN)

Регион NN - число боксов/ станций		Число значений в каждой категории (в % от NN)						
		Аномалии (отн. 1981-2010 гг.)			5%-е экстремумы холода/тепла		Абсолютные экстремумы	
		$V < 0$	$V = 0$	$V > 0$	$X \leq P_{05}$	$X \geq P_{95}$	$X = \min$	$X = \max$
<b>HadCRUT4 (суша+море)</b>								
ЗШ	1751	18.8	3.8	77.3	0.6	27.2	0.1	8.6
СП	953	11.6	2.9	85.4	0.5	33.3	0.1	11.4
ЮП	798	27.4	4.9	67.7	0.8	20.1	0.1	5.3
90-65N	89	18.0	1.1	80.9	-	12.4	-	2.2
65-25N	538	9.9	2.2	87.9	0.6	34.9	-	14.1
25S-25N	652	15.3	4.8	79.9	0.5	35.9	0.2	9.7
25-65S	453	34.9	5.1	60.0	0.9	9.7	-	2.2
65-90S	19	15.8	-	84.2	5.3	-	5.3	-
<b>T3288 (только суша)</b>								
ЗШ	2272	11.7	1.4	86.9	0.8	42.5	0.1	18.9
СП	1945	10.8	0.8	88.3	0.9	45.2	0.2	21.3
ЮП	328	16.5	4.9	78.7	0.3	26.5	-	4.9
С. Америка	309	10.0	-	90.0	-	24.3	-	1.3
Евразия	1352	10.1	0.8	89.1	1.3	51.7	0.1	26.5
Ю. Америка	149	25.5	6.0	68.5	0.7	12.1	-	2.0
Африка	147	21.1	3.4	75.5	0.7	26.5	0.7	13.6
Австралия	75	6.7	1.3	92.0	-	49.3	-	9.3
Антарктида	18	-	-	100.0	-	16.7	-	-
Европа	453	-	-	100.0	-	80.6	-	50.1
Азия	906	15.1	1.2	83.7	1.9	37.3	0.2	14.7

Условные обозначения:

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

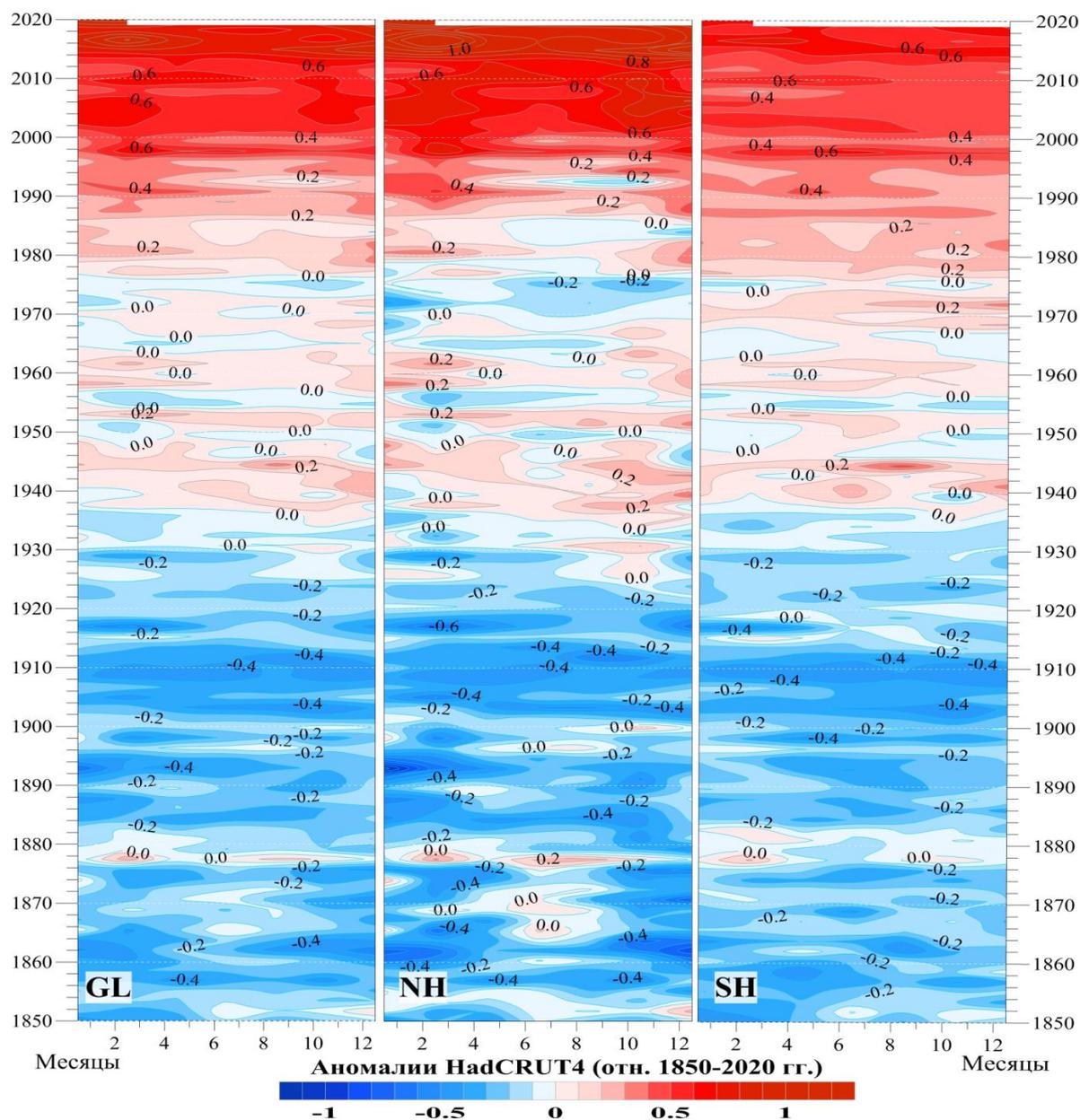
**Таблица 2.4** - Доля 5%-х экстремумов холода/тепла в крупных регионах Земного шара в отдельные месяцы зимнего сезона 2019/2020 гг. (T3288, только суша!)

Регион	Всего станций N	Декабрь 2019		Январь 2020		Февраль 2020	
		$X < P_{05}$	$X \geq P_{95}$	$X < P_{05}$	$X \geq P_{95}$	$X < P_{05}$	$X \geq P_{95}$
Земной шар	2272	1.0	15.4	0.3	30.4	0.6	31.1
С. полушарие	1945	1.1	13.6	0.4	32.3	0.4	34.6
Южн. полушарие	328	0.3	25.9	-	19.4	1.5	14.1
С. Америка	309	-	7.2	0.7	18.0	-	4.9
Евразия	1352	1.5	13.3	0.1	35.9	0.5	41.1
Ю. Америка	149	-	9.3	-	9.9	0.7	7.3
Африка	147	0.7	17.7	2.1	16.1	0.8	35.9
Австралия	75	-	65.8	-	27.8	3.7	9.7
Антарктида	18	-	11.8	-	33.3	-	11.1
Европа	453	-	30.9	-	55.2	-	66.2
Азия	906	2.2	4.4	0.2	26.1	0.8	28.6
Арктика, 65-90с.ш.	133	-	3.8	-	6.8	0.8	27.1

Примечание. Процентное содержание экстремумов рассчитано по всем доступным станционным данным соответствующего месяца/сезона в рассматриваемом регионе (см. N). Значения 5-го 95-го процентилей ( $P_{05}$ ,  $P_{95}$ ) рассчитаны для каждого календарного месяца и каждой станции по данным за 1911-2020 гг.

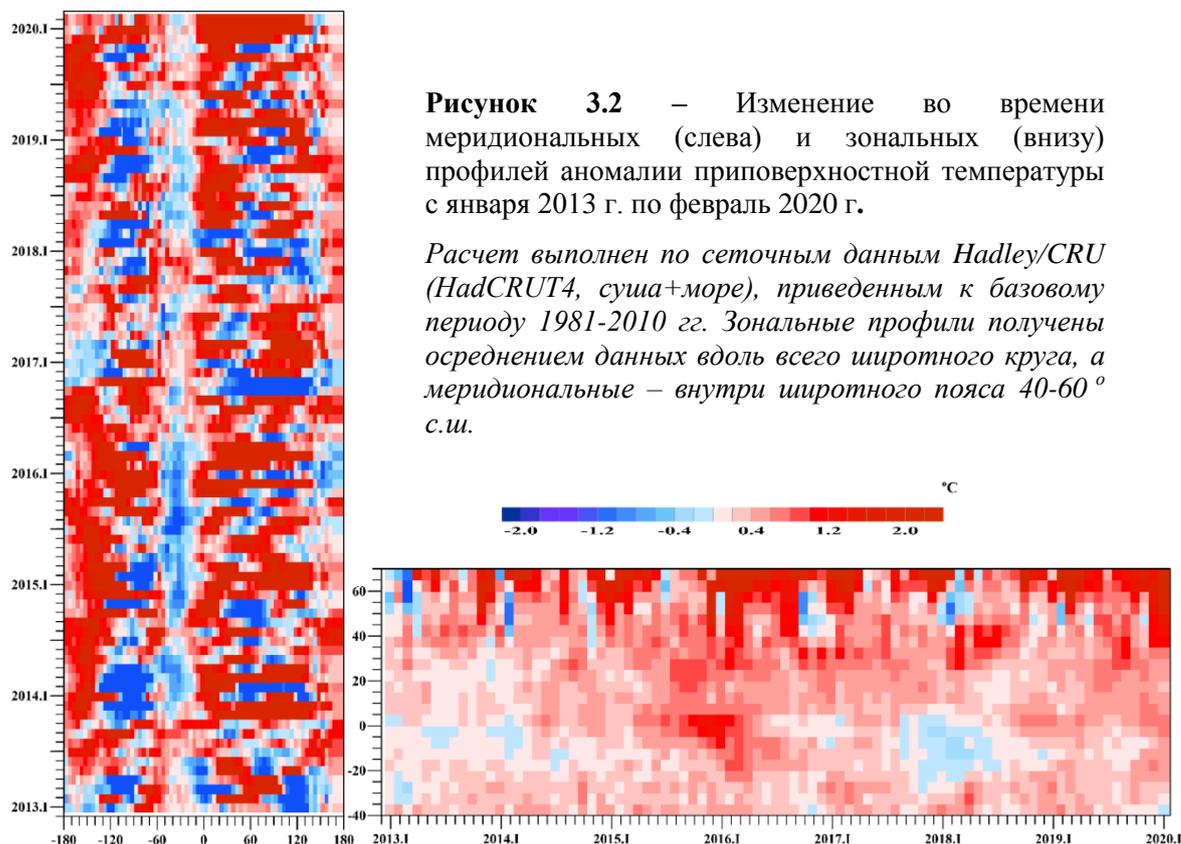
### 3. КРУПНОМАСШТАБНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ЗЕМНОГО ШАРА ЗА ПЕРИОД ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ, 1850-2020 гг.

**Межгодовые и межмесячные изменения глобальной температуры.** Рисунок 3.1 иллюстрирует изменение глобальной температуры от года к году (по вертикали) и от месяца к месяцу (по горизонтали). На рисунке 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.



**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 2020 гг. (по данным HadCRUT4, Hadley/CRU, UK). Аномалии выражены как отклонения от средней за 1850-2020 гг.

**Широтно-долготные разрезы.** Наличие интенсивных положительных аномалий на континентах Северного полушария в зимний сезон 2019/2020 можно увидеть и в широтно-долготных профилях приповерхностной температуры (рис. 3.2). В меридиональных профилях отрицательные аномалии проявились лишь в Атлантике и на северо-западе Северной Америки (рис. 3.2а). В зональных профилях (рис. 3.2б) ярко видно, что экстремально теплыми в этот сезон были северные умеренные широты (35-65 °с.ш.), притом что остальные зональные средние (севернее 40° ю.ш.) также показали значения выше климатической нормы.



**Рисунок 3.2** – Изменение во времени меридиональных (слева) и зональных (внизу) профилей аномалии приповерхностной температуры с января 2013 г. по февраль 2020 г.

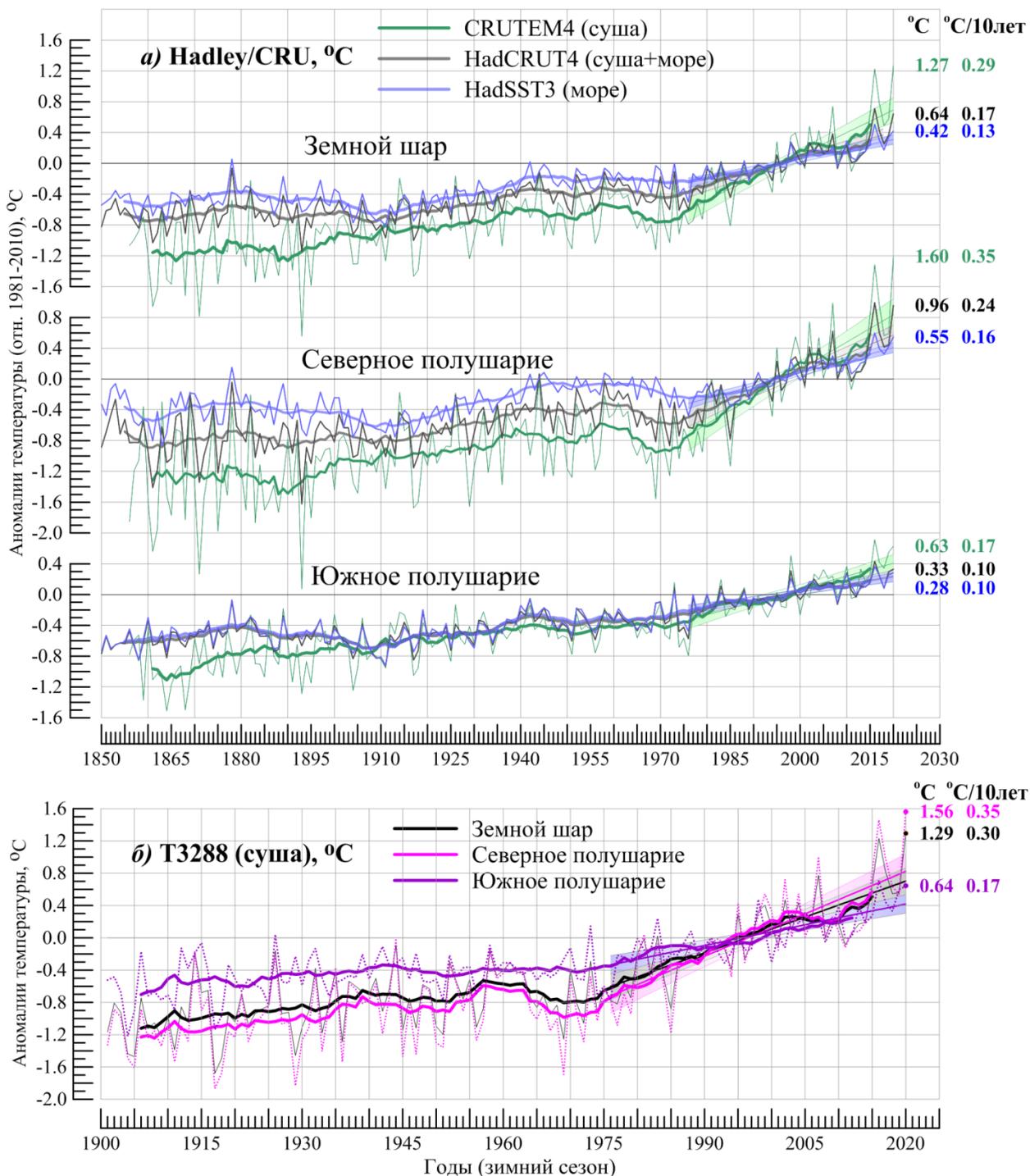
*Расчет выполнен по сеточным данным Hadley/CRU (HadCRUT4, суша+море), приведенным к базовому периоду 1981-2010 гг. Зональные профили получены осреднением данных вдоль всего широтного круга, а меридиональные – внутри широтного пояса 40-60° с.ш.*

**Временные ряды глобально осредненной температуры.** На рисунке 3.3 можно видеть резкое повышение глобальной зимней температуры от 2019 к 2020 году, особенно заметное на суше Северного полушария (в сравнении с 1976-2019 гг., оно привело к увеличению коэффициента тренда сразу на 0.02°С/10лет). Скорости потепления для зимних сезонов (и месяцев) для полушарий и Земного шара представлены в таблице 3.1.

Из сравнения интенсивности (средней скорости) потепления в разных категориях данных видно, что:

- потепление (и современное, и в целом за 100 лет) над сушей протекает быстрее, чем над океанами:  $k_1=1.3-3.0$  (больше 1). Отметим, что в последние 40-50 лет этот контраст («континенты - океаны») в Южном полушарии усилился, а в Северном полушарии, наоборот, стал слабее;
- в Северном полушарии средняя скорость потепления выше, чем в Южном:  $k_2=1.7-2.1$ , за исключением поверхности океанов на 100-летнем интервале – здесь  $k_2=0.8$  (меньше 1); для современного потепления  $k_2 \approx 2.0$  и на суше, и на поверхности океанов;
- современное потепление ускорилося по сравнению со 100-летним в  $k_3=2.0-3.0$  раз в Северном полушарии и только в  $k_3=1.3-1.9$  раза – в Южном.

При этом в Северном полушарии ускорение происходит более интенсивно на поверхности океанов ( $k_3=3.0$ ), а в Южном – над сушей ( $k_3=1.8-1.9$ ). Можно предположить, что ускорение потепления поверхности океанов Северного полушария в последние десятилетия является определяющим процессом для всех перечисленных особенностей современного потепления.



**Рисунок 3.3** – Временные ряды сезонных аномалий приземной температуры (зима), осредненных по территории Земного шара, Северного и Южного полушарий: а) по данным Hadley/CRU, 1850-2020: HadCRUT4, суша+море; CRUTEM4, суша; HadSST3, море; б) по данным ИГКЭ, 1901-2020: T3288, суша.

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

**Таблица 3.1** - Коэффициенты линейного тренда (°C/10 лет) глобальных временных рядов приземной температуры за 1976-2020 гг. и 1921-2020 гг., зимний сезон

Регион	1976-2020				1921-2020			
	Зима	XII	I	II	Зима	XII	I	II
<i>HadCRUT4 (суша+море)</i>								
Земной шар	0.172	0.172	0.169	0.176	0.088	0.085	0.087	0.092
Северное полушарие	0.241	0.241	0.233	0.250	0.102	0.097	0.097	0.111
Южное полушарие	0.103	0.102	0.105	0.102	0.074	0.072	0.077	0.073
<i>T3288-ИГКЭ (суша)</i>								
Земной шар	0.296	0.286	0.299	0.307	0.151	0.136	0.150	0.167
Северное полушарие	0.350	0.333	0.349	0.374	0.173	0.154	0.168	0.198
Южное полушарие	0.171	0.175	0.183	0.151	0.088	0.087	0.098	0.078
<i>CRUTEM4 (суша)</i>								
Земной шар	0.292	0.282	0.292	0.302	0.138	0.129	0.134	0.151
Северное полушарие	0.354	0.335	0.348	0.380	0.160	0.146	0.150	0.184
Южное полушарие	0.168	0.177	0.180	0.146	0.094	0.095	0.102	0.086
<i>HadSST3 (море)</i>								
Земной шар	0.128	0.133	0.125	0.122	0.063	0.061	0.064	0.062
Северное полушарие	0.165	0.176	0.161	0.153	0.056	0.057	0.056	0.053
Южное полушарие	0.096	0.093	0.095	0.098	0.072	0.068	0.073	0.073

**Таблица 3.2** – Сравнение средней скорости глобального потепления (у поверхности) в разных «факторных» подгруппах, в среднем за зимний сезон 2019/2020 года

$k_1$	Показатель	1976-2020			1921-2020		
		ЗШ	СП	ЮП	ЗШ	СП	ЮП
$k_1$	$b_{T3288}/b_{HadSST3}$	2.31	2.12	1.78	2.40	3.09	1.22
	$b_{CRUTEM4}/b_{HadSST3}$	2.28	2.15	1.75	2.19	2.86	1.31
$k_2$	$b_{СП}/b_{ЮП}$	1976-2020			1921-2020		
		T3288	CRUTEM	HadSST	T3288	CRUTEM	HadSST
		2.05	2.11	1.72	1.97	1.70	0.78
$k_3$	$b_{1976-2020}/b_{1921-2020}$	СП			ЮП		
		T3288	CRUTEM	HadSST	T3288	CRUTEM	HadSST
		2.02	2.21	2.95	1.94	1.79	1.33

#### 4. ВРЕМЕННЫЕ РЯДЫ РЕГИОНАЛЬНО ОСРЕДНЕННЫХ АНОМАЛИЙ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ, 1911-2020 гг.

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 1976-2020 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 (1976-2020 гг., °C/10 лет) регионально осредненных аномалий приземной температуры (зимний сезон и по месяцам)

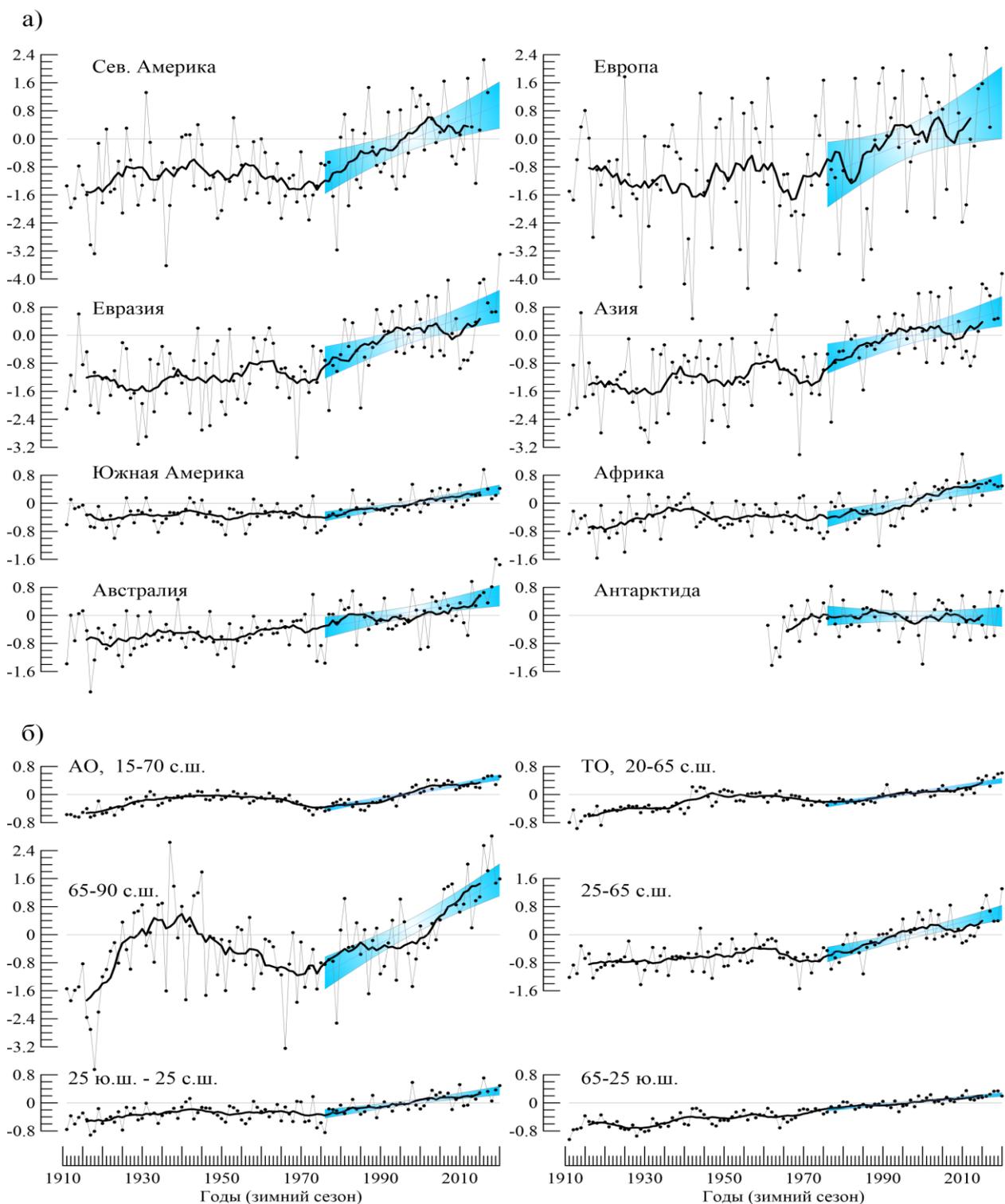
Регион	Зима	Декабрь	Январь	Февраль
<i>HadCRUT4 (суша+море)</i>				
Атлантика (15-70N)	0.203	0.212	0.206	0.193
Тихий океан (20-65N)	0.155	0.167	0.142	0.156
Арктический пояс (65-90N)	0.604	0.675	0.467	0.683
Умеренный пояс СП (25-65N)	0.271	0.251	0.279	0.285
Тропики (25S-25N)	0.150	0.160	0.144	0.146
Умеренный пояс ЮП (65-25S)	0.094	0.086	0.100	0.095
Антарктический пояс (90-65S)	<b>-0.056</b> <sub>9%</sub>	<b>-0.050</b> <sub>27%</sub>	<b>-0.072</b> <sub>10%</sub>	<b>-0.043</b> <sub>18%</sub>
<i>T3288 (только суша)</i>				
Северная Америка	0.398	0.485	0.533	0.203
Евразия	0.367	*0.277	0.334	0.497
Южная Америка	0.173	0.163	0.192	0.160
Африка	0.243	0.259	0.200	0.273
Австралия	0.206	*0.201	0.298	0.107
Антарктида	<b>-0.007</b> <sub>99%</sub>	<b>-0.047</b> <sub>67%</sub>	<b>-0.018</b> <sub>94%</sub>	0.035/ <sub>84%</sub>
Европа	0.583	*0.544	*0.521	*0.684
Азия	0.308	0.208 <sub>8%</sub>	*0.283	0.444

*Примечание.* Оценки, приведенные без дополнительных отметок, статически значимы на 1%-уровне, отмеченные звездочкой – на 5%. Остальные оценки ( $\alpha > 5\%$ ) затенены, а их уровень значимости указан в той же ячейке нижним индексом. Синим шрифтом выделены отрицательные значения (тенденция к похолоданию).

Как следует из табл. 4.1, Антарктика – единственный регион с отрицательным трендом, в среднем за зимний сезон и в декабре-январе. Во всех этих случаях вероятность ложного тренда более 9%, а в случае Антарктического континента – 66-99%, т.е. здесь можно уверенно говорить об отсутствии устойчивой однонаправленной тенденции в изменении температуры данного сезона (лето Южного полушария) в последние 10-летия.

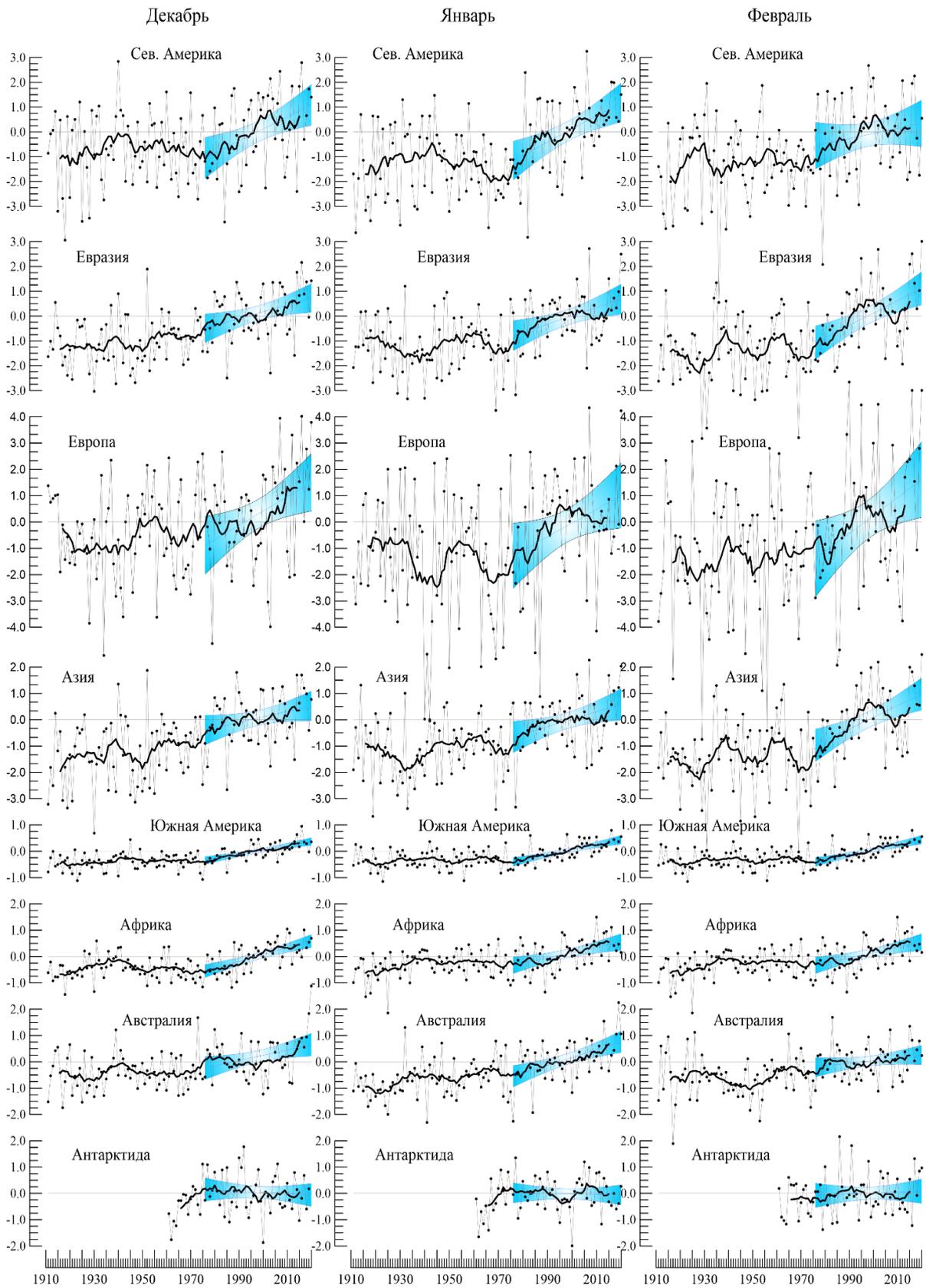
Во всех остальных регионах, в среднем по территории и за сезон, сохраняется тенденция к потеплению, статистически значимая на 1%-м уровне (месячные оценки для евразийских регионов менее надежны). Регион наиболее интенсивного потепления – Арктика (+0.60°C/10 лет в целом за сезон, наибольший в феврале 0.68°C/10 лет), а на суше

– Европа ( $0.58^{\circ}\text{C}/10$  лет в среднем за сезон). Более детально проследить многолетний ход приземной температуры в каждом регионе можно на рисунках 4.1-4.3. и по соответствующим оценкам современных тенденций в их изменении в таблице 4.1.

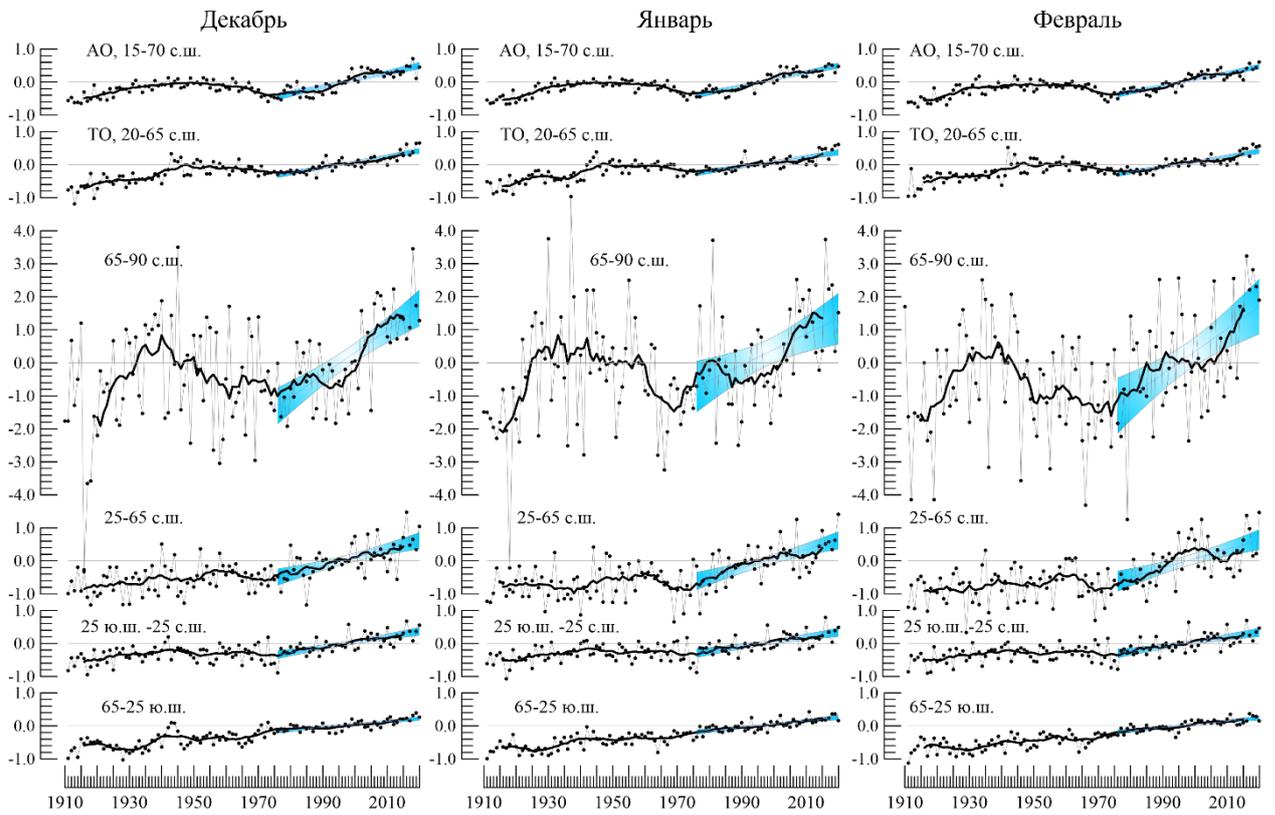


**Рисунок 4.1** – Временные ряды пространственно осредненных аномалий приземной температуры зимнего сезона для континентов (а), северных частей Атлантического и Тихого океанов (б,верху) и основных широтных поясов земного шара (б,внизу).

*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 1976–2020 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 T3288



**Рисунок 4.3** – См. рис. 4.1., 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, 1976-2020 гг.

В главе представлены географические распределения коэффициентов линейного тренда приповерхностной температуры за 1976-2020 гг. для зимнего сезона (рис.5.1.) и отдельно для каждого месяца (рис. 5.2). Используются данные наблюдений на 2256 станциях (массив Т3288) и в центрах 1713 боксов (массив HadCRUT4), для которых своевременно поступили данные за 2019<sub>ХП</sub>-2020<sub>П</sub>. В таблице 5.1 приведено количественное распределение коэффициентов тренда в зависимости от географического региона, направленности тренда и уровня значимости. В ячейках таблицы для каждого региона указано реальное число учтенных данных (станций/боксов) в регионе и их доля в каждой анализируемой выборке.

**Таблица 5.1** – Распределение локальных оценок тренда за 1976-2020 гг. в зависимости от знака коэффициента тренда  $b$  и уровня значимости  $\alpha$

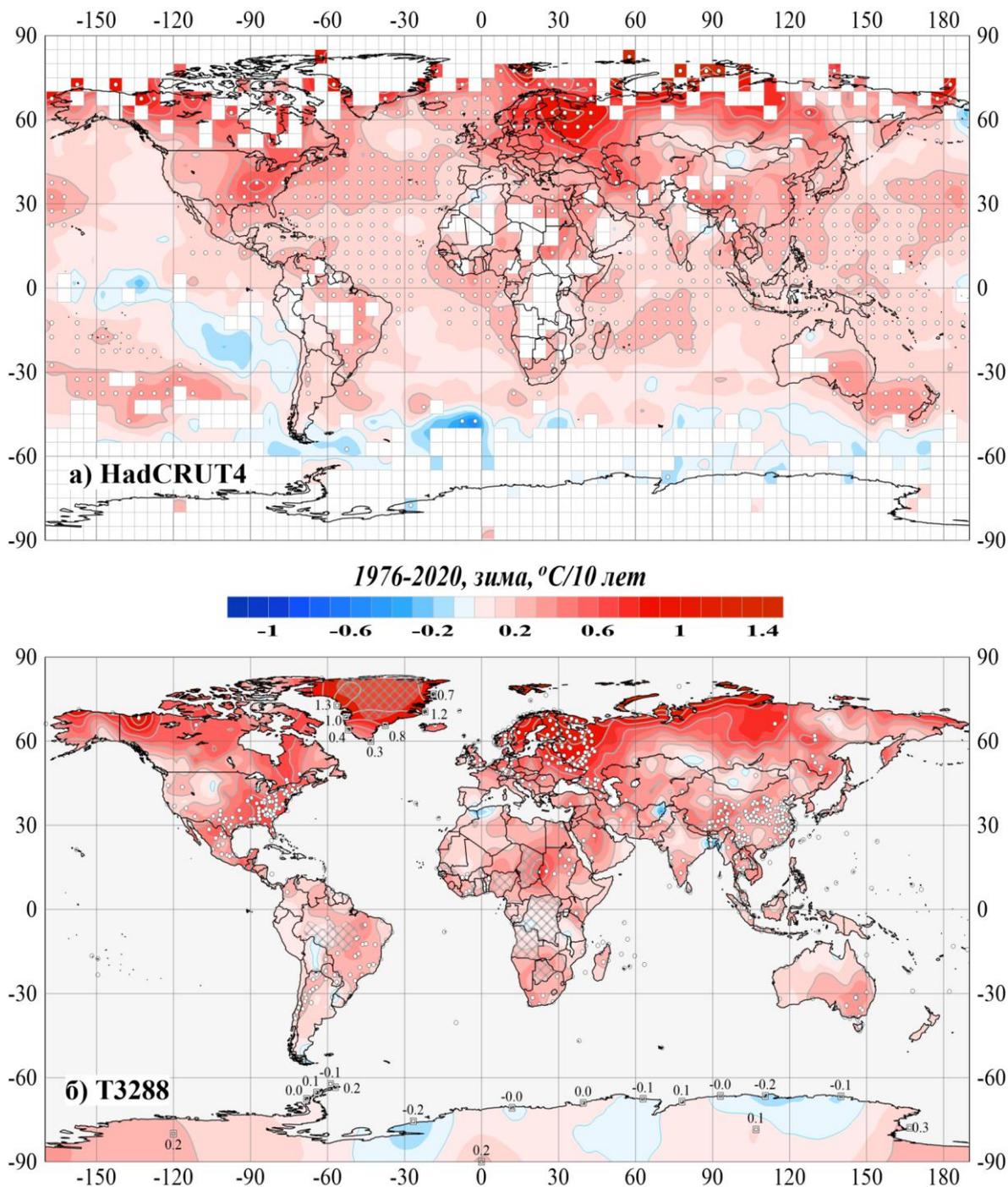
Регион	N	$b < 0$			$b = 0$	$b > 0$		
		всего	$\alpha \leq 0.01$	$\alpha \leq 0.05$		всего	$\alpha \leq 0.01$	$\alpha \leq 0.05$
<b>HadCRUT4 (суша+море)</b>								
ЗШ	1713	9.5	0.3	1.1	0.8	89.7	39.7	53.0
СП	948	2.2	-	0.1	0.3	97.5	49.5	62.3
ЮП	765	18.4	0.7	2.4	1.4	80.1	27.6	41.4
90-65 с.ш.	84	1.2	-	-	-	98.8	61.9	77.4
65-25с.ш.	538	1.9	-	-	0.6	97.6	40.7	54.8
25Сш.-25ю.ш.	652	6.4	-	0.6	0.5	93.1	53.5	65.5
25-65 ю.ш.	422	23.5	0.7	2.8	1.9	74.6	14.2	28.7
65-90 ю.ш.	17	58.8	11.8	17.6	-	41.2	-	-
<b>Т3288 (только суша)</b>								
ЗШ	2256	5.8	0.2	0.4	0.4	93.8	35.4	55.6
СП	1934	4.9	0.3	0.5	0.4	94.7	34.7	55.5
ЮП	323	11.1	-	-	0.9	87.9	39.3	55.7
С. Америка	307	3.3	-	-	-	96.7	40.7	55.7
Евразия	1350	4.8	0.3	0.4	0.5	94.7	30.6	52.9
Ю. Америка	146	12.3	0.7	0.7	0.7	87.0	37.0	52.1
Африка	139	12.9	-	1.4	-	87.1	40.3	55.4
Австралия	75	2.7	-	-	-	97.3	30.7	58.7
Антарктида	18	50.0	-	-	-	50.0	-	5.6
Европа	453	0.4	-	-	-	99.6	38.9	72.6
Азия	904	7.0	0.4	0.7	0.8	92.3	26.5	43.0

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

Потепление зимних сезонов наблюдается на большей части Земного шара – локальные положительные тренды составляют 93.8 % по данным Т3288 и 89.7% по данным HadCRUT4, а из 9.5% отрицательных трендов (HadCRUT4) статистически значимыми на 1%-м уровне оказались только 0.3% (табл. 5.1).

В Арктическом регионе 99% всех оценок положительны, из них 62% значимы на 1%-м уровне, здесь по-прежнему сохраняются высокие значения коэффициентов тренда

(более  $1.0^{\circ}\text{C}/10$  лет). Область наиболее интенсивных трендов охватывает также северную территорию Европы (ЕЧР, Скандинавия), восточное побережье Северной Америки и Китая (рис. 5.1). По точечным данным максимальная скорость потепления зимних сезонов отмечается на островах Карского и Баренцева морей ( $+2.20 \dots +2.59^{\circ}\text{C}/10$ лет). В то же время на всех континентах отмечаются области статистически незначимого



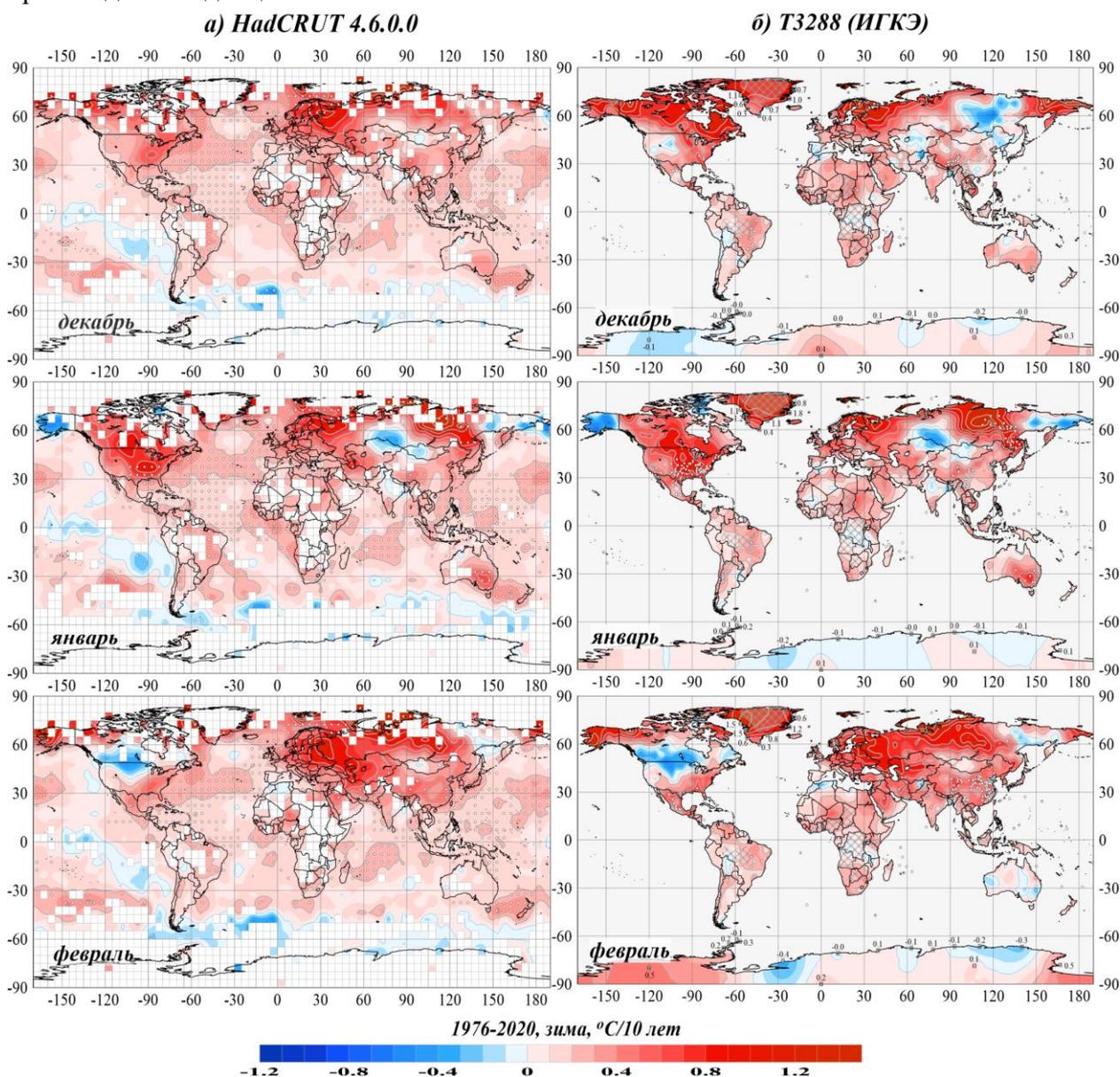
положительного тренда, наиболее обширные из которых расположены в центре Евразии, Южной Америки и на севере Австралии.

**Рисунок 5.1** – Пространственное распределение коэффициентов линейного тренда сезонных аномалий температуры у поверхности Земного шара, 1976-2020 (зима),  $^{\circ}\text{C}/10$  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, на которых тренд статистически значим на 1%-м уровне (с черной обводкой) или на 5%-м уровне (без обводки).

На акваториях Мирового океана также преобладает положительный тренд, притом в Северном полушарии статистически значимый, преимущественно, на 1%-м уровне (рис. 5.1). Отрицательный тренд отмечается на акваториях Южного полушария: на юге Атлантического и Индийского океанов, в экваториальной зоне Тихого океана и у западного побережья Южной Америки.

В пространственном распределении месячных трендов, как и сезонных, преобладает тенденция к потеплению.



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

Также в течение всего сезона, на всех континентах выделяются области отрицательного тренда. Наиболее значительные из них наблюдались в Северной Америке (до  $-1^{\circ}\text{C}/10$  лет) и Сибири (до  $-0.8^{\circ}\text{C}$ ). В декабре они отмечены на территории Дальнего Востока и Восточной Сибири, в январе - на Аляске и Чукотке, в феврале – на границе США и Канады. Однако практически все они статистически не значимы даже на 10%-

уровне. На акваториях океанов в каждом из зимних месяцев сохраняются особенности сезонного распределения.

**Таблица 5.2** – Доля статистически значимых на 5%-м уровне оценок линейных трендов в крупных регионах *на суше* Земного шара в зимние месяцы 1976-2020 гг. (в зависимости от региона и знака тренда)

Регион	Декабрь 2019		Январь 2020		Февраль 2020	
	b<0	b>0	b<0	b>0	b<0	b>0
Земной шар	0.3	28.8	0.0	38.0	0.0	36.7
Северное полушарие	0.3	27.2	0.1	37.0	0.1	38.5
Южное полушарие	0.3	38.5	-	43.6	-	27.3
Северная Америка	-	26.2	-	59.0	-	21.5
Евразия	0.3	22.0	-	29.6	0.1	40.1
Южная Америка	0.7	29.9	0.7	42.6	-	33.8
Африка	1.5	47.4	-	29.9	-	35.3
Австралия	-	41.1	-	54.2	-	8.9
Антарктида	-	5.9	-	-	-	-
Европа	0.2	26.0	-	32.2	-	42.7
Азия	0.3	19.8	-	28.3	0.1	38.8
Арктика, 65-90с.ш.	-	59.4	-	51.9	-	28.7

*Примечание.* Таблица обобщает распределение оценок на рис. 5.2. Процентное содержание рассчитано относительно N (N - общее количество станций/боксов в регионе).

## 6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- Сезонная аномалия приповерхностной температуры зимой 2019/2020 гг., в среднем по территории Земного шара, Северного и Южного полушарий (суша+море), составила 0.64°C, 0.96°C, 0.33°C, соответственно. Для суши Земного шара и Северного полушария сезон стал рекордно теплым, а для остальных категорий данных – вторым самым теплым после зимы 2015/2016.

- В целом по Земному шару, на 77% всех станций (суша) и 87% боксов (суша+море) средняя за сезон температура была выше климатической нормы, с многочисленными экстремумами. Общее число сезонных 5%-х экстремумов тепла составило, соответственно, 42.5%(суша) и 27%(суша+море). В Евразии доля 5%-х экстремумов тепла достигла 51.7% (из них 26.5% - рекорды), в Европе – 80.6% (рекордов - 50%).

- В Евразии в течение всего сезона наблюдались многочисленные температурные максимумы, а в среднем за сезон и в феврале средняя по континенту температура достигли абсолютного максимума. Рекордно теплые условия сложились также в северной части Тихого океана, в умеренном поясе Северного полушария, в Австралии (в декабре 2019 г).

- На большей части Земного шара продолжается потепление зимних сезонов: положительные тренды составляют 90% всех локальных оценок по данным на континентах и океанах (HadCRUT4) и 94% по данным наземных станций (T3288). Отрицательные тренды составляют менее 10%, и 0.2-0.3% из них статистически значимы на 1%-м уровне.

- Область наиболее интенсивного потепления – Арктика (+0.60°C/10 в среднем по арктическому широтному поясу), а на суше - Европа (0.58 °C/10 лет в среднем по региону). По локальным данным максимальная скорость потепления зимних сезонов отмечается на островах Карского и Баренцева морей (+2.20 ... +2.59° C/10лет). Также в течение всего сезона, на всех континентах выделяются области слабого отрицательного тренда, статистически не значимые даже на 10%-м уровне.

- Увеличение интенсивности современного потепления и более высокая его скорость в Северном полушарии, видимо, отчасти обусловлена ускорением потепления поверхности океанов Северного полушария в последние десятилетия.