

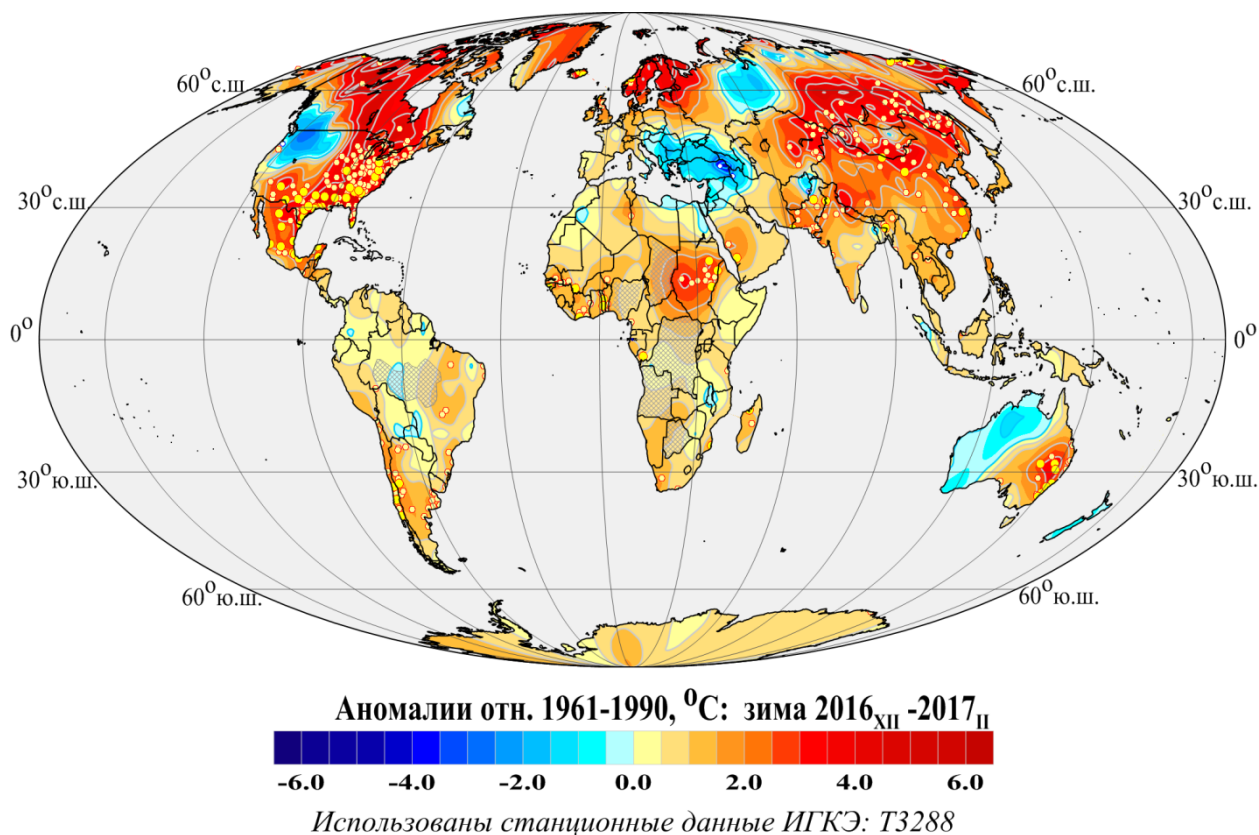
Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу
окружающей среды

ФГБУ «Институт глобального климата и экологии
Росгидромета и РАН»

Бюллетень мониторинга изменений климата Земного шара

Приземная температура

Зима 2016_{ХІІ} – 2017_{ІІ}



Москва 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ^{1,2}

1. ВВЕДЕНИЕ	3
2. ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ У ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМНОГО ШАРА ЗИМОЙ 2016/17 гг. ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ АНОМАЛИИ	6
3. КРУПНОМАСШТАБНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ЗЕМНОГО ШАРА ЗА ПЕРИОД ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ 1850-2017 гг. (зимний сезон)	11
4. РЕГИОНАЛЬНЫЕ ВРЕМЕННЫЕ РЯДЫ ПРОСТРАНСТВЕННО ОСРЕДНЕННЫХ АНОМАЛИЙ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ, 1911-2017 гг. (зимний сезон)	16
5. ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА ЗЕМНОГО ШАРА, 1976-2017 гг. (зимний сезон)	19
6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ	22

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»

² На обложке приведено поле средних сезонных аномалий температуры приземного воздуха над сушей Земного шара: зима 2016_{ХП}- 2017_П.

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящем бюллетене представлены данные о климатических аномалиях зимнего сезона 2016/17 гг. и обновленные (с учетом этих данных) оценки тенденций в изменении температурного режима зимних сезонов на территории Земного шара в течение 1976–2017 гг. (по разделу «приземная температура»). Оценки приведены для сезона в целом и каждого из месяцев (декабрь 2016 г., январь и февраль 2017 г.).

Бюллетень подготовлен в ФГБУ «ИГКЭ Росгидромета и РАН» средствами технологии оперативного мониторинга климата, разработанной в ИГКЭ и базирующейся на использовании данных стационарных наблюдений о средней месячной температуре приземного воздуха на суше земного шара. В качестве базового массива исторических наблюдений используется массив T3288 (создан и поддерживается в ИГКЭ), который содержит данные о среднемесячной температуре на глобальной сети 3288 станций за период с 1901 года. Данные текущих наблюдений формируются в Гидрометцентре РФ и ВНИИГМИ-МЦД (на основе сводок «КЛИМАТ» и «СИНОП», поступающих по каналам связи в оперативном потоке) и в установленные сроки передаются в ИГКЭ. Технологический цикл включает извлечение необходимых данных, их контроль и обработку, сопряжение с историческими рядами и расчет всех материалов мониторинга. Данные, методика их обработки и технология подготовки бюллетеней одобрены Центральной методической комиссией Росгидромета³. Решением ЦМКП технология рекомендована к использованию «в качестве основной для регулярного осуществления мониторинга в ФГБУ «ИГКЭ Росгидромета и РАН»». Развернутый комментарий к материалам бюллетеня с описанием используемых источников, сети станций и элементов методики размещен на web-сайте ИГКЭ⁴.

Параллельно в бюллетене приводятся оценки по данным метеослужбы Великобритании⁵ – они упоминаются в бюллетене как «данные Hadley/CRU». Глобальные оценки и глобальные временные ряды (для Земного шара и полушарий) по данным Hadley/CRU приводятся только по оригинальным данным источника. Это значит, что глобальные и полушарные временные ряды рассчитаны по методике ИГКЭ только по массиву T3288; в остальных случаях (по данным CRUTEM4, HadSST3 и HadCRUT4) глобальные ряды скачиваются с сайта производителя и корректировке не подлежат. Пространственно осредненные временные ряды для регионов рассчитаны по методике ИГКЭ по данным HadCRUT4 (для океанов и широтных поясов) и по данным T3288 (для континентов).

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

⁴ О бюллетене мониторинга изменений климата Земного шара (read me). – <http://climatechange.su:> <http://climatechange.igce.ru>

⁵ 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-центр (Met Office Hadley Centre) и Университет 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.4.5.0.0, CRUTEM.4.5.0.0, HadSST.3.1.1.0 от 05.04.2017.

На наш взгляд, станционные данные Т3288 более точно описывают ситуацию над континентами (особенно локализацию экстремальных аномалий), а объединенные поля HadCRUT4 дают более полную и цельную глобальную картину распределения «приповерхностной» температуры над континентами и океанами. Термины «приповерхностная температура» и «приземная температура» используются в бюллетене как синонимы.

Таким образом, в используемой технологии массив Т3288 служит базовым массивом для оценки состояния температурных условий *на суше земного шара*, а массив HadCRUT4 используется для создания полной *глобальной* картины *над сушей и океанами*. Глобальные временные ряды CRUTEM4 и оценки по ним приводятся в бюллетене для сравнения с одноименными данными ИГКЭ с целью лучшего понимания меры их неопределенности. В частности, временные ряды на рис. 1.1 и оценки в табл. 1.1 подтверждают исключительную близость оценок по этим двум источникам для зимних месяцев 1976-2017 гг. (сезон максимальной изменчивости приземной температуры в Северном полушарии).

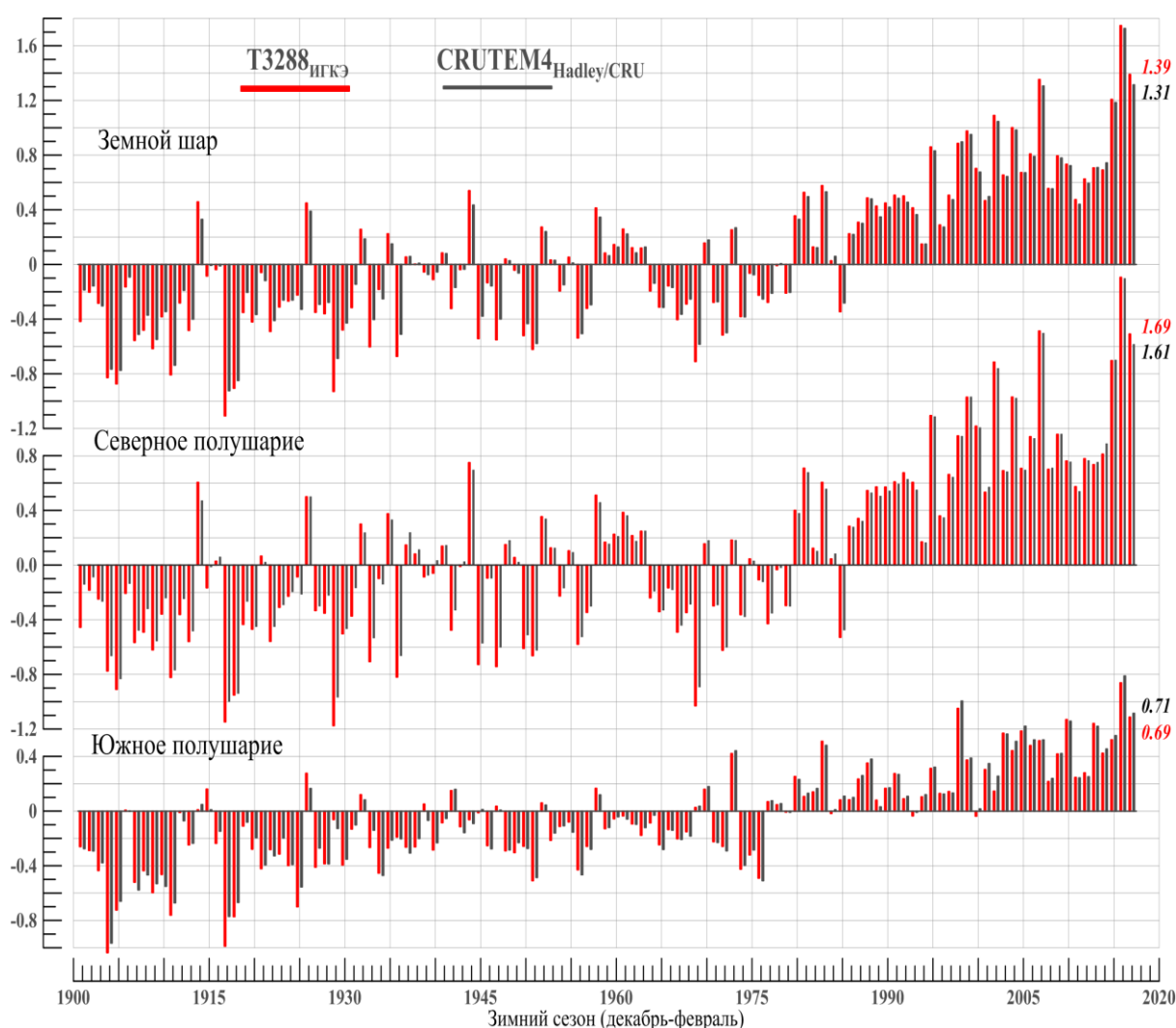


Рисунок 1.1 – Временные ряды пространственно осредненных аномалий температуры приземного воздуха (°C, 1901-2017 гг., зима) для территории Земного шара, Северного и Южного полушарий. *Использованы глобальные временные ряды CRUTEM4 (Hadley/CRU) и глобальные ряды по данным Т3288 (ИГКЭ Росгидромета и РАН).*

Различия между значениями этих рядов в отдельные годы не превышают $0.1-0.2^{\circ}\text{C}$ (строка «max»), при том, что их средние квадратические отклонения составляют лишь $0.03-0.05^{\circ}\text{C}$ (строка « σ »), что более чем на порядок ниже изменчивости самих аномалий (строка «std»). Различие в оценках трендов и вовсе пренебрежимо мало: $0.00-0.01^{\circ}\text{C}/10$ лет (строка «b»). Таким образом, приводимые ниже оценки трендов, полученные по данным массива T3288, можно считать реалистичными, по крайней мере, в среднем по территории крупных регионов.

Таблица 1.1 – Оценки близости/различия глобальных временных рядов T3288 (ИГКЭ) и CRUTEM4 (Hadley/CRU), зимой 2017 г. и в среднем за зимние сезоны 1976-2017 гг.

	Земной шар				Северное полушарие				Южное полушарие			
	Зима	XII	I	II	Зима	XII	I	II	Зима	XII	I	II
Разность	2017, T3288-CRUTEM4											
	-0.08	0.00	-0.10	-0.15	-0.08	0.02	-0.13	-0.14	0.03	0.03	0.03	0.00
Оценка	1976-2017											
eD	-0.01	-0.01	-0.01	-0.02	-0.01	-0.01	0.00	-0.02	0.02	0.02	0.02	0.01
αD	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04	0.03	0.04	0.03	0.04	0.04	0.03
σD	0.03	0.03	0.04	0.05	0.03	0.04	0.05	0.04	0.03	0.05	0.03	0.04
maxD	0.08	0.09	0.13	0.15	0.08	0.10	0.15	0.14	0.11	0.18	0.09	0.10
bD	0.00	0.00	0.00	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00
Corr(Z ₁ ,Z ₂)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	0.99
Std(Z ₁ ,Z ₂)	0.44	0.45	0.46	0.53	0.55	0.58	0.59	0.69	0.27	0.27	0.28	0.30

Условные обозначения. 1) eD, αD , σD , maxD, bD – статистические характеристики различий: среднее различие, среднее абсолютное, стандартное отклонение, максимум, среднее различие коэффициентов тренда;

2) $\text{Corr}(Z_1, Z_2)$, $\text{Std}(Z_1, Z_2)$ – корреляция сравниваемых глобальных рядов и их усредненное стандартное отклонение.

Все Бюллетени мониторинга климата, сезонные и годовые, выпускаемые в ФГБУ «ИГКЭ Росгидромета и РАН», размещаются на сайтах <http://climatechange.su/>, <http://climatechange.igce.ru/>. Сезоны соответствуют их календарным срокам в Северном полушарии.

2. ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ У ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМНОГО ШАРА ЗИМОЙ 2016/17 гг. ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ АНОМАЛИИ

В среднем по территории Земного шара, зимний сезон 2016/17 гг. стал вторым самым теплым, после 2015/16, как над сушей (T3288, CRUTEM4), так и над океанами (HadSST3) и интегрально (HadCRUT4). Для полушарий сезон стал третьим в соответствующих упорядоченных по убыванию температурных временных рядах (табл. 2.1) с двумя исключениями: HadCRUT4, Южное полушарие – ранг 4 (суша+море) и HadSST3, Северное полушарие (море) – ранг 2.

В сравнении с зимним сезоном прошлого года, уровень температурных аномалий зимой 2016/17 гг. резко снизился (табл. 2.1, рис. 1.1). В среднем *по территории суши* Земного шара, Северного и Южного полушарий это понижение составило 0.36, 0.41 и 0.25°C, соответственно.

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

№	ЗШ		СП		ЮП	
	VT, °C	Зима	VT, °C	Зима	VT, °C	Зима
HadCRUT4 (Hadley/CRU, суша+море)						
1	1.000	2016	1.354	2016	0.645	2016
2	0.729	2017	1.031	2007	0.524	1998
3	0.697	2007	0.990	2017	0.500	2010
4	0.681	2015	0.989	2015	0.468	2017
5	0.584	1998	0.824	2002	0.419	2003
T3288 (ИГКЭ. суша)						
1	1.747	2016	2.104	2016	0.938	2016
2	1.389	2017	1.712	2007	0.750	1998
3	1.353	2007	1.690	2017	0.687	2017
4	1.207	2015	1.495	2015	0.669	2010
5	1.089	2002	1.484	2002	0.641	2013
CRUTEM4 (Hadley/CRU. суша)						
1	1.726	2016	2.096	2016	0.988	2016
2	1.314	2017	1.697	2007	0.805	1998
3	1.305	2007	1.614	2017	0.715	2017
4	1.184	2015	1.500	2015	0.657	2010
5	1.045	2002	1.439	2002	0.621	2005
HadSST3 (Hadley/CRU. море)						
1	0.687	2016	0.754	2016	0.561	2016
2	0.484	2017	0.552	2017	0.457	2010
3	0.470	2010	0.517	2015	0.448	2017
4	0.458	1998	0.458	2007	0.407	1998
5	0.432	2015	0.441	2010	0.363	2002

Основной географической особенностью температурного режима минувшего сезона (зима 2016/17 гг.), по-видимому, следует считать явное доминирование положительных аномалий температуры на всей территории Земного шара (температура выше климатической нормы 1961-1990 гг.) и сосредоточение наиболее заметных областей тепла в умеренных и полярных широтах Северного полушария, преимущественно на континентах. Действительно, 86-84% всех точечных аномалий температуры были положительны против 14-16% отрицательных (рис. 2.1, табл. 2.2).

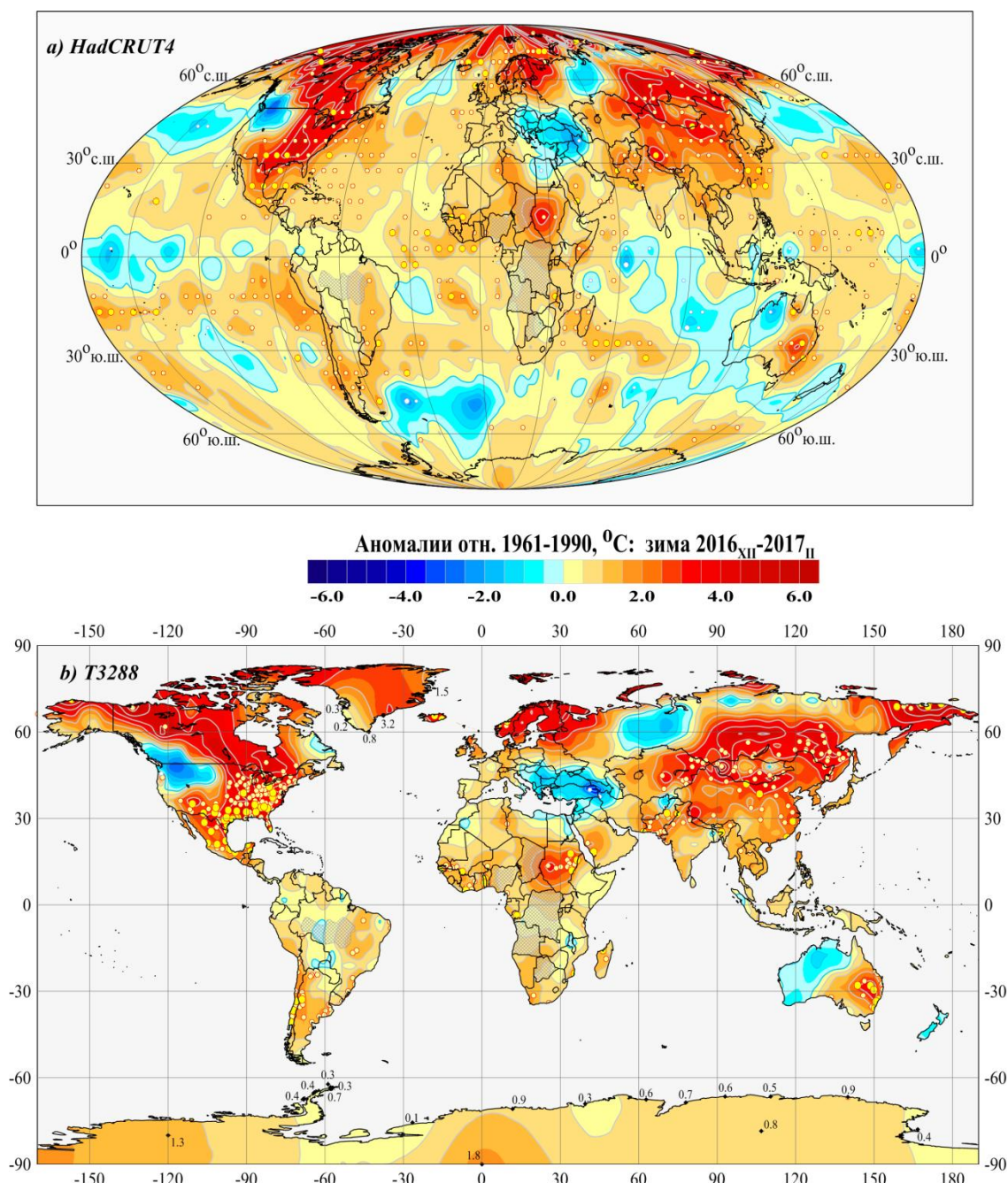


Рисунок 2.1 – Пространственное распределение аномалий приземной температуры (°C) на территории Земного шара зимой 2016/2017 гг.: а) по сеточным данным HadCRUT4 (Hadley/CRU, UK); б) по станционным данным T3288 (ИГКЭ).

Аномалии приведены в отклонениях от средних за 1961-1990 гг. Кругами белого (минимумы) и желтого (максимумы) цвета указано положение боксов/станций с рекордными значениями аномалий. Значками меньшего размера указано положение 5%-х экстремумов. Для станций Антарктиды и Гренландии непосредственно в точках расположения станций показаны числовые значения наблюдаемых аномалий.

82% всех положительных наземных данных (табл. 2.2, T3288) зарегистрированы станциями, расположенными в Северном полушарии, в том числе 65% – севернее 30-й параллели. С учетом данных со всей территории Земного шара (табл. 2.2, HadCRUT4), различие между полушариями меньше: доля боксов с положительными аномалиями в Северном полушарии составляет 59%, из них 33% лежат севернее 30° с.ш. (согласуется с преимущественной локализацией областей тепла на континентах Северного полушария). Статистика экстремальных аномалий в табл. 2.2 также подчеркивает теплый характер этой зимы: 21-22% всех значений в категории 5%-х экстремумов тепла против 0-1% экстремумов холода при полном отсутствии новых абсолютных максимумов сезонных температур на станциях. Максимальные положительные аномалии по станционным данным отмечены на островах Российской Арктики (до 12.3°C), на севере Европы (11.4°C) и в Австралии, где в отдельные дни максимальная температура в дневные часы достигала 39-40°C.

Во всех рассмотренных крупных регионах мира – на территории континентов, океанов и основных широтных поясов – средняя по региону температура также оказалась выше климатической нормы – все значения аномалий положительны, как в среднем за сезон, так и в каждом из месяцев (табл. 2.3). Рекордно теплым сезон был лишь в северной части Атлантического океана (15-70° с.ш.), где новые абсолютные максимумы зафиксированы не только в целом за сезон, но и в январе и феврале. В феврале рекордно теплые условия сложились, помимо Северной Атлантики, еще и в умеренных широтах южного полушария (табл. 2.3).

Отрицательные аномалии наблюдались (рис. 2.1) на западе Северной Америки, в юго-восточных районах Европы, в Западной Сибири и в западной части Австралийского континента. Максимальные (по модулю) отрицательные аномалии составили -6°C (Западная Сибирь). Новых абсолютных минимумов сезонных температур не выявлено, и лишь на пяти станциях отмечены сезонные аномалии ниже 5-го перцентиля (5%-е экстремумы холода).

Таблица 2.2 – Количество локальных экстремумов на территории Земного шара, выявленных по данным о сезонных аномалиях приземной температуры на станциях (T3288) и в центрах боксов (HadCRUT4) зимой 2016/17 гг.

Данные	Всего станций	Аномалии		5%-е экстремумы тепла/холода			Абсолютные (с 1911 г.) минимумы/максимумы		
		<0	>=0	$X \leq P_{05}$	$X \geq P_{95}$	Всего	$X=P_0$ (Min)	$X=P_{100}$ (Max)	Всего
T3288	1819	248 14%	1571 86%	5 0.3%	394 22%	399 22%	0	90 5%	90 5%
В том числе:									
СП		205 83%	1291 82%	5 100%	235 60%			74 82%	
30-90N		193 78%	1022 65%	5 100%	225 57%			41 46%	
HadCRUT4	1675	274 16%	1401 84%	21 1%	346 21%	367 22%	3 0.2%	65 4%	68 4%
В том числе:									
СП		122 45%	829 59%	9 43%	221 64%		0	45 69%	
30-90N		97 35%	461 33%	3 14%	119 34%			18 28%	

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

Таблица 2.3 - Пространственно осредненные значения аномалии (°C)
приземной температуры и их вероятности неперевышения на территории Земного шара
зимой 2016/17 гг., в среднем за сезон и по месяцам

Регион	Зима		Декабрь		Январь		Февраль	
	vT_{2017}	$F\%$	vT_{2017}	$F\%$	vT_{2017}	$F\%$	vT_{2017}	$F\%$
<i>HadCRUT4 (суша+море)</i>								
Земной шар*	0.73	99	0.60	97	0.74	98	0.85	99
Северное полушарие*	0.99	98	0.80	96	1.03	97	1.15	99
Южное полушарие*	0.47	97	0.40	96	0.45	97	0.55	98
Атлантика (15-70N)	0.79	100	0.76	99	0.80	100	0.82	100
Тихий океан (20-65N)	0.39	94	0.45	97	0.31	91	0.41	94
Арктический пояс (65-90N)	2.51	96	1.60	77	3.03	93	3.06	94
Умеренный пояс СП (25-65N)	1.16	96	0.79	91	1.14	97	1.56	97
Тропики (25S-25N)	0.57	96	0.61	96	0.57	96	0.50	93
Умеренный пояс ЮП (65-25S)	0.47	99	0.32	93	0.48	98	0.64	100
Антарктический пояс (90-65S)	0.43	98	0.68	94	0.39	92	0.39	98
<i>IGCE-T3288 (суша)</i>								
Земной шар	1.39	99	1.04	96	1.43	99	1.71	99
Северное полушарие	1.69	98	1.18	94	1.77	99	2.14	99
Южное полушарие	0.69	98	0.71	99	0.68	97	0.69	97
Северная Америка	2.40	95	0.62	54	3.27	97	3.33	99
Евразия	1.72	94	1.14	86	1.65	92	2.41	94
Южная Америка	0.70	96	0.72	95	0.75	93	0.74	95
Африка	1.02	96	1.47	98	0.73	88	0.79	87
Австралия	0.53	88	0.53	83	0.71	84	0.17	68
Антарктида	0.81	99	0.84	85	0.15	64	1.50	97
<i>CRUTEM4 (суша)</i>								
Земной шар*	1.31	99	1.05	96	1.33	98	1.57	99
Северное полушарие*	1.61	98	1.20	95	1.64	98	2.01	99
Южное полушарие*	0.72	98	0.74	99	0.72	97	0.69	96

Условные обозначения:

1. vT_{2017} , °C – наблюдаемая аномалия в 2017 г. (относительно 1961-1990 гг.);
2. F_{vT} – значение эмпирической функции распределения $F = \text{prob}(X \leq vT_{2017})$ по данным за 1911-2016 гг. (вероятность неперевышения)
3. Красным шрифтом выделены абсолютные максимумы – наибольшие из всех значений ряда за 1911-2017 гг.
4. Все значения аномалий в таблице положительны, т.е. зимой 2016/17 гг. во всех рассмотренных регионах средняя по региону температура была выше климатической нормы 1961-1990 гг.

Самый теплый месяц сезона (рис. 2.2) – февраль, когда на 89% станций аномалии температуры были положительными, и область тепла охватила почти всю территорию Евразии (кроме Ближневосточного региона), Северную Америку (кроме узкой полосы западного побережья вблизи границы Канада-США) и восточную территорию Австралии. Из 120 станций, на которых в этот месяц были отмечены новые максимумы среднемесячной температуры (среди февралей 1911-2017 гг.), 91 находятся в Северной Америке (в основном, на восточном побережье США). Самый холодный месяц – декабрь, когда одна область интенсивных отрицательных аномалий протянулась от побережья Российской Арктики до юга России и восточного Средиземноморья, а другая, не столь обширная, сформировалась на западе Северной Америки (всего отрицательные аномалии зафиксированы на 24% всех станций). Число локальных 5%-х экстремумов тепла в декабре-феврале составило 14-12-17%, экстремумов холода, соответственно, 1.2-0.9-0.3%. Прежние месячные рекорды перекрыты лишь на отдельных станциях.

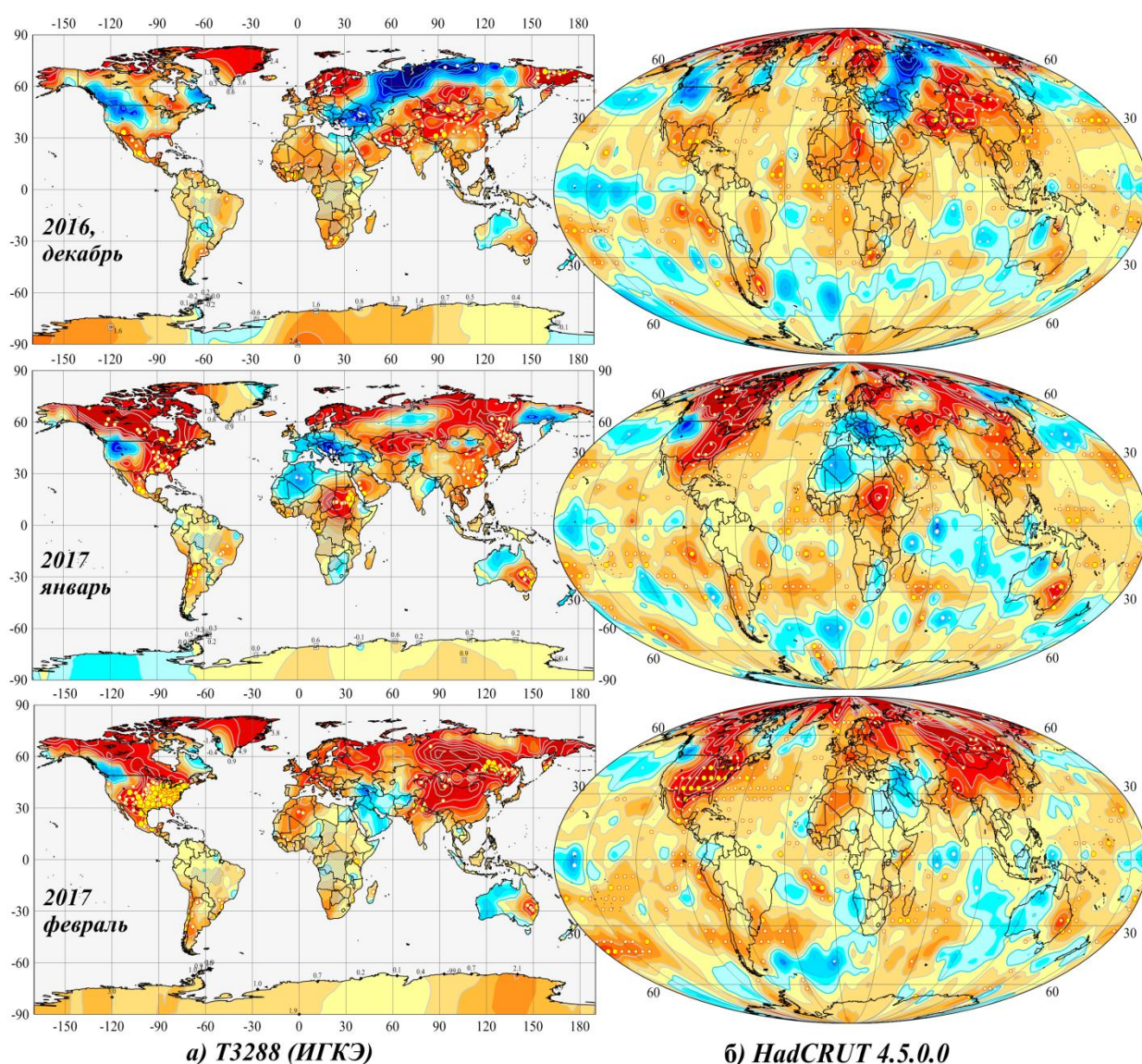


Рисунок 2.2 – См. рис. 2.1, но для среднемесячных аномалий зимних месяцев

3. КРУПНОМАСШТАБНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ЗЕМНОГО ШАРА ЗА ПЕРИОД ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ, 1850-2017 гг. (зимний сезон)

В 20-м столетии четко разделяются несколько чередующихся периодов глобального (в целом для Земного шара) потепления и похолодания (рис. 3.1). Начало последнего периода потепления принято относить к концу 1970-х гг., но в середине 1980-х – начале 1990-х в Северном полушарии еще были периоды со средней для полушария температурой ниже базового уровня 1961-1990 гг. После 1995 г. таких периодов не было. Некоторое ослабление потепления после 2010 г. можно связывать с холодными зимами 2010-2014 гг., но примерно с середины 2014 г. потепление (включая зимние сезоны) вновь усилилось, особенно заметно в Северном полушарии.

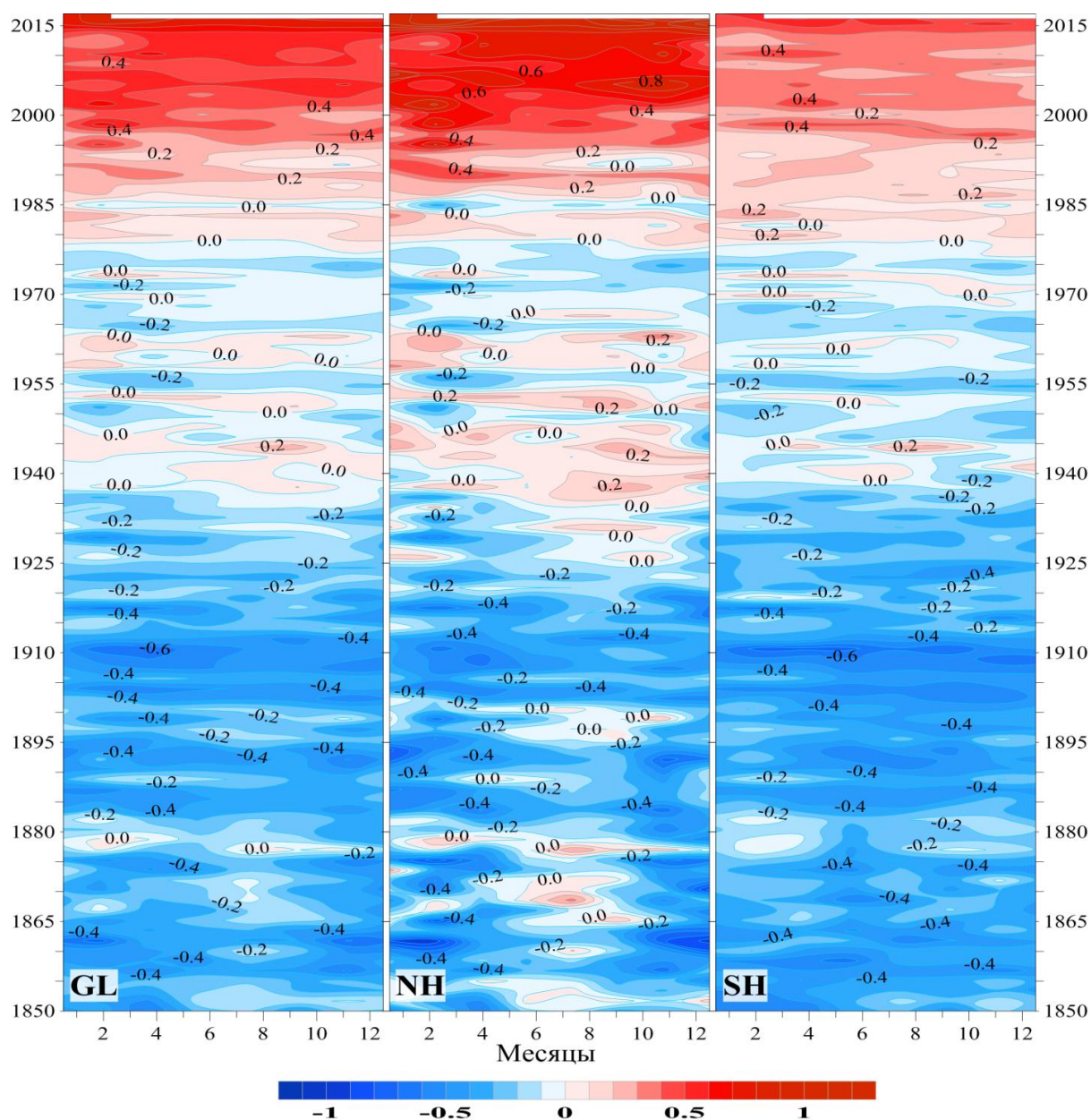
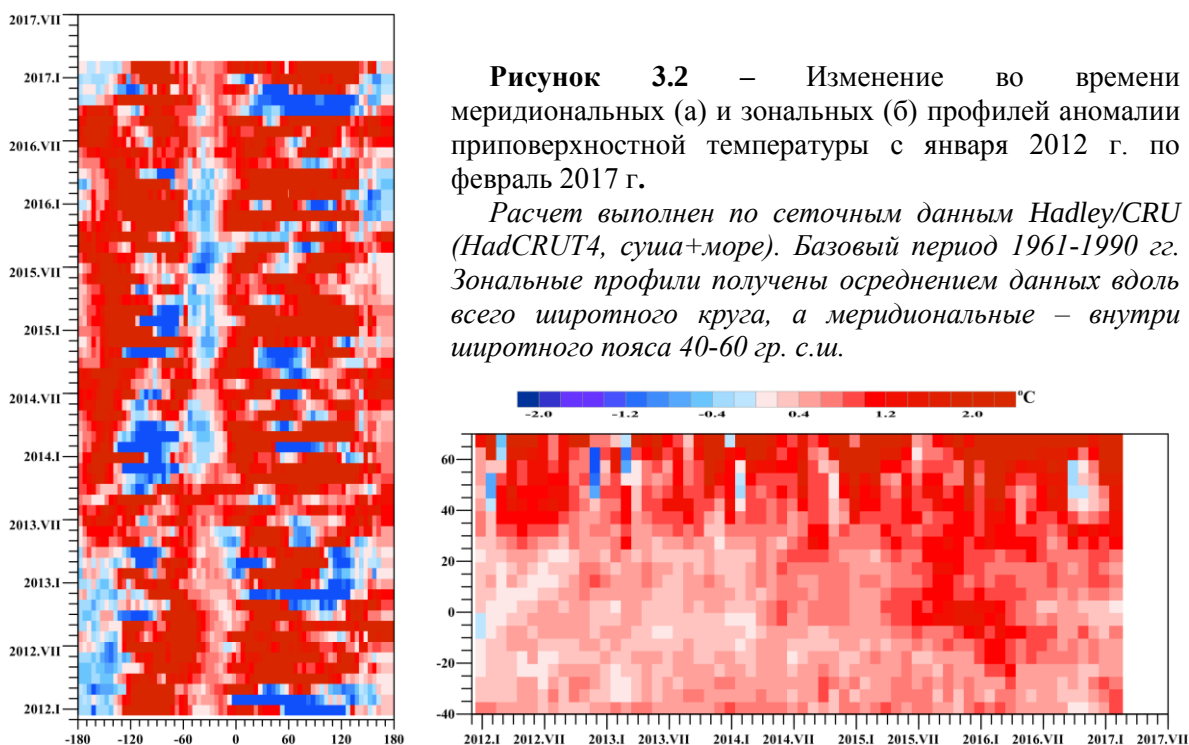


Рисунок 3.1 – Изменение средней месячной приповерхностной температуры, осредненной по территории Земного шара (GL), Северного (NH) и Южного (SH) полушарий в течение периода с января 1850 по февраль 2017 гг. (по данным HadCRUT4, Hadley/CRU, UK).

Следуя рис. 3.2, можно дополнить характеристику глобальных изменений температурного режима последних лет некоторыми деталями их широтно-долготного распределения. Так, в умеренных широтах Евразии холодная осень 2016 г. сменилась теплыми зимними месяцами, характеризующимися интенсивными положительными аномалиями. В Тихоокеанском секторе северных умеренных широт, напротив, интенсивная аномалия тепла, длившаяся с середины 2013 г., сменилась в середине осени 2016 г. слабой отрицательной аномалией, которая сохранилась здесь до конца минувшей зимы.



Интегральную оценку характера и интенсивности наблюдаемых глобальных изменений приземной температуры дают глобально осредненные временные ряды и их количественные описания. Ниже, глобальные и полушарные временные ряды, рассчитанные по различным наборам данных (рис. 3.3), наглядно иллюстрируют факт продолжающегося потепления и его основные особенности, такие как значительно бóльшую активность у поверхности суши и в Северном полушарии, чем на поверхности океанов и в Южном полушарии. Ярко проявляется и скачкообразный характер резкого двухступенчатого повышения зимней температуры (особенно над сушей) от 2014 г. к 2015 и к 2016 гг. и почти столь же резкого снижения ее в 2017 г. (табл. 3.1, рис. 3.3б). В результате, температура осталась все же выше уровня 2015 г. и в большинстве случаев выше предыдущего максимума.

Таблица 3.1 – Изменения приземной температуры зимнего сезона последних трех лет, в среднем по территории суши Земного шара и полушарий

Годы	Данные T3288, °C (ИГКЭ)			Данные CRUTEM4, °C (Hadley/CRU)		
	Земной шар	СП	ЮП	Земной шар	СП	ЮП
2014-2015	0.516	0.684	0.099	0.441	0.612	0.098
2015-2016	0.540	0.609	0.416	0.542	0.596	0.436
2016-2017	-0.358	-0.414	-0.251	-0.412	-0.482	-0.273

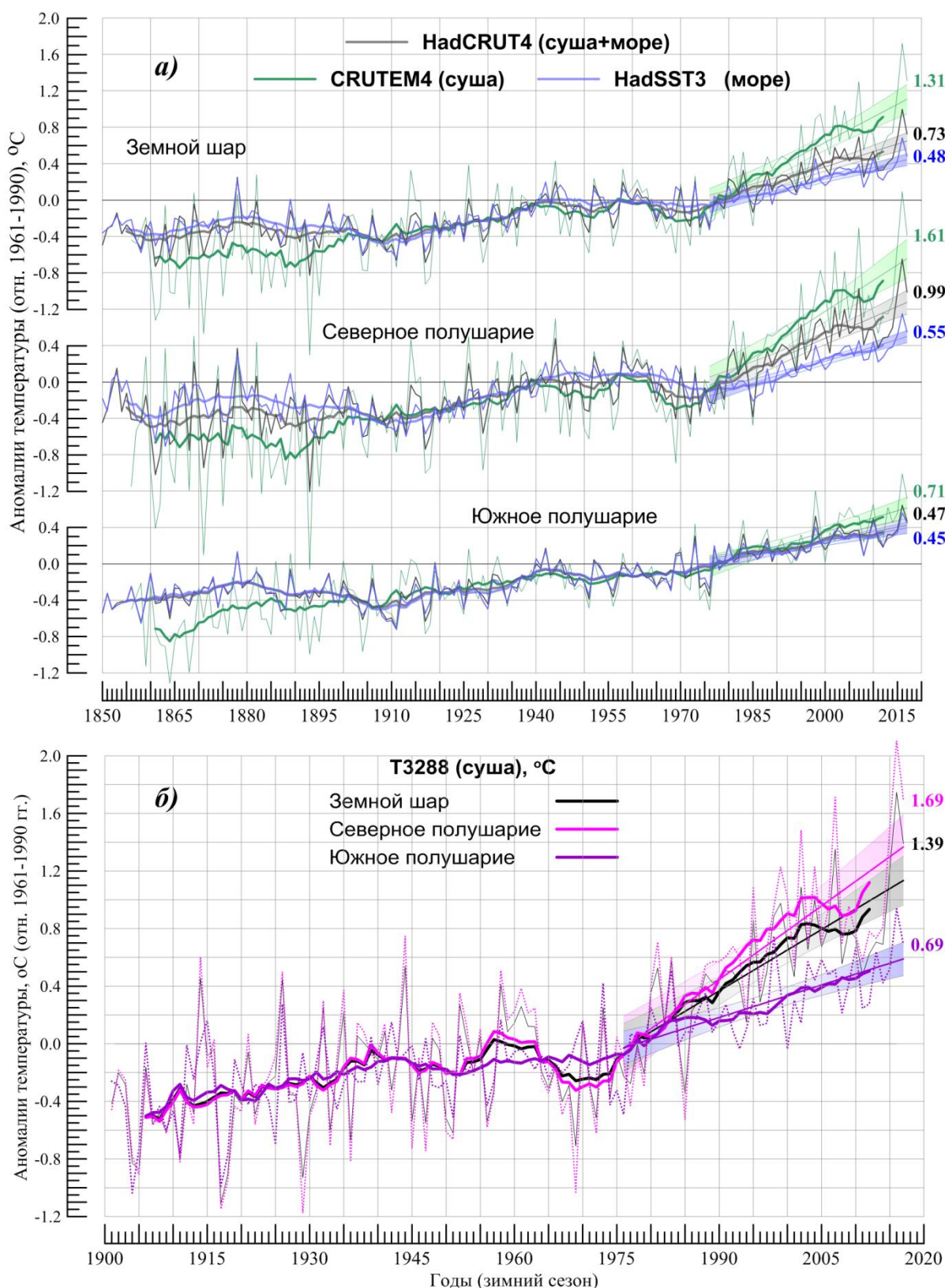


Рисунок 3.3 – Временные ряды сезонных аномалий приземной температуры (зима), осредненных по территории Земного шара, Северного и Южного полушарий: а) по данным Hadley/CRU, 1850-2017 гг.: HadCRUT4 (суша+море), CRUTEM4 (суша), HadSST3 (море); б) по данным ИГКЭ Росгидромета и РАН, 1901-2017 гг.: T3288 (суша).

Для всех рядов показан ход 11-летних скользящих средних и линейный тренд за 1976-2017 гг. с 95% доверительным интервалом и приведены числовые значения сезонных аномалий в 2017 г.

Показатели k_1 - k_3 (табл. 3.3) количественно уточняют выводы, основанные на визуальном сопоставлении глобальных временных рядов (рис. 3.3) и оценок трендов (табл. 3.2) в разных факторных подгруппах. Так, *современное глобальное потепление зимних сезонов* у поверхности суши протекает быстрее, чем на поверхности океанов в Северном полушарии более чем в 2 раза, в Южном – в 1.5 раза (см. k_1). Примерно такое же соотношение между скоростями потепления Северного и Южного полушарий: более чем вдвое на суше и в 1.7 на поверхности океанов (см. k_2). Однако в целом за 100-летие разрыв между полушариями существенно меньше (в пределах 1.8), а поверхность океанов и вовсе быстрее теплеет в Южном полушарии ($k_2 < 1$).

Таблица 3.2 – Коэффициенты линейного тренда ($^{\circ}\text{C}/10 \text{ лет}$) глобальных временных рядов приземной температуры за 1976-2017 гг. и 1918-2017 гг., в среднем за сезон и по месяцам

Регион	1976-2017				1918-2017			
	зима	декабрь	январь	февраль	Зима	декабрь	январь	февраль
HadCRUT4 (Hadley/CRU, суша+море)								
Земной шар	0.167	0.166	0.162	0.173	0.083	0.081	0.081	0.087
Северное полушарие	0.232	0.234	0.220	0.242	0.095	0.094	0.089	0.103
Южное полушарие	0.102	0.098	0.104	0.105	0.071	0.068	0.073	0.071
T3288 (суша)								
Земной шар	0.284	0.270	0.281	0.302	0.136	0.135	0.125	0.148
Северное полушарие	0.341	0.324	0.331	0.371	0.157	0.156	0.139	0.176
Южное полушарие	0.151	0.145	0.165	0.143	0.087	0.083	0.098	0.081
CRUTEM4 (Hadley/CRU, суша)								
Земной шар	0.279	0.268	0.277	0.293	0.128	0.123	0.121	0.140
Северное полушарие	0.341	0.324	0.331	0.368	0.149	0.143	0.134	0.169
Южное полушарие	0.156	0.156	0.169	0.143	0.087	0.082	0.095	0.083
HadSST3 (Hadley/CRU, море)								
Земной шар	0.126	0.132	0.122	0.123	0.061	0.060	0.062	0.062
Северное полушарие	0.160	0.175	0.155	0.151	0.055	0.056	0.055	0.053
Южное полушарие	0.096	0.092	0.094	0.102	0.069	0.066	0.070	0.072

Примечание. Все оценки в таблице статистически значимы на уровне 0.1%.

Таблица 3.3 – Сравнение скорости глобального потепления (у поверхности) в разных факторных подгруппах, в среднем за сезон

k_1	$b_{\text{суша}}/b_{\text{море}}$ <i>T3288/HadSST3</i> <i>CRUTEM4/HadSST3</i>	1976-2017			1918-2017		
		<i>ЗИ</i>	<i>СП</i>	<i>ЮП</i>	<i>ЗИ</i>	<i>СП</i>	<i>ЮП</i>
		2.3	2.1	1.6	2.2	2.9	1.3
		2.2	2.1	1.6	2.1	2.7	1.3
k_2	$b_{\text{СП}}/b_{\text{ЮП}}$	1976-2017			1918-2017		
		<i>T3288</i>	<i>CRUTEM</i>	<i>HadSST</i>	<i>T3288</i>	<i>CRUTEM</i>	<i>HadSST</i>
		2.3	2.2	1.7	1.8	1.7	0.8
k_3	$b_{1976-2016}/b_{1917-2016}$	СП			ЮП		
		<i>T3288</i>	<i>CRUTEM</i>	<i>HadSST</i>	<i>T3288</i>	<i>CRUTEM</i>	<i>HadSST</i>
		2.2	2.3	2.9	1.7	1.8	1.4

Полезно отметить, что ускорение современного потепления (в сравнении с последним 100-летьем) у поверхности суши более интенсивно в Северном полушарии, а на поверхности океанов – в Южном (см. k_3). Во всех случаях оценки по данным CRUTEM4 (Hadley/CRU) и T3288 (ИГКЭ) практически одинаковы.

Таким образом, с добавлением наблюдений за зимний сезон 2016/17 гг., оценки трендов в изменении глобальной температуры за период с 1976 г. практически не изменились. Современное глобальное потепление зимних сезонов у поверхности Земного шара продолжается на прежнем уровне. Основной вклад в него, по-прежнему, принадлежит Северному полушарию при доминирующей роли континентов.

4. РЕГИОНАЛЬНЫЕ ВРЕМЕННЫЕ РЯДЫ ПРОСТРАНСТВЕННО ОСРЕДНЕННЫХ АНОМАЛИЙ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ, 1911-2017 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). Данные до 1911 г. не приводятся, т.к. представляются недостаточно полными и надежными (особенно над океанами). На всех временных рядах показаны тренды за период 1976-2017 гг., условно принятый за период современного глобального потепления. Числовые оценки трендов приведены в табл. 4.1

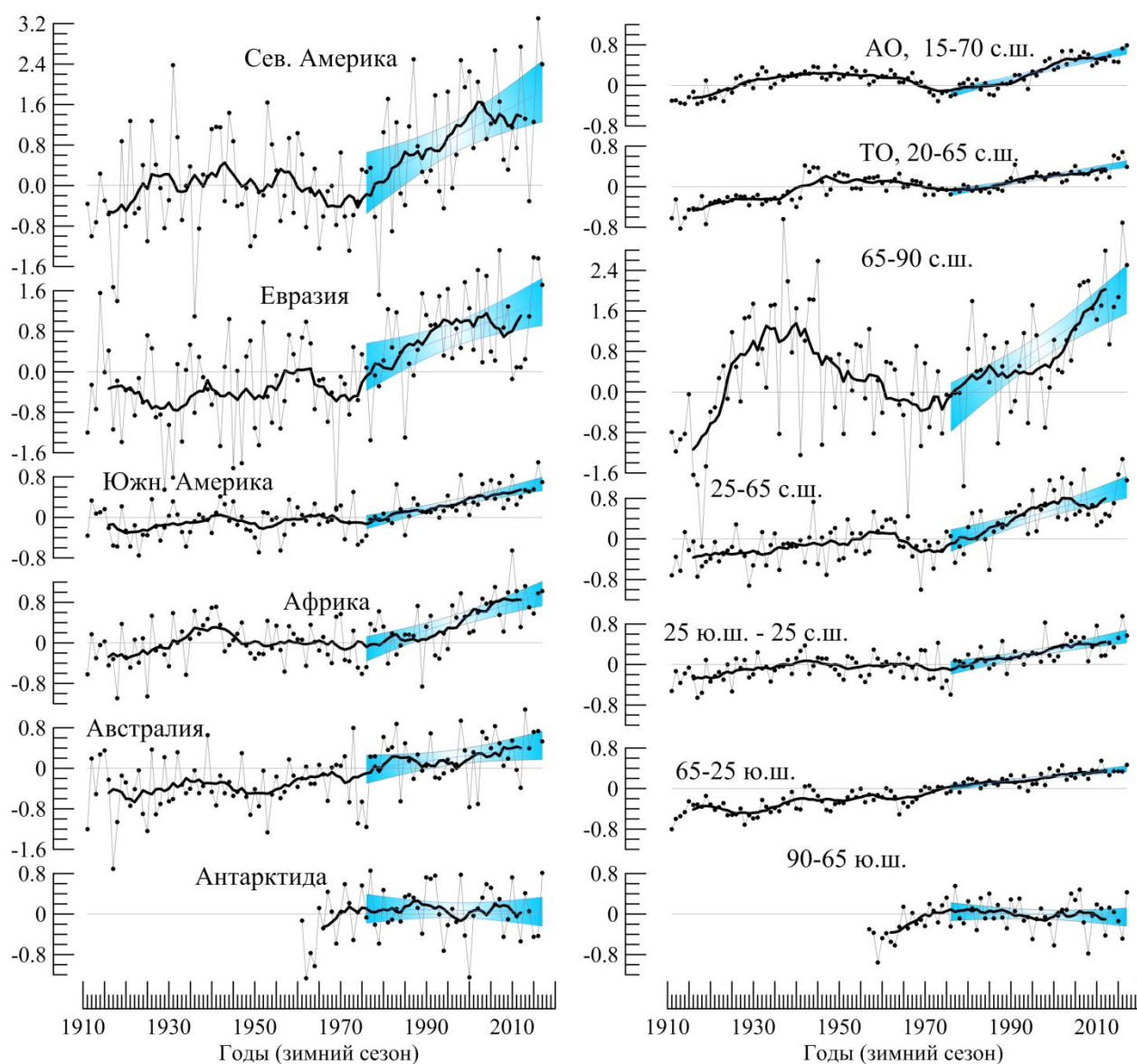


Рисунок 4.1 – Временные ряды пространственно осредненных аномалий зимнего сезона приземной температуры для континентов (слева), северных частей Атлантического и Тихого океанов (справа сверху) и основных широтных поясов земного шара (справа внизу).

Расчеты выполнены по методике ИГКЭ по данным T3288 (для континентов) и HadCRUT4 (для океанов и широтных поясов). Аномалии приведены в отклонениях от средних за 1961–1990. Сглаженные кривые (жирная линия) получены 11-летним скользящим осреднением. Показан линейный тренд за 1976-2017 гг. с 95% -м доверительным интервалом (голубая заливка).

Таблица 4.1. – Коэффициенты линейного тренда пространственно осредненных аномалий приземной температуры за 1976-2017 гг. для северных частей Атлантического и Тихого океанов, основных широтных поясов и континентов земного шара, в среднем за зимний сезон и по месяцам (в $^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$)

Регион	Зима	Декабрь	Январь	Февраль
HadCRUT4 (суша+море)				
Атлантика (15-70N)	0.206	0.218	0.211	0.189
Тихий океан (20-65N)	0.136	0.150	0.121	0.136
Арктический пояс (65-90N)	0.568	0.646	0.457	0.606
Умеренный пояс СП (25-65N)	0.257	0.239	0.255	0.278
Тропики (25S-25N)	0.151	0.160	0.144	0.147
Умеренный пояс ЮП (65-25S)	0.089	0.073	0.094	0.097
Антарктический пояс (90-65S)	-0.026	-0.004	-0.046	-0.049
T3288 (суша)				
Северная Америка	0.443	*0.472	0.569	0.288
Евразия	0.314	**0.249	**0.255	0.452
Южная Америка	0.184	0.184	0.200	0.178
Африка	0.266	0.270	0.233	0.280
Австралия	**0.114	0.062	*0.207	0.067
Антарктида	-0.015	-0.036	0.032	-0.025

Примечание. Оценки, статистически значимые на 1%-уровне, приведены без выделения. Символ * соответствует уровню значимости $\alpha = 5\%$, ** - уровню $\alpha = 10\%$, серая заливка – $\alpha > 10\%$.

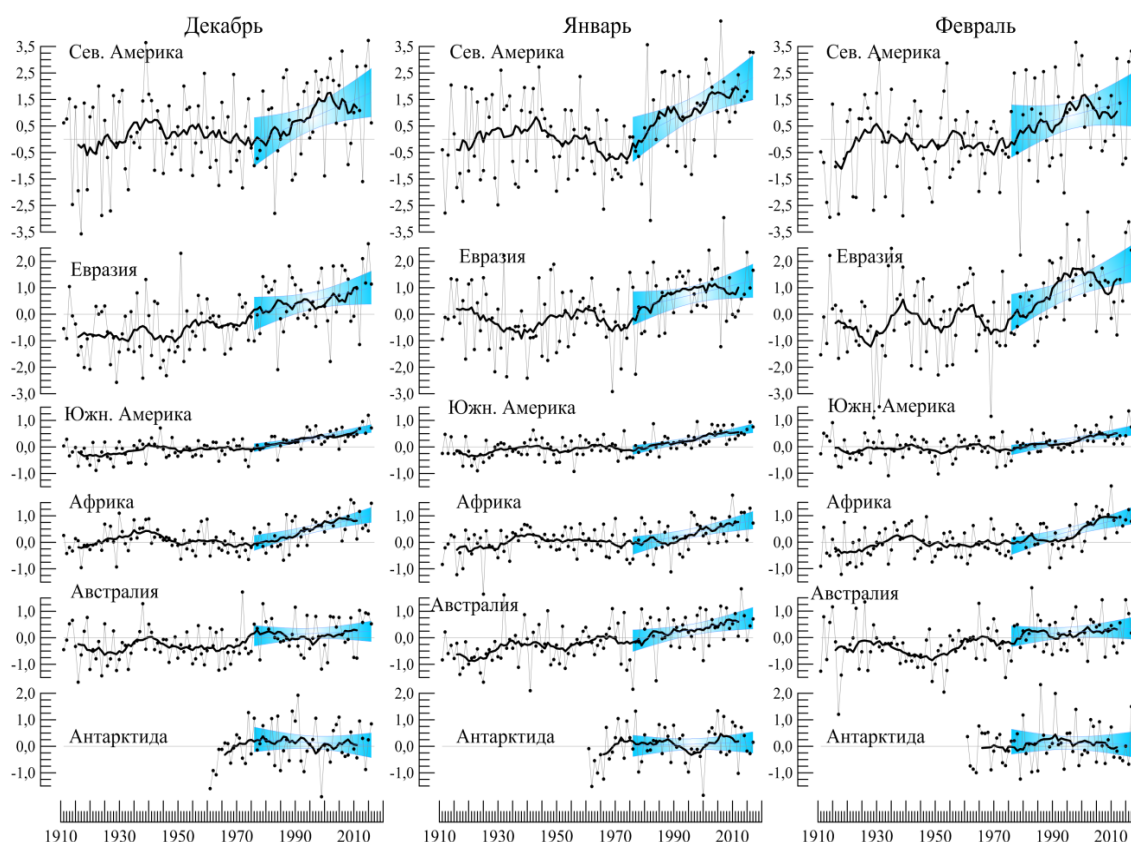


Рисунок 4.2 – См. рис. 4.1, но для месячных аномалий и только для континентов. Расчеты выполнены по методике и данным ИГКЭ (использованы станционные данные T3288)

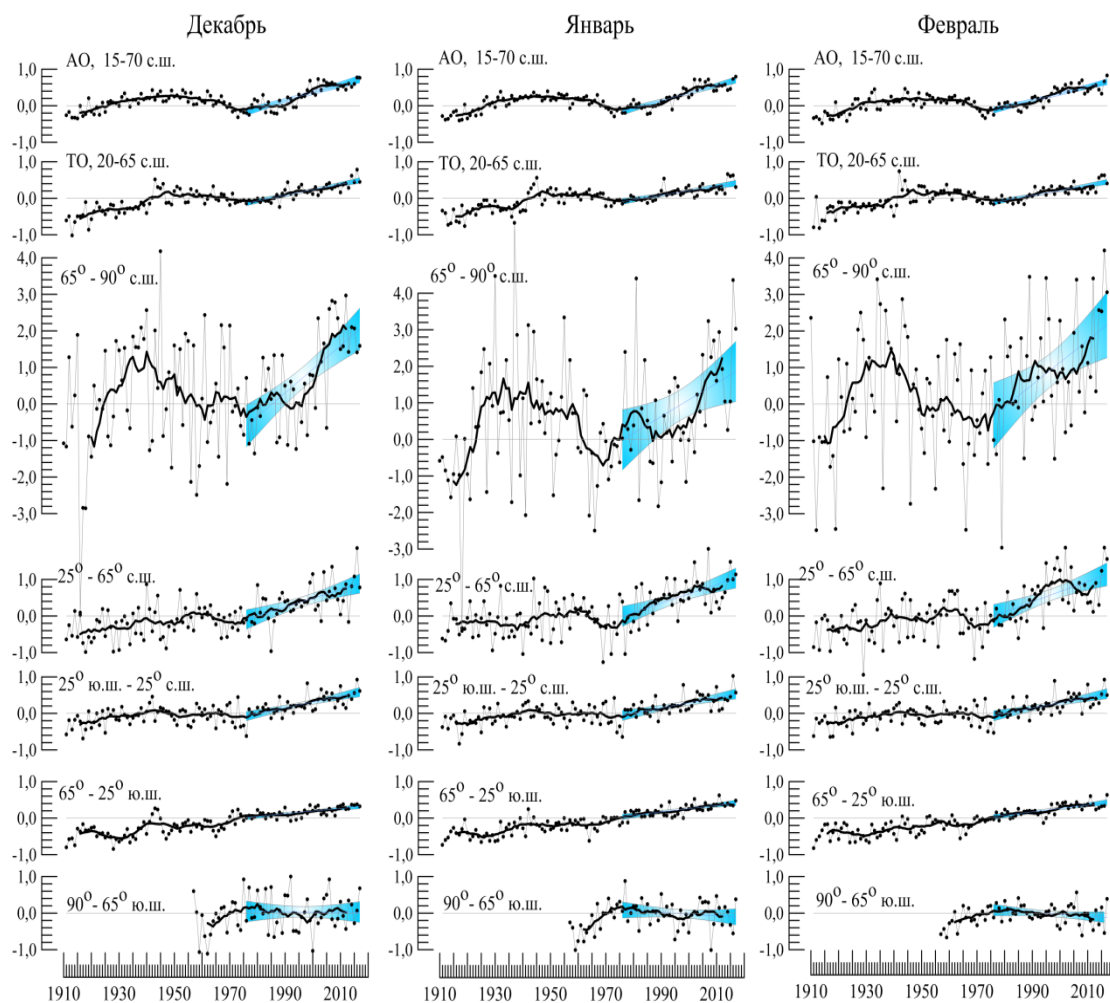


Рисунок 4.3 – См. рис.4.2, но для океанов и широтных поясов земного шара. *Использованы сеточные данные Hadley/CRU, UK (массив HadCRUT4, суша+море). Расчеты выполнены по методике ИГКЭ.*

5. ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА ЗЕМНОГО ШАРА, 1976-2017 гг. (зимний сезон)

Использованы данные наблюдений на 1770 станциях (массив T3288) и в центрах 1654 пятиградусных боксов (массив HadCRUT4), для которых своевременно поступили данные за зимний сезон 2016/17 г. и временной ряд аномалий температуры за 1976-2017 гг. не содержит пропусков за смежные годы. Ниже приведены: количественное распределение данных в зависимости от знака линейного тренда, его значимости и географического положения станции (табл. 5.1) и географическое распределение оценок тренда в форме полей изолиний с указанием областей наиболее уверенных выводов (рис. 5.1, 5.2).

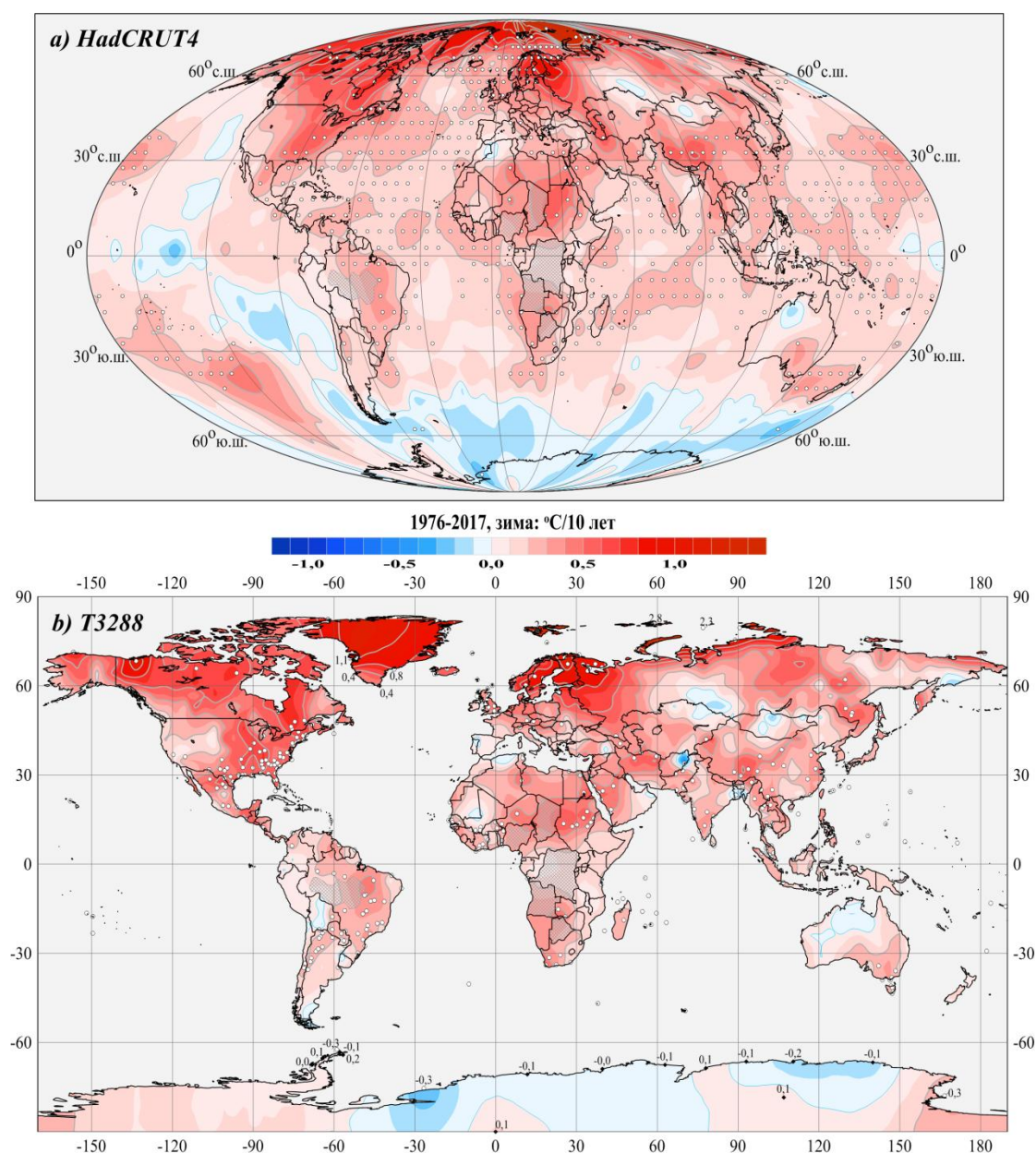


Рисунок 5.1 - Пространственное распределение коэффициентов линейного тренда температуры зимнего сезона у поверхности Земного шара за период 1976-2017 гг. ($^{\circ}\text{C}/10$ лет).

Использованы данные: а) HadCRUT4, Hadley/CRU, UK (сеточные данные 5x5-гр. над континентами и океанами); б) T3288, ИГКЭ (данные 3288 станций, суша). Для станций Антарктиды и Гренландии показаны числовые значения коэффициентов тренда. Белыми кружками выделены боксы/станции, для которых тренд статистически значим на 1%-м уровне.

Таблица 5.1 – Распределение «точечных» оценок тренда (на станциях и в центрах боксов) в зависимости от знака коэффициента тренда (**b**) и уровня значимости (**α**)

Данные	b>0				b<0			
	Всего	в том числе			Всего	в том числе		
		$\alpha<1\%$	$\alpha<5\%$	$\alpha<10\%$		$\alpha<1\%$	$\alpha<5\%$	$\alpha<10\%$
ТЗ288 (1770 станций)	1618 91%	401 25%	727 45%	921 57%	152 9%	6 0.3%	11 0.6%	15 0.8%
	в том числе в Северном полушарии							
	1358 77%	309 17%	592 33%	766 43%	112 6%	3 0.2%	6 0.3%	7 0.4%
HadCRUT4 (1654 бокса)	1496 90%	593 36%	800 48%	921 56%	158 10%	4 0.2%	17 1.0%	27 1.6%
	в том числе в СП							
	908 55%	404 24%	524 32%	593 36%	37 2%	0 0.0%	1 0.1%	1 0.1%

Примечание. Таблица обобщает распределение оценок на рис. 5.1. Проценты рассчитаны относительно полного числа используемых «точечных» данных, т.е. 1770 и 1654, соответственно.

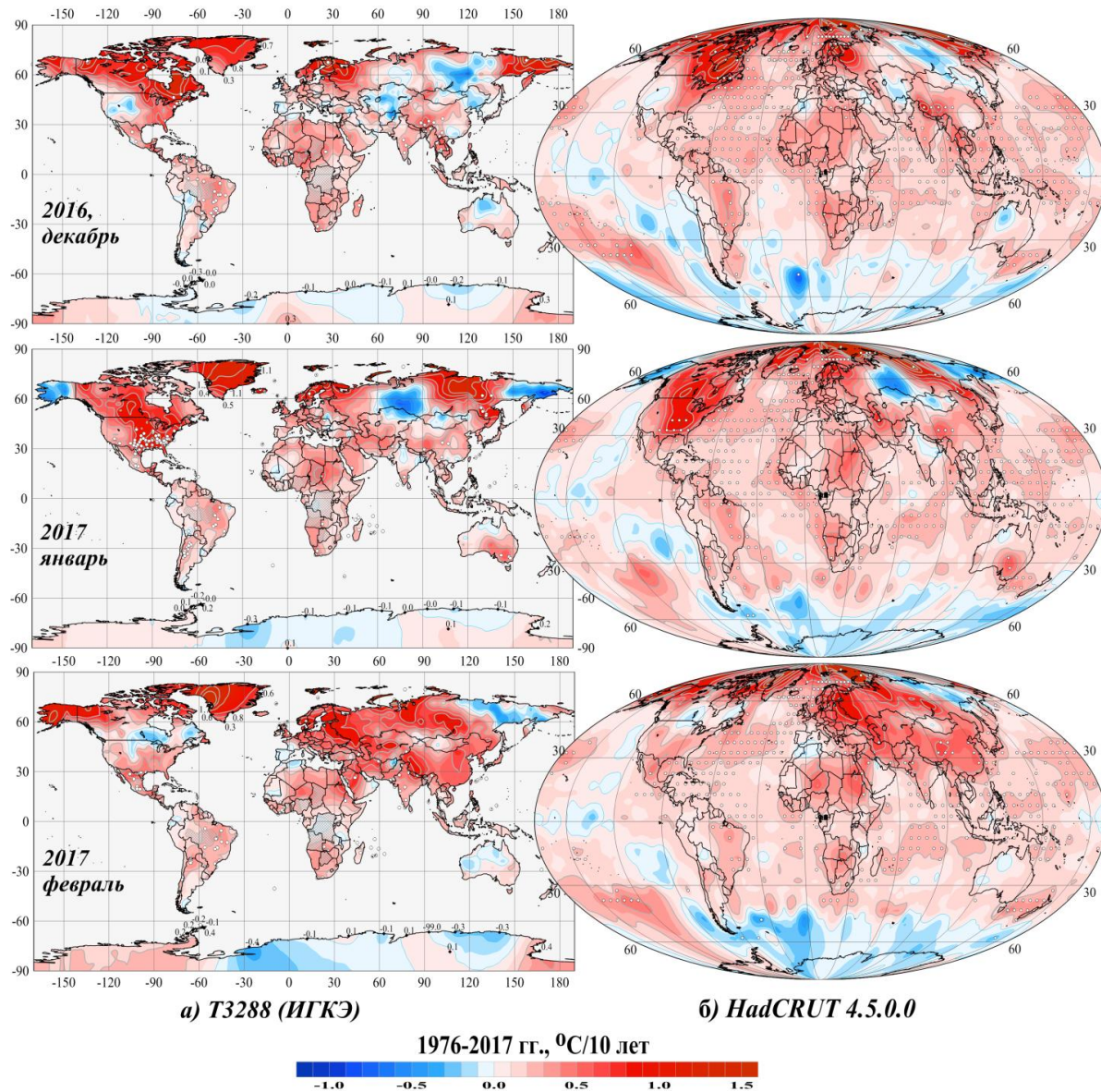


Рисунок 5.2 – См. рис. 5.1, но для среднемесячных аномалий зимнего сезона.

Можно видеть (табл. 5.1, рис. 5.1, 5.2), что по-прежнему на большей части земного шара доминирует тенденция к потеплению – более 90% всех коэффициентов тренда положительны и около половины из них статистически значимы на 5%-уровне. Области наибольшего потепления, как и ранее, сосредоточены на континентах Северного полушария (в Северной Америке, Европе, Средней Сибири).

Сохранилась и слабая тенденция к похолоданию в центре Евразии, в Южном океане, Антарктиде и восточных районах Тихого океана, но она стала слабее и по площади охвата, и по уровню значимости.

Тренд похолодания во всех случаях статистически незначим даже на 10%-уровне, а тенденция к потеплению на обширных территориях подтверждается оценками с уровнем значимости $\alpha \leq 0.01$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Аномалия глобальной температуры приземного воздуха над сушей, в среднем для Земного шара, Северного и Южного полушарий, составила зимой 2016/17 гг. 1.389, 1.690, 0.687°C (данные T3288, ИГКЭ, суша). Соответствующие значения для всей территории, над сушей и океанами, равны 0.729, 0.990 и 0.468 °C (данные HadCRUT4, Hadley/CRU, суша+море).

2. В среднем по территории Земного шара, зимний сезон 2016/17 гг. стал вторым самым теплым после сезона 2015/16 гг., как над сушей (T3288, CRUTEM4), так и над океанами (HadSST3) и интегрально (HadCRUT4). Для полушарий он был вторым в среднем по акваториям Южного океана (HadSST3), четвертым – для всей территории Северного полушария (суша+море, HadCRUT4) и третьим в остальных случаях. В сравнении с зимним сезоном прошлого года, уровень температурных аномалий зимой 2016/17 гг. резко снизился.

3. У поверхности суши в Северном полушарии особенно ярко проявился скачкообразный характер резкого двухступенчатого повышения зимней температуры от 2014 г. к 2015 и 2016 гг. и почти столь же резкого снижения ее в 2017 г. – соответственно, на 0.684, 0.609 и -0.414 °C. В результате, температура осталась все же выше уровня 2015 г. и в большинстве случаев выше предыдущего максимума.

4. Во всех рассмотренных крупных регионах мира – на территории континентов, океанов и основных широтных поясов – средняя по региону температура также оказалась выше климатической нормы – все значения аномалий положительны, как в среднем за сезон, так и в каждом из месяцев. Сезон был рекордно теплым лишь в северной части Атлантического океана (15-70° с.ш.) (в целом за сезон, в январе и феврале). В феврале рекордно теплые условия сложились еще и в умеренных широтах южного полушария.

5. В поле локальных сезонных аномалий приземной температуры положительные аномалии преобладают на всей территории Земного шара (в среднем, 85% положительных значений против 15% отрицательных). Наиболее заметные области тепла сосредоточены в умеренных и полярных широтах Северного полушария (82% станций с положительными аномалиями), преимущественно на континентах. Отрицательные аномалии наблюдались на западе Северной Америки, в юго-восточных районах Европы, в Западной Сибири и в западной части Австралийского континента.

6. По сравнению с предыдущим зимним сезоном экстремальность температурного режима снизилась. Около 20% всех точечных значений сезонных аномалий были выше 95-го процентиля (5%-е экстремумы тепла) и менее 1% ниже 5-го процентиля (5%-е экстремумы холода), при полном отсутствии новых абсолютных экстремумов сезонных температур на станциях (и максимумов, и минимумов). Максимальные положительные аномалии по станционным данным отмечены на островах Российской Арктики (до 12.3°C), на севере Европы (11.4°C) и в Австралии. Для сравнения: зимой 2015/16 гг. температура на 37.6% всех станций была выше 95-го процентиля и на 0.7% – ниже 5-го процентиля; среди них 9.9% станций зафиксировали новые сезонные максимумы и еще 0.5% – новые минимумы.

7. Самый теплый месяц сезона – февраль, когда на 89% станций аномалии температуры были положительными, и область тепла охватила почти всю территорию Евразии (кроме Ближневосточного региона), Северную Америку (кроме узкой полосы

западного побережья вблизи границы Канада-США) и восточную территорию Австралии. На 120 станциях перекрыты максимумы среднемесячной температуры февраля (с 1911 г.). Самый холодный месяц – декабрь, когда одна область интенсивных отрицательных аномалий протянулась от побережья Российской Арктики до юга России и восточного Средиземноморья, а другая, не столь обширная, сформировалась на западе Северной Америки (всего отрицательные аномалии зафиксированы на 24% всех станций). Прежние месячные рекорды перекрыты лишь на отдельных станциях.

8. Тренд (средняя скорость) приземного потепления зимних сезонов в 1976-2017 гг. в среднем по территории суши Земного шара, Северного и Южного полушарий составил 0.284, 0.341, 0.151 °C/10 лет (данные T3288), а по территории океанов – всего 0.126, 0.160, 0.096 °C/10 лет (данные HadSST3). По объединенным данным над всей территорией (HadCRUT4, суша+море), соответствующие оценки тренда за зимний сезон 1976-2017 гг. составили 0.167, 0.232 и 0.109 °C/10 лет. Наиболее выражен тренд в Северном полушарии.

9. В соответствии с обновленными (по 2017 г.) оценками, средняя скорость современного потепления зимних сезонов у поверхности суши больше, чем на поверхности океанов в более чем в 1.5-2 раза. В Северном полушарии скорость потепления зим в 1976-2017 гг. больше, чем в Южном полушарии более чем в 1.7-2 раза, но в целом за 100-летие разрыв между полушариями существенно меньше (в пределах 1.8), а поверхность океанов и вовсе теплеет быстрее в Южном полушарии.

10. По различным оценкам (над сушей и/или океанами, в Северном или Южном полушарии и т.д.), средняя скорость современного глобального потепления (1976-2017 гг.) увеличилась по сравнению с последним 100-летьем (1918-2017 гг.) в 1.5-3 раза. В Северном полушарии это ускорение активнее проявляется над океанами, а в Южном полушарии – над сушей.

11. На большей части земного шара по-прежнему доминирует тенденция к потеплению – более 90% всех коэффициентов тренда положительны и около половины из них статистически значимы на 5%-уровне. Области наибольшего потепления, как и ранее, сосредоточены на континентах Северного полушария (в Северной Америке, Европе, Средней Сибири). Сохранилась и слабая тенденция к похолоданию в центре Евразии, в Южном океане, Антарктиде и восточных районах Тихого океана, но она стала слабее и по площади охвата, и по уровню значимости. Тренд похолодания во всех случаях статистически незначим даже на 10%-уровне, а тенденция к потеплению на обширных территориях подтверждается оценками с уровнем значимости $\alpha \leq 0.01$.