

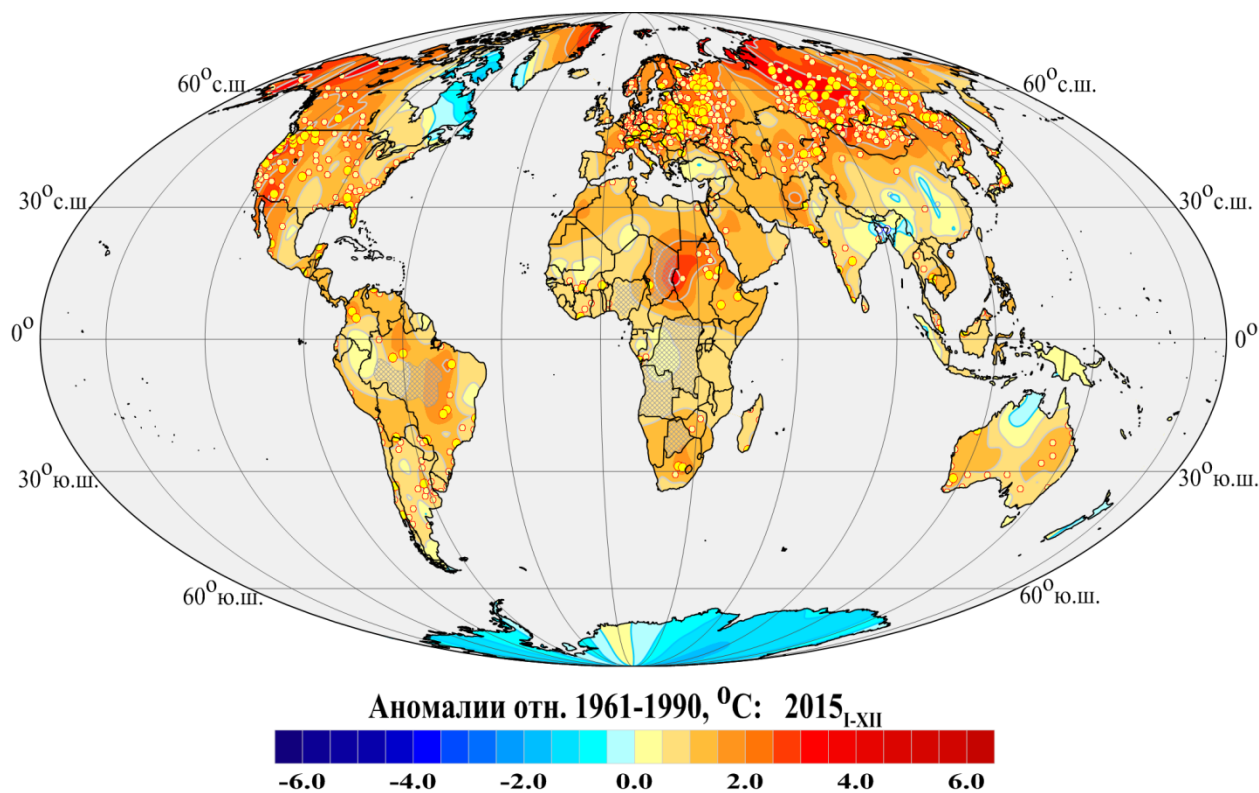
Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу
окружающей среды

ФГБУ «Институт глобального климата и экологии
Росгидромета и РАН»

Бюллетень мониторинга изменений климата Земного шара

Приземная температура - 2015

Годовой обзор



Использованы станционные данные ИГКЭ: T3288

Москва 2015

ОГЛАВЛЕНИЕ ^{1, 2}

1. ВВЕДЕНИЕ	3
2. ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ У ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ НА ТЕРРИТОРИИ ЗЕМНОГО ШАРА В 2015 г. ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ АНОМАЛИИ	6
3. КРУПНОМАСШТАБНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ТЕРРИТОРИИ ЗЕМНОГО ШАРА ЗА ПЕРИОД ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ, 1850-2015 гг.	16
4. ВРЕМЕННЫЕ РЯДЫ ПРОСТРАНСТВЕННО ОСРЕДНЕННЫХ АНОМАЛИЙ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ, 1911-2015 гг.	21
5. ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА ЗЕМНОГО ШАРА, 1976-2015 гг.	25
6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ	29

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 2015 г.

1. ВВЕДЕНИЕ

Содержание бюллетеня составляют данные о наблюдаемых в течение 2015 г. сезонных и месячных особенностях температурного режима у поверхности (аномалии и экстремумы) на территории Земного шара и о современных тенденциях их изменения. Все оценки базируются на данных стандартных метеорологических наблюдений за средней месячной температурой у поверхности земли.

Основные результаты, представленные в настоящем бюллетене, относятся к температурному режиму *суши* земного шара. Они получены авторами по данным метеорологических наблюдений на 3288 станциях глобальной сети (из них 703 станции расположены на территории России и стран СНГ). Сеть станций представлена на рисунке 1.1. Все эти станции передают телеграммы КЛИМАТ и имеют достаточное количество наблюдений за современный период (критерий отбора: начало наблюдений не позже 1970 г. и не менее 25 полных лет наблюдений в течение 1976-2010 гг.)³.

Данные текущих наблюдений формируются в ФГБУ «Гидрометцентр РФ» и ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» из сводок «КЛИМАТ», поступающих по каналам связи в оперативном потоке, откуда передаются в ФГБУ ИГКЭ в форматах архивного хранения (ежемесячно, с задержкой до 20-25 дней следующего месяца).

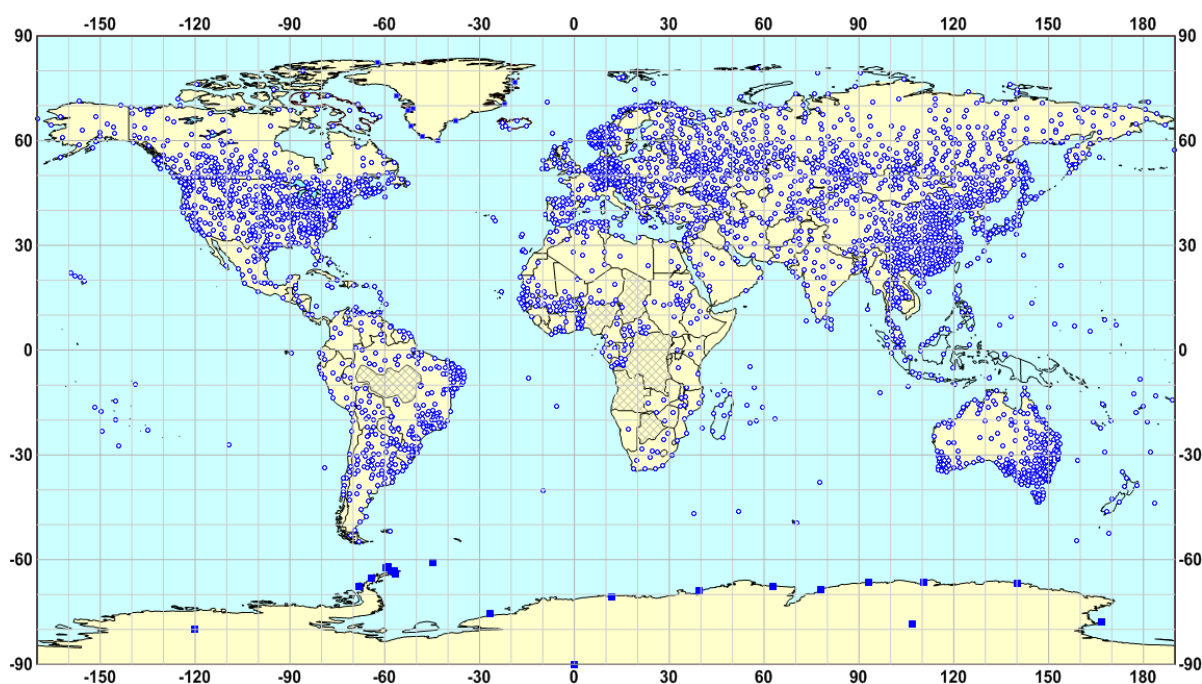


Рисунок 1.1 – Сеть станций в массиве Т3288 ИГКЭ. Заштрихованы области, не освещенные данными наблюдений. В Гренландии и Антарктиде станции расположены вдоль береговой линии плюс станция AMUNDSEN-SCOTT в центре материка (Южный полюс Земли).

³ Данные представляют осредненную за месяц среднесуточную температуру воздуха на станции на высоте 2м и охватывают период с 1901 года. Основу массива составили накопленные в ФГБУ «ИГКЭ Росгидромета и РАН» ряды наблюдений для 1383 станций Земного шара (пополняемый в реальном времени базовый массив мониторинга климата, ведущегося в ИГКЭ с конца 1980-х гг.). Массив расширен за счет данных станционных наблюдений с сайтов ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» (<http://www.meteo.ru>) и Метеослужбы Великобритании и Университета Восточной Англии (<http://www.cru.uea.ac.uk>). Выполнен сравнительный анализ, контроль и согласование данных разных источников.

Извлечение данных текущих наблюдений, их контроль, обработка и сопряжение с историческими рядами осуществляется в ФГБУ «ИГКЭ» средствами действующей технологии оперативного мониторинга климата и изменений климата на территории России. В настоящее время технология расширяется с учетом задач мониторинга глобального климата⁴.

Ряд представленных ниже результатов получен с использованием набора сеточных данных HadCRUT4 (версия 4.4.0.0), содержащих значения среднемесячных аномалий приповерхностной температуры на глобальной сети 5-градусных боксов (данные Метеослужбы Великобритании и Университета Восточной Англии, <http://www.MetOffice.gov.uk/hadobs/>). Под приповерхностной температурой здесь понимаются объединенные данные аномалий температуры приземного воздуха над сушей (на высоте 2м) и аномалий температуры воды в поверхностном слое океанов (8-10 м). Массив получен в Met Office UK объединением и согласованием полей CRUTEM4 (версия 4.4.0.0, данные над сушей) и HadSST3 (версия 3.1.1.0, данные над океанами). Понятно, что на территории континентов оценки аномалий температурного режима по используемым двум источникам (HadCRUT и T3288) должны быть близки. При этом, на наш взгляд, станционные данные T3288 более точно описывают ситуацию над континентами (особенно локализацию экстремальных аномалий), а объединенные поля HadCRUT (с учетом данных океанов) дают более полную и целостную глобальную картину. Ниже данные обоих источников будут упоминаться как характеристики *приземной температуры*.

В бюллетене приводятся как пространственные распределения локальных месячных и сезонных аномалий температуры, так и временные ряды пространственно осредненных аномалий для Земного шара и полушарий в целом, а также для отдельных континентов, океанов и широтных поясов. Пространственное осреднение выполняется по данным об аномалиях с учетом плотности наблюдений. Для этого территория региона покрывается регулярной широтно-долготной сеткой 2.5*5 гр. и осредняются станционные аномалии внутри каждого образовавшегося бокса (ячейки сетки), после чего для каждого региона выполняется осреднение попавших в него ячейчных средних с весами, пропорциональными площади пересечения бокса с территорией региона.

Временное осреднение (среднее арифметическое за сезон, год) выполняется по данным о месячных аномалиях. При расчете сезонных средних (за каждые 3 месяца, начиная с декабря предыдущего года) разрешено отсутствие не более одного слагаемого. Средние годовые (с января по декабрь текущего года) рассчитываются при наличии данных, по крайней мере, за 8 месяцев и при отсутствии пропусков за 2 соседних месяца. Названия сезонов в бюллетене соответствуют сезонам Северного полушария.

Аномалии (во всех случаях это отклонения от среднего за 1961-1990 гг.), как правило, сопровождаются соответствующими значениями эмпирической функции распределения (вероятности превышения). В поле аномалий выделяются ареалы осуществления *климатических экстремумов*, под которыми понимаются значения,

⁴ Бюллетени мониторинга климата РФ (сезонные и годовые), выпускаемые по этой технологии, регулярно публикуются на сайте ИГКЭ Росгидромета и РАН <http://climatechange.su>, <http://climatechange.igce.ru> в рубрике “Мониторинг климата”. С 2015 г. в этой рубрике в веден второй подраздел для бюллетеней мониторинга изменений климата Земного шара, на который уже выложены экспериментальные сезонные бюллетени за 2015 г. Предлагаемый бюллетень является первым выпуском годового обзора в этой серии.

попавшие в $p\%$ -е «хвосты» распределения (как правило, 5%-е), т.е. значения с вероятностью неперевышения $P \leq p\%$ или $P \geq 100-p\%$ (в зависимости от знака аномалии). Дополнительно выделяются рекордные экстремумы, наблюдавшиеся впервые.

Временные ряды приводятся за весь доступный период наблюдений и дополняются линейным трендом, характеризующим тенденцию (среднюю скорость) изменений рассматриваемой величины за период современного потепления (с 1976 года). Тренд рассчитывается методом наименьших квадратов и выражен в градусах за десятилетие ($^{\circ}\text{C}/10$ лет). Как правило, оценки коэффициентов линейного тренда сопровождаются соответствующим уровнем значимости и/или вкладом в суммарную дисперсию ряда. Вероятности неперевышения рассчитываются за период с 1911 г. (до этого срока данные над океанами в массиве HadCRUT4 представляются сомнительными).

Таким образом, в качестве «базовых» периодов в настоящем бюллетене используются три периода: 1961-1990 гг. – период оценки норм при расчете аномалий; 1911-2015 – период оценки вероятностей неперевышения; 1976-2015 – период «современного потепления» при анализе временных рядов (для оценки трендов). В ряде случаев приводятся также оценки 100-летних трендов за 1916-2015 гг.

Отметим, что в бюллетене для оценки температурного режима *над сушей* земного шара используются преимущественно методика и станционные данные ИГКЭ (массив T3288). Однако глобальные оценки (в среднем для Земного шара и полушарий) и соответствующие временные ряды приводятся для сравнения по обеим методикам – ИГКЭ и Hadley/CRU. По ранее выполненным оценкам авторов⁵, среднее различие между оценками среднегодовой глобальной температуры над сушей по методикам Hadley/CRU и ИГКЭ составляет: для Земного шара в целом 0.003 ± 0.023 $^{\circ}\text{C}$ (среднее $\pm$ сигма), для Северного полушария 0.012 ± 0.021 и для Южного полушария 0.003 ± 0.028 (оценки рассчитаны за 1901-2014 гг.).

Обновленные результаты сравнения этих двух методик для среднегодовой температуры (с учетом данных за 2015 г. и последней версии CRUTEM4) представлены на рис. 2.1 и в табл. 2.1 настоящего бюллетеня, а для сезонов – в предшествующих сезонных выпусках (<http://climatechange.su>). Столь тесное соответствие временных рядов, опубликованных Hadley/CRU и рассчитанных по методике и данным ИГКЭ, свидетельствует о репрезентативности данных массива T3288 (включая методику их обработки) и реалистичности базирующихся на нем оценок, предлагаемых в настоящем бюллетене (по крайней мере, для крупных регионов).

⁵ Груза Г.В., Ранькова Э.Я., Рочева Э.В., Смирнов В.Д. Географические и сезонные особенности современного глобального потепления. – Фундаментальная и прикладная климатология, 2015, №2, с.41-62

2. ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ У ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ НА ТЕРРИТОРИИ ЗЕМНОГО ШАРА В 2015 г. ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ АНОМАЛИИ

Анализируются характеристики приземного температурного режима в 2015 году на территории Земного шара и их обобщения для крупных регионов: полушария, континенты, океаны и основные широтные пояса. К последним относятся: тропический пояс (между северным и южным тропиками), два умеренных пояса (между каждым тропиком и полярным кругом) и два полярных пояса (за каждым полярным кругом).

На рис. 2.1 сравниваются временные ряды среднегодовых аномалий глобальной температуры *над сушей* Земного шара по двум источникам данных: опубликованные метеослужбой Великобритании (<http://www.cru.uea.ac.uk/temperature>) и рассчитанные авторами по методике и данным ИГКЭ. Сравнение выполнено для каждого полушария и для Земного шара в целом. Количественные оценки близости этих рядов приведены в табл. 2.1 (см. также аналогичные оценки по данным CRUTEM 4.3.0.0 за 1901-2014 гг.⁵).

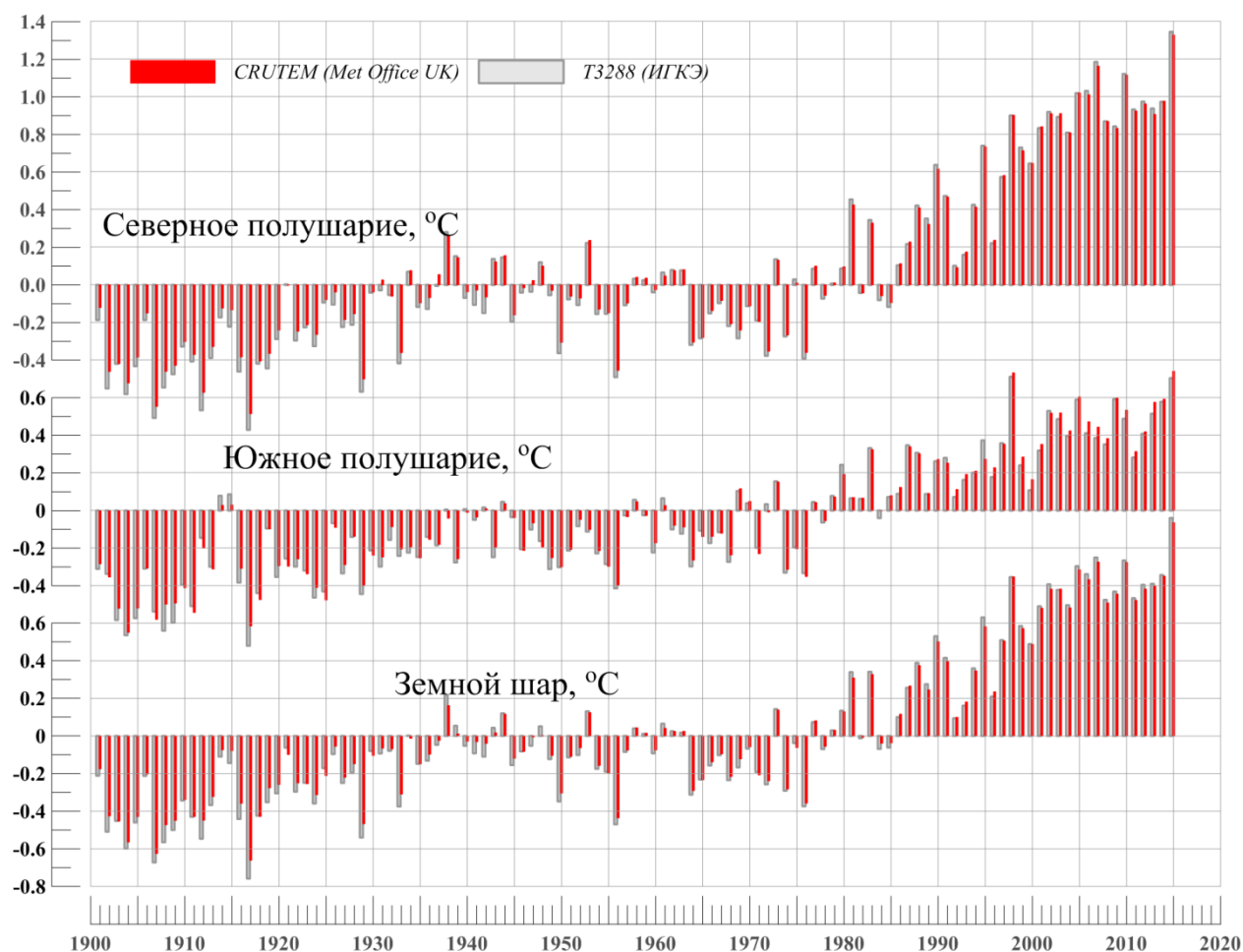


Рисунок 2.1 – Временные ряды пространственно осредненных среднегодовых (январь-декабрь) аномалий температуры приземного воздуха (°C, 1850-2015 гг.) для территории Земного шара, Северного и Южного полушарий.

Использованы глобальные временные ряды CRUTEM 4.4.0.0 (Met Office UK, <http://www.cru.uea.ac.uk/temperature>) и станционные данные T3288. Расчет глобальных рядов по данным T3288 выполнен по методике ИГКЭ Росгидромета и РАН (см. введение).

Таблица 2.1 – Оценки близости/различий одноименных временных рядов пространственно осредненных среднегодовых аномалий температуры приземного воздуха над сушей Земного шара, Северного и Южного полушарий, рассчитанных по методикам Hadley/CRU и ИГКЭ

Характеристика	1976-2015			1916-2015		
	ЗШ	СП	ЮП	ЗШ	СП	ЮП
Корреляция рядов	0.999	1.000	0.991	0.998	0.999	0.994
Среднее различие, °C	0.007	0.002	-0.015	-0.007	-0.015	-0.012
СКО (сигма) различий, °C	0.018	0.015	0.031	0.030	0.028	0.033
Среднее абсолютное различие, °C	0.016	0.013	0.027	0.024	0.023	0.027
Максимальное различие (abs), °C	0.049	0.032	0.100	0.097	0.086	0.105
Разность коэфф. тренда, °C/10 лет	0.006	0.005	-0.012	0.005	0.006	-0.001

Приведенные результаты убедительно иллюстрируют близость сравниваемых рядов, свидетельствующую, по-видимому, о репрезентативности данных массива T3288 и реалистичности базирующихся на нем оценок (по крайней мере, для крупных регионов).

Далее, по данным всех трех массивов в табл. 2.2 приведены данные о пяти самых теплых годах за всю историю инструментальных наблюдений, а в табл. 2.3 – наблюдаемые в 2015г. аномалии температуры и их повторяемость (вероятность непревышения) за период 1911-2015гг. В обеих таблицах оценки сгруппированы в три блока в соответствии с используемым для их расчета массивом данных.

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

№	ЗШ		СП		ЮП	
	VT, °C	год	VT, °C	Год	VT, °C	год
HadCRUT 4.4.0.0 (суша+море)						
1	0.745	2015	1.002	2015	0.490	2015
2	0.567	2014	0.756	2014	0.462	1998
3	0.559	2010	0.738	2010	0.413	2009
4	0.544	2005	0.727	2005	0.396	2002
5	0.536	1998	0.720	2007	0.379	2014
ИГКЭ T3288 (суша)						
1	1.158	2015	1.346	2015	0.711	1998
2	0.948	2007	1.186	2007	0.704	2015
3	0.932	2010	1.122	2010	0.592	2009
4	0.902	2005	1.032	2006	0.590	2005
5	0.860	2006	1.020	2005	0.578	2014
CRUTEM 4.4.0.0 (суша)						
1	1.133	2015	1.329	2015	0.741	2015
2	0.924	2007	1.164	2007	0.732	1998
3	0.922	2010	1.116	2010	0.605	2005
4	0.883	2005	1.022	2005	0.598	2009
5	0.849	2014	1.011	2006	0.592	2014

Таблица 2.3 - Пространственно осредненные значения аномалий приземной температуры в крупных регионах Земного шара в 2015 г., в среднем за год и по сезонам

Регион	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	vT_{2015}	F%	vT_{2015}	F%	vT_{2015}	F%	vT_{2015}	F%	vT_{2015}	F%
HadCRUT4 (суша+море)										
Земной шар*	0.745	100	0.661	99	0.678	100	0.722	100	0.799	100
Северное полушарие*	1.002	100	0.950	99	0.892	100	0.929	100	1.067	100
Южное полушарие*	0.490	100	0.372	97	0.461	97	0.516	99	0.533	100
Атлантика (15-70N)	0.541	89	0.469	89	0.376	82	0.521	85	0.730	94
Тихий океан (20-65N)	0.831	100	0.557	99	0.763	100	1.002	100	0.898	100
Арктический пояс (65-90N)	1.869	97	1.950	93	2.468	96	1.274	96	1.869	93
Умеренный пояс СП (25-65N)	1.078	100	1.191	98	1.003	99	0.921	98	0.977	98
Тропики (25S-25N)	0.731	100	0.527	95	0.587	98	0.766	100	0.931	100
Умеренный пояс ЮП (65-25S)	0.541	99	0.345	93	0.565	98	0.567	100	0.406	96
Антарктический пояс (90-65S)	-0.845	13	-0.144	46	-1.343	13	-1.527	18	-0.309	38
ИГКЭ-Т3288 (суша)										
Земной шар	1.158	100	1.207	99	1.063	100	0.934	99	1.155	100
Северное полушарие	1.346	100	1.495	99	1.301	100	0.983	97	1.294	99
Южное полушарие	0.704	99	0.522	95	0.506	95	0.825	99	0.836	100
Северная Америка	1.399	97	1.264	83	1.305	96	0.908	95	1.805	100
Евразия	1.524	99	2.255	99	1.546	96	1.006	94	1.022	89
Южная Америка	0.971	100	0.547	94	0.787	99	1.321	100	0.902	99
Африка	1.143	99	0.578	81	1.056	96	1.327	100	1.420	100
Австралия	0.772	96	0.723	95	0.014	62	0.787	92	1.518	99
Антарктида	-0.897	14	-0.445	27	-1.053	18	-1.865	11	-0.060	47
CRUTEM4 (суша)										
Земной шар*	1.133	100	1.142	99	1.029	99	0.983	100	1.148	100
Северное полушарие*	1.329	100	1.436	98	1.261	100	1.049	98	1.289	99
Южное полушарие*	0.741	100	0.554	95	0.566	96	0.851	99	0.866	100

Условные обозначения: 1. vT_{2015} , °C – наблюдаемая аномалия в 2015 гг. (относительно 1961-1990 гг.); 2. F_{vT} – значение функции распределения $F = \text{prob}(X \leq vT_{2015})$ по данным за 1911-2014 гг.

3. Жирным шрифтом выделены рекордные значения, наблюдавшиеся в 2015 г. впервые с 1911 г.

Звездочкой в боковике табл. 2.3 выделены временные ряды глобально осредненных аномалий (для Земного шара и обоих полушарий), которые используются в точном соответствии с их публикацией на сайтах Hadley/CRU (<http://www.metoffice.gov.uk/> и <http://www.cru.uea.ac.uk/>). Остальные временные ряды рассчитаны авторами по методике ИГКЭ по данным в центрах 5-градусных боксов HadCRUT4 или по данным станционных наблюдений Т3288 (см. таблицу). Отметим, что ниже при описании результатов числовые значения, приведенные в таблицах, повторяются лишь в исключительных случаях (как правило, при необходимости сопоставлений).

В соответствии с приведенными оценками, по всем трем источникам данных – HadCRUT4 («суша+море»), Т3288 («только суша») и CRUTEM4 («только суша») 2015 год оказался самым жарким для всех трех территорий – Земной шар, Северное и Южное полушарие (табл. 2.2). Единственным исключением является регион «суша Южного полушария», где по данным ИГКЭ 2015 год оказался вторым самым теплым после 1998 г., а по данным Hadley/CRU, наоборот, 1998 г. следует за 2015 годом.

Во всех случаях повышение температуры от 2014 к 2015 г. носит скачкообразный характер, и этот «скачок» много больше отрыва от предыдущего максимума. Особенно четко это видно на рис. 2.1, в соответствии с которым повышение приземной глобальной температуры от 2014 к 2015 гг. (без учета океанов) составило примерно 0.30, 0.35 и 0.15 °C для Земного шара, Северного и Южного полушарий, а отрыв от предыдущего максимального значения – примерно 0.20, 0.15 и 0.00 °C.

Дополнительно отметим, что глобальная приповерхностная температура, в среднем по Земному шару (по объединенным данным HadCRUT4, суша+море) в 2015 г. превысила доиндустриальный уровень (1891-1900 гг.) на 1.08 °C, причем отметка «1.0°C» перекрыта впервые. Для Северного и Южного полушарий это превышение составило 1.30 и 0.87 °C.

Во всех рассматриваемых регионах, кроме Антарктики, в среднем по территории региона истекший год в целом был теплее уровня 1961-1990 гг. Основной вклад в температурный рекорд 2015 года (по данным над сушей и океанами, с учетом площади региона⁶) принадлежит умеренному широтному поясу СП (около 36%) и тропикам (34%). Вклад Арктического пояса составил около 23%. Из регионов следует выделить теплый в течение всего года Тихий океан. Здесь в северных умеренных широтах (20-65 гр. с.ш.) экстремально теплый режим сохраняется непрерывно, от месяца к месяцу, с декабря 2013 года, а в восточной тропической части с начала года развивается мощный Эль-Ниньо, который по некоторым оценкам, к концу года еще не достиг своего пика. На суше Земного шара основной вклад в аномалию 2015 г. принадлежит Евразии (~50%), затем – Африке и Северной Америке (по ~20%).

Географические особенности температурного режима 2015 года у поверхности Земного шара представлены на рисунках 2.2-2.4. На рис.2.2 совмещены два поля среднегодовых аномалий температуры, над всей территорией Земного шара (над континентами и океанами, HadCRUT4) и только над сушей (по данным станций T3288). Аналогично, на рис. 2.3 приведены сезонные поля, также с учетом и без учета температуры поверхности океанов. На рис. 2.4 показано распределение месячных аномалий для декабря 2015 г. (для любого из остальных месяцев такие распределения можно найти в соответствующем сезонном бюллетене на сайте ИГКЭ Росгидромета и РАН <http://climatechange.igce.ru>).

На картах, построенных по станционным данным T3288, анализ над океанами отсутствует⁷. На всех картах кружками белого и желтого цвета указано местоположение станций/боксов, зафиксировавших рекордное для данного срока (конкретный сезон/месяц или год) значение температуры, т.е. наблюдающееся впервые с 1911 года. Крупные (но не рекордные) аномалии, попавшие в 5% самых низких или самых высоких значений (так называемые 5%-е экстремумы), показаны значками того же цвета, но меньшего размера.

⁶ Под вкладом региона понимается аномалия, осредненная по территории региона и взвешенная с весом, пропорциональным площади региона (в процентах от глобальной аномалии)

⁷ Глобальные поля по объединенным данным (HadCRUT4) представлены в проекции Мольвейде (псевдоцилиндрическая проекция), а поля по станционным данным (T3288) – в географической проекции (равнопромежуточная цилиндрическая проекция), которая, на наш взгляд, более удобна для анализа полей в высоких широтах обоих полушарий.

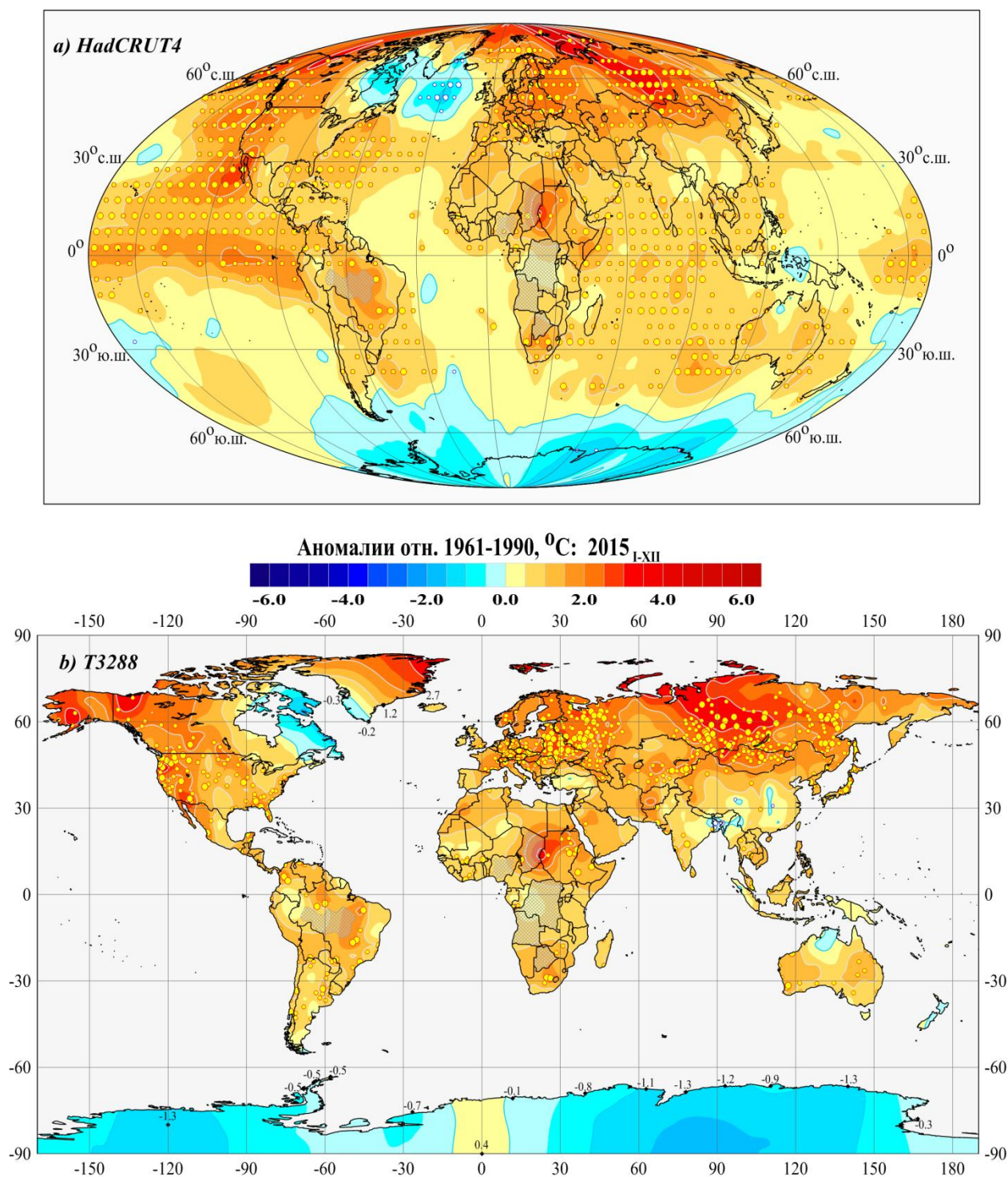


Рисунок 2.2 – Пространственное распределение среднегодовых аномалий приземной температуры (°C) на территории Земного шара в 2015 г.: *a)* по данным HadCRUT4 (MetOffice UK) в центрах 5-градусных боксов над сушей и океанами; *б)* - по станционным данным T3288 (ИГКЭ).

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.

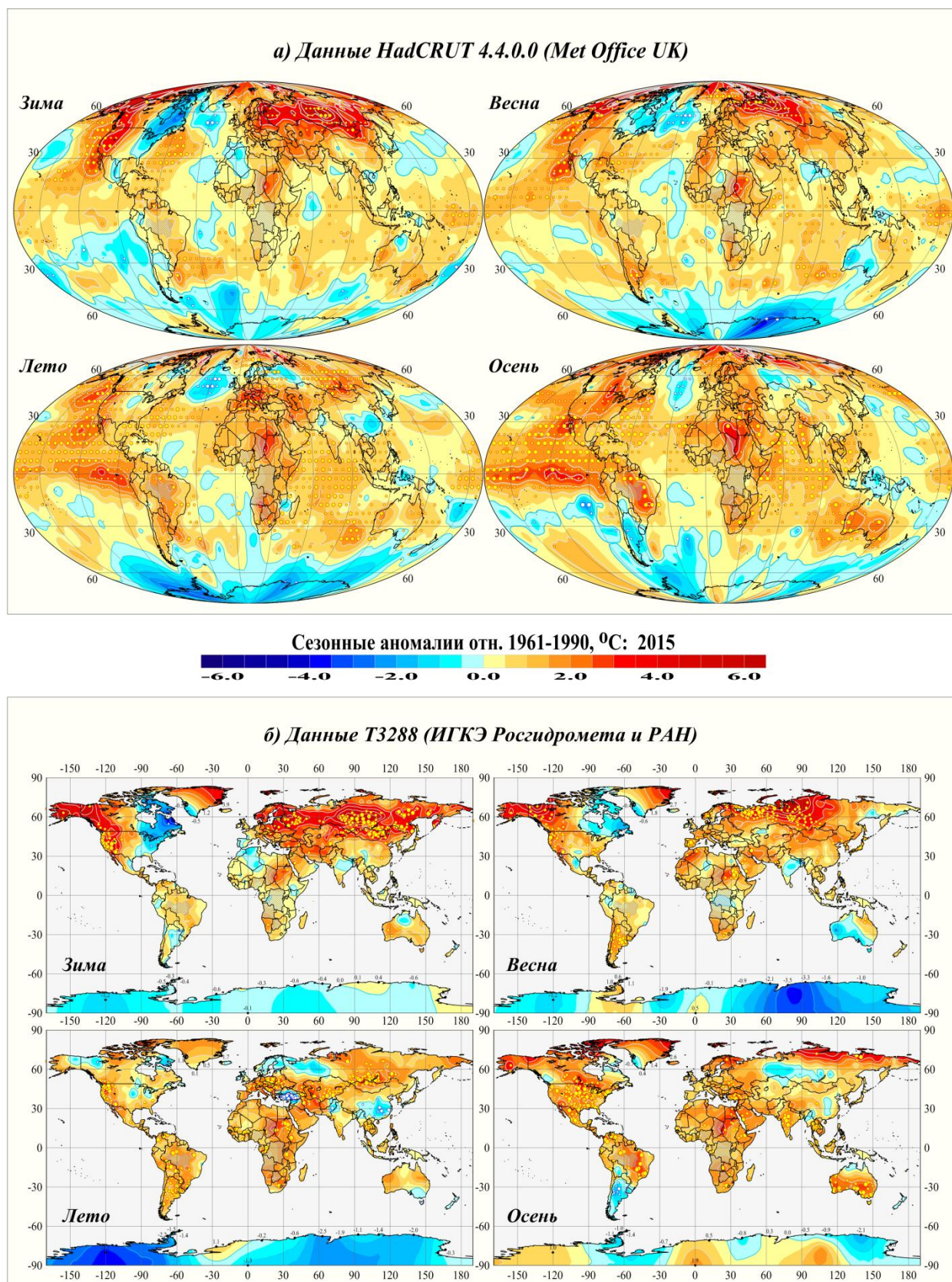


Рисунок 2.3 – См. рис. 2.2, но для средних сезонных аномалий 2015 г.: а) над всей территорией Земного шара, над сушей и океанами (по данным HadCRUT4 в центрах 5-градусных боксов); б) над всей территорией суши Земного шара (по данным станционных наблюдений T3288, только суша)

Глобальные поля среднегодовых аномалий на рис. 2.2 хорошо согласуются с региональными оценками в табл. 2.3. Действительно, отрицательные аномалии отмечены лишь в Антарктической области и на севере Атлантики. Во многих районах аномалии достигли рекордно высоких значений, в том числе: в Северной и Южной Америке, на западе Северной Атлантики, в Европе и центральной Сибири, в восточных тропиках Тихого океана и в Индийском океане, в Индии, Малайзии и в южных районах Австралии.

Зима 2014/15 г. (табл. 2.3, рис. 2.3). Для Земного шара в целом, как с учетом океанов, так и только для суши, зима 2015 г. была вторым самым теплым зимним сезоном в истории наблюдений после 2007 г. (по всем трем наборам данных).

Наиболее существенным оказался вклад Северного полушария, по-видимому, за счет теплого в течение всех зимних месяцев Тихого океана (в зоне 20-65N) и Евразии. В этих регионах, в среднем по территории и за сезон, зима 2014/15 гг. также оказалась на втором месте в соответствующих упорядоченных по убыванию рядах наблюдений. Отметим дополнительно, что для *всех* рассмотренных крупных территорий среди пространственно осредненных сезонных аномалий рекордных значений не наблюдалось, но во всех них зимний сезон 2014/15 гг. был теплее уровня 1961-1990 гг. *в целом и в каждом из месяцев* (кроме Антарктиды и Северной Америки в феврале).

Очень теплой зима 2014/15 гг. была практически во всем умеренном поясе Евразии (кроме Западной Европы), на западе Северной Америки и на прилегающей акватории Тихого океана. На значительной территории сезонные аномалии температуры превысили 95-й процентиль, а в центральных и восточных районах Евразии, на западе Северной Америки и в Тихом океане (у берегов Северной Америки) они достигли рекордно высоких значений. Холодной зима была лишь на востоке Северной Америки, в Антарктическом регионе и в восточной части Тихого океана вдоль побережья Южной Америки. Наиболее значительные аномалии (положительные и отрицательные) наблюдались на континентах Северного полушария, как в среднем за сезон, так и в отдельные месяцы.

Весна 2015 г. (табл. 2.3, рис. 2.3). В целом по Земному шару весна 2015 года оказалась самым теплым в истории наблюдений весенним сезоном. По данным Hadley/CRU (массив HadCRUT4), средняя по территории Земного шара аномалия приповерхностной температуры (над континентами и океанами) достигла в этом сезоне рекордного значения 0.678°C , перебившего предыдущий рекорд 2010 г. на 0.029°C . Рекордно теплой весна оказалась и по данным только *над сушей* Земного шара (T3288, 1.063°C), а также для Северного полушария по данным всех трех массивов HadCRUT4, T3288, CRUTEM4 (0.892 , 1.301 , 1.261°C). Из регионов выделяется область Тихого океана (20-65 гр. с.ш.), где значения пространственно осредненной аномалии были рекордно высокими в каждом из весенних месяцев и в целом за сезон (сезонная аномалия 0.76°C). Рекордно теплым месяцем был май, в целом (суша+море) по Земному шару, Северному полушарию и умеренному поясу южного полушария. Во многих районах весенние аномалии температуры превышали 95-й процентиль, а на севере Европейской части России, на западе Канады, в восточных районах северной части Тихого океана, в центральных районах Африки аномалии оказались рекордно высокими.

Необычно холодной весна 2015 г. была на востоке Канады (особенно в марте), в Северной Атлантике и в Южной полярной области, включая Антарктиду (март-апрель-май) и Австралию (апрель-май). В Антарктиде средняя по территории сезонная аномалия

температуры составила -1.05°C , а на отдельных станциях в мае среднемесячная аномалия опустилась ниже -5.0°C (вплоть до -7.8°C).

Лето 2015 г. (табл. 2.3, рис. 2.3). Летний сезон продолжил температурные рекорды 2015 г. Для Земного шара (в среднем по всей территории, с учетом океанов) самым жарким в истории наблюдений стал не только сезон в целом, но и каждый его месяц. Сезонная аномалия глобальной температуры достигла нового рекордного уровня $+0.722^{\circ}\text{C}$ (HadCRUT4, суша+море), что на 0.1°C выше предыдущего максимума (1998 г., 0.622°C). За ними следуют 2014 и 2010 гг. с аномалиями 0.608 и 0.583°C . Рекордно теплым сезон стал также в среднем по всей территории Северного полушария (HadCRUT4) и по территории суши Южного полушария (CRUTEM4).

Из крупномасштабных региональных особенностей летнего сезона наиболее существенными являются:

- Экстремально теплый температурный режим в Тихом океане (в зоне 20-65N) в течение всего сезона.

- Рекордно теплый сезон в тропическом поясе (в течение всего сезона, в основном вследствие мощного Эль-Ниньо⁸ на востоке Тихого океана и в Индийском океане) и в южном умеренном поясе (65-25 гр. ю.ш., в июне-июле).

- Рекордно высокие сезонные аномалии в среднем по территории южных континентов – Африки и Южной Америки.

Ниже нормы летняя температура (в среднем за сезон) наблюдалась в обширной области на севере Атлантико-Европейского сектора (от восточной Канады до Западной Сибири включительно), а также в Турции, на юге Китая и в Антарктике. В Турции (повсеместно) и в отдельных районах Китая зафиксированы новые рекордные минимумы.

Осень 2015 г. (табл. 2.3, рис. 2.3). Рекордно теплый температурный режим, установившийся на территории Земного шара в начале 2015 года, сохранялся на протяжении всего года вплоть до осени. Осень оказалась самым теплым осенним сезоном за всю историю наблюдений сразу по ряду показателей:

- Сезонная аномалия глобальной температуры перекрыла прежние максимумы как по объединенным данным над континентами и океанами, так и по данным только *над сушей*. При этом рекордно теплым оказался не только сезон в целом, но и каждый из осенних месяцев.

- В Северном полушарии (суша+океан) сезонная аномалия достигла рекордных значений в среднем за сезон и в каждом из месяцев. По данным *только над сушей* рекордно теплым был лишь сентябрь.

- В Южном полушарии осень 2015 г. была самым теплым осенним сезоном как с учетом температуры поверхности океанов, так и без нее. Из месяцев рекордно теплыми были: октябрь по всем трем массивам данных и ноябрь только над сушей. Из регионов выделяются тропики (суша+море), северная часть Тихого океана, Африка и Австралия. Ниже климатической нормы осенняя температура, в среднем по рассматриваемым крупным территориям, была лишь в Антарктическом поясе (90-65 гр. ю.ш.) и в Антарктиде. Самый холодный месяц – сентябрь.

⁸ По оценкам ВМО (www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcasp/enso_update_latest.html, 16.11.2015), Эль-Ниньо 2015 г. может войти в четверку самых сильных Эль-Ниньо с 1950 года (после 1972-1973, 1982-83, 1997-98).

Географическое распределение сезонных аномалий дополняет отмеченные выше особенности. Так, обнаруживаются многочисленные экстремумы в тропической зоне Тихого океана и в Северной Атлантике, вблизи берегов Северной Америки и Африки, в Индийском океане. Как и в предыдущие сезоны, видны экстремальные положительные аномалии температуры на востоке Тихого океана в северном полушарии. На континентах сезонные рекордно высокие температуры осуществились над центральными и южными районами Северной Америки и на востоке Южной Америки. В этих районах рекордные суточные экстремумы достигали отметок 35-43 °С. На многих станциях центральной Европы, Африки, Индии, Индонезии и Австралии осенний сезон 2015 г. попал в 5% самых теплых сезонов с 1911 г. В Сибири положительные сезонные аномалии температуры достигали рекордных значений лишь на Крайнем Севере, где на отдельных станциях температура в ноябре превышала норму на 14-15 °С.

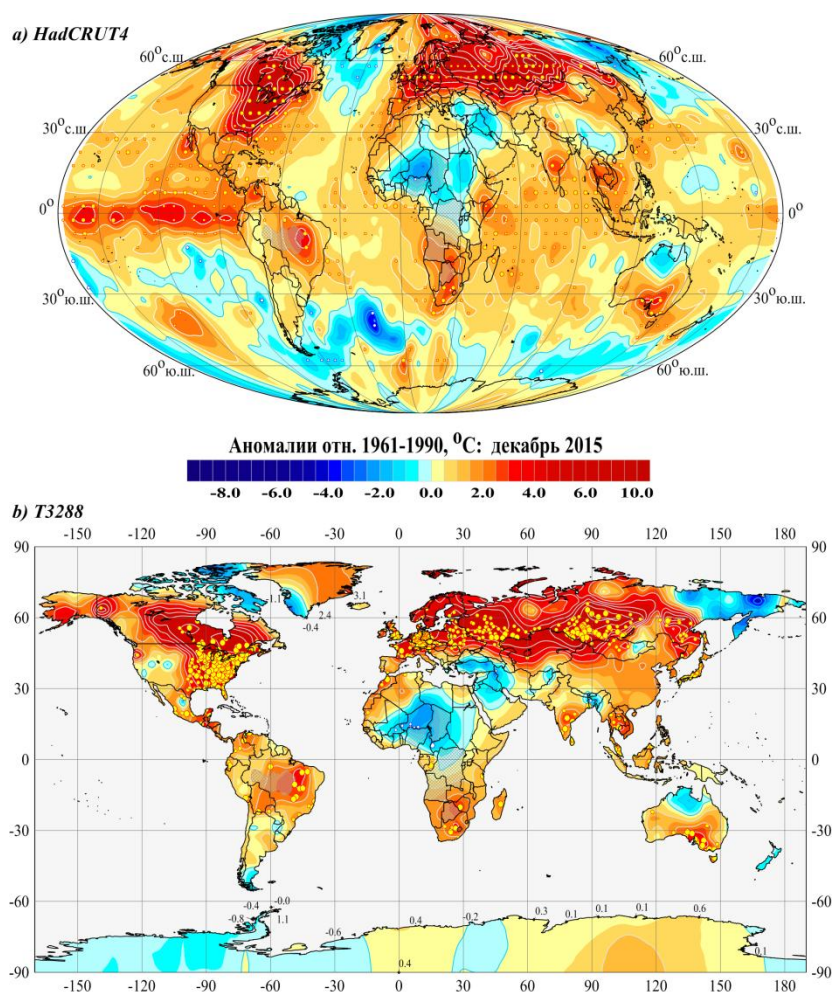


Рисунок 2.4 – См. рис. 2.2, но для аномалий среднемесячной температуры на территории Земного шара в декабре 2015 г.

В то же время на юге Южной Америки и в близлежащих районах Антарктиды сформировалась обширная область отрицательных аномалий, попавших в 5%-х самых низких осенних температур. Вторая достаточно обширная область отрицательных аномалий (но слабых по интенсивности) сформировалась на юге Сибири. Незначительные отрицательные аномалии отмечены в отдельных районах на юге Евразии и на севере Австралии.

Самым теплым (по величине аномалии) месяцем в среднем по всей территории Земного шара оказался октябрь (0.81°C), по территории суши – ноябрь ($1.23\text{--}1.27^{\circ}\text{C}$). Самые высокие значения суточных экстремумов температуры отмечались в сентябре (42.7°C , Венесуэлла) и в ноябре (40.7°C , Австралия). На некоторых станциях Индии, Омана, Бразилии, Гавайи рекорды суточных экстремумов обновлялись в каждом из трех осенних месяцев 2015 г. подряд.

В декабре 2015 г. (рис. 2.4) большая часть территории земного шара охвачена положительными аномалиями температуры с рекордными значениями на территории Европы, в южных районах Сибири, на востоке Северной Америки. В экваториальной зоне Тихого океана в западном полушарии ярко выделяется полоса крупных положительных аномалий в зоне Эль-Ниньо.

Отрицательные аномалии отмечались в северо-западных районах Северной Атлантики, на северо-востоке России и в западных районах Тихого океана, в центральных районах Африки и на восточном побережье Средиземного моря, в западных районах Антарктиды и в Антарктических морях.

Из региональных характеристик рекордно высокими были значения аномалий температуры тропиков (25 ю.ш.-25 с.ш.) и умеренных широт СП (25-65 с.ш.), в т.ч. каждого из океанических регионов - Северная Атлантика (15-70 с.ш.) и Тихий океан (20-65 с.ш.).

3. КРУПНОМАСШТАБНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ЗЕМНОГО ШАРА ЗА ПЕРИОД ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ, 1850-2015 гг.

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

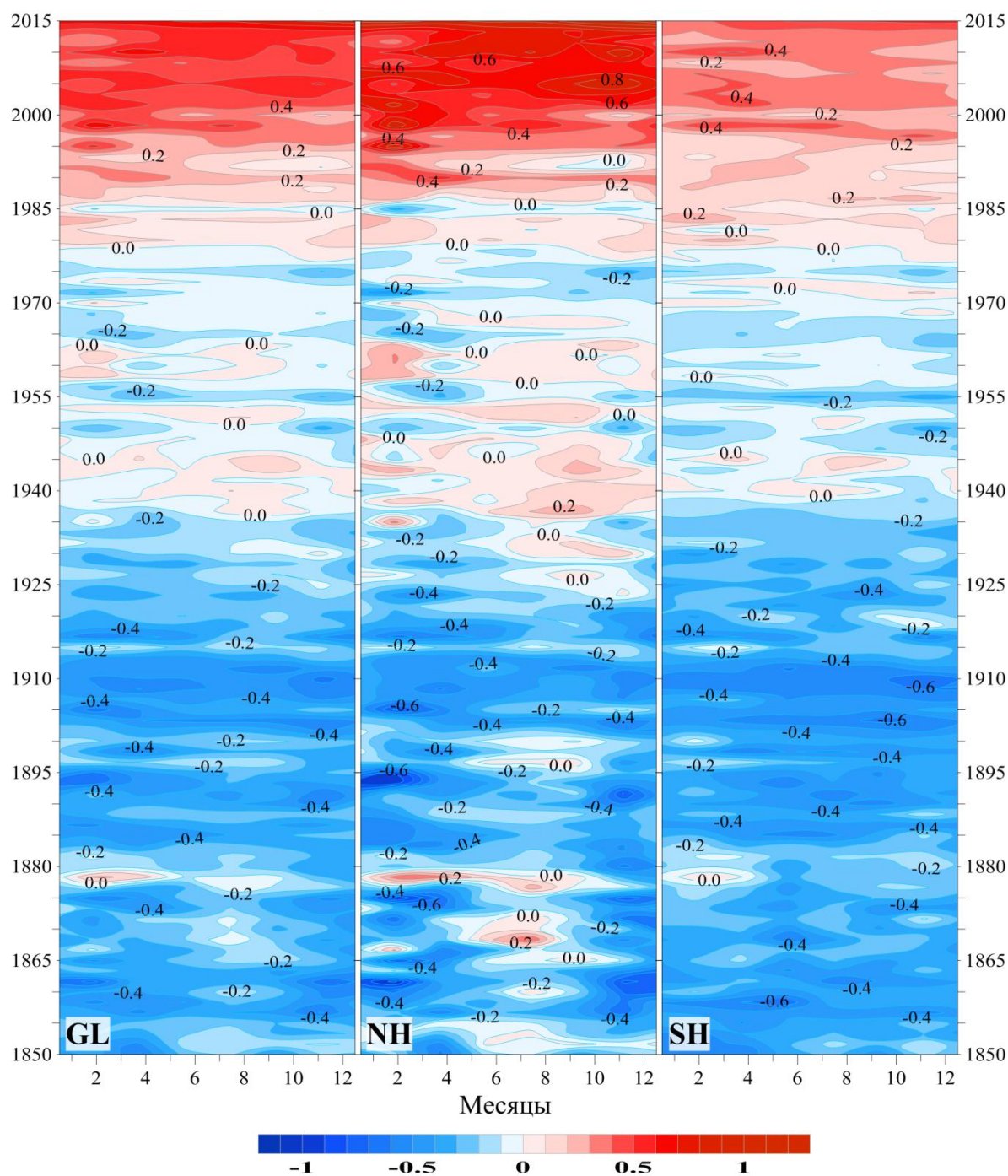


Рисунок 3.1 – Изменение средней месячной приповерхностной температуры, осредненной по территории Земного шара (GL), Северного (NH) и Южного (SH) полушарий в течение периода с января 1850 по декабрь 2015 гг. (по данным HadCRUT4, Met Office UK).

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°C . Потепление 1940-х гг. больше выражено в Северном полушарии в летне-осенний период года. Современное потепление также более интенсивно в Северном полушарии, причем его сезонные особенности, по-видимому, меняются в последние годы (после 2010 г.): потепление зимнего сезона стало менее активным, а весенне-летнего, напротив, усилилось. Текущий год продолжает тенденцию к потеплению, в среднем на уровне 2014 г. В Южном полушарии эта тенденция, по-видимому, несколько усилилась.

На рис. 3.2 для каждого полушария и в целом для Земного шара ход температуры, рассчитанный по объединенным данным (синие кривые), сравнивается с ходом по данным только над сушей (черные кривые). Все ряды построены по опубликованным данным Hadley/CRU (HadCRUT4 и CRUTEM4, соответственно), чтобы исключить влияние возможных различий в методике осреднения. Численные оценки трендов рассматриваемых рядов приведены в таблице 3.1 для двух периодов: 1976-2015 гг. (современное потепление) и 1916-2015 гг. (последние 100 лет).

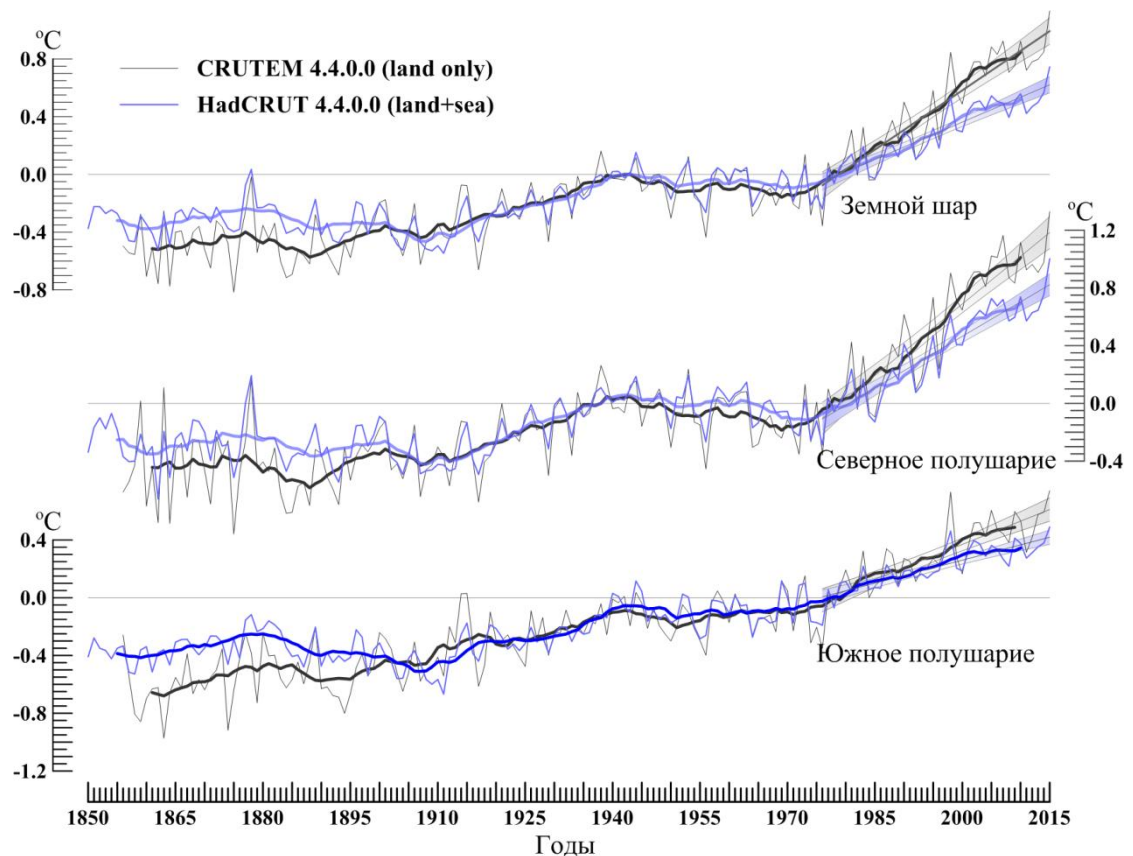


Рисунок 3.2 – Изменение пространственно осредненных среднегодовых аномалий приземной температуры для Земного шара, Северного и Южного полушарий по объединенным данным над сушей и океанами (синие кривые) и по данным только над сушей (черные кривые).

Использованы глобальные временные ряды Met Office UK (HadCRUT4, CRUTEM4). Аномалии выражены в отклонениях от средних за 1961–1990 гг. Дополнительно показаны: ход 11-летних скользящих средних, линейный тренд за 1976-2015 гг. и его 95% доверительный интервал.

Таблица 3.1 – Коэффициенты линейного тренда ($^{\circ}\text{C}/10 \text{ лет}$) глобальных временных рядов приземной температуры за 1976-2015 гг. и 1916-2015 гг. для Земного шара, Северного и Южного и полушарий, в среднем за год и по сезонам

Регион	1976-2015					1916-2015				
	год	зима	весна	лето	осень	Год	зима	весна	лето	осень
HadCRUT4 (суша+море)										
Земной шар	0.172	0.149	0.174	0.182	0.184	0.077	0.079	0.083	0.074	0.071
Северное полушарие	0.239	0.206	0.236	0.249	0.259	0.084	0.089	0.094	0.078	0.074
Южное полушарие	0.106	0.092	0.111	0.115	0.109	0.070	0.069	0.073	0.070	0.069
T3288-ИГКЭ (суша)										
Земной шар	0.280	0.248	0.281	0.268	0.31	0.114	0.126	0.135	0.093	0.094
Северное полушарие	0.335	0.297	0.357	0.314	0.357	0.126	0.144	0.156	0.098	0.097
Южное полушарие	0.149	0.133	0.106	0.162	0.202	0.087	0.085	0.084	0.086	0.092
CRUTEM4 (суша)										
Земной шар	0.274	0.244	0.271	0.267	0.306	0.109	0.119	0.126	0.094	0.093
Северное полушарие	0.330	0.296	0.347	0.314	0.353	0.120	0.138	0.147	0.096	0.094
Южное полушарие	0.161	0.139	0.119	0.173	0.213	0.087	0.082	0.084	0.091	0.092

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

Тренд (средняя скорость) потепления в течение 1976-2015 гг. в целом для Земного шара, Северного и Южного полушарий составил 0.280, 0.335, 0.149 $^{\circ}\text{C}/10 \text{ лет}$ над сушей (данные T3288) и только 0.172, 0.239, 0.106 $^{\circ}\text{C}/10 \text{ лет}$ над всей территорией (данные HadCRUT4). Современное потепление, таким образом, над сушей более значительно, чем интегрально (суша+море), и в Северном полушарии более значительно, чем в Южном. Межсезонные различия между оценками в целом незначительны. Наиболее выражен тренд в Северном полушарии, осенью. Соотношение оценок в зависимости от данных («суша» или «суша+море»), полушария (Северное или Южное) и периода (1976-2015 или 1916-2015) для большей наглядности приведено в табл. 3.2 (b – коэффициенты линейного тренда из табл. 3.1).

Таблица 3.2 – Соотношение оценок трендов средних годовых и сезонных аномалий глобальной температуры в зависимости от данных (T3288/HadCRUT), полушария (СП/ЮП) и периода (1976-2015/1916-2015)

Показатель/Регион	Год	Зима	Весна	Лето	Осень	Год	Зима	Весна	Лето	Осень
$b_{T3288}/b_{\text{HadCRUT}}$	1976-2015					1916-2015				
Земной шар	1.63	1.66	1.61	1.47	1.68	1.48	1.59	1.63	1.26	1.32
Северное полушарие	1.40	1.44	1.51	1.26	1.38	1.50	1.62	1.66	1.26	1.31
Южное полушарие	1.41	1.45	0.95	1.41	1.85	1.24	1.23	1.15	1.23	1.33
$b_{\text{СП}}/b_{\text{ЮП}}$	1976-2015					1916-2015				
HadCRUT (суша+море)	2.25	2.24	2.13	2.17	2.38	1.20	1.29	1.29	1.11	1.07
T3288 (суша)	2.25	2.23	3.37	1.94	1.77	1.45	1.69	1.86	1.14	1.05
b_{7615}/b_{1615}	СП					ЮП				
HadCRUT (суша+море)	2.85	2.31	2.51	3.19	3.50	1.51	1.33	1.52	1.64	1.58
T3288 (суша)	2.66	2.06	2.29	3.20	3.68	1.71	1.56	1.26	1.88	2.20

Коэффициент $k_1 = b_{T3288}/b_{HadCRUT}$ (первая строка табл. 3.2) сравнивает оценки глобальных трендов (то есть скорость потепления приземного климата) только над сушей и над той же территорией, но с учетом океанов. Тот факт, что все значения k_1 в таблице больше 1, означает, что во всех рассматриваемых случаях средняя скорость потепления материковой части региона (суши) больше, чем всего региона в целом (суша+океан), и, следовательно, суша теплеет быстрее океана. Значение $k_1=1$ означало бы, что тренды для территории суши и океанов одинаковы. С помощью простых арифметических выкладок можно показать, что при $k_1=1.5$ суша должна теплеть почти в 2 раза быстрее океана, а при $k_1=2$ – в 4 раза (оценки приведены с учетом реального соотношения площадей суши и океанов).

Судя по реальным оценкам в табл. 3.2 для периода 1976-2015 гг., показатель k_1 варьирует в интервале 1.3–1.6 и, следовательно, скорость современного приземного потепления над сушей Земного шара, в среднем, в 1.5-2 раза выше таковой на поверхности океанов. Однако налицо значительные сезонные особенности, касающиеся, в основном, Южного полушария. Здесь скорость потепления осенних сезонов над сушей почти в 3.5 раза превышает таковую над океанами ($k_1=1.91$), тогда как весной разрыв между ними практически отсутствует ($k_1=0.96$). Таким образом, в целом, вклад континентов (суши) в современное потепление существенно выше, чем океанов.

С другой стороны, оценки $k_2 = b_{СП}/b_{ЮП}$ (вторая строка табл. 3.2) показывают, что в последние 40 лет Северное полушарие теплеет, в среднем, вдвое быстрее, чем Южное – оценки варьируют на уровне $k_2=2$. Но и здесь выделяются сезоны весны и осени для суши: разрыв между вкладом Северного и Южного полушарий весной усиливается, а осенью сглаживается ($k_2 = 3.34, 1.72$ при среднем 2.25).

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 1916-2015 гг., современное глобальное (Земной шар, полушария) потепление у поверхности земли ускорилось в среднем в 2.5–3.5 раза в северном полушарии и в 1.5-2.5 раза в южном (см. k_3 в третьей строке табл. 3.2). Картина глобальных 100-летних трендов существенно более однородная: разрыв между потеплением с учетом и без учета океанов (k_1) заметно меньше, а разрыв между вкладом северного и южного полушарий (k_2) практически отсутствует.

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). Дополнительно, более детально, показан период с января 2010 г. по декабрь 2015 г. (с шагом месяц). 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, но глобальным стало (и остается до сих пор) лишь к 1990-м. С середины 2010 г. потепление в Южном полушарии стало ослабевать, но в последние годы вновь наметилась тенденция к некоторому его усилению (особенно в зимние месяцы). Во внетропических

широтах северного полушария наблюдаются эпизоды чередующихся холодных и теплых периодов, снижающие интегральную оценку годовых трендов. Судя по рис. 3.4, наибольший вклад в изменение температурного режима умеренных широт СП принадлежит континентам. Примерно с 2010 г. в восточном регионе России скорость потепления уменьшалась (за счет экстремально холодных зимних сезонов). Данные 2015 г. четко указывают на продолжающееся потепление, по крайней мере, в экваториальных широтах и умеренных широтах Северного полушария (особенно над сушей).

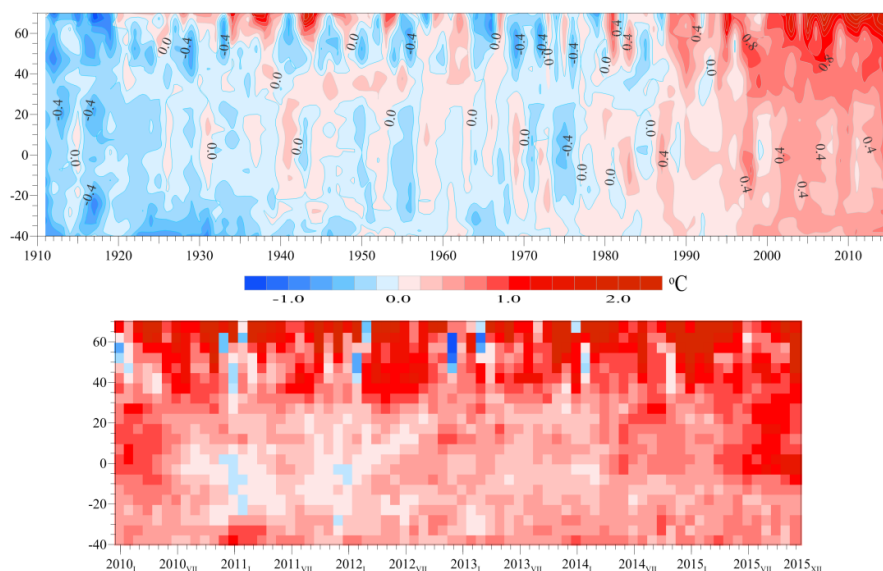


Рисунок 3.3 – Изменение с широтой (ось Y) и во времени (ось X) среднеширотных аномалий среднегодовой (вверху, 1911-2014) и среднемесячной (внизу, 2010_I-2015_{XII}) температуры у поверхности Земли. Расчет выполнен по данным Met Office UK (HadCRUT4, суша+море).

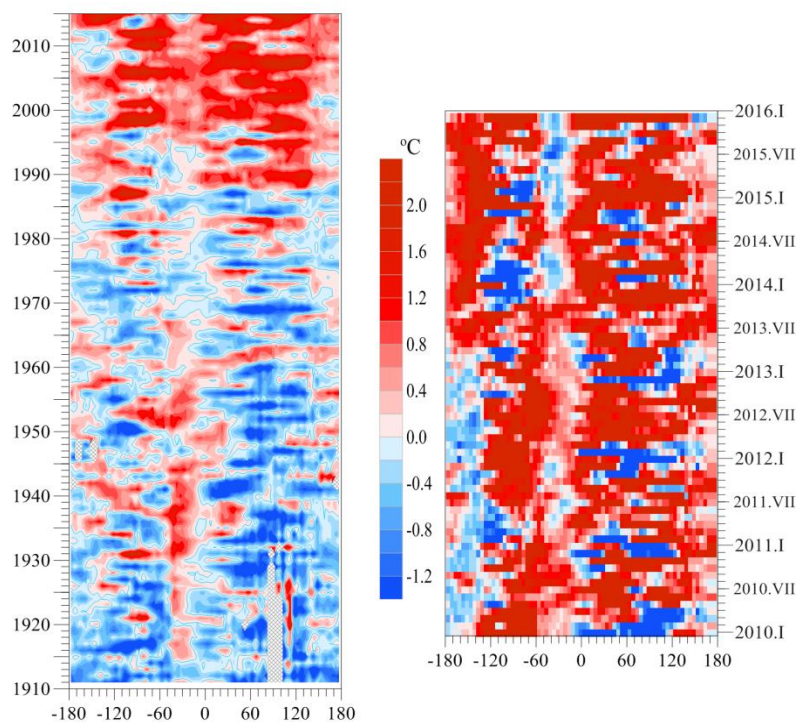


Рисунок 3.4 – Изменение с долготой (ось X) и во времени (ось Y) аномалий среднегодовой (слева, 1850-2015 гг.) и среднемесячной (справа, 2010_I-2015_{XII}) приповерхностной температуры, осредненных вдоль каждого меридиана в широтном поясе 40-60 с.ш. Расчет выполнен по данным Met Office UK (HadCRUT4, суша+море).

4. ВРЕМЕННЫЕ РЯДЫ ПРОСТРАНСТВЕННО ОСРЕДНЕННЫХ АНОМАЛИЙ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ, 1911-2015 гг.

Рассматриваются временные ряды аномалий температуры, пространственно осредненных по территории введенных выше крупных регионов земного шара. На рис. 4.1 приведены временные ряды среднегодовых аномалий температуры для всех рассматриваемых крупных регионов: 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 и на рис. 4.3 для океанов и широтных поясов.

Расчет временных рядов выполнен по методике ИГКЭ в применении к станционным данным T3288 для континентов (только суша) и к объединенным данным HadCRUT4 для океанов и широтных поясов (суша+море). Как указывалось выше, период до 1911 г. исключен из рассмотрения, т.к. данные этого периода (особенно над океанами) представляются недостаточно полными и надежными. На всех временных рядах показан тренд за период 1976-2015 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.

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 (1976-2015 гг.): b – коэффициент тренда ($^{\circ}\text{C}/10$ лет); $D\%$ – вклад тренда в дисперсию ряда

Регион	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	b	$D\%$	b	$D\%$	b	$D\%$	b	$D\%$	b	$D\%$
HadCRUT4 (суша+море)										
Атлантика (15-70N)	0.208	77	0.201	75	0.175	69	0.217	60	0.246	74
Тихий океан (40-60° с.ш.)	0.169	67	0.129	67	0.136	56	0.218	56	0.189	62
65-90° с.ш.	0.548	72	0.501	36	0.626	55	0.434	70	0.583	62
25-65° с.ш.	0.282	80	0.225	36	0.278	70	0.308	81	0.313	66
25° ю.ш.-25° с.ш.	0.141	61	0.135	36	0.138	46	0.146	59	0.147	54
65-25° ю.ш.	0.134	82	0.087	51	0.136	71	0.130	70	0.121	78
90-65° ю.ш.	0.057	2	-0.030	1	-0.052	1	0.093	1	0.280	23
IGCE-T3288 (суша)										
Северная Америка	0.276	34	0.364	16	0.127	5	0.259	43	0.334	33
Евразия	0.391	72	0.267	14	0.505	63	0.376	76	0.397	50
Южная Америка	0.186	56	0.164	45	0.123	20	0.189	33	0.241	62
Африка	0.307	73	0.265	36	0.338	62	0.305	68	0.302	58
Австралия	0.168	24	0.100	6	0.073	2	0.169	15	0.325	32
Антарктида	0.034	1	-0.027	1	-0.071	1	0.064	1	0.301	21

Примечание. Черным жирным шрифтом выделены оценки, статистически значимые на 1%-м уровне (в т.ч. жирным курсивом – значимые только на 5%-уровне); цветным шрифтом показаны значения с уровнем значимости $\alpha > 10\%$. В этих случаях тренд статистически незначим даже на 10%-уровне, как положительный (красный шрифт), так и отрицательный (синий шрифт).

Можно видеть, что 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. Более того, во всех регионах, кроме Антарктики, оценки статистически значимы на 1%-м уровне. Наиболее существенный тренд (вклад в дисперсию более 80%) отмечается в умеренных широтах северного и южного полушарий, а также в Северной Атлантике и в арктическом поясе, где 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 и убедительное большинство из них статистически значимы на 1%-м уровне. Для осеннего сезона статистически значимая тенденция к потеплению подтверждается оценками для всех регионов без исключения.

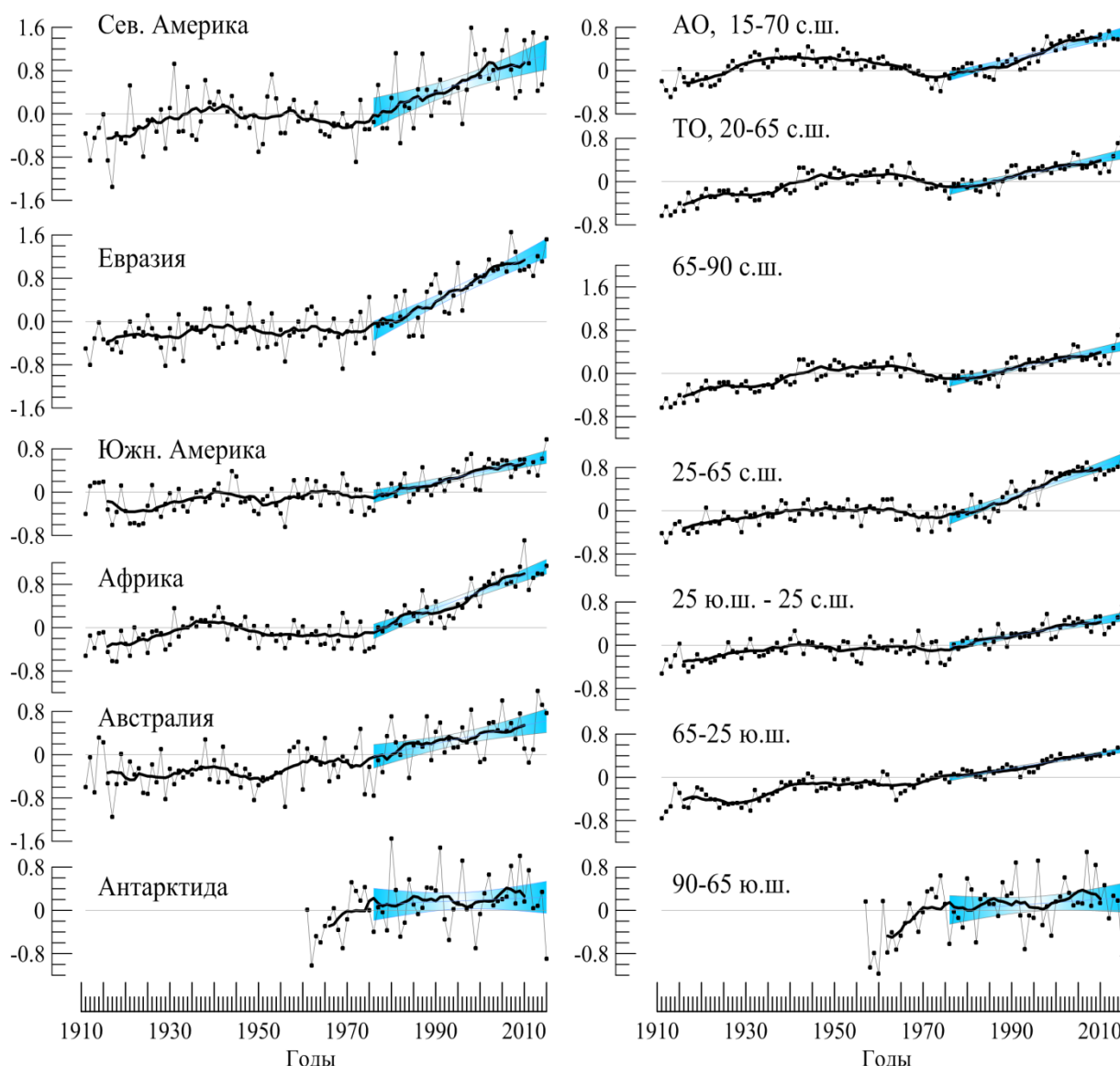


Рисунок 4.1 – Временные ряды пространственно осредненных среднегодовых аномалий приземной температуры для континентов (слева), северных частей Атлантического и Тихого океанов (справа сверху) и основных широтных поясов земного шара (справа внизу).

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 1976-2015 гг. с 95% -м доверительным интервалом (голубая заливка).

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

	Месяцы, 1976-2015 гг.											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
HadCRUT4 (суша+море)												
АО, 15-70с.ш.	0.21	0.18	0.17	0.18	0.18	0.19	0.21	0.26	0.24	0.27	0.22	0.22
ТО, 40-60с.ш.	0.12	0.13	0.11	0.13	0.17	0.19	0.23	0.24	0.20	0.19	0.18	0.15
65-90 с.ш.	0.33	0.49	0.64	0.73	0.52	0.50	0.42	0.40	0.39	0.70	0.69	0.72
25-65 с.ш.	0.25	0.23	0.30	0.27	0.27	0.28	0.30	0.34	0.30	0.33	0.30	0.24
25ю.ш.-25 с.ш.	0.12	0.14	0.13	0.15	0.14	0.15	0.14	0.15	0.15	0.15	0.15	0.14
65-25 ю.ш.	0.09	0.09	0.11	0.14	0.13	0.15	0.12	0.12	0.11	0.14	0.11	0.07
90-65 ю.ш.	-0.05	-0.05	-0.04	-0.19	0.03	0.09	-0.02	0.22	0.39	0.27	0.17	-0.04
IGCE-T3288 (суша)												
Сев. Америка	0.49	0.16	0.12	0.12	0.14	0.27	0.23	0.27	0.34	0.33	0.33	0.51
Евразия	0.25	0.37	0.60	0.49	0.43	0.39	0.35	0.39	0.32	0.46	0.43	0.24
Южн. Америка	0.18	0.14	0.13	0.16	0.07	0.26	0.11	0.19	0.31	0.21	0.21	0.18
Африка	0.22	0.28	0.34	0.31	0.34	0.33	0.33	0.25	0.24	0.34	0.33	0.26
Австралия	0.22	0.05	0.05	0.13	0.03	0.14	0.23	0.13	0.36	0.39	0.23	0.03
Антарктида	0.05	-0.06	0.12	-0.33	0.00	-0.09	0.01	0.30	0.38	0.26	0.17	-0.09

Примечание. См в табл. 4.1. Обычный черный шрифт соответствует уровню значимости $5\% < \alpha \leq 10\%$ (тренд статистически незначим на 5%-уровне, но значим на 10%-м).

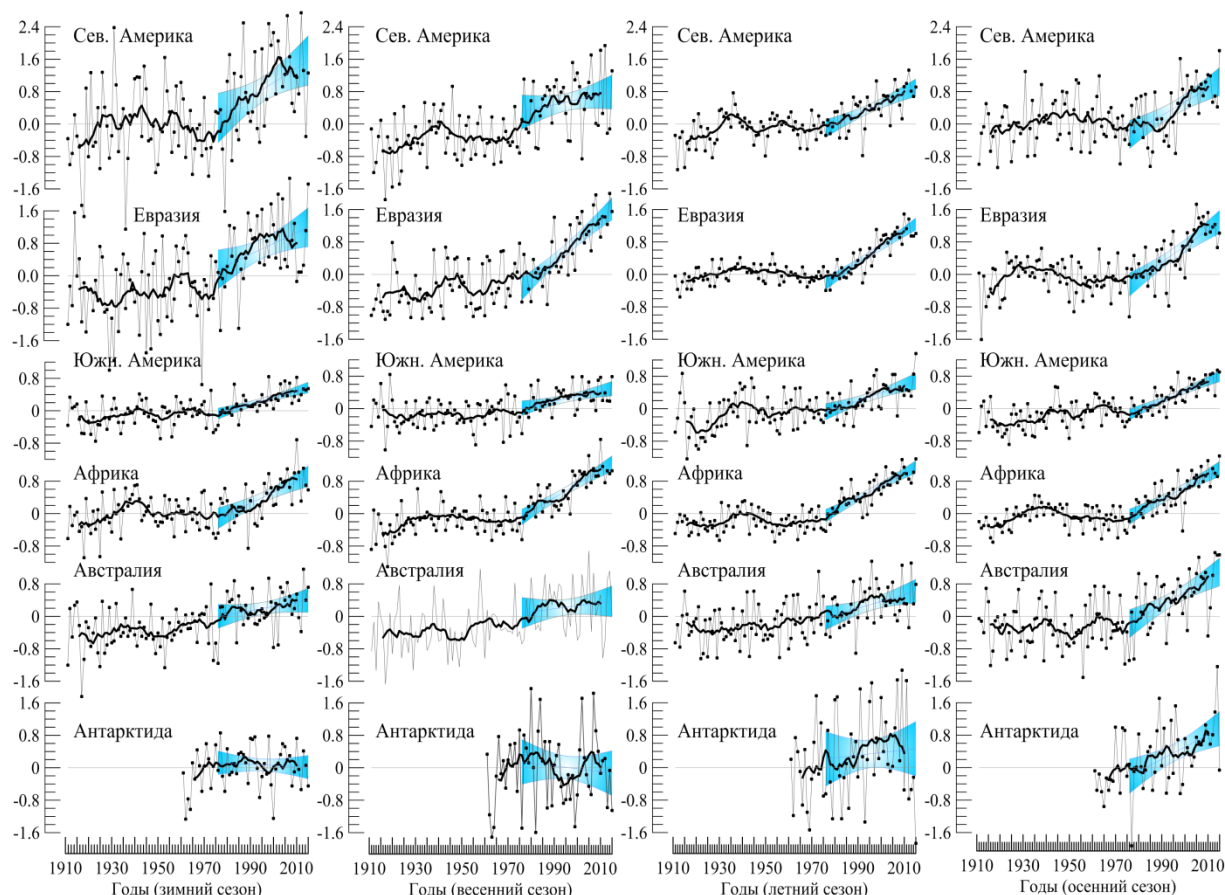


Рисунок 4.2 – См. рис. 4.1, но для сезонных аномалий 2015 г. и только для континентов. Расчеты выполнены по методике и данным ИГКЭ (использованы станционные данные T3288)

Следует отметить, что даже в оценках месячных трендов (табл. 4.2) отрицательных значений коэффициентов тренда не было обнаружено ни в одном из месяцев и ни в одном регионе, кроме южной полярной области (ЮПО). При этом в ЮПО, в целом по широтному поясу 90-65 гр. ю.ш. и по территории Антарктиды, тренд статистически незначим. По-видимому, следует обратить внимание также и на случаи статистически незначимого положительного тренда, в основном на континентах. В южном полушарии – это Австралия и, в отдельные месяцы Южная Америка, а в Северном полушарии – Евразия и Северная Америка в зимне-весенний период года (табл. 4.2). Эти особенности хорошо согласуются с рассмотренными выше распределениями аномалий.

Наиболее значительный тренд (табл. 4.1, 4.2) отмечается весной и осенью, в Арктическом поясе и Евразии – в отдельные месяцы до 0.6-0.7 °C/10 лет. Во внетропической зоне Северного полушария (Тихий океан в течение всего года, Евразия – весной и летом) и в Атлантике и южных умеренных широтах (осенью) линейный тренд объясняет более 60% изменчивости температуры. Из континентов, помимо Евразии, устойчивая тенденция к потеплению летних и осенних сезонов получена для Африки (вклад в дисперсию более 60%).

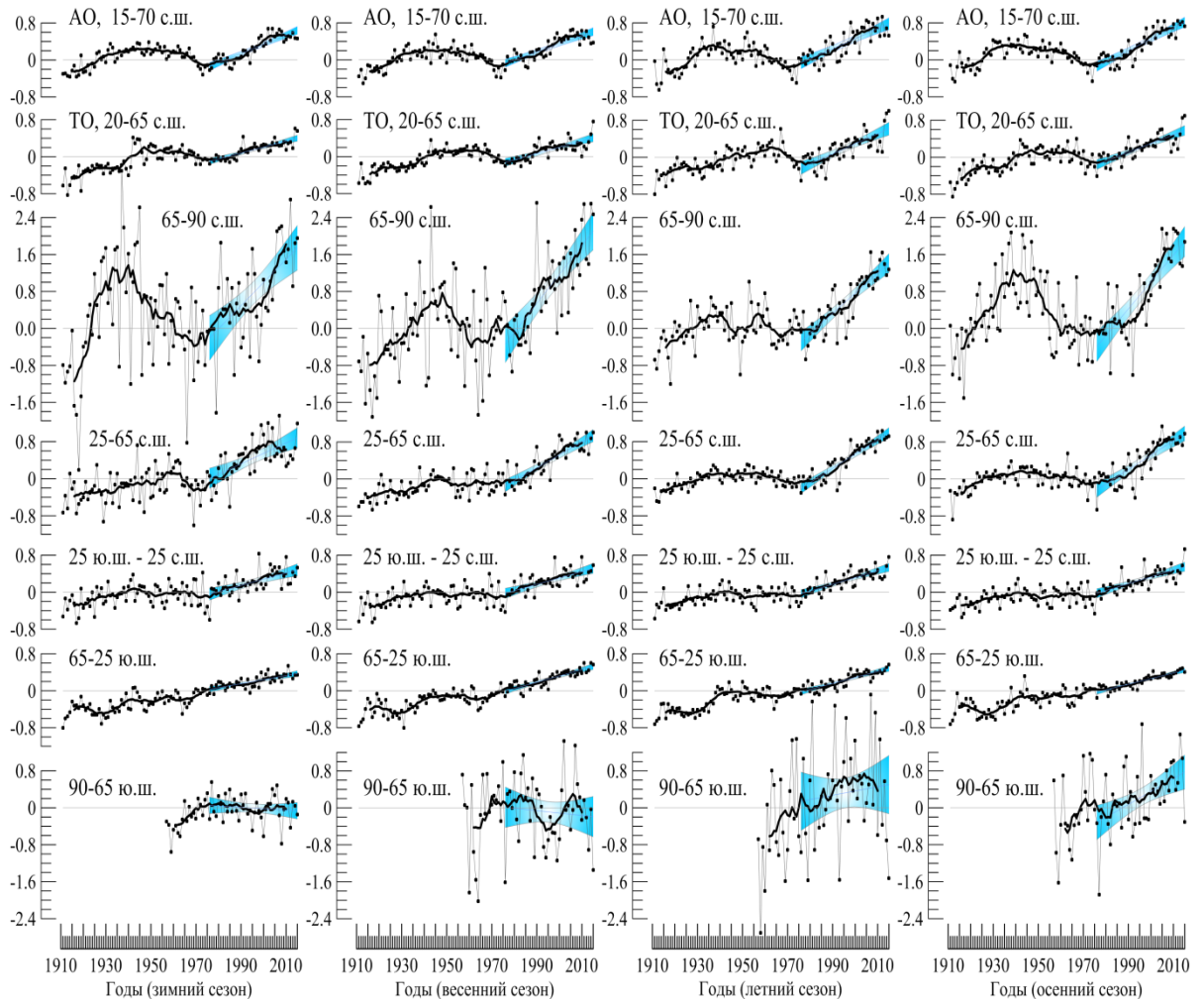


Рисунок 4.3 – См. рис.4.2, но для океанов и широтных поясов земного шара. Расчеты выполнены по методике ИГКЭ в применении к данным Hadley/CRU в центрах 5-градусных боксов.

5. ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА ЗЕМНОГО ШАРА, 1976-2015 гг.

Пространственные распределения оценок локальных трендов на территории земного шара, рассчитанные по данным о глобальных полях среднегодовых аномалий температуры за 1976-2015 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 оценок для отдельных сезонов приведены на рис. 5.2.

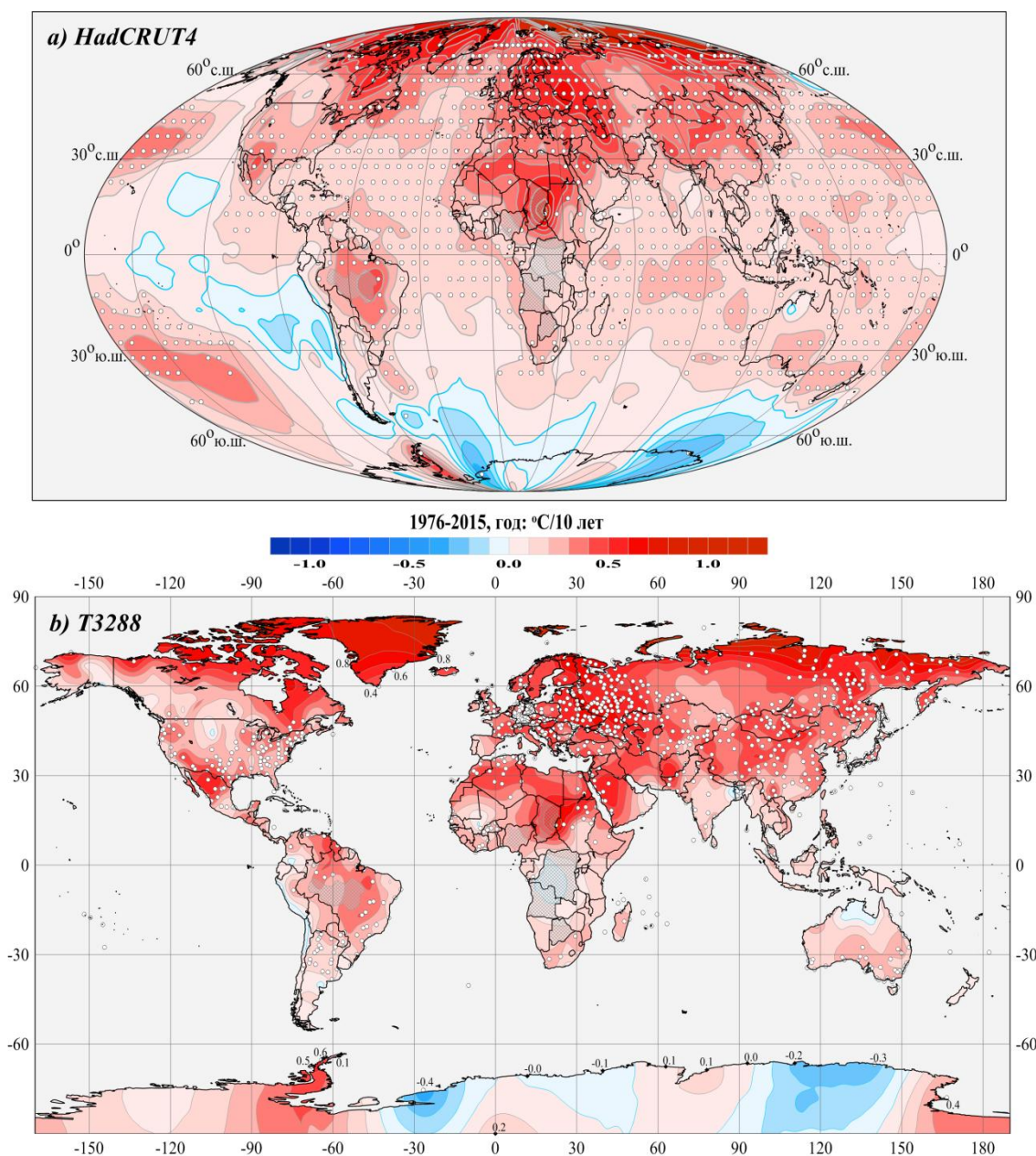


Рисунок 5.1 - Пространственное распределение коэффициентов линейного тренда среднегодовой температуры у поверхности Земного шара за период 1976-2015 гг. ($^{\circ}\text{C}/10$ лет).

Использованы данные: а) HadCRUT4, Met Office 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, на которых тренд статистически значим на 1%-м уровне.

Отметим, что в анализ трендов были включены станции/боксы, отвечающие двум условиям: не менее 30 наблюдений в течение 1976-2015 гг. и обязательное наличие данных за последний год периода оценивания, т.е. за 2015 год. Таких станций в массиве T3288 оказалось 1713 (на суше земного шара), а в массиве HadCRUT4 из 2592 боксов отвечают требованиям 1505 (на всей территории суши и океанов). Тем не менее, эти станции/боксы достаточно равномерно покрывают рассматриваемую территорию земного шара. Исключение представляют отдельные районы в Африке и Южной Америке – на рисунках 5.1, 5.2 они показаны штриховкой.

Глобальная картина трендов в изменении температурного режима последних 40 лет (1976-2015 гг.), представленная на рис. 5.1, в сравнении с 1976-2014 гг. изменилась незначительно. Напомним, что годовые локальные тренды приземной температуры за 1976-2014 гг. были положительны практически на всей территории суши Земного шара и статистически значимы на 5%-м уровне на 67% рассматриваемых станций. Эти станции расположены, в основном, в Северном полушарии – в Северной Америке (на территории США) и в Евразии (исключая Западную и Среднюю Сибирь и частично Казахстан).

По данным за 1976-2015 гг. оказалось, что *на суше земного шара* положительный тренд имеет место на 95.7% всех используемых станций (массив T3288). При этом 65.8% полученных оценок статистически значимы на 1%-м уровне и еще 13.4% – на 5% уровне, то есть всего на 5%-м уровне тренд статистически значим на 79.2% общего числа используемых станций. Соответствующая статистика *для всей территории земного шара, включая океаны* (массив HadCRUT4) практически та же: положительный тренд получен для 95.4% «боксов», статистически значимых на 1% уровне – 65.7% всех оценок, на 5%-м – 75.5%.

Наибольшая скорость потепления (более 0.6-0.8 °C/10 лет) отмечается в арктических широтах (по станционным данным – на арктическом побережье России и в Гренландии). Менее значительное по интенсивности, но статистически значимое ($\alpha = 1\%$) потепление отмечается на большой территории в Европе, Китае, в США и на востоке России, а также на севере Африки и Южной Америки, в западной части Антарктики.

От сезона к сезону картина «потепления» существенно менялась (рис. 5.2). Однако во все сезоны, по-прежнему, на большей части земного шара доминирует тенденция к потеплению.

Потепление *зимних сезонов*, в сравнении с 1976-2014 гг., несколько усилилось в Северной Атлантике, включая восточное побережье Северной Америки и Скандинавию. Область похолодания заметно сократилась в Евразии и в Тихом океане (у берегов Северной Америки), но расширилась в Антарктических морях Южного океана. В целом интенсивность всех трендов зимнего сезона, положительных и отрицательных, достаточно слабая, особенно на территории континентов. Тренд к похолоданию зим практически всюду (кроме Антарктических морей) статистически незначим даже на 15% уровне.

Потепление *весенних сезонов* в 1976-2015 гг. также сохраняется на большей части земного шара (в Евразии, Африке, в западной части Тихого океана, в Индийском и Атлантическом океанах). Однако в Северной Америке, в восточных районах Тихого океана, в Антарктиде и Антарктических морях тренд отрицательный. При этом значения коэффициентов тренда во всех областях похолодания статистически незначимы ($\alpha > 20\%$), а положительные тренды на значительных территориях статистически значимы на 1%-м уровне.

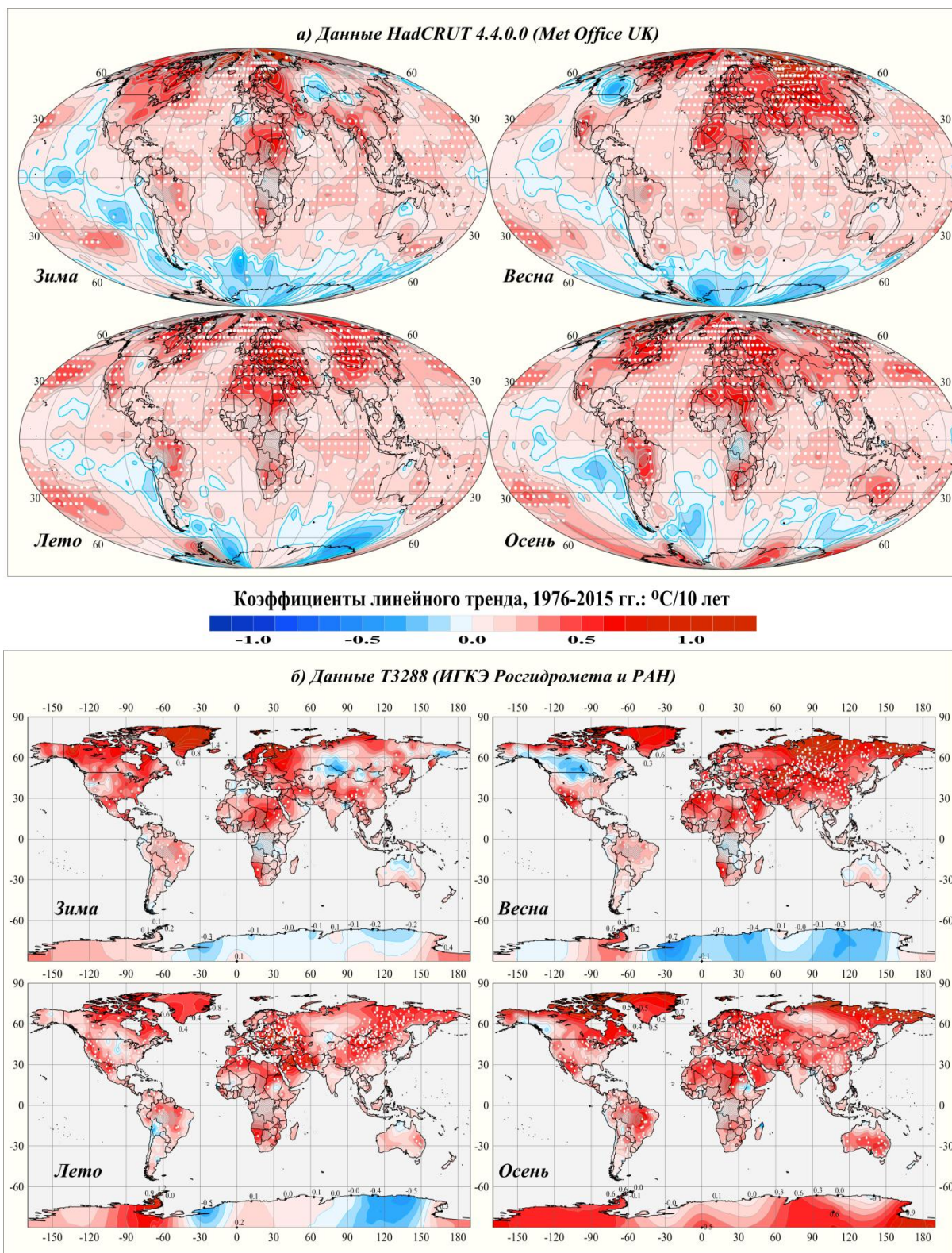


Рисунок 5.2 – См. рис. 5.1, но для сезонных аномалий приземной температуры: а) над всей территорией Земного шара, включая океаны (по данным HadCRUT4 в центрах 5-градусных боксов, Met Office UK); б) над сушей Земного шара (по станционным данным T3288, ИГКЭ Росгидромета и РАН)

Для летних сезонов 1976-2015 гг., как было уже отмечено выше, положительный тренд также статистически значим ($\alpha = 1\%$) на большей части земного шара. Наиболее высокая скорость потепления ($0.8-1.0\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$) отмечается в центральной Европе, в юго-восточных районах Евразии, на юго-востоке Австралии, в некоторых районах Северной и Южной Америки и Африки. В Сибири, Казахстане и Средней Азии, а также в Антарктиде и Антарктических морях и в Тихом океане (у западного побережья Южной Америки) тренд отрицательный. Однако, по-прежнему, тренд похолодания во всех случаях статистически незначим.

В изменении температурного режима *осенних сезонов* тенденция к потеплению последнего 40-летия проявляется еще более убедительно. Помимо обширных океанических акваторий, потепление отмечается на территории всех континентов, включая Антарктиду, и охватывает, таким образом, всю сушу земного шара. Для обширных областей в Атлантике и Индийском океане (практически вся северная акватория), в Тихом океане (в умеренных широтах Северного полушария и тропической зоне) и на всех континентах (прежде всего, в Евразии, на востоке США и Канады) получены оценки, статистически значимые на 1%-м уровне. Слабое (статистически незначимое) похолодание отмечено на востоке Тихого океана (в тропиках и вдоль побережья Южной Америки), в Антарктических морях и на западном побережье Канады.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. 2015 год стал на Земле самым теплым годом за всю историю наблюдений по всем трем наборам данных (HadCRUT4, T3288 и CRUTEM4) и для всех трех территорий (Земной шар, Северное и Южное полушария – соответственно, ЗШ, СП, ЮП), с учетом и без учета океанов. Более того, в Северном полушарии и в целом на Земном шаре каждый из 4-х сезонов 2015 г. попал в число первых двух самых теплых сезонов с 1911г. (Исключение: лето 2015 г. оказалось третьим из самых теплых летних сезонов, а год в целом, по данным T3288 для суши ЮП, – вторым после 1998 года).

2. Аномалия глобальной приповерхностной температуры (HadCRUT4, суша+море) в 2015 г. составила 0.745°C (ЗШ), что на 0.178°C выше предыдущего максимума в 2014 г.; полушарные аномалии (СП, ЮП) впервые достигли значений 1.002, 0.490°C . В среднем по территории суши (по данным T3288 для ЗШ, СП и ЮП), аномалии в 2015 г. составили 1.158, 1.346 и 0.704°C , соответственно.

Повышение глобальной температуры (Земной шар, СП, ЮП с учетом океанов) относительно доиндустриального уровня (1891-1900 гг.) достигло к 2015 г. 1.08, 1.30 и 0.87°C , причем отметка « 1°C » глобальной температурой перекрыта впервые. Для этих же территорий, но без океанов (по данным T3288 только для суши) потепление составило 1.65, 1.83, 1.24°C .

3. Основной вклад в температурный рекорд 2015 г. (по данным над сушей и океанами, с учетом площади региона) принадлежит умеренному широтному поясу СП (около 36%) и тропикам (34%). Вклад Арктического пояса составил около 23%. Соответствующие аномалии равны: 1.078, 0.731 и 1.869°C . Из регионов следует, прежде всего, выделить теплый в течение всего года Тихий океан. Здесь в северных умеренных широтах (20-65 гр. с.ш.) экстремально теплый режим сохраняется непрерывно в течение всего года, а в восточной тропической части с начала года развивается мощный Эль-Ниньо, который по некоторым оценкам, к концу года еще не достиг своего пика. На суше Земного шара основной вклад в аномалию 2015 года принадлежит Евразии (~50%), затем – Африке и Северной Америке (по ~20%).

4. Во всех регионах, кроме Антарктики, 2015 год в целом был теплее уровня 1961-1990 гг. (базовый период для оценки норм). Во многих районах аномалии достигли рекордно высоких значений, в том числе: в Северной и Южной Америке, на западе Северной Атлантики, в Европе и центральной Сибири, в восточных тропиках Тихого океана и в Индийском океане, в Индии, Малайзии и в южных районах Австралии. В Тихом океане (20-65 гр. с.ш.) в течение всего года наблюдался экстремально теплый температурный режим, который сохраняется здесь непрерывно, от месяца к месяцу, с декабря 2013 г.

Отрицательные аномалии, в среднем за год отмечены лишь в Антарктической области и в северной Атлантике (включая восточное побережье Канады).

Самый теплый сезон 2015 г. – осень, когда в обоих полушариях и в целом по Земному шару, с учетом и без учета океанов, были перекрыты прежние сезонные и, в ряде случаев, месячные «рекорды».

5. В изменении глобальной температуры (в среднем по территории Земного шара, Северного и Южного полушарий) на протяжении последнего столетия по-прежнему

наблюдается тенденция к потеплению. Средняя скорость потепления (линейный тренд среднегодовых аномалий температуры) в течение 1976-2015 гг. составила 0.280, 0.335, 0.149 °C/10 лет над сушей (данные T3288) и только 0.172, 0.239, 0.106 °C/10 лет над всей территорией (данные HadCRUT4). Таким образом, современное потепление над сушей более значительно, чем интегрально (суша+море), и в Северном полушарии более значительно, чем в Южном. Наиболее выражен тренд в Северном полушарии, осенью. 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 1916-2015 гг., современное (1976-2015 гг.) глобальное потепление у поверхности земли ускорилось в среднем в 2.5–3.5 раза в северном полушарии и в 1.5-2.5 раза в южном. При этом в 100-летних трендах разрыв между потеплением суши и океанов заметно меньше, а разрыв между вкладом северного и южного полушарий практически отсутствует.

6. По данным о среднегодовой температуре приземного воздуха (массив T3288) за 1976-2015 гг. тенденция к потеплению отмечается на 95.7% используемых станций. При этом 65.8% полученных оценок статистически значимы на 1%-м уровне (79.2% - на 5%).

Тренды среднегодовых температур, осредненных по крупным территориям (Земной шар и полушария, континенты, океаны, широтные пояса) во всех случаях положительны и всюду, кроме Антарктики, статистически значимы на 1%-м уровне. В сезонных и даже месячных оценках тренда тенденция к похолоданию также обнаружена только в Антарктике (в зимний и весенний сезоны), притом статистически незначимая.

7. В соответствии с географическим распределением локальных трендов, наибольшая скорость потепления (более 0.6-0.8°C/10 лет) отмечается в арктических широтах (по стационарным данным – на арктическом побережье России и в Гренландии). Менее значительное по интенсивности, но статистически значимое ($\alpha = 1\%$) потепление отмечается на большой территории в Европе, Китае, в США и на востоке России, а также на севере Африки и Южной Америки, в западной части Антарктики.

От сезона к сезону картина «потепления» в деталях меняется, но во все сезоны на большей части земного шара доминирует тенденция к потеплению. Потепление осенних сезонов отмечается на территории всех континентов, включая Антарктиду (в поле трендов на территории континентов нет областей похолодания) и, таким образом, охватывает всю сушу Земного шара.

Дополнительно отметим, что в южной полярной области оценки трендов статистически незначимы и указывают на отсутствие устойчивых однонаправленных тенденций в изменении температуры этого региона.

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