

ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ И СЕЗОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННОГО ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ

Г.В. Груза¹⁾, Э.Я. Ранькова¹⁾, Э.В. Рочева¹⁾, В.Д. Смирнов¹⁾

¹⁾ Институт глобального климата и экологии,
РФ, 107258, г. Москва, ул. Глебовская, д. 20б, ggruza@yandex.ru

Резюме. Рассматриваются характеристики температурного режима у поверхности земли, их сезонный ход и пространственные обобщения для континентов, океанов и основных широтных зон Земного шара. Временные ряды выбранных характеристик исследуются по данным инструментальных наблюдений месячного разрешения из базы данных ИГКЭ (температура приземного воздуха на глобальной сети станций) и данных, публикуемых климатическими центрами Великобритании (аномалии приповерхностной температуры на глобальной сети 5-градусных боксов, с 1850 года по май 2015 г. включительно). Оценки тенденций приводятся для разных временных (месяц-сезон-год) и пространственных (глобальный, региональный, локальный) масштабов, и за разные периоды времени. Полученные оценки указывают на продолжающееся глобальное потепление приземного климата с существенной пространственной (от региона к региону) и временной (от сезона к сезону) неоднородностью.

Ключевые слова. Климат, изменение климата, приземная температура, глобальное потепление, линейный тренд.

CURRENT GLOBAL WARMING: GEOGRAPHICAL AND SEASONAL FEATURES

G.V. Gruza¹⁾, E.Ya. Rankova¹⁾, E.V. Rocheva¹⁾, V.D. Smirnov¹⁾

¹⁾Institute of Global Climate and Ecology,
107258, Moscow, Glebovskaya 20B, ggruza@yandex.ru

Summary. Characteristics of surface temperature, their seasonal course and spatial patterns for continents, oceans and basic latitudinal belts of the Globe are considered. Time series of selected variables are investigated using monthly observational data from the IGCE database (surface air temperature at the global observing network) and the dataset published by climatic centers of Great Britain (gridded anomalies of surface air temperature for 5°x5° boxes for January, 1850 - May, 2015, inclusive). Estimation of tendencies are accomplished for different time scales (month, season, year) and spatial scales (global, regional, local), and for different time intervals. The obtained estimates showed continuing global warming of the surface climate with considerable spatial (by regions) and temporal (by seasons) inhomogeneity.

Keywords. Climate, climate change, surface temperature, global warming, linear trend.

Введение

Основная цель статьи — представить обновленные оценки климатических изменений температуры у поверхности Земного шара, наблюдаемых в последние 40–50 лет на фоне глобального потепления.

Наиболее авторитетные и взвешенные суждения о текущем состоянии климата, тенденциях его изменений и их причинах представлены в Оценочных докладах ВМО, регулярно (примерно, каждые 5–7 лет) выпускаемых Межправительственной группой экспертов по изменению климата — последний, пятый доклад AR5 (IPCC, 2013) обобщает все апробированные научные результаты, опубликованные мировым научным сообществом до 2012 года. Национальные метеослужбы и ведущие мировые метеорологические центры издают многочисленные обзоры и бюллетени мониторинга климата, содержащие обширную фактографическую информацию о текущем состоянии всех составляющих климатической системы Земли, а ВМО обобщает их в ежегодных сообщениях о текущем состоянии климата (Blunden, Arndt, 2014; Bell, 2015; ЖМА, 2014; Met Office, 2015; WMO, 2015).

Информация о современных изменениях климата на территории РФ наиболее полно представлена в оценочных докладах Росгидромета (ОД1, 2008; ОД2, 2014) и в ежегодных докладах о состоянии климата на территории России в истекшем году (Росгидромет, 2015).

Следует отметить также неослабевающий поток научных публикаций по данной проблеме, отражающий широкий спектр существующих альтернативных оценок и мнений, в том числе, о «паузе» в глобальном потеплении и его «ослаблении» в последние 15–20 лет. Их обзор в рамках данной статьи не входил в задачу авторов, как и дискуссия относительно наблюдаемой в данный момент фазы потепления (пауза? замедление? ослабление?). Основная задача публикуемой статьи — обновление и расширение имеющихся оценок наблюдаемых климатических изменений с привлечением данных самых последних наблюдений (по май 2015 года) и с детализацией по сезонам и по территории. Здесь отметим лишь статьи (Переведенцев, Шанталинский, 2008; Шерстюков, 2008; Груза, Ранькова, 2012; Karl et al, 2015; и др.), в которых обсуждаются вопросы, близкие к рассматриваемым ниже.

Данные

Все приведенные в статье оценки базируются на данных стандартных метеорологических наблюдений о средней месячной температуре у поверхности земли. Использованы данные наблюдений за температурой приземного воздуха на глобальной сети станций (массив T3288¹, данные из базы данных ИГКЭ, рис. 1) и данные об аномалиях приповерхностной температуры на глобальной сети 5-градусных боксов (массив HadCRUT4.3.0.0, данные Hadley/CRU²). Последние представляют собой объединенные данные аномалий тем-

¹ Основу массива составили накопленные в ИГКЭ ряды наблюдений (данные телеграмм КЛИМАТ) для 1383 станций Земного шара (базовый массив мониторинга климата, ведущегося в ИГКЭ с 1989 г.). Массив был расширен за счет данных ВНИИГМИ-МЦД (с сайта <http://www.meteo.ru>) и данных Университета Восточной Англии и Метеослужбы Великобритании (с сайта <http://www.metoffice.gov.uk/hadobs>). Всего в массив включены данные 3288 станций, имеющих не менее 25 полных лет наблюдений в течение 1976–2010 гг.; из них на территории России и стран СНГ расположены 703 станции.

² Данные Метеослужбы Великобритании (MetOffice, Hadley-центр) и Университета Восточной Англии (CRU, UEA) с сайта <http://www.cru.uea.ac.uk/>.

пературы приземного воздуха над сушей (на высоте 2 м, аналогично T3288) и аномалий температуры воды в поверхностном слое морей и океанов (8–10 м). Массив создан в Hadley-центре (Met Office, UK) объединением и согласованием полей CRUTEM4.3.0.0 (над сушей, данные UEA/CRU) и HadSST3.1.1.0 (над океанами, данные Hadley). Понятно, что на территории континентов оценки аномалий 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 областей экстремумов), а объединенные поля HadCRUT дают более полную и цельную глобальную картину. Ниже данные обоих источников будут упоминаться как характеристики «*приземной температуры*».

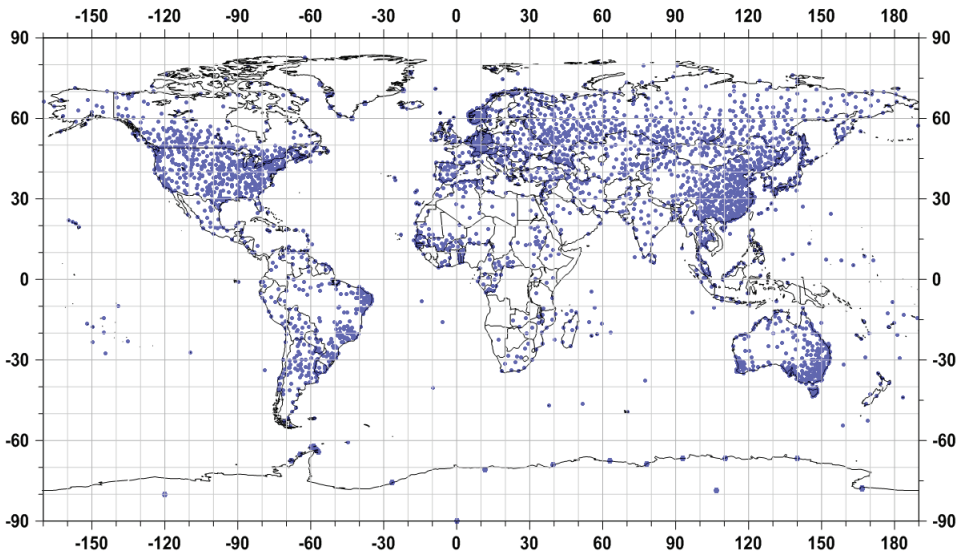


Рисунок 1 — Сеть станций в массиве T3288 ИГКЭ

Осреднение, как во времени, так и в пространстве, выполнялось по данным об аномалиях. При временном осреднении (за сезон, год) разрешался пропуск не более одного наблюдения. Пространственное осреднение (по территории регионов) выполнялось в два этапа: сначала территория региона покрывалась регулярной сеткой 2.5×5.0 гр. и выполнялось осреднение станционных аномалий внутри каждого бокса, затем — осреднение по площади региона (осреднение ячейочных средних с весами, пропорциональными площади соответствующего бокса внутри региона). Зимний сезон всегда включает декабрь предыдущего года.

Для анализа географических особенностей рассматриваемых характеристик приводятся их пространственные распределения. При этом, глобальные поля по данным HadCRUT4 (суша+море) представлены в проекции Мольвейде (псевдоцилиндрическая проекция), а поля по данным T3288 (только суша) — в географической проекции (равнопромежуточная цилиндрическая проекция) (Берлянт, 2002). Последняя, на наш взгляд, более удобна для анализа полей в высоких широтах обоих полушарий.

Временные ряды пространственно осредненных (региональных) характеристик приводятся за весь доступный период наблюдений и дополняются линейным трендом за период с 1976 г., характеризующим тенденцию (среднюю скорость) современных изменений температуры в данном регионе (1976 г. условно принят за начало современного глобального потепления). В ряде случаев приводятся оценки тренда и за другие периоды (но не ранее 1911 г., т.к. до этого срока данные над океанами в массиве HadCRUT4 представляются менее надежными). Во всех случаях тренд рассчитан методом наименьших квадратов и выражен в градусах за десятилетие ($^{\circ}\text{C}/10$ лет).

Результаты

Прежде всего, следует отметить близость временных рядов глобальной и полушарных температур приземного воздуха (рис. 2), рассчитанных по данным и методике ИГКЭ (T3288), и общепризнанных одноименных оригинальных рядов Hadley/CRU (CRUTEM4.3.0.0).

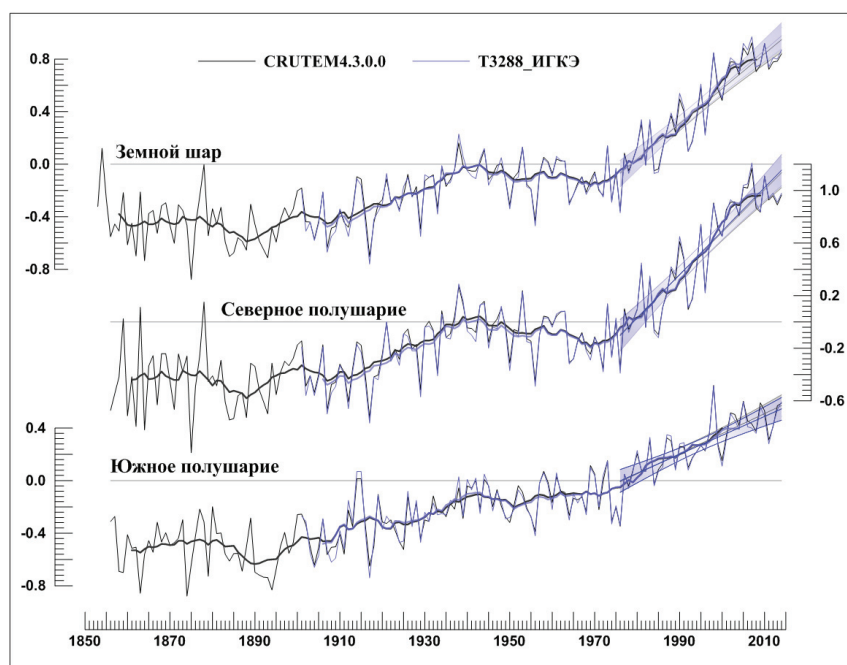


Рисунок 2 — Временные ряды аномалий температуры приземного воздуха (1850–2014 гг.), пространственно осредненных по Земному шару, Северному и Южному полушариям. Использованы данные Hadley/CRU (временные ряды CRUTEM4.3.0.0: Gl, Nh, Sh с сайта <http://www.cru.uea.ac.uk/temperature>, от 07.07.2015) и данные ИГКЭ (расчет по данным T3288).

Показаны линейные тренды за 1976-2014 гг. и их 95%-е доверительные интервалы

Количественные оценки близости этих рядов (табл. 1) подтверждают 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).

Таблица 1 – Оценки близости/различий одноименных временных рядов пространственно осредненных среднегодовых аномалий температуры приземного воздуха над сушей Земного шара, Северного и Южного полушарий, рассчитанных по данным станционных наблюдений в Hadley/CRU (CRUTEM4) и ИГКЭ (Т3288)

Статистика	Земной шар	Северное полушарие	Южное полушарие
Корреляция рядов	0,998	0,999	0,994
Минимум различий, °C	-0,066	-0,037	-0,086
Максимум различий, °C	0,074	0,073	0,108
Среднее различие, °C	0,003	0,012	0,003
Стандартное отклонение, °C	0,023	0,020	0,028
Среднее абсолютное различие, °C	0,023	0,021	0,028

Примечание. Оценки получены по данным за период 1901-2014 гг. Использованы временные ряды, изображенные на рис.2.

На рис. 3 временные ряды приземной температуры над сушей сравниваются с одноименными рядами для объединенной приповерхностной температуры над сушей и океанами. Интенсивность потепления над континентами (черные кривые) существенно выше интегрального (синие кривые), и, следовательно, вклад континентов в глобальное потепление выше, чем вклад океанов. Для большей убедительности в качестве обоих сравниваемых рядов использованы оригинальные ряды Hadley/CRU (HadCRUT4 и CRUTEM4), чтобы исключить влияние возможных различий в методике обработки.

В соответствии с глобальными оценками для приповерхностной температуры (суша+море, HadCRUT4), как для Земного шара в целом, так и для Северного полушария, 2014 год оказался самым теплым за всю историю наблюдений с 1850 г.: аномалия (отн. нормы за 1961–1990 гг.) 0,564°C и 0,750°C, соответственно. За ним следуют 2010 г. (0,555 и 0,733°C) и 2005 г. (0,54 и 0,727°C) — см. синие кривые на рис. 3. Отметим, что по температуре *приземного воздуха над сушей* Земного шара (данные CRUTEM4 и Т3288) самыми теплыми были 2007, 2010 и 2005 гг., а 2014 г. оказался лишь на пятом месте (черные кривые на рис. 2–3 и синие кривые на рис. 2). Более детально особенности температурного режима 2014 г. рассматриваются ниже.

2014 год – самый теплый на Земле в истории наблюдений. Температурный рекорд 2014 г. отмечен в годовых обзорах и информационных бюллетенях всех ведущих мировых метеорологических центров, в том числе (WMO, 2015; Jones, 2015; BAMS, 2015; NOAA/NCEI, 2015; NASA/GISS, 2015; JMA, 2015). Вывод основан на анализе четырех независимых наборов данных, поддерживаемых научными коллективами США (NASA/GISS, NOAA), Великобритании (HadCRUT4) и Японии (Temp JMA). В июле 2015 г. опубликована статья (Karl et al., 2015), в которой приводятся результаты нового улучшенного глобального анализа приповерхностной температуры (включены дополнительные станционные наблюдения и новая версия данных о температуре

поверхности океанов). Согласно этим результатам, меняется соотношение трендов в 20-м и 21-м столетиях и ставится под сомнение реальность ранее обнаруженной «паузы» в ходе глобального потепления. Однако и эти данные подтверждают температурный рекорд 2014 г. для глобальной приповерхностной температуры Земного шара (суша + океаны).

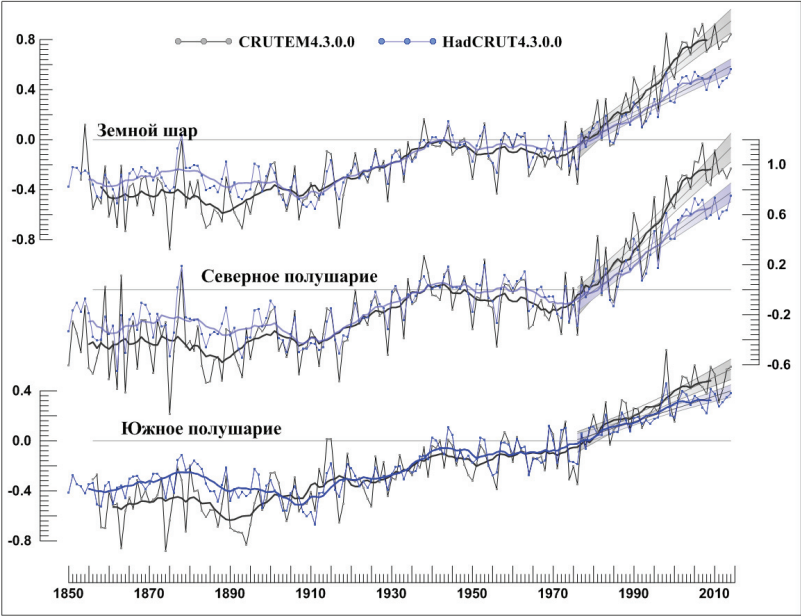


Рисунок 3 — См. рисунок 2, но для сравнения хода приземной температуры только над сушей (CRUTEM4, черные кривые) и суммарной, над сушей и океанами (HadCRUT4, синие кривые).
Использованы временные ряды Gl, Nh, Sh с сайта <http://www.cru.uea.ac.uk/temperature> от 07.07.2015).

В табл. 2 приводятся данные о 10 самых теплых годах по рассмотренным выше временным рядам для Земного шара и каждого полушария, а в табл. 3 — пространственно осредненные значения аномалий температуры в 2014 г. в регионах Земного шара.

Таблица 2 — Десять самых теплых лет с максимальными значениями пространственно осредненных среднегодовых аномалий приземной температуры для Земного шара (ЗШ), Северного (СП) и Южного (ЮП) полушарий по данным разных источников

№	HadCRUT4			CRUTEM4			T3288		
	ЗШ	СП	ЮП	ЗШ	СП	ЮП	ЗШ	СП	ЮП
1	2014	2014	1998	2007	2007	1998	2007	2007	1998
2	2010	2010	2009	2010	2010	2005	2010	2010	2005
3	2005	2005	2002	2005	2005	2009	2005	2006	2014
4	1998	2007	2014	1998	2006	2014	2006	2005	2009
5	2003	2006	2010	2014	2014	2013	2014	2014	2013
6	2006	2003	2003	2006	2012	2010	1998	2012	2002

7	2009	2013	2005	2013	2011	2002	2012	2011	2010
8	2002	2012	2013	2002	2003	2003	2002	2002	2003
9	2007	1998	2006	2012	2002	1855	2013	2013	2012
10	2013	2004	1997	2003	1998	2006	2003	1998	2006

Таблица 3 — Пространственно осредненные значения аномалии приземной температуры в 2014 г. (в среднем за год и по сезонам) для территории Земного шара, полушарий, континентов, Северной Атлантики и северной части Тихого океана

Регион	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	vT_{2014}	F%	vT_{2014}	F%	vT_{2014}	F%	vT_{2014}	F%	vT_{2014}	F%
HadCRUT4 (суша+море)										
Земной шар*	0,56	100	0,44	92	0,60	99	0,61	99	0,57	99
Северное полушарие*	0,75*	100	0,57	92	0,79	99	0,84*	100	0,73	97
Южное полушарие*	0,38	97	0,31	90	0,42	97	0,38	97	0,40	98
Атлантика (15-70°с.ш.)	0,58	92	0,47	89	0,35	82	0,68	91	0,82	97
Тихий океан (20-65°с.ш.)	0,70*	100	0,61*	100	0,48	99	0,94	100	0,85*	100
CRUTEM4 (суша)										
Земной шар*	0,84	96	0,71	91	0,94	98	0,80	95	0,82	91
Северное полушарие*	0,97	96	0,84	91	1,20	97	0,90	94	0,80	88
Южное полушарие*	0,59	97	0,45	91	0,44	92	0,61	97	0,87*	100
IGCE-T3288 (суша)										
Земной шар	0,86	97	0,66	88	0,99	98	0,82	95	0,82	91
Северное полушарие	0,98	96	0,76	91	1,23*	100	0,90	94	0,81	88
Южное полушарие	0,60	99	0,43	92	0,43	91	0,62	97	0,86*	100
Северная Америка	0,52	83	-0,33	31	-0,12	51	0,68	89	0,41	65
Евразия	1,11	96	1,11	87	2,00*	100	0,95	90	0,66	83
Южная Америка	0,66	99	0,53	93	0,210	72	0,85	98	0,98*	100
Африка	0,99	96	0,69	87	0,99	92	1,02	97	0,91	92
Австралия	0,92	98	0,400	86	1,13	98	0,31	75	1,51	99
Антарктида	0,34	76	0,050	59	-0,07	47	-0,24	41	2,49*	100

Условные обозначения: vT_{2014} , °C – наблюденная аномалия в 2014 г. (относительно 1961–1990 гг.). F% – значение функции распределения $F = \text{prob}(X \leq vT_{2014})$ по данным за 1911–2013 гг. Абсолютные минимумы и максимумы с 1911 г. выделены жирным шрифтом. Дополнительно звездочкой указаны рекордные значения, наблюдавшиеся в 2014 г. впервые. Синим шрифтом выделены отрицательные аномалии. Звездочкой в первом столбце выделены оригинальные временные ряды с сайта Hadley/CRU от 07.07.2015; остальные ряды рассчитаны в ИКЭ.

Практически во всех рассматриваемых регионах (кроме Северной Америки и Антарктиды, табл. 3) 2014 год, в целом и в отдельные сезоны, был теплее уровня 1961–1990 гг. В Северной Америке отрицательной была средняя по тер-

ритории аномалия зимнего и весеннего сезонов ($-0,33$ и $-0,12^{\circ}\text{C}$, соответственно), а в Антарктиде — весеннего и летнего сезонов ($-0,07$ и $-0,24^{\circ}\text{C}$, соответственно). Основной вклад в годовой экстремум (без учета океанов Южного полушария) принадлежит, по-видимому, рекордно теплоте в течение всего года Тихому океану (годовая аномалия $+0,7^{\circ}\text{C}$) и рекордно теплой весне в Евразии ($+2,0^{\circ}\text{C}$).

Географические особенности температурного режима 2014 года более детально представлены на рис. 4–5. На рис. 4 совмещены два поля среднегодовых аномалий температуры: над всей территорией Земного шара (вверху, по объединенным данным над континентами и океанами HadCRUT4); и только над сушей (внизу, по данным станционных наблюдений T3288), а на рис. 5 показаны распределения сезонных аномалий над сушей Земного шара (по данным T3288).

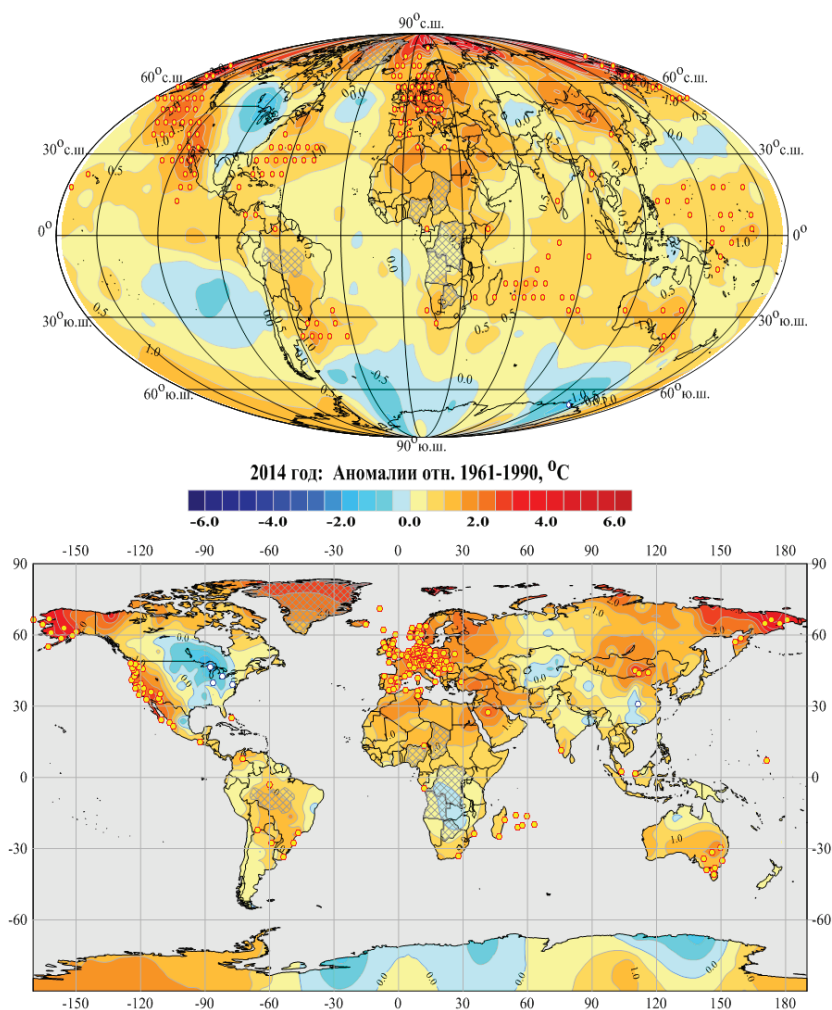


Рисунок 4 — Аномалии средней годовой температуры ($^{\circ}\text{C}$) у поверхности Земного шара в 2014 г. по данным HadCRUT4 (вверху, суша+море, данные Hadley/CRU от 02.07.2015) и по станционным данным ИГКЭ T3288 (внизу, только суша).

Базовый период: 1961–1990 гг. Кружками разного цвета указано положение боксов и станций с рекордными значениями аномалий: белым — минимумы, желтым — максимумы

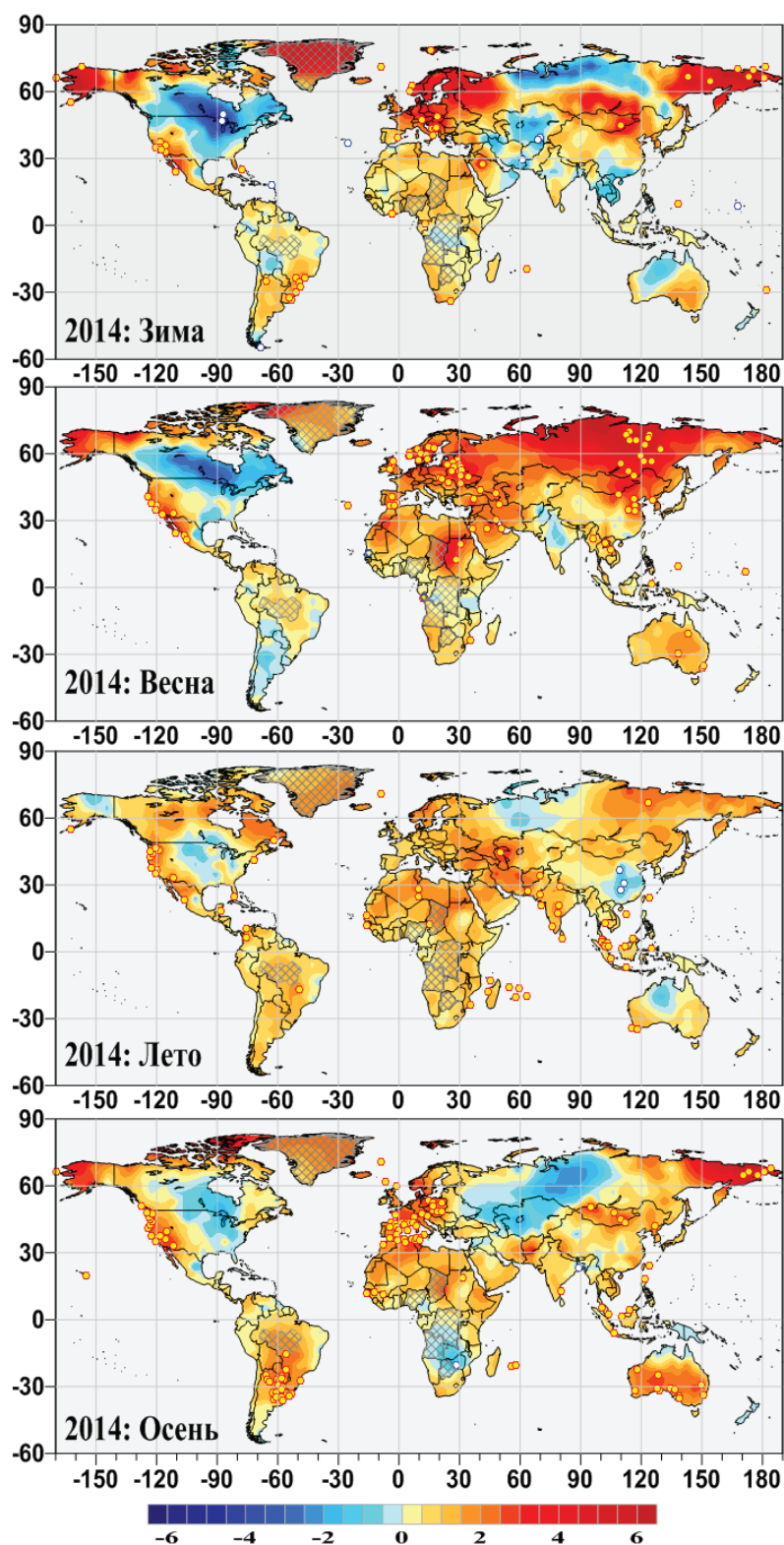


Рисунок 5 — Сезонные аномалии температуры приземного воздуха над сушей Земного шара (°C) в 2014 г. (по данным T3288). Условные обозначения см. рис. 4.

2014 год в целом был теплым на большей части Земного шара (рис. 4), а в Европе, на западе Северной Америки и юге Австралии на обширных территориях температура достигала рекордных значений. Зимой по обе стороны от Атлантики на континентах Северного полушария сформировались противоположные по знаку обширные области аномалий с многочисленными экстремумами на станциях: холодные — в Северной Америке, теплые в Европе. Этот контраст весной усилился, положительные аномалии стали интенсивнее, в Евразии сформировалась вторая область положительных экстремумов (в Сибири). Самым спокойным сезоном было лето. Осенью экстремально теплые области зафиксированы в Западной Европе, Австралии, в Южной Америке и на западном побережье Северной Америки.

Необычно холодно, с рекордно низкими значениями аномалий, было лишь в Северной Америке (особенно зимой и весной в восточных регионах). Обширная область слабых отрицательных аномалий температуры отмечалась зимой и осенью на севере Сибири и в Средней Азии.

Глобальные особенности многолетних изменений температуры у поверхности земли. Двумерные изоплеты на рис. 6 иллюстрируют изменение глобальной и полушарных температур за весь период инструментальных наблюдений, от месяца к месяцу (ось X) и от года к году (ось Y). Для наглядности шкала месяцев дополнена декабрем предшествующего года (месяц 0) и январем следующего года (месяц 13). Температура выражена в отклонениях от средних за 1961–1990 гг.

Четко видно, что вплоть до 1930–1940 гг. глобальная температура оставалась ниже уровня 1961–1990 (отрицательные аномалии), с кратковременными теплыми периодами в Северном полушарии в 1870-х и 1880-х и самым холодным периодом в обоих полушариях в начале 20-го столетия. Примерно, в 1904–1913 гг., в отдельные месяцы средняя аномалия приземной температуры Южного полушария достигала $-0,7$, $-0,8^{\circ}\text{C}$. Потепление 1940-х гг. больше выражено в Северном полушарии в летне-осенний период года. Современное потепление также более интенсивно в Северном полушарии, причем, его сезонные особенности, по-видимому, меняются в последние годы (после 2010 г.) потепление зимнего сезона стало менее активным, а весенне-летнего, напротив, усилилось.

Численные оценки трендов глобально осредненных временных рядов (рис. 3) приведены в табл. 4 для двух периодов 1911–2014 и 1976–2014 гг. Эти оценки подтверждают прежний вывод: современное потепление над сушей более значительно, чем интегрально ($0,27$ против $0,17^{\circ}\text{C}/10\text{лет}$) и в Северном полушарии более значительно, чем в Южном ($0,32$ против $0,15^{\circ}\text{C}/10\text{лет}$). Таким образом, в глобальное потепление с 1976 года ($0,17^{\circ}\text{C}/10\text{лет}$) основной вклад внесло повышение температуры над континентами Северного полушария.

Более полное представление о характере и структуре многолетних изменений температуры дают двумерные изоплеты (рис. 7–8), показывающие изменение среднеширотных и средних меридиональных аномалий одновременно во времени и в пространстве. На каждом рисунке приведен многолетний (с 1911 г.) ход профилей среднегодовых аномалий — широтных и меридиональ-

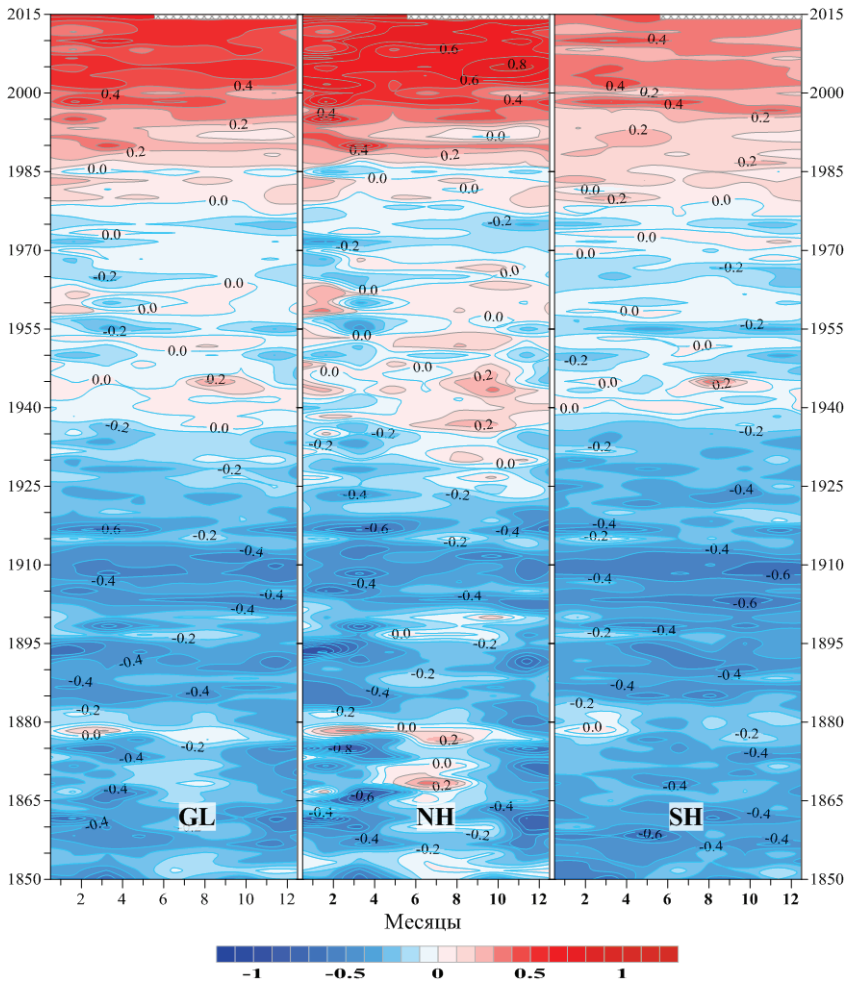


Рисунок 6 — Изменение средней месячной приповерхностной температуры, осредненной по территории Земного шара (слева), Северного (в центре) и Южного (справа) полушарий в течение 1850–2015 гг. (по данным временных рядов HadCRUT4, Met Office – GL, NH, SH)

ных, соответственно (с шагом год). Период с января 2010 г. (участок «плато» в ходе глобальной температуры — см., например, рис. 3) показан на втором фрагменте более детально (с шагом месяц). Диапазон широт на рис. 7 ограничен ввиду плохой освещенности полярных поясов данными наблюдений. Меридиональные средние на рис. 8 рассчитаны осреднением аномалий вдоль каждого меридиана в поясе 40–60°с.ш.

Из рис. 7, по-видимому, можно заключить, что современное потепление началось с конца 1970-х, но глобальным стало (и остается до сих пор) лишь к 1990-ым. (Это наблюдение согласуется с данными об изменении температуры в Арктике (Росгидромет, 2012–2014; Росгидромет, 2015)). С середины 2010 г. потепление в Южном полушарии стало менее интенсивным, но в последние годы снова намечается тенденция к некоторому его усилению (особенно в

Таблица 4 — Коэффициенты линейного тренда временных рядов глобально осредненной приземной температуры за 1976–2014 и 1911–2014 гг. по данным разных источников, в среднем за год и по сезонам (в °C/10 лет)

Регион	1976–2014					1911–2014				
	Год	зима	весна	лето	осень	Год	зима	весна	лето	осень
<i>HadCRUT4 (суша+море)</i>										
Земной шар	0,167	0,144	0,171	0,178	0,176	0,076	0,078	0,082	0,074	0,071
Северное полушарие	0,231	0,197	0,232	0,245	0,249	0,082	0,087	0,092	0,077	0,073
Южное полушарие	0,102	0,091	0,110	0,111	0,103	0,070	0,069	0,073	0,071	0,069
<i>CRUTEM4 (суша)</i>										
Земной шар	0,267	0,235	0,269	0,265	0,300	0,104	0,111	0,122	0,090	0,091
Северное полушарие	0,324	0,285	0,347	0,316	0,347	0,114	0,128	0,142	0,093	0,093
Южное полушарие	0,153	0,134	0,113	0,161	0,207	0,083	0,078	0,082	0,085	0,086

Примечание. Все оценки в таблице статистически значимы на 0,1%-м уровне. Оценки приведены для временных рядов, представленных на рис. 3.

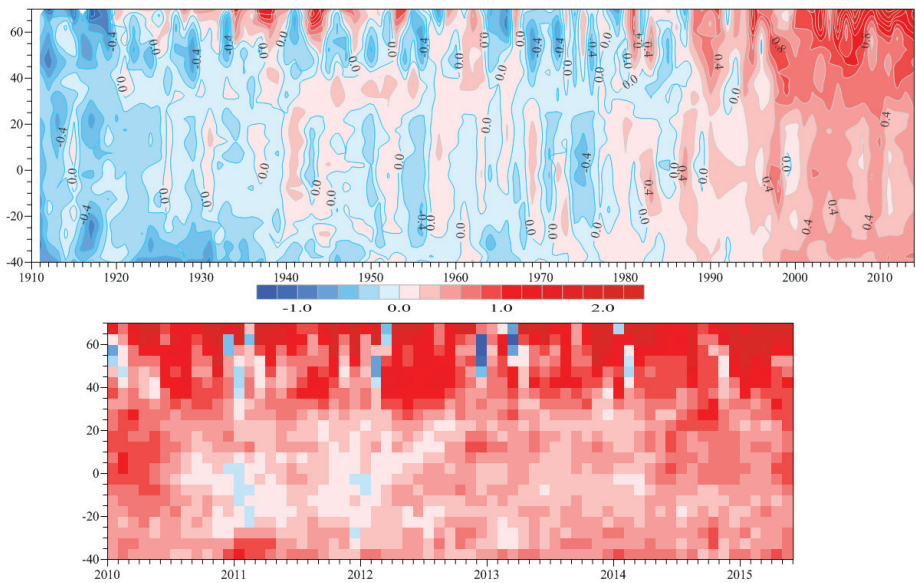


Рисунок 7 — Изменение с широтой (ось Y) и во времени (ось X) среднеширотных аномалий среднегодовой (вверху, 1910–2014 гг.) и среднемесячной (внизу, 2010–2015 гг.) температуры у поверхности земли. Расчет выполнен по объединенным данным массива HadCRUT4 (суша+море, Met Office, UK). Базовый период для расчета аномалий 1961–1990 гг.

зимние сезоны). Во внетропических широтах Северного полушария чередуются эпизоды холодных и теплых зим, снижающие интегральную оценку годовых трендов.

Судя по рис.8, наибольший вклад в долгопериодные изменения температурного режима северных умеренных широт 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). *В последние два года, по-видимому, меняется режим в Тихоокеанско-Американском и в Сибирском секторах (усиливается тенденция к потеплению).*

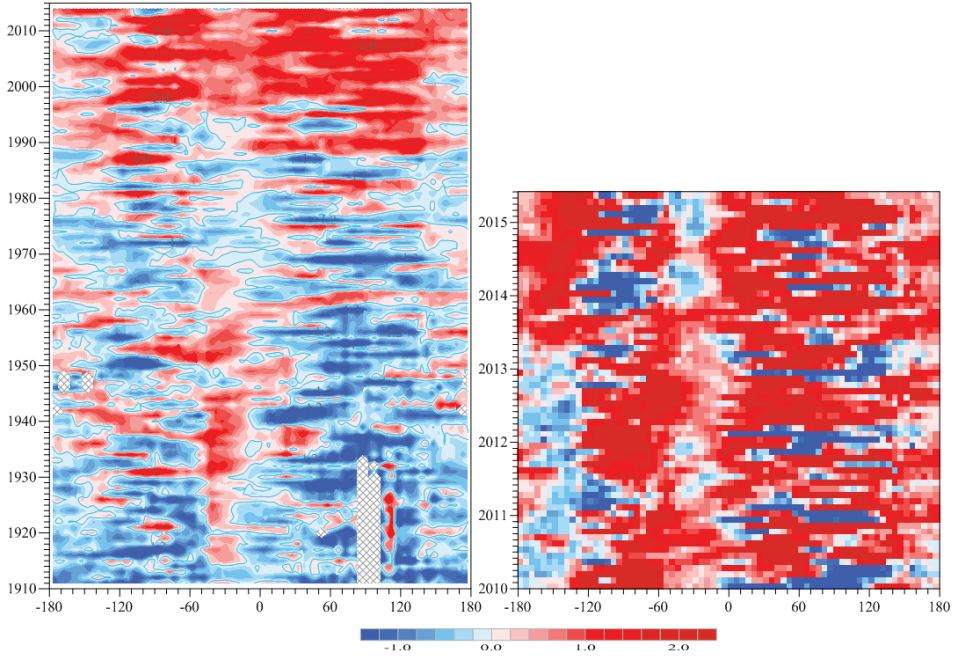


Рисунок 8 — Изменение с долготой (ось X) и во времени (ось Y) аномалий среднегодовой (слева, 1910–2014 гг.) и среднемесячной (справа, 2010–2014 гг.) температуры у поверхности Земли, осредненных вдоль каждого меридиана в широтном поясе 40–60°с.ш.

Расчет выполнен по объединенным данным массива HadCRUT4 (суша+море, Met Office, UK). Заштрихованы области отсутствия данных на соответствующем меридиане (в поясе 40–60°с.ш.)

Изменение приземной температуры в крупных регионах мира (1911–2014 гг.). Рассматриваются временные ряды пространственно осредненных среднегодовых аномалий температуры для континентов, северных частей Атлантического и Тихого океанов и основных широтных поясов земного шара. К последним относятся: тропический пояс (между северным и южным тропиками), два умеренных пояса (между каждым тропиком и полярным кругом) и два полярных пояса (от полярного круга до полюса). На временных рядах (рис. 9) показаны тренды за 1976–2014 гг. Численные оценки трендов приведены в табл. 5. для года в целом и для каждого из сезонов.

Можно видеть, что наиболее существенный тренд (вклад в дисперсию более 70%) отмечается в арктическом поясе (65–90°с.ш.). В Антарктическом регионе тренд отмечается только для весенних температур («осень Северного полушария»). В остальное время года однонаправленные тенденции в течение 1976–2014 гг. здесь практически отсутствуют.

Таблица 5 — Оценки линейного тренда пространственно осредненной среднегодовой температуры у поверхности земли (1976–2014 гг.), в среднем за год и по сезонам

Регион	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	<i>b</i>	<i>D</i> %	<i>b</i>	<i>D</i> %	<i>b</i>	<i>D</i> %	<i>b</i>	<i>D</i> %	<i>b</i>	<i>D</i> %
<i>HadCRUT4 (суша+море)</i>										
Атлантика (15–70°с.ш.)	0,21	77	0,21	75	0,18	70	0,23	61	0,25	73
Тихий океан (20–65°с.ш.)	0,16	65	0,12	65	0,12	54	0,20	53	0,18	60
65–90°с.ш.	0,55	70	0,49	33	0,61	53	0,45	69	0,58	60
25–65°с.ш.	0,28	78	0,21	32	0,28	68	0,31	79	0,31	64
25°ю.ш.–25°с.ш.	0,13	58	0,13	34	0,13	43	0,14	56	0,13	50
65–25°ю.ш.	0,13	79	0,09	49	0,13	69	0,12	68	0,12	77
90–65°ю.ш.	0,10	8	-0,03	1	-0,01	0	0,18	4	0,32	29
<i>IGCE-T3288 (суша)</i>										
Северная Америка	0,26	30	0,38	15	0,10	3	0,26	41	0,30	28
Евразия	0,38	69	0,22	10	0,51	62	0,39	76	0,41	50
Южная Америка	0,54	17	0,16	43	0,11	17	0,16	27	0,24	60
Африка	0,30	68	0,28	37	0,34	61	0,30	65	0,29	54
Австралия	0,16	21	0,088	4	0,087	2,5	0,162	13	0,309	28
Антарктида	0,08	4	-0,01	0	-0,034	0	0,16	3	0,34	25

Примечание. *b* °C/10 лет — коэффициент линейного тренда; *D*% — вклад тренда в суммарную дисперсию ряда. Соответствующие временные ряды приведены на рис. 9. Оценки, выделенные синим цветом, статистически незначимы даже на 5%-м уровне. Остальные оценки статистически значимы на 1%-м уровне.

Сезонные особенности трендов в рассматриваемых регионах четко видны из рис. 10, где приведен сезонный ход (от месяца к месяцу) коэффициентов тренда регионально осредненной приземной температуры. Для наглядного отображения зимнего сезона декабрь повторен дважды (под номерами 0 и 12). Пунктирными линиями и пустыми кружками показаны участки статистически незначимых трендов даже на 5%-м уровне. В подавляющем большинстве остальных случаев тренды статистически значимы на 1%-м уровне.

Для глобальной температуры и температуры обоих полушарий, как для суши (температура приземного воздуха), так и интегрально (температура воздуха над сушей и температура поверхности океанов), тренды положительны и статистически значимы на уровне 0,1%, с несколько более высокими значениями для весны и осени.

В рассматриваемых акваториях Северной Атлантики и Тихого океана потепление выражено в течение всего года, но в летне-осенний сезон оно более интенсивно. В общей картине региональных трендов можно отметить следующие основные особенности.

- Тенденция к похолоданию получена только для Антарктического материка и Южной полярной области (65–90°ю.ш.), и только в период декабрь-май.

При этом все отрицательные коэффициенты тренда статистически незначимы даже на 10%-м уровне.

- На континентах Северного полушария тренды положительны, но направленность их сезонного хода с декабря по июнь противоположна: в марте максимум в Евразии и минимум в Северной Америке, в декабре и январе — наоборот, и лишь летом тренд в изменении приземной температуры здесь примерно одинаков. Тенденции изменения зимних температур в этих регионах на рассматриваемом отрезке времени представляются менее определенными (статистическая значимость существенно ниже).

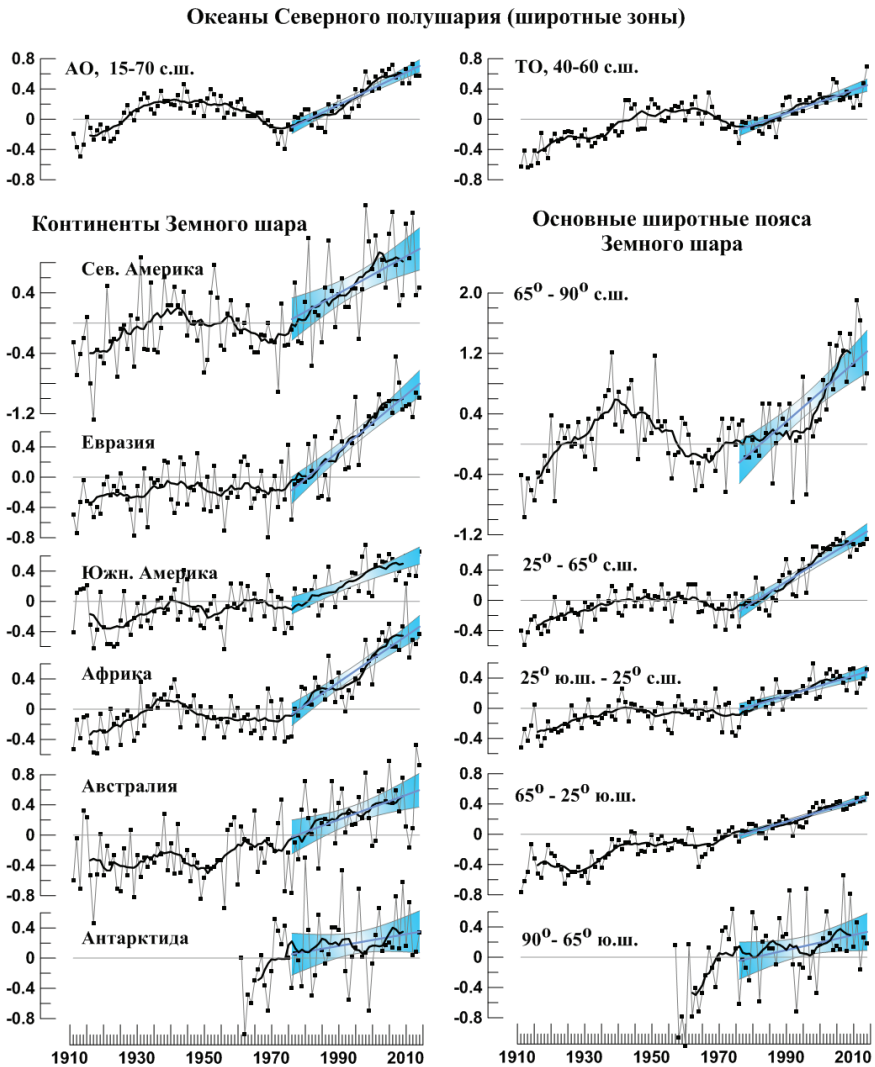


Рисунок 9 — Аномалии среднегодовой температуры, осредненные по территории крупных регионов мира: а) северная часть Атлантического и Тихого океанов (вверху); континентов Земного шара (слева); основных широтных поясов Земного шара (справа).

Расчеты выполнены по станционным данным T3288 (для континентов) и сеточным данным HadCRUT4 (для океанов и широтных поясов). Базовый период: 1961–1990 гг. Для каждого временного ряда показан линейный тренд за 1976–2014 гг. с 95%-м доверительным интервалом (голубая заливка) и ход 11-летних скользящих средних (черная линия).

Из широтных поясов по интенсивности потепления практически во все сезоны лидирует Арктический пояс (65–90 °с.ш.) при том, что в зимний период года скорость потепления здесь минимальна и при $\alpha=5\%$ статистически незначима (по-видимому, за счет континентов северного полушария, см. выше).

Из континентов южного полушария тренды значимы лишь для Африки и указывают на тенденцию к потеплению. В Южной Америке и в Австралии тренд статистически значим лишь в отдельные месяцы.

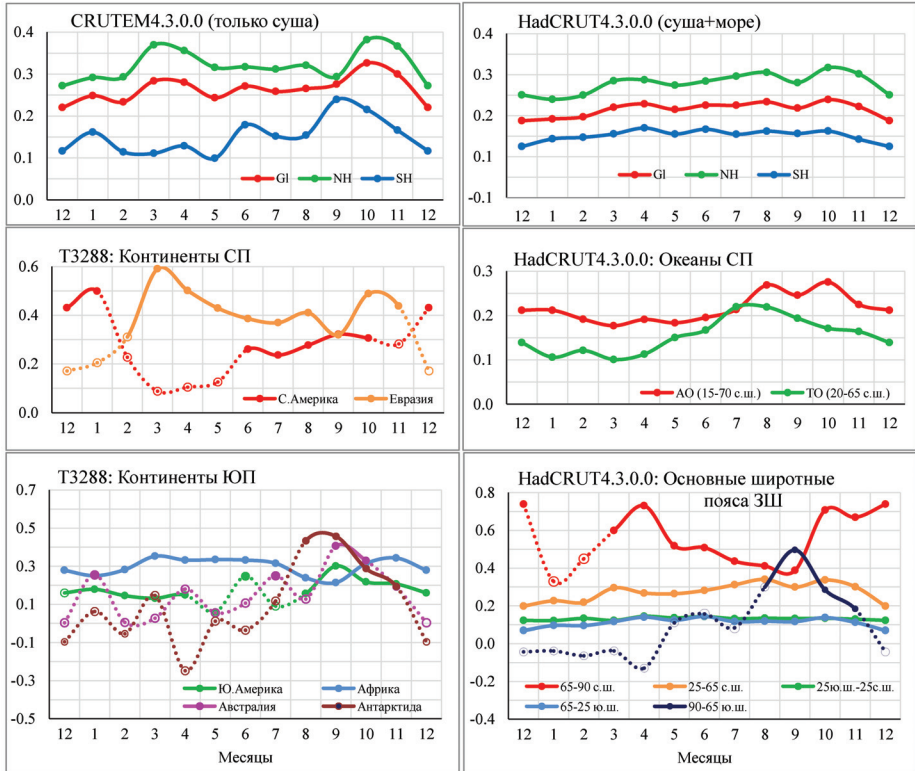


Рисунок 10 — Сезонный ход коэффициентов линейного тренда в изменении среднемесячной температуры крупных регионов мира за период 1976–2014 гг.: слева — для температуры приземного воздуха над сушей (по глобальным рядам CRUTEM4 или по массиву станционных данных ИГКЭ), справа — для объединенной температуры воздуха над сушей и температуры поверхностного слоя воды на акваториях океанов (по массиву сеточных данных HadCRUT4). Залитыми кружками и сплошными кривыми выделены тренды, статистически значимые, по крайней мере, на 5%-м уровне. Большая часть статистически значима на 1%-м уровне.

Географические особенности современных изменений среднегодовой приземной температуры Земного шара приведены на рис. 11. Глобальные распределения оценок локальных трендов на верхнем фрагменте получены по объединенным сеточным данным HadCRUT4 (суша+море), на нижнем фрагменте — по станционным данным T3288 (только суша). Аналогичные распределения сезонных оценок приведены на рис. 12, но только для температуры над сушей (по данным T3288). Желтыми и белыми точками показано местоположение боксов/станций с трендами, статистически значимыми на 5%-м уровне (соответственно, положительными и отрицательными).

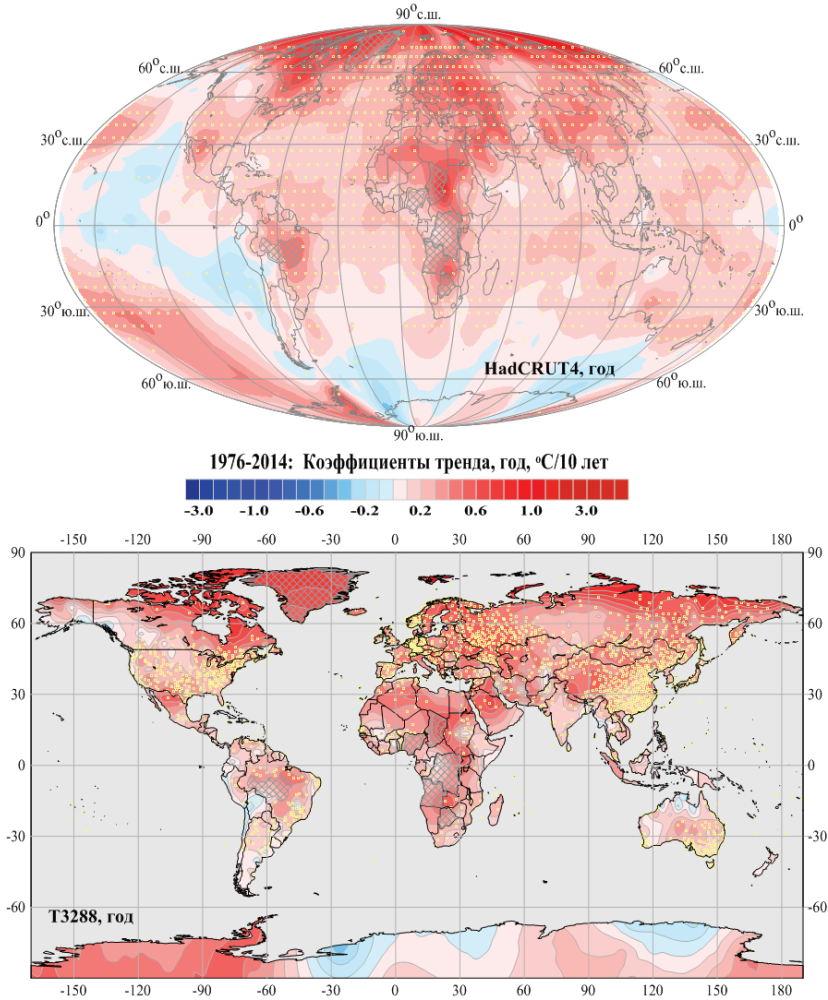


Рисунок 11 — Пространственное распределение коэффициентов линейного тренда среднегодовой температуры у поверхности земли ($^{\circ}\text{C}/10$ лет), 1976–2014 гг., рассчитанные по объединенным данным HadCRUT4 (вверху, суша+море) и по станционным данным T3288 (внизу, только суша). Желтыми точками выделены станции, на которых тренд статистически значим на 5%-м уровне.

В 2014 г., как и в предыдущие годы, повышение среднегодовых температур с 1976 г. выявляется на большей части Земного шара (кроме Тихого океана и морей вблизи Антарктиды), в том числе, практически над всей сушей. Наибольшая скорость роста (рис. 11) отмечается в Китае, Европе, на юге США, на северо-востоке России. От сезона к сезону картина «потепления» над континентами существенно меняется (рис. 12). Выделяется зимний сезон с значительными областями похолодания в России (Сибирь, Чукотка), США (вдоль западного побережья), Австралии (северо-западные территории) и в Средиземноморском регионе (север Африки, Испания). На остальной территории зимой, как и в среднем за год, тренд положителен. Весной выделяется обширная область похолодания в Северной Америке (север США и Канада). При этом, в оба сезона в областях похолодания значения

коэффициентов тренда статистически незначимы даже на 10%-м уровне значимости, а тренды потепления на значительных территориях статистически значимы на 1%-м уровне. Летний и осенний сезоны характеризуются отсутствием областей похолодания и особенно значительными территориями интенсивного потепления (статистически значимого на 5%-м уровне).

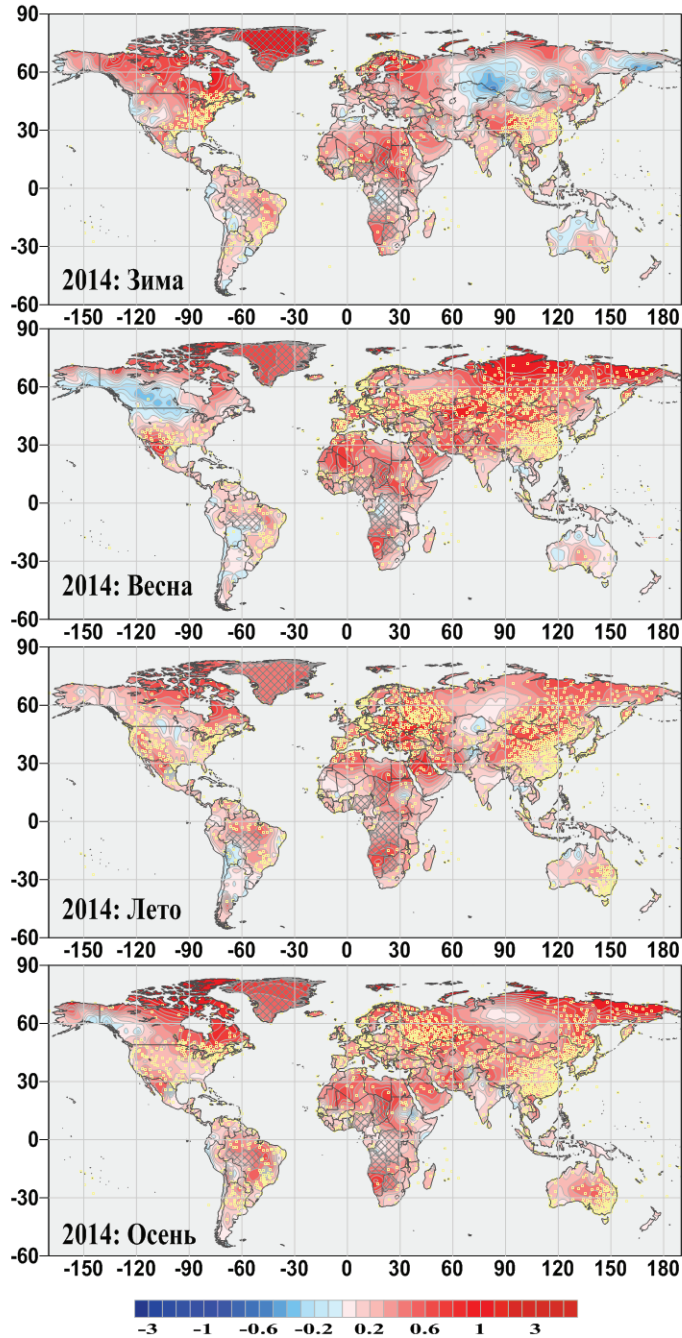


Рисунок 12 — См. рис. 11, но для сезонов и только над сушей земного шара (по данным T3288).

В заключение на рис. 13 приведены глобальные распределения коэффициентов тренда для двух примерно одинаковых отрезков ряда 1976–1995 и 1996–2014 гг., в среднем за год и для зимнего сезона (аналогичное сопоставление в (Росгидромет, 2015) ограничивалось территорией РФ).

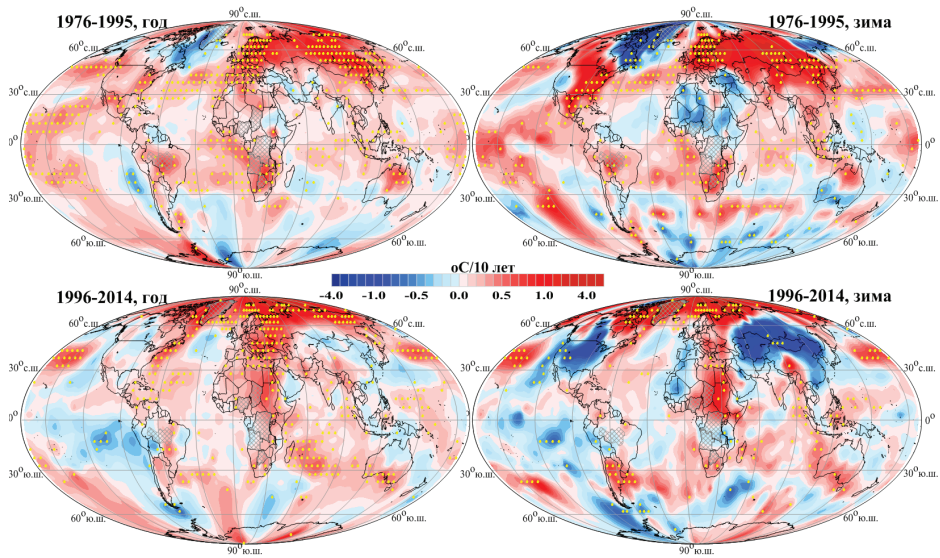


Рисунок 13 — Распределение коэффициентов тренда среднегодовой (слева) и средней за зимний сезон (справа) температуры у поверхности за два периода: 1976–1995 гг. (вверху) и 1996–2014 гг. (внизу).

Оценки получены по объединенным данным HadCRUT4 (суша+море, Met Office, UK).

Изменение трендов (от периода к периоду) заметно на обеих парах карт, но на картах для зимнего сезона оно проявилось особенно ярко. В частности, в Гренландии, на северо-востоке Канады и в центральных районах Африки похолодание зимних сезонов в первом периоде сменилось во втором 20-летии потеплением, а потепление сменилось похолоданием на значительных территориях в азиатской части Евразии (отмечено в (Росгидромет, 2015)), на западе Канады, на востоке США и в некоторых районах Тихого океана. В результате, практически вся территория Арктического пояса во втором 20-летии оказалась в области интенсивного потепления, а в умеренных широтах Северной Америки и Евразии сформировались две обширные области интенсивного похолодания. В Южном полушарии изменилась направленность трендов в Антарктическом поясе и в Тихом океане. В изменении среднегодовых температур отмечаются те же тенденции, но значительно меньшей интенсивности.

При анализе других сезонов подобных резких изменений не обнаружено. В ряде регионов у поверхности земли отмечается продолжающееся потепление весенних и осенних сезонов и значительно расширилась область похолодания в Тихом океане.

Вывод о продолжающемся потеплении весенних сезонов согласуется с небывало теплой весной 2015 года в Евразийском секторе умеренных широт и в высоких широтах Северного полушария (рис. 7–8). Рекордно высокими

были и значения пространственно осредненных сезонных аномалий в ряде регионов. Так, в 2015 году рекордно высокой была весенняя аномалия глобальной температуры и температуры Северного полушария, как по объединенным данным HadCRUT4 (+0,68°C и 0,89°C, суша + море), так и по станционным данным ИГКЭ (1,07, 1,30°C, только суша). В северной части Тихого океана средняя по акватории аномалия приповерхностной температуры держалась на рекордных отметках все три весенних месяца (0,62, 0,79, 0,87°C), а в течение всей предшествующей зимы была выше 99-го процента. В Южном полушарии весна 2015 г. попала в 5% самых теплых весенних сезонов лишь в Южной Америке и Африке (соответственно, средняя по территории континента аномалия равна 0,79°C и 1,06°C).

Заключение

Приведенные выше оценки получены по новейшим (по май 2015 г.) данным инструментальных наблюдений на доступной глобальной сети станций и отражают сложившуюся на данный момент ситуацию. На основе этих данных показано:

- 2014 год — самый теплый на Земле в истории наблюдений: аномалия глобальной приповерхностной (над континентами и океанами) температуры достигла в этом году рекордного значения 0,564°C (данные Hadley/CRU, базовый период 1961–1990 гг.). Рекорд подтвержден независимыми анализами ведущих мировых метеорологических центров (Hadley/CRU, NASA/GISS, NOAA/NCDC, JMA). Предыдущими самыми теплыми были 2010 и 2005 годы (аномалия по данным Hadley/CRU 0,555 и 0,540°C, соответственно). Рекордно высокой была и средняя приповерхностная температура Северного полушария. По температуре *приземного воздуха над сушей* Земного шара самыми теплыми были 2007, 2010 и 2005 гг., а 2014 год оказался лишь на пятом месте (по согласующимся данным ИГКЭ и Hadley/CRU), хотя, по данным ИГКЭ, рекордно высокие значения среднегодовой температуры отмечены на обширных территориях в Европе, на западе Северной Америки и на юге Австралии. Необычно холодно, с рекордно низкими значениями температуры, было лишь в Северной Америке (особенно зимой и весной в восточных регионах).
- Современное потепление началось с конца 1970-х гг., но глобальным стало лишь к 1990-ым. На текущий момент оно продолжается на большей части Земного шара (кроме части Тихого океана и морей вблизи Антарктиды), в том числе практически над всей сушей. Скорость потепления выше в Северном полушарии и над континентами. Наибольшая скорость роста (в среднем за год) отмечается в Китае, Европе, на юге США, на северо-востоке России. Тенденция к похолоданию получена только для Антарктического материка и Южной полярной области (65–90° ю.ш.), и только в период декабрь-май. При этом, все отрицательные коэффициенты тренда статистически незначимы даже на 10%-м уровне.

- От сезона к сезону картина «потепления» над континентами существенно меняется. Выделяется зимний сезон с значительными областями похолодания в России (Сибирь, Чукотка), США (вдоль западного побережья), Австралии (северо-западные территории) и в Средиземноморском регионе (север Африки, Испания). На остальной территории зимой, как и в среднем за год, тренд положителен. Весной выделяется обширная область похолодания в Северной Америке (север США и Канада). При этом, в оба сезона в областях похолодания значения коэффициентов тренда статистически незначимы даже на 10%-м уровне значимости, а тренды потепления на значительных территориях статистически значимы на 1%-м уровне. Летний и осенний сезоны характеризуются отсутствием областей похолодания и особенно значительными территориями интенсивного потепления (статистически значимого на 5%-м уровне).

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

Благодарности

Авторы выражают искреннюю признательность коллегам: М.Ю. Бардину за поддержку и полезные обсуждения результатов, О.Ф. Самохиной за помощь и постоянное участие в работе по подготовке и сопровождению базы данных.

Список литературы

Берлянт А.М. Картография: Учебник для вузов. — М.: Аспект Пресс, 2002, 336 с.

Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата России: температура воздуха. — Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2012 г., 193 с.

ОД2, 2014: Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. — М., Росгидромет, 2014, с. 18–235.

Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М., 2008: Особенности проявления современного глобального потепления климата в различных регионах северного полушария в последние десятилетия. Вестник Удмуртского университета. Биология. Наука о Земле. — 2008, Выпуск 2, с. 3–13.

Росгидромет, 2012-2014. Ежегодные Доклады об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2011-2013 гг. <http://climatechange.su>, <http://www.igce.ru>.

Росгидромет, 2015: Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2014 г., — М.: 2015, 107 с.

Шерстюков Б.Г., 2008: Региональные и сезонные закономерности изме-

нения современного климата. Изд. ГУ «ВНИИГМИ-МЦД». Обнинск, — 2008, 246 с.

BAMS, 2015: State of the Climate in 2014. Bull. Amer. Meteor. Soc., 96 (7), S1-S267, Blunden, J., and D.S. Arndt, Eds. <http://www.ncdc.noaa.gov/bams-state-of-the-climate>.

Bell G.D., ed all, 2015: Climate Diagnostics Bulletin. Climate Prediction Center. DECEMBER 2014. NOAA/NWS/NCEP.

Blunden, J., and D.S. Arndt, Eds., 2014: State of the Climate in 2013. Bull. Amer. Meteor. Soc., 95 (7), S1-S257. <http://www.ncdc.noaa.gov/bams-state-of-the-climate>.

IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

Karl T.R., A. Arguez, B. Huang, J.H. Lawrimore, J.R. McMahon, M.J. Menne, T.C. Peterson, R.S. Vose, and Huai-Min Zhang, 2015: Possible artifacts of data biases in the recent global surface warming hiatus. Science 26 June 2015: 1469–1472.

JMA, 2014: Climate Change Monitoring Report. 1-3-4 Otemachi, Chiyodaku, Tokyo 100-8122, Japan <http://ds.data.jma.go.jp/tcc/tcc/products/gwp/gwp.htm>.

JMA, 2015: Annual Report on the Climate System 2014. Japan Meteorological Agency. March 2015: pp. 1–68.

Jones Ph., 2015: Global Temperature Record. Updated February 2015. <http://www.cru.uea.ac.uk/information-sheets>.

Met Office, 2015: Climate bulletin — December 2014. Summary of the world's climate. Met Office, UK. <http://www.metoffice.gov.uk/research/monitoring/climate/bulletins>.

NASA GISS, 2015: NASA, NOAA find 2014 warmest year in modern record. Posted Jan. 16, 2015. <http://www.giss.nasa.gov/research/news/20150116/>.

NOAA NCEI, 2015: National Centers for Environmental Information, State of the Climate: Global Analysis for Annual 2014, published online January 2015, retrieved on August 12, 2015 from <http://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201413>.

WMO, 2015: WMO statement on the status of the global climate in 2014. WMO-No. 1152. ISBN 978-92-63-11152-4. https://www.wmo.int/pages/index_en.html.