

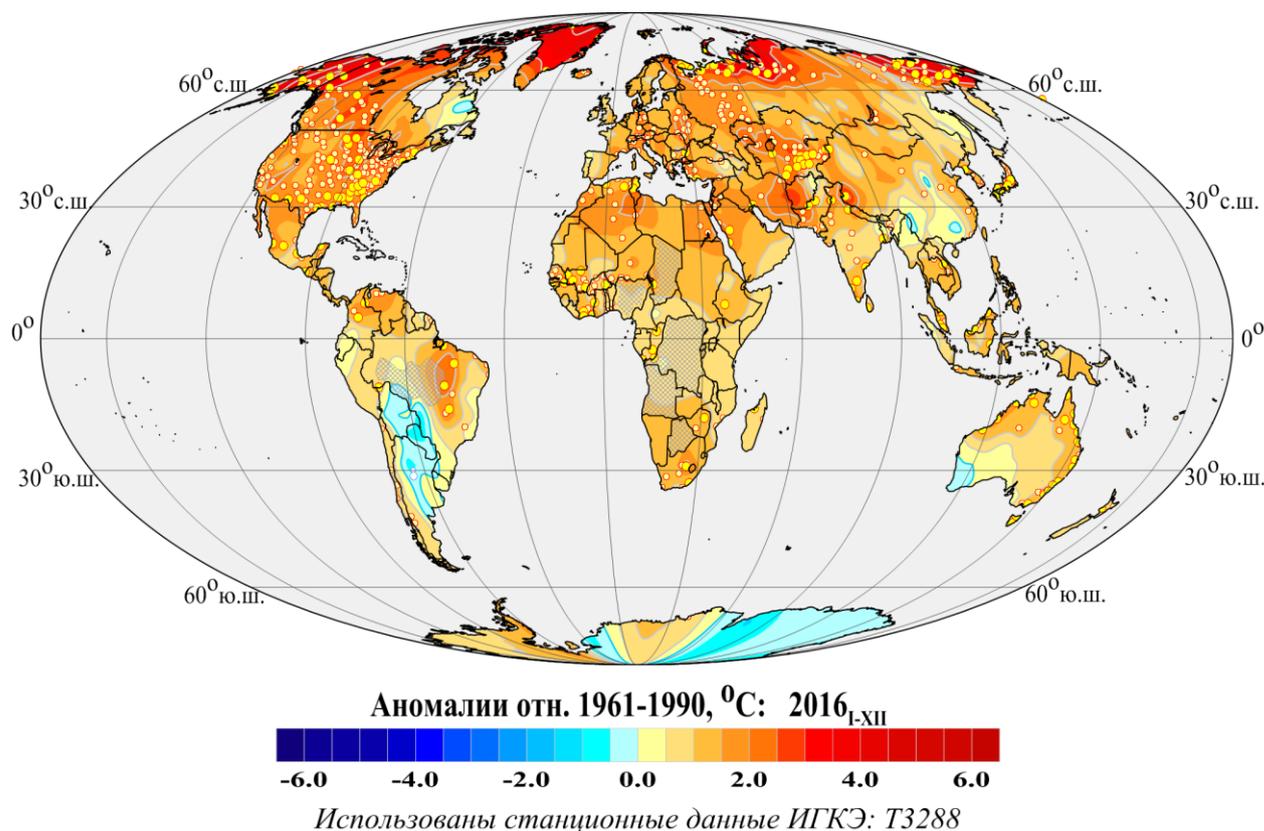
Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды

ФГБУ «Институт глобального климата и экологии
Росгидромета и РАН»

Бюллетень мониторинга изменений климата Земного шара

Приземная температура - 2016

Годовой обзор



Москва 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ^{1,2}

1. ВВЕДЕНИЕ	3
2. ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ У ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМНОГО ШАРА В 2016 г. ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ АНОМАЛИИ	5
3. КРУПНОМАСШТАБНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ЗЕМНОГО ШАРА ЗА ПЕРИОД ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ, 1850-2016 гг.	15
4. ВРЕМЕННЫЕ РЯДЫ ПРОСТРАНСТВЕННО ОСРЕДНЕННЫХ АНОМАЛИЙ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ, 1911-2016 гг.	20
5. ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА ЗЕМНОГО ШАРА, 1976-2016 гг.	24
6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ	27

¹ Бюллетень подготовлен в ФГБУ «ИГКЭ Росгидромета и РАН». Данные текущих наблюдений (сводки КЛИМАТ из оперативного потока) подготовлены в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» и ФГБУ «Гидрометцентр РФ»

² На обложке приведено поле среднегодовых аномалий температуры приземного воздуха над сушей Земного шара в 2016 г.

1. ВВЕДЕНИЕ

Содержание бюллетеня составляют данные о наблюдаемых в течение 2016 г. сезонных и месячных особенностях температурного режима (аномалии и экстремумы) у поверхности Земного шара и о современных тенденциях их изменения. Все оценки базируются на данных стандартных наземных метеорологических наблюдений.

Бюллетень подготовлен в ФГБУ «ИГКЭ Росгидромета и РАН» (далее – ИГКЭ) средствами технологии оперативного мониторинга климата, базирующейся на использовании данных стационарных наблюдений за средней месячной температурой приземного воздуха на суше земного шара. В качестве базового массива исторических наблюдений используется массив Т3288 (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 Т3288; 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 сеточным данным HadCRUT4 (для океанов и широтных поясов) и по стационарным данным Т3288 (для континентов).

³ Решение Центральной методической комиссии по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим 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 18.01.2017.

На наш взгляд, стационарные данные T3288 более точно описывают ситуацию над континентами (особенно локализацию экстремальных аномалий), а объединенные поля HadCRUT4 дают полную глобальную картину распределения приповерхностной температуры над всей территорией Земного шара, над континентами и океанами. Термины «приповерхностная температура» и «приземная температура» используются в бюллетене как синонимы.

Таким образом, в используемой технологии массив T3288 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.

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 В 2016 г. ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ АНОМАЛИИ

Анализируются характеристики температурного режима 2016 года у поверхности Земного шара и их обобщения для всей территории и крупных регионов: полушария, континенты, океаны и основные широтные пояса.

На рис. 2.1 приведены временные ряды среднегодовых аномалий глобальной температуры *над сушей Земного шара*, полученные метеослужбой Великобритании (CRUTEM4, Hadley/CRU) и рассчитанные по методике и данным ИГКЭ (Т3288, ИГКЭ). Эти два источника опираются на единую всемирную сеть наблюдений (наземные станции, передающие телеграммы КЛИМАТ), но получены разными коллективами исполнителей с использованием разных наборов станций и разной методики обработки. Поэтому мера их различия в значительной мере позволяет судить о степени репрезентативности получаемых по ним оценок.

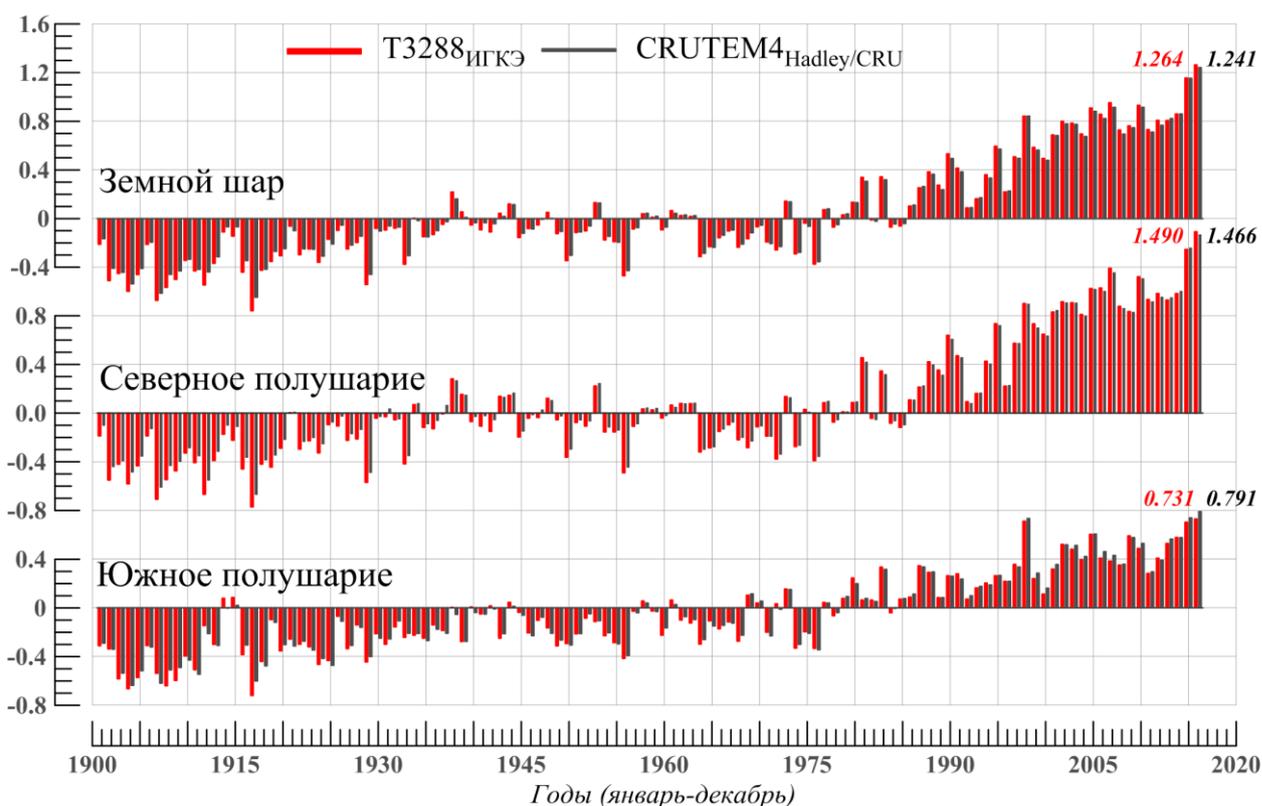


Рисунок 2.1 – Временные ряды пространственно осредненных среднегодовых (январь-декабрь) аномалий температуры приземного воздуха ($^{\circ}\text{C}$, 1901-2016 гг.) для территории Земного шара, Северного и Южного полушарий. *Использованы оригинальные глобальные временные ряды CRUTEM 4.5.0.0 (Hadley/CRU) и глобальные ряды по данным Т3288 (ИГКЭ Росгидромета и РАН).*

Исключительная близость рядов, особенно с середины прошлого столетия, видна уже визуально и подтверждается количественными оценками в табл. 2.1. Действительно, различие между значениями рядов в отдельные годы не превышают $0.04\text{-}0.06^{\circ}\text{C}$, а среднее абсолютное различие на отрезке 1976-2016 гг. составляет лишь 0.02°C – это более чем на порядок ниже изменчивости самих аномалий (см. СКО в табл. 2.1). Различие в оценках трендов и вовсе пренебрежимо мало, как на всем периоде, так и на конечном отрезке ($0.00\text{-}0.01^{\circ}\text{C}/10$ лет). Таким образом, приводимые ниже оценки трендов, полученные по данным массива Т3288, можно считать реалистичными, по крайней мере, в среднем по территории крупных регионов.

Таблица 2.1 – Оценки близости/различия глобальных временных рядов T3288 (ИГКЭ) и CRUTEM4 (Hadley/CRU), в среднем по территории суши Земного шара (ЗШ), Северного (СП) и Южного (ЮП) полушарий

Характеристика	1976-2016			1917-2016		
	ЗШ	СП	ЮП	ЗШ	СП	ЮП
Корреляция рядов	0.999	0.999	0.994	0.998	0.998	0.994
Среднее различие, °С	0.01	0.01	-0.01	-0.01	-0.02	-0.01
СКО (сигма) различий, °С	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03
Среднее абсолютное различие, °С	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03
Максимальное различие (abs), °С	0.04	0.04	0.06	0.11	0.10	0.12
Разность коэфф. тренда, °С/10 лет	0.01	0.00	-0.01	0.01	0.01	-0.00
СКО рядов (T3288 ∪ CRUTEM4)	0.37	0.45	0.23	0.40	0.46	0.30

В табл. 2.2 по всем четырем комплектам глобальных рядов приведены данные о пяти самых теплых годах в истории инструментальных наблюдений. Оказалось, что практически во всех случаях (суша/море/суша+море, ЗШ-СП-ЮП) самым теплым был 2016 г. и за ним следовал 2015 г. (выделены красным и синим шрифтом).

Таблица 2.2 – Пять самых теплых лет по данным разных источников для Земного шара, Северного и Южного полушарий: средняя за год аномалия температуры VT и год наблюдения.

№	ЗШ		СП		ЮП	
	VT, °С	Год	VT, °С	Год	VT, °С	Год
HadCRUT4 (суша+море)						
1	0.773	2016	1.027	2015	0.529	2016
2	0.760	2015	1.020	2016	0.496	2015
3	0.575	2014	0.772	2014	0.462	1998
4	0.556	2010	0.735	2010	0.412	2009
5	0.544	2005	0.725	2005	0.398	2002
T3288 (суша)						
1	1.263	2016	1.489	2016	0.729	2016
2	1.156	2015	1.345	2015	0.711	1998
3	0.951	2007	1.189	2007	0.704	2015
4	0.932	2010	1.122	2010	0.605	2005
5	0.909	2005	1.031	2006	0.592	2009
CRUTEM4 (суша)						
1	1.241	2016	1.466	2016	0.791	2016
2	1.153	2015	1.359	2015	0.740	2015
3	0.915	2010	1.156	2007	0.735	1998
4	0.914	2007	1.107	2010	0.607	2005
5	0.881	2005	1.018	2005	0.578	2014
HadSST3 (море)						
1	0.612	2016	0.746	2016	0.486	2016
2	0.592	2015	0.737	2015	0.425	2015
3	0.477	2014	0.617	2014	0.394	1998
4	0.416	1998	0.484	2005	0.362	2010
5	0.406	2010	0.467	2004	0.361	2009

В табл. 2.3 приведены наблюдаемые в 2016 г. аномалии температуры, осредненные по территории крупных регионов Земного шара, и их эмпирические частоты (вероятности превышения) в 1911-2016 гг. Оценки в таблице сгруппированы в три блока, в соответствии с используемым для их расчета массивом данных. Звездочкой в боковике таблицы выделены глобальные временные ряды (для Земного шара и обоих полушарий), которые используются в точном соответствии с их публикацией на сайтах производителя (Hadley/CRU). Остальные временные ряды рассчитаны авторами по данным стационарных наблюдений T3288 (данные ИГКЭ) или по данным в центрах 5-градусных боксов HadCRUT4 (данные Hadley/CRU). Расчет в обоих случаях выполнен по методике ИГКЭ.

Таблица 2.3 - Пространственно осредненные значения аномалий приземной температуры в крупных регионах Земного шара в 2016 г., в среднем за год и по сезонам

Регион	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	vT_{2016}	F%	vT_{2016}	F%	vT_{2016}	F%	vT_{2016}	F%	vT_{2016}	F%
<i>HadCRUT4 (суша+море)</i>										
*Земной шар	0.77	100	1.00	100	0.89	100	0.74	100	0.61	99
*Северное полушарие	1.02	99	1.35	100	1.14	100	1.00	100	0.81	98
*Южное полушарие	0.53	100	0.65	100	0.64	100	0.49	98	0.41	97
Атлантика (15-70N)	0.71	98	0.72	100	0.62	96	0.82	97	0.71	92
Тихий океан (20-65N)	0.64	98	0.68	100	0.50	99	0.78	97	0.74	98
Арктический пояс (65-90N)	2.91	100	3.35	99	2.99	100	2.12	100	2.97	100
Умеренный пояс СП (25-65N)	1.09	99	1.57	100	1.25	100	1.12	100	0.78	91
Тропики (25S-25N)	0.76	100	0.95	100	0.89	100	0.71	99	0.57	96
Умеренный пояс ЮП (65-25S)	0.46	97	0.34	91	0.49	96	0.44	96	0.31	90
Антарктический пояс (90-65S)	0.14	61	-0.49	22	-0.24	40	-0.14	49	1.07	90
<i>ИГКЭ-T3288 (суша)</i>										
Земной шар	1.26	100	1.75	100	1.54	100	1.12	100	0.95	97
Северное полушарие	1.49	100	2.10	100	1.82	100	1.30	100	1.09	97
Южное полушарие	0.73	100	0.94	100	0.89	100	0.70	97	0.62	94
Северная Америка	1.82	100	3.30	100	1.66	97	1.26	99	2.09	100
Евразия	1.44	98	2.24	98	2.11	100	1.42	99	0.40	71
Южная Америка	0.62	97	1.09	100	0.55	90	0.61	91	0.51	85
Африка	1.25	99	0.98	95	1.68	99	1.03	96	1.39	99
Австралия	0.80	96	0.73	95	1.81	100	0.86	93	-0.07	48
Антарктида	0.42	83	-0.43	28	-0.09	47	0.43	68	1.21	93
<i>CRUTEM4 (суша)</i>										
*Земной шар	1.24	100	1.73	100	1.50	100	1.08	100	0.90	96
*Северное полушарие	1.47	100	2.10	100	1.80	100	1.26	100	1.03	95
*Южное полушарие	0.79	100	0.99	100	0.90	100	0.74	98	0.64	95

Условные обозначения:

1. vT_{2016} , °C – наблюдаемая аномалия в 2016 г. (относительно 1961-1990 гг.);
2. F_{vT} – значение эмпирической функции распределения $F = \text{prob}(X \leq vT_{2016})$ по данным за 1911-2015 гг. (вероятность превышения)
3. Красным шрифтом выделены абсолютные максимумы – наибольшие из всех значений ряда за 1911-2016 гг. Отрицательные значения аномалий (средняя по региону температура в 2016 г. была ниже климатической нормы 1961-1990 гг.) показаны синим шрифтом.

Возвращаясь к таблице 2.2 и к выводу: «2016 год – самый теплый; за ним следует 2015 год», отметим два небольших отступления:

- по данным HadCRUT4 (суша+море) для Северного полушария 2016 год уступил первое место 2015-му;

- по данным T3288 (суша) для Южного полушария 2015 год, напротив, отступил на третье место, уступив свое второе место 1998 году.

Значимость подобных перестановок, однако, не следует преувеличивать, поскольку они, как правило, связаны с очень небольшими различиями в значениях аномалий (в пределах точности расчетов). В двух приведенных случаях это всего лишь 0.007 °C (см. значения аномалий в табл. 2.2).

Представляется, что в данном случае лучше определить последние 2 года (2016 и 2015) как «два самых теплых для всех категорий данных (суша, море, суша+море) и всех трех территорий (СП, ЮП, ЗШ)». Вместе с 1998 г. они составляют тройку самых теплых лет в Южном полушарии (по всем категориям данных), а вместе с 2014 и 2010 – четверку самых теплых лет в Северном полушарии и по Земному шару (в категориях: море, суша+море).

Судя по данным табл. 2.3, интегральные (глобально осредненные) оценки согласованно указывают на рекордно теплый режим, по крайней мере, в течение первых трех сезонов (в Южном полушарии – двух первых). Однако, региональные оценки в той же таблице свидетельствуют о неоднородности температурного режима как во времени (в течение года), так и в пространстве. Действительно, в Северной Америке рекордно теплыми были зима и осень, в Евразии и Австралии – весна, а в Южной Америке – зима. В то же время в регионах южной полярной области во все сезоны, кроме осени, средние температуры были ниже средних за 1961-1990 гг.

Пространственные распределения среднегодовых аномалий (рис. 2.2) подтверждают отмеченные региональные особенности и уточняют ареалы крупных аномалий, их локализацию и интенсивность. Так, области отрицательных аномалий на рис. 2.2 расположены, главным образом, в Южном полушарии – в Антарктической области, Южном океане, в Южной Америке и Австралии. В северном полушарии они отмечены лишь в отдельных районах Тихого и Атлантического океанов и на единичных станциях на Юге Центрального Китая и в Канаде (п-ов Лабрадор).

По численным оценкам, отрицательные аномалии составляют всего 4.2% всех использованных наблюдений. Остальные 95.8% всех значений представляют положительные аномалии; среди них 39.8% превысили 95-й перцентиль (отмечены на картах желтыми кружками), а 12.1% перекрыли прежние рекорды и стали абсолютными максимумами в своих временных рядах. Как следует из рис. 2.2, положительные экстремумы локализованы в Северной Америке, на севере и северо-востоке России, в Казахстане, в тропической зоне океанов, в Малайзии.

Ниже представлены аналогичные пространственные распределения сезонных аномалий температуры (рис. 2.3), также по данным HadCRUT4 (Hadley/CRU, суша+море) и T3288 (ИГКЭ, только суша), и краткий комментарий к каждому сезону. Пространственные распределения среднемесячных аномалий приведены на рисунках 2.4а-2.4г. На каждом из них приведены поля аномалий среднемесячной температуры приземного воздуха над сушей Земного шара (по данным T3288) для трех месяцев одного сезона.

На рис. 2.5, аналогично рис. 2.2, дано распределение декабрьских аномалий температуры по двум источникам - HadCRUT4 (суша+море) и T3288 (только суша). Условные обозначения на всех картах сохранены без изменения.

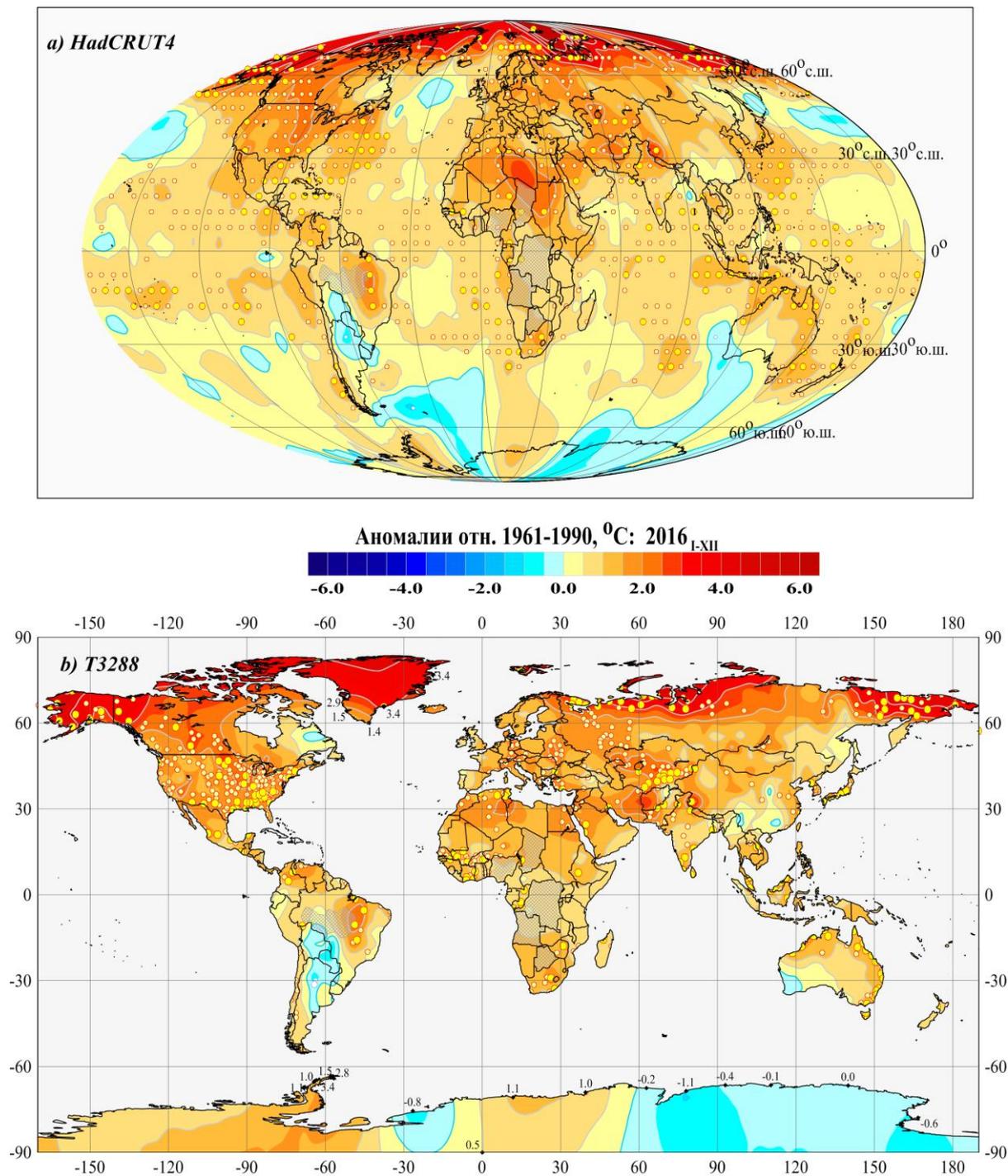


Рисунок 2.2 – Пространственное распределение среднегодовых аномалий приземной температуры (°C) на территории Земного шара в 2016 г.: а) по сеточным данным HadCRUT4 (Hadley/CRU, UK); б) по станционным данным T3288 (ИГКЭ).

Аномалии приведены в отклонениях от средних за 1961-1990 гг. Кружками 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.

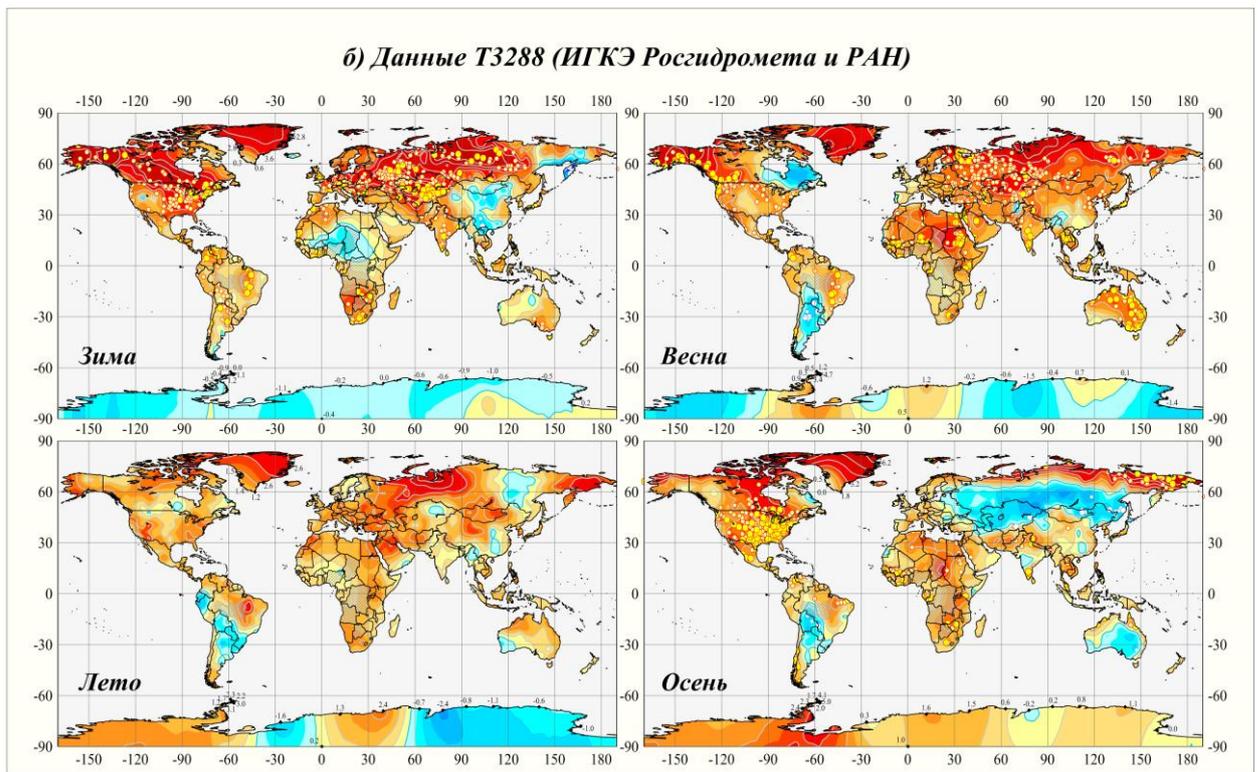
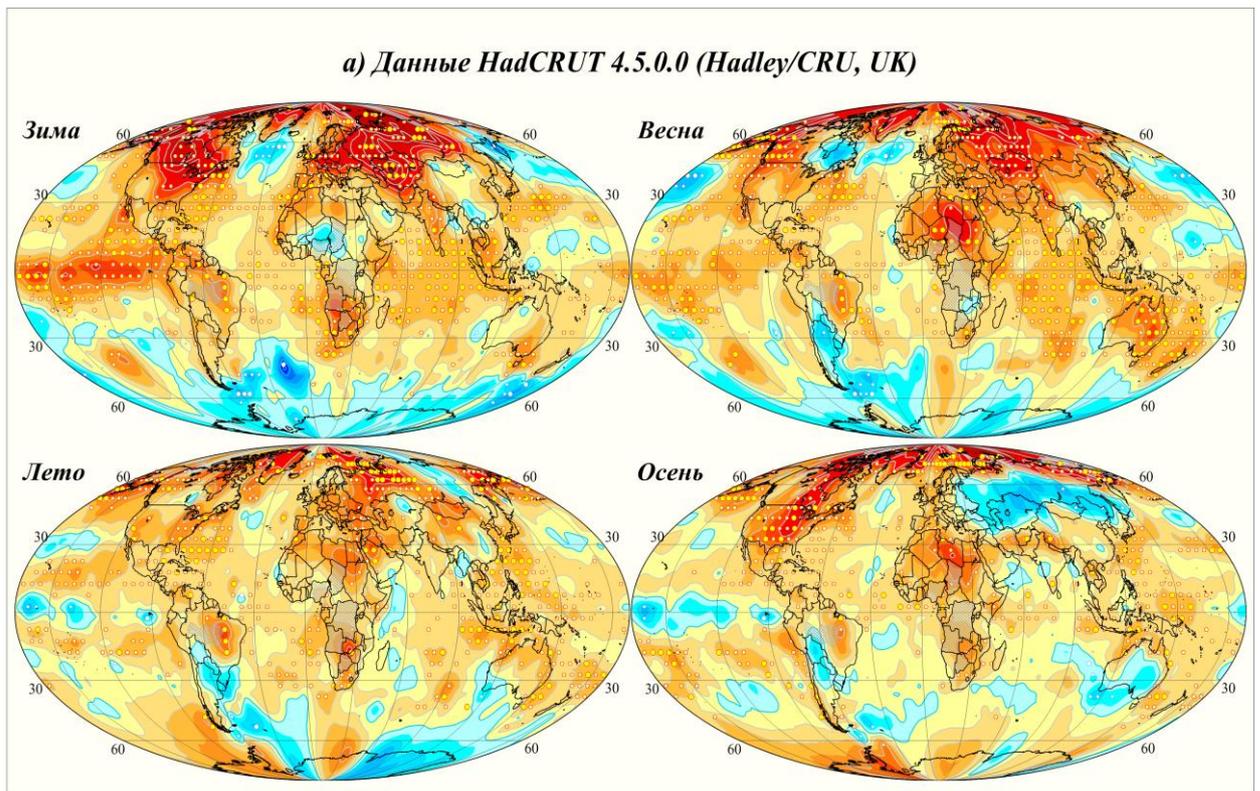


Рисунок 2.3 – См. рис. 2.2, но для средних сезонных аномалий 2016 г. у поверхности Земного шара: а) по данным HadCRUT4 в центрах 5-градусных боксов на полной сетке (суша+море); б) по данным наземных станционных наблюдений T3288 (только суша).

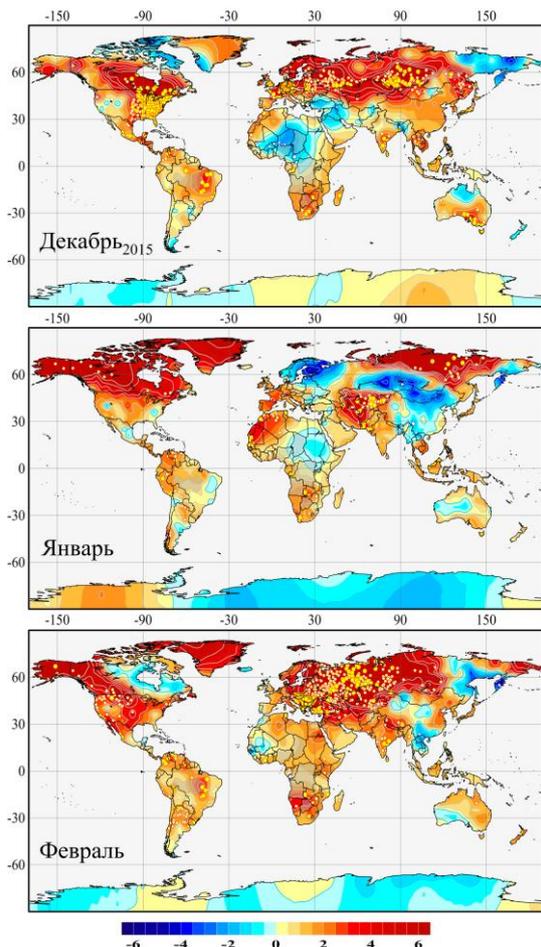


Рис. 2.4а. Аномалии среднемесячной температуры приземного воздуха: зима 2015/16 (Т3288, °С)

2015/16 гг., «отстав» от них, соответственно, на 0.16 и 0.02 °С. В среднем по Антарктиде и всему Антарктическому поясу (90-65 гр. ю.ш.) температура зимнего сезона уже второй год подряд ниже климатической нормы.

Географические распределения сезонных аномалий (рис. 2.3) позволяют уточнить некоторые локальные особенности. Так, на фоне теплой (в среднем по Евразии) зимы отмечаются отрицательные аномалии на территории Китая, Монголии и на крайнем северо-востоке России (на Камчатке и на побережье Охотского моря). Рекордно теплый зимний сезон в тропиках характерен не для всего широтного пояса, а в основном, для зоны Эль-Ниньо в Тихоокеанском секторе.

Наиболее теплые месяцы – декабрь и февраль (рис. 2.4а).

Весна 2016 г., как и зима, по данным всех четырех массивов HadCRUT4 (суша+море), T3288 и CRUTEM4 (только суша), HadSST3

Зима 2015/16 гг. на территории Земного шара была экстремально теплой, преимущественно в Северном полушарии (табл. 2.3, рис. 2.3, рис.2.4а). Глобально осредненные зимние температуры были рекордно высокими для всех категорий данных – с учетом и без учета океанов, в целом по Земному шару и в обоих полушариях. Около 10% всех станций/боксов зафиксировали новые исторические максимумы температуры зимнего сезона (для сравнения: зимой 2014/2015 гг. таких значений было всего 3.2% среди станций и 3.6% среди 5-градусных боксов).

С учетом региональных оценок можно видеть, что основной вклад в эти температурные рекорды принадлежит океаническим территориям в умеренных широтах Северного полушария и тропиках. Из континентов исторические максимумы средних температур зимнего сезона были перекрыты лишь в Северной и Южной Америке. В среднем по территории Евразии, нынешняя зима была третьей самой теплой, после

ЗИМЫ
2006/07
И

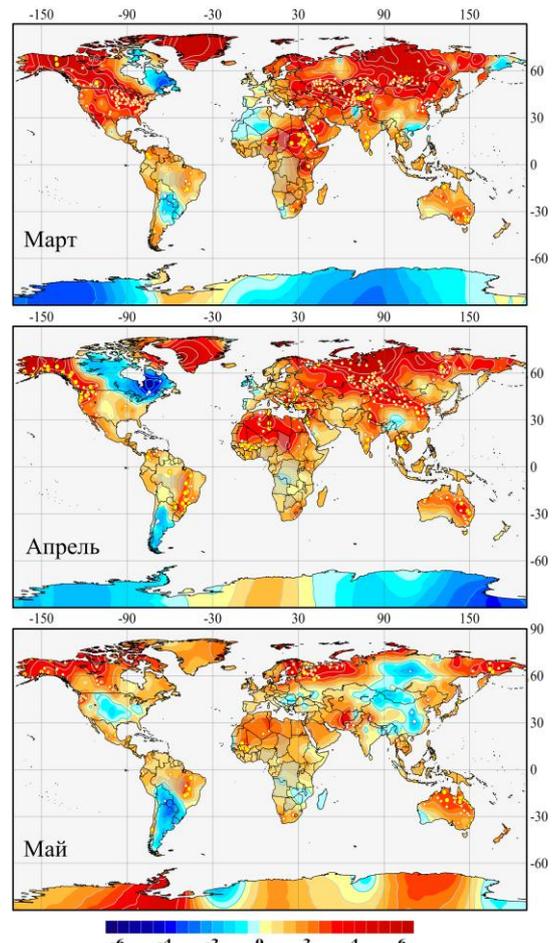


Рис. 2.4б. Аномалии среднемесячной температуры приземного воздуха: весна 2016 (Т3288, °С)

(только море) оказалась самым теплым весенним сезоном в истории наблюдений (табл. 2.3, рис. 2.3, 2.4б). Основной вклад, по-видимому, принадлежит тропическому широтному поясу (в основном, за счет океанических акваторий) и суше умеренных широт Северного полушария (в основном, Евразии). Из общего числа использованных данных (станционных и/или боксов) в число 5%-х экстремумов тепла попали 35-36% значений, в том числе более 9% оказались рекордными (исторические максимумы).

Лето 2016 г. продолжает температурные рекорды первых двух сезонов (по всем

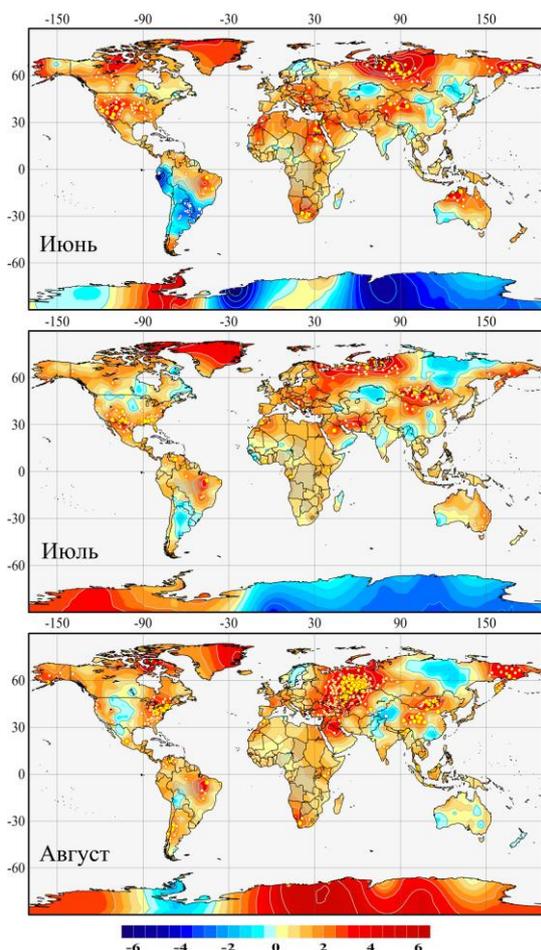


Рис. 2.4в. Аномалии среднемесячной температуры приземного воздуха: лето 2016 (Т3288, °С)

четырем массивам данных) в среднем по Северному полушарию и Земному шару, а в Южном полушарии – только по температуре поверхности океанов (массив HadSST3). Во всех остальных регионах (континенты, океаны, широтные пояса) исторические максимумы пространственно осредненных сезонных аномалий не изменились. (табл. 2.3, рис. 2.3, рис. 2.4в). Новые региональные рекорды среднемесячной температуры отмечаются в умеренном широтном поясе (в каждом из трех летних месяцев) и в арктическом поясе (в июле и августе).

Примерно одинаковый вклад (около 30-35%) в интегральную оценку аномалии глобальной температуры принадлежит умеренным широтам Северного полушария, тропикам и (чуть ниже) Арктике. Для суши Земного шара максимальным оказался вклад Евразии (около 50%). Ниже климатической нормы были летние температуры в Антарктическом поясе и температура июня в Южной Америке и Антарктиде.

Количество климатических экстремумов тепла среди используемых точечных аномалий (на станциях и/или в центрах боксов) несколько ниже,

чем в предыдущие сезоны: 25-27% всех значений выше 95-го перцентиля при том, что по-прежнему 8-9% - новые абсолютные максимумы. При этом максимальные аномалии на протяжении всего сезона были сосредоточены на территории Евразии (Западная Сибирь и Чукотка, районы в Европейской части России и на севере Казахстана). Здесь месячные аномалии достигали 8-9°C, тогда как на всей остальной территории суши Земного шара аномалии выше +5°C наблюдались только в Антарктическом регионе.

Очаг аномалий выше 5°C в Евразии достиг наибольшей площади в августе, когда в его ареале оказалось около 150 станций, из которых на 104 станциях значения температуры были выше 95-го перцентиля (с максимальными дневными температурами до 38 °С), а на 36 станциях они перекрыли ранее установленные августовские рекорды. На станции Калмыково (35406, Казахстан) в течение всего месяца максимальная температура не опускалась ниже 30°C, а 24 дня она была выше 35°C (абсолютный максимум месяца 43.3°C). Дневные температуры выше 42-45°C отмечены этим летом в Китае, Монголии, Египте и на юго-западе США.

Осень 2016 г. По данным о температуре поверхности Мирового океана (HadSST3), в среднем по Земному шару и по Северному полушарию, осень 2016 г. оказалась вторым самым теплым осенним сезоном в истории наблюдений (с 1901 г.). В Южном полушарии по этим данным сезон оказался третьим из самых теплых, но по данным для суши, без учета океанов (T3288, CRUTEM4), он не вошел даже в первую пятерку (табл. 2.3, рис. 2.3, рис. 2.4г).

Во всех рассматриваемых регионах, кроме Австралии, средняя по территории региона температура текущего сезона была выше климатической нормы, но рекордно высоких значений она достигла только в Арктическом широтном поясе и в Северной Америке (2.96 и 2.09 °C, соответственно).

Статистика теплых климатических экстремумов нынешнего сезона (осень-2016) очень близка к таковой для лета. Но статистика экстремумов холода отличается от всех предыдущих сезонов: на 35 станциях (около 2%) зафиксированы значения ниже 5-го перцентиля (на юго-востоке Сибири, в Монголии и в Южной Америке), десять из них – ниже прежних осенних минимумов.

Самым теплым месяцем сезона оказался сентябрь (рис. 2.4г) с рекордно высокими аномалиями тепла для суши Северного полушария и Земного шара (T3288, CRUTEM4) и для обоих внетропических широтных поясов Северного полушария (HadCRUT4).

В сентябре обширные области значительных положительных аномалий отмечены на территории Евразии и Северной Америки. В октябре, напротив, умеренные широты этих континентов оказались в области отрицательных аномалий. В ноябре уже практически на всей территории Евразии (кроме Западной Европы, крайнего северо-востока России и южной Азии) сформировался один очаг отрицательных аномалий с максимумами в Западной Сибири (до -7.5°C) и Приморье, а Североамериканский континент и большая часть Антарктиды (кроме Антарктического п-ва) заняты положительными аномалиями.

Отрицательные аномалии среднемесячной температуры наблюдались в Антарктиде (в сентябре), Австралии (в сентябре-октябре) и Евразии (в октябре-ноябре).

В декабре (рис. 2.5) наиболее значительные отрицательные аномалии сосредоточены в Евразии (от побережья северных морей в Западной и Центральной Сибири до Средиземного моря) и на западе Северной Америки. Отрицательные аномалии охватили также умеренные и экваториальные широты Тихого океана и значительную акваторию Южного океана. Остальная территория Земного шара занята положительными

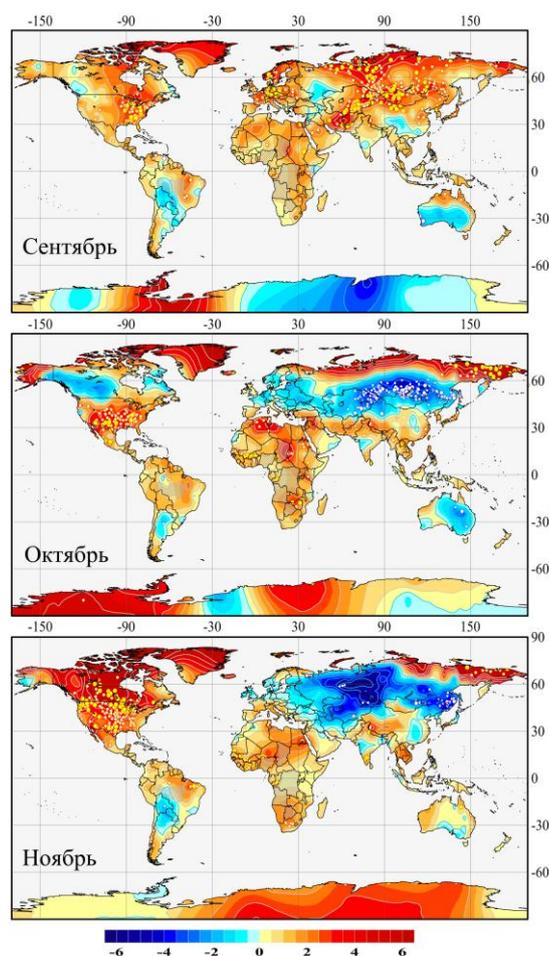


Рис. 2.4г. Аномалии среднемесячной температуры приземного воздуха: весна 2016 (T3288, °C)

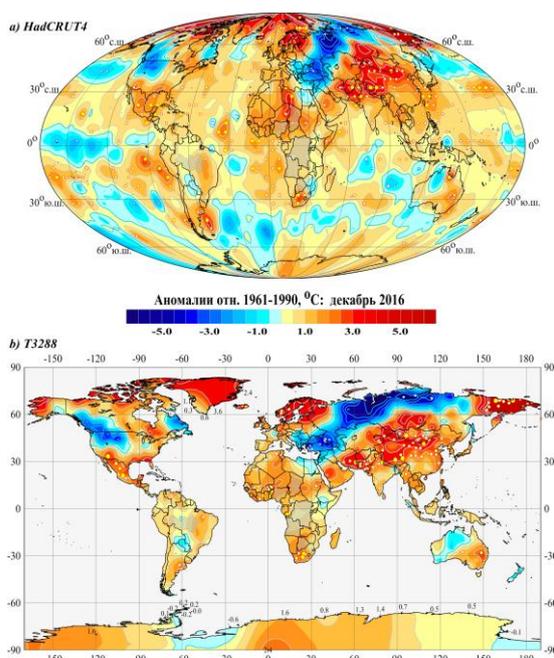


Рис. 2.5. Аномалии среднемесячной температуры у поверхности Земного шара в декабре 2016, °С (усл. обозначения см. рис. 2.2)

аномалиями с многочисленными рекордными значениями в восточном секторе Евразии (исключая Западную и Центральную Сибирь).

В заключение рассмотрим обобщенную статистику осуществившихся в 2016 г. локальных (в точках расположения станций или в центрах боксов) температурных экстремумов (табл. 2.4). Представлены оценки для четырех категорий экстремумов, различаемых по знаку (холод/тепло) и интенсивности (5%-е/«абсолютные»). К 5%-м экстремумам относятся значения, попавшие в 5%-е хвосты эмпирического распределения, т.е. аномалии ниже 5-го перцентиля (5%-е экстремумы холода) и выше 95-го перцентиля (5%-е экстремумы тепла). Под «абсолютными» экстремумами здесь понимаются значения, перекрывшие прежний исторический минимум

или максимум в рассматриваемой точке (для конкретного сезона и станции/бокса).

Таблица 2.4 – Количество локальных (точечных) климатических экстремумов на территории Земного шара, выявленных по данным о сезонных аномалиях температуры приземного воздуха в точках расположения станций в 2016 г.

Сезон 2016 г.	Всего станций	5%-е экстремумы тепла/холода			Абсолютные (исторические) минимумы/максимумы		
		$X \leq P_{05}$	$X \geq P_{95}$	Всего	$X = P_0$ (Min)	$X = P_{100}$ (Max)	Всего
1	2	3	4	5=3+4	6	7	8=6+7
Число станций с осуществлением экстремума (в единицах)							
Зима	1803	12	665	677	4	163	167
Весна	1848	10	657	667	6	174	180
Лето	1837	7	501	508	1	157	158
Осень	1839	35	432	467	10	159	169
Число станций с осуществлением экстремума (в % от общего числа станций)							
Зима	1803	0.7	36.9	37.5	0.2	9.0	9.3
Весна	1848	0.5	35.6	36.1	0.3	9.4	9.7
Лето	1837	0.4	27.3	27.7	0.1	8.5	8.6
Осень	1839	1.9	23.5	25.4	0.5	8.6	9.2

Усл. обозначения: P_{05} , P_{95} – 5-й и 95-й перцентили; P_0 , P_{100} – наименьшее и наибольшее значения с 1911 г.

Можно видеть, что сеть реально работающих станций на протяжении года практически не менялась. Во втором полугодии определенно снизилась аномальность температурного режима (25-28 вместо 36-38%, притом за счет экстремумов тепла), а осенью к тому же несколько увеличилось число холодных экстремумов. Тем не менее, по-видимому, пока можно говорить лишь об отсутствии явных указаний на усиление тенденции к потеплению, хотя и говорить о «замедлении потепления» пока оснований явно недостаточно.

3. КРУПНОМАСШТАБНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ЗЕМНОГО ШАРА ЗА ПЕРИОД ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ, 1850-2016 гг.

Наиболее общие особенности изменения приземной температуры во времени можно проследить по данным рис. 3.1, где в форме изоплет приведено изменение глобальной и полушарных температур от месяца к месяцу (ось X) и от года к году (ось Y) за весь период инструментальных наблюдений. Температура здесь выражена в отклонениях от средних за 1961-1990.

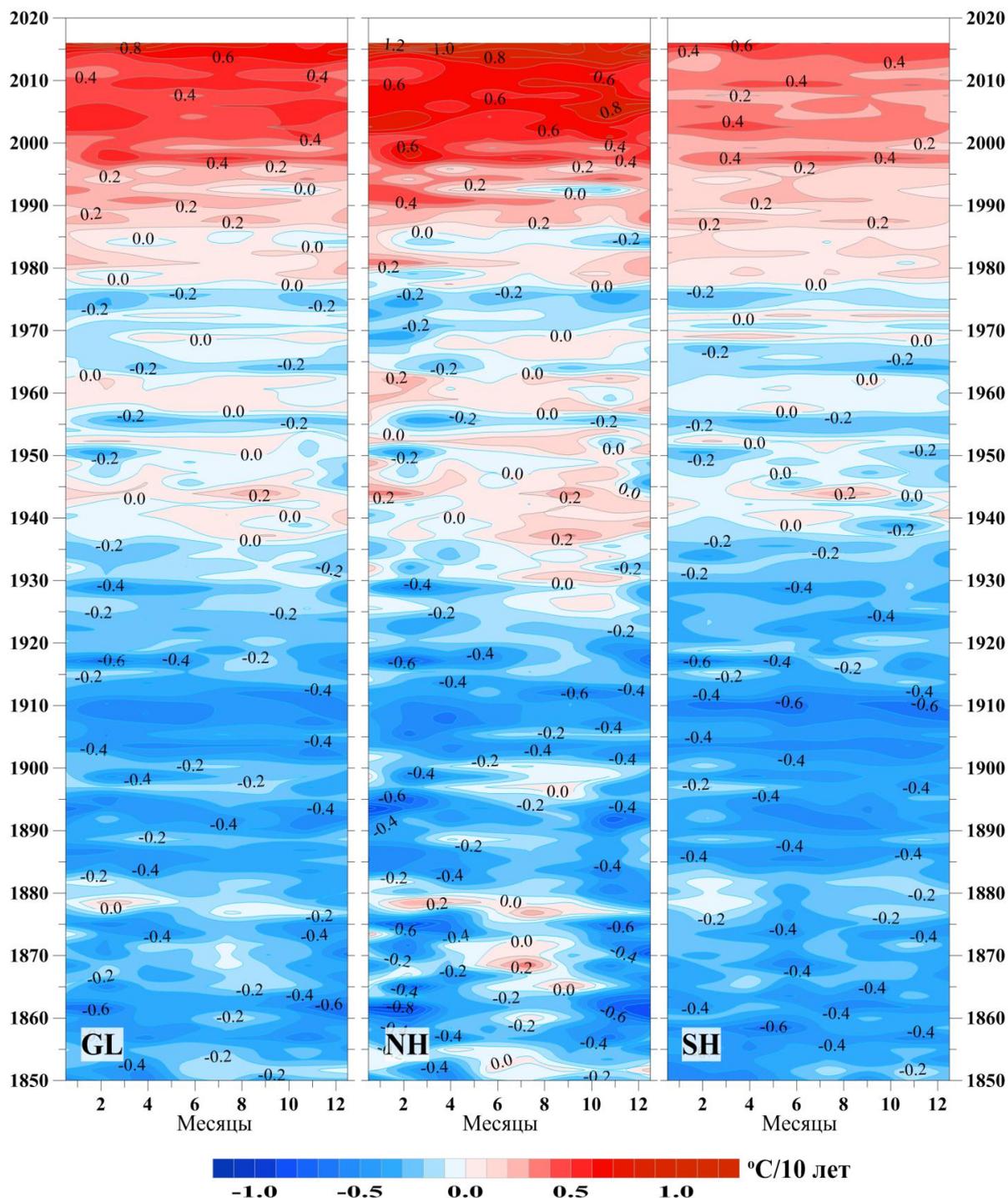


Рисунок 3.1 – Изменение средней месячной приповерхностной температуры, осредненной по территории Земного шара (GL), Северного (NH) и Южного (SH) полушарий в течение периода с января 1850 по декабрь 2016 гг. (по данным HadCRUT4, Hadley/CRU, UK).

В соответствии с рис. 3.1, вплоть до 1930-1940-х гг. глобальная температура оставалась ниже уровня 1961-1990 (отрицательные аномалии), с кратковременными теплыми периодами в Северном полушарии в 1870-1880-х и самым холодным периодом в обоих полушариях в начале 20-го столетия. Примерно в 1904-1913 гг., в отдельные месяцы средняя аномалия приземной температуры Южного полушария достигала $-0.7, -0.8^{\circ}\text{C}$. Потепление 1940-х гг. больше выражено в Северном полушарии в летне-осенний период года. Современное потепление также более интенсивно в Северном полушарии. В последние два года тенденция к потеплению, по-видимому, усиливалась в обоих полушариях, но в Северном полушарии – активнее.

На рис. 3.2 для каждого полушария и в целом для Земного шара ход глобальной температуры, рассчитанный по объединенным данным «суша+море» (черные кривые), сравнивается с ходом по данным только над сушей (зеленые кривые) и только над океанами (синие кривые). Все ряды построены по опубликованным временным рядам Hadley/CRU (HadCRUT4, CRUTEM4 и HadSST3, соответственно), чтобы исключить влияние возможных различий в методике осреднения.

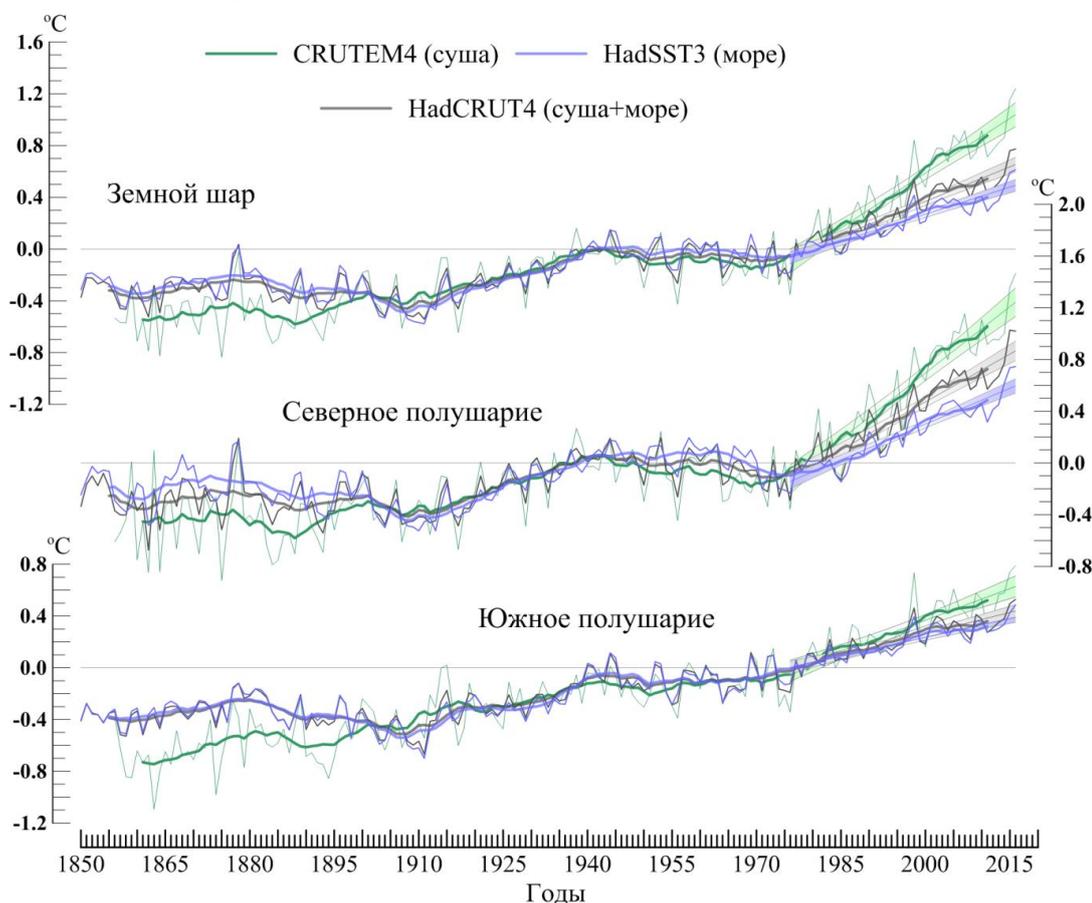


Рисунок 3.2 – Изменение пространственно осредненных среднегодовых аномалий приземной температуры для Земного шара, Северного и Южного полушарий по объединенным данным над сушей и океанами (черные кривые) и по данным только над сушей (зеленые кривые) и только над океанами (синие кривые).

Аномалии выражены в отклонениях от средних за 1961–1990 гг. Дополнительно показаны: ход 11-летних скользящих средних и линейный тренд за 1976-2016 с 95% доверительным интервалом. Используются глобальные временные ряды HadCRUT4, CRUTEM4, HadSST3 (данные Hadley/CRU, UK).

Численные оценки трендов приведены в таблице 3.1 для двух периодов: 1976-2016 гг. (современное потепление) и 1917-2016 гг. (последние 100 лет) и для четырех категорий

данных HadCRUT4, T3288, CRUTEM4, HadSST3. Напомним, что оценки в категориях CRUTEM4 и HadSST3 касаются только оригинальных глобальных временных рядов Hadley/CRU и приводятся, главным образом, для сравнения. Базовыми считаются только оценки в категориях T3288 (только суша) и HadCRUT4 (суша+море), для которых доступны как глобально осредненные временные ряды, так и хронологически упорядоченные глобальные поля за период инструментальных наблюдений, заданные на сети станций или в узлах регулярной сетки.

Таблица 3.1 – Коэффициенты линейного тренда ($^{\circ}\text{C}/10 \text{ лет}$) глобальных временных рядов приземной температуры за 1976-2016 гг. и 1917-2016 гг., в среднем за год и по сезонам

Регион	1976-2016					1917-2016				
	год	зима	весна	лето	осень	Год	зима	весна	лето	осень
<i>HadCRUT4 (суша+море)</i>										
Земной шар	0.178	0.164	0.183	0.185	0.183	0.079	0.083	0.086	0.075	0.072
Северное полушарие	0.247	0.228	0.249	0.254	0.259	0.086	0.095	0.097	0.080	0.074
Южное полушарие	0.109	0.101	0.118	0.117	0.108	0.071	0.071	0.075	0.070	0.070
<i>T3288-ИГКЭ (суша)</i>										
Земной шар	0.288	0.275	0.298	0.273	0.307	0.117	0.136	0.140	0.096	0.095
Северное полушарие	0.345	0.330	0.373	0.320	0.353	0.130	0.156	0.161	0.102	0.099
Южное полушарие	0.155	0.147	0.122	0.165	0.201	0.089	0.089	0.088	0.087	0.092
<i>CRUTEM4 (суша)</i>										
Земной шар	0.282	0.272	0.289	0.270	0.300	0.112	0.127	0.131	0.096	0.094
Северное полушарие	0.342	0.332	0.369	0.320	0.349	0.123	0.147	0.152	0.098	0.094
Южное полушарие	0.163	0.152	0.130	0.171	0.202	0.091	0.087	0.089	0.093	0.093
<i>HadSST3 (море)</i>										
Земной шар	0.140	0.124	0.136	0.158	0.145	0.064	0.062	0.065	0.068	0.063
Северное полушарие	0.185	0.158	0.157	0.219	0.209	0.061	0.055	0.057	0.071	0.063
Южное полушарие	0.098	0.094	0.116	0.100	0.086	0.068	0.070	0.073	0.066	0.064

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

Тренд (средняя скорость) потепления в течение 1976-2016 гг. в целом для Земного шара, Северного и Южного полушарий составил 0.288, 0.345, 0.155 $^{\circ}\text{C}/10 \text{ лет}$ по данным о температуре приземного воздуха (массив T3288, суша) и только 0.140, 0.185, 0.098 $^{\circ}\text{C}/10 \text{ лет}$ по данным о температуре поверхности океанов (данные HadSST3, только море). Современное потепление, таким образом, над сушей более значительно, чем на поверхности океанов. Интегрально (над сушей и морем, по комбинированным данным HadCRUT4) в Северном полушарии тренд ближе к оценкам для суши, а в Южном – для поверхности океанов (в соответствии с соотношением площадей). Межсезонные различия между оценками в целом незначительны. Соотношение оценок между факторными подгруппами, включая категории данных (суша/море/суша+море; Северное/Южное полушария, 1976-2015/1916-2015), для большей наглядности приведено в табл. 3.2 (b – коэффициенты линейного тренда из табл. 3.1).

Таблица 3.2 – Сравнение скорости потепления приземного воздуха в разных факторных подгруппах (в среднем за год)

		1976-2016			1917-2016		
		ЗШ	СП	ЮП	ЗШ	СП	ЮП
k_1	$b_{T3288}/b_{HadSST3}$	2.06	1.86	1.58	1.83	2.13	1.31
	$b_{CRUTEM4}/b_{HadSST3}$	2.01	1.85	1.66	1.75	2.02	1.34
k_2	$b_{СП}/b_{ЮП}$	1976-2016			1917-2016		
		T3288	CRUTEM	HadSST	T3288	CRUTEM	HadSST
		2.23	2.10	1.89	1.46	1.35	0.90
k_3	$b_{1976-2016}/b_{1917-2016}$	СП			ЮП		
		T3288	CRUTEM	HadSST	T3288	CRUTEM	HadSST
		2.65	2.78	3.03	1.74	1.79	1.44

Коэффициент $k_1 = b_{T3288}/b_{HadSST}$ (первая подстрока) сравнивает оценки трендов (скорость потепления) над сушей (b_{T3288} , $b_{CRUTEM4}$) и морем (b_{HadSST}). Тот факт, что все значения k_1 в таблице больше 1, означает, что во всех рассматриваемых случаях суша теплеет быстрее океана (судя по оценкам в таблице, в 1.5-2 раза в течение 1976-2016 гг.). С другой стороны, оценки $k_2 = b_{СП}/b_{ЮП}$ (вторая подстрока) показывают, что в последние 40 лет Северное полушарие теплеет, в среднем, вдвое быстрее, чем Южное – оценки варьируют на уровне $k_2=2$. В целом, по-видимому, можно заключить, что основной вклад в современное глобальное потепление (у поверхности земли) принадлежит Северному полушарию при доминирующей роли континентов.

В сравнении с трендами 1917-2016 гг. (третья подстрока), современное глобальное (Земной шар, полушария) потепление у поверхности суши в северном полушарии ускорилось в среднем в 2.6–2.8 раза, а на поверхности океанов – в 3 раза. В Южном полушарии это ускорение заметно меньше.

Более полное представление о характере и широтно-долготной структуре многолетних изменений температуры дают двумерные изоплеты (рис. 3.3, 3.4), показывающие изменение среднеширотных и средних меридиональных аномалий одновременно во времени и в пространстве.

На каждом рисунке приведен многолетний ход профилей среднегодовых аномалий за период 1911–2015 гг. (с шагом год). Период с января 2011 г. по декабрь 2016 г. дополнительно показан более детально, с шагом месяца.

Диапазон широт на рис. 3.3 ограничен ввиду плохой освещенности полярных поясов данными наблюдений. Меридиональные средние на рис. 3.4 рассчитаны осреднением аномалий вдоль каждого меридиана в поясе 40-60 гр. с.ш.

Из рис. 3.3, по-видимому, можно заключить, что современное потепление началось в 1970-х, глобальным стало к 1990-м, с середины 2010 г. стало ослабевать в Южном полушарии, но в последние два-три года заметно усилилось (особенно в тропиках). Осенью 2016 г. в северных умеренных широтах вновь наблюдался период кратковременного похолодания. Судя по рис. 3.4, наибольший вклад в это похолодание принадлежит Евразии и отчасти пограничному сектору Тихий океан/Северная Америка.

В целом, данные 2016 г. четко указывают на продолжающееся потепление, по крайней мере, в экваториальных широтах.

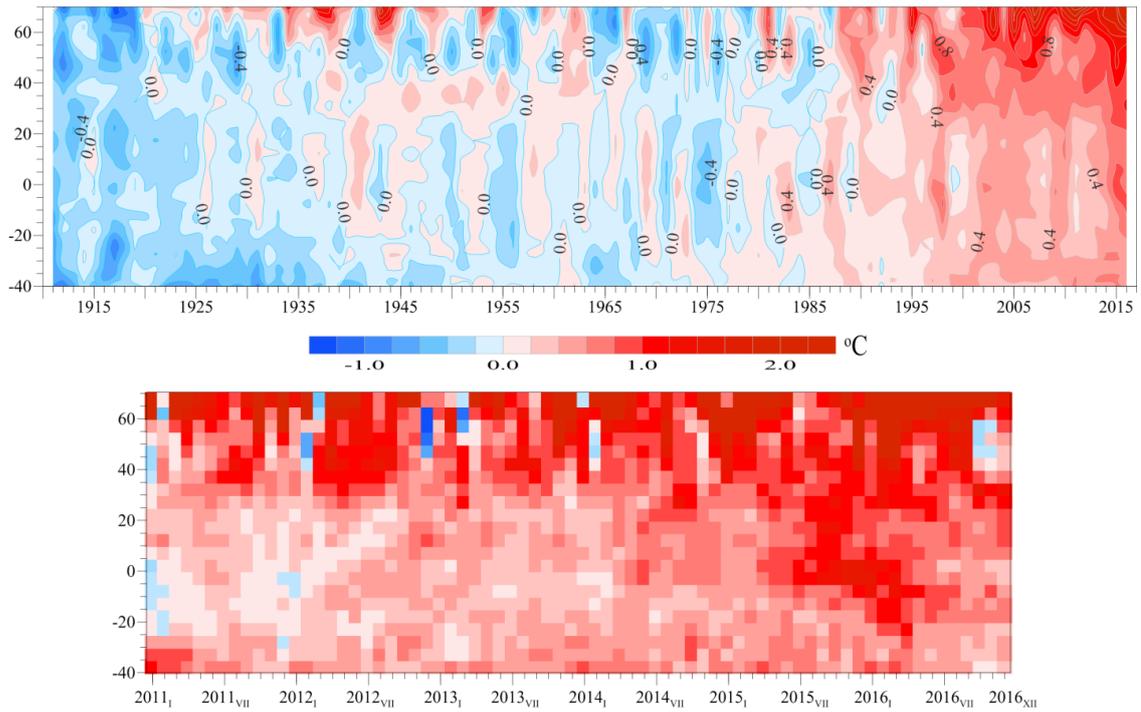


Рисунок 3.3 – Изменение с широтой (ось Y) и во времени (ось X) среднеширотных аномалий среднегодовой (вверху, 1911-2016) и среднемесячной (внизу, 2011_I-2016_{XII}) температуры у поверхности Земли. Расчет выполнен по сеточным данным HadCRUT4, суша+море (данные Hadley/CRU, UK)

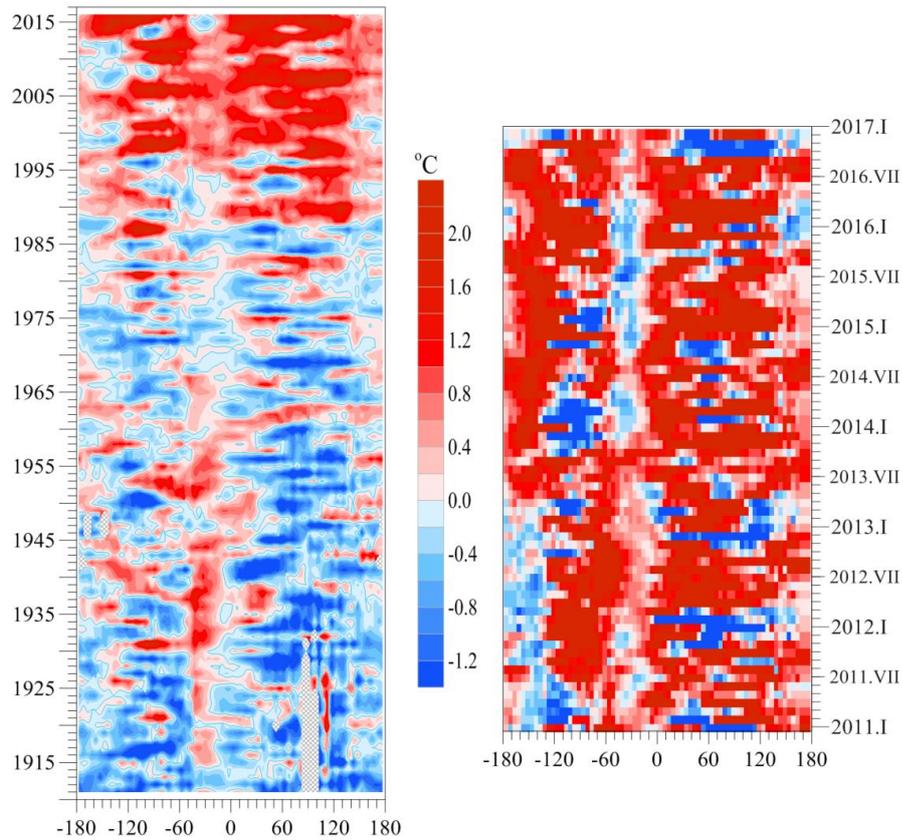


Рисунок 3.4 – Изменение с долготой (ось X) и во времени (ось Y) аномалий среднегодовой (слева, 1850-2016 гг.) и среднемесячной (справа, 2011_I-2016_{XII}) приповерхностной температуры, осредненных вдоль каждого меридиана в широтном поясе 40-60 с.ш. Расчет выполнен по данным HadCRUT4, суша+море (Hadley/CRU, UK).

4. ВРЕМЕННЫЕ РЯДЫ ПРОСТРАНСТВЕННО ОСРЕДНЕННЫХ АНОМАЛИЙ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ, 1911-2016 гг.

На рис. 4.1 приведены временные ряды среднегодовых аномалий температуры для континентов, океанов (Атлантический и Тихий в северном полушарии) и основных широтных поясов земного шара. Аналогичные ряды сезонных аномалий приведены на рис. 4.2 для континентов (по данным T3288, только суша) и на рис. 4.3 для океанов и широтных поясов (по объединенным данным HadCRUT4, суша+море). На всех временных рядах показаны тренды за период 1976-2016 гг., условно принятый за период современного глобального потепления. Численные оценки трендов приведены в табл. 4.1 в среднем за год и по сезонам, и в табл. 4.2 для 12 месяцев.

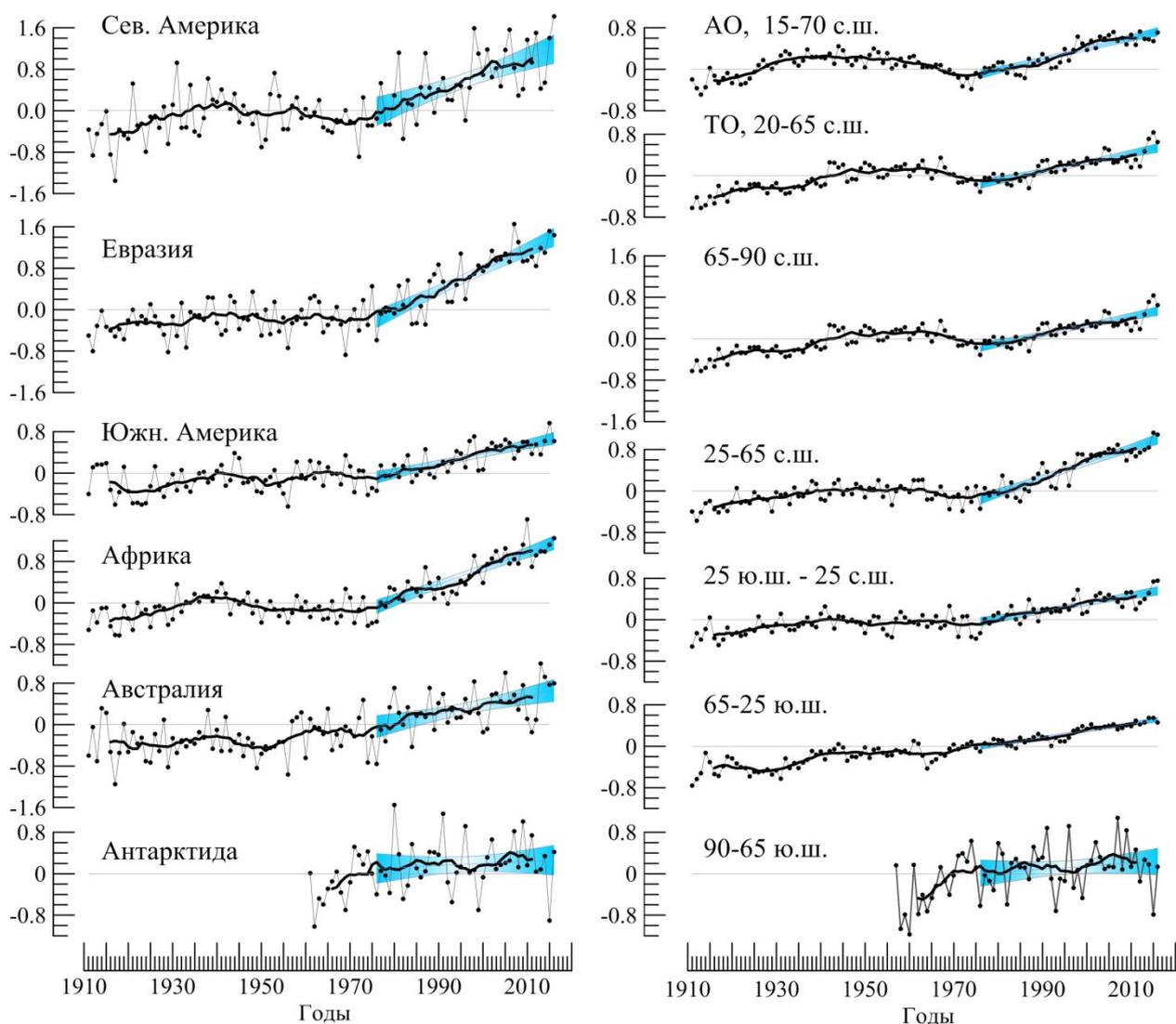


Рисунок 4.1 – Временные ряды пространственно осредненных среднегодовых аномалий приземной температуры для континентов (слева), северных частей Атлантического и Тихого океанов (справа сверху) и основных широтных поясов земного шара (справа внизу).

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 1976-2016 гг. с 95% -м доверительным интервалом (голубая заливка).

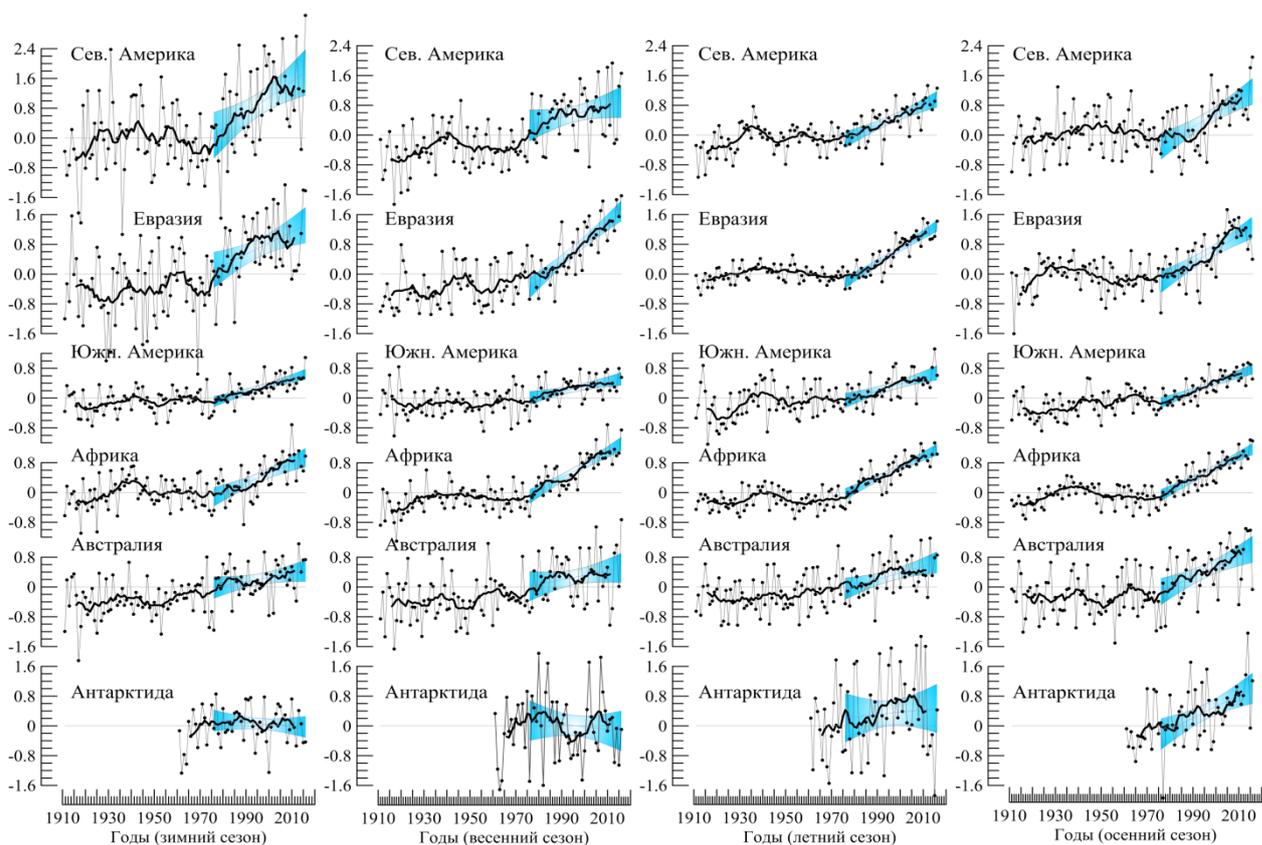


Рисунок 4.2 – См. рис. 4.1, но для сезонных аномалий и только для континентов. *Расчеты выполнены по методике и данным ИГКЭ (использованы стационарные данные T3288).*

Таблица 4.1 – Оценки линейного тренда приземной температуры для северных частей Атлантического и Тихого океанов, основных широтных поясов и континентов земного шара, в среднем за год и по сезонам (1976-2016 гг.):
b – коэффициент тренда (°C/10 лет); *D%* – вклад тренда в дисперсию ряда

Регион	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	<i>b</i>	<i>D%</i>	<i>b</i>	<i>D%</i>	<i>b</i>	<i>D%</i>	<i>b</i>	<i>D%</i>	<i>b</i>	<i>D%</i>
HadCRUT4 (суша+море)										
Атлантика (15-70N)	0.206	78	0.203	76	0.174	70	0.217	62	0.241	74
Тихий океан (40-60° с.ш.)	0.173	69	0.138	69	0.139	59	0.223	59	0.194	65
65-90° с.ш.	0.583	73	0.551	40	0.659	58	0.458	71	0.620	65
25-65° с.ш.	0.289	82	0.252	41	0.291	73	0.313	82	0.308	67
25° ю.ш.-25° с.ш.	0.149	63	0.151	40	0.151	50	0.152	62	0.148	55
65-25° ю.ш.	0.132	83	0.086	52	0.134	72	0.128	71	0.116	77
90-65° ю.ш.	0.056	3	-0.044	3	-0.054	1	0.071	1	0.292	26
T3288 (суша)										
Северная Америка	0.300	39	0.423	20	<i>*0.157</i>	7	0.271	46	0.369	37
Евразия	0.393	73	0.302	17	0.517	65	0.380	78	0.365	46
Южная Америка	0.187	59	0.182	48	0.127	23	0.186	34	0.226	60
Африка	0.308	74	0.264	38	0.353	66	0.298	68	0.309	68
Австралия	0.174	26	<i>*0.112</i>	7	0.122	5	0.176	17	0.284	26
Антарктида	0.040	1	-0.043	1	-0.069	1	0.063	1	0.308	23

Примечание. Серой заливкой выделены оценки, статистически не значимые даже на 10%-м уровне; в Австралии (зимой) и Северной Америке (весной) уровень значимости $\alpha=10\%$; остальные оценки статистически значимы на 1%-м уровне. Синим шрифтом выделены отрицательные тренды (все – незначимы)

Для среднегодовых температур (табл. 4.1) все тренды положительны, т.е. тенденция к потеплению приземного климата на протяжении последних 40 лет характерна для всех рассмотренных крупных регионов земного шара. Наиболее существенный тренд (вклад в дисперсию более 80%) отмечается в умеренных широтах северного и южного полушарий; в Северной Атлантике, Арктике, Евразии и Африке в целом за год вклад в дисперсию более 70%.

Для сезонных трендов (табл. 4.1) во всех регионах, кроме Антарктики в зимний и весенний сезоны, оценки также положительны. Большинство из них статистически значимы на 1%-м уровне. Для осеннего сезона статистически значимая тенденция к потеплению подтверждается оценками для всех регионов без исключения.

В месячных оценках (табл. 4.2), отрицательный тренд обнаружен только в среднем по Антарктическому широтному поясу и Антарктическому континенту, при том статистически не значимый. Положительный тренд статистически незначим в отдельные месяцы на континентах: в Австралии, в Северной и Южной Америке (табл. 4.2).

Наиболее значительный тренд (табл. 4.1, 4.2) отмечается весной и осенью, в Арктическом поясе и Евразии – в отдельные месяцы до 0.66 °C/10 лет. Во внетропической зоне Северного полушария (Тихий океан в течение всего года, Евразия – весной и летом), в Атлантике и южных умеренных широтах (осенью) линейный тренд объясняет более 60% изменчивости аномалий. Из континентов, помимо Евразии, устойчивая тенденция к потеплению весенних, летних и осенних сезонов получена для Африки (вклад в дисперсию более 60%).

Таблица 4.2 – Коэффициенты линейного тренда среднемесячной приземной температуры для северных частей Атлантического и Тихого океанов, основных широтных поясов и континентов земного шара

	Месяцы (1976-2016)											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
<i>HadCRUT4 (суша+море)</i>												
АО,15-70с.ш.	0.21	0.18	0.17	0.18	0.18	0.19	0.21	0.25	0.24	0.26	0.22	0.22
ТО,40-60с.ш.	0.13	0.14	0.11	0.13	0.17	0.19	0.24	0.24	0.21	0.20	0.17	0.15
65-90 с.ш.	*0.41	0.57	0.69	0.76	0.54	0.53	0.44	0.42	0.43	0.74	0.71	0.69
25-65 с.ш.	0.25	0.26	0.33	0.28	0.27	0.29	0.31	0.34	0.31	0.32	0.29	0.24
25ю.ш.-25 с.ш.	0.14	0.15	0.14	0.16	0.15	0.16	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.14
65-25 ю.ш.	0.09	0.09	0.11	0.14	0.12	0.14	0.12	0.12	0.11	0.13	0.10	0.07
90-65 ю.ш.	-0.06	*-0.07	-0.07	-0.21	0.08	0.02	-0.07	0.27	**0.34	0.31	0.21	-0.01
<i>IGCE-T3288 (суша)</i>												
Сев. Америка	0.54	0.22	0.18	0.13	**0.16	0.29	0.24	0.28	0.35	0.35	*0.41	*0.47
Евразия	**0.24	0.43	0.63	0.52	0.41	0.39	0.36	0.40	0.34	0.41	0.36	**0.25
Южн. Америка	0.20	0.17	0.15	0.17	0.06	0.22	0.12	0.21	0.27	0.22	0.20	0.18
Африка	0.24	0.29	0.36	0.33	0.34	0.34	0.31	0.24	0.24	0.35	0.34	0.27
Австралия	*0.21	0.07	0.10	0.18	0.09	0.17	0.24	0.12	0.31	0.32	**0.21	0.04
Антарктида	0.03	-0.08	0.07	**0.33	0.06	-0.13	0.01	**0.35	**0.33	0.31	*0.20	-0.05

Примечание. Основная масса оценок статистически значима на 1%-м уровне (приведены без выделения). Для них уровень значимости $\alpha \leq 0.01$. Отрицательными оказались тренды только для регионов Южной полярной области (выделены синим шрифтом).

Усл. обозначения:

* $0.01 < \alpha \leq 0.05$ (тренд статистически значим на 5%-м уровне);

** $0.05 < \alpha \leq 0.10$ (тренд статистически значим на 10%-м уровне);

$\alpha > 0.10$ (ложный тренд, статистически незначим даже на 10%-м уровне)

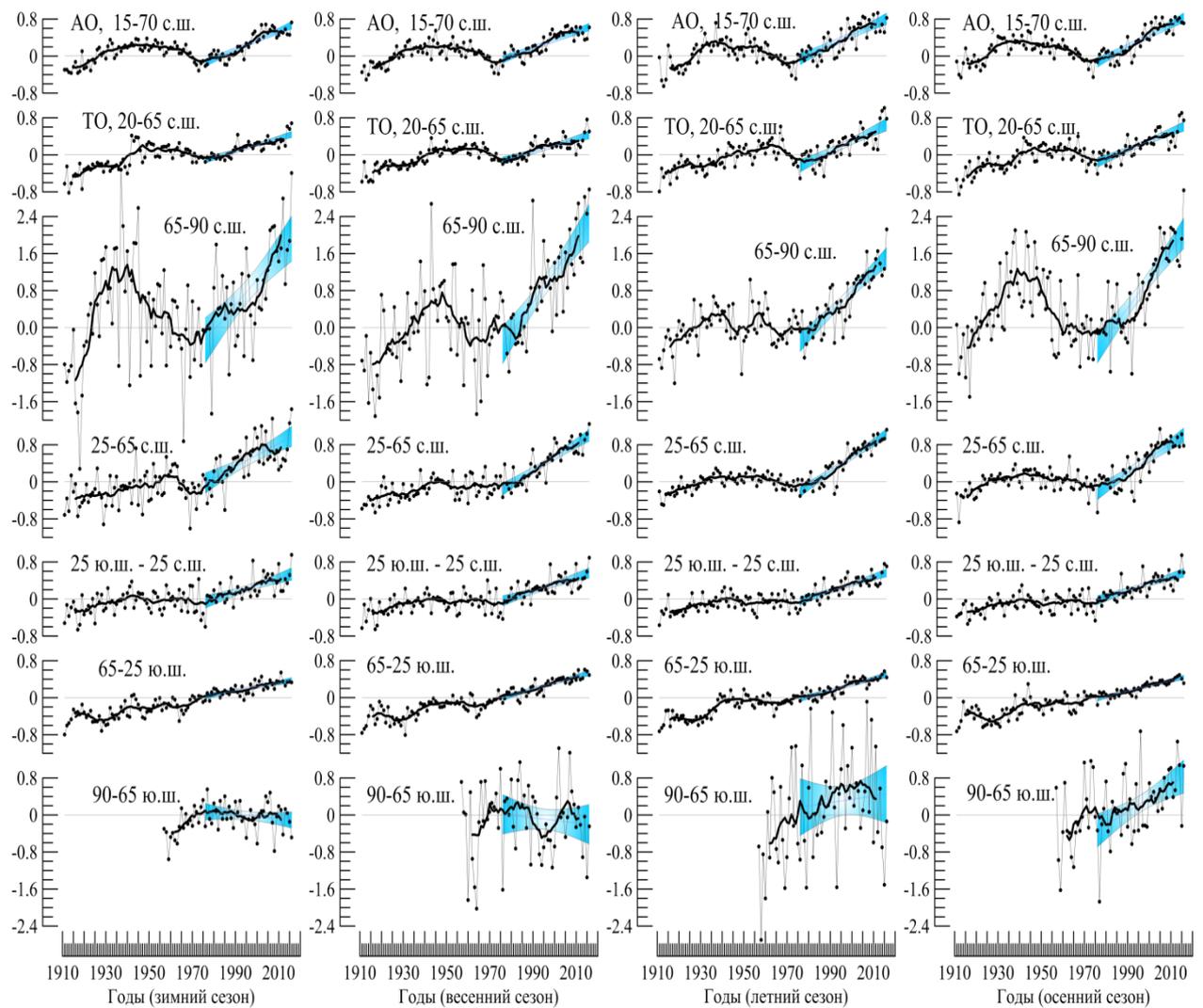


Рисунок 4.3 – См. рис.4.2, но для океанов и широтных поясов земного шара. *Использованы сеточные данные Hadley/CRU, UK (массив HadCRUT4, суша+море). Расчеты выполнены по методике ИГКЭ.*

5. ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА ЗЕМНОГО ШАРА, 1976-2016 гг.

Пространственные распределения оценок локальных трендов на территории Земного шара, рассчитанные по данным о глобальных полях среднегодовых аномалий температуры за 1976-2016 гг., приведены на рис. 5.1. На верхнем фрагменте представлены оценки по объединенным данным HadCRUT4 над всей территорией земного шара, а на нижнем – только над сушей, по станционным данным T3288. Распределения аналогичных оценок для отдельных сезонов приведены на рис. 5.2.

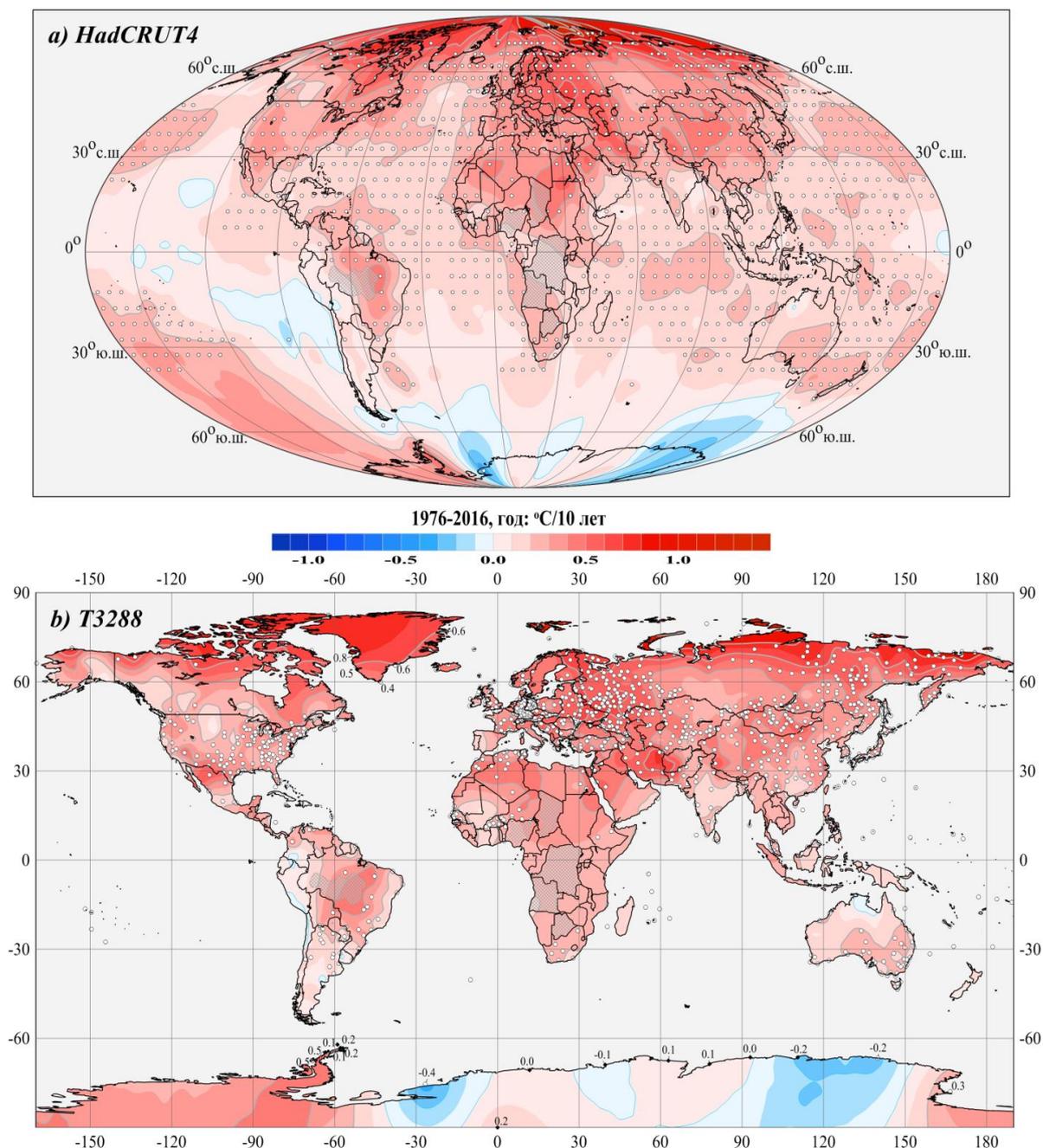
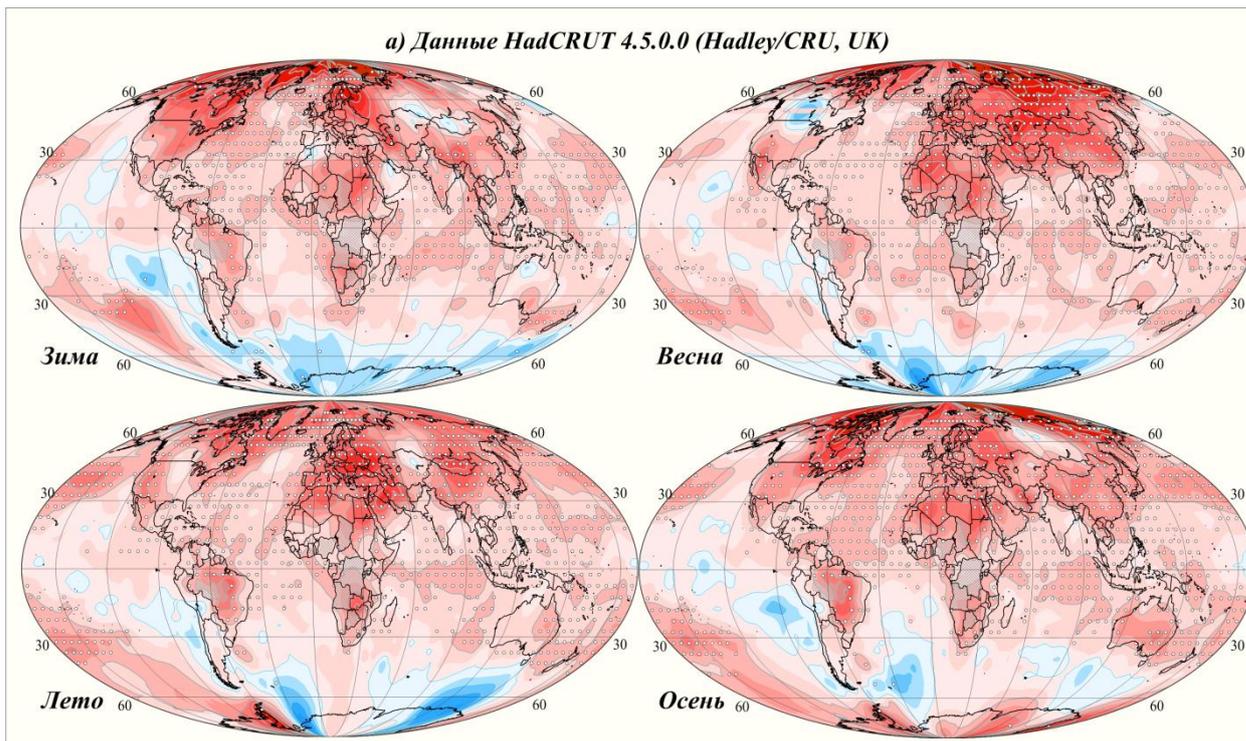


Рисунок 5.1 - Пространственное распределение коэффициентов линейного тренда среднегодовой температуры у поверхности Земного шара за период 1976-2016 гг. ($^{\circ}\text{C}/10$ лет).

Использованы данные: а) HadCRUT4, Hadley/CRU, UK (сеточные данные 5×5 -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.



Коэффициенты линейного тренда, 1976-2016 гг.: °C/10 лет

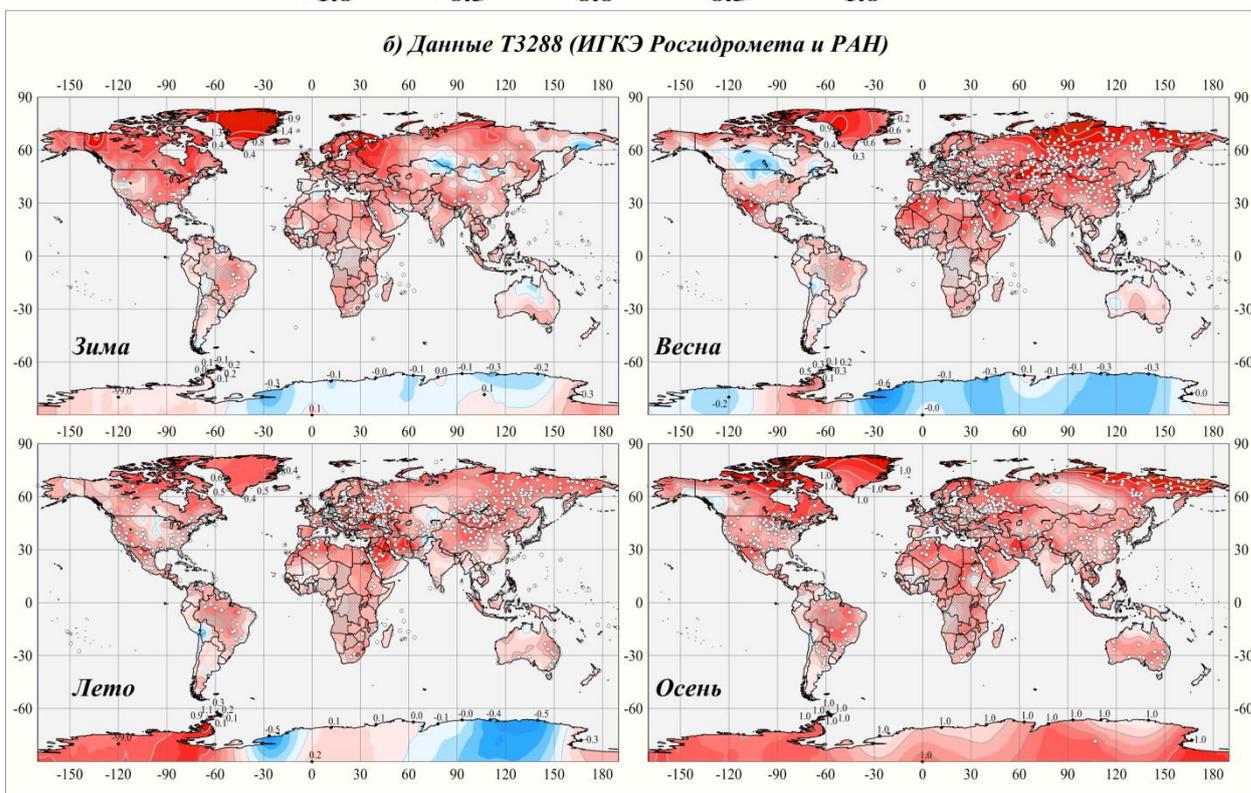
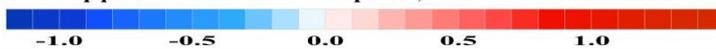


Рисунок 5.2 – См. рис. 5.1, но для сезонных аномалий приземной температуры.

В сравнении с 1976-2015 гг., глобальная картина трендов в изменении температурного режима последних 40 лет изменилась незначительно (рис. 5.1). Изменения касаются, главным образом, статистически незначимых оценок и представляют интерес скорее как предварительная информация о намечающихся тенденциях, если изменения будут продолжаться в том же направлении.

В целом на Земном шаре абсолютно доминирует тенденция к продолжающемуся потеплению. Отрицательные тренды, по-прежнему, получены только на территории Южной полярной области (в Южном океане, Антарктиде), на востоке Тихого океана и на северном побережье Австралии. На всей этой территории как отрицательные, так и положительные тренды статистически незначимы, хотя занятая ими область в 2016 г. значительно сократилась. В Северной Америке (главным образом, на территории США, кроме центральных районов), Южной Америке и Евразии (исключая районы Западной и Средней Сибири), напротив, тенденция к потеплению выявляется уверенно – оценки статистически значимы на 1%-м уровне. Наибольшая скорость потепления (при годовом осреднении) отмечается в арктических широтах (по данным станций – на арктическом побережье России и в Гренландии), в Европе, Китае, в США и на востоке России.

Сезонная картина «глобального потепления» не столь однозначна и меняется в течение года (рис. 5.2). При этом во все сезоны, по-прежнему, на большей части земного шара преобладает тенденция к потеплению, а осенью она полностью охватила всю территорию суши земного шара. Тенденция к похолоданию в Тихом и Южном океанах пока сохраняется во все сезоны, но менее выраженная (оценки тренда остаются статистически незначимыми).

В сравнении с 1976-2015 гг., потепление *зимних сезонов* несколько усилилось в Тихом океане, ослабло в Евразии и в Африке. *Весной* усилилась тенденция к потеплению в Евразии, Африке, в северных частях Тихого и Атлантического океанов, но появилась область отрицательных трендов в Северной Америке. Наиболее высокая скорость потепления *летних сезонов* отмечается в центральной Европе, в восточных районах Евразии, в Китае, в некоторых районах Южной Америки и в США. В Казахстане и Средней Азии тренд отрицательный. Потепление *осенних сезонов*, как было отмечено, охватило всю территорию суши земного шара.

Следует отметить, что интенсивность всех трендов, положительных и отрицательных, в зимнем сезоне меньше остальных. Тренд похолодания во всех случаях статистически незначим даже на 10%-уровне, а тенденция к потеплению во все сезоны на обширных территориях всех континентов подтверждается оценками с уровнем значимости $\alpha \leq 0.01$.

В порядке уточнения можно отметить, что во многих регионах и в целом по Земному шару и Южному полушарию, тенденция к некоторому усилению потепления в 2016 г. (в сравнении с 2015) отмечается только в течение первого полугодия. В Северной Америке эта тенденция сохранялась до декабря, в Северном полушарии – до октября. В летние и осенние месяцы тенденция к потеплению в целом несколько ослабевает. Однако, в среднем за год и по территории, ни в одном из регионов, скорость потепления не уменьшилась: в Северной Америке она увеличилась на $0.027\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$, а в остальных регионах (в т.ч. глобально) - не более, чем на $0.008\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$. Таким образом, в целом можно считать, что к текущему моменту тенденция к глобальному потеплению сохранилась на прежнем уровне.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В среднем за год и по территории, по данным массивов T3288 (суша), CRUTEM4 (суша), HadSST3 (море) 2016 год оказался самым теплым в истории наблюдений для Земного шара, Северного и Южного полушария. По объединенным данным HadCRUT4 (суша+море) год также был рекордно теплым для Земного шара и Южного полушария, а для Северного полушария он оказался вторым после 2015 г.

2. Аномалия глобальной температуры приземного воздуха над сушей, в среднем для Земного шара, Северного и Южного полушарий составила в 2016 году 1.263, 1.489 и 0.729 °C (данные T3288, ИГКЭ, суша). Соответствующие значения для всей территории, над сушей и океанами, равны 0.773, 1.027 и 0.529 °C (данные HadCRUT4, Hadley/CRU, суша+море).

3. Рекордно теплый режим сохранялся в среднем по территории Земного шара и Северного полушария в течение первых трех сезонов (в Южном полушарии – двух первых). В отдельные сезоны температурный режим был рекордно теплым и в регионах: Арктический пояс (весной, летом и осенью), тропики (зимой и весной), Северная Америка (зимой и осенью), Евразия и Австралия (весной), Южная Америка (зимой).

Ниже нормы средняя температура была только в регионах южной полярной области в отдельные сезоны: Антарктический пояс (во все сезоны, кроме осени), и Антарктида (зимой и весной).

4. Во втором полугодии аномальность температурного режима определенно снизилась. В частности, летом и осенью примерно на треть уменьшилось число локальных экстремумов тепла (уменьшилось станций, зафиксировавших значения температуры выше 95-го перцентиля). Осенью к тому же увеличилось число станций с холодными 5%-ми экстремумами (значениями температуры ниже 5-го перцентиля), хотя и в значительно меньше соотношении. При этом число обновленных точечных рекордов (абсолютные экстремумы за период наблюдений) во всех сезонах примерно одинаково.

5. Современное глобальное потепление над сушей более интенсивно, чем над океанами, и в Северном полушарии более значительно, чем в Южном. Действительно, тренд (средняя скорость) приземного потепления в 1976-2016 гг., в среднем по территории суши Земного шара, Северного и Южного полушарий составил 0.288, 0.345, 0.155 °C/10 лет (данные T3288), а по территории океанов – всего 0.140, 0.185, 0.098 °C/10 лет (данные HadSST3).

6. По объединенным данным над всей территорией (HadCRUT4, суша+море), соответствующие оценки тренда за 1976-2016 гг. составили 0.178, 0.247 и 0.109 °C/10 лет (оценки 2015 г. очень близки: 0.178, 0.241 и 0.106 °C/10 лет за 1976-2015 гг.). Наиболее выражен тренд в Северном полушарии весной.

Таким образом, современное глобальное потепление у поверхности Земного шара продолжается на прежнем уровне. Основной вклад в него, по-прежнему, принадлежит Северному полушарию при доминирующей роли континентов.

7. В сравнении с потеплением последнего столетия (1917-2016 гг.), современное глобальное потепление (1976-2016 гг.) ускорилось в среднем в 2.5-3 раза в Северном полушарии и менее, чем вдвое – в Южном. В Северном полушарии это ускорение активнее проявляется над океанами, а в Южном полушарии – над сушей.

8. Глобальная картина трендов приземной температуры последнего 40-летия, с

подключением наблюдений 2016 года, изменилась незначительно. По-прежнему, на земном шаре абсолютно доминирует тенденция к потеплению. Как и в 2015 г., отрицательные тренды выявлены только на территории Южной полярной области (в Южном океане, Антарктиде), на востоке Тихого океана и на северном побережье Австралии, хотя занятая ими область в 2016 г. определенно сократилась. На всей этой территории как отрицательные, так и положительные тренды статистически незначимы. Наибольшая скорость потепления отмечается в арктических широтах, в Европе, Китае, в США и на востоке России.

9. От сезона к сезону картина «потепления» несколько менялась, но во все сезоны, по-прежнему, на большей части земного шара преобладала тенденция к потеплению. При этом, в сравнении с 1976-2015 гг., она в большинстве регионов усилилась в первом полугодии, но ослабла в осенние месяцы.

Тенденция к похолоданию в Тихом и Южном океанах и в Антарктиде стала слабее, а осенью в Антарктиде она и вовсе не обнаруживается (на всей территории тренды положительные). Коэффициенты тренда остались статистически незначимыми.

10. Тренд похолодания во всех случаях статистически незначим даже на 10%-уровне, а тенденция к потеплению во все сезоны (несколько в меньшей степени – зимой) на обширных территориях всех континентов подтверждается оценками с уровнем значимости $\alpha \leq 0.01$.

Регулярные сезонные результаты мониторинга климата и их годовые обобщения доступны на сайте ИГКЭ (<http://climatechange.su>, <http://www.igce.ru>).