Экспериментальный выпуск

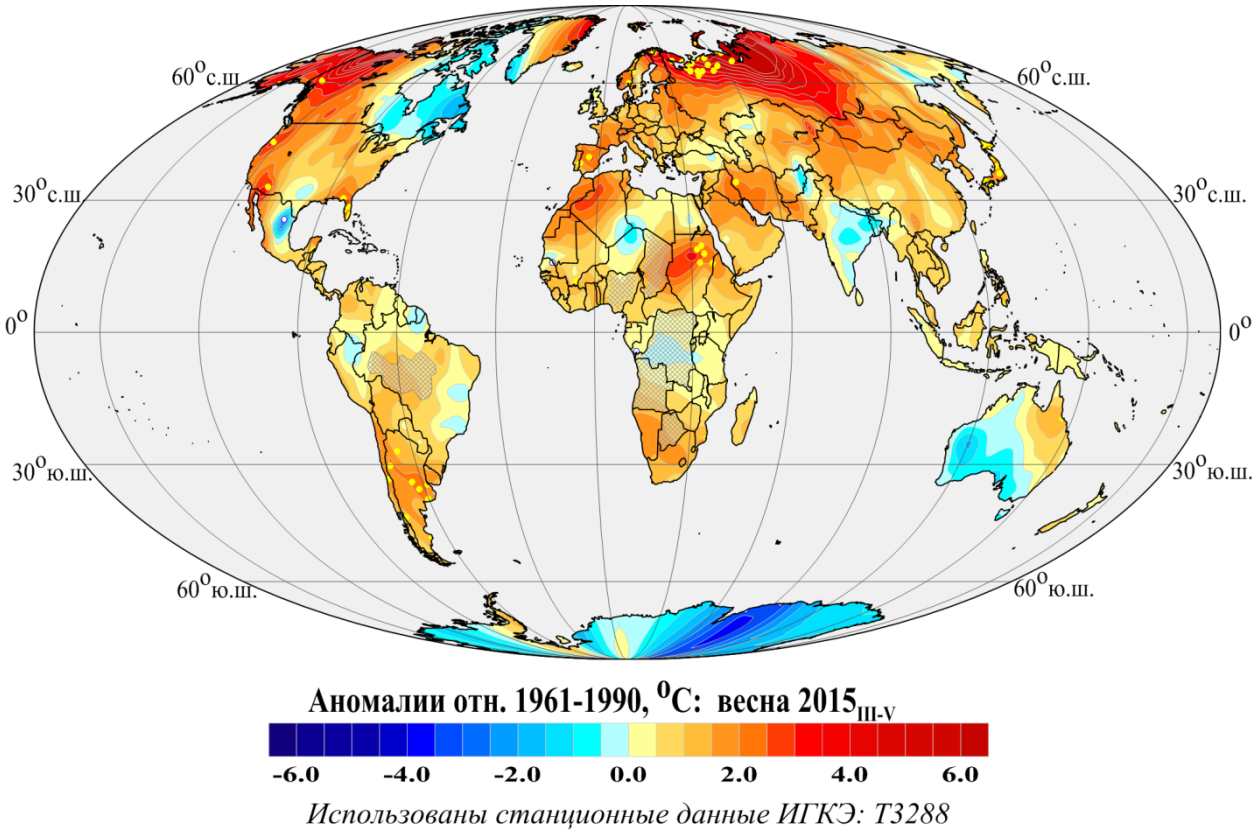
Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды

ФГБУ «Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН»

Бюллетень мониторинга изменений климата Земного шара

Приземная температура

Весна 2015



Использованы станционные данные ИГКЭ: Т3288

Москва 2015

ОГЛАВЛЕНИЕ[1,,2]

1. ВВЕДЕНИЕ …….…..

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

3. КРУПНОМАСШТАБНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ТЕРРИТОРИИ ЗЕМНОГО ШАРА ЗА ПЕРИОД ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ, 1850-2015 гг. (ВЕСЕННИЙ СЕЗОН) .....

4. ВРЕМЕННЫЕ РЯДЫ ПРОСТРАНСТВЕННО ОСРЕДНЕННЫХ АНОМАЛИЙ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ, 1911-2015 гг. (ВЕСЕННИЙ СЕЗОН) ……..……..…….…….

5. ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА ЗЕМНОГО ШАРА, 1976-2015 гг. (ВЕСЕННИЙ СЕЗОН) ……..…….…….…..

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ ……..…….…….……...

[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 сезонных аномалий температуры приземного воздуха над сушей Земного шара (весна 2015 г.).

1. ВВЕДЕНИЕ

Настоящий бюллетень продолжает серию регулярных выпусков сезонных и годовых бюллетеней мониторинга глобальной температуры у поверхности земли. Основное содержание бюллетеня составляют данные о наблюдаемых сезонных и месячных особенностях температурного режима у поверхности (аномалии и экстремумы) на территории Земного шара в истекшем сезоне и о современных тенденциях их изменения. Все оценки базируются на данных стандартных метеорологических наблюдений за средней месячной приповерхностной температурой.

Основные результаты, представленные в настоящем бюллетене, 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.). 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.

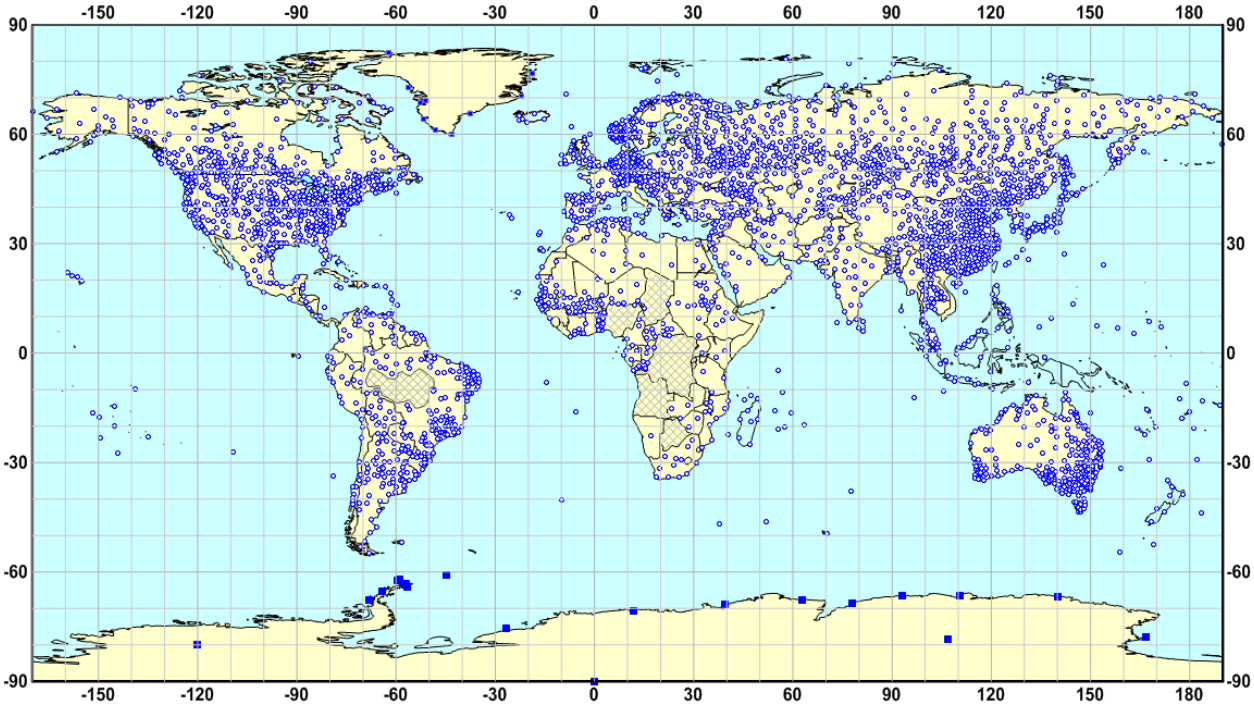


Рисунок 1.1 – Сеть станций в массиве Т3288 ИГКЭ. Заштрихованы области, не освещенные данными наблюдений. В Гренландии и Антарктиде станции расположены вдоль береговой линии плюс станция AMUNDSEN-SCOTT в центре материка (Южный полюс Земли).

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). Извлечение необходимых данных, 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 климата.

Ряд представленных ниже результатов получен с использованием набора сеточных данных HadCRUT4 (версия 4.4.0.0[3]), содержащих значения среднемесячных аномалий приповерхностной температуры на глобальной сети 5-градусных боксов (данные Метеослужбы Великобритании и Университета Восточной Англии, http://www.Met Office.gov.uk/hadobs/). Под приповерхностной температурой здесь понимаются объединенные данные аномалий температуры приземного воздуха над сушей (на высоте 2м, аналогично T3288) и аномалий температуры воды в поверхностном слое морей и океанов (8-10 м). Массив получен в Met Office UK объединением и согласованием полей CRUTEM4 (версия 4.4.0.0, над сушей) и HadSST3 (версия 3.1.1.0, 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 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 ячеечных средних с весами, пропорциональными площади пересечения бокса с территорией региона. При временном осреднении (за сезон, год) разрешено отсутствие не более одного слагаемого (также в аномалиях). Зимний сезон включает декабрь предыдущего года.

Аномалии (отклонения от среднего за 1961-1990 гг.), как правило, сопровождаются соответствующими значениями эмпирической функции распределения (вероятности непревышения). В поле аномалий выделяются ареалы осуществления *климатических экстремумов,* под которыми понимаются значения, попавшие в *p*%-е «хвосты» распределения, т.е. значения с вероятностью непревышения P<=*p*% или P>=*1-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

[3] Версия 4.4.0.0 была введена метеослужбой Великобритании в июне-августе 2015 г. и содержала обновленные данные за весь период наблюдений с января 1850 г. по июнь 2015 г. В связи с этим материалы бюллетеня предлагаются в обновленной редакции.

рассчитан методом наименьших квадратов и выражен в градусах за десятилетие (^{o}C/10 лет). В ряде случаев приводятся также оценки тренда за последние 100 лет («вековые»). Вероятности непревышения рассчитываются за период с 1911 г. (до этого срока данные над океанами в массиве HadCRUT4 представляются сомнительными).

Отметим, что в бюллетене для оценки *температурного режима над сушей* земного шара используются преимущественно методика и станционные данные ИГКЭ (массив T3288). Глобальные оценки (в среднем для Земного шара и полушарий) приводятся для сравнения по обеим методикам – ИГКЭ и Hadley/CRU.

По оценкам авторов, среднее различие между рядами среднегодовой температуры, рассчитанными по этим двум методикам, составляет для Земного шара в целом 0.003±0.023 ^{o}C (среднее ± сигма за 1901-2014), для Северного полушария 0.012±0.021 ^{o}C, для Южного полушария 0.003± 0.028 ^{o}C[4].

Сравнение временных рядов для среднегодовой температуры и для температуры зимнего сезона представлено в предыдущем выпуске бюллетеня (зима 2014/2015 гг.). Сравнение подтверждает их достаточно тесное соответствие, в определенной мере свидетельствующее о репрезентативности данных массива T3288 (включая методику их обработки) и реалистичности базирующихся на этом массиве оценок (по крайней мере, для крупных регионов).

Для весеннего сезона соответствующие временные ряды представлены ниже, на рис. 2.1, а их оценкам в табл. 2.1 соответствуют строки CRUTEM4 и IGCE.

[4] Более полный набор оценок опубликован в статье «Географические и сезонные особенности современного глобального потепления» (Груза Г.В., Ранькова Э.Я., Рочева Э.В., Смирнов В.Д. Фундаментальная и прикладная климатология, 2015, №2, с. 41-62)

2. ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ У ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ НА ТЕРРИТОРИИ ЗЕМНОГО ШАРА ВЕСНОЙ 2015 гг. ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ АНОМАЛИИ

Анализируются характеристики приземного температурного режима весной 2015 г. 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 полярным кругом). Для выбранных регионов в таблице 2.1 приведены значения пространственно осредненных аномалий температуры весной 2015 гг., и соответствующие значения эмпирической функции распределения (вероятности непревышения).

Таблица 2.1 – Пространственно-осредненные значения аномалии приземной температуры на территории Земного шара, в среднем за сезон и по месяцам.

Регион	Весна		Март		Апрель		Май	
	vT_{2015}	F%	vT_{2015}	F%	vT_{2015}	F%	vT_{2015}	F%
HadCRUT4 (суша+море)								
Земной шар*	***0.677***	***100***	0.680	99	0.657	98	****0.694***	***100***
Северное полушарие*	***0.893***	***100***	0.938	99	0.837	98	****0.905***	***100***
Южное полушарие*	0.460	97	0.419	95	0.476	98	0.484	99
Атлантика (15-70N)	0.376	82	0.296	74	0.379	83	0.463	88
Тихий океан (20-65N)	***0.763***	***100***	***0.622***	***100***	***0.795***	***100***	***0.873***	***100***
Арктический пояс (65-90N)	2.468	96	2.920	97	2.504	93	1.921	97
Умеренный пояс СП (25-65N)	1.003	99	1.167	98	0.902	97	0.943	99
Тропики (25S-25N)	0.587	98	0.502	97	0.568	98	0.666	98
Умеренный пояс ЮП (65-25S)	0.565	98	0.396	93	0.580	99	***0.646***	***100***
Антарктический пояс (90-65S)	-1.343	13	-0.202	51	-1.838	12	-2.009	16
CRUTEM4 (суша)								
Земной шар*	1.037	99	1.223	99	0.883	93	***1.005***	***100***
Северное полушарие*	***1.271***	***100***	1.513	98	1.103	92	1.198	99
Южное полушарие*	0.568	96	0.643	98	0.444	91	0.618	96
IGCE-T3288 (суша)								
Земной шар	***1.069***	***100***	1.280	98	0.908	92	0.994	99
Северное полушарие	***1.303***	***100***	1.554	98	1.138	93	1.192	99
Южное полушарие	0.510	95	0.619	97	0.381	87	0.535	93
Северная Америка	1.313	96	1.638	90	1.219	91	1.069	95
Евразия	1.549	96	2.030	96	1.260	91	1.334	95
Южная Америка	0.792	98	0.579	87	***0.948***	***100***	0.834	95
Африка	1.055	96	0.907	90	0.749	87	1.427	99
Австралия	0.014	62	0.878	93	-0.620	32	-0.234	46
Антарктида	-1.053	18	-0.190	41	-2.677	4	-0.231	56

Условные обозначения (пояснения см. в тексте):

1. *vT_{2015}, ^oC – наблюденная аномалия весной 2015 г. (относительно 1961-1990 гг.);*
2. *F% – значение функции распределения $F=prob(X\leq vT_{2015})$ по данным за 1911-2014 гг.*
3. Жирным *курсивом* выделены рекордные значения, наблюдавшиеся в 2015 г. впервые с 1911 г.

Оценки в таблице сгруппированы в три блока, в соответствии с используемым авторами для их расчета источником данных. Жирным шрифтом выделены рекордные аномалии, наблюдавшиеся в текущем году впервые. Звездочкой указаны временные ряды глобально осредненных аномалий (для Земного шара и обоих полушарий), которые используются здесь в точном соответствии с их публикацией на сайтах «http://www.Met Office.gov.uk/» и «http://www.cru.uea.ac.uk/». Остальные временные ряды рассчитаны авторами по методике ИГКЭ по данным массивов HadCRUT4, CRUTEM4 или T3288 (как указано в таблице). Аномалии во всех случаях приведены в отклонениях от среднего за 1961-1990 гг.

Сопоставление временных рядов, рассчитанных по методике и данным Hadley/CRU и ИГКЭ для весеннего сезона (рис. 2.1 и строки CRUTEM4 и IGCE-T3288 в табл. 2.1), как и для среднегодовой и зимней температуры (см. предыдущий бюллетень GCCM-2015-зима), свидетельствует о хорошем согласии полученных результатов.

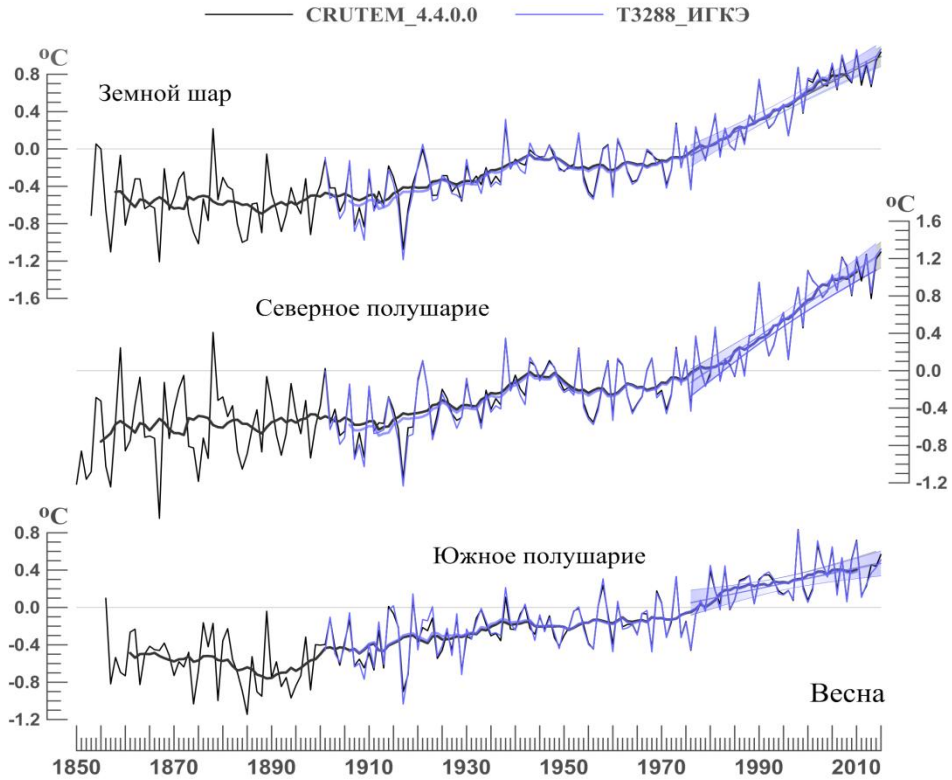
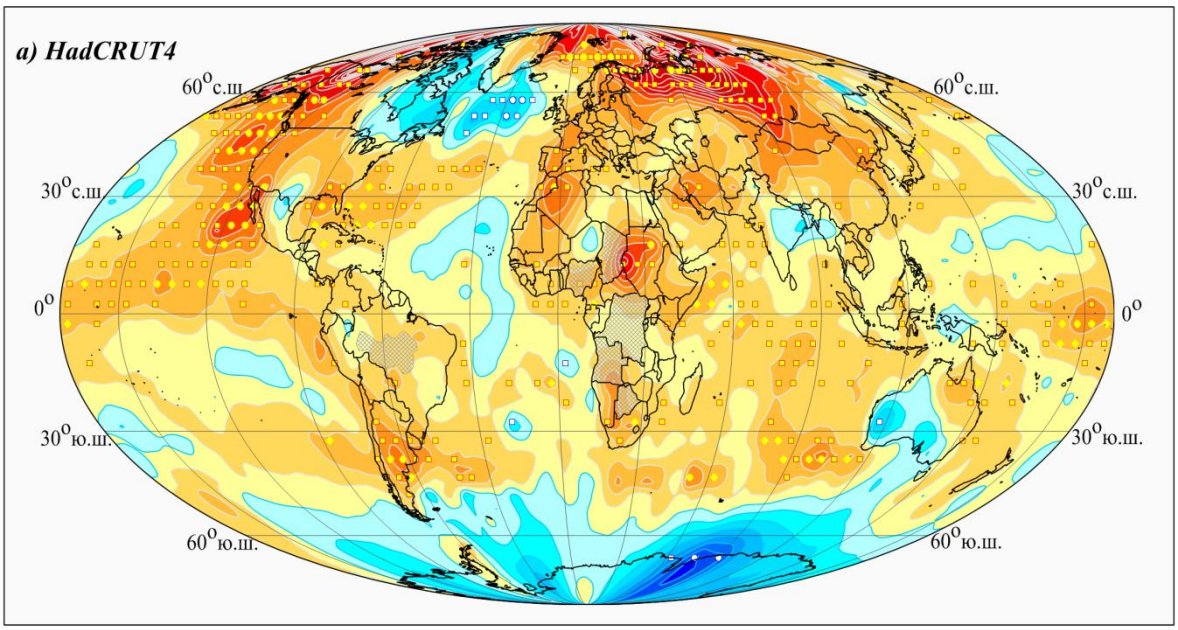


Рисунок 2.1 – Временные ряды пространственно осредненных сезонных (весна) аномалий температуры приземного воздуха (°C, 1850-2015 гг.) для Земного шара, Северного и Южного полушарий. *Использованы глобальные временные ряды CRUTEM 4.4.0.0 (Met Office UK, http://www.cru.uea.ac.uk/temperature) и станционные данные T3288 (расчет по методике и данным ИГКЭ). Показаны 11-летние скользящие средние, линейные тренды за 1976-2015 гг. и их 95%-е доверительные интервалы*

Географические особенности температурного режима весной 2015 г. на территории Земного шара представлены на рисунках 2.2 – 2.3. На рис.2.2 совмещены два поля средних сезонных аномалий температуры: вверху – над всей территорией Земного шара, континентами и океанами (по объединенным данным HadCRUT4); внизу - только над сушей (по данным станций T3288). Поля среднемесячных аномалий в каждом из трех весенних месяцев приведены на рис. 2.3 только по станционным данным ИГКЭ.



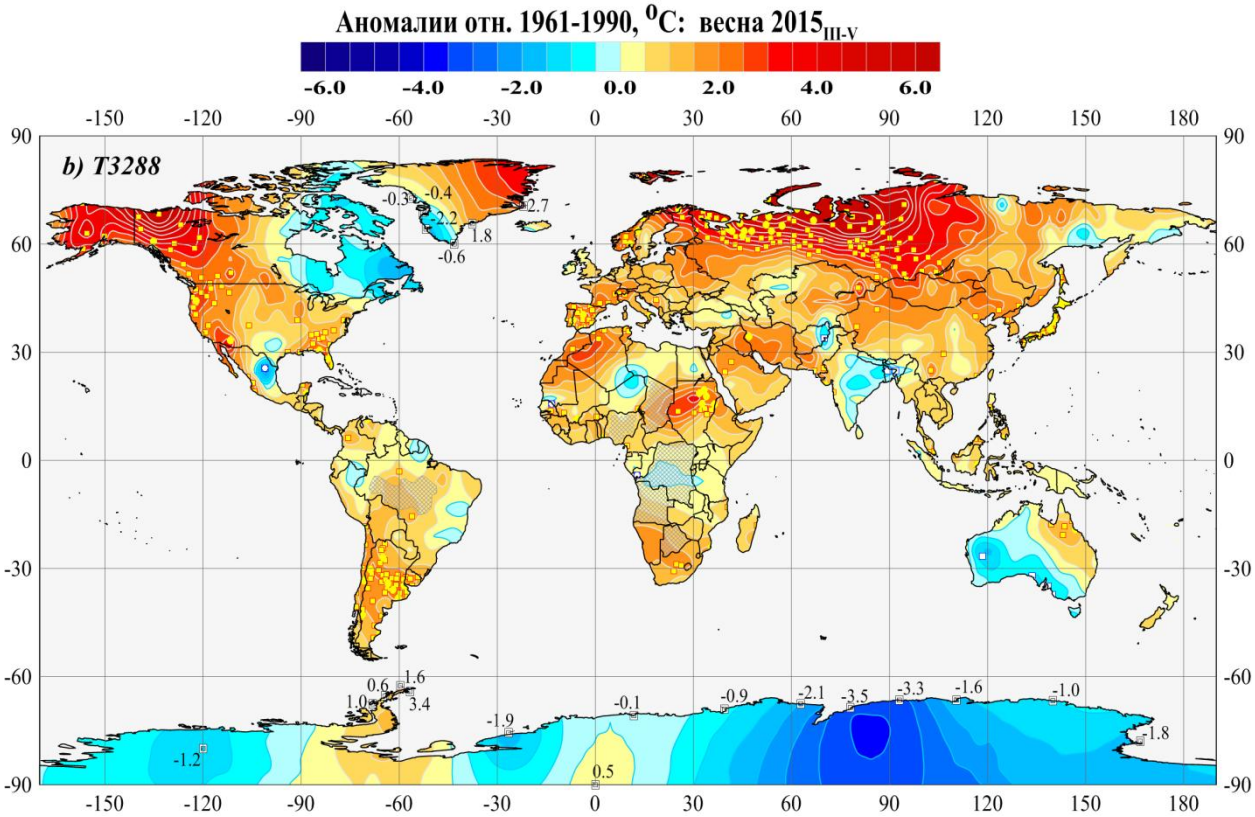


Рисунок 2.2 – Пространственное распределение аномалий приземной температуры (°С) на территории Земного шара весной 2015 г: а) по данным Met Office UK в центрах 5-гпадусных боксов (HadCRUT4, суша+море); б) по станционным данным ИГКЭ (Т3288, только суша). *Аномалии приведены в отклонениях от средних за 1961-1990 гг. Желтыми и белыми кружками двух размеров указано положение боксов/станций с 5%-ми и рекордными экстремумами (теплыми и холодными, соответственно). Для станций Антарктиды и Гренландии, учитывая отсутствие здесь внутриконтинентальных станций, дополнительно показаны числовые значения аномалий.*

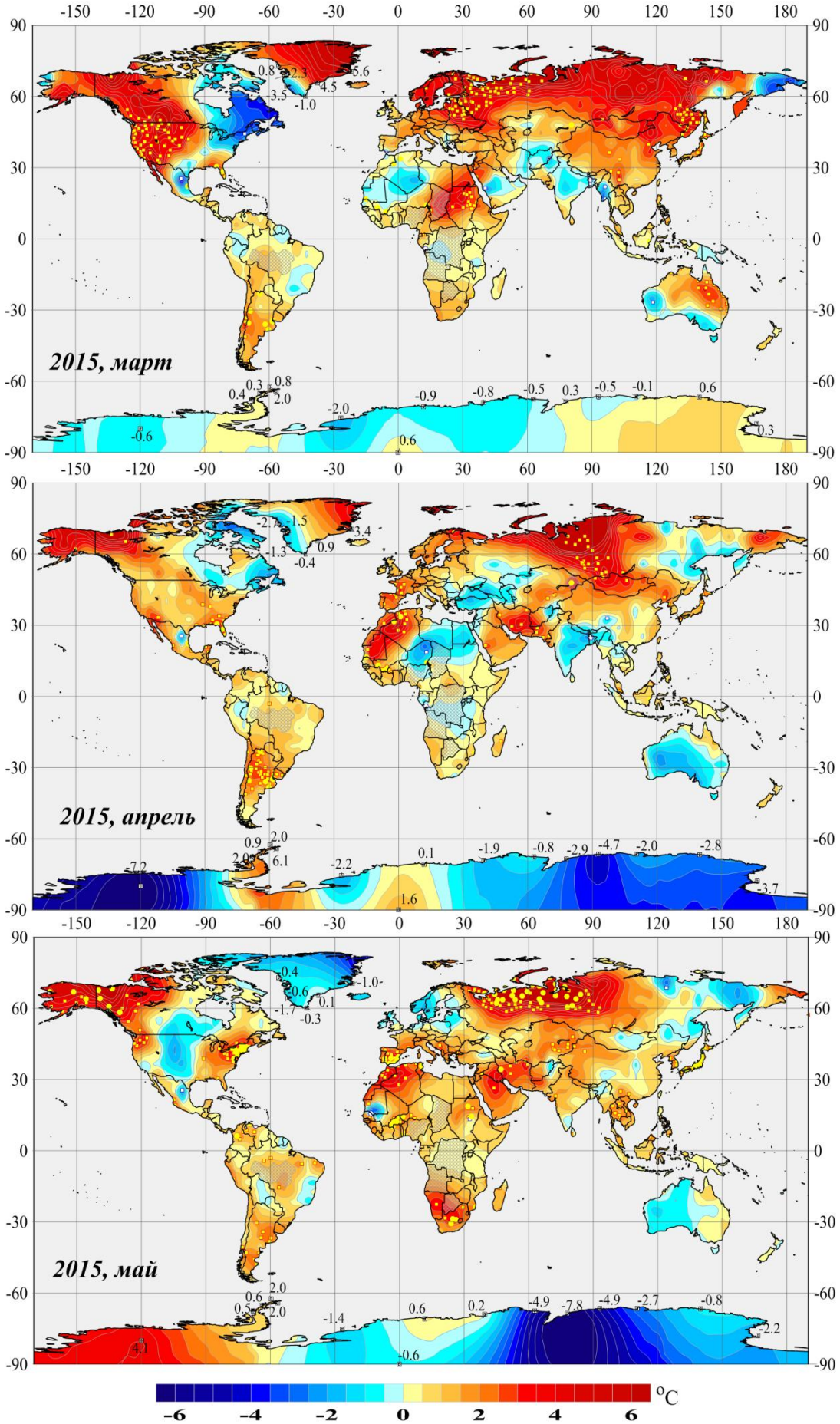


Рисунок 2.3 – См. рис. 2.2, но для средних месячных аномалий весеннего сезона 2015 г. и только над сушей Земного шара (по данным Т3288)

В соответствии с оценками в табл. 2.1, весна 2015 г. была самой теплой за всю историю наблюдений для Земного шара в целом и для Северного полушария. Этот температурный рекорд получен как по объединенным данным над сушей и океанами HadCRUT4 (аномалии 0.677^{o}C и 0.893^{o}C), так и по данным станционных наблюдений только над сушей T3288 (соответственно, 1.069 и 1.303 ^{o}C). По данным CRUTEM4 (суша) рекордно теплым оказался для Земного шара лишь один месяц – май (аномалия 1.005^{o}C), а для Северного полушария – год в целом (аномалия 1.271 ^{o}C), как и по другим источникам данных. Как видно из табл. 2.1, оценки аномалий приземной температуры только над сушей по методикам Hadley/CRU (данные CRUTEM4) и ИГКЭ (данные T3288) оказались весьма близки – различия между ними, в среднем за сезон, составили -0.032, -0.032 и +0.058 ^{o}C для Земного шара, Северного и Южного полушарий соответственно.

По-видимому, набольший вклад в температурный рекорд этого сезона принадлежит Тихому океану (сезонная аномалия 0.763^{o}C), где рекордно высокие значения аномалии отмечены в среднем за каждый из весенних месяцев и за сезон в целом. Особо отметим, что в рассматриваемой северной части Тихого океана (20-65 с.ш.) экстремально теплый режим устойчиво держится с декабря 2013 г. Из месяцев выделяется май, который в 2015 г. был рекордно теплым еще и умеренном поясе южного полушария (65-25 ю.ш.). В результате, май оказался самым теплым и в целом для Северного полушария и Земного шара.

Холодными были апрель и май в Австралии (-0.620, -0.234^{o}C) и все весенние месяцы в Антарктике, где сезонная аномалия температуры составила -1.053^{o}C.

Во многих районах земного шара 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 отмечались рекордно высокие значения аномалий температуры. В марте отмечались рекордно высокие значения аномалий температуры на западе Северной Америки, в Африке и в Австралии. В мае область рекордно высоких аномалий охватила северные районы европейской части России и Западной Сибири, северо-западные районы Северной Америки.

Необычно холодно, с рекордно низкими значениями аномалий температуры, весной 2015 г. было лишь на востоке Канады (особенно в марте), в Северной Атлантике и в южной полярной области. Из континентов, средняя по территории температура была ниже нормы 1961-1990 гг. в Антарктиде (март-апрель-май) и в Австралии (апрель-май).

Таким образом, в целом по Земному шару, у поверхности земли, весна 2015 года оказалась самым теплым в истории наблюдений (с 1850 года) весенним сезоном. По данным Hadley/CRU (MetOffice UK, массив HadCRUT4), средняя по территории Земного шара аномалия приповерхностной температуры (над континентами и океанами) достигла в этом сезоне рекордного значения 0.677^{o}C (базовый период 1961-1990 гг.), перекрывшего предыдущий рекорд 2010 г. на 0.02^{o}C

3. КРУПНОМАСШТАБНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ТЕРРИТОРИИ ЗЕМНОГО ШАРА ЗА ПЕРИОД ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ, 1850-2015 гг. (весенний сезон)

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.

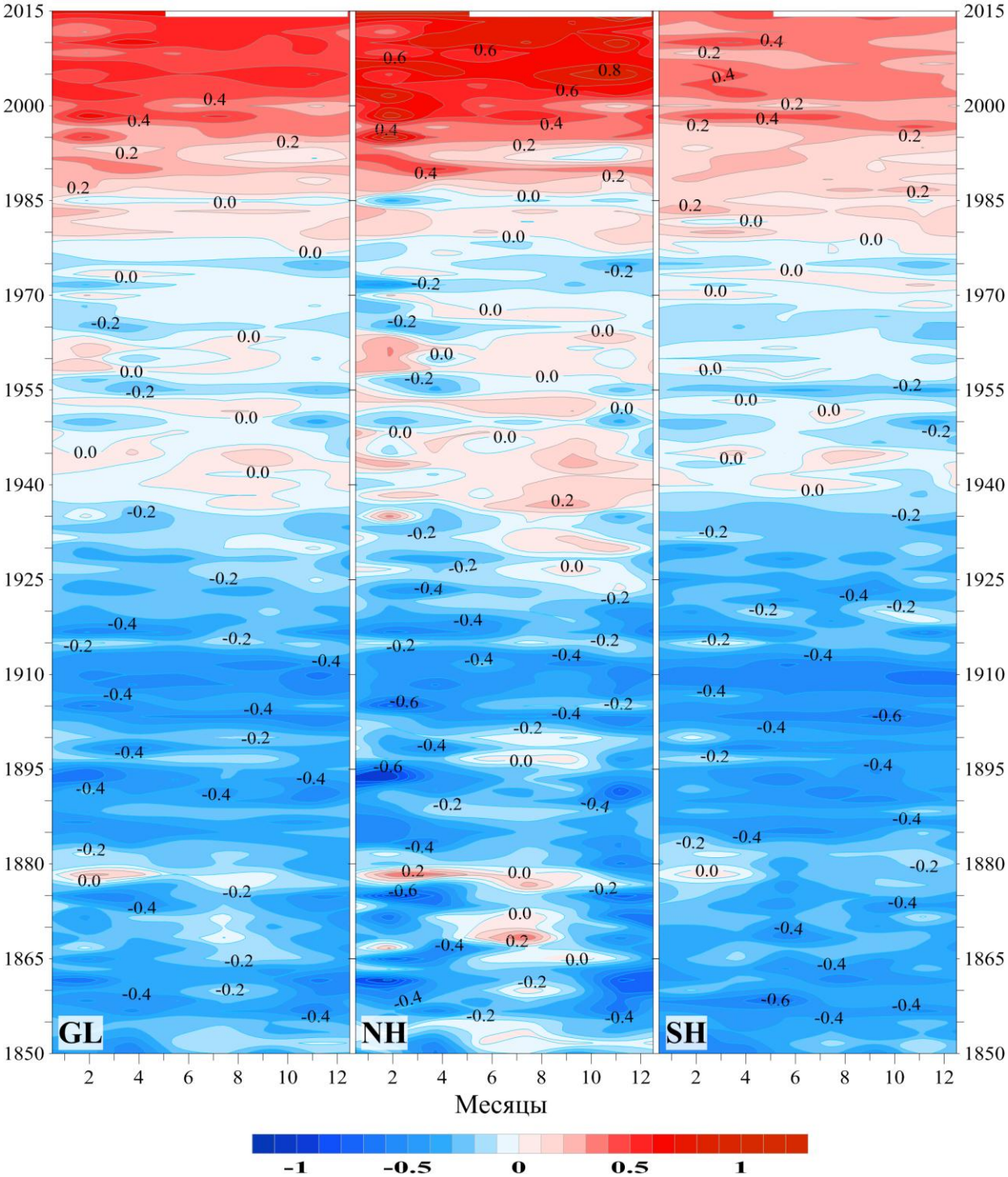


Рисунок 3.1 – Изменение средней месячной приповерхностной температуры, осредненной по территории Земного шара (слева), Северного (в центре) и Южного (справа) полушарий в течение периода с января 1850 по февраль 2015 гг. (по данным HadCRUT4, Met Office UK).

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. Так, примерно в 1904-1913 гг., в отдельные месяцы средняя месячная аномалия приземной температуры Южного полушария опускалась до -0.7, -0.8°С. Потепление 1940-х гг. больше выражено в Северном полушарии в летне-осенний период года. Современное потепление также более интенсивно в Северном полушарии.

Особенности потепления весенних сезонов лучше видны из рис. 3.2, на котором сравниваются временные ряды глобально осредненных сезонных аномалий температуры весеннего сезона, рассчитанные по объединенным данным (суша+море, синие кривые) и по данным только над сушей (черные кривые). 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). Сравнение выполнено для Земного шара в целом и для каждого из полушарий по данным опубликованных глобальных рядов Hadley/CRU (CRUTEM4 и HadCRUT4), что позволило охватить весь период (с 1850 г.) и исключить влияние возможных различий в методике осреднения.

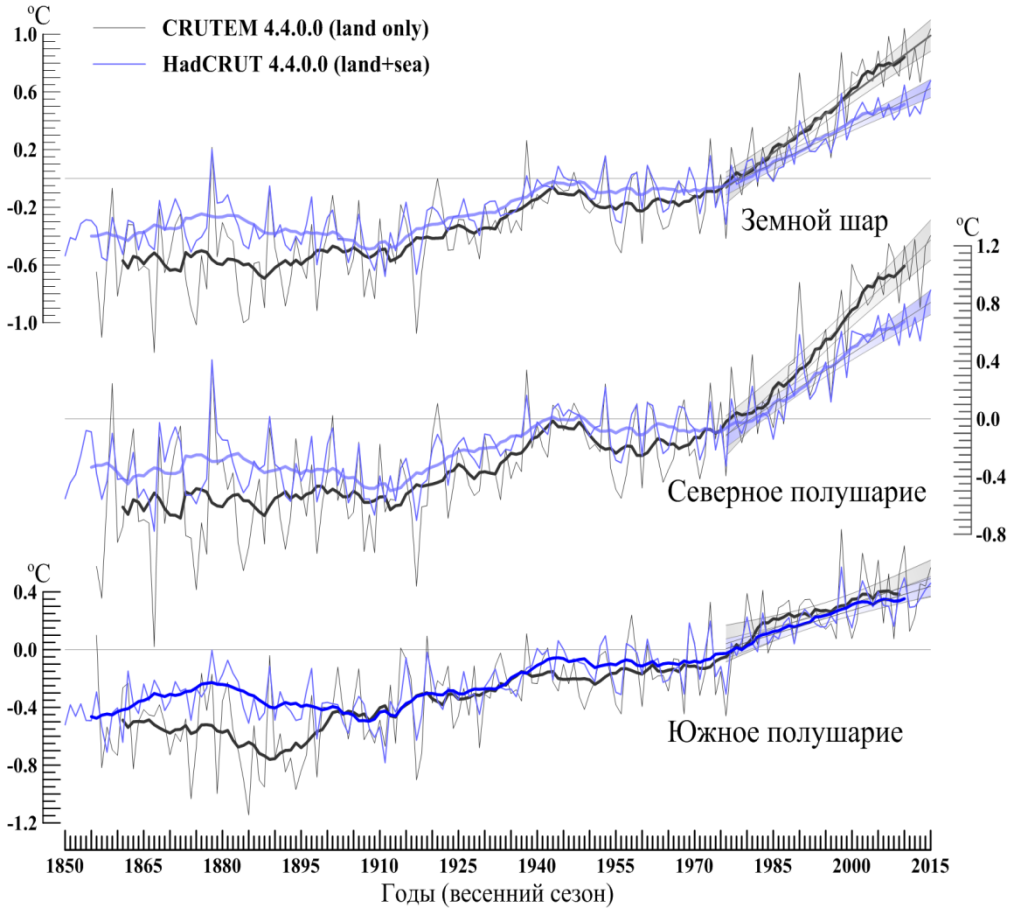


Рисунок 3.2 – Изменение сезонных аномалий приземной температуры (весна), осредненных по территории Земного шара (вверху), Северного (в середине) и Южного (внизу) полушарий по объединенным данным над сушей и океанами (синие кривые) и по данным только над сушей (черные кривые).

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

Таблица 3.1 – Коэффициенты линейного тренда (*°C/10 лет*) глобальных временных рядов приземной температуры за 1976-2015 гг. и 1911-2015 гг., (для Земного шара и полушарий, в среднем за сезон и по месяцам)

Регион	**1976-2015**				**1916-2015**			
	весна	*март*	*апрель*	*май*	*весна*	*март*	*апрель*	*май*
HadCRUT4 (суша+море)								
Земной шар	0.173	0.172	0.179	0.169	0.084	0.091	0.081	0.079
Северное полушарие	0.235	0.239	0.238	0.229	0.094	0.107	0.091	0.084
Южное полушарие	0.111	0.104	0.120	0.108	0.073	0.075	0.071	0.074
CRUTEM4 (суша)								
Земной шар	0.271	0.290	0.274	0.248	0.129	0.146	0.125	0.116
Северное полушарие	0.348	0.376	0.349	0.319	0.150	0.179	0.146	0.125
Южное полушарие	0.116	0.117	0.125	0.105	0.087	0.080	0.084	0.097

Примечания. Оценки приведены для временных рядов на рис. 3.2. Все оценки в таблице статистически значимы на 0.1%-м уровне.

Как и для зимнего сезона (см. предыдущий бюллетень зима 2014/2015), весной современное потепление над сушей более значительно, чем интегрально (суша+море), и в Северном полушарии более значительно, чем в Южном. Тренд (средняя скорость) весеннего потепления 1976-2015 гг. в целом для Земного шара, Северного и Южного полушарий составил 0.271, 0.348, 0.116 °C/10 лет над сушей и только 0.173, 0.235, 111 над всей территорией (суша+море). Соотношение оценок для трендов этого периода практически не меняется для всех месяцев сезона (табл. 3.1). Для большей наглядности в табл. 3.2 приведено соотношение основных оценок в зависимости от данных («суша» или «суша+море»), полушария (Северное или Южное) и периода (1976-2015 или 1916-2015).

Таблица 3.2 – Соотношение оценок трендов сезонных аномалий глобальной температуры (весна) в зависимости от данных (CRU/HadCRU), полушария (СП/ЮП) и периода (1976-2015/1916-2015)

	1976-2015	**1916-2015**	**СП**	**ЮП**
$\mathbf{b_{CRU}/b_{HadCRU}}$(«суша»/«суша+море»)				
Земной шар	1.57	1.54		
Северное полушарие (СП)	1.48	1.60		
Южное полушарие (ЮП)	1.05	1.19		
$\mathbf{b_{СП}/b_{ЮП}}$				
HadCRU (суша+море)	2.12	1.29		
CRUTEM (суша)	3.00	1.72		
$\mathbf{b_{1976\text{-}2015}/b_{1916\text{-}2015}}$				
HadCRU (суша+море)			2.50	1.52
CRUTEM (суша)			2.32	1.33

Можно видеть, что по данным для весеннего сезона современное (с 1976 г.) глобальное потепление, по-прежнему, складывается, в основном, за счет потепления климата Северного полушария и, в значительной степени, за счет более активного потепления континентов. В частности, Северное полушарие теплеет примерно вдвое

быстрее Южного по объединенным данным HadCRUT (суша+море) и втрое – по данным CRUTEM (суша); соответственно, в Северном полушарии тренды по данным CRUTEM4 примерно в полтора раза выше, чем по HadCRUT4, а в Южном они примерно одинаковы. Что касается «вековых» тенденций (1916-2015 гг.), то в них ведущая роль также принадлежит Северному полушарию и континентам, но с существенно меньшим разрывом между полушариями (табл.3.2: $b_{СП}/b_{ЮП}$ ~ 1.3, 1.7 против 2.1, 3). В целом, скорость потепления за последние 40 лет увеличилась относительно 100-летнего в Северном полушарии в 2.3-2.5 раз, а в Южном – в 1.3-1.5 раз.

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 2010 г. по май 2015 г. дополнительно показан более детально, 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.

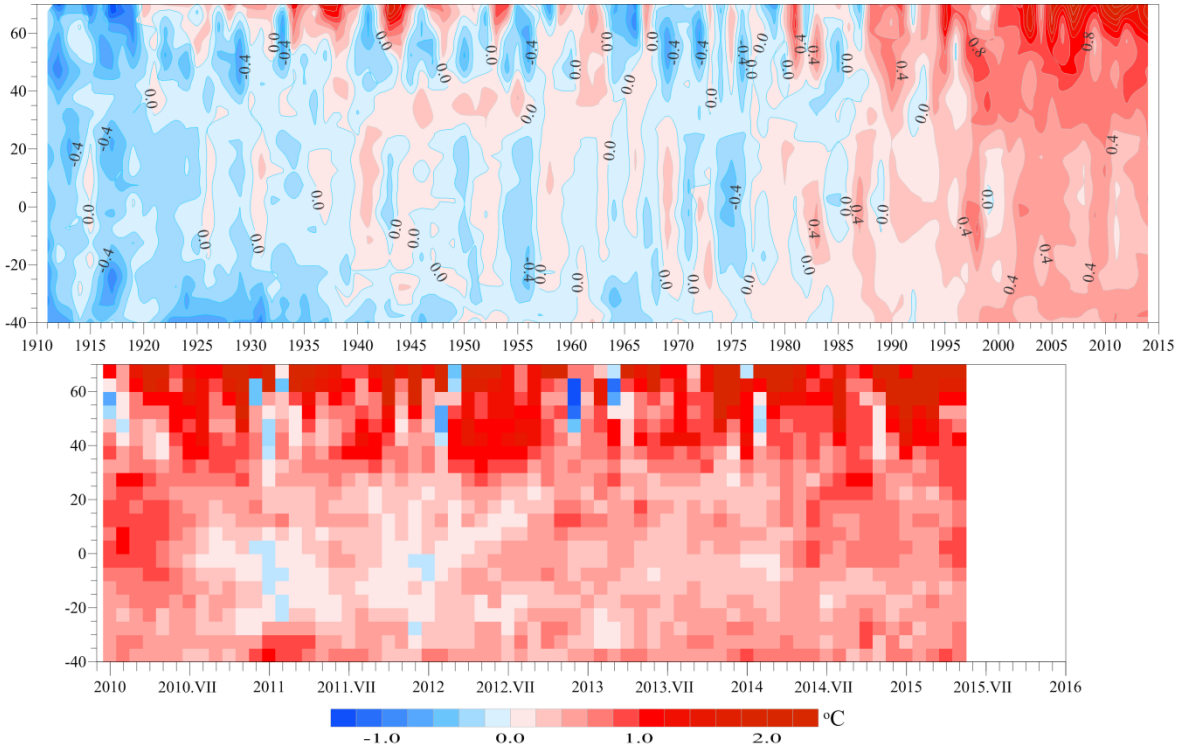


Рисунок 3.3 – Изменение с широтой (ось Y) и во времени (ось X) среднеширотных аномалий среднегодовой (вверху, 1911-2014) и среднемесячной (внизу, 2010_I-2015_V) температуры у поверхности. *Расчет выполнен по данным Met Office UK (HadCRUT4, суша+море). Базовый период 1961-1990 гг.*

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. Во внетропических широтах СП наблюдаются эпизоды чередующихся холодных и теплых периодов, снижающие интегральную оценку годовых трендов.

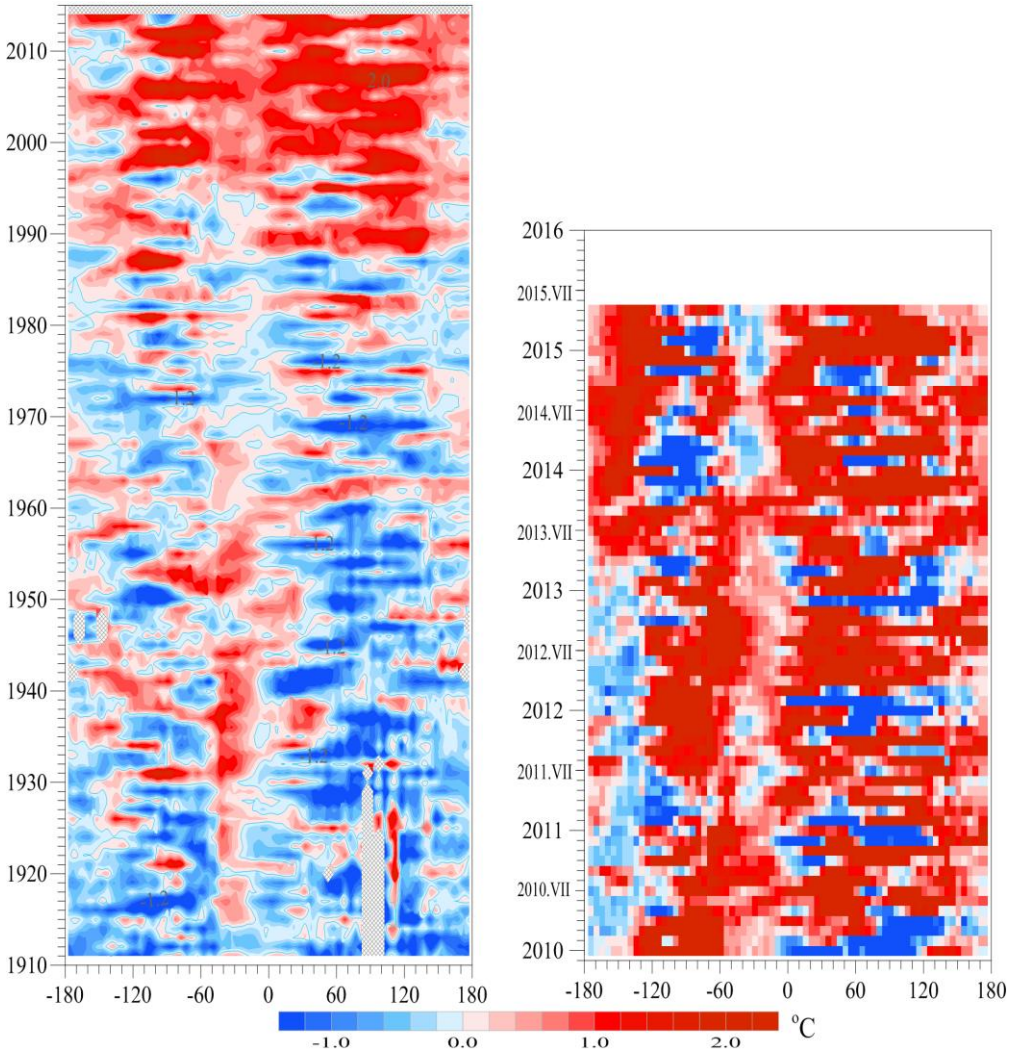


Рисунок 3.4 - Изменение с долготой (ось X) и во времени (ось Y) аномалий среднегодовой (слева, 1850-2014 гг.) и среднемесячной (справа, 2010_I-2015_V) температуры у поверхности Земли, осредненных вдоль каждого меридиана в широтном поясе 40-60 с.ш. *Расчет выполнен по данным Met Office UK (HadCRUT4, суша+море). Базовый период 1961-1990 гг.*

Судя по рис. 3.4, наибольший вклад в изменение температурного режима умеренных широт СП в последние два с половиной года вносит Тихоокеанский сектор (у западного побережья Америки) и Евразия.

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

(весенний сезон)

На рис. 4.1 рассматриваются временные ряды пространственно осредненных сезонных аномалий температуры для континентов, океанов (Атлантический и Тихий в умеренных широтах Северного полушария) и основных широтных поясов земного шара. . Временные ряды средних месячных 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).

Расчеты выполнены по методике ИГКЭ. Данные до 1911 г. не приводятся, т.к. представляются недостаточно полными и надежными (особенно над океанами). На всех временных рядах показаны тренды за период 1976-2015 гг., условно принятый за период современного глобального потепления.

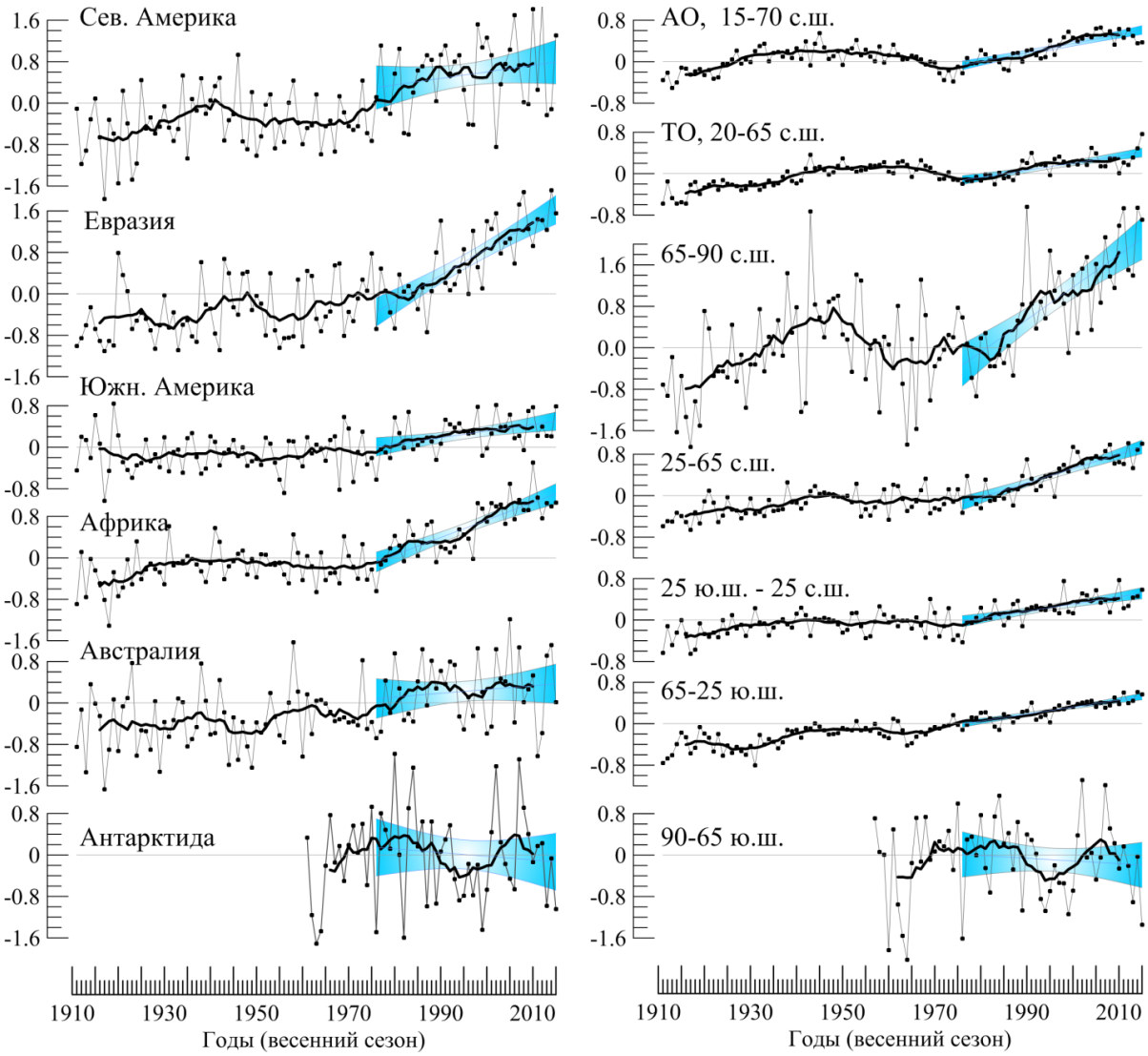


Рисунок 4.1 – Временные ряды сезонных (зима) аномалий приземной температуры, пространственно осредненных по континентам (слева), северным частям Атлантического и Тихого океанов (справа вверху) и основным широтным поясам земного шара (справа внизу).

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. и его 95% -й доверительный интервал (голубая заливка).

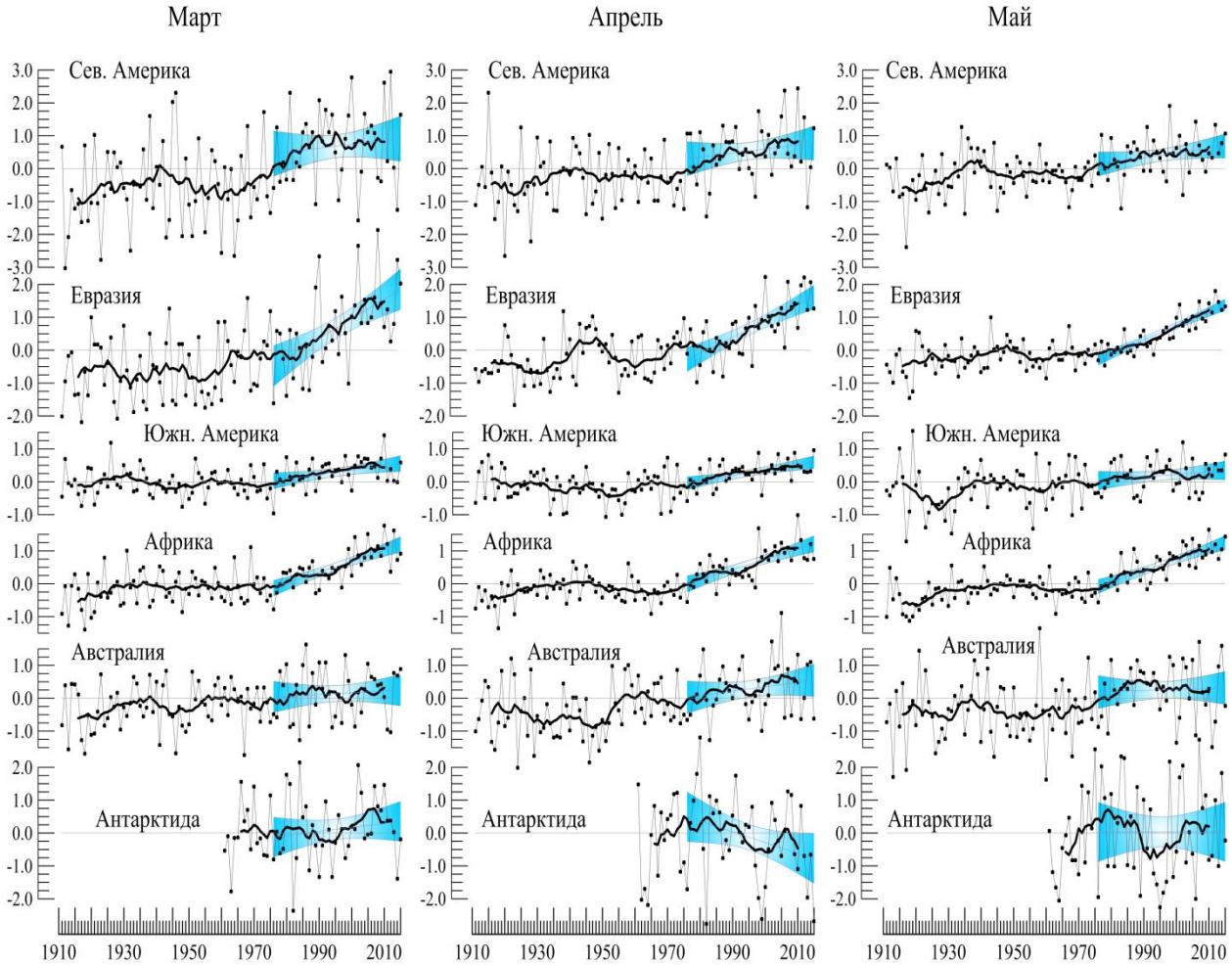


Рисунок 4.2 – См. рис. 4.1, но для средних месячных аномалий (март, апрель, май) и только для континентов. Расчеты выполнены по станционным данным (T3288) и методике ИГКЭ.

Таблица 4.1 – Коэффициенты линейного тренда (*°C/10 лет*) пространственно осредненных аномалий приземной температуры за 1976-2015 гг. для северных частей Атлантического и Тихого океанов, основных широтных поясов и континентов земного шара (в среднем за весенний сезон и по месяцам)

Регион	Весна	Март	Апрель	Май
HadCRUT4 (суша+море)				
Атлантика (15-70N)	***0.175**	***0.168**	***0.181**	***0.175**
Тихий океан (20-65N)	***0.136**	***0.112**	***0.129**	***0.168**
Арктический пояс (65-90N)	***0.626**	***0.639**	***0.725**	***0.517**
Умеренный пояс СП (25-65N)	***0.278**	***0.303**	***0.265**	***0.266**
Тропики (25S-25N)	***0.138**	***0.125**	***0.146**	***0.143**
Умеренный пояс ЮП (65-25S)	***0.136**	***0.113**	***0.141**	***0.129**
Антарктический пояс (90-65S)	-0.052	-0.041	-0.187	0.034
IGCE-T3288 (суша)				
Северная Америка	0.127	0.116	0.122	*0.140*
Евразия	***0.505**	***0.598**	***0.487**	***0.427**
Южная Америка	***0.126**	***0.133**	***0.163**	0.079
Африка	***0.338**	***0.340**	***0.312**	***0.342**
Австралия	0.073	0.052	0.132	0.033
Антарктида	-0.071	0.123	*-0.326*	0.000

Примечание: Звездочкой выделены оценки, статистически значимые на 1%-уровне. Серой заливкой, напротив, указаны оценки, *незначимые* даже на 10% -уровне

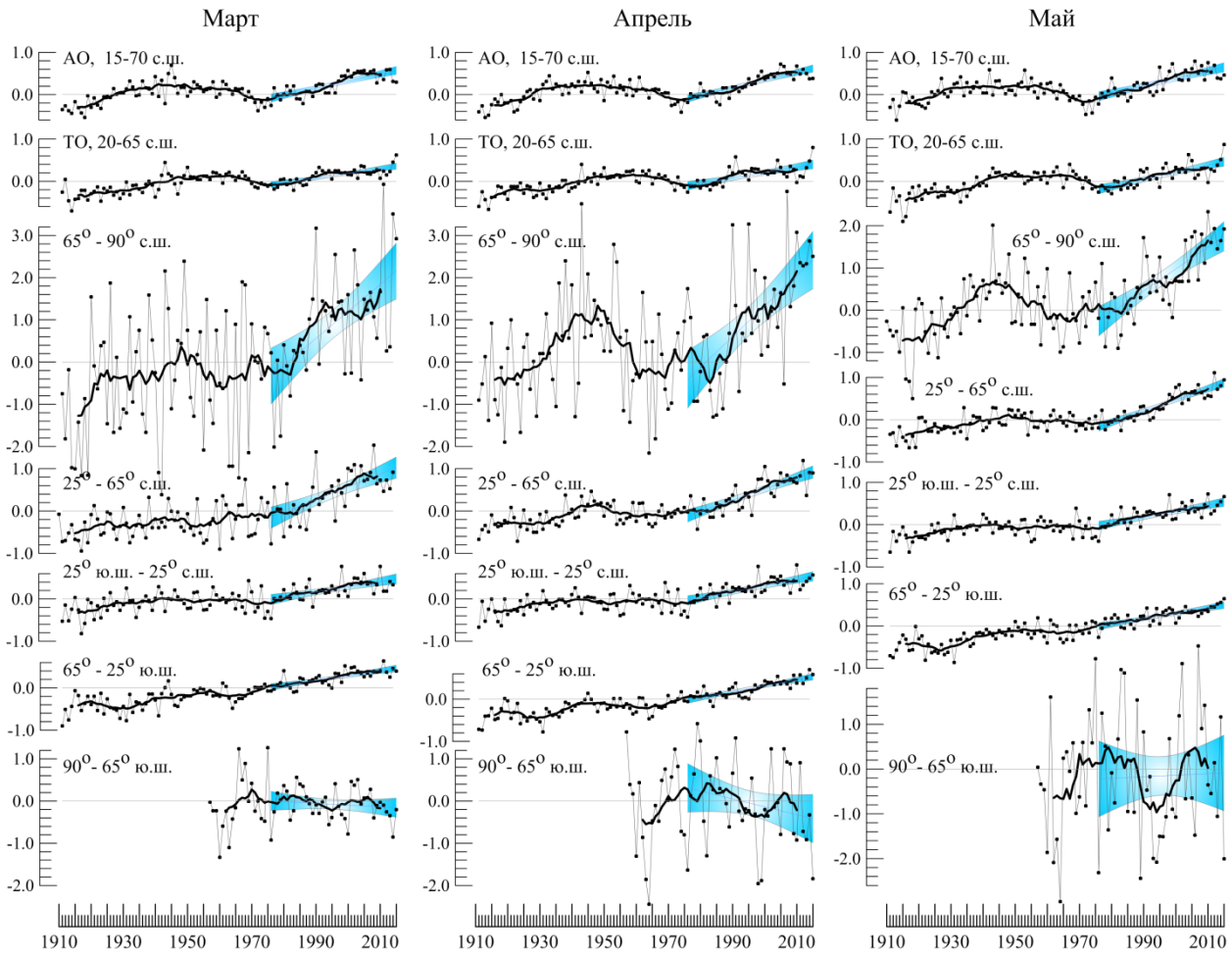


Рисунок 4.3 – См. рис.4.2, но для океанов и широтных поясов земного шара.
Расчеты выполнены по методике ИГКЭ по данным HadCRUT4 в центрах 5-градусных боксов (Met Office UK)

Как следует из табл.4.1, общая направленность изменений температурного режима последнего 40-летия для весенних сезонов очень близка к таковой для зимних: в среднем по территории крупных регионов, всюду, кроме Антарктического пояса (90-65 гр. ю.ш.), преобладает тенденция к потеплению (тренд положительный, статистически значимый на 5% и даже на 1%-уровне). Отрицательный тренд в Антарктической области, как и для зимнего сезона, статистически незначим (исключая температуру апреля). Над сушей Земного шара тенденция к потеплению весен выражена несколько слабее, чем зим (особенно в Северной и Южной Америке), но в Евразии и Африке, напротив, потепление весен выражено более ярко.

5. ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА ЗЕМНОГО ШАРА, 1976-2015 гг. (весенний сезон)

Пространственные распределения оценок локальных трендов на территории земного шара, рассчитанные по данным о глобальных полях сезонных 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 аналогичных оценок для отдельных месяцев приведены на рис. 5.2 только для суши (по данным T3288).

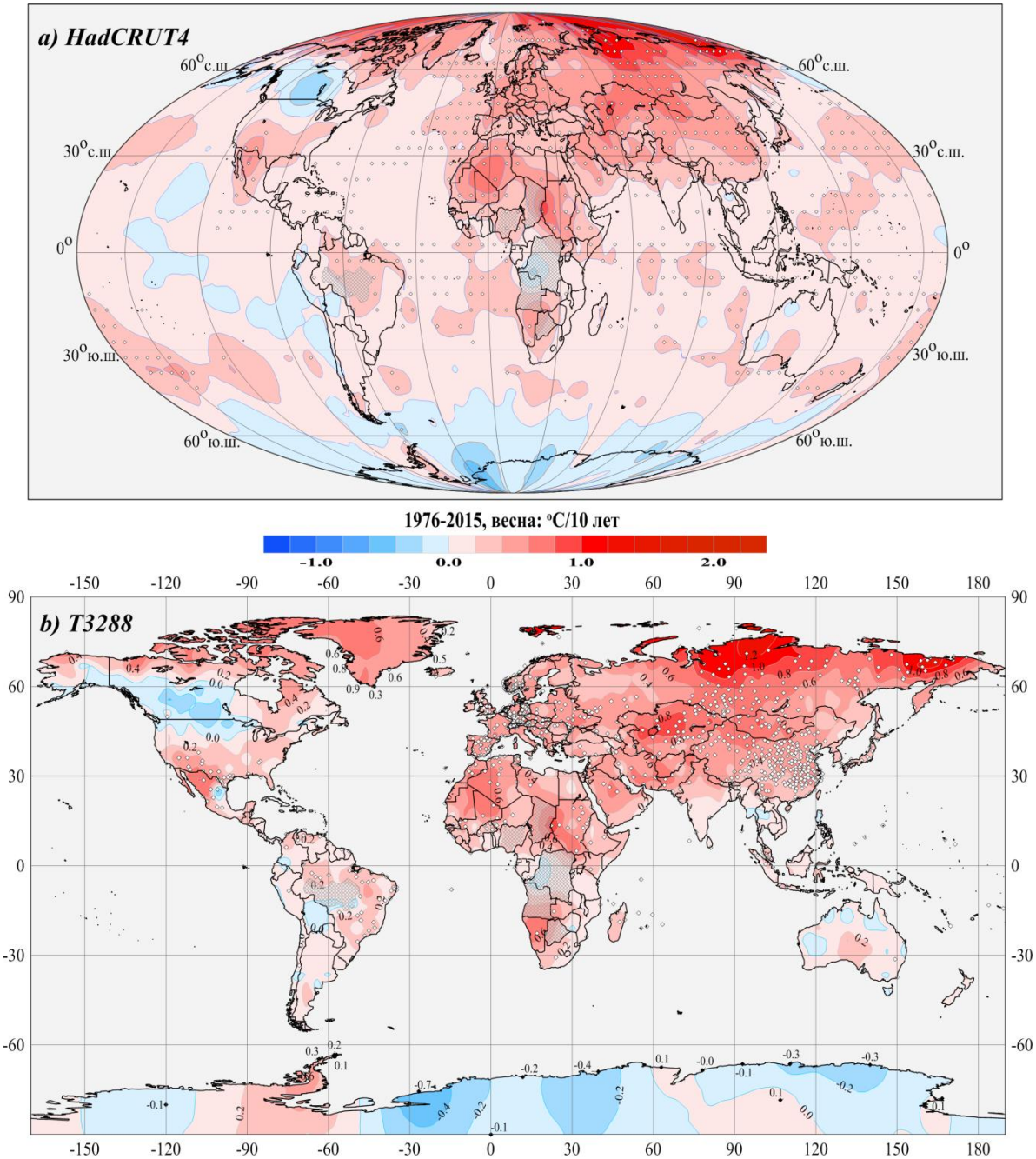


Рисунок 5.1 - Пространственное распределение коэффициентов линейного тренда средней за весенний сезон приземной температуры за период 1976-2015 гг. (в °C/10 лет)

Поля построены: (а) по данным HadCRUT4 (суша+море) в центрах 5-градусных боксов; б) по данным T3288 на сети станций (суша). Черными точками выделены боксы/станции, на которых тренд статистически значим на 1%-м уровне.

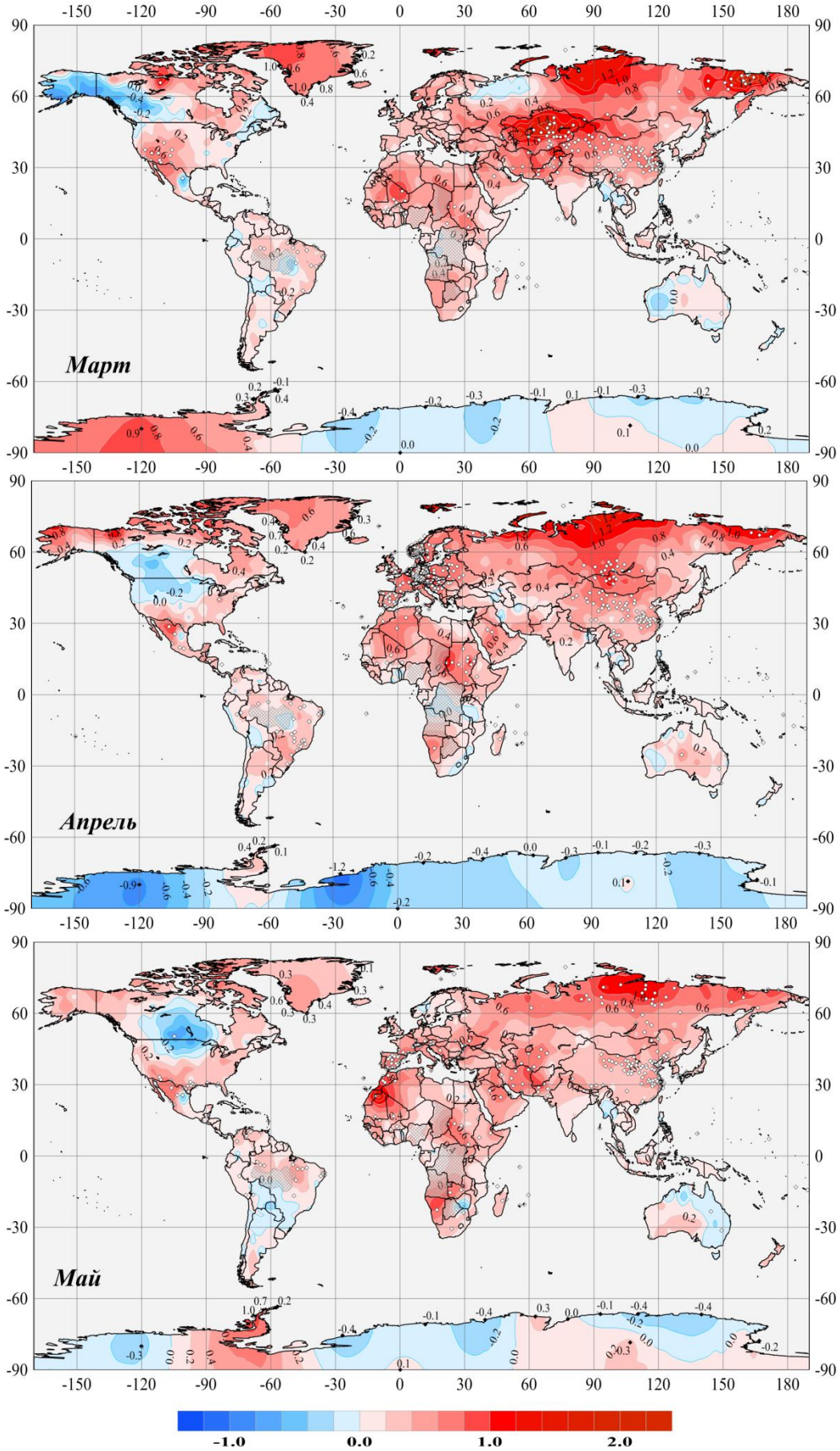


Рисунок 5.2 – См. рис. 5.1, но для коэффициентов линейного тренда средней месячной температуры (декабрь, январь, февраль) над сушей Земного шара. Расчет выполнен по станционным данным ИГКЭ Т3288 (только суша) за 1976-2015 гг.

Как видно из рис.5.1, сохраняется тенденция к потеплению весенних сезонов в Евразии, Африке, в западной части Тихого океана, в Индийском и Атлантическом океанах. А в Северной Америке, в восточных районах Тихого океана, в Антарктике и морях, окружающих Антарктику, наблюдается тенденция к похолоданию.

Из анализа месячных карт (рис.5.2) также следует, что в Северной Америке для всех трех рассматриваемых месяцев оценки тренда за 1976-2015 гг. указывают на слабое похолодание, область которого смещалась из района Аляски в центральные районы Северной Америки. Области похолодания отмечаются также на востоке Тихого океана и в Антарктическом регионе (материк и моря вблизи Антарктиды). Следует отметить, однако, что значения коэффициентов тренда во всех областях похолодания статистически незначимы (уровень значимости более 20%), а тренды потепления на значительных территориях статистически значимы на 1%-м уровне.

Потепление в течение всех трех весенних месяцев наблюдается почти на всей территории Евразии (за исключением области похолодания на севере Европейской части России в марте). Потепление наиболее значительно в Европе, Монголии, Китае.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Весна 2015 года оказалась самым теплым весенним сезоном у поверхности земли в истории наблюдений (с 1850 года). По данным Hadley/CRU (MetOffice UK, массив HadCRUT4), средняя по территории Земного шара аномалия приповерхностной температуры (над континентами и океанами) достигла в этом сезоне рекордного значения 0.677^{o}C (базовый период 1961-1990 гг.), перекрывшего предыдущий рекорд 2010 г. на 0.02^{o}C. Однако по температуре приземного воздуха над сушей Земного шара (данные массива CRUTEM4) весна 2015 г. оказалась на втором месте (аномалия 1.037 ^{o}C), отстав от рекордного 2010 г. (аномалия 1.042 ^{o}C) на 0.005^{o}C – различие в пределах точности оценивания.

2. В Северном полушарии весна 2015 г. была рекордно теплой как в целом, над континентами и океанами (средняя аномалия 0.892^{o}C по данным HadCRUT4), так и только над сушей (по согласующимся данным ИГКЭ и Hadley/CRU). Средняя аномалия температуры приземного воздуха над сушей Северного полушария этой весной была 1.303^{o}C (по данным T3288) и 1.271^{o}C (по данным CRUTEM4). Предыдущий рекорд наблюдался по данным обоих источников в 2012 г. (соответственно, 1.233 и 1.240 ^{o}C).

Тихоокеанский регион (20-65° с.ш.) оставался рекордно теплым в течение всех трех месяцев весеннего сезона (расчет ИГКЭ по сеточным данным HadCRUT4).

3. Пространственное распределение температуры также характеризуется обширными областями тепла на большей части Земного шара. Во многих районах отмечались экстремальные аномалии (выше 95-го процентиля), а на севере Европейской части России, на западе Канады, в восточных районах северной части Тихого океана, в центральных районах Африки они превысили ранее наблюдавшиеся рекорды.

В течение всех трех весенних месяцев высокие значения температуры сохранялись на севере Западной Сибири, а в мае зафиксированы рекорды в северных районах европейской части России и Западной Сибири и в северо-западных районах Северной Америки.

4. Необычно холодно, с рекордно низкими значениями аномалий, весной 2015 г. было лишь на востоке Канады (особенно в марте), в Северной Атлантике и в южной полярной области. Из континентов, средняя по территории температура была ниже нормы 1961-1990 гг. в Антарктиде, в каждом из трех месяцев рассматриваемого сезона (март-апрель-май), и в Австралии, в апреле-мае.

5. В последние 40 лет (с 1976 г.) на большей части земного шара сохраняется тенденция к потеплению весенних сезонов. Потепление в течение всех трех весенних месяцев наблюдается почти на всей территории Евразии (за исключением небольшой области похолодания на севере Европейской части России в марте) и Африки. Наибольшая скорость роста весенней температуры отмечается на севере и северо-востоке Сибири (более 1.2^{o}C/10лет) и в Казахстане (более 0.8^{o}C/10лет).

В Северной Америке, напротив, для всех трех рассматриваемых месяцев оценки тренда за 1976-2015 гг. указывают на слабое похолодание, область которого смещалась из района Аляски в центральные районы Северной Америки. Области похолодания отмечаются также на востоке Тихого океана и в Антарктическом регионе (материк и моря вблизи Антарктиды). Следует отметить, однако, что значения коэффициентов тренда во

всех областях похолодания статистически незначимы (уровень значимости выше 20%), а тренды потепления на значительных территориях статистически значимы на 1%-м уровне.

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