

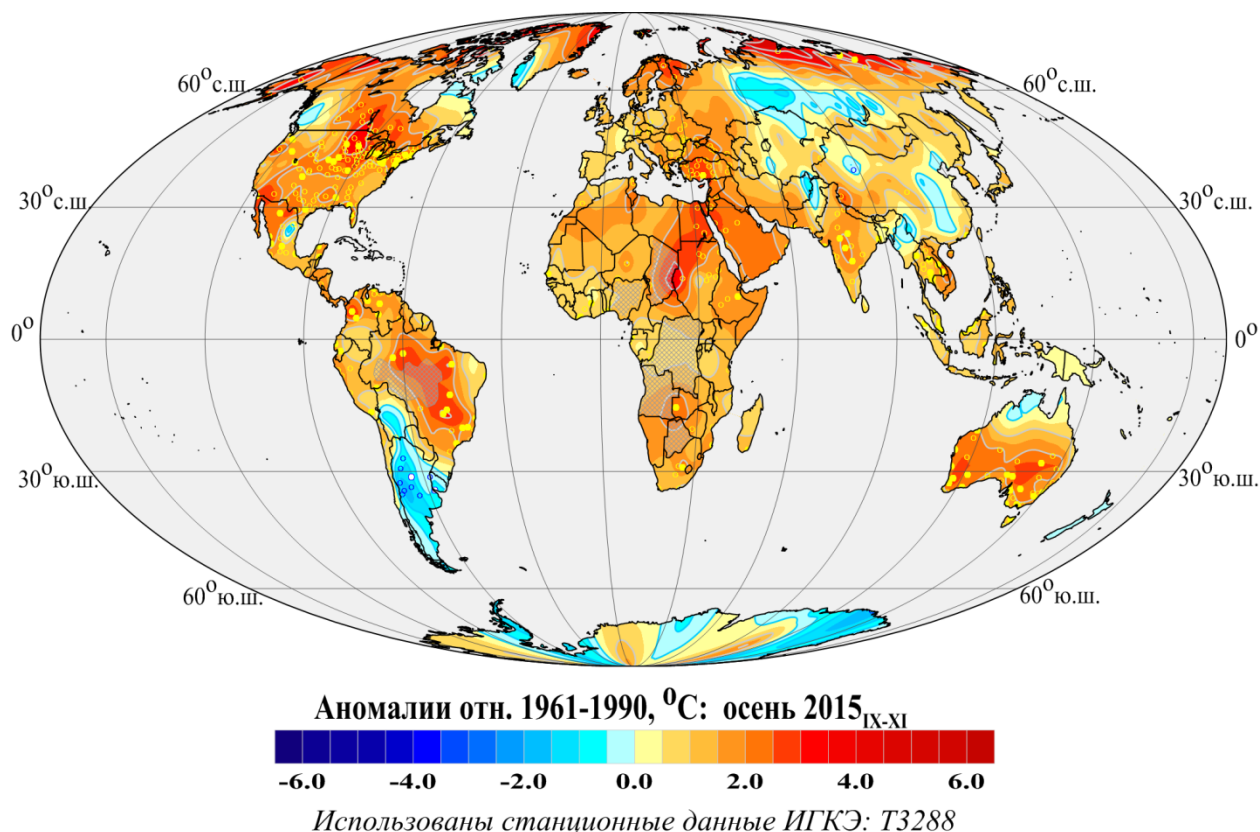
Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу  
окружающей среды

ФГБУ «Институт глобального климата и экологии  
Росгидромета и РАН»

# Бюллетень мониторинга изменений климата Земного шара

## Приземная температура

### Осень 2015



Москва 2015

ОГЛАВЛЕНИЕ<sup>1,2</sup>

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

---

<sup>1</sup> 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»

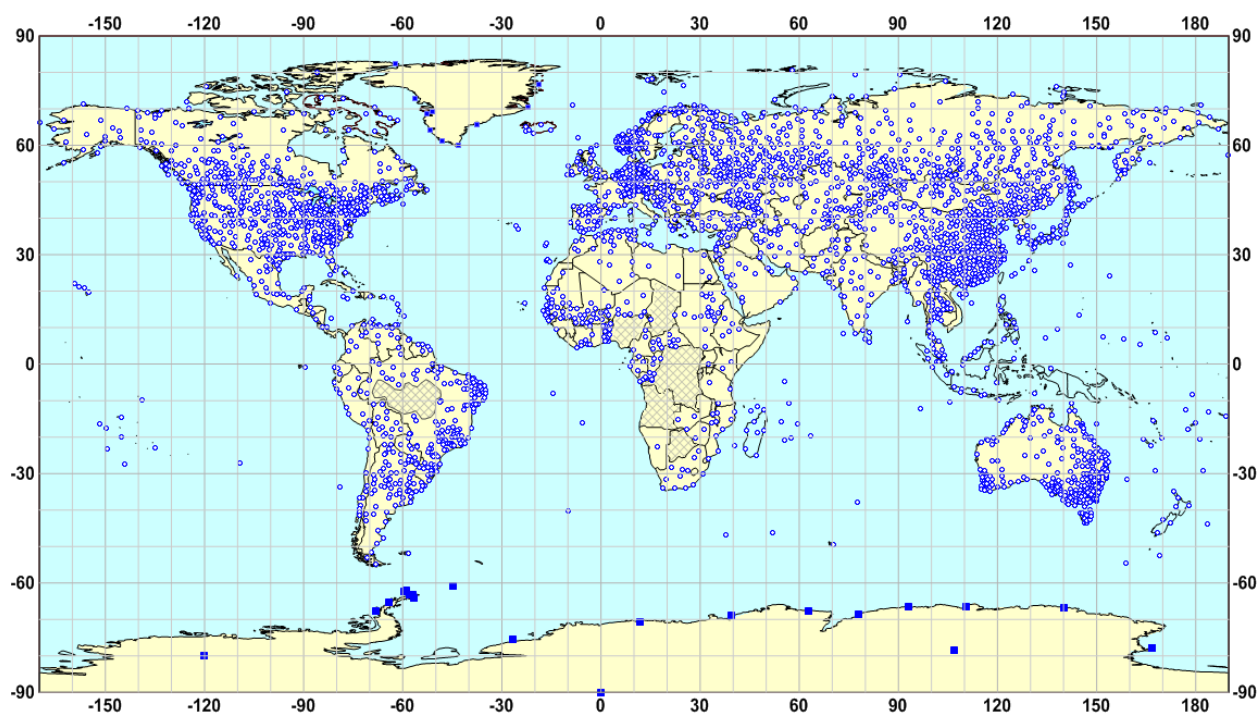
<sup>2</sup> На обложке приведено поле сезонных аномалий температуры приземного воздуха над сушей Земного шара (осень 2015 г.)

## 1. ВВЕДЕНИЕ

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 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.)<sup>3</sup>.

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).

<sup>3</sup> Данные представляют усредненную 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 стационарных 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.MetOffice.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, стационарные 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 стационарные аномалии внутри каждого образовавшегося бокса (ячейки сетки), после чего для каждого региона выполняется осреднение попавших в него ячейных 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 превышения). В поле аномалий выделяются ареалы осуществления *климатических экстремумов*, под которыми понимаются значения, попавшие в  $p\%$ -е «хвосты» распределения, т.е. значения с вероятностью превышения  $P \leq p\%$  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). В ряде случаев приводятся также оценки тренда за последние 100 лет

(«вековые»). Вероятности превышения 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 стационарные данные ИГКЭ (массив T3288). Однако глобальные оценки (в среднем для Земного шара и полушарий) и временные ряды приводятся для сравнения по обеим методикам – ИГКЭ и Hadley/CRU (см. строки CRUTEM4 и IGCE в табл.2.1 и временные ряды на рис. 2.1).

Репрезентативность предлагаемых оценок подтверждается, в значительной мере, близостью глобальных временных рядов аномалий температуры над сушей, публикуемых Hadley/CRU и рассчитанных по методике и данным ИГКЭ<sup>4</sup>. Эти ряды для осеннего сезона представлены на рис. 2.1, а в табл. 2.1 им соответствуют строки CRUTEM4 и IGCE.

---

<sup>4</sup> По оценкам авторов, среднее различие между оценками среднегодовой глобальной температуры над сушей по методикам Hadley/CRU и ИГКЭ составляет: для Земного шара в целом  $0.003 \pm 0.023$  °С (среднее  $\pm$  сигма за 1901-2014), для полушарий  $0.012 \pm 0.021$  (СП) и  $0.003 \pm 0.028$  (ЮП). См. 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 ОСЕНЬЮ 2015 г.  
ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ АНОМАЛИИ**

Анализируются характеристики приземного температурного режима осенью 2015 года 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 осенью 2015 г. и соответствующие значения эмпирической функции распределения (вероятности неперевышения).

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

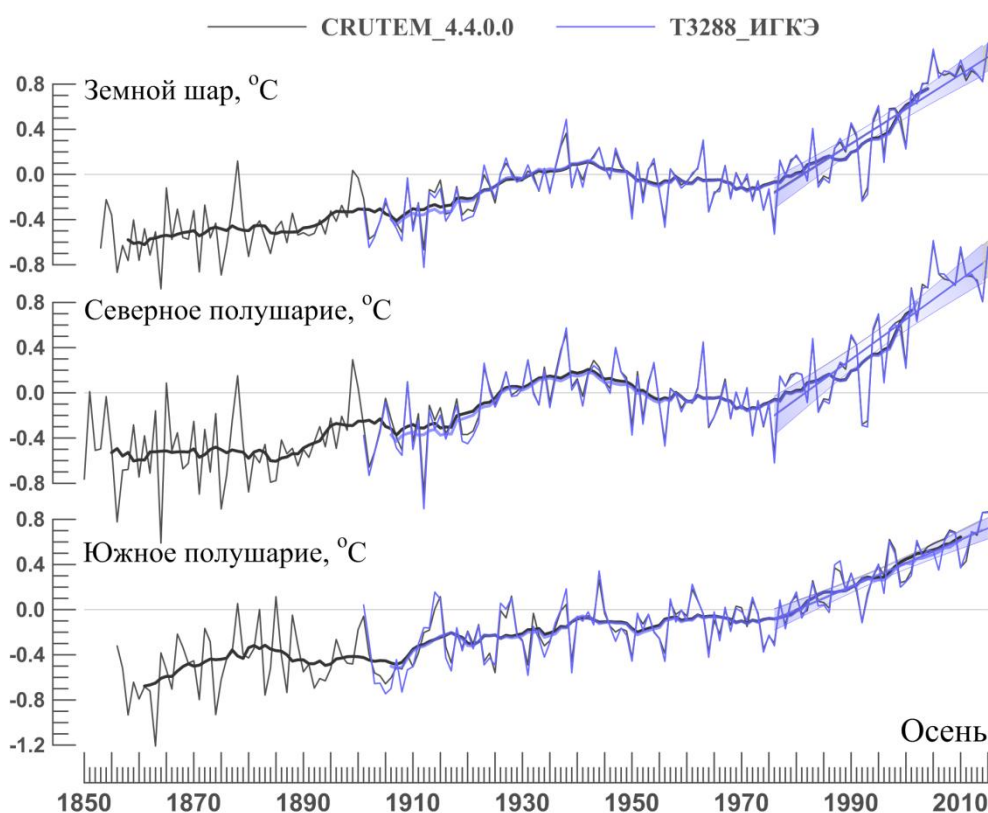
Регион	Осень		Сентябрь		Октябрь		Ноябрь	
	$vT_{2015}$	F%	$vT_{2015}$	F%	$vT_{2015}$	F%	$vT_{2015}$	F%
<b><i>HadCRUT4 (суша+море)</i></b>								
Земной шар*	<b>0.800</b>	<b>100</b>	<b>0.785</b>	<b>100</b>	<b>0.811</b>	<b>100</b>	<b>0.804</b>	<b>100</b>
Северное полушарие*	<b>1.068</b>	<b>100</b>	<b>1.078</b>	<b>100</b>	<b>1.050</b>	<b>100</b>	<b>1.076</b>	<b>100</b>
Южное полушарие*	<b>0.534</b>	<b>100</b>	0.491	99	<b>0.574</b>	<b>100</b>	0.536	100
Атлантика (15-70N)	0.731	94	0.756	93	0.795	95	0.647	94
Тихий океан (20-65N)	<b>0.899</b>	<b>100</b>	0.823	99	<b>0.959</b>	<b>100</b>	<b>0.911</b>	<b>100</b>
Арктический пояс (65-90N)	1.870	93	1.446	96	1.647	87	2.628	94
Умеренный пояс СП (25-65N)	0.978	98	1.016	99	0.949	96	0.965	94
Тропики (25S-25N)	<b>0.934</b>	<b>100</b>	<b>0.901</b>	<b>100</b>	<b>0.953</b>	<b>100</b>	<b>0.949</b>	<b>100</b>
Умеренный пояс ЮП (65-25S)	0.405	096	0.381	92	0.533	99	0.320	90
Антарктический пояс (90-65S)	-0.309	038	-1.579	22	0.280	58	0.120	51
<b><i>CRUTEM4 (суша)</i></b>								
Земной шар*	<b>1.148</b>	<b>100</b>	<b>1.042</b>	<b>100</b>	<b>1.176</b>	<b>100</b>	<b>1.226</b>	<b>100</b>
Северное полушарие*	1.289	99	<b>1.233</b>	<b>100</b>	1.232	98	1.402	97
Южное полушарие*	<b>0.866</b>	<b>100</b>	0.658	94	<b>1.066</b>	<b>100</b>	<b>0.874</b>	<b>100</b>
<b><i>IGCE-T3288 (суша)</i></b>								
Земной шар	<b>1.164</b>	<b>100</b>	<b>1.067</b>	<b>100</b>	<b>1.178</b>	<b>100</b>	1.273	99
Северное полушарие	1.293	99	<b>1.246</b>	<b>100</b>	1.226	99	1.418	98
Южное полушарие	<b>0.860</b>	<b>100</b>	0.629	93	<b>1.065</b>	<b>100</b>	<b>0.919</b>	<b>100</b>
Северная Америка	<b>1.804</b>	<b>100</b>	1.692	99	1.562	97	2.139	96
Евразия	1.021	89	1.044	95	0.901	82	1.135	87
Южная Америка	0.913	99	1.370	99	0.698	89	0.822	98
Африка	<b>1.426</b>	<b>100</b>	<b>1.625</b>	<b>100</b>	<b>1.858</b>	<b>100</b>	0.939	91
Австралия	1.518	99	0.180	61	<b>2.658</b>	<b>100</b>	1.713	97
Антарктида	-0.060	47	-0.493	34	0.162	49	-0.048	48

Условные обозначения (пояснения см. в тексте):

1.  $vT_{2015}$ , °C – наблюдаемая аномалия за сезон/месяц 2015 г. (относительно 1961-1990 гг.);
2. F% – значение функции распределения  $F = \text{prob}(X \leq vT_{2015})$  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 по методике и данным ИГКЭ для осеннего сезона (см. рис. 2.1 и строки CRUTEM4 и IGCE-T3288 в табл. 2.1), как и для предшествующих сезонов (см. бюллетени GCCM-2015-зима, весна, лето), свидетельствует о хорошем согласии полученных результатов.



**Рисунок 2.1** – Временные ряды пространственно осредненных сезонных (осень) аномалий температуры приземного воздуха ( $^{\circ}\text{C}$ , 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 по методике ИГКЭ Росгидромета и РАН). Показаны 11-летние скользящие средние, линейные тренды за 1976-2015 гг. и их 95%-е доверительные интервалы*

Как следует из табл. 2.1, осень 2015 г. на территории Земного шара оказалась рекордно теплой за всю историю наблюдений сразу по ряду показателей:

- Аномалия глобальной температуры перекрыла прежние максимумы как по объединенным данным над континентами и океанами (HadCRUT4), так и по данным только над сушей (CRUTEM4, T3288). При этом рекордно теплым оказался не только сезон в целом (аномалия по трем указанным источникам 0.800, 1.148 и 1.164 $^{\circ}\text{C}$ ), но и каждый из осенних месяцев (см. табл. 2.1)

- Аномалия приземной температуры Северного полушария по данным HadCRUT4, т. е. в среднем по всей территории полушария, над сушей и океанами, осенью 2015 г. достигла рекордных значений в среднем за сезон и в каждом из месяцев (1.068, 1.078, 1.050, 1.076 °C). По данным только над сушей рекордно теплым был лишь сентябрь с аномалиями 1.233 °C (CRUTEM4), 1.246 °C (T3288).

- В Южном полушарии осень 2015 г. оказалась самым теплым сезоном в истории наблюдений как в среднем по всей территории (HadCRUT4, 0.534 °C), так и только над сушей (CRUTEM4, 0.866; T3288, 0.860 °C). Из месяцев рекордно теплым был октябрь по всем трем источникам данных (0.574, 1.066, 1.065 °C) и ноябрь – только над сушей (0.874, 0.919 °C).

- Из отдельных регионов выделяются: по данным HadCRUT4 – тропики и северная часть Тихого океана (сезонные аномалии 0.934°C и 0.899°C); по данным *только над сушей* (T3288) – Африканский континент с аномалиями 1.426 (сезон), 1.625 (сентябрь), 1.858 (октябрь) и Австралия (аномалия 2.658°C, октябрь).

- Ниже климатической нормы осенняя температура, в среднем по рассматриваемым крупным территориям, была лишь в Антарктике, как в целом по широтному поясу (по данным HadCRUT4), так и по Антарктиде (по данным T3288). Здесь сезонные аномалии были равны -0.309, -0.060 °C. Самый холодный месяц – сентябрь (-1.579, -0.493 °C)

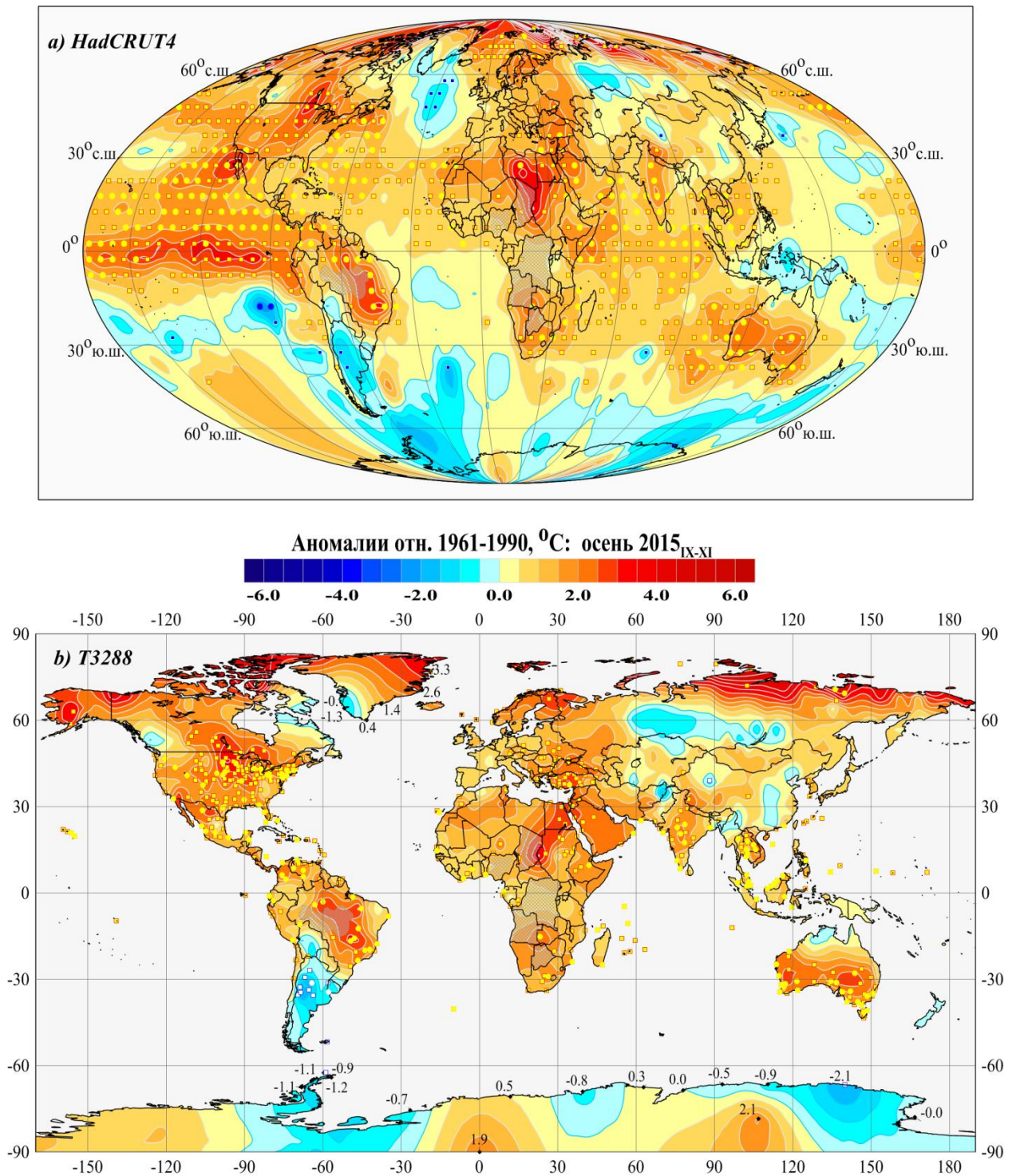
Географическое распределение осенних аномалий температуры на территории Земного шара представлено на рисунках 2.2 и 2.3 в форме полей изолиний. На рис. 2.2 совмещены два поля сезонных аномалий температуры: сверху – над всей территорией Земного шара (по объединенным данным HadCRUT4, суша+море); внизу - только над сушей (по данным станций T3288). Глобальные 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 экстремальных значений температуры – рекордный минимум или рекордный максимум, не наблюдавшиеся ранее (с 1911 г.). 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, осень 2015 г. была очень теплой, с многочисленными экстремумами во многих районах земного шара, в том числе в тропической зоне Тихого океана и в Северной Атлантике, вблизи берегов Северной Америки и Африки, и в Индийском океане. Уже на протяжении года сохраняются экстремальные положительные аномалии температуры на востоке Тихого океана в северном полушарии. На континентах сезонные рекордно высокие температуры осуществились также над центральными и южными районами Северной Америки и на востоке Южной Америки. В этих районах рекордные суточные экстремумы достигали отметок: 35.0°C (Филадельфия, США), 35.6°C (Рединг, США), 42.7 °C (Коро, Венесуэлла), 38.8 °C (Гойания, Бразилия). На многих станциях центральной Европы, Африки, Индии, Индонезии и Австралии осенний сезон 2015 г. попал в 5% самых теплых сезонов с 1911 г.

В то же время на юге Южной Америки сформировалась обширная область отрицательных аномалий, попавших в 5%-х самых низких осенних температур. Вторая достаточно обширная область отрицательных, но слабых по интенсивности аномалий сформировалась на юге Сибири. Ниже нормы температура была также на большей части береговых станций Антарктиды; на двух из них – Дюмон-д'Юрвиль и Акад. Вернадский



(б. Фарадей) сезон попал в 5% самых холодных. Незначительные отрицательные аномалии отмечены в отдельных районах на юге Евразии и на севере Австралии.



**Рисунок 2.2** – Пространственное распределение сезонных аномалий приземной температуры (°C) на территории Земного шара осенью 2015 г.: а) 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. 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.

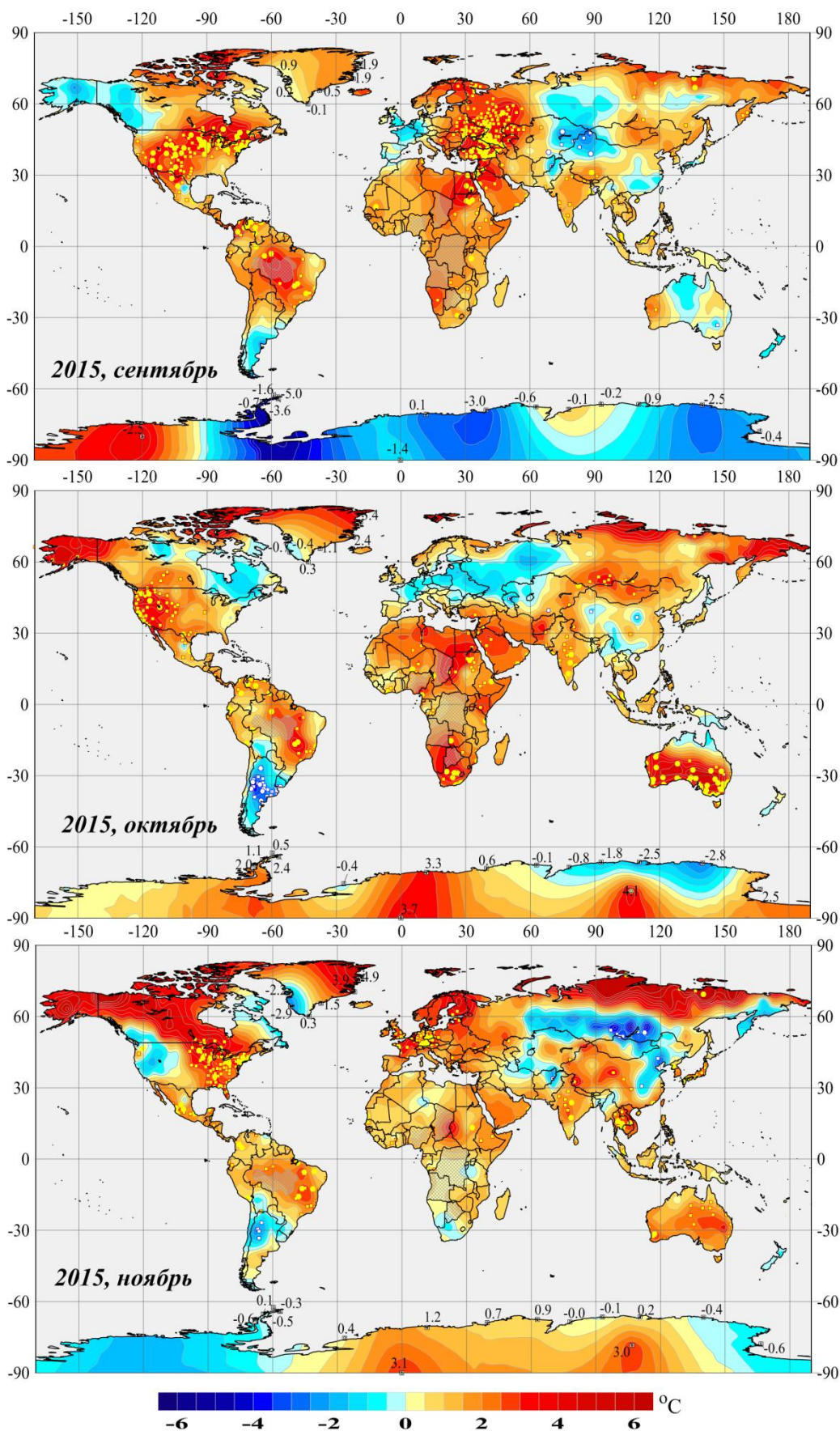


Рисунок 2.3 – См. рис. 2.2, но для средних месячных аномалий осеннего сезона 2015 г. и только над сушей Земного шара (по данным T3288)

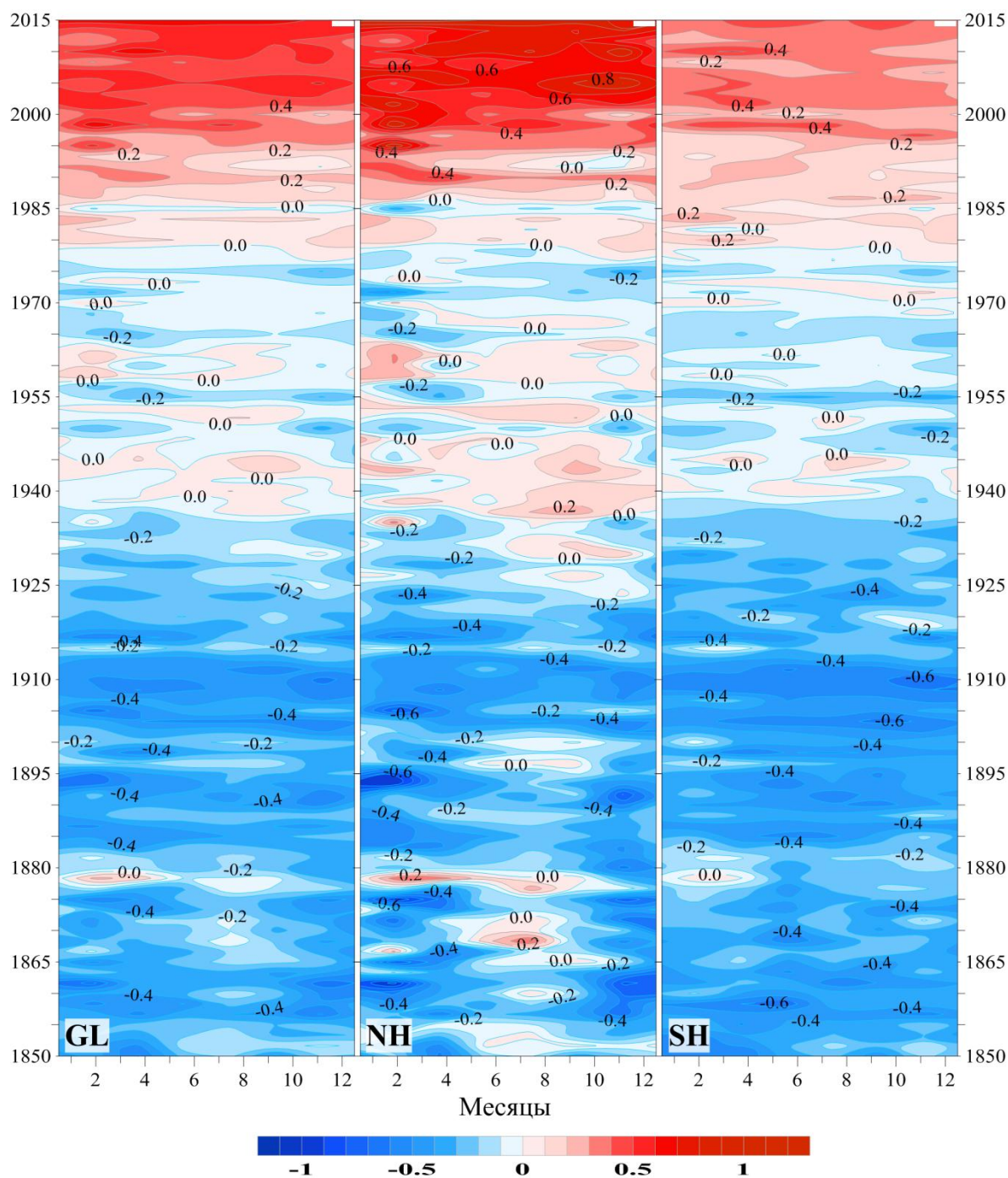
Рекордные аномалии, наблюдавшиеся в течение хотя бы двух месяцев, сопровождались рекордами суточных максимумов температуры в Индонезии (38.8°C), Малазии (34.2 °C), Африке (36.5 °C), Австралии (40.7 °C). В Сибири положительные аномалии температуры достигали рекордных значений лишь на крайнем севере, где на отдельных островах температура превышала норму на 7-8 °C.

Самым теплым (по величине аномалии) месяцем в среднем по всей территории Земного шара оказался октябрь (0.811°C, *HadCRUT4*). Однако для суши Земного шара наибольшая (из 3-х месяцев) аномалия по обоим источникам данных, *CRUTEM4* и *T3288*, наблюдалась в ноябре (1.226, 1.273 °C). При этом по данным *T3288* глобальная температура ноября в 2015 г. не была рекордной, а лишь второй после самого теплого 2010 г. (1.279 °C).

В сентябре 2015 г. самое высокое на Земном шаре значение аномалии среднемесячной температуры 7.3 °C зафиксировано на станции Аэропорт Олайя Эррера в Колумбии, в октябре (7.0-7.8 °C) и ноябре (14.0-14.8 °C) – на станциях Крайнего Севера России. 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.

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

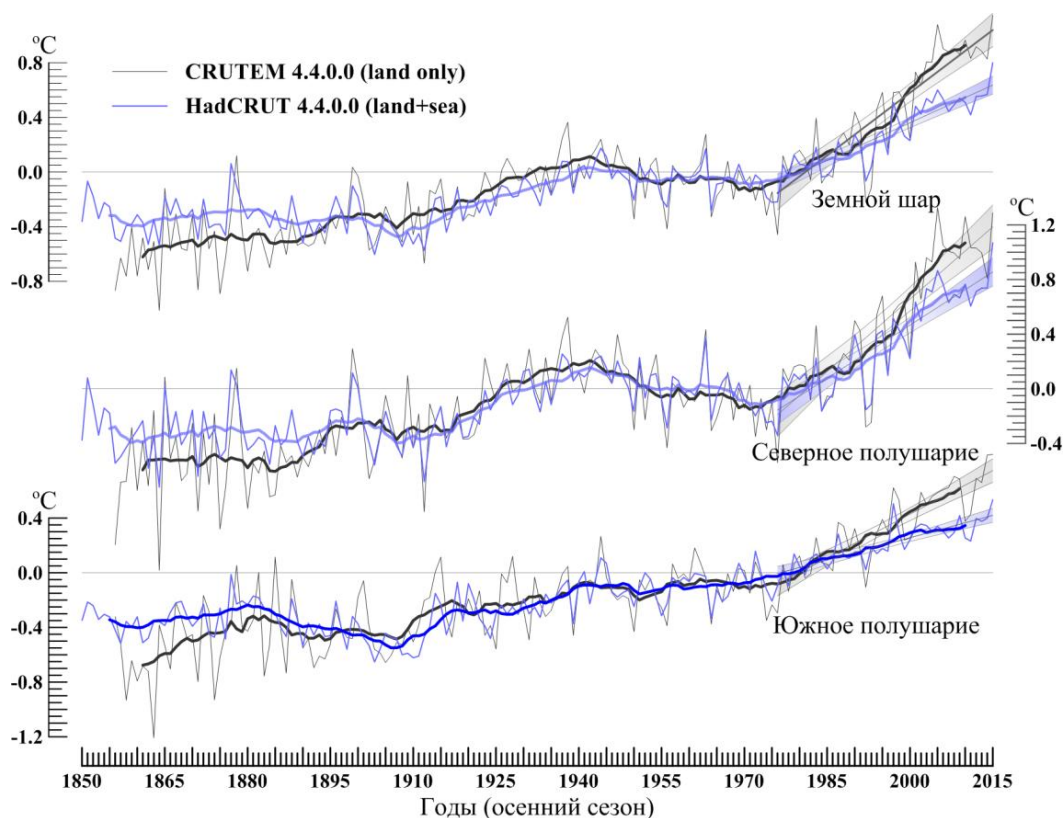
Наиболее общие особенности изменения температуры у поверхности земли во времени можно проследить по данным рис. 3.1, где в форме изоплант приведено изменение глобальной и полушарных температур за период инструментальных наблюдений, от месяца к месяцу (ось X) и от года к году (ось Y). Температура здесь 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 ноябрь 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  $-0.7$ ,  $-0.8^{\circ}\text{C}$ . Потепление 1940-х гг. больше выражено в Северном полушарии в летне-осенний период года. Современное потепление также более интенсивно в Северном полушарии. Текущий сезон (см. рис. 3.1, 2015<sub>IX-XI</sub>), как и предыдущий, продолжает тенденцию к потеплению, в среднем на уровне 2014 г. В Южном полушарии эта тенденция, по-видимому, несколько усилилась.

Особенности потепления осенних сезонов лучше видны из рис. 3.2, на котором сравниваются временные ряды глобально осредненных сезонных аномалий температуры осеннего 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 (осень) 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 ( $^{\circ}\text{C}/10$  лет) глобальных временных рядов приземной температуры за 1976-2015 гг. и 1916-2015 гг. для Земного шара и полушарий (за осенний сезон, в среднем и по месяцам)

Регион	1976-2015				1916-2015			
	Осень	сентябрь	октябрь	ноябрь	Осень	сентябрь	октябрь	ноябрь
<b>HadCRUT4 (суша+море)</b>								
Земной шар	0.184	0.175	0.196	0.180	0.071	0.068	0.070	0.076
Северное полушарие	0.259	0.242	0.274	0.262	0.074	0.068	0.070	0.082
Южное полушарие	0.109	0.109	0.119	0.098	0.069	0.068	0.070	0.070
<b>CRUTEM4 (суша)</b>								
Земной шар	0.306	0.279	0.331	0.308	0.093	0.083	0.091	0.105
Северное полушарие	0.353	0.302	0.382	0.374	0.094	0.079	0.088	0.115
Южное полушарие	0.213	0.232	0.230	0.177	0.092	0.092	0.098	0.086

*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 осенних сезонов в течение 1976-2015 гг. в целом для Земного шара, Северного и Южного полушарий составил 0.306, 0.353, 0.213  $^{\circ}\text{C}/10$  лет над сушей (данные CRUTEM4) и только 0.184, 0.259, 0.109  $^{\circ}\text{C}/10$  лет над всей территорией (данные HadCRUT4) (табл. 3.1). Современное потепление осенних сезонов, таким образом, над сушей более значительно, чем интегрально (суша+море), и в Северном полушарии более значительно, чем в Южном. Межмесячные различия между оценками в целом незначительны. Наиболее выражен тренд в Северном полушарии, в октябре. 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 в табл. 3.1).

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

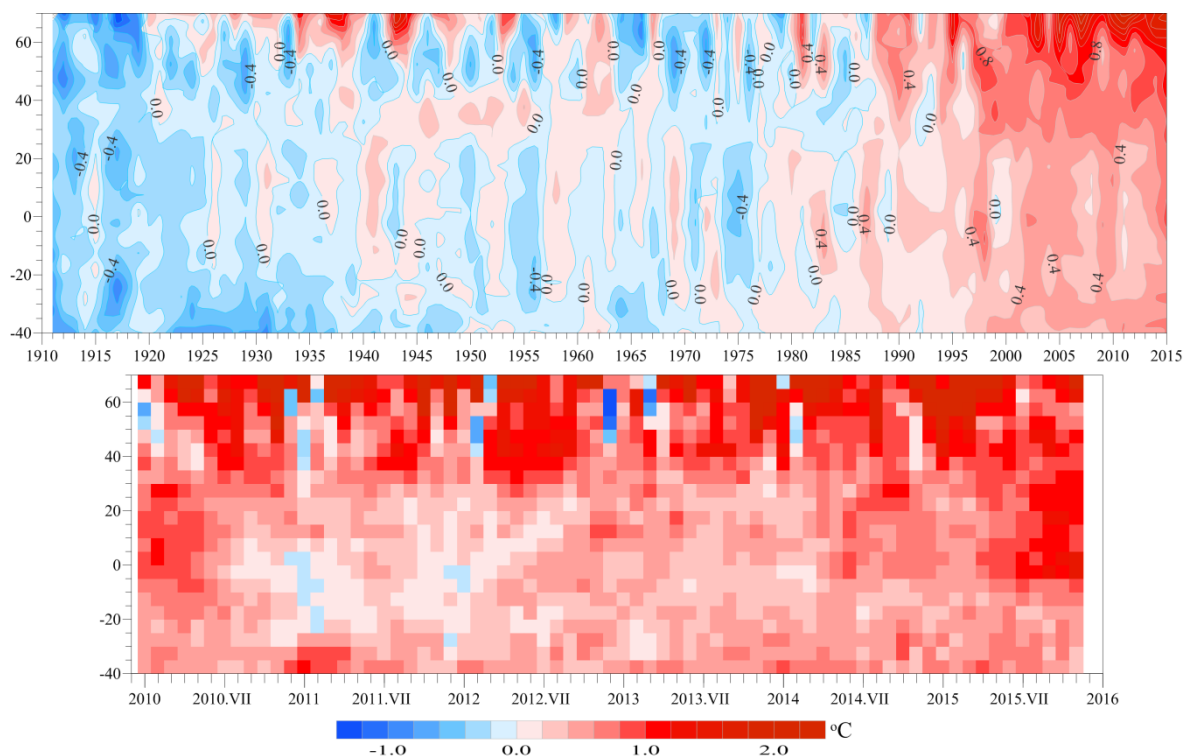
	1976-2015	1916-2015	СП	ЮП
$b_{\text{CRU}}/b_{\text{HadCRU}}$ («суша»/«суша+море»)				
Земной шар	1.66	1.31		
Северное полушарие (СП)	1.36	1.27		
Южное полушарие (ЮП)	1.95	1.33		
$b_{\text{СП}}/b_{\text{ЮП}}$				
HadCRU (суша+море)	2.38	1.07		
CRUTEM (суша)	1.66	1.02		
$b_{1976-2015}/b_{1916-2015}$				
HadCRU (суша+море)			3.50	1.58
CRUTEM (суша)			3.76	2.32

Первая строка табл. 3.2 сравнивает оценки глобальных трендов по данным только над сушей (CRUTEM4) и по объединенным данным над сушей и океанами (HadCRUT4):  $k=b_{\text{CRU}}/b_{\text{HadCRU}}$ , то есть сравнивает скорость потепления приземного климата над сушей и

в среднем над всей территорией. Можно видеть, что в Южном полушарии разрыв между трендами над сушей и океанами в 1976-2015 гг. (осенний сезон) существенно выше ( $k=1.95$ ), чем в Северном ( $k=1.36$ ). Таким образом, вклад континентов (суши) в современное потепление осенних сезонов существенно выше, чем океанов. С другой стороны, оценки  $k=b_{СП}/b_{ЮП}$  (вторая строка табл. 3.2) показывают, что в последние 40 лет осень в Северном полушарии теплеет, в среднем, вдвое быстрее, чем в Южном (над сушей  $k = 1.7$ , а по объединенным данным  $k=2.4$ ). В целом, по-видимому, можно заключить, что основной вклад в современное глобальное потепление осенних сезонов (у поверхности земли) принадлежит Северному полушарию при доминирующей роли континентов.

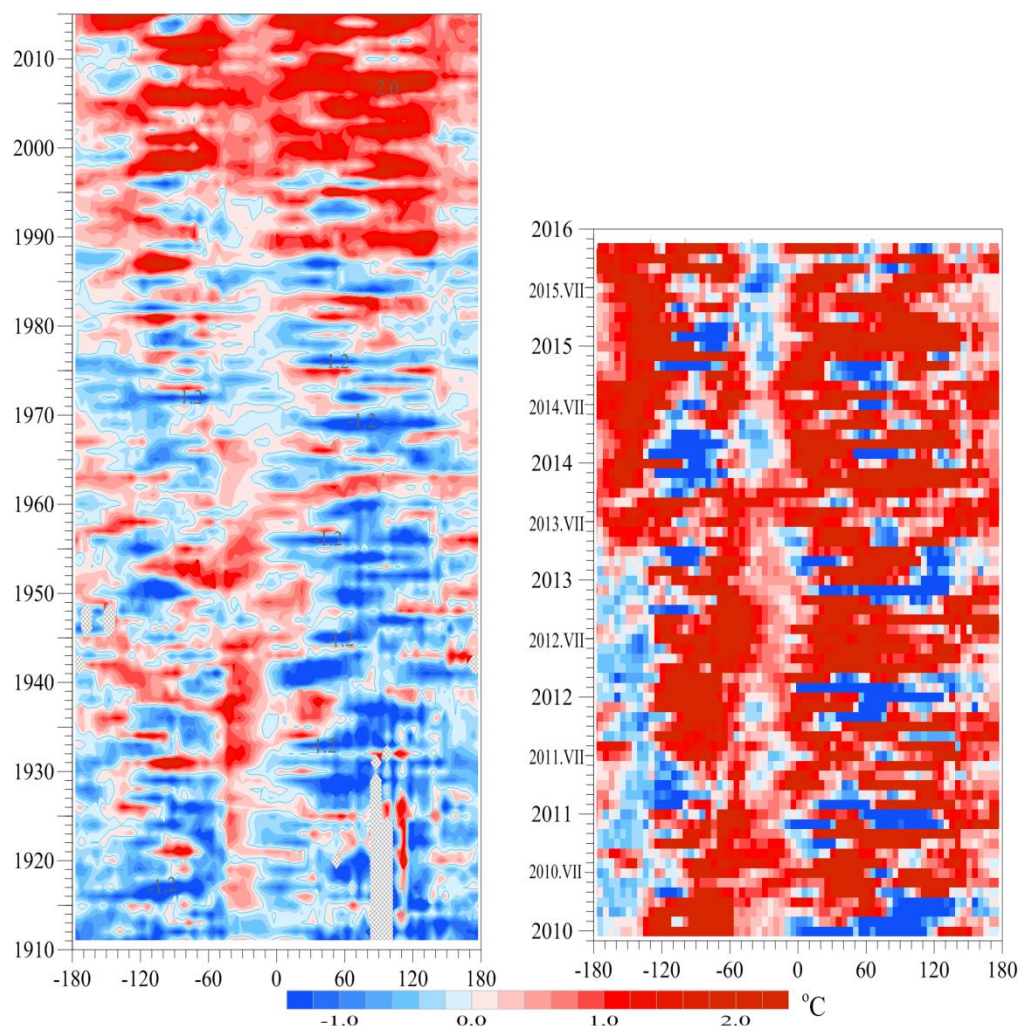
В сравнении с трендами 1916-2015 гг., современное глобальное (Земной шар, полушария) потепление осенних сезонов у поверхности земли ускорилось более чем в 3.5 раза. В 100-летних трендах разрыв между вкладом северного и южного полушарий практически отсутствует, а разрыв между трендами над континентами/океанами заметно меньше.

Более полное представление о характере и широтно-долготной структуре многолетних изменений температуры дают двумерные изоплеты (рис. 3.3, 3.4), показывающие изменение среднеширотных и средних меридиональных аномалий одновременно во времени и в пространстве. На каждом рисунке приведен многолетний ход профилей среднегодовых аномалий за период 1911–2015 гг. (с шагом год). Период с января 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, 2010г-2015г) температуры у поверхности Земли. Расчет выполнен по данным Met Office UK (HadCRUT4, суша+море). Базовый период 1961-1990 гг. Среднегодовые значения за 2015 г. (последний столбец на верхнем фрагменте) рассчитаны по данным за 11 месяцев (январь-ноябрь).

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 СП наблюдаются эпизоды чередующихся холодных и теплых периодов, снижающие интегральную оценку годовых трендов. Данные 2015 г. на нижнем фрагменте (в т.ч. за текущий сезон) четко указывают на продолжающееся потепление, по крайней мере, в экваториальных широтах и тропических широтах Северного полушария.



**Рисунок 3.4** – Изменение с долготой (ось X) и во времени (ось Y) аномалий среднегодовой (слева, 1850-2015 гг.) и среднемесячной (справа, 2010<sub>I</sub>-2015<sub>XI</sub>) 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. Среднегодовые значения за 2015 г. (верхняя строка на правом фрагменте) рассчитаны по данным за 11 месяцев (январь-ноябрь).

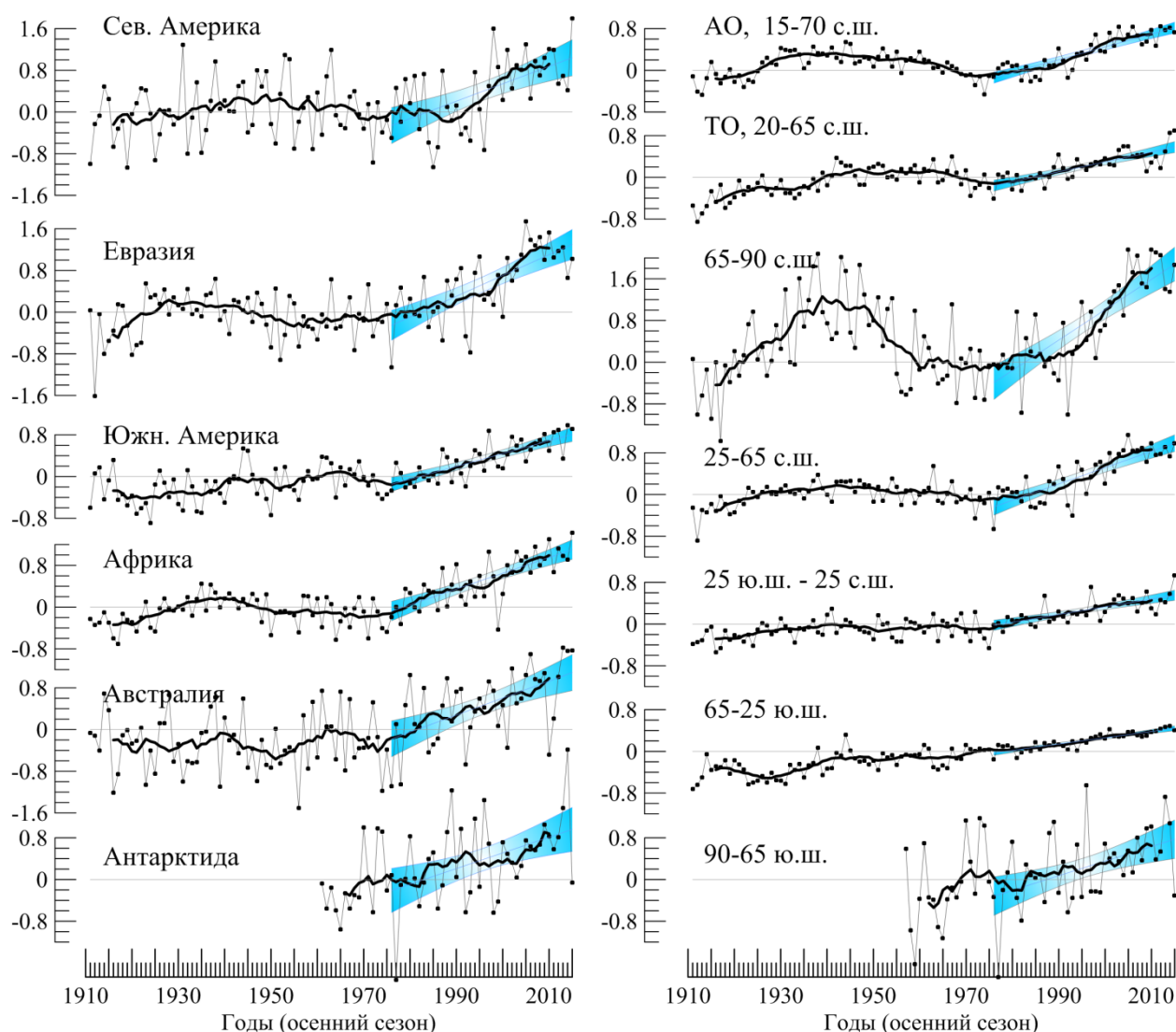
Судя по рис. 3.4, наибольший вклад в изменение температурного режима умеренных широт СП принадлежит континентам, хотя данные текущего года указывают на определенную неустойчивость наблюдаемых тенденций.



#### 4. ВРЕМЕННЫЕ РЯДЫ ПРОСТРАНСТВЕННО ОСРЕДНЕННЫХ АНОМАЛИЙ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ, 1911-2015 гг. (осенний сезон)

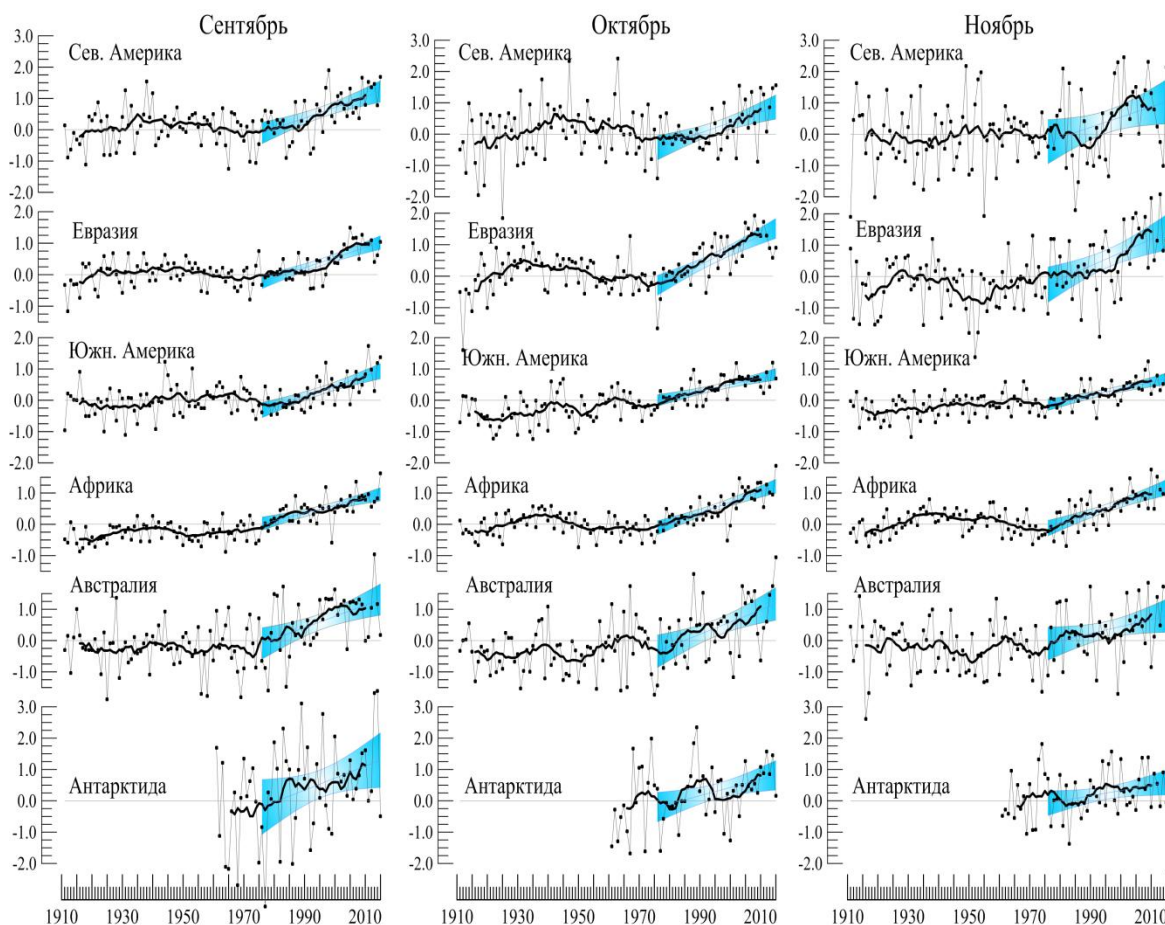
На рис. 4.1 приведены временные ряды пространственно осредненных сезонных аномалий температуры для континентов, океанов (Атлантический и Тихий в северном полушарии) и основных широтных поясов земного шара. Аналогичные ряды среднемесячных аномалий (сентябрь, октябрь, ноябрь) приведены на рис. 4.2 для 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 (осень) 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).

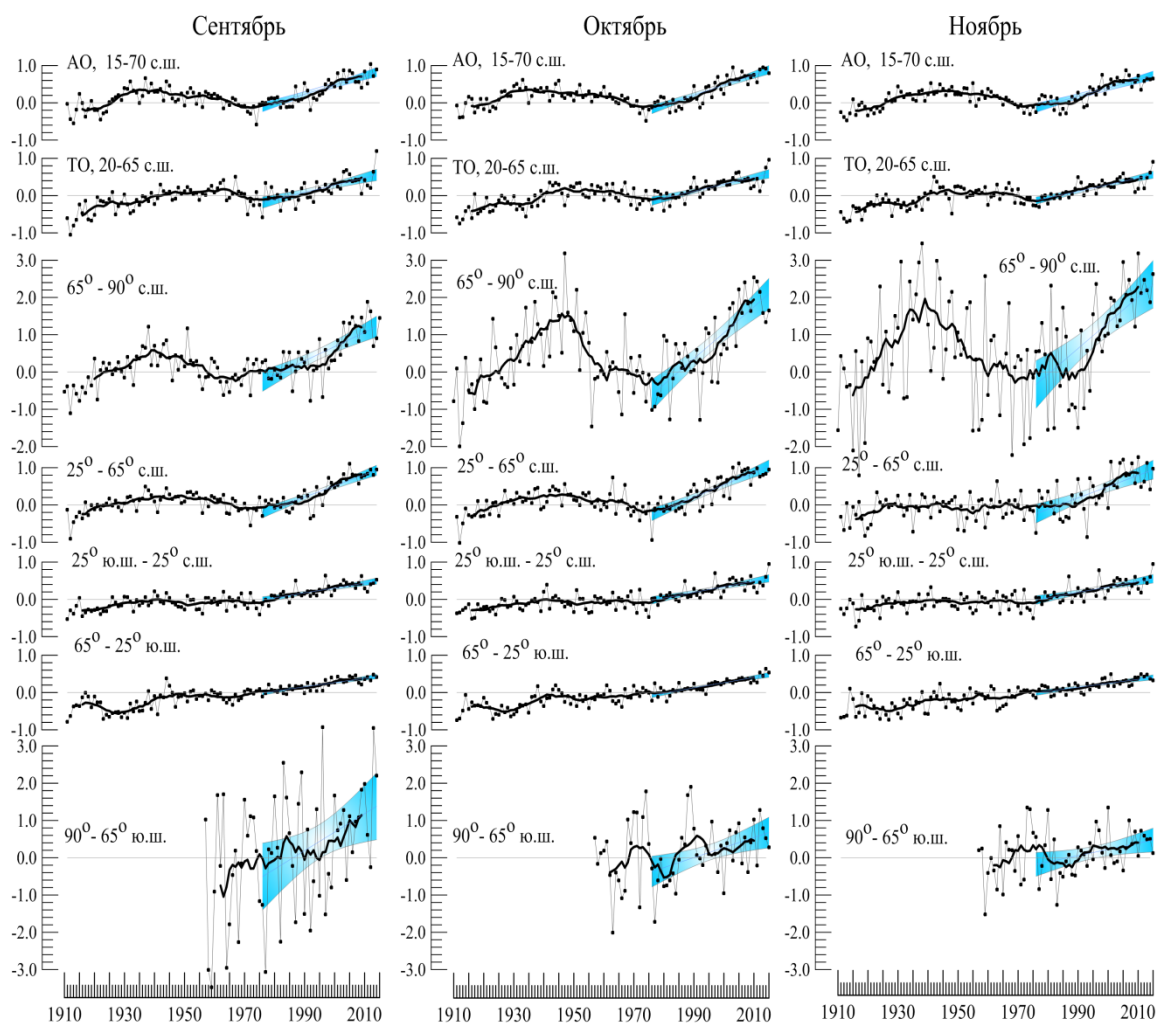


**Рисунок 4.2** – См. рис. 4.1, но для средних месячных аномалий (сентябрь, октябрь, ноябрь) и только континентов. Расчеты выполнены по методике ИГКЭ с использованием данных T3288.

**Таблица 4.1** – Коэффициенты линейного тренда ( $^{\circ}\text{C}/10 \text{ лет}$ ) 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 осенний сезон и по месяцам)

Регион	Осень	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
<b><i>HadCRUT4 (суша+море)</i></b>				
Атлантика (15-70N)	<b><i>0.246</i></b>	<b><i>0.243</i></b>	<b><i>0.273</i></b>	<b><i>0.222</i></b>
Тихий океан (20-65N)	<b><i>0.189</i></b>	<b><i>0.203</i></b>	<b><i>0.186</i></b>	<b><i>0.178</i></b>
Арктический пояс (65-90N)	<b><i>0.583</i></b>	<b><i>0.390</i></b>	<b><i>0.696</i></b>	<b><i>0.690</i></b>
Умеренный пояс СП (25-65N)	<b><i>0.313</i></b>	<b><i>0.302</i></b>	<b><i>0.333</i></b>	<b><i>0.302</i></b>
Тропики (25S-25N)	<b><i>0.147</i></b>	<b><i>0.146</i></b>	<b><i>0.151</i></b>	<b><i>0.146</i></b>
Умеренный пояс ЮП (65-25S)	<b><i>0.121</i></b>	<b><i>0.113</i></b>	<b><i>0.140</i></b>	<b><i>0.107</i></b>
Антарктический пояс (90-65S)	<b><i>0.280</i></b>	*0.386	0.269	0.167
<b><i>IGCE-T3288 (суша)</i></b>				
Северная Америка	<b><i>0.333</i></b>	<b><i>0.340</i></b>	<b><i>0.333</i></b>	<b><i>0.327</i></b>
Евразия	<b><i>0.399</i></b>	<b><i>0.320</i></b>	<b><i>0.464</i></b>	<b><i>0.427</i></b>
Южная Америка	<b><i>0.246</i></b>	<b><i>0.317</i></b>	<b><i>0.212</i></b>	<b><i>0.213</i></b>
Африка	<b><i>0.303</i></b>	<b><i>0.240</i></b>	<b><i>0.340</i></b>	<b><i>0.333</i></b>
Австралия	<b><i>0.325</i></b>	<b><i>0.359</i></b>	<b><i>0.389</i></b>	*0.228
Антарктида	<b><i>0.301</i></b>	*0.384	0.261	*0.168

*Примечание:* Курсивом выделены оценки, статистически значимые на 5% уровне, жирным шрифтом – те из них, которые значимы на 1% уровне; остальные (указаны звездочкой) статистически значимы на 7% 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)

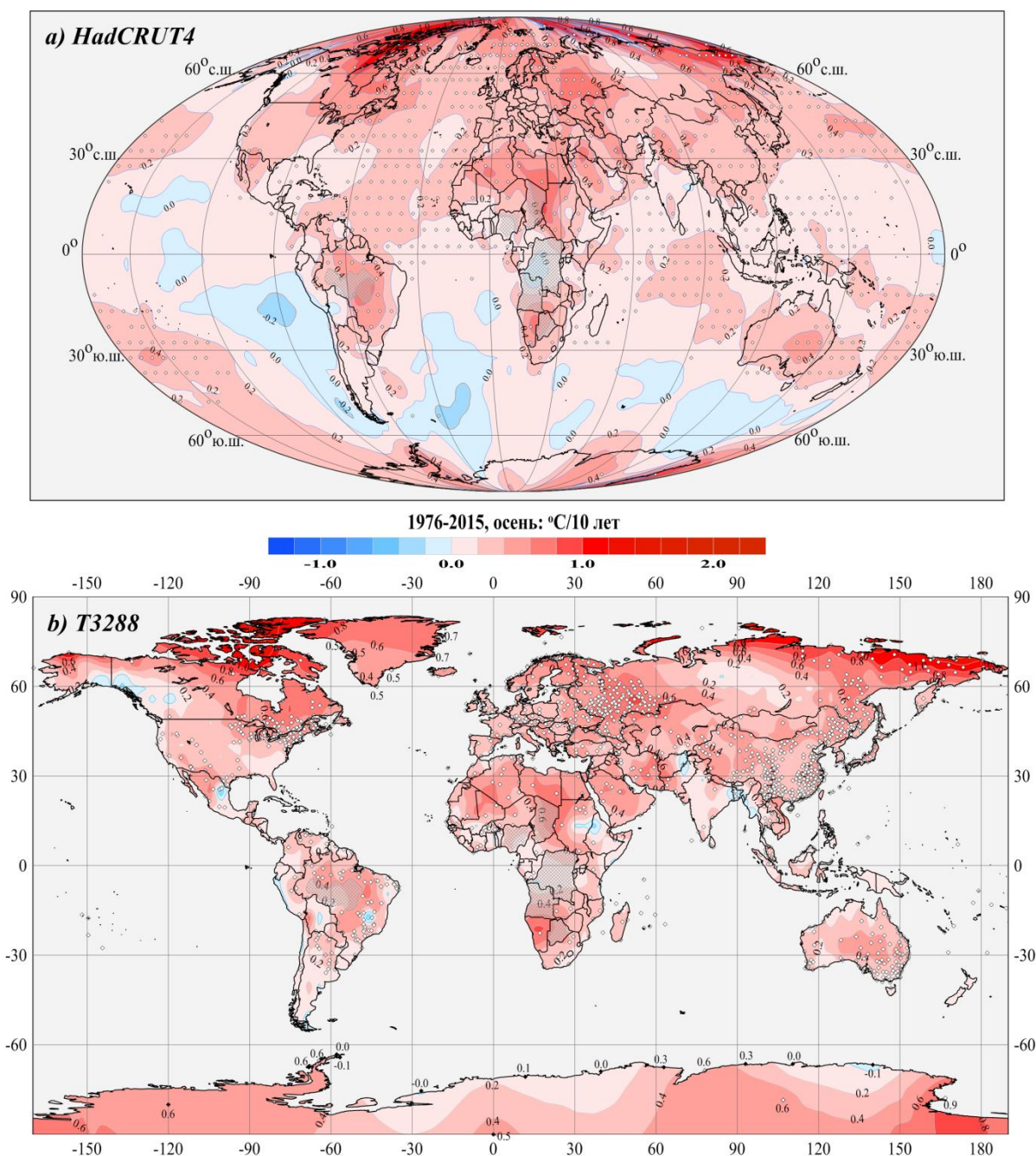
Можно видеть, что все приведенные в табл. 4.1 оценки трендов положительны, т.е. тенденция к потеплению осенних сезонов на протяжении последних 40 лет характерна для всех рассмотренных крупных регионов земного шара. Более того, большинство оценок статистически значимы на 1%-м уровне (в среднем за сезон – все), и лишь несколько значений – на 5-7%-м (для Антарктики, Австралии и Северной Америки в отдельные месяцы). Напомним, что во все другие сезоны в Антарктике выявлялся, хотя и статистически незначимый, отрицательный тренд (хотя бы для отдельных месяцев, а зимой и весной – также и в среднем за сезон).

Наиболее значительный тренд (табл. 4.1) отмечается в Арктическом поясе и Евразии - более 0.5-0.6 °C/10 лет. Во внетропической зоне Северного полушария и в умеренных широтах Южного полушария во всех рассмотренных регионах (широтные пояса, океанические акватории) линейный тренд объясняет более 60% изменчивости осенних температур, в тропиках – более 50%.

Из континентов, наряду с упомянутой выше Евразией, устойчивая тенденция к потеплению осенних сезонов получена для Южной Америки и Африки (вклад в дисперсию более 50%). Из месяцев наиболее существенные тренды выявлены в октябре.

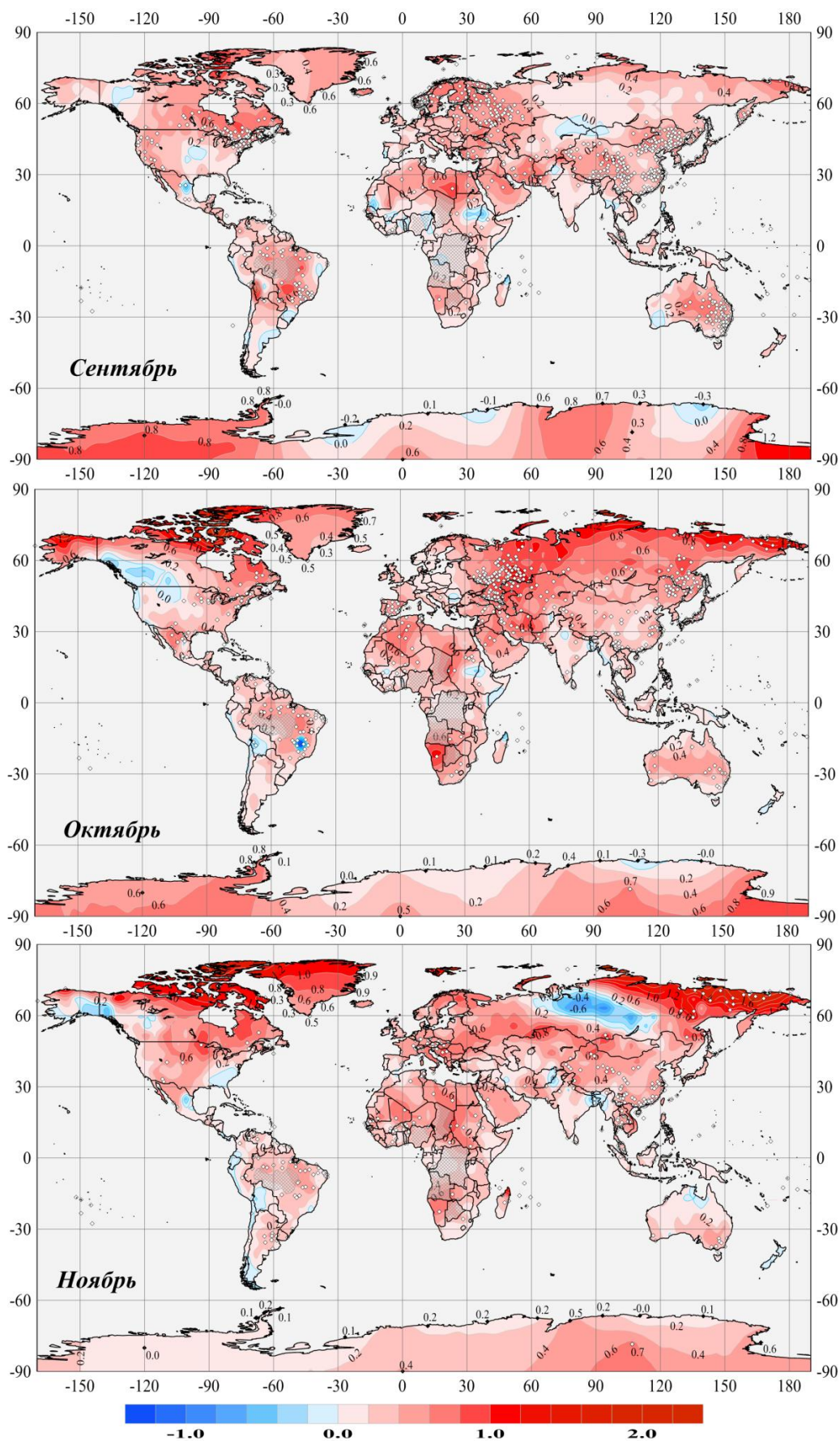
## 5. ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА ЗЕМНОГО ШАРА, 1976-2015 гг. (осенний сезон)

Пространственные распределения оценок локальных трендов на территории земного шара, рассчитанные по данным о глобальных полях осенних 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 осенний сезон приземной температуры за период 1976-2015 гг. ( $^{\circ}\text{C}/10$  лет).

Использованы данные: а) HadCRUT4, Met Office UK (данные в центрах 5-градусных боксов над континентами и океанами); б) T3288, 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 (сентябрь, октябрь, ноябрь) над сушей земного шара. Расчет выполнен по стационарным данным ИГКЭ Т3288 (только суша) за 1976-2015 гг.

По данным за 1976-2015 гг. (рис. 5.1), по-прежнему, на большей части земного шара наблюдается потепление осенних сезонов (в том числе практически на всей территории континентов). 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.

**В сентябре** статистически значимое на 1%-м уровне потепление отмечается в Евразии (восточная Европа и Скандинавия, Китай), на востоке Австралии, в отдельных районах Северной и Южной Америки и Африки. На континентах появляются островки слабого отрицательного тренда. **В октябре** потепление ярко выражено в России (на юге европейской части и в Дальневосточном регионе), и на востоке США. Ослабевает потепление в Европе, Китае и в Австралии. В Северной Америке формируется область похолодания. **В ноябре** заметные области статистически значимого потепления сохраняются лишь на Камчатке, в центральной Европе, в Китае и Юго-восточной Азии, а также в отдельных районах Африки, Южной Америки, США и Канады. Оформилась область похолодания в Сибири (до  $-0.6$  °C/10 лет). На протяжении всех трех месяцев сохраняется слабое потепление в Антарктиде.

## 6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ<sup>5</sup>

1. Осень 2015 г. на территории Земного шара оказалась рекордно теплой за всю историю наблюдений сразу по ряду показателей.

- Аномалия глобальной температуры перекрыла прежние максимумы как по объединенным данным над континентами и океанами (HadCRUT4), так и по данным только над сушей (CRUTEM4, T3288). При этом рекордно теплым оказался не только сезон в целом (аномалия по трем указанным источникам 0.800, 1.148 и 1.164°C), но и каждый из осенних месяцев.

- Аномалия приземной температуры Северного полушария по данным HadCRUT4, т. е. в среднем по всей территории полушария, над сушей и океанами, осенью 2015 г. достигла рекордных значений в среднем за сезон и в каждом из месяцев (1.068, 1.078, 1.050, 1.076 °C). По данным только над сушей рекордно теплым был лишь сентябрь с аномалиями 1.233 °C (CRUTEM4), 1.246 °C (T3288).

- В Южном полушарии осень 2015 г. оказалась самым теплым сезоном в истории наблюдений как в среднем по всей территории (HadCRUT4, 0.534 °C), так и только над сушей (CRUTEM4, 0.866; T3288, 0.860 °C). Из месяцев рекордно теплым был октябрь по всем трем источникам данных (0.574, 1.066, 1.065 °C) и ноябрь – только над сушей (0.874, 0.919 °C).

- Из отдельных регионов выделяются: по данным HadCRUT4 – тропики и северная часть Тихого океана (сезонные аномалии 0.934°C и 0.899°C); по данным *только над сушей* (T3288) – Африканский континент с аномалиями 1.426 (сезон), 1.625 (сентябрь), 1.858 (октябрь) и Австралия (аномалия 2.658°C, октябрь).

- Осенняя температура ниже климатической нормы наблюдалась, в среднем по рассматриваемым крупным территориям, лишь в Антарктике. Здесь сезонные аномалии впервые достигли значений -0.309 °C (в целом по широтному поясу, HadCRUT4) и -0.060 °C (по Антарктиде, T3288). Самый холодный месяц – сентябрь (-1.579, -0.493 °C)

2. По данным за 1976-2015 гг. потепление осеннего сезона наблюдается на большей части земного шара (в том числе практически на всей территории континентов). Статистически значимые на 1%-м уровне получены на обширных океанических акваториях Северного полушария (Атлантика, Индийский океан, Тихий океан), в тихоокеанских тропиках и на всех континентах (прежде всего, в Евразии, на востоке США и Канады).

В сентябре потепление наиболее ярко выражено в Евразии (восточная Европа и Скандинавия, Китай), на востоке Австралии, в отдельных районах Северной и Южной Америки и Африки; в октябре – в России (на юге европейской части и в Дальневосточном регионе), и на востоке США; в ноябре - на Камчатке, в центральной Европе, в Китае и Юго-восточной Азии, а также в отдельных районах Африки, Южной Америки, США и Канады. На протяжении всех трех месяцев сохраняется слабое потепление в Антарктиде.

Слабое (статистически незначимое) похолодание осенних сезонов отмечено на востоке Тихого океана (в тропиках и вдоль побережья Южной Америки), в

---

<sup>5</sup> Регулярные сезонные результаты мониторинга климата и их годовые обобщения доступны на сайте ИГКЭ (<http://climatechange.su>, <http://www.igce.ru>).

Антарктических морях и на западном побережье Канады. В ноябре оформилась область похолодания в Сибири (до  $-0.6^{\circ}\text{C}/10$  лет).