Экспериментальный выпуск

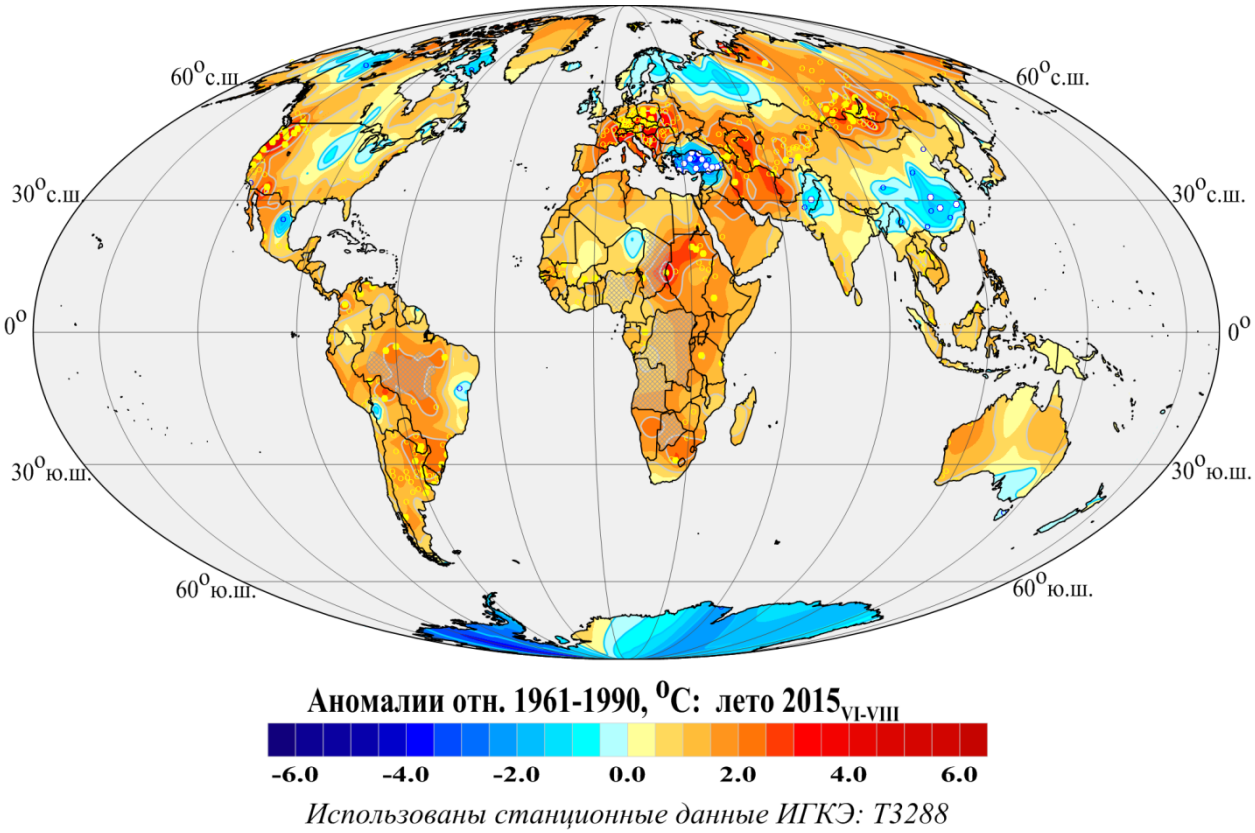
Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды

ФГБУ «Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН»

Бюллетень мониторинга изменений климата Земного шара

Приземная температура

Лето 2015



Использованы станционные данные ИГКЭ: Т3288

Москва 2015

ОГЛАВЛЕНИЕ[1,,2]

1. ВВЕДЕНИЕ …….…..

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

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

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

5. ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА ЗЕМНОГО ШАРА, 1976-2015 гг. (ЛЕТНИЙ 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 (лето 2015 г.).

1. ВВЕДЕНИЕ

Содержание бюллетеня составляют данные о наблюдаемых сезонных и месячных особенностях приземного температурного режима на территории Земного шара в течение лета 2015 г. 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 «ВНИИГМИ-МЦД» и ФГБУ «Гидрометцентр РФ» 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).

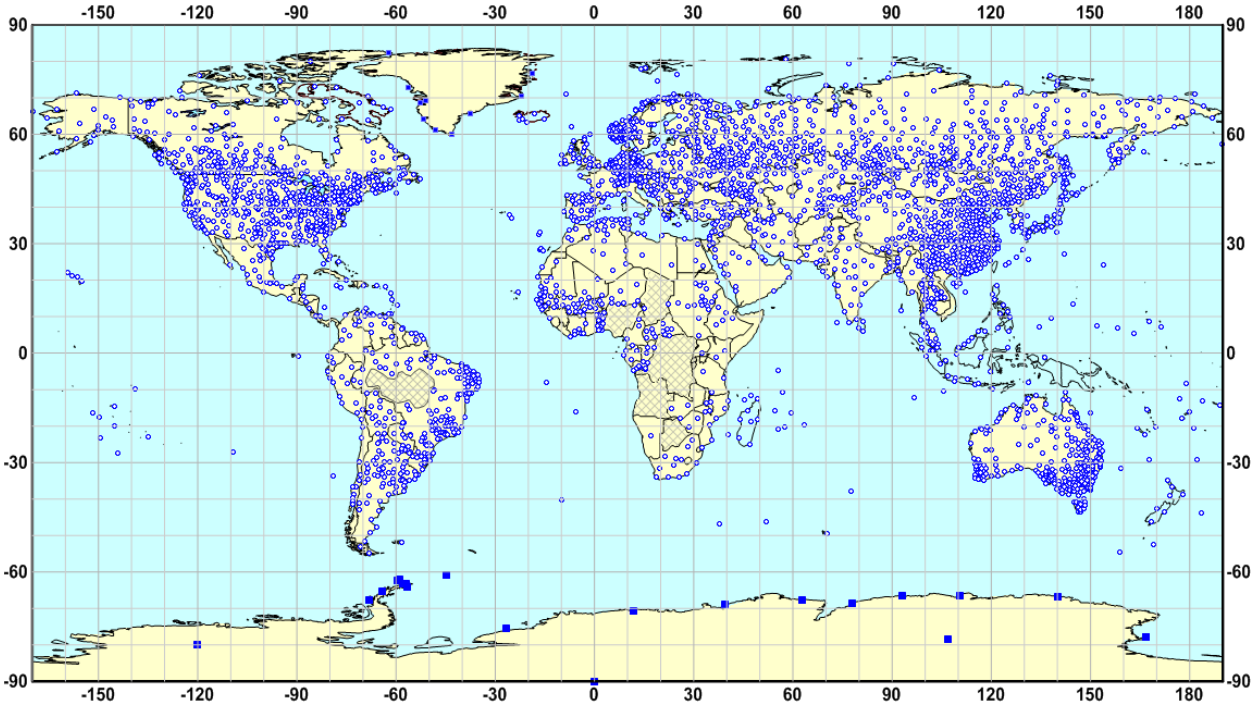


Рисунок 1.1 – Сеть станций в массиве Т3288 ИГКЭ. Заштрихованы области, не освещенные данными наблюдений. В Гренландии и Антарктиде станции расположены вдоль береговой линии плюс станция AMUNDSEN-SCOTT в центре материка (Южный полюс Земли).

[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 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), 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 Т3288) 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 Т3288) должны быть близки. При этом, на наш взгляд, станционные данные Т3288 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 5*5 град. 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. Временное осреднение (среднее арифметическое за сезон, год) выполняется по месячным аномалиям при отсутствии не более одного слагаемого. 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 р%-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 рассчитывается методом наименьших квадратов и выражается 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).

Дополнительно отметим, что, как указывалось выше, в бюллетене для оценки температурного режима над сушей земного шара используются преимущественно методика и станционные данные ИГКЭ (массив Т3288), но глобальные оценки (в среднем для Земного шара и полушарий) и временные ряды приводятся в бюллетене 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 и весеннего сезонов представлено в предыдущих выпусках бюллетеня (зима 2014/2015 гг., весна 2015 г.). Результаты подтверждают достаточно тесное соответствие этих рядов, в определенной мере свидетельствующее о репрезентативности данных массива Т3288 (включая методику их обработки) и реалистичности базирующихся на этом массиве оценок (по крайней мере, для крупных регионов).

Для летнего 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 ЛЕТОМ 2015 г. ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ АНОМАЛИИ

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

Таблица 2.1 – Пространственно осредненные значения аномалии приземной температуры на территории Земного шара летом 2015 гг., в среднем за сезон и по месяцам

Регион	Лето		Июнь		Июль		Август	
	vT2015	F%	vT2015	F%	vT2015	F%	vT2015	F%
HadCRUT4 (суша+море)								
Земной шар*	***0.722***	***100***	***0.73***	***100***	***0.696***	***100***	***0.74***	***100***
Северное полушарие*	***0.928***	***100***	***0.942***	***100***	0.859	99	***0.982***	***100***
Южное полушарие*	0.517	99	0.518	99	0.534	99	0.500	99
Атлантика (15-70N)	0.521	85	0.465	85	0.489	83	0.606	85
Тихий океан (20-65N)	***1.002***	***100***	***0.987***	***100***	***0.954***	***100***	1.071	99
Арктический пояс (65-90N)	1.274	96	1.739	98	1.248	95	1.056	93
Умеренный пояс СП (25-65N)	0.921	98	1.016	99	0.773	93	0.979	98
Тропики (25S-25N)	***0.766***	***100***	***0.722***	***100***	***0.79***	***100***	***0.792***	***100***
Умеренный пояс ЮП (65-25S)	***0.567***	***100***	***0.589***	***100***	***0.549***	***100***	0.576	99
Антарктический пояс (90-65S)	-1.527	18	-1.253	25	-2.323	13	-0.956	25
CRUTEM4 (суша)								
Земной шар*	***0.983***	***100***	***1.103***	***100***	0.845	98	***1.001***	***100***
Северное полушарие*	1.049	98	1.194	99	0.912	94	1.040	97
Южное полушарие*	0.851	99	***0.921***	***100***	0.710	99	0.922	99
IGCE-T3288 (суша)								
Земной шар	0.943	99	***1.134***	***100***	0.788	93	0.899	99
Северное полушарие	0.981	97	1.208	99	0.860	92	0.898	91
Южное полушарие	***0.855***	***100***	***0.963***	***100***	0.616	97	0.903	99
Северная Америка	0.908	95	1.284	99	0.568	88	0.883	93
Евразия	1.004	94	1.368	96	0.819	91	0.872	89
Южная Америка	***1.356***	***100***	1.285	99	1.066	91	***1.622***	***100***
Африка	***1.345***	***100***	1.278	99	***1.523***	***100***	***1.217***	***100***
Австралия	0.787	92	1.407	96	0.389	65	0.550	77
Антарктида	-1.865	11	-1.233	17	-2.540	10	-1.988	14

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 для их расчета источником данных. Звездочкой выделены временные ряды глобально осредненных аномалий (для Земного шара и обоих полушарий), которые используются в данном бюллетене в точном соответствии с их публикацией на сайтах Hadley/CRU (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 летнего сезона (см. рис. 2.1 и строки CRUTEM4 и IGCE-T3288 в табл. 2.1), как и для года и предшествующих сезонов (см. предыдущие бюллетени GCCM-2015-зима, весна), свидетельствует о хорошем согласии полученных результатов.

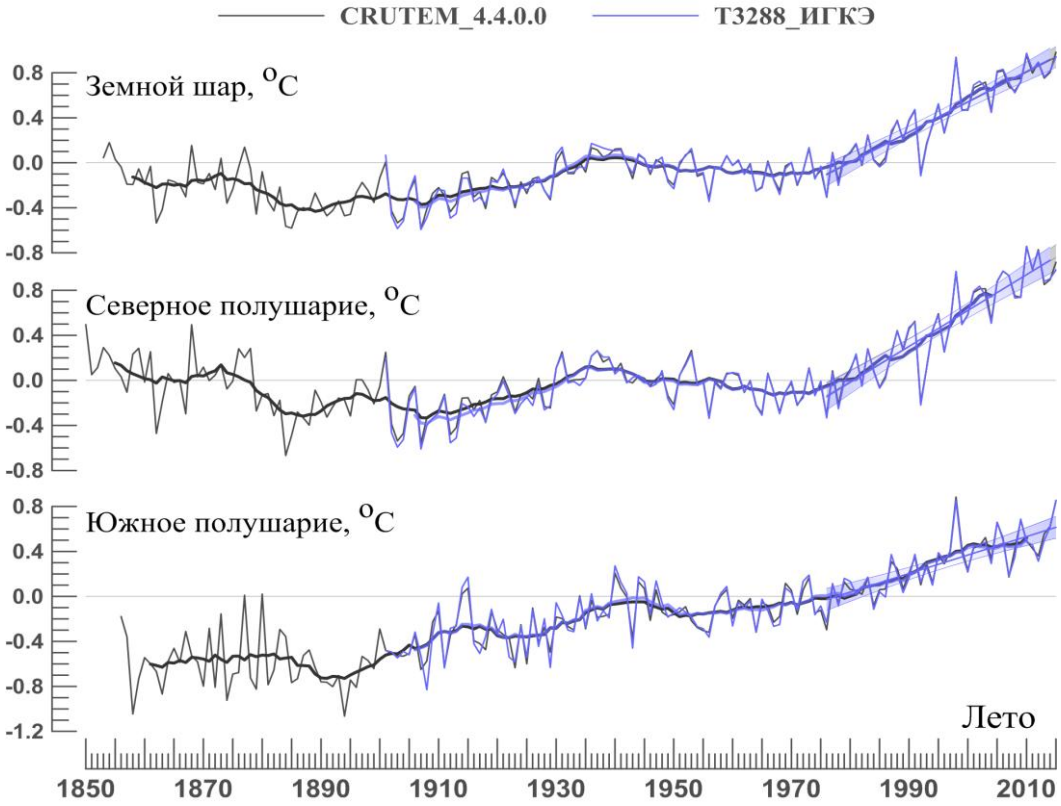


Рисунок 2.1 – Временные ряды пространственно осредненных сезонных (лето) аномалий температуры приземного воздуха (1850-2015 гг.) для Земного шара, Северного и Южного полушарий. *Использованы глобальные временные ряды CRUTEM 4.4.0.0 (Met Office UK, http://www.cru.uea.ac.uk/temperature) и станционные данные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

Как следует из табл. 2.1 для Земного шара в целом (суша+море, HadCRUT4), лето 2015 г. (аномалия 0.722°C) было самым теплым за всю историю наблюдений. За ним следуют 1998, 2014 и 2010 гг. с аномалиями 0.622, 0.608 и 0.583°C, соответственно. Рекордно теплым для Земного шара (суша+море) был каждый из месяцев летнего сезона 2015г. Летний сезон 2015 г. был самым теплым также и для суши: в среднем по Земному шару (аномалия 0.983°C по данным CRUTEM4, только суша) и по Южному полушарию (аномалия 0.855°C по данным T3288, только суша).

Из крупномасштабных региональных особенностей летнего сезона наиболее существенными являются:

- Экстремально теплый температурный режим в Тихом океане (в зоне 20-65N) отмечался в течение зимнего и весеннего периодов и сохранялся до конца текущего летнего сезона (август 2015). Как уже отмечалось в предыдущих выпусках, рекордно теплый режим установился здесь в декабре 2013 г. и, таким образом, сохраняется уже около 2-х лет подряд.

- Рекордно теплым летний сезон был в экваториальном широтном поясе и в умеренном поясе ЮП (аномалии 0.765°С и 0.566°С, соответственно). В экваториальном поясе рекордно теплыми были все месяцы сезона (в основном, за счет тропической зоны на востоке Тихого океана и в Индийском океане), а в умеренных широтах – только июнь и июль.

- Из континентов следует отметить Африку и Южную Америку, где сезонные аномалии летом текущего года (1.345 и 1.356°С, соответственно) также оказались рекордно высокими, как, впрочем, и аномалии отдельных месяцев (табл. 2.1).

Географические особенности температурного режима летом 2015 г. представлены на рисунках 2.2, 2.3, где в форме изолиний приведены пространственные распределения сезонных и месячных аномалий приземной температуры в течение истекшего сезона. На рис. 2.2 совмещены два глобальных поля сезонных аномалий температуры: вверху – над всей территорией Земного шара (по объединенным данным HadCRUT4, суша+море); внизу – только над сушей (по станционным данным T3288). Поля среднемесячных аномалий на рис. 2.3 построены по станционным данным T3288 и, соответственно, данные над океанами отсутствуют.

На всех картах кружками белого и желтого цвета указано местоположение станций (или боксов), зафиксировавших рекордное для данного сезона (месяца) значение температуры. 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.

Как видно из этих рисунков, лето 2015 г. было очень теплым во многих районах Земного шара. Рекордные значения аномалий температуры отмечались на Тихоокеанском побережье Северной Америки (аномалии выше 4°С), в северо-восточных районах и экваториальной зоне Тихого океана (аномалии до 3.1-3.4 °С). Такая ситуация, по-видимому, непосредственно связана с установившимся здесь в начале года очень сильным Эль-Ниньо[5]. В Польше и Судане на ряде станций температура перекрыла прежние рекорды – аномалия достигала здесь 4.7 и 3.8°С, соответственно. Рекордно высокие значения температуры зафиксированы также в Индийском океане, в некоторых районах Южной Америки и Африки, в южных районах Сибири и в Монголии. 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.

[5] 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).

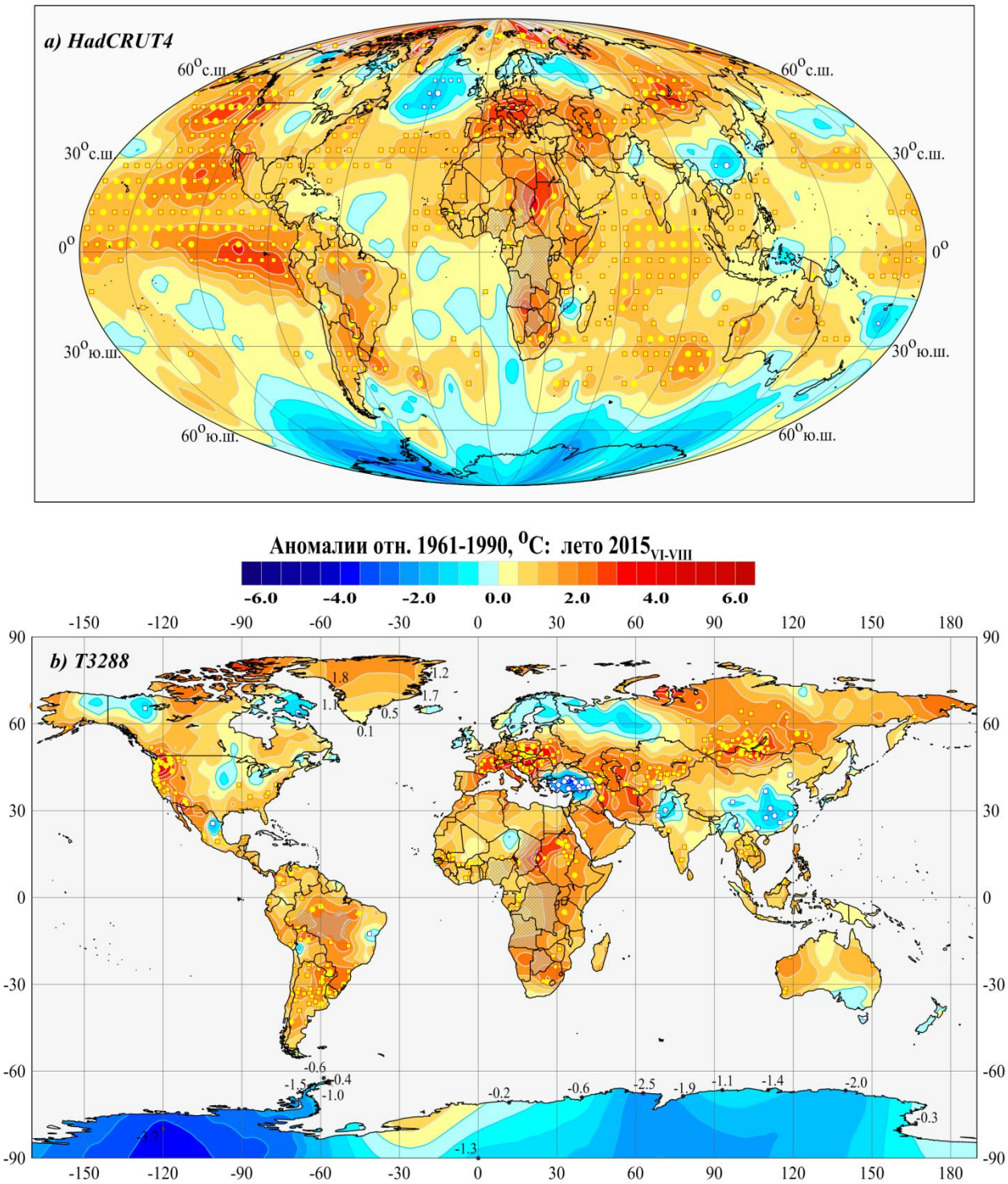


Рисунок 2.2 – Пространственное распределение сезонных аномалий приземной температуры Земного шара летом 2015 г.: *а)* по данным HadCRUT4 (MetOffice UK) в центрах 5-гпадусных боксов над сушей и океанами; *б)* - по станционным данным T3288 (ИГКЭ).

Аномалии приведены в отклонениях от средних за 1961-1990 гг. Кружками указано положение боксов/станций с рекордными значениями аномалий: белые кружки – минимумы, желтые – максимумы. Значками меньшего размера указано положение 5%-х экстремумов. Для станций Антарктиды и Гренландии, учитывая отсутствие здесь внутриконтинентальных станций, дополнительно показаны числовые значения аномалий.

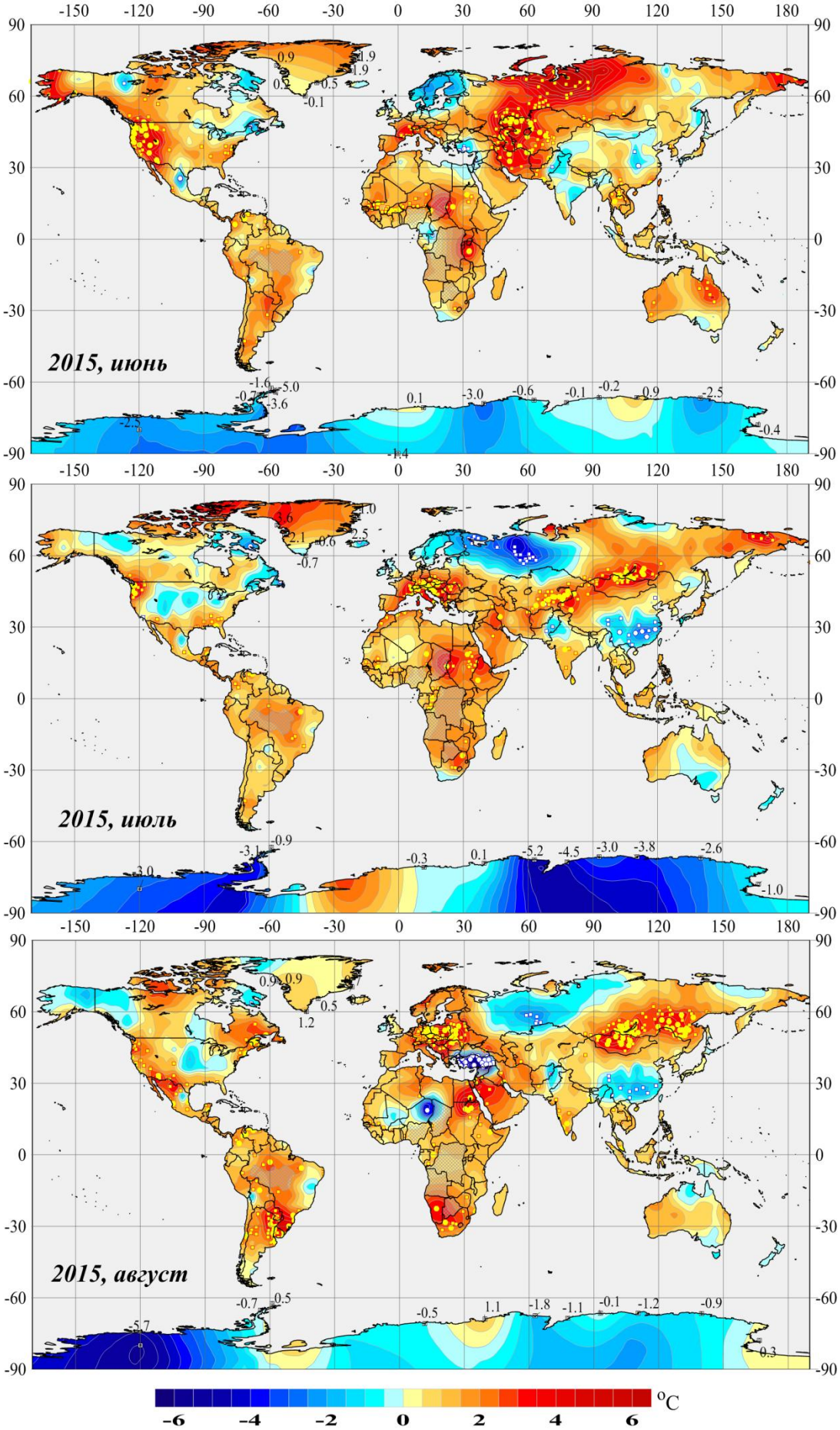


Рисунок 2.3 – См. рис. 2.2, но для средних месячных аномалий летнего сезона 2015 г. (июнь, июль, август) и только над сушей Земного шара (по данным T3288)

В течение сезона локализация наиболее значительных аномалий менялась от месяца к месяцу. **В июне** положительные аномалии температуры на западе США, в Средней Азии и Иране, близкие к рекордным, превысили 5°С. Области отрицательных аномалий находились лишь в Скандинавии, на северо-востоке Северной Америки, в Турции, Индии, на востоке Китая. Кроме того, в течение всего сезона сохранялись отрицательные аномалии температуры почти на всей территории Антарктиды.

В июле в Евразии увеличилась область тепла, с рекордными значениями аномалий температуры до 5°С в Швейцарии и Германии, до 4.5^{o}С во Франции, Греции, Италии, на юго-востоке Средней Азии, в районе Байкала и на севере Монголии. На юге Китая образовалась область холода с рекордно низкими значениями аномалий температуры. Область холода на северо-востоке Европы и в Западной Сибири значительно расширилась (без рекордных значений, но с очагом 5%-экстремумов). В Северной Америке область тепла отступила к западному побережью, уступив значительную территорию областям с температурой ниже нормы. Сохранилась и область холода в Антарктиде.

В августе области холода на севере Евразии и юге Китая значительно ослабли, но сформировалась новая область с рекордно низкими температурами на территории Турции. Новые рекорды высоких температур появились на западе Северной Америки, в Южной Америке (в Бразилии, Аргентине, Колумбии), в Западной Европе, в южных районах Сибири, в Монголии, в северо-восточных и южных районах Африки.

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

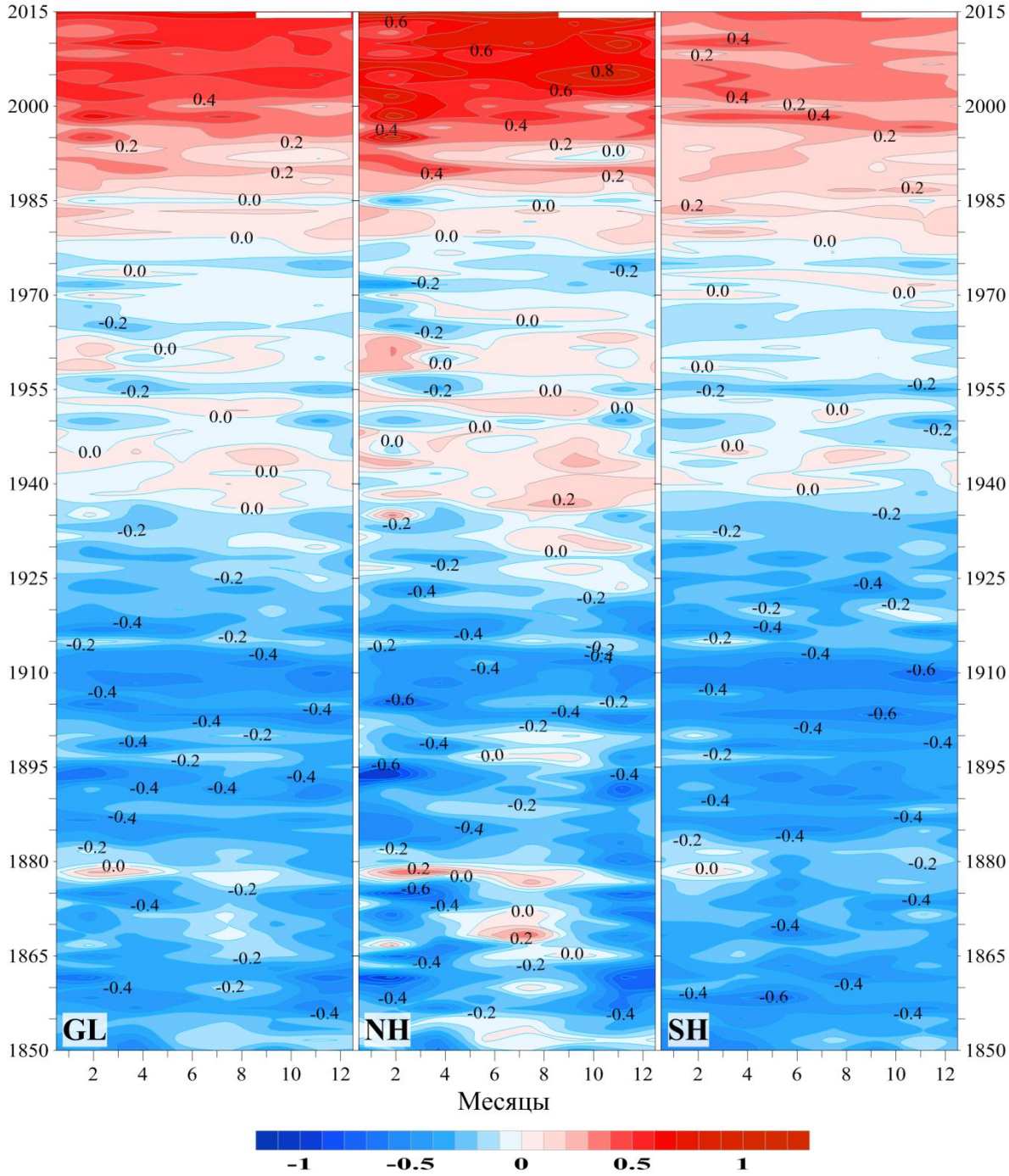


Рисунок 3.1 – Изменение средней месячной приповерхностной температуры, осредненной по территории Земного шара (слева), Северного (в центре) и Южного (справа) полушарий в течение периода с января 1850 г. по август-2015 г. (по данным HadCRUT4, Met Office UK)

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. Текущий сезон (см. рис. 3.1, $2015_{VI\text{-}VIII}$) продолжает тенденцию к потеплению: в Северном полушарии (в среднем) на уровне 2014 г., а в Южном – усилилось.

Особенности потепления летних сезонов лучше видны из рис. 3.2, на котором сравниваются временные ряды глобально осредненных сезонных аномалий температуры летнего 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, как и на рис. 3.1, 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.

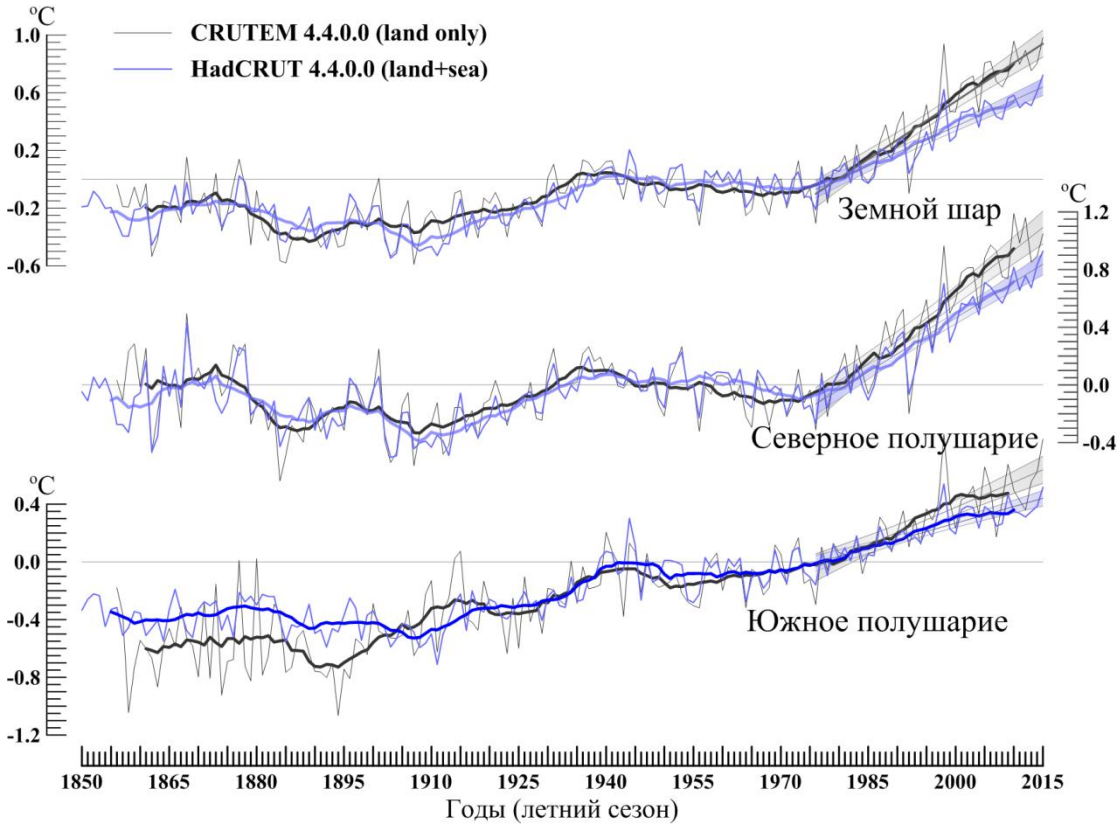


Рисунок 3.2 – Изменение пространственно осредненных сезонных аномалий приземной температуры (лето) для Земного шара (вверху), Северного (в середине) и Южного (внизу) полушарий по объединенным данным над сушей и океанами (синие кривые) и по данным только над сушей (черные кривые).

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 (за летний сезон, в среднем и по месяцам)

Регион	**1976-2015**				**1916-2015**			
	Лето	*июнь*	*июль*	*август*	*Лето*	*июнь*	*июль*	*август*
HadCRUT4 (суша+море)								
Земной шар	0.182	0.180	0.178	0.188	0.074	0.076	0.073	0.073
Северное полушарие	0.249	0.239	0.247	0.261	0.078	0.084	0.075	0.075
Южное полушарие	0.115	0.122	0.109	0.115	0.070	0.068	0.070	0.072
CRUTEM4 (суша)								
Земной шар	0.267	0.276	0.256	0.268	0.094	0.104	0.088	0.089
Северное полушарие	0.314	0.318	0.306	0.319	0.096	0.113	0.088	0.086
Южное полушарие	0.173	0.193	0.159	0.168	0.091	0.086	0.089	0.097

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

Тренд (средняя скорость) потепления за последние 40 лет составила над сушей Земного шара, Северного и Южного полушарий 0.267, 0.314, 0.173 °C/10 лет (табл. 3.1, данные CRUTEM4). По объединенным данным над всей территорией (суша+море) тренд составил только 0.182, 0.249, 0.115°C/10лет. Современное (1976-2015 гг.) потепление летних сезонов, таким образом, над сушей более значительно, чем интегрально и в Северном полушарии более значительно, чем в Южном. Межмесячные различия между оценками тренда этого периода несущественны. Соотношение полученных 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 в табл. 3.1).

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

	1976-2015	1916-2015	СП	ЮП
b_{CRUTEM}/b_{HadCRU} («суша»/«суша+море»)				
Земной шар	1.47	1.27		
Северное полушарие (СП)	1.26	1.23		
Южное полушарие (ЮП)	1.50	1.30		
$b_{СП}/b_{ЮП}$				
HadCRU (суша+море)	2.17	1.11		
CRUTEM (суша)	1.82	1.05		
$b_{1976\text{-}2015}/b_{1916\text{-}2015}$				
HadCRU (суша+море)			3.19	1.64
CRUTEM (суша)			3.27	1.90

В последние 40 лет летние сезоны в Северном полушарии теплеют быстрее, чем в Южном, примерно в два раза: на суше (по данным CRUTEM4) в 1.8 раз, на всей

территории с учетом океанов (по данным HadCRUT4) в 2.2 раза (табл. 3.2, строка $b_{СП}/b_{ЮП}$). Напомним для сравнения, что в оценках для зимнего сезона эти коэффициенты практически совпадали (k=2.1, 2.2 соответственно), а для весны разрыв между полушариями по данным HadCRUT4 существенно выше (k=3.0, 2.1). Это, по-видимому, означает, что роль континентов Северного полушария в глобальном потеплении летних сезонов несколько ниже, чем весенних. Такой вывод согласуется и с отношением трендов по данным CRUTEM4 и HadCRUT4 (табл. 3.2, строка b_{CRUTEM} /b_{HadCRU}). В частности, имеем для Северного и Южного полушарий: 1.44, 1.51 (зима); 1.48, 1.05 (весна); и 1.26, 1.50 (лето).

В сравнении с трендами 1916-2015 гг., современное потепление летних сезонов (у поверхности) в Северном полушарии ускорилось более чем в 3 раза, зимних и весенних – в 2.2-2.5 раз. В Южном полушарии это ускорение существенно ниже во все сезоны (от 1.33 до 1.90).

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 1911–2014 гг. (с шагом год). Период с января 2010 г. по август 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.

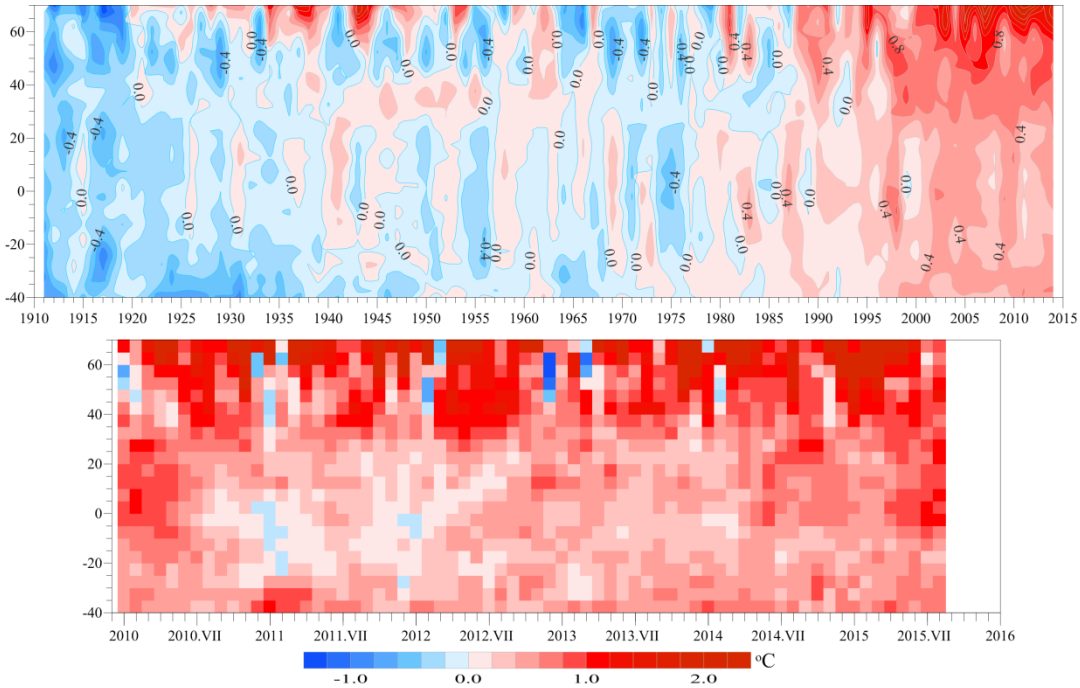


Рисунок 3.3 – Изменение с широтой (ось Y) и во времени (ось X) среднеширотных аномалий среднегодовой (вверху, 1911-2014) и среднемесячной (внизу, 2010_{I}-2015_{VIII}) температуры у поверхности Земли. *Расчет выполнен по данным MetOffice UK (HadCRUT4, суша+море) в центрах 5-градусных боксов. Базовый 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 (особенно в зимние сезоны). Во внетропических широтах СП наблюдаются эпизоды чередующихся холодных и теплых периодов, снижающие интегральную оценку годовых трендов.

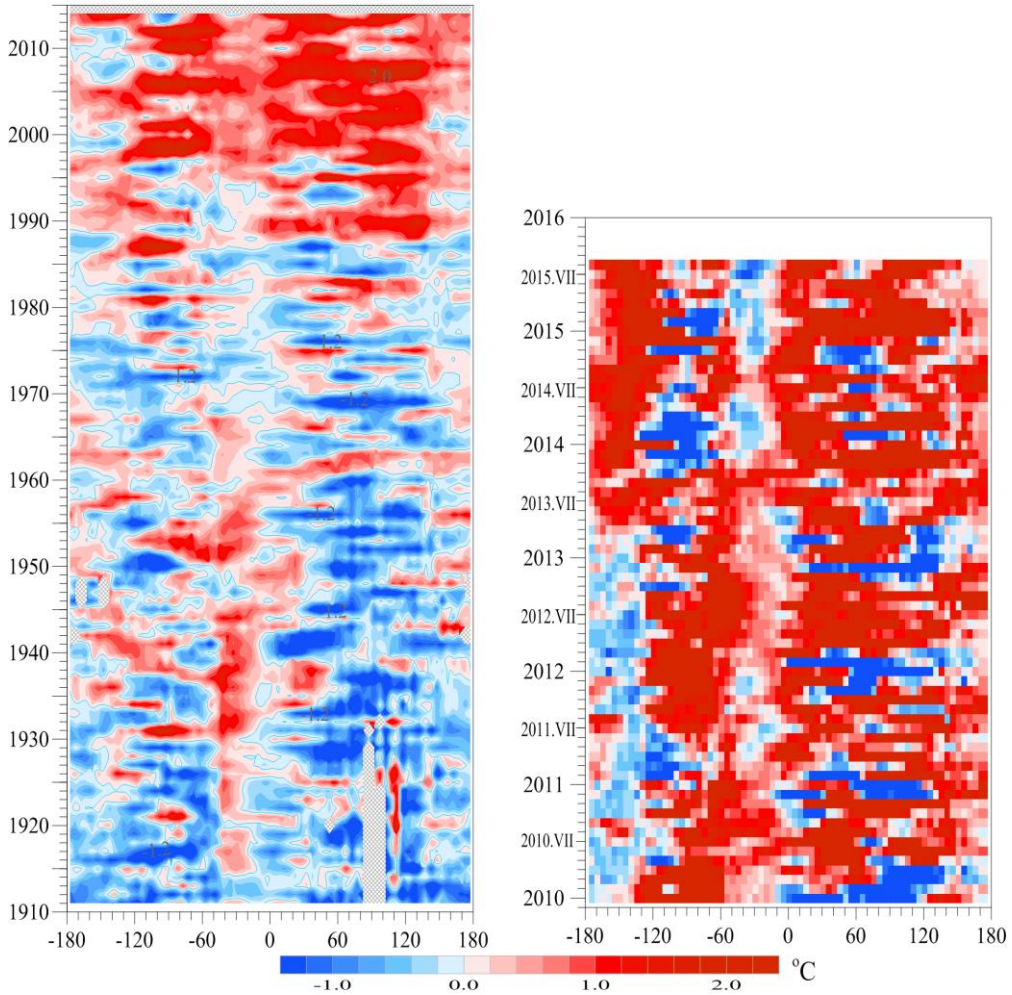


Рисунок 3.4 - Изменение с долготой (ось X) и во времени (ось Y) аномалий среднегодовой (слева, 1850-2014 гг.) и среднемесячной (справа, 2010_{I}-2015_{VIII}) температуры у поверхности Земли, осредненных вдоль каждого меридиана в широтном поясе 40-60 с.ш. *Расчет выполнен по данным Met Office UK (HadCRUT4,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

На рис. 3.4 можно отметить, что наибольший вклад в изменение температурного режима умеренных широт СП принадлежит континентам. Представляется, что можно говорить об отсутствии устойчивой тенденции к потеплению в Тихоокеанском секторе (у западного побережья Америки) и о значительном, но не одновременном, потеплении континентов. Примерно с 2010 г. в восточном регионе России скорость потепления уменьшается (за счет экстремально холодных зимних сезонов).

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

(летний сезон)

На рис. 4.1 приведены временные ряды пространственно осредненных сезонных аномалий температуры для континентов, океанов (Атлантический и Тихий в умеренных широтах Северного полушария) и основных широтных поясов земного шара. Аналогичные ряды среднемесячных аномалий (июнь, июль, август) 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.

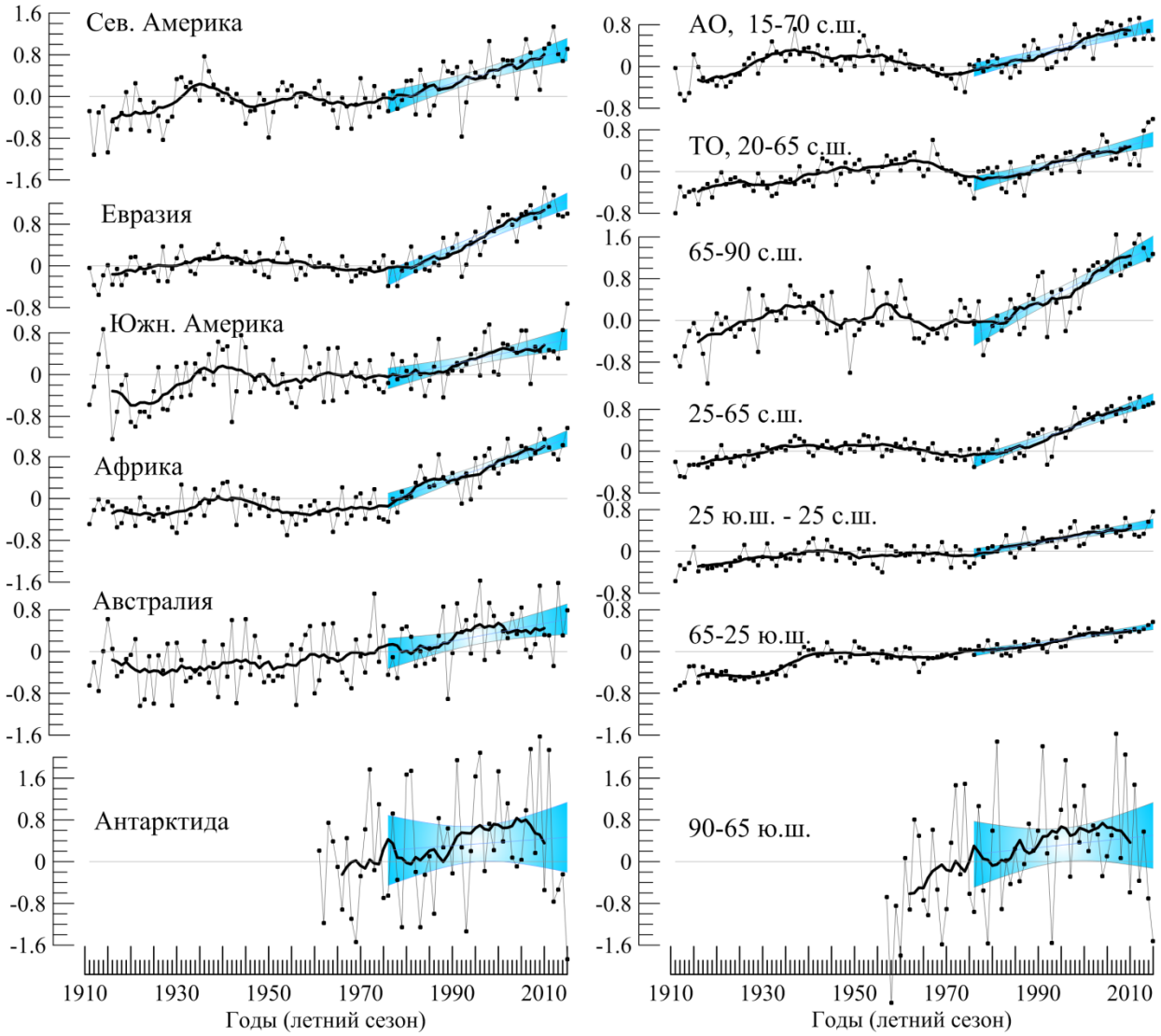


Рисунок 4.1 – Временные ряды пространственно осредненных сезонных (лето) аномалий приземной температуры для континентов (слева), северных частей Атлантического и Тихого океанов (справа вверху) и основных широтных поясов земного шара (справа внизу).

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

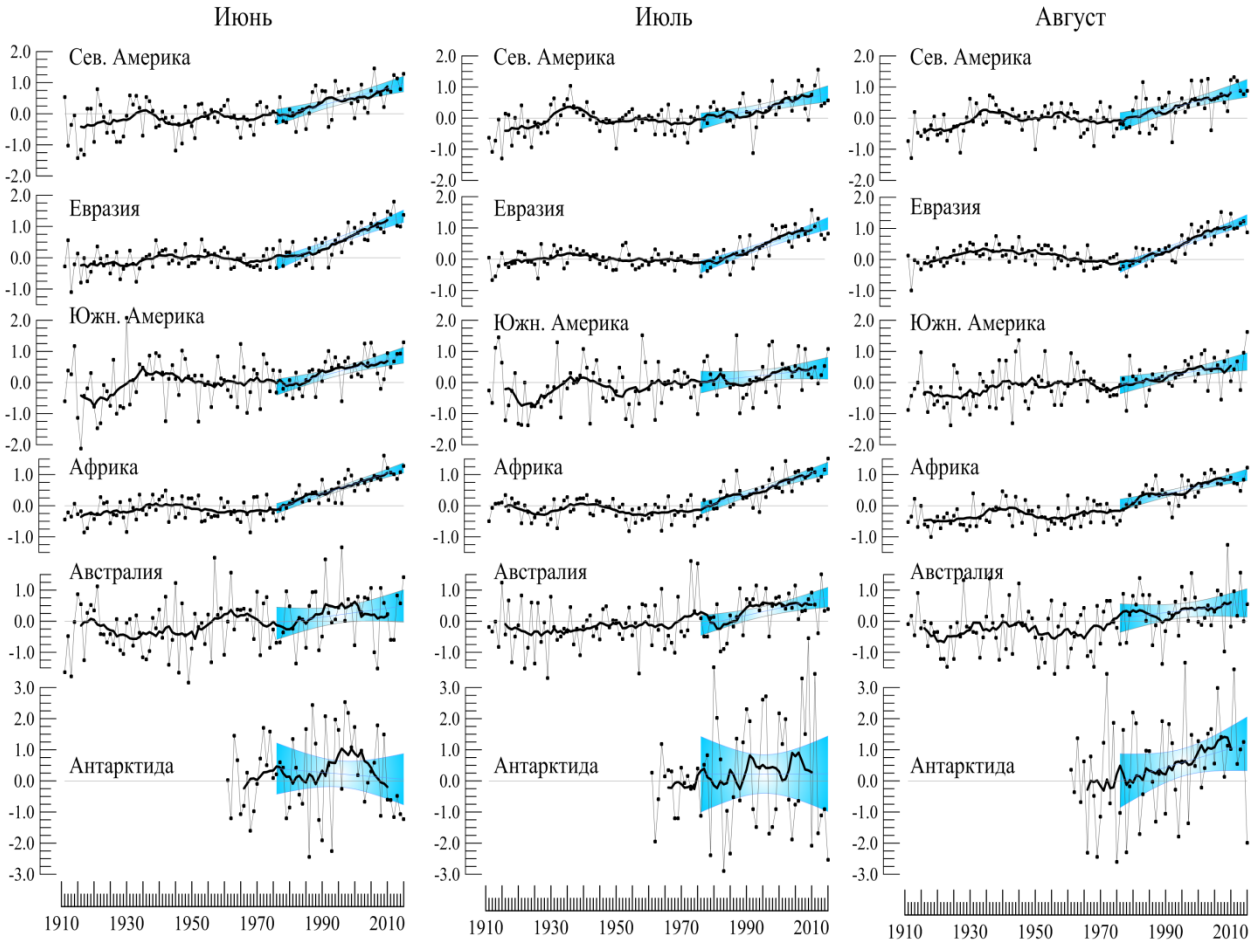


Рисунок 4.2 – См. рис. 4.1, но для средних месячных аномалий (июнь, июль, август) и только континентов. Расчеты выполнены по станционным данным T3288 и методике ИГКЭ.

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 летний сезон и по месяцам)

Регион	Лето	Июнь	Июль	Август
HadCRUT4 (суша+море)				
Атлантика (15-70N)	***0.217***	***0.187***	***0.205***	***0.256***
Тихий океан (20-65N)	***0.218***	***0.186***	***0.232***	***0.236***
Арктический пояс (65-90N)	***0.434***	***0.504***	***0.423***	***0.397***
Умеренный пояс СП (25-65N)	***0.308***	***0.284***	***0.303***	***0.336***
Тропики (25S-25N)	***0.146***	***0.151***	***0.143***	***0.145***
Умеренный пояс ЮП (65-25S)	***0.130***	***0.146***	***0.119***	***0.122***
Антарктический пояс (90-65S)	0.093	0.091	-0.023	0.223
IGCE-T3288 (суша)				
Северная Америка	***0.259***	***0.274***	***0.226***	***0.274***
Евразия	***0.377***	***0.387***	***0.356***	***0.393***
Южная Америка	***0.192***	***0.264***	0.114	***0.193***
Африка	***0.307***	***0.334***	***0.328***	***0.248***
Австралия	0.169	0.143	***0.234***	0.125
Антарктида	0.064	-0.088	0.005	0.304

Примечание: Жирным курсивом выделены оценки, статистически значимые на 1% уровне. Серой заливкой показаны оценки, статистически незначимые даже при α = 10%.

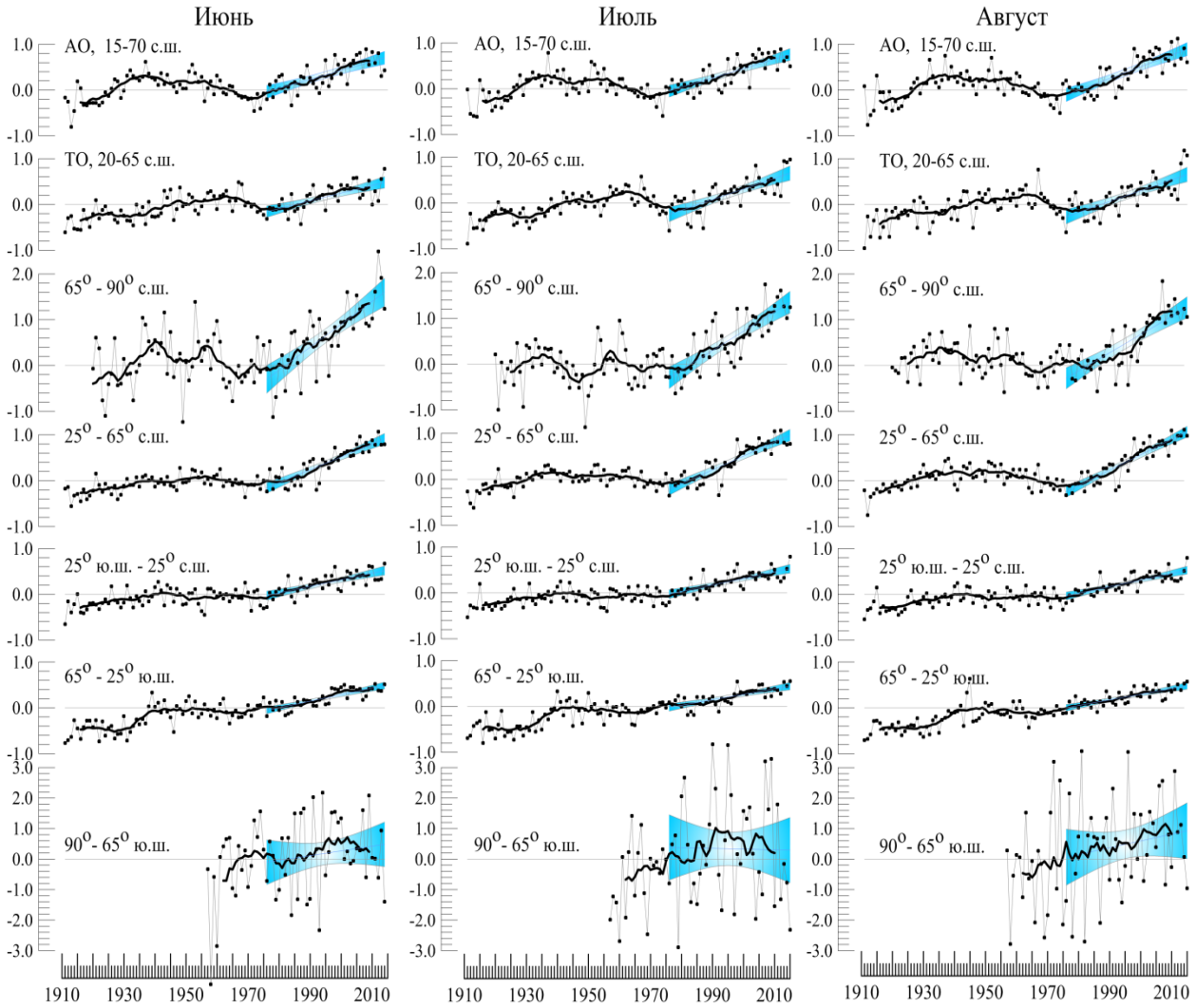


Рисунок 4.3 – См. рис.4.2, но для океанов и широтных поясов земного шара. *Расчеты выполнены по методике ИГКЭ по данным HadCRUT4 в центрах 5-градусных боксов (Met Office UK)*

В изменении температурного режима крупных регионов мира в течение 1976-2015 гг. (летний сезон) тенденция к потеплению сохраняется практически на всей территории Земного шара, кроме Антарктики (табл. 4.1). Отрицательный тренд зафиксирован здесь лишь в отдельные месяцы (притом статистически незначимый), а именно: в июне – в среднем по широтному поясу 90-65 гр. ю.ш.; и в июле - в среднем по территории Антарктиды. Тенденция к потеплению летних сезонов, статистически значимая на 1%-м уровне, отмечается во всех рассматриваемых регионах Северного полушария, в Южной Америке (кроме июля), Африке и Австралии (в июле). В регионах Антарктики (во все летние месяцы), в Австралии (в июне и августе) и в Южной Америке (в июле) однонаправленные тенденции в изменении температуры отсутствуют (тренды статистически незначимы даже при α=10%).

Как и в другие сезоны, наиболее значительный тренд в изменении летних температур отмечается в зоне арктических и умеренных широт Северного полушария (90-25 гр. с.ш.), в том числе в среднем по территории Евразии.

5. ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА ЗЕМНОГО ШАРА, 1976-2015 гг. (летний 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 Т3288. Распределения аналогичных оценок для отдельных месяцев приведены на рис. 5.2 только для суши (по данным Т3288).

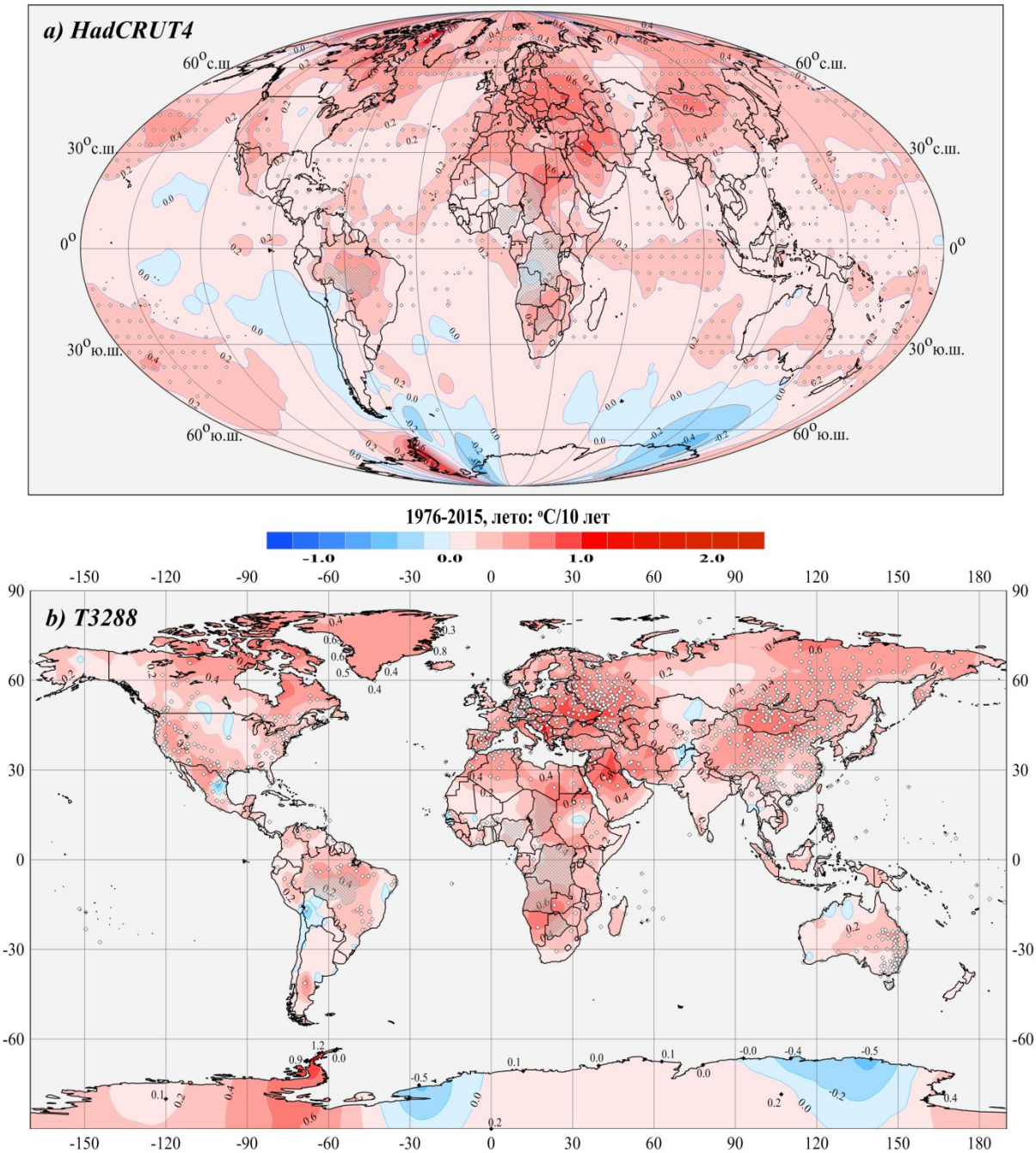


Рисунок 5.1 - Пространственное распределение коэффициентов линейного тренда средней за летний сезон приземной температуры за период 1976-2015 гг. (°C/10 лет).

Использованы данные: а) HadCRUT4, Met Office UK (данные в центрах 5-градусных боксов над континентами и океанами);б) Т3288, ИГКЭ (данные на сети 3288 станций, суша). Для станций Антарктиды и Гренландии показаны числовые значения коэффициентов тренда. Кружками выделены боксы/станции, на которых тренд статистически значим на 1%-м уровне.

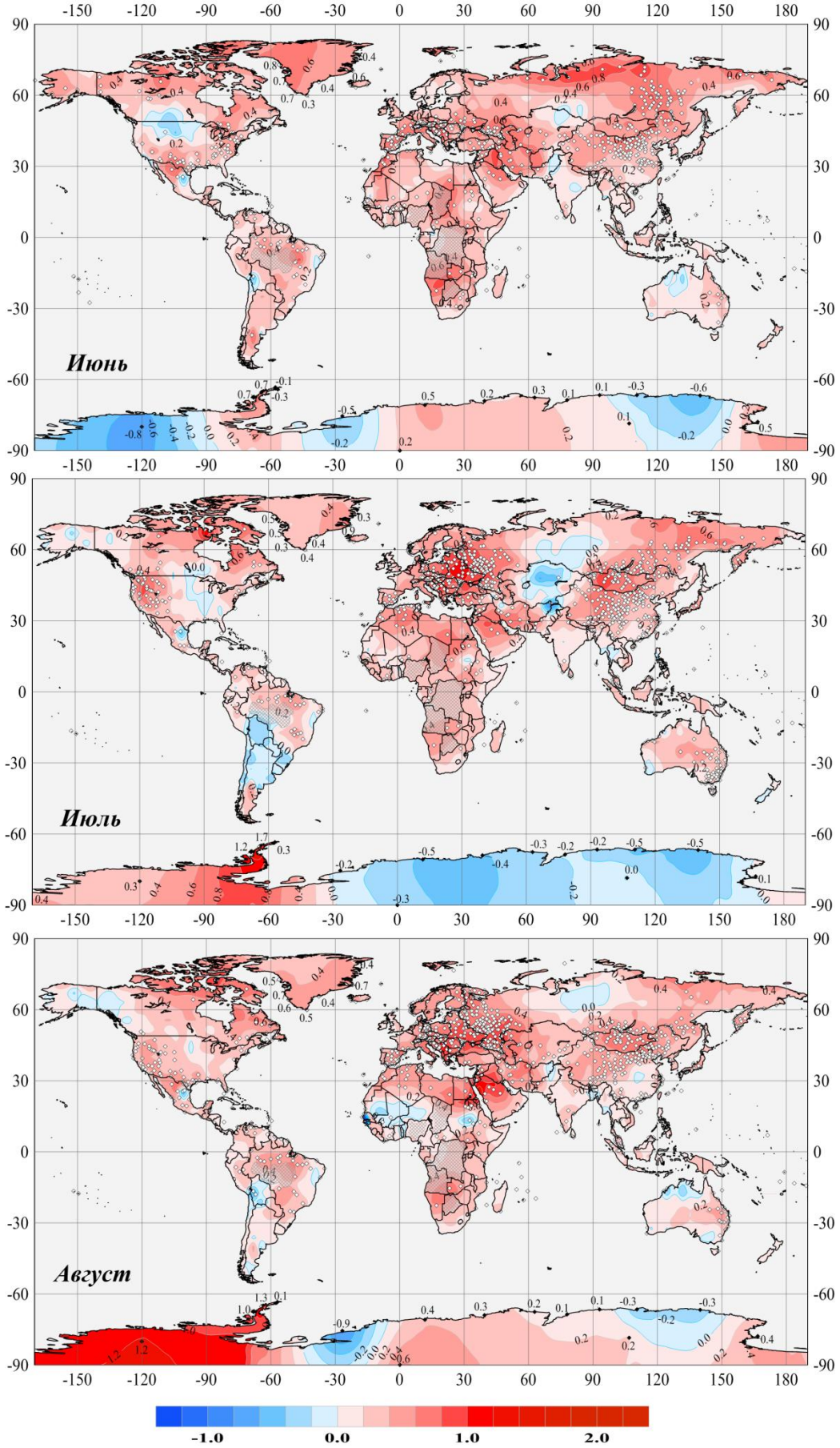


Рисунок 5.2 – См. рис. 5.1, но для коэффициентов линейного тренда средней месячной температуры над сушей земного шара (июнь, июль, август). Расчет выполнен по станционным данным ИГКЭ Т3288 (только суша) за 1976-2015 гг.

В сравнении с 1976-2014 гг., глобальная картина трендов в изменении температурного режима летних сезонов последних 40 лет изменилась незначительно. По данным за 1976-2015 гг. (рис. 5.1), по-прежнему, на большей части земного шара выявляется потепление летних сезонов, статистически значимое на 1%-м уровне. Но во многих районах (в северной и центральной Сибири, в Гренландии, на западе и севере Австралии) потепление слабое и статистически незначимое.

Наибольшая скорость роста температуры в течение всех трех летних месяцев отмечается в центральной Европе (0.8-1.0 ^{o}C/10лет), в юго-восточных районах Евразии, на юго-востоке Австралии, в некоторых районах Северной и Южной Америки и Африки.

Небольшие области слабого похолодания отмечаются в июне на юге Сибири и севере Казахстана; в июле похолодание усиливается и распространяется на территорию Западной Сибири и Средней Азии. Похолодание проявляется также в Северной и Южной Америке (в июле), на севере Австралии (в августе), в Антарктиде и Антарктических морях и в Тихом океане у западного побережья Южной Америки (в течение всего сезона). Но во всех областях тренд похолодания статистически незначим.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. По данным HadCRUT4 («суша+море»), лето 2015 г. было самым теплым за всю историю наблюдений (аномалия 0.722°С). За ним следуют 1998, 2014 и 2010 гг. с аномалиями 0.622, 0.608 и 0.583°С. Среднемесячная аномалия глобальной температуры («суша+море») в каждом из месяцев сезона перекрыла прежний максимум.

Летний сезон текущего года был самым теплым также и по данным только для суши (температура приземного воздуха). Так, по данным CRUTEM4 лето 2015 г. оказалось рекордно теплым в среднем по территории Земного шара (аномалия 0.983°С). По данным T3288 лето 2015 г. оказалось самым теплым летним сезоном в среднем по Южному полушарию (аномалия 0.855°С).

2. Рекордно теплым летний сезон был в экваториальном широтном поясе и в умеренном поясе Южного полушария (аномалии 0.765°С и 0.566°С, соответственно). В экваториальном поясе рекордно теплыми были все месяцы сезона (в основном, за счет тропической зоны на востоке Тихого океана и в Индийском океане). Такая ситуация, по-видимому, непосредственно связана с установившимся в начале года очень сильным Эль-Ниньо, который по оценкам ВМО может войти в четверку самых сильных Эль-Ниньо с 1950 года (см. www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcasp/enso_update_latest.html, от 16.11.2015)

3. В северной части Тихого океана (20-65N) рекордно высокие аномалии температуры наблюдались в течение всего текущего сезона (во все летние месяцы). Как уже отмечалось в предыдущих выпусках, экстремально теплый режим установился здесь в декабре 2013 г. и с тех пор непрерывно сохраняется уже около 2-х лет подряд.

Из континентов следует отметить Африку и Южную Америку, где сезонные аномалии, в среднем по территории, летом текущего года также оказались рекордно высокими (1.345 и 1.356 °С, соответственно), как и аномалии отдельных месяцев.

4. Во многих районах Земного шара установлены новые рекордные значения месячных и сезонных аномалий температуры: на Тихоокеанском побережье Северной Америки, в северо-восточных и тропических районах Тихого океана, в Индийском океане, в Южной Америке, в Африке, в южных районах Сибири и в Монголии. 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 также зафиксированы новые рекордные минимумы.

5. Современное (1976-2015 гг.) потепление летних сезонов над сушей более значительно, чем интегрально, и в Северном полушарии более значительно, чем в Южном. Так, тренд (средняя скорость) потепления глобальных температур за последние 40 лет по объединенным данным HadCRUT4 («суша+море») составил 0.182, 0.249, 0.115 оС/10лет (для Земного шара, СП и ЮП). По данным CRUTEM4 («только суша») соответствующие оценки в 1.2-1.5 раз выше и составляют 0.267, 0.314, 0.173 °С/10 лет. Внутрисезонные различия между оценками тренда этого периода несущественны. В Северном полушарии (у поверхности) современное потепление летних сезонов, в сравнении с трендами столетия 1916-2015 гг., ускорилось, в среднем, более чем в 3 раза, а в Южном полушарии – лишь в 1.6-1.9 раз.

6. По данным за 1976-2015 гг., как и в 1976-2014, на большей части земного шара выявляется потепление летних сезонов, статистически значимое на 1%-м уровне. Но во

многих районах (в северной и центральной Сибири, в Гренландии, на северо-западе Австралии) потепление слабое и статистически незначимое. Наибольшая скорость роста температуры в течение всех трех летних месяцев отмечается в центральной Европе (0.8-1.0 ^{o}C/10лет), в юго-восточных районах Евразии, на юго-востоке Австралии, в некоторых районах Северной и Южной Америки и Африки. Области похолодания обнаруживаются в Западной Сибири и Средней Азии (в июне-июле), в Северной и Южной Америке (в июле), на севере Австралии (в августе), в Антарктике и в Тихом океане у западного побережья Южной Америки (в течение всего сезона). Но во всех этих областях отрицательный тренд статистически незначим.

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