

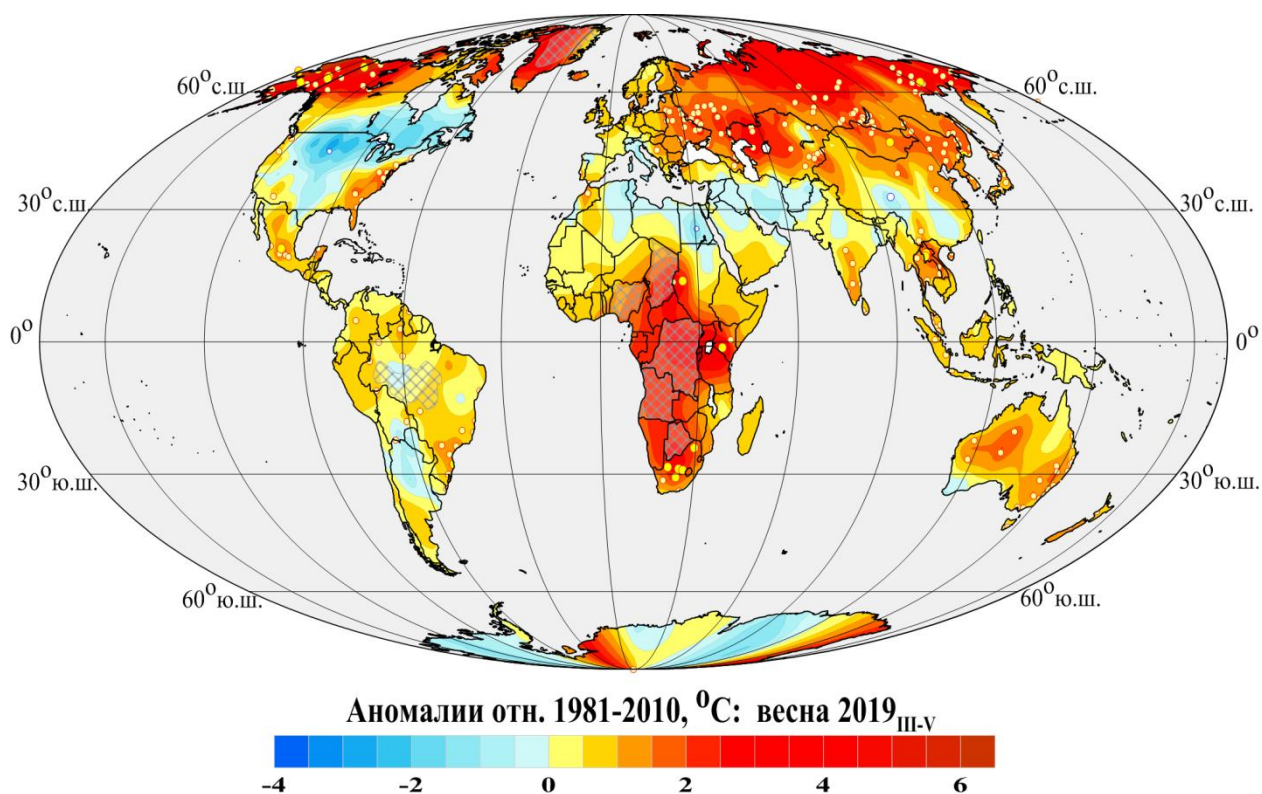
Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу
окружающей среды

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

Бюллетень мониторинга изменений климата Земного шара

Приземная температура

Весна 2019



Москва 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ^{1,2}

1. ВВЕДЕНИЕ	3
2. ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ У ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМНОГО ШАРА ВЕСНОЙ 2019 года. ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ АНОМАЛИИ	6
3. КРУПНОМАСШТАБНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ЗЕМНОГО ШАРА ЗА ПЕРИОД ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ 1850-2019 гг. (весенний сезон)	12
4. ВРЕМЕННЫЕ РЯДЫ РЕГИОНАЛЬНО ОСРЕДНЕННЫХ АНОМАЛИЙ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ, 1911-2019 гг. (весенний сезон)	17
5. ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА, 1976-2019 гг. (весенний 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: весна 2019 года. Использованы станционные данные ИГКЭ: Т3288.

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящем бюллетене представлены данные о климатических аномалиях весеннего сезона 2019 года и обновленные (с учетом этих данных) оценки тенденций в изменении температурного режима весенних сезонов на территории земного шара в течение 1976–2019 гг. (по разделу «приземная температура»). Оценки приведены для сезона в целом и каждого из месяцев (март-апрель-май).

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 T3288 - данные ИГКЭ; массив сформирован и ежемесячно пополняется средствами технологии мониторинга на основе телеграмм КЛИМАТ, СИНОП).

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

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

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

Сравнение глобальных временных рядов сезонных аномалий температуры приземного воздуха по данным T3288 (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 разностей) по данным за 1976-2019 гг. и 1920-2019 гг. (последнее 100-летие) приведены в табл. 1.1 для Земного шара, Северного и Южного полушарий.

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). 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 от 02.07.2019, HadSST.3.1.1.0 от 12.06.2019.

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.

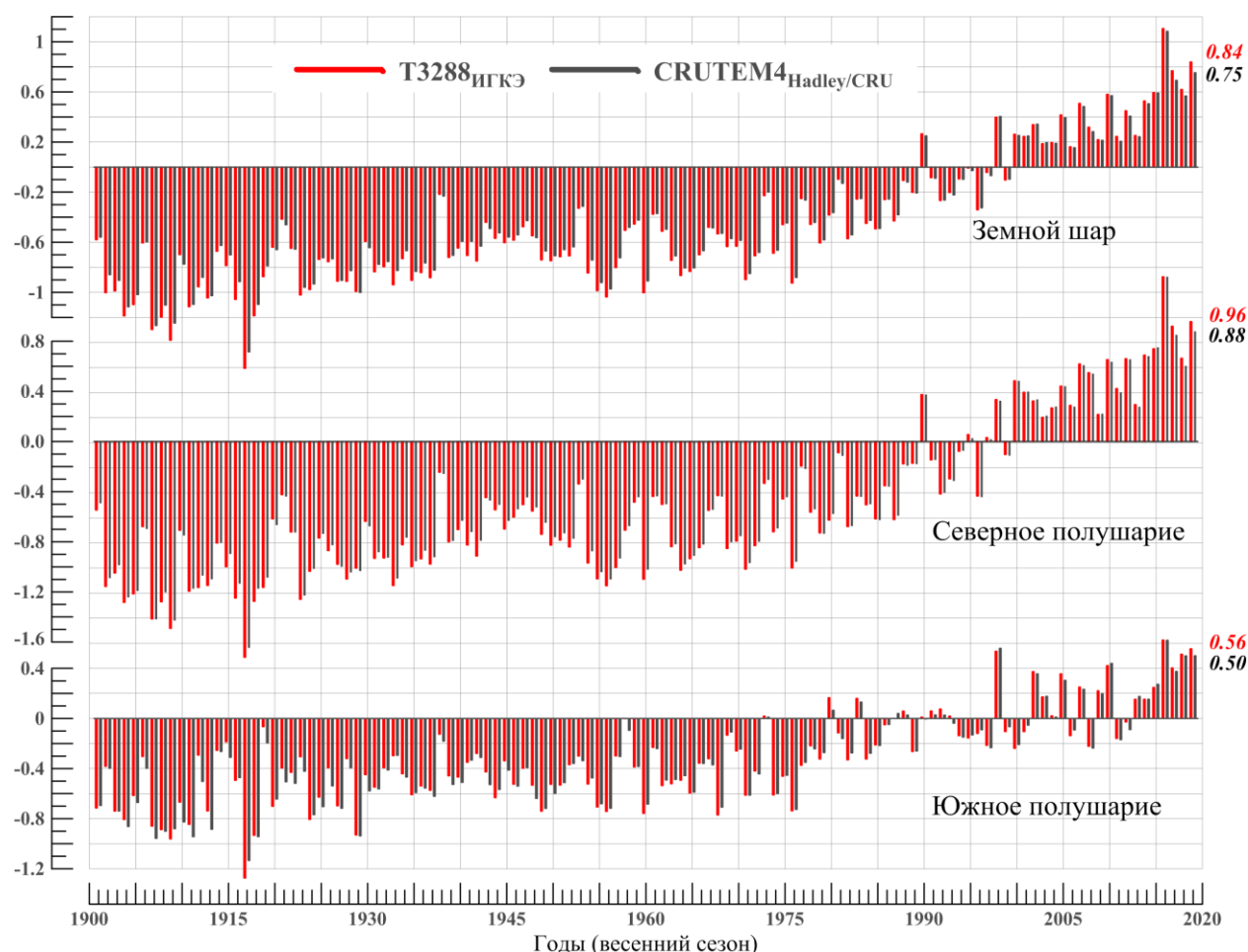


Рисунок 1.1 – Временные ряды пространственно осредненных сезонных аномалий температуры приземного воздуха над сушей Земного шара, Северного и Южного полушарий (°C, 1901-2019 гг., весна). *Использованы временные ряды, рассчитанные по данным массива T3288 (ИГКЭ) и глобальные временные ряды CRUTEM4 (Hadley/CRU).*

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

Оценка	1976-2019			1920-2019		
	ЗШ	СП	ЮП	ЗШ	СП	ЮП
Корреляция рядов	1.00	1.00	0.99	1.00	1.00	0.99
Среднее различие, °C	0.01	0.01	0.00	-0.02	-0.02	0.01
СКО (сигма) различий, °C	0.03	0.02	0.04	0.04	0.04	0.05
Среднее абсолютное различие, °C	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04
Макс. абсолютное различие, °C	0.09	0.08	0.10	0.12	0.12	0.15
Разность коэфф. тренда, °C/10лет	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00
СКО T3288, °C	0.44	0.53	0.29	0.50	0.59	0.34
СКО CRUTEM4, °C	0.42	0.52	0.28	0.47	0.56	0.34

Среднее различие рядов не превышает 0.02°C (после 1976 г. – 0.01°C) (табл. 1.1, рис. 1.1). Стандартные отклонения различий (0.02–0.05°C) на порядок ниже стандартного отклонения самих рядов (0.3–0.6°C). За период современного потепления (1976-2019 гг.) максимальные различия достигали лишь 0.10°C, а за весь вековой период 0.15°C. При

этом во всех случаях ряды характеризуются исключительно высокой корреляцией (не ниже 0.99) и предельно низким различием трендов (до $+0.01^{\circ}\text{C}/10$ лет).

Таблица 1.2 – Межгодовые изменения приземной температуры весеннего 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	0.218	0.292	0.043	0.186	0.276	0.002
2018-2017	-0.148	-0.255	0.110	-0.125	-0.248	0.124
2017-2016	-0.337	-0.394	-0.222	-0.391	-0.463	-0.249
2016-2015	0.511	0.574	0.378	0.492	0.563	0.351
2015-2014	0.067	0.051	0.094	0.086	0.070	0.120
2019-2014	0.311	0.268	0.403	0.248	0.198	0.348

Весной 2019, после снижения глобальной приповерхностной температуры в 2017 и 2018 гг. (табл. 1.2), произошло ее повышение в среднем по Земному шару и в Северном полушарии (на $0.18\text{-}0.22^{\circ}\text{C}$ и $0.28\text{-}0.29^{\circ}\text{C}$, соответственно). В Южном полушарии глобальная температура осталась практически на уровне 2018 года. В итоге, в целом за последние 5 лет, глобальная температура повысилась на всей территории, особенно заметно в Южном полушарии – на $0.35\text{-}0.40^{\circ}\text{C}$ (см. подробнее в табл. 1.2).

2. ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ У ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМНОГО ШАРА ВЕСНОЙ 2018 ГОДА. ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ АНОМАЛИИ

Весна 2019 года вошла в тройку самых теплых весенних сезонов за всю историю наблюдений (в обоих полушариях и по Земному шару в целом), заняв второе место (после 2016 года) при учете данных только над сушей и третье – по данным на полной сетке (суша+море) и только для океанов. Исключения: 3-е место – для континентов Южного полушария по данным CRUTEM4 и 4-е место для океанов Северного полушария (подробнее см. табл. 2.1).

Таблица 2.1 – Самые теплые весенние сезоны 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 (весна)	VT, °C	Год (весна)	VT, °C	Год (весна)
HadCRUT4 (Hadley/CRU, суша+море)						
1	0.618	2016	0.829	2016	0.405	2016
2	0.457	2017	0.607	2017	0.343	1998
3	0.455	2019	0.58	2019	0.328	2019
4	0.398	2015	0.57	2015	0.309	2017
5	0.355	2010	0.464	2014	0.264	2010
T3288 (ИГКЭ, суша)						
1	1.105	2016	1.314	2016	0.625	2016
2	0.838	2019	0.957	2019	0.556	2019
3	0.768	2017	0.92	2017	0.536	1998
4	0.62	2018	0.74	2015	0.513	2018
5	0.594	2015	0.689	2014	0.422	2010
CRUTEM4 (Hadley/CRU, суша)						
1	1.083	2016	1.313	2016	0.624	2016
2	0.753	2019	0.878	2019	0.559	1998
3	0.692	2017	0.85	2017	0.501	2019
4	0.591	2015	0.75	2015	0.499	2018
5	0.57	2010	0.68	2014	0.439	2010
HadSST3 (Hadley/CRU, море)						
1	0.441	2016	0.489	2016	0.374	2016
2	0.365	2017	0.425	2017	0.323	2017
3	0.348	2019	0.403	2015	0.302	2019
4	0.319	2015	0.396	2019	0.278	1998
5	0.284	1998	0.381	2018	0.238	2010

Следует отметить, что сезон был исключительно теплым не только при глобальном рассмотрении, но и практически на всей территории, кроме Южной полярной области (ЮПО). Это подтверждается уже значениями сезонной аномалии температуры в крупных регионах мира (табл. 2.2), которые почти все (кроме значений для Антарктического пояса, Антарктиды и Северной Америки) превысили уровень 95-го перцентиля или были близки к нему (5%-е экстремумы тепла). В Северной Америке осредненная по региону и за сезон температура соответствует значению 89-го перцентиля. Рекордно высокими были

сезонная аномалия для Арктического широтного пояса (+2.4°C) и аномалия марта для австралийского континента (+1.7°C).

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

Регион	Весна		Март		Апрель		Май	
	vT_{III-V}	F%	vT_{III}	F%	vT_{IV}	F%	vT_V	F%
HadCRUT4 (суша+море)								
Земной шар*	0.46	98	0.55	99	0.48	99	0.33	97
Северное полушарие*	0.58	98	0.75	98	0.59	98	0.41	94
Южное полушарие*	0.33	98	0.35	99	0.38	99	0.26	97
Атлантика (15-70N)	0.3	94	0.35	98	0.26	94	0.28	92
Тихий океан (20-65N)	0.53	99	0.58	99	0.53	99	0.49	97
Арктический пояс (65-90N)	2.38	100	3.43	99	2.29	95	1.35	97
Умеренный пояс СП (25-65N)	0.62	97	0.92	97	0.62	96	0.33	90
Тропики (25S-25N)	0.37	97	0.38	97	0.41	97	0.34	95
Умеренный пояс ЮП (65-25S)	0.36	99	0.33	97	0.42	99	0.33	98
Антарктический пояс (90-65S)	0.07	59	0.25	80	0.28	66	-0.37	49
IGCE-T3288 (суша)								
Земной шар	0.84	99	1.09	99	0.87	99	0.49	94
Северное полушарие	0.96	99	1.29	98	0.97	99	0.52	93
Южное полушарие	0.56	99	0.58	98	0.61	98	0.44	96
Северная Америка	0.48	89	0.68	86	0.6	90	0.13	74
Евразия	1.23	96	1.99	94	1.2	94	0.47	89
Европа	1.26	95	2.16	95	1.11	88	0.45	80
Азия	1.21	96	1.96	96	1.24	93	0.42	89
Южная Америка	0.37	93	-0.06	69	0.56	96	0.57	94
Африка	0.9	98	0.61	93	0.79	97	0.72	96
Австралия	0.94	98	1.66	100	0.86	93	0.28	80
Антарктида	-0.15	47	0.36	75	0.18	52	-1.12	29
CRUTEM4 (суша)								
Земной шар*	0.75	99	0.98	99	0.8	99	0.48	94
Северное полушарие*	0.88	99	1.22	98	0.92	99	0.5	91
Южное полушарие*	0.5	98	0.51	98	0.57	98	0.43	96

Условные обозначения.

1. vT , °C – наблюдаемая аномалия весной 2019 года (базовый период 1981-2010 гг.);
2. F% – значение эмпирической функции распределения $F = \text{prob}(X \leq vT_{2018})$ по данным за 1911-2018 гг. (вероятность неперевышения)
3. Красным шрифтом выделены абсолютные максимумы – наибольшие из всех значений ряда за 1911-2019 гг.
4. Синим шрифтом выделены отрицательные аномалии.

Пространственное распределение аномалий температуры весной 2019 г. (рис. 2.1) также показывает преобладание положительных аномалий, особенно значительное на территории континентов. Их доля составила 69-77% всех данных, не считая значений, близких к климатической норме. Дополнительную информацию о распределении экстремальных аномалий дает табл. 2.3, данные которой хорошо согласуются с представленными выше региональными оценками.

В частности, положительные аномалии ($>0.1^{\circ}\text{C}$) охватили почти 90% территории Евразии, 80% Австралии и более 50% каждого из остальных континентов. В арктическом широтном поясе положительные аномалии составили около 95% всех данных, в том числе 24% были выше 95-го перцентиля и среди них 7% - абсолютные максимумы. Основные их очаги расположены в Российской Арктике (до 4.7°C в Архангельской области и до 4.2°C в Красноярском крае, до $+4.4^{\circ}\text{C}$ в Якутии), на Аляске (с максимумом до 8.4°C) и в Канадском арктическом архипелаге (до $+4.1^{\circ}\text{C}$).

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

Регион	NN - число станций/ боксов	Число значений в каждой категории (в % от NN)					
		Аномалии		5%-е экстремумы холода/тепла		Абсолютные экстремумы	
		$V < -0.1$	$V > 0.1$	$X \leq P_{05}$	$X \geq P_{95}$	$X = \min$	$X = \max$
HadCRUT4 (суша+море)							
ЗШ	1672	15.8%	68.5%	0.4%	21.1%	0.1%	3.5%
СП	935	11.4%	74.4%	0.4%	22.2%		2.9%
ЮП	737	21.3%	61.1%	0.4%	19.7%	0.1%	4.2%
90-65S	15	40.0%	46.7%		6.7%		
65-25S	404	23.3%	59.7%	0.2%	17.1%		4.0%
25S-25N	632	13.6%	66.3%	0.6%	24.5%	0.2%	4.1%
25-65N	535	14.0%	74.4%	0.4%	20.0%		1.9%
65-90N	86	3.5%	94.2%		24.4%		7.0%
T3288 (только суша)							
ЗШ	1727	14.2%	77.2%	0.3%	18.7%	0.1%	2.0%
СП	1416	13.8%	79.5%	0.3%	17.9%	0.1%	1.5%
ЮП	311	15.8%	66.6%	0.3%	22.5%		4.5%
С. Америка	307	40.7%	52.4%	0.7%	15.0%		2.6%
Евразия	907	5.2%	89.1%	0.1%	16.2%	0.1%	0.8%
Ю. Америка	151	21.9%	53.0%		12.6%		2.0%
Африка	66	25.8%	54.5%	1.5%	19.7%		10.6%
Австралия	76	6.6%	80.3%		28.9%		
Антарктида	18	38.9%	50.0%		5.6%		
Европа	329	2.1%	92.7%		12.2%		
Азия	585	6.8%	87.2%	0.2%	18.6%	0.2%	1.2%

Крупные положительные аномалии зафиксированы в Африке: 20% доступных станционных данных превышают уровень 5%-х экстремумов тепла, из них более половины – абсолютные максимумы (до $+4.1^{\circ}\text{C}$ в центре материка и до 3.3°C на юге) (рис. 2.1). Стоит отметить высокую долю положительных экстремумов в тропическом поясе – 24.5%, среди которых 4% - абсолютные максимумы.

Значительные области холода в среднем за сезон наблюдались в центральной и северо-восточной части Северной Америки (до -3.4°C на севере США), а также на севере Африки и в Передней Азии (до -2.0°C в Египте), в Южной Америке (до -1.5°C в Аргентине) и окружающих ее океанических акваториях, на станциях Антарктиды (до -1.6°C в восточной части).

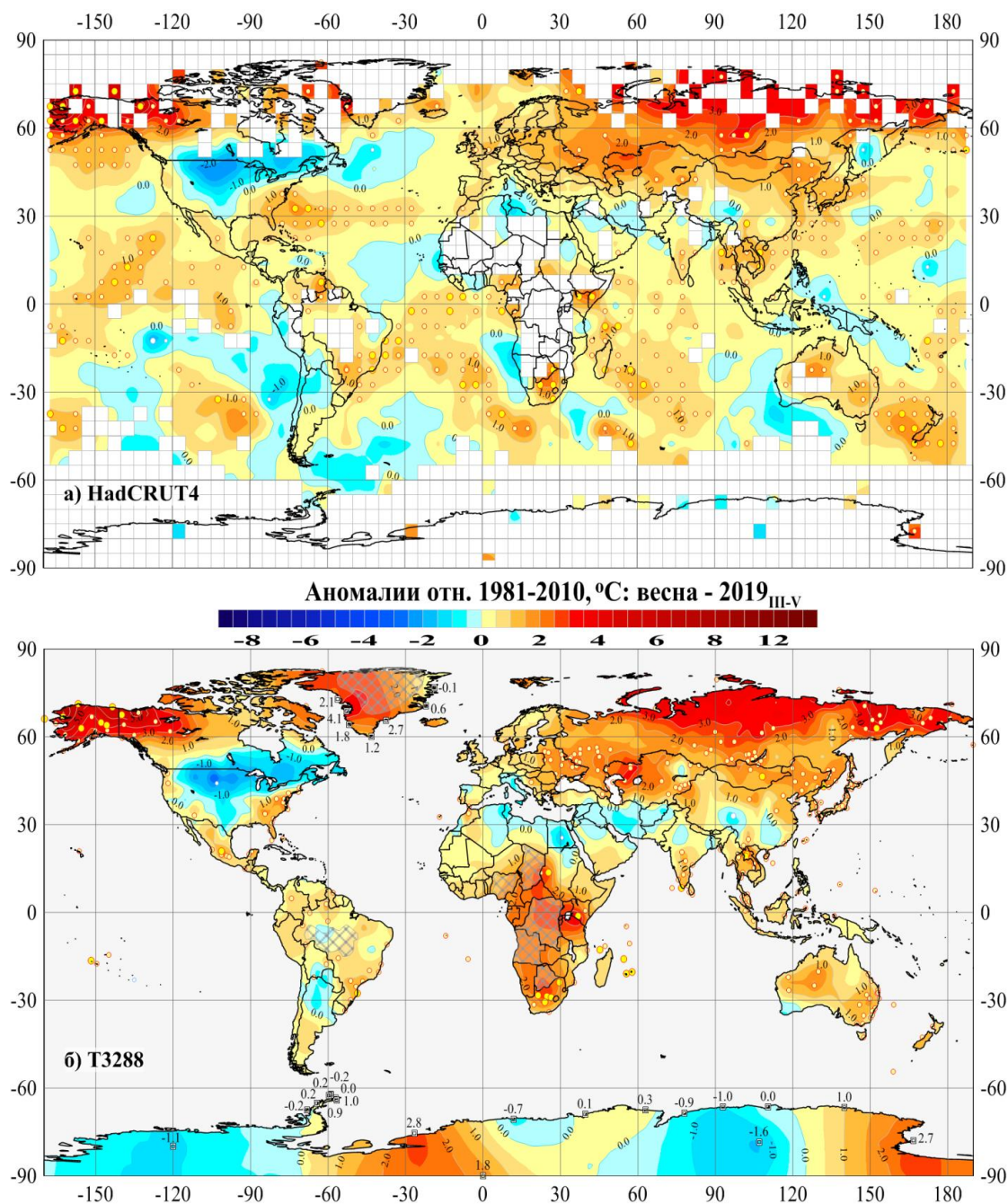


Рисунок 2.1 – Пространственное распределение аномалий приземной температуры на территории Земного шара весной 2019 г.: а) по сеточным данным HadCRUT4 (Hadley/CRU); б) по станционным данным T3288 (ИГКЭ).

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.

Внутрисезонные особенности распределения аномалий характеризуются контрастами от месяца к месяцу. Так, наибольшей интенсивности и охвата положительные аномалии в Евразии и на северо-западе Северной Америки достигли в *марте*. В Евразии в этом месяце область тепла охватывает значительную часть континента – от Европы до Якутии, с многочисленными экстремумами тепла в Центральной и Южной Сибири, Казахстане, Монголии (в том числе 22 абсолютных максимума в этом районе). На Аляске максимальные положительные аномалии достигли $+8.4^{\circ}\text{C}$. Южнее расположилась обширная область холода (аномалия до -3.4°C), охватившая практически всю территорию США. Значительные отрицательные аномалии расположены в этом месяце также в Передней Азии (до -1.3°C), Индии и Китае (до -1.8°C), на севере и северо-востоке Африки (до -1.6°C), в Аргентине (до -1.5°C), на северо-востоке Гренландии (до -3.4°C).

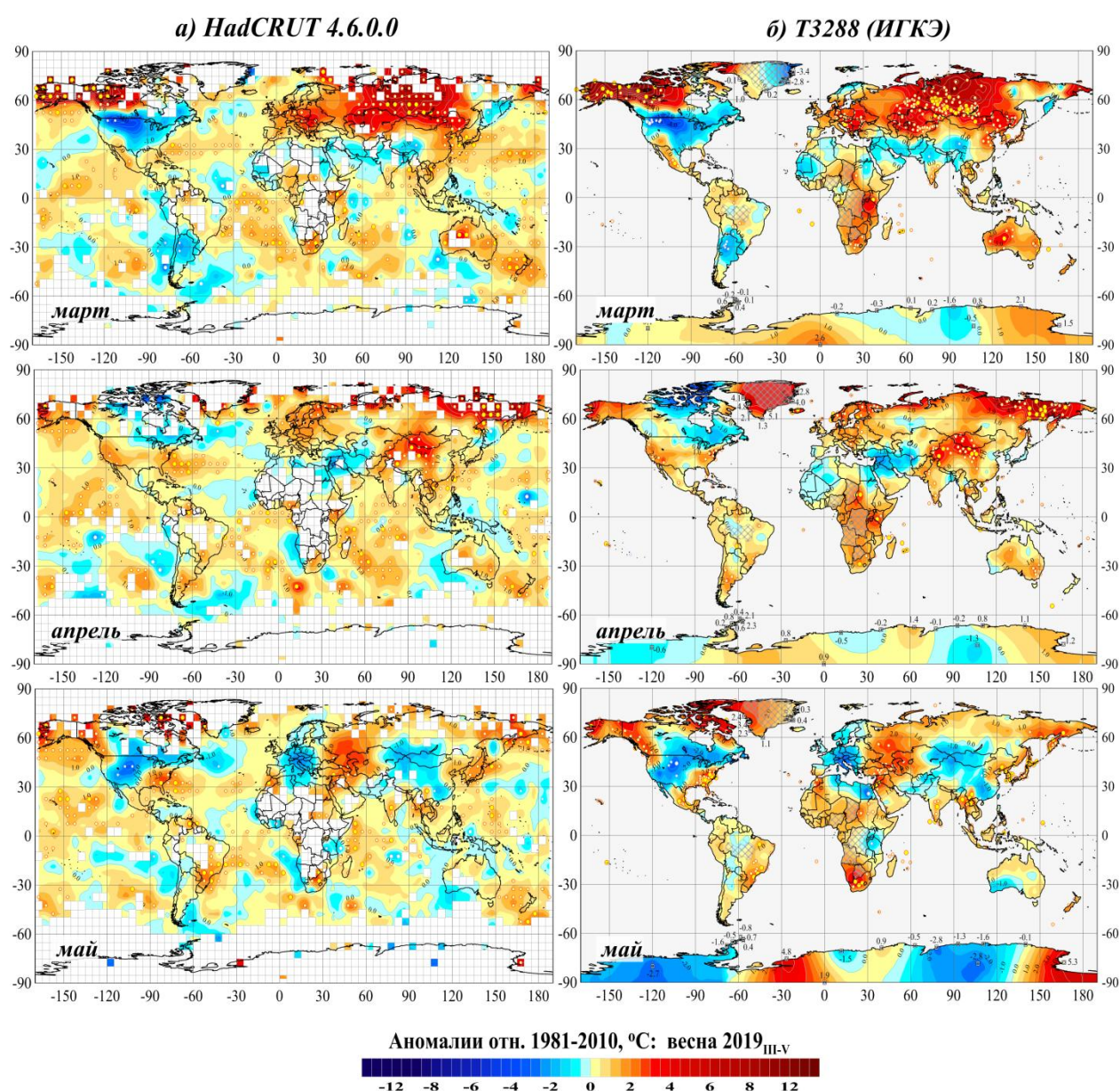


Рисунок 2.2 – Пространственное распределение среднемесячных аномалий приземной температуры на территории Земного шара весной 2019 г. (март-май). Условные обозначения см. рис.1

В *апреле* крупные положительные аномалии с экстремумами наблюдаются только на севере евразийского континента и на Дальнем Востоке (аномалии до 4.4°C , 35 5%-х экстремумов и 14 абсолютных), а также в Монголии (до 2.7°C) и Китае. Все данные на территории Гренландии также показывают значительные положительные аномалии (до 5.1°C на юго-востоке). Области холода в этом месяце располагаются в Передней Азии (до -1.3°C), на западе Африки, в Антарктиде. Заметные отрицательные аномалии зафиксированы на северо-востоке Канады (до -2.8°C).

В *мае* обширные области холода наблюдались на территории каждого континента: в США-Канаде (аномалия до -3.3°C), на большей части Европы и в Средиземноморье, в Центральной части Евразии (Монголия, Китай, Казахстан, юг Сибири – до -2.5°C), в Антарктиде (до -2.8°C).

Во все месяцы положительные аномалии, в том числе экстремальные, наблюдались также на акваториях океанов.

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

Многолетние и межмесячные изменения глобальной температуры. На рис. 3.1 представлены межгодовые (по вертикали) и межмесячные (по горизонтали) изменения глобально осредненных аномалий приповерхностной температуры (для Земного шара и полушарий) на протяжении всего периода инструментальных наблюдений (с 1850 г.). Аномалии рассчитаны относительно среднего за весь период (1850-2019 гг.).

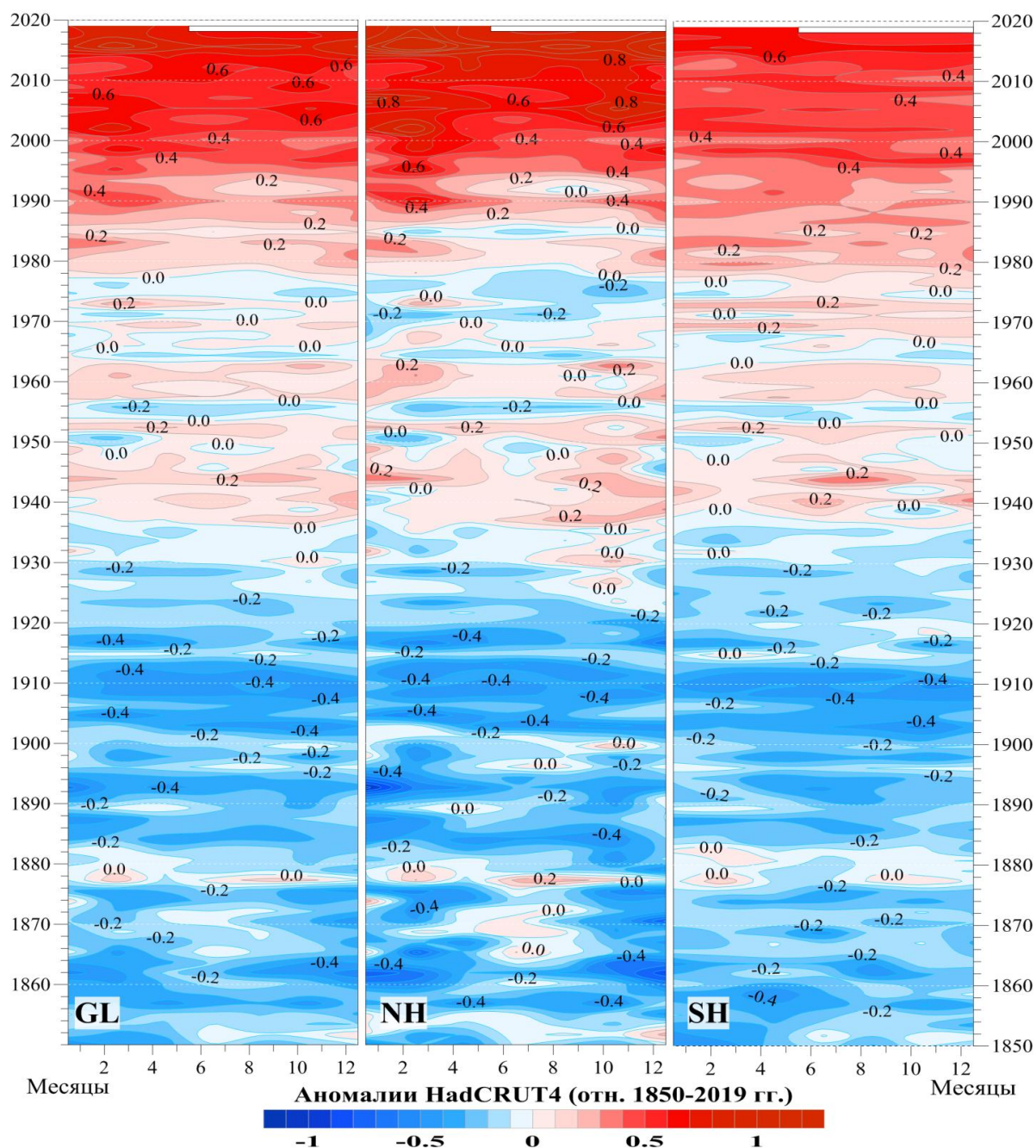
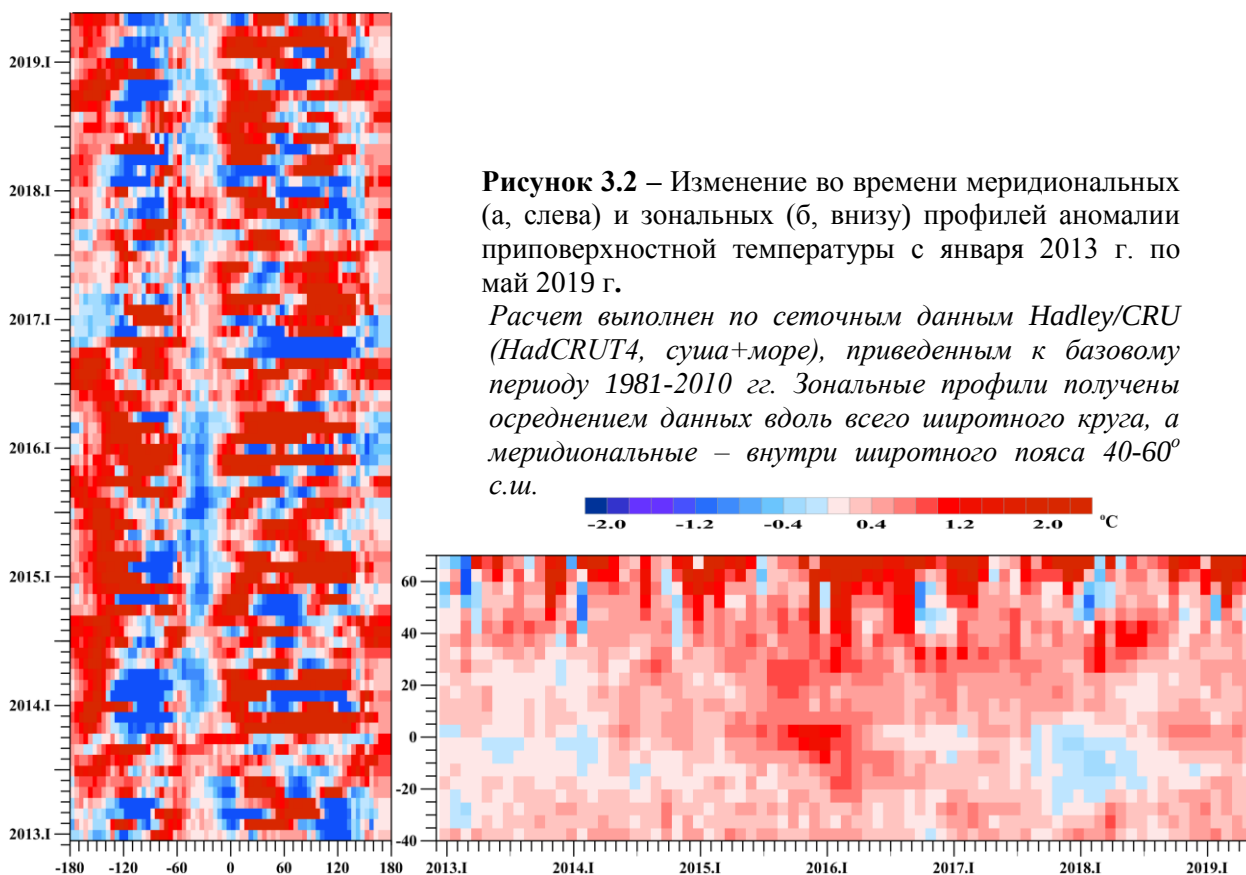


Рисунок 3.1 – Изменение аномалий средней месячной приповерхностной температуры ($^{\circ}\text{C}$), осредненной по территории Земного шара (GL), Северного (NH) и Южного (SH) полушарий в течение периода с января 1850 по май 2019 гг. (по данным HadCRUT4, Hadley/CRU, UK). Аномалии выражены как отклонения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

На рис. 3.1 хорошо прослеживаются все климатические особенности представленного периода: похолодание в начале 20-го столетия, арктическое потепление 1940-х и современное глобальное потепление, ставшее особенно активным с середины 1990-х. Наиболее ярко оно проявляется в Северном полушарии и заметно усилилось в последние годы – примерно с середины 2014 г. (в обоих полушариях).

Широтно-долготные разрезы. На рисунке 3.2 можно проследить зональные и меридиональные особенности температурного режима последних лет (2013-2019 гг.) в динамике, от месяца к месяцу (в том числе, внутри весеннего сезона 2019). Зональный разрез (рис. 3.2а) характеризует узкий пояс умеренных широт Северного полушария (40-60°с.ш.), начиная от восточного сектора Тихого океана у берегов Северной Америки, далее – территория США, затем – Северная Атлантика и Евразия. В целом, бросается в глаза, с одной стороны, устойчиво холодная Атлантика и теплый Тихий океан и, с другой, смена режимов на континентах в конце 2016 г. Тогда же на короткое время изменилась ситуация и в океанах. Начиная с весны 2018 г., уже в течение года (включая нынешнюю весну) сохраняется положительная аномалия в тихоокеанском секторе, на территории Европы и в Восточной Сибири. Между ними - холодная территория американского континента, соседней Атлантики и, с короткими перерывами, Западной Сибири. В мае отрицательные аномалии вернулись в Европу и центральную Азию.

Восстановление интенсивной положительной аномалии в Арктике после перерыва в начале 2018 г. хорошо заметно на рис. 3.2б. Отмеченные выше холодные периоды на территории Северной Америки, Атлантики и Европы выразились на рис. 3.2б в эпизодах отрицательной аномалии на 40-50°с.ш. в последнем полугодии .



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.

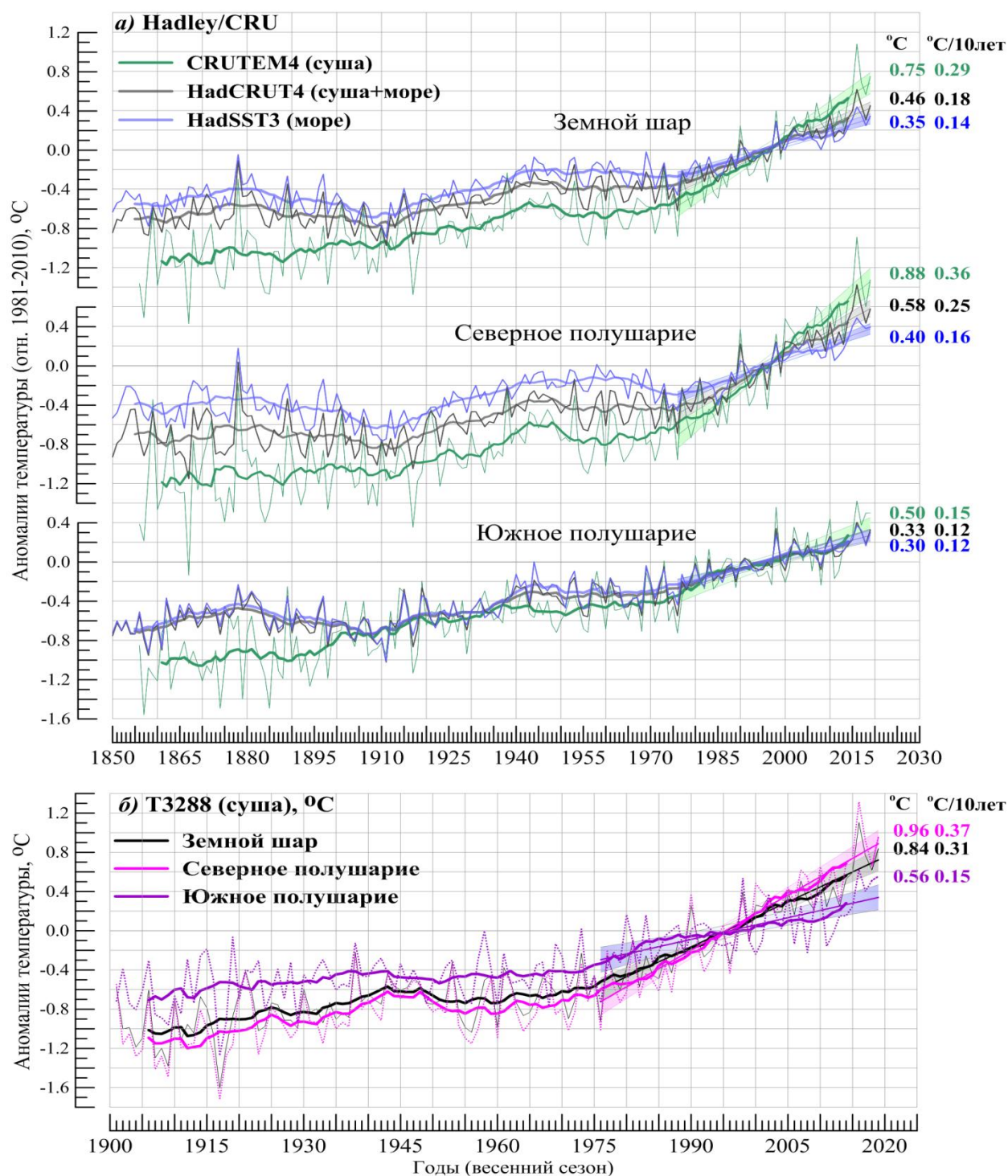


Рисунок 3.3 – Временные ряды сезонных аномалий приземной температуры (весна), осредненных по территории Земного шара, Северного и Южного полушарий: а) по данным Hadley/CRU, 1850-2019 гг.: HadCRUT4 (суша+море), CRUTEM4 (суша), HadSST3 (море); б) по данным ИГКЭ, 1901-2019 гг.: T3288 (суша). Для всех рядов показан ход 11-летних скользящих средних и линейный тренд за 1976-2019 гг. с 95% доверительным интервалом. Справа приведены числовые значения сезонных аномалий в 2019 г. и значения коэффициентов линейного тренда за 1976-2019 гг. (°C/10лет, весна).

Коэффициенты линейного тренда приведены в таблице 3.1 для всех рядов (по всем наборам данных, для Земного шара и обоих полушарий) за 1976-2019 гг. (период современного глобального потепления) и 1920-2019 гг. (последнее 100-летие).

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 весенний сезон и по месяцам

Регион	1976-2019				1920-2019			
	Весна	март	апрель	май	Весна	март	апрель	май
<i>HadCRUT4 (суша+море)</i>								
Земной шар	0.185	0.195	0.189	0.169	0.090	0.098	0.088	0.082
Северное полушарие	0.250	0.274	0.249	0.227	0.101	0.118	0.100	0.085
Южное полушарие	0.119	0.117	0.130	0.111	0.078	0.078	0.076	0.079
<i>T3288-ИГКЭ (суша)</i>								
Земной шар	0.306	0.350	0.306	0.256	0.144	0.170	0.143	0.119
Северное полушарие	0.375	0.433	0.370	0.312	0.165	0.202	0.161	0.129
Южное полушарие	0.148	0.157	0.158	0.127	0.089	0.080	0.093	0.093
<i>CRUTEM4 (суша)</i>								
Земной шар	0.292	0.334	0.294	0.248	0.136	0.158	0.136	0.115
Северное полушарие	0.365	0.428	0.362	0.305	0.158	0.194	0.158	0.123
Южное полушарие	0.146	0.147	0.157	0.133	0.093	0.085	0.093	0.101
<i>HadSST3 (море)</i>								
Земной шар	0.138	0.124	0.145	0.144	0.066	0.066	0.065	0.066
Северное полушарие	0.162	0.137	0.166	0.181	0.058	0.055	0.059	0.061
Южное полушарие	0.116	0.114	0.125	0.108	0.075	0.078	0.072	0.074

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

Показатели k_1 - k_3 (табл. 3.2) рассчитаны как отношение соответствующих коэффициентов тренда (см. первый столбец табл. 3.2). Эти показатели количественно уточняют выводы, основанные на визуальном сопоставлении глобальных временных рядов (рис. 3.3) и оценок трендов (табл. 3.1) в разных факторных подгруппах⁷. Из этих оценок видно, что:

- потепление весенних сезонов (и современное, и в целом за 100 лет) над сушей протекает быстрее, чем над океанами ($k_1=1.3$ - 2.8), причем этот контраст больше выражен в Северном полушарии;
- в Северном полушарии средняя скорость потепления выше, чем в Южном ($k_2=1.4$ - 2.5) для всех случаев, кроме температуры поверхности океана за последние сто лет ($k_2=0.77$);
- современное потепление весенних сезонов ускорилось по сравнению со 100-летним в $k_3=2.3$ - 2.8 раз в Северном полушарии и только в $k_3=1.6$ - 1.7 раза – в Южном. В Северном

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

полушарии это ускорение сильнее на поверхности океанов (2.8 против 2.3), а в Южном значения коэффициента k_3 практически одинаковы для суши и океанов.

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

	<i>Показатель</i>	1976-2019			1920-2019		
		ЗШ	СП	ЮП	ЗШ	СП	ЮП
k_1	$\mathbf{B_{T3288}/b_{HadSST}}$	2.22	2.31	1.28	2.18	2.84	1.19
	$\mathbf{b_{CRUTEM} b_{HadSST}}$	2.12	2.25	1.26	2.06	2.72	1.24
k_2	$\mathbf{b_{СП} / b_{ЮП}}$	1976-2019			1920-2019		
		T3288	CRUTEM	HadSST	T3288	CRUTEM	HadSST
		2.53	2.50	1.40	1.85	1.70	0.77
k_3	$\mathbf{b_{1976-2019} / b_{1920-2019}}$	СП			ЮП		
		T3288	CRUTEM	HadSST	T3288	CRUTEM	HadSST
		2.27	2.31	2.79	1.66	1.57	1.55

4. ВРЕМЕННЫЕ РЯДЫ РЕГИОНАЛЬНО ОСРЕДНЕННЫХ АНОМАЛИЙ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ, 1911-2019 гг. (весенний 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 приземной температуры весеннего сезона за 1976-2019 гг. (в целом за сезон и по месяцам)

Регион	Весна	Март	Апрель	Май
<i>HadCRUT4 (суша+море)</i>				
Атлантика (15-70N)	0.168	0.164	0.173	0.166
Тихий океан (20-65N)	0.154	0.132	0.148	0.181
Арктический пояс (65-90N)	0.664	0.759	0.755	0.480
Умеренный пояс СП (25-65N)	0.293	0.339	0.276	0.260
Тропики (25S-25N)	0.148	0.141	0.156	0.146
Умеренный пояс ЮП (65-25S)	0.125	0.116	0.135	0.115
Антарктический пояс (90-65S)	-0.023	-0.058	-0.098	0.080
<i>T3288 (суша)</i>				
Северная Америка	*0.165	0.194	0.101	*0.192
Евразия	0.516	0.656	0.512	0.378
Европа	0.464	**0.411	0.553	0.423
Азия	0.529	0.716	0.509	0.361
Южная Америка	0.131	*0.117	0.172	**0.098
Африка	0.353	0.361	0.324	0.336
Австралия	*0.171	**0.193	*0.232	0.085
Антарктида	-0.029	0.063	-0.148	0.017

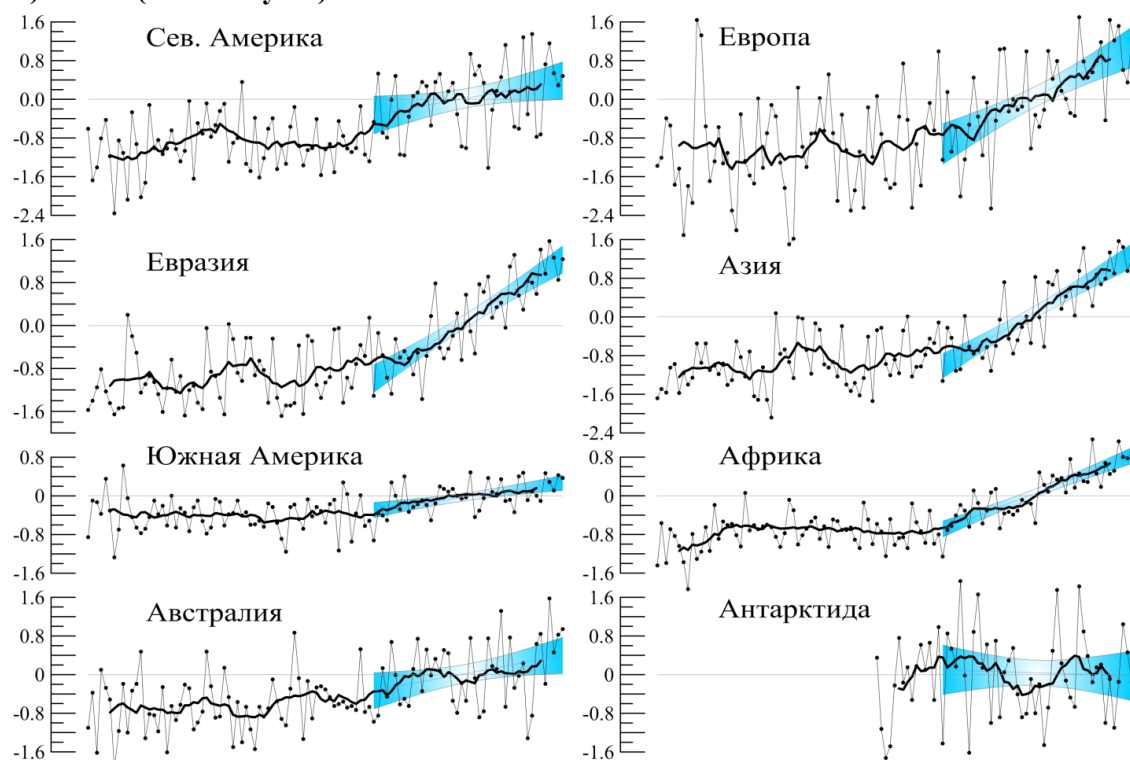
Усл. обозначения: * $\alpha \leq 5\%$; ** $\alpha \leq 10\%$; серая заливка - $\alpha > 10\%$, где α – уровень значимости. Оценки, статистически значимые на 1%-уровне, приведены без выделения.

По данным HADCRUT4 (табл. 4.1, суша+море) во всех регионах, кроме Антарктического, оценки указывают на потепление весенних сезонов в течение 1976-2019 гг., статистически значимое на 1%-м уровне. Наиболее интенсивно потепление происходит в Арктическом поясе ($+0.66^{\circ}\text{C}/10 \text{ лет}$). В Антарктике во все месяцы и в целом за сезон линейный тренд отсутствует – здесь гипотеза о наличии ненулевого тренда отвергается с вероятностью 91%.

На территории суши ситуация не столь однородна. Как и для Антарктики в целом, гипотеза о наличии какой-либо однонаправленной тенденции (линейного тренда) в изменении температуры весеннего сезона за 1976-2019 гг. отвергается и для Антарктиды - также с вероятностью 91%. Из остальных континентов уверенно (на 1%-уровне значимости) можно говорить о тенденции потепления лишь в среднем по территории Азии ($+0.53^{\circ}\text{C}/10 \text{ лет}$) и Африки ($0.35^{\circ}\text{C}/10 \text{ лет}$). В Евразии ($+0.52^{\circ}\text{C}/10 \text{ лет}$, уровень значимости $\alpha < 0.01$) «уверенный» тренд

формируется, в значительной мере, за счет Азиатской территории. Более детально проследить особенности многолетнего хода приземной температуры в каждом регионе и оценить современные тенденции их изменений можно по временным рядам на рис. 4.1-4.3.

а) T3288 (только суша)



б) HadCRUT4 (суша+море)

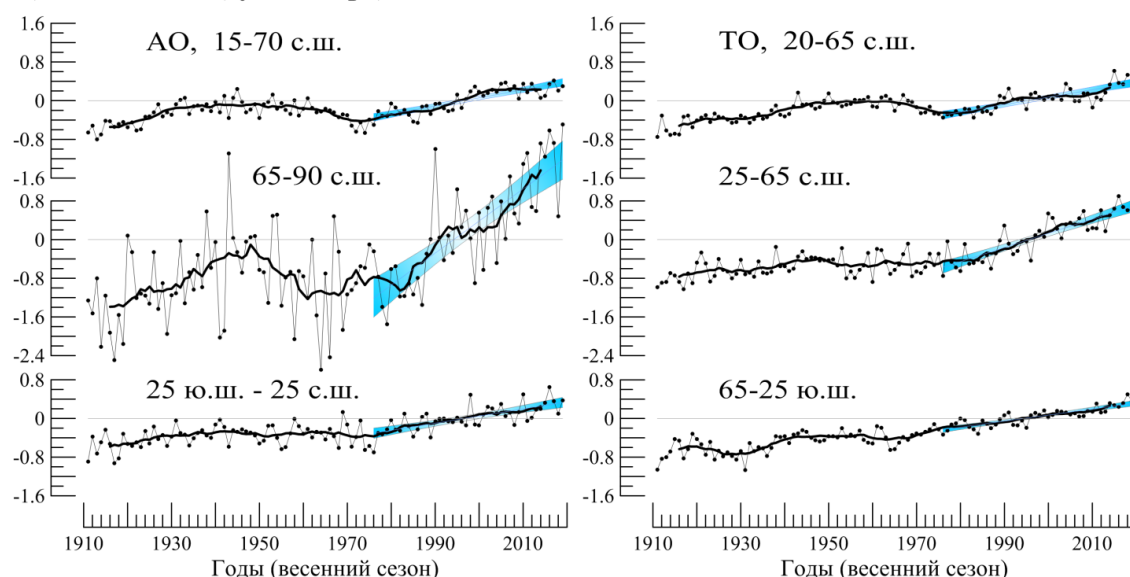


Рисунок 4.1 – Временные ряды пространственно осредненных аномалий приземной температуры весеннего сезона для континентов (а), северных частей Атлантического и Тихого океанов (б, вверху) и основных широтных поясов земного шара (б, внизу).

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 гг. Сглаженные кривые (жирная линия) получены 11-летним скользящим осреднением. Показан линейный тренд за 1976-2019 гг. с 95%-м доверительным интервалом (голубая заливка).

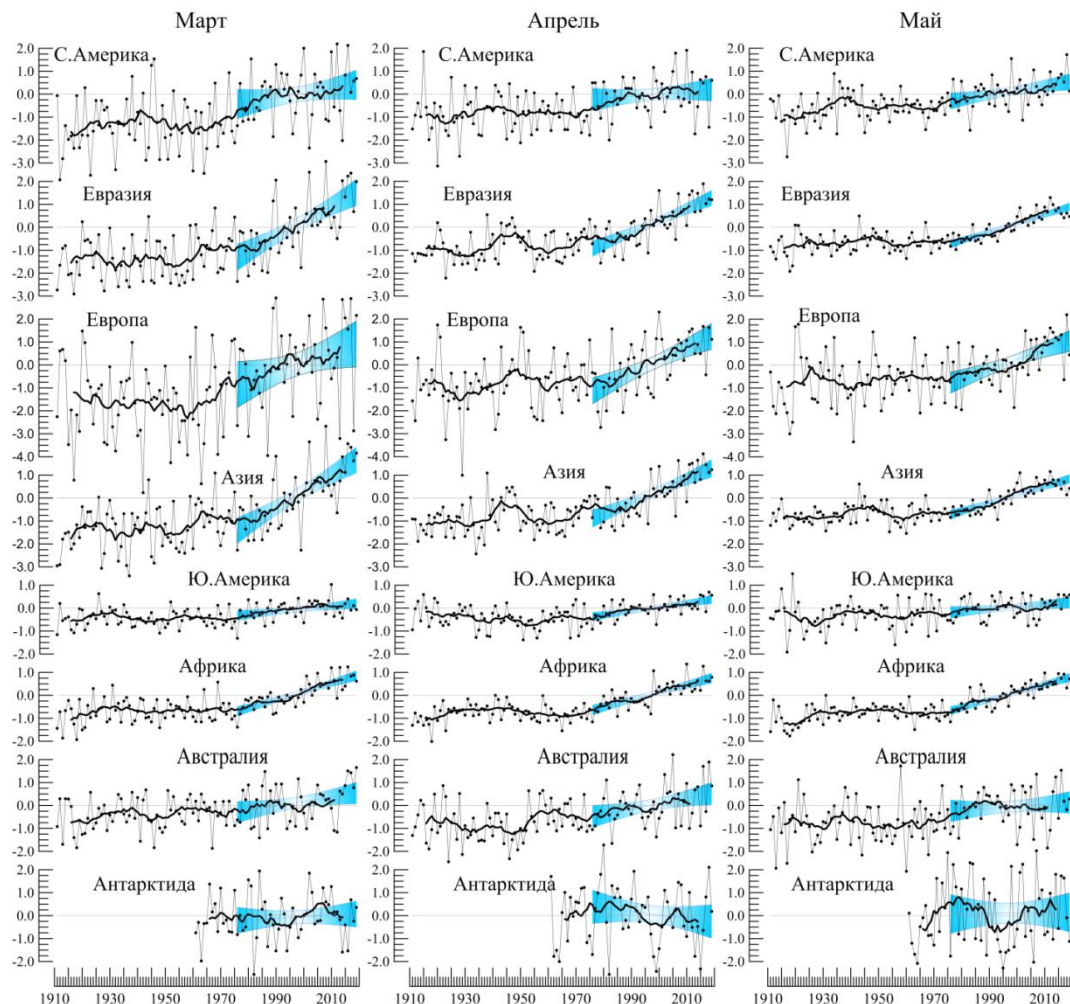


Рисунок 4.2 – См. рис. 4.1. но для аномалий весенних месяцев и только для континентов. Расчеты выполнены по методике и данным ИГКЭ. Использован массив станционных данных T3288.

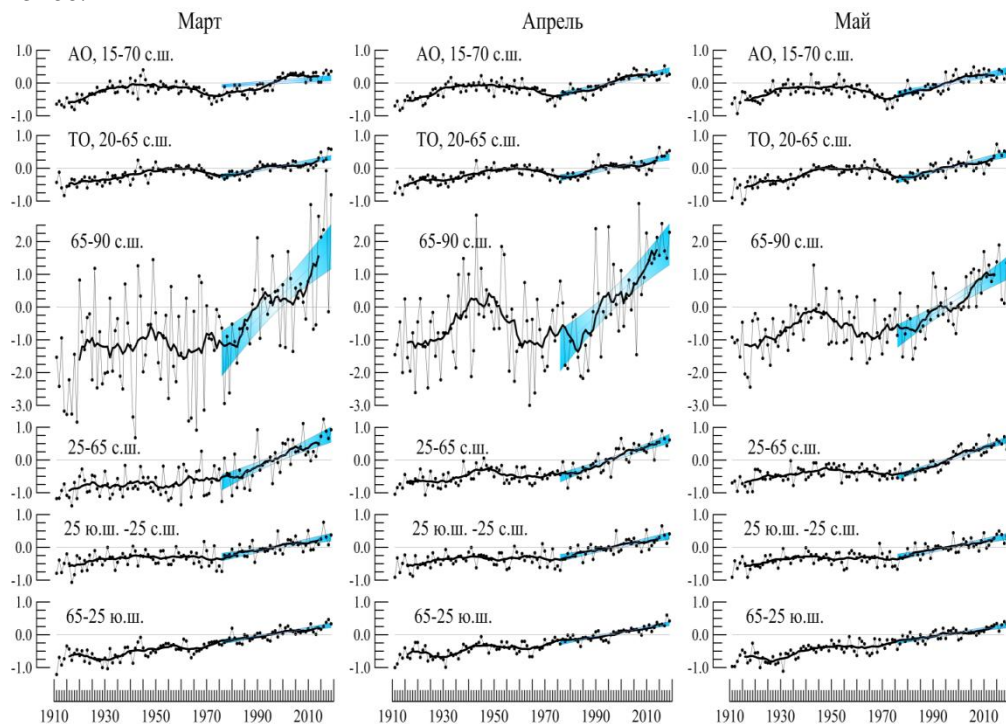


Рисунок 4.3 – См. рис. 4.2., но для океанов и широтных поясов земного шара. Использованы сеточные данные Hadley/CRU (HadCRUT4. суша+море). Расчеты выполнены по методике ИГКЭ.

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

Ниже приведены географические распределения коэффициентов линейного тренда аномалий приповерхностной температуры за 1976-2019 гг. для весеннего сезона (рис. 5.1) и каждого весеннего месяца (рис. 5.2). Используются данные наблюдений на 1813 станциях (массив T3288) и в центрах 1721 бокса (массив HadCRUT4), для которых своевременно поступили данные за 2019_{III-V}. 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 (весенний 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		
				$\alpha \leq 1$	$\alpha \leq 5$	$\alpha \leq 10$		$\alpha \leq 1$	$\alpha \leq 5$	$\alpha \leq 10$
HadCRUT4	ЗШ	1721	230	116	122	124	1491	801	1004	1117
			13.4%	6.7%	7.1%	7.2%	86.6%	46.5%	58.3%	64.9%
	СП	965	62	34	34	34	903	546	668	731
			6.4%	3.5%	3.5%	3.5%	93.6%	56.6%	69.2%	75.8%
	ЮП	756	168	82	88	90	588	255	336	386
			22.2%	10.8%	11.6%	11.9%	77.8%	33.7%	44.4%	51.1%
T3288	ЗШ	1813	217	97	102	105	1596	999	1207	1290
			12.0%	5.4%	5.6%	5.8%	88.0%	55.1%	66.6%	71.2%
	СП	1481	150	72	74	75	1331	916	1082	1144
			10.1%	4.9%	5.0%	5.1%	89.9%	61.9%	73.1%	77.2%
	ЮП	333	68	26	29	31	265	83	125	146
			20.4%	7.8%	8.7%	9.3%	79.6%	24.9%	37.5%	43.8%

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

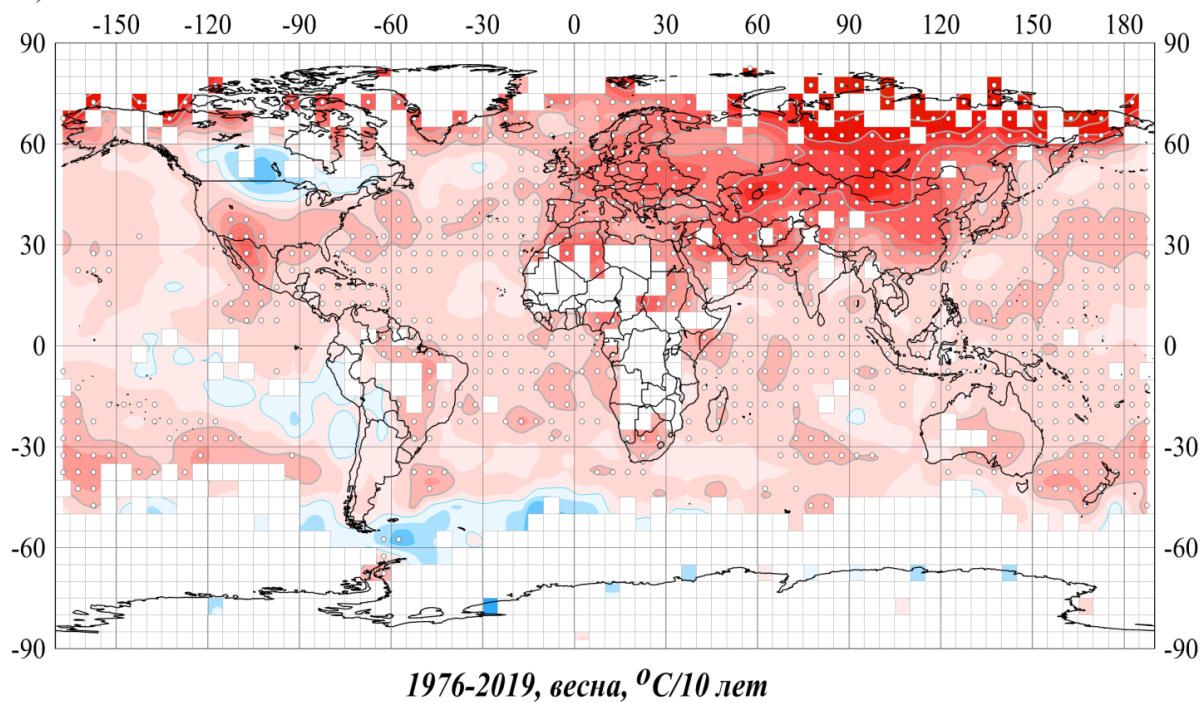
На большей части Земного шара наблюдается потепление весенних сезонов – 87-88% всех рценок выявляют положительные тренды (табл. 5.1). Тем не менее, доля станций/боксов с тенденцией к похолоданию значительна – 12-13%, из них 5-7% статистически значимы на 1%-м уровне.

Наиболее интенсивное потепление весенних сезонов наблюдается в Евразии (тренд до +1.5°C/10 лет в Сибири, до +0.9°C/10 лет на Дальнем Востоке, в Монголии и Казахстане), Африке и Гренландии (до +0.9°C/10 лет) (рис. 5.1). Арктическое потепление наиболее выражено в марте и апреле.

Обширная область с тенденцией к похолоданию находится в центральной части Северной Америки - на территории Канады и США (до -0.4°C/10 лет), в Антарктиде (до -0.3°C/10 лет) и Южном океане. Отрицательные тренды в Северной Америке отмечаются во все месяцы сезона: в марте – на Аляске и вдоль границы Канады и США; в апреле и мае – в центральной части Северной Америки (рис. 5.2). В апреле областью похолодания занят весь антарктический континент, кроме Антарктического полуострова.

Из весенних месяцев потепление на континентах наиболее интенсивно в марте, на океанах – в мае (табл. 3.1, рис. 5.2).

а) HadCRUT4



б) T3288

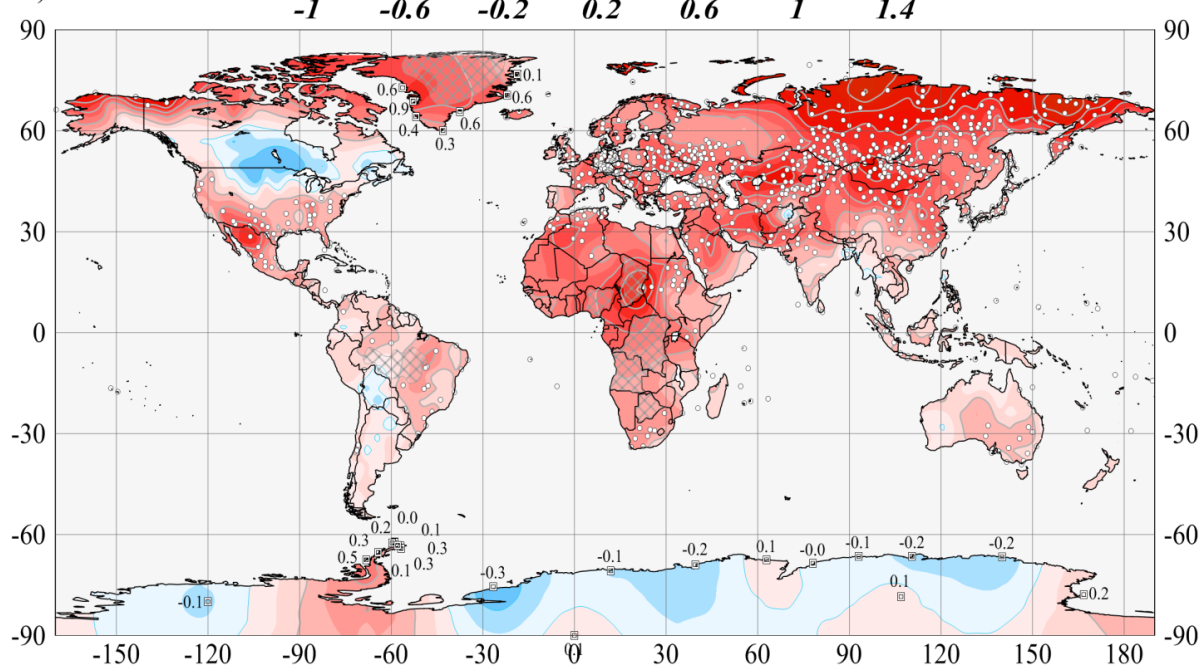


Рисунок 5.1 - Пространственное распределение коэффициентов линейного тренда температуры весеннего сезона у поверхности Земного шара за период 1976-2019 гг. (°C/10 лет).

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.

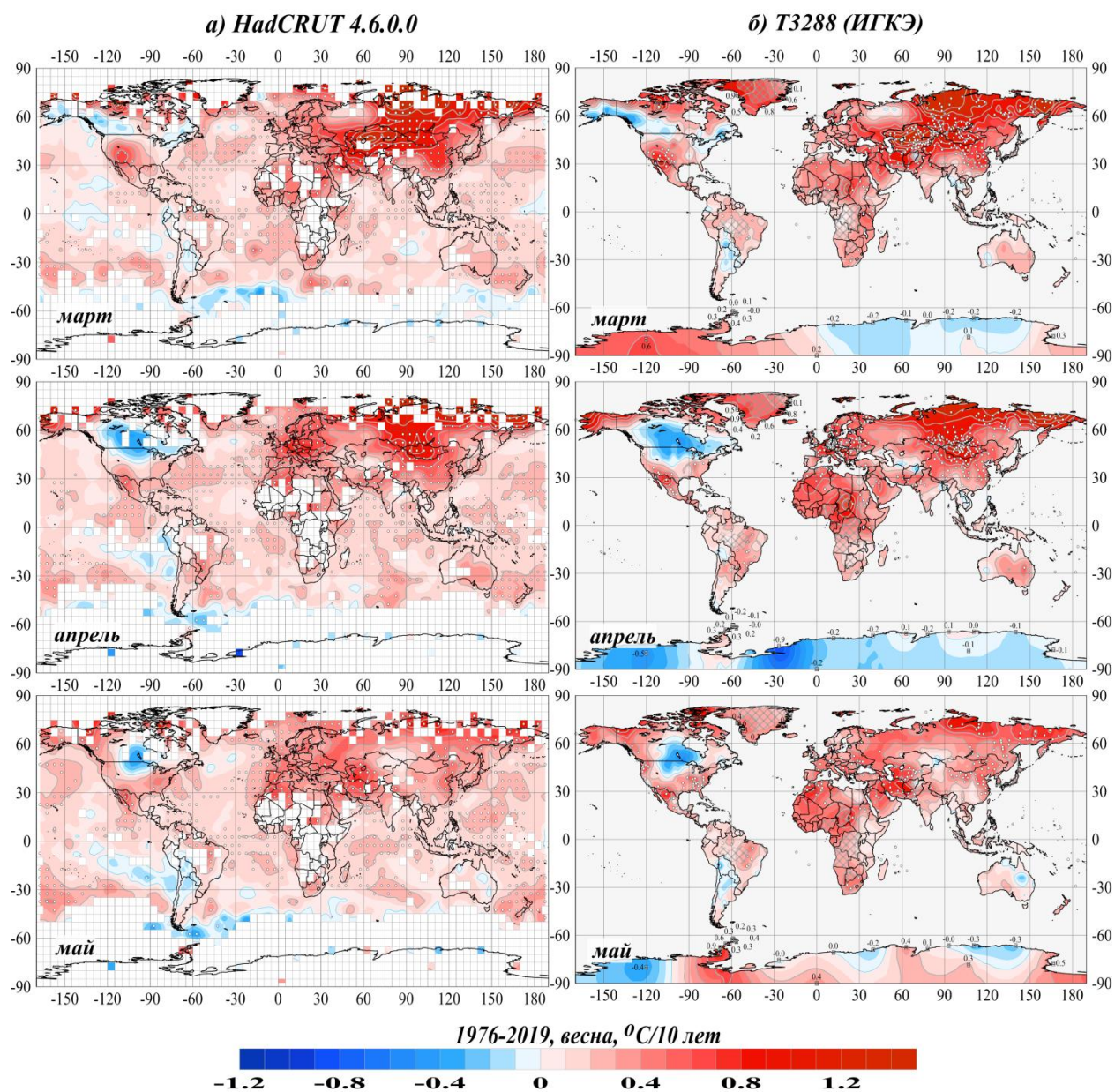


Рисунок 5.2 – См. рис. 5.1., но для коэффициентов тренда среднемесячных аномалий температуры весенних месяцев.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. После двукратного снижения глобальной приповерхностной температуры весеннего сезона в 2017-2018 гг., в 2019 г. возобновился ее рост: в среднем по Земному шару и в Северном полушарии на 0.22°C и 0.29°C соответственно. В Южном полушарии глобальная температура осталась практически на уровне 2018 года.

2. Весенний сезон 2019 года вошел в тройку самых теплых за всю историю наблюдений, заняв третье место в среднем по Земному шару, 3-4 на поверхности океанов и 2-3 на территории суши. Аномалии весеннего сезона 2019 г. составили $+0.46^{\circ}\text{C}$, $+0.58^{\circ}\text{C}$, $+0.33^{\circ}\text{C}$ в среднем по Земному шару, Северному и Южному полушариям соответственно.

3. Весной 2019 г. рекордно теплым был Арктический регион: аномалия $+2.38^{\circ}\text{C}$ по данным HADCRUT4. Доля положительных аномалий в регионе составила 97-98% всех данных, из которых 19-24% 5%-х экстремумов и 4-7% абсолютных максимумов. На протяжении всего сезона наблюдались значительные области отрицательных аномалий на территории Северной Америки и в Антарктиде. В марте большая часть Евразии, от Европы до Дальнего Востока, была занята обширной положительной аномалией, а в мае практически вся территория Европы и Средиземноморье, а также Монголия, Китай и Казахстан были охвачены отрицательными аномалиями.

4. На большей части Земного шара наблюдается потепление весенних сезонов (87-88% всех оценок). Наиболее интенсивное потепление по данным на полной сетке (суша+море) отмечено в Арктическом широтном поясе ($+0.66^{\circ}\text{C}/10$ лет), на территории суши – в Азии ($+0.53^{\circ}\text{C}/10$ лет). Значительные области похолодания находятся в центральной части Северной Америки (до $-0.4^{\circ}\text{C}/10$ лет). В Антарктиде и Южном океане тренд ложный (отвергается с вероятностью 91%).

5. Анализ коэффициентов тренда в разных факторных подгруппах показывает:

- потепление весенних сезонов (и современное, и в целом за 100 лет) над сушей протекает быстрее, чем над океанами;
- в Северном полушарии средняя скорость потепления выше, чем в Южном для всех случаев, кроме температуры поверхности океана за последние сто лет;
- современное потепление весенних сезонов ускорилось по сравнению со 100-летним в 2.3-2.8 раз в Северном полушарии и только в 1.6-1.7 раза – в Южном.