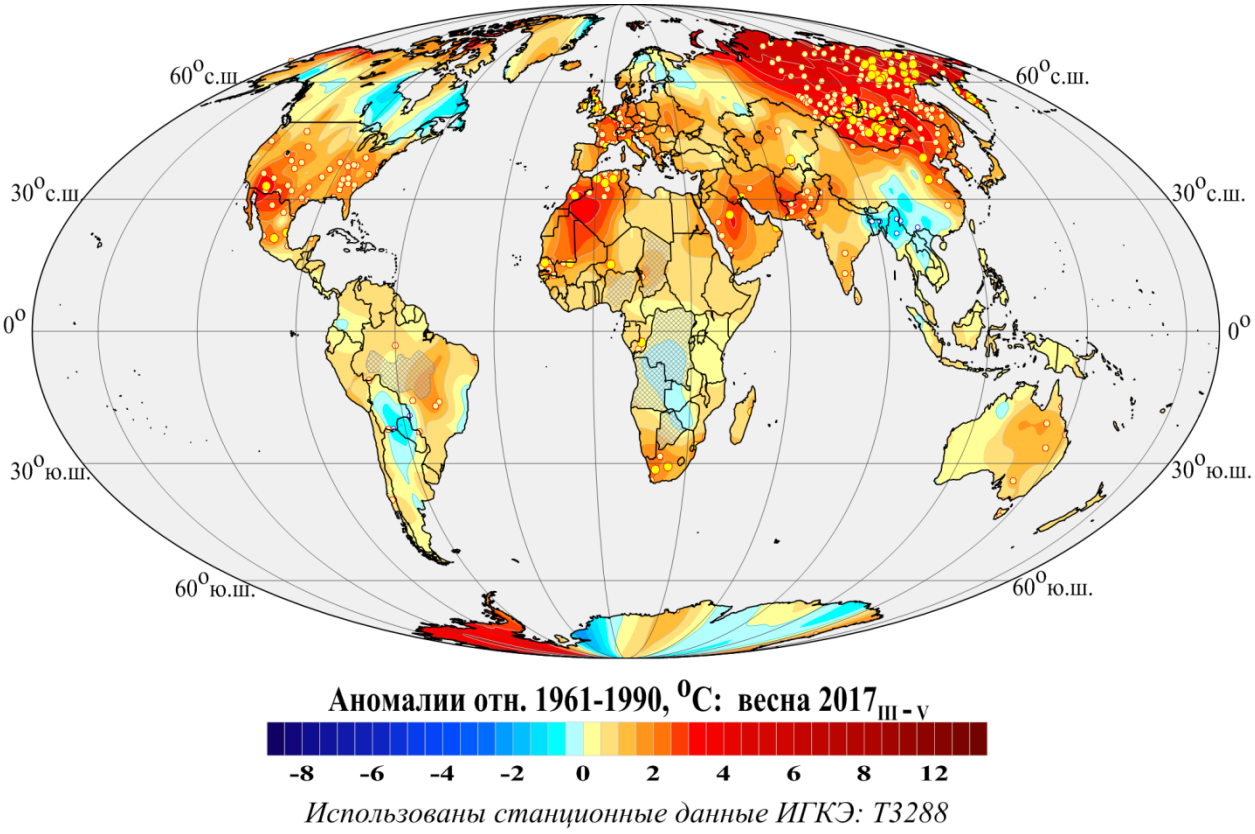
Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды

ФГБУ «Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН»

Бюллетень мониторинга изменений климата Земного шара

Приземная температура

Весна 2017



Москва 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ[1,2]

1. ВВЕДЕНИЕ …….. 3

2. ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ У ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМНОГО ШАРА ВЕСНОЙ 2017 г. ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ АНОМАЛИИ …… 6

3. КРУПНОМАСШТАБНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ЗЕМНОГО ШАРА ЗА ПЕРИОД ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ 1850-2017 гг. (весенний сезон) …….…….. 11

4. РЕГИОНАЛЬНЫЕ ВРЕМЕННЫЕ РЯДЫ ПРОСТРАНСТВЕННО ОСРЕДНЕННЫХ АНОМАЛИЙ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ, 1911-2017 гг. (весенний сезон) …….…….. 16

5. ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА ЗЕМНОГО ШАРА, 1976-2017 гг. (весенний сезон) …….. 19

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ ……..... 22

[1] Бюллетень подготовлен в ФГБУ «ИГКЭ Росгидромета и РАН». Данные текущих наблюдений (сводки КЛИМАТ и СИНОП из оперативного потока) подготовлены в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» и ФГБУ «Гидрометцентр РФ»

[2] На обложке приведено поле средних сезонных аномалий температуры приземного воздуха над сушей Земного шара: весна 2017 (март-май)

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящем бюллетене представлены данные о климатических аномалиях, наблюдавшихся весной 2017 г., и обновленные (с учетом этих данных) оценки тенденций в изменении температурного режима весенних сезонов на территории Земного шара в течение 1976–2017 гг. (по разделу «приземная температура»). Оценки приведены для сезона в целом и каждого из месяцев (март-апрель-май).

Бюллетень подготовлен в ФГБУ «ИГКЭ Росгидромета и РАН» средствами технологии оперативного мониторинга климата, разработанной в ИГКЭ и базирующейся на использовании данных станционных наблюдений о средней месячной температуре приземного воздуха на суше земного шара. В качестве базового массива исторических наблюдений используется массив Т3288 (создан и поддерживается в ИГКЭ), который содержит данные о среднемесячной температуре на глобальной сети 3288 станций за период с 1901 года. Данные текущих наблюдений формируются в Гидрометцентре РФ и ВНИИГМИ-МЦД (на основе сводок «КЛИМАТ» и «СИНОП», поступающих по каналам связи в оперативном потоке) и в установленные сроки передаются в ИГКЭ. Технологический цикл включает извлечение необходимых данных, их контроль и обработку, сопряжение с историческими рядами и расчет всех материалов мониторинга. Данные, методика их обработки и технология подготовки бюллетеней одобрены Центральной методической комиссией Росгидромета[3]. Решением ЦМКП технология рекомендована к использованию «в качестве основной для регулярного осуществления мониторинга в ФГБУ «ИГКЭ Росгидромета и РАН»». Развернутый комментарий к материалам бюллетеня с описанием используемых источников, сети станций и элементов методики размещен на web-сайте ИГКЭ[4].

Параллельно в бюллетене приводятся оценки по данным метеослужбы Великобритании[5] – они упоминаются в бюллетене как «данные Hadley/CRU». Глобальные оценки и глобальные временные ряды (для Земного шара и полушарий) по данным Hadley/CRU приводятся только по оригинальным данным источника. Это значит, что глобальные и полушарные временные ряды рассчитаны по методике ИГКЭ только по массиву Т3288; в остальных случаях (по данным CRUTEM4, HadSST3 и HadCRUT4) глобальные ряды скачиваются с сайта производителя и корректировке не подлежат. Пространственно осредненные временные ряды для регионов рассчитаны по методике ИГКЭ по данным HadCRUT4 (для океанов и широтных поясов) и по данным Т3288 (для континентов).

---

[3] Решение Центральной методической комиссии по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам от 20 декабря 2016 г. – http://method.meteorf.ru

[4] О бюллетене мониторинга изменений климата Земного шара (read me). – http://climatechange.su; http://climatechange.igce.ru

[5] Массивы CRUTEM4 (температура воздуха над сушей), HadSST3 (температура воды на поверхности океанов и морей) и HadCRUT4 (объединенные данные над континентами и океанами) созданы и поддерживаются совместно двумя коллективами Великобритании – Хэдли-центр (Met Office Hadley Centre) и Университет Восточной Англии (CRU UEA). Данные ежемесячно обновляются и публикуются производителем на web-сайтах http://www.MetOffice.gov.uk и http://www.cru.uea.ac.uk в форме глобальных сеточных полей (в центрах 5-градусных боксов) и глобальных временных рядов (для Земного шара и обоих полушарий). В данном выпуске использованы данные HadCRUT.4.5.0.0, CRUTEM.4.5.0.0, HadSST.3.1.1.0 от 27.06.2017.

На наш взгляд, станционные данные Т3288 более точно описывают ситуацию над континентами (особенно локализацию экстремальных аномалий), а объединенные поля HadCRUT4 дают более полную и цельную глобальную картину распределения «приповерхностной» температуры над континентами и океанами. Термины «приповерхностная температура» и «приземная температура» используются в бюллетене как синонимы.

Таким образом, в используемой технологии массив Т3288 служит базовым массивом для оценки состояния температурных условий *на суше земного шара*, а массив HadCRUT4 используется для создания полной *глобальной* картины *над сушей и океанами. Глобальные временные ряды* CRUTEM4 и оценки по ним приводятся в бюллетене для сравнения с одноименными данными ИГКЭ с целью лучшего понимания меры их неопределенности. В частности, временные ряды на рис. 1.1 и оценки в табл. 1.1 подтверждают исключительную близость оценок по этим двум источникам для весенних месяцев 1976-2017 гг.

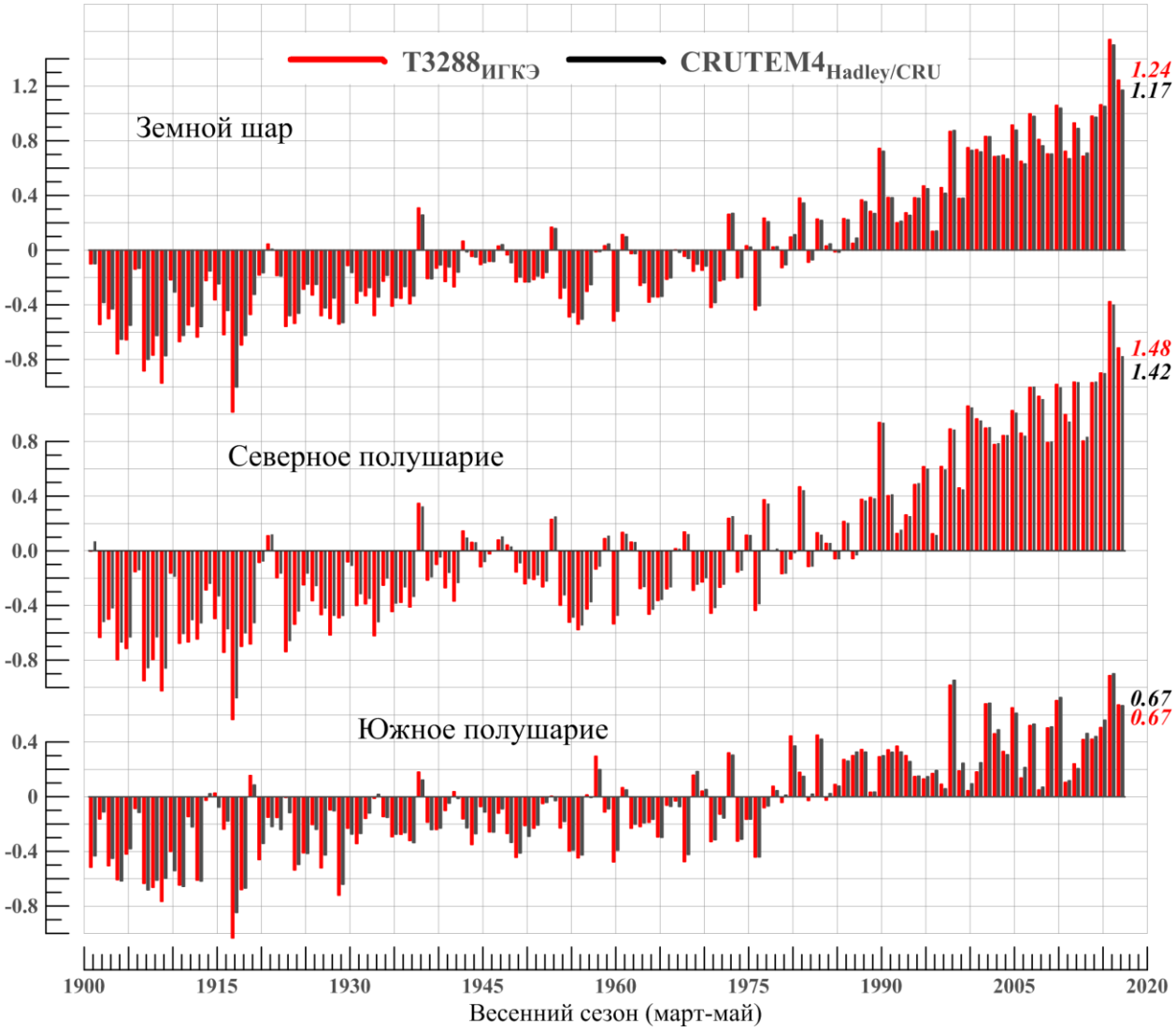


Рисунок 1.1 – Временные ряды пространственно осредненных сезонных аномалий температуры приземного воздуха (°С, 1901-2017 гг., весна) над сушей Земного шара, Северного и Южного полушарий. *Использованы временные ряды, рассчитанные по данным массива Т3288 (ИГКЭ Росгидромета и РАН) и глобальные временные ряды CRUTEM4 (Hadley/CRU).*

Как и в оценках для зимнего сезона, различия между значениями рядов в отдельные годы не превышают 0.1-0.2°C (строка «max»); их средние квадратические отклонения (0.02-0.05°C, строка «σ») более, чем на порядок, ниже изменчивости самих аномалий (0.3-0.7, строка «std), а различия в оценках трендов, полученных по разным массивам данных, и вовсе пренебрежимо малы (0.00-0.01°C/10 лет, строка «b»). Таким образом, приводимые в бюллетене оценки трендов, рассчитанные по данным массива T3288, можно считать реалистичными.

В заключение, в таблице 1.2 сравниваются значения межгодовых изменений температуры весеннего сезона за три последних года, включающие скачкообразное повышение температуры от 2015 к 2016 и чуть менее резкое понижение температуры от 2016 к 2017. Оказалось, что скачок на повышение температуры в 2016 г. по данным CRUTEM4 был ниже оценки по данным T3288, а компенсирующее понижение температуры в 2017 г., напротив, выше, что увеличило расхождение между оценками Hadley/CRU и ИГКЭ для весны 2017 г.

Таблица 1.1 – Оценки близости/различия глобальных временных рядов T3288 (ИГКЭ) и CRUTEM4 (Hadley/CRU), весной 2017 г. и в среднем за весенние сезоны 1976-2017 гг.

Оценка	Земной шар				Северное полушарие				Южное полушарие			
	Весна	**Март**	**Апрель**	**Май**	**Весна**	**Март**	**Апрель**	**Май**	**Весна**	**Март**	**Апрель**	**Май**
D_{2017}	**2017**											
	0.07	0.19	0.05	0.02	0.06	016	0.03	0.01	0.01	0.08	-0.01	0.01
	1976-2017											
eD	0.01	0.01	0.01	0.01	-0.03	0.00	0.00	-0.02	-0.01	-0.01	0.02	0.01
σD	0.02	0.02	0.02	0.02	0.05	0.02	0.03	0.04	0.05	0.03	0.04	0.03
αD	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04	0.02	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.04
maxD	0.07	0.07	0.07	0.07	0.17	0.06	0.15	0.14	0.19	0.08	0.09	0.10
bD	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.01	0.00	0.00
Corr (Z_1,Z_2)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	0.99
Std (Z_1,Z_2)	0.41	0.52	0.42	0.30	0.51	0.58	0.59	0.69	0.26	0.27	0.28	0.30

Условные обозначения. 1) D=T3288-CRUTEM4; 2) eD, σD, αD, maxD, bD – статистические характеристики различий: среднее различие, стандартное отклонение, среднее и максимальное абсолютное различие, среднее различие коэффициентов тренда; 3) Corr (Z_1,Z_2), Std (Z_1,Z_2) – корреляция сравниваемых глобальных рядов и их усредненное стандартное отклонение.

Таблица 1.2 – Изменения приземной температуры весеннего сезона последних трех лет, в среднем по территории суши Земного шара и полушарий

Годы	Данные T3288, °C (ИГКЭ)			Данные CRUTEM4, °C (Hadley/CRU)		
	Земной шар	СП	ЮП	Земной шар	СП	ЮП
2014-2015	0.083	0.071	0.086	0.080	0.062	0.118
2015-2016	0.477	0.522	0.380	0.449	0.503	0.340
2016-2017	-0.297	-0.339	-0.214	-0.330	-0.379	-0.233

Все Бюллетени мониторинга климата, сезонные и годовые, выпускаемые в ФГБУ «ИГКЭ Росгидромета и РАН», размещаются на сайтах http://climatechange.su/, http://climatechange.igce.ru/. Сезоны соответствуют их календарным срокам в Северном полушарии.

2. ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ У ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМНОГО ШАРА ВЕСНОЙ 2017 г. ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ АНОМАЛИИ

В соответствии с данными табл. 2.1, по всем видам данных – над сушей (T3288, CRUTEM4), океанами (HadSST3) и интегрально (HadCRUT4) – самым теплым весенним сезоном в истории наблюдений (с 1911 года) остается весна 2016 года. Весенний сезон 2017 г. занял вторую строчку в упорядоченных по убыванию временных рядах сезонных аномалий – во всех, кроме суши Южного полушария (T3288, CRUTEM4, ранг 5) и Южного полушария в целом (HadCRUT4, ранг 3). Таким образом, над сушей и океанами, в среднем по территории Северного полушария и Земного шара, последние 3 года составили тройку самых теплых весенних сезонов, в которой 2015 год уступил свое второе место 2017-му: 2016-2017-2015. В результате, скачкообразное повышение весенней температуры от 2015 к 2016 гг. (сразу на 0.5 ^{o}C!) более чем на 50%у компенсировалось ее понижением в 2017 г. (рис. 1.1, табл. 2.1).

Таблица 2.1 – Пять самых теплых весенних сезонов для Земного шара (ЗШ) Северного (СП) и Южного (ЮП) полушарий по данным разных источников: средняя за сезон аномалия температуры VT и год наблюдения

№	ЗШ		СП		ЮП	
	VT, ^{o}C	Весна	VT,^{o}C	Весна	VT,^{o}C	Весна
HadCRUT4 (Hadley/CRU, суша+море)						
1	0.891	2016	1.138	2016	0.641	2016
2	0.755	***2017***	0.964	***2017***	0.579	1998
3	0.692	2015	0.920	2015	0.547	***2017***
4	0.648	2010	0.818	2014	0.500	2010
5	0.617	2014	0.797	2010	0.479	2002
T3288 (ИГКЭ, суша)						
1	1.541	2016	1.823	2016	0.886	2016
2	1.244	***2017***	1.484	***2017***	0.816	1998
3	1.064	2015	1.301	2015	0.703	2010
4	1.059	2010	1.234	2012	0.679	2002
5	0.997	2007	1.230	2014	0.672	***2017***
CRUTEM4 (Hadley/CRU, суша)						
1	1.501	2016	1.802	2016	0.899	2016
2	1.171	***2017***	1.423	***2017***	0.852	1998
3	1.052	2015	1.299	2015	0.725	2010
4	1.038	2010	1.237	2014	0.684	2002
5	0.978	2007	1.233	2012	0.666	***2017***
HadSST3 (Hadley/CRU, море)						
1	0.646	2016	0.678	2016	0.588	2016
2	0.570	***2017***	0.614	***2017***	0.536	***2017***
3	0.525	2015	0.592	2015	0.492	1998
4	0.490	1998	0.460	2014	0.452	2010
5	0.475	2010	0.459	2010	0.444	2015

В текущем сезоне (весна 2017), как и минувшей зимой, т.е. второй сезон подряд, на территории Земного шара, над сушей и океанами, доминировали положительные аномалии температуры: их доля составила 91% по станционным данным T3288 и 88% по сеточным данным HadCRUT4 (табл. 2.2). Почти четверть всех значений оказались выше 95-го процентиля, а на 5% станций (6% боксов) сезонная температура достигла максимальной отметки (с 1911 г.).

Таблица 2.2 – Количество локальных экстремумов на территории Земного шара весной 2017 г. по данным массивов T3288 и HadCRUT4 (все значения приведены в процентах от N)

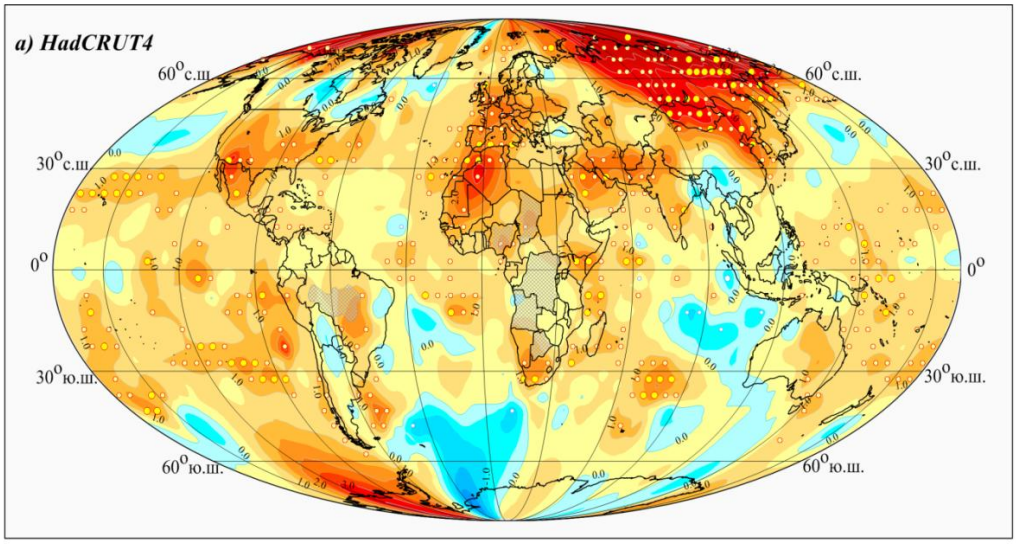
Сезон/месяц 2017 г.	Всего боксов/ станций N	Аномалии (отн. 1961-90)		5%-е экстремумы тепла/холода		Абсолютные экстремумы	
		V<0	V>=0	$X \le P_{05}$	$X \ge P_{95}$	$X=P_0$ (min)	$X=P_{100}$ (max)
а) T3288 (только суша)							
Земной шар							
Весна	1835	9.0	91.0	0.4	23.9	0.0	5.3
Март	1781	13.1	86.9	0.5	30.3	0.1	9.2
Апрель	1828	20.9	79.1	0.3	16.5	0.1	3.8
Май	1847	22.2	77.8	0.2	14.7	0.0	2.5
Арктический пояс, 65-90 с.ш.							
Весна	112	3.6	96.4	0.0	35.7	0.0	7.1
Март	110	5.5	94.5	0.0	58.2	0.0	39.1
Апрель	110	19.1	80.9	0.0	27.3	0.0	1.8
Май	112	44.6	55.4	0.0	3.6	0.0	0.0
Россия							
Весна	400	3.8	96.3		39.0		10.5
Март	398	0.3	99.7		60.8		22.4
Апрель	399	22.8	77.2		18.0		1.5
Май	399	43.1	56.9	0.8	6.5		0.3
б) HadCRUT4 (суша+море)							
Земной шар							
Весна	1596	12.0	88.0	0.7	24.4	0.1	5.8
Март	1657	16.8	83.2	1.8	20.0	0.4	4.9
Апрель	1572	18.4	81.6	1.0	19.1	0.1	4.1
Май	1561	16.7	83.3	0.9	15.7	0.1	3.0
Арктический пояс, 65-90 с.ш.							
Весна	88	3.4	96.6	0.0	35.2	0.0	4.5
Март	80	7.5	92.5	1.3	45.0	0.0	28.8
Апрель	87	14.9	85.1	0.0	18.4	0.0	1.1
Май	90	26.7	73.3	0.0	6.7	0.0	1.1

Усл. обозначения: V - сезонные/месячные аномалии; P_{05}, P_{95} – 5-й и 95-й процентили; P_0, P_{100} – наименьшее и наибольшее значения с 1911 г. Таблица обобщает распределения локальных аномалий и экстремумов на рис. 2.1-2.2.

Наиболее значительные положительные аномалии сосредоточены на континентах Северного полушария – в азиатской части Евразии, на территории США и на северо-западе Африки (рис. 2.1, 2.2) – самые крупные из них зафиксированы на северо-востоке Сибири (7.6-8.2^{o}C). Экстремальные положительные аномалии на Евразийском континенте сохранялись на протяжении всего сезона. В марте они охватили практически всю Евразию

(кроме центральной территории Китая и, частично, Средней Азии), в апреле остались на ее азиатской территории (вся Азиатская часть России плюс Монголия и страны Южной Азии), а в мае сместились на территорию зарубежной Азии и Средиземноморья.

Сезонные экстремумы холода, попавшие в 5% самых холодных весен, наблюдались всего на 8 станциях (0.4% из 1835, по данным T3288). Среди них ни один не достиг уровня «исторического» минимума. По данным в центрах 5-градусных боксов лишь 11 значений (0.7% из 1596, массив HadCRUT4) были ниже 5-го процентиля (табл. 2.2). Наименьшими из значений оказались –2.7°C на береговой антарктической станции HALLEY (75.5°ю.ш., 26.6°з.д.) и –2.8°C в боксе с центром (77.5°ю.ш., 27.5°з.д.).



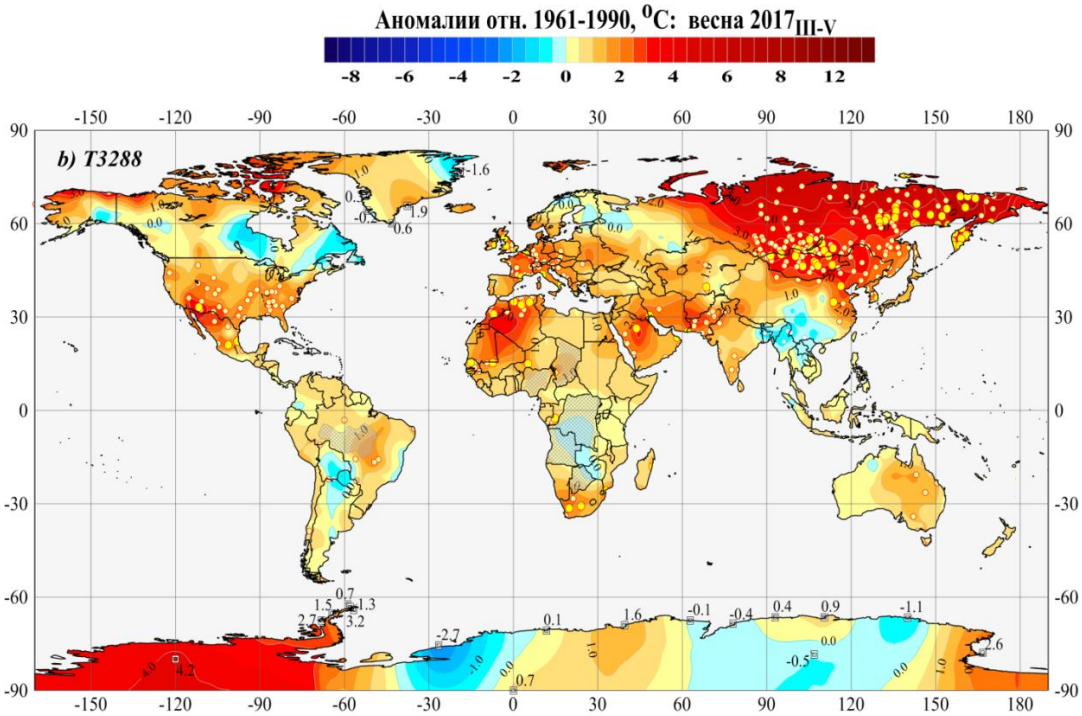
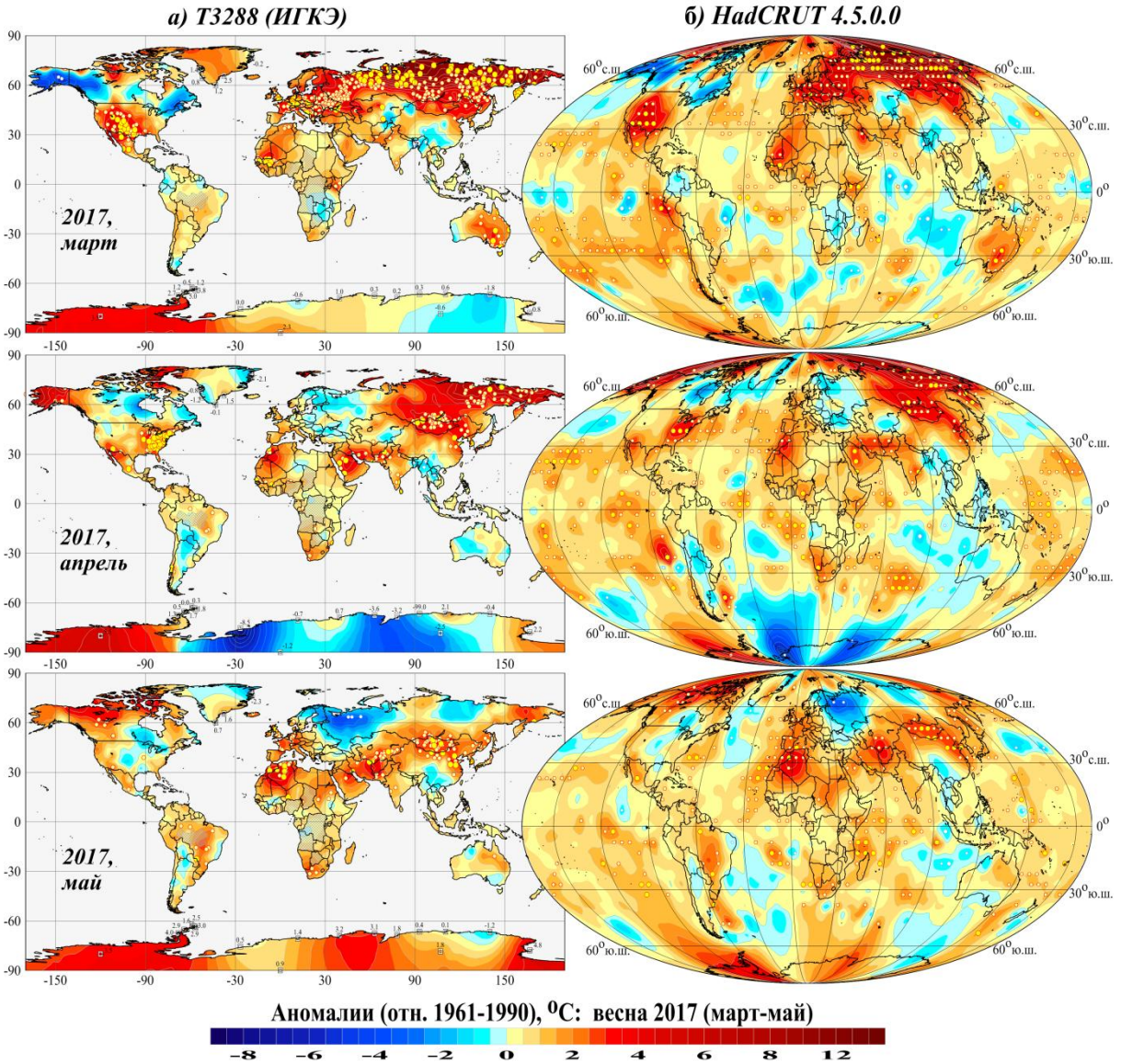


Рисунок 2.1 – Пространственное распределение сезонных аномалий приземной температуры (°C) на территории Земного шара весной 2017 г.: *а)* по сеточным данным HadCRUT4 (Hadley/CRU, UK); *б)* по станционным данным T3288 (ИГКЭ). *Аномалии приведены в отклонениях от нормы 1961-1990 гг. Кружками желтого/белого цвета указано положение 5%-х экстремумов тепла/холода. Значками большего размера указаны максимальные/минимальные значения с 1911 г.*

Наиболее яркой особенностью температурного режима весны-2017 г. является, по-видимому, контраст между условиями в марте и мае, который особенно четко проявляется в статистике аномалий и экстремумов (табл. 2.2), особенно для Арктического пояса и России: в мае значительно увеличилась доля станций с отрицательными аномалиями температуры, и уменьшился процент станций с экстремумами тепла. Самые интенсивные отрицательные аномалии отмечены в мае на севере европейской территории России (ЕЧР); в марте существенно ниже нормы температура была на территории Канады и Аляски, в апреле – в Южном океане и на восточной территории Антарктиды. Области более слабых отрицательных аномалий отмечены также на акваториях океанов, в умеренных широтах Северного полушария и в Атлантическом и Индийском океанах Южного полушария.

Дополнительно отметим, что территория России в этом весеннем сезоне выделяется как регион наиболее значимых и значительных температурных аномалий у поверхности *суши* Земного шара, положительных в марте-апреле (особенно АЧР) и отрицательных в мае (ЕЧР и Средняя Сибирь) – см. табл. 2.2.

Рисунок 2.2 – См. рис. 2.1, но для среднемесячных аномалий весеннего сезона



В среднем по территории крупных регионов (табл. 2.3), температура была выше климатической нормы во всех рассматриваемых регионах в каждом из месяцев. В Северной Атлантике (15-70N) она была рекордно высокой в целом за сезон и в апреле. В марте температура была рекордно высокой в Арктическом поясе (65-90N) и в умеренном поясе Южного полушария (25-65S).

Таблица 2.3 - Пространственно осредненные значения аномалии (^{o}C) приземной температуры и их вероятности непревышения на территории Земного шара весной 2017 г., в среднем за сезон и по месяцам

Регион	Весна		Март		Апрель		Май	
	vT_{2017}	*F%*	vT_{2017}	*F%*	vT_{2017}	*F%*	vT_{2017}	*F%*
HadCRUT4 (суша+море)								
Земной шар*	0.76	99	0.87	99	0.74	99	0.66	98
Северное полушарие*	0.96	99	1.16	99	0.97	99	0.77	97
Южное полушарие*	0.55	98	0.58	98	0.51	97	0.55	99
Атлантика (15-70N)	**0.71**	**100**	0.67	99	**0.81**	**100**	0.67	94
Тихий океан (20-65N)	0.49	97	0.41	97	0.52	98	0.53	97
Арктический пояс (65-90N)	2.81	98	**5.23**	**100**	2.53	92	0.89	79
Умеренный пояс СП (25-65N)	1.08	99	1.35	97	1.07	98	0.84	97
Тропики (25S-25N)	0.61	97	0.56	96	0.63	97	0.64	96
Умеренный пояс ЮП (65-25S)	0.60	98	**0.65**	**100**	0.57	96	0.55	98
Антарктический пояс (90-65S)	0.57	84	0.45	92	-0.52	35	1.60	92
IGCE-T3288 (суша)								
Земной шар	1.24	99	1.68	99	1.14	99	0.95	96
Северное полушарие	1.48	99	2.04	99	1.43	98	1.01	95
Южное полушарие	0.67	96	0.82	98	0.45	91	0.80	99
Северная Америка	1.02	89	0.89	75	1.33	94	0.84	89
Евразия	1.92	97	3.18	99	1.67	94	0.93	88
Южная Америка	0.47	88	0.43	77	0.26	64	0.78	93
Африка	1.29	97	1.31	95	1.15	95	1.58	99
Австралия	0.72	85	1.53	98	0.06	62	0.54	78
Антарктида	1.01	92	0.90	82	0.47	63	1.67	86
CRUTEM4 (суша)								
Земной шар*	1.17	99	1.49	99	1.08	98	0.94	96
Северное полушарие*	1.42	99	1.87	99	1.39	98	1.01	95
Южное полушарие*	0.67	96	0.74	97	0.47	91	0.80	99

Условные обозначения:

1. vT_{2017}, ^{o}C – наблюденная аномалия в 2017 г. (относительно 1961-1990 гг.);
2. F_{vT} –значение эмпирической функции распределения F=prob(X≤ vT_{2017}) по данным за 1911-2016 гг. (вероятность непревышения)
3. Красным шрифтом выделены абсолютные максимумы – наибольшие из всех значений ряда за 1911-2017 гг.

3. КРУПНОМАСШТАБНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ЗЕМНОГО ШАРА ЗА ПЕРИОД ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ, 1850-2017 гг. (весенний сезон)

На рис. 3.1 представлены межгодовые (по вертикали) и межмесячные (по горизонтали) изменения глобально осредненных температур на протяжении всего периода инструментальных наблюдений (с 1850 г.).

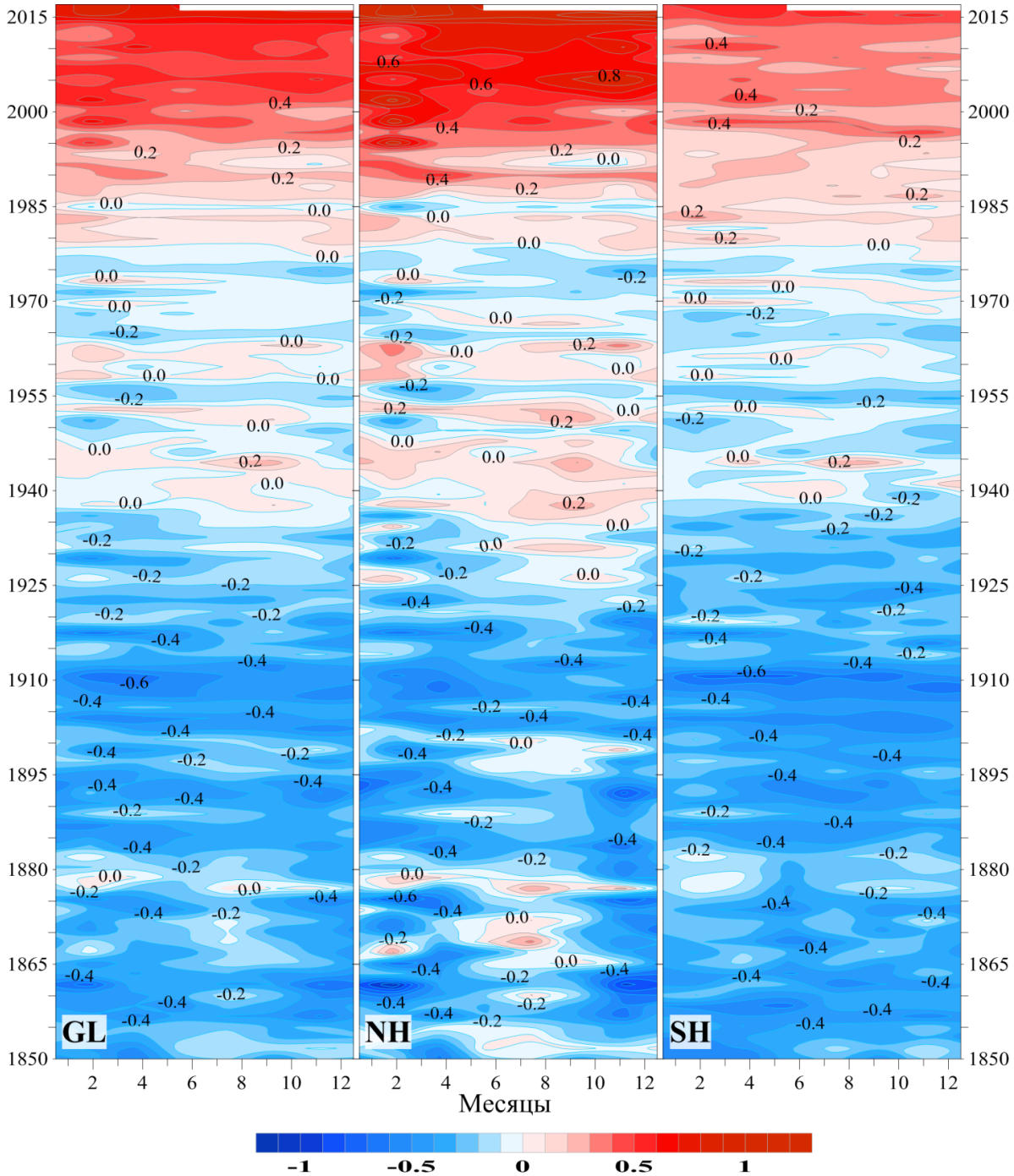


Рисунок 3.1 – Изменение средней месячной приповерхностной температуры, осредненной по территории Земного шара (GL), Северного (NH) и Южного (SH) полушарий в течение периода с января 1850 по май 2017 гг. (по данным HadCRUT4, Hadley/CRU, UK).

Конец 1970-х – начало 1980-х гг. принято считать началом периода «современного глобального потепления». Однако, судя по рис. 3.1, устойчивым оно стало лишь с середины 1990-х, так как во второй половине 1980-х и в начале 1990-х в Северном полушарии еще были периоды со средней для полушария температурой ниже климатической нормы 1961-1990. Определенное ослабление потепления отмечается далее в начале 2010-х (широко обсуждаемый «hiatus») – на рис. 3.1 оно проявилось в ослаблении аномалий в Южном полушарии и холодных зимах в Северном. Примерно с середины 2014 г. потепление вновь усилилось и продолжается в настоящее время, особенно заметно в Северном полушарии (см. верхнюю строку на рис. 3.1, которая соответствует зимне-весеннему периоду 2017 г.).

Рисунок 3.2 дополняет характеристику глобальных изменений температурного режима последних лет некоторыми деталями их широтно-долготного распределения. Так, в умеренных широтах Евразии на смену холодной осени 2016 г. пришла теплая зима 2017 г., но затем в узком секторе ЕЧР теплый март сменился прохладным апрелем и холодным маем. В Тихоокеанском секторе северных умеренных широт, напротив, интенсивная аномалия тепла, длившаяся с середины 2013 г., сменилась в ноябре 2016 г. слабой отрицательной аномалией, которая сохранилась здесь до конца минувшей зимы, но в мае вновь сменилась положительной. В умеренных широтах Северной Америки ситуация неустойчивая.

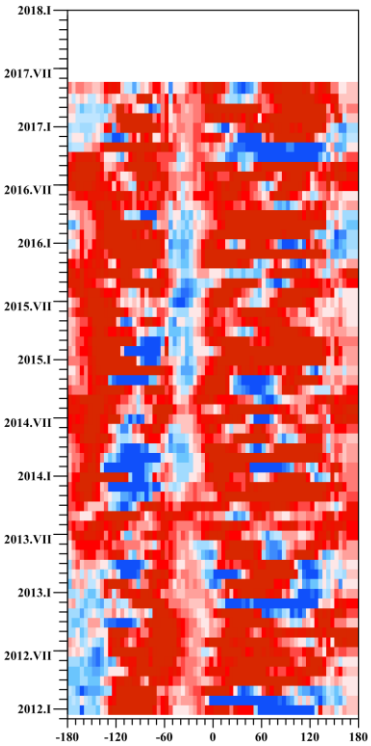
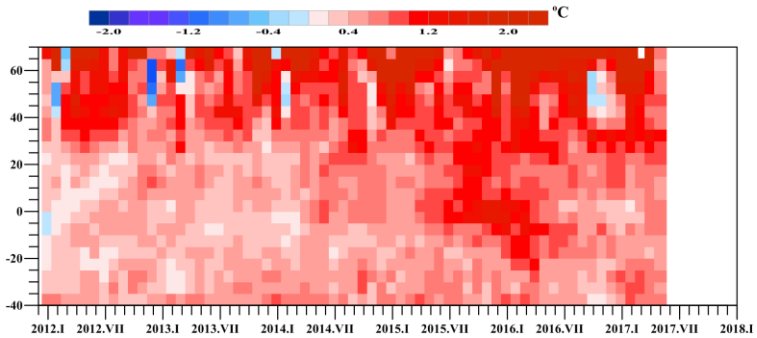


Рисунок 3.2 – Изменение во времени меридиональных (а) и зональных (б) профилей аномалии приповерхностной температуры с января 2012 г. по май 2017 г.

Расчет выполнен по сеточным данным Hadley/CRU (HadCRUT4, суша+море). Базовый период 1961-1990 гг. Зональные профили получены осреднением данных вдоль всего широтного круга, а меридиональные – внутри широтного пояса 40-60 гр. с.ш.



Интегральную оценку характера и интенсивности наблюдаемых глобальных изменений приземной температуры дают глобально осредненные временные ряды и их количественные описания (рис. 3.3, табл. 3.1-3.3), полученные для Земного шара в целом и каждого полушария по всем четырем доступным наборам данных.

Прежде всего, отметим, что все приведенные ряды иллюстрируют скачкообразное повышение весенней температуры от 2015 к 2016 гг. и чуть менее резкое понижение ее в 2017 г., отмеченные выше, при обсуждении рис. 1.1 и табл. 1.2. Напомним, что оценка повышения температуры в 2016 г. по данным CRUTEM4 оказалась ниже аналогичной оценки по данным T3288, а компенсирующее понижение температуры в 2017 г., напротив,

выше. Тем не менее, по обоим наборам данных максимум глобальных весенних температур сохранился за 2016 г., весна 2017 г. стала вторым самым теплым весенним сезоном за период с 1911 г., а 2015 г. был оттеснен на третье место.

Все приведенные ряды иллюстрируют также факт продолжающегося глобального потепления. Для большей наглядности справа продублированы соответствующие оценки трендов за 1976-2017 гг. из таблицы 3.1 (в °C/10 лет).

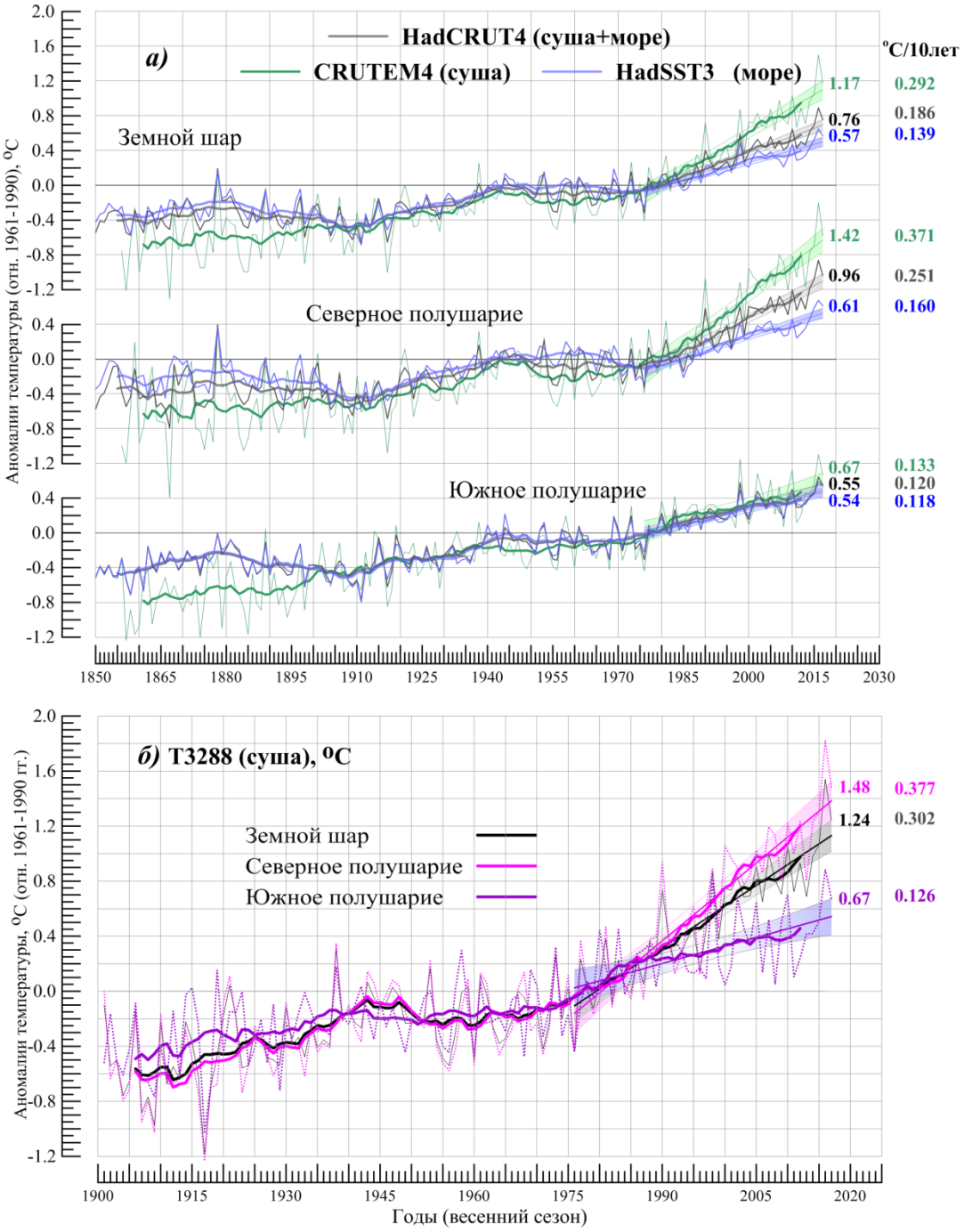


Рисунок 3.3 – Временные ряды сезонных аномалий приземной температуры (весна), осредненных по территории Земного шара, Северного и Южного полушарий: а) по данным Hadley/CRU, 1850-2017 гг.: HadCRUT4 (суша+море), CRUTEM4 (суша), HadSST3 (море); б) по данным ИГКЭ Росгидромета и РАН, 1901-2017 гг.: T3288 (суша).

Для всех рядов показан ход 11-летних скользящих средних и линейный тренд за 1976-2017 гг. с 95% доверительным интервалом. Справа приведены числовые значения сезонных аномалий в 2017 г. и значения коэффициентов линейного тренда за 1976-2017 гг. (°C/10лет, весна)

Таблица 3.1 – Коэффициенты линейного тренда (*°C/10 лет*) глобальных временных рядов приземной температуры за 1976-2017 гг. и 1918-2017 гг., в среднем за сезон и по месяцам

Регион	**1976-2017**				**1918-2017**			
	весна	*март*	*апрель*	*май*	*весна*	*март*	*апрель*	*май*
HadCRUT4 (Hadley/CRU, суша+море)								
Земной шар	0.186	0.195	0.190	0.172	0.086	0.094	0.084	0.080
Северное полушарие	0.251	0.270	0.252	0.232	0.097	0.112	0.096	0.084
Южное полушарие	0.120	0.119	0.128	0.113	0.075	0.076	0.072	0.076
T3288 (ИГКЭ, суша)								
Земной шар	0.302	0.347	0.301	0.256	0.139	0.162	0.138	0.118
Северное полушарие	0.377	0.434	0.377	0.317	0.162	0.193	0.160	0.132
Южное полушарие	0.126	0.144	0.124	**0.113**	0.086	0.083	0.085	0.088
CRUTEM4 (Hadley/CRU, суша)								
Земной шар	0.292	0.333	0.291	0.251	0.131	0.150	0.128	0.114
Северное полушарие	0.371	0.429	0.371	0.314	0.152	0.184	0.152	0.122
Южное полушарие	0.133	0.142	0.133	0.125	0.088	0.084	0.082	0.097
HadSST3 (Hadley/CRU, море)								
Земной шар	0.139	0.124	0.146	0.146	0.065	0.065	0.064	0.065
Северное полушарие	0.160	0.133	0.166	0.181	0.057	0.055	0.057	0.060
Южное полушарие	0.118	0.117	0.127	0.111	0.073	0.076	0.071	0.071

Примечание. Все оценки в таблице статистически значимы на уровне 0.1%, кроме значения **0.113** (T3288, Южное полушарие) с уровнем значимости α=0.2%

Показатели k_1-k_3 (табл. 3.2), рассчитанные как отношения соответствующих коэффициентов тренда из табл. 3.1, позволяют сравнить основные тенденции в изменении глобальной температуры в разных факторных подгруппах.

Таблица 3.2 – Сравнение средней скорости приземного глобального потепления в разных факторных подгруппах (весенний сезон)

k_1	$b_{суша}/b_{море}$	**1976-2017**			**1918-2017**		
		ЗШ	*СП*	*ЮП*	*ЗШ*	*СП*	*ЮП*
	T3288/HadSST3	2.2	2.4	1.1	2.1	2.8	1.2
	CRUTEM4/HadSST3	2.1	2.3	1.1	2.0	2.7	1.2
k_2	$b_{СП}/b_{ЮП}$	**1976-2017**			**1918-2017**		
		T3288	*CRUTEM*	*HadSST*	*T3288*	*CRUTEM*	*HadSST*
		3.0	2.8	1.4	1.9	1.7	0.8
k_3	$b_{1976\text{-}2017}/b_{1918\text{-}2017}$	**СП**			**ЮП**		
		T3288	*CRUTEM*	*HadSST*	*T3288*	*CRUTEM*	*HadSST*
		2.3	2.4	2.8	1.5	1.5	1.6

В соответствии с оценками в табл. 3.1-3.2, можно заключить:

- в Южном полушарии скорость современного потепления над сушей и на поверхности океанов примерно одинакова, а в Северном – различаются более, чем в 2 раза (показатель k_1);

- потепление в Северном полушарии протекает быстрее, чем в Южном: на поверхности океанов в 1.4 раза, над сушей – в 2.8-3 раза (показатель k_2).

- современное потепление (1976-2017) ускорилось в сравнении с потеплением последнего столетия (1918-2017): в Южном полушарии примерно в 1.5 раза, в Северном: в 2.3-2.4 раза над сушей и в 2.8 раз на поверхности океанов.

Отметим дополнительно, что все оценки с использованием подгруппы «только суша» приводятся в бюллетене (в частности, в табл.3.1-3.2) по обоим наборам данных T3288 (ИГКЭ) и CRUTEM4 (Hadley/CRU) и практически во всех случаях хорошо согласуются между собой.

В целом, оценки трендов в изменении глобальной температуры весеннего сезона за период 1976-2017 гг., в сравнении с 1976-2016 гг., практически не изменились. Современное глобальное потепление весенних сезонов у поверхности Земного шара продолжается на прежнем уровне. Основной вклад в него, по-прежнему, принадлежит Северному полушарию при доминирующей роли континентов.

4. РЕГИОНАЛЬНЫЕ ВРЕМЕННЫЕ РЯДЫ ПРОСТРАНСТВЕННО ОСРЕДНЕННЫХ АНОМАЛИЙ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ, 1911-2017 гг.

(весенний сезон)

Временные ряды (рис. 4.1, 4.2, 4.3) рассчитаны по методике ИГКЭ, по сеточным данным HadCRUT4 (для пяти широтных поясов и северных частей Атлантического и Тихого океанов) и по данным станционных наблюдений T3288 (для всех шести континентов). Данные до 1911 г. не приводятся, т.к. представляются недостаточно полными и надежными (особенно над океанами). На всех временных рядах показаны тренды за период 1976-2017 гг., условно принятый за период современного глобального потепления. Числовые оценки трендов приведены в табл. 4.1

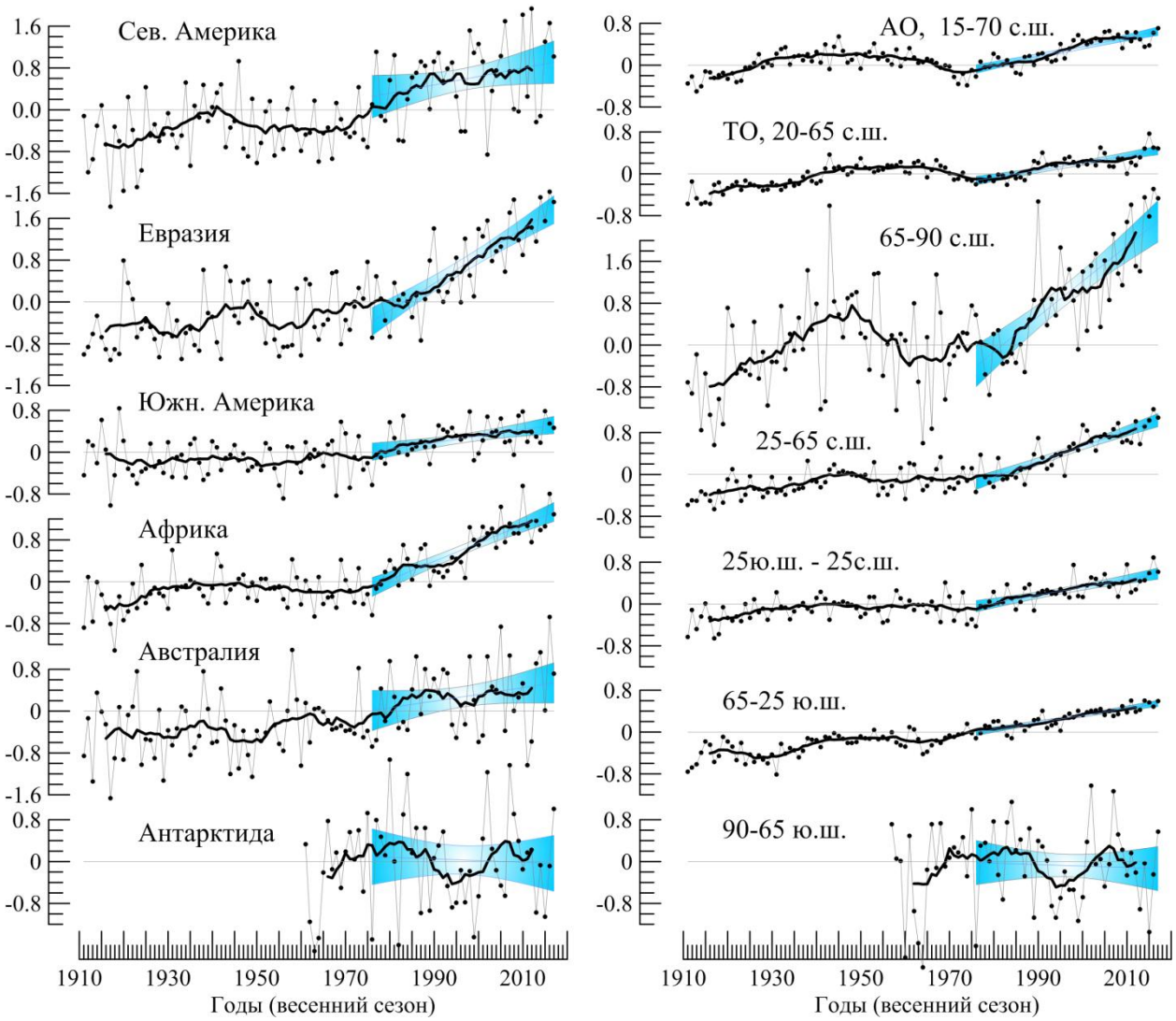


Рисунок 4.1 – Временные ряды пространственно осредненных сезонных аномалий (весна) приземной температуры для континентов (слева), северных частей Атлантического и Тихого океанов (справа вверху) и основных широтных поясов земного шара (справа внизу).

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 1976-2017 гг. с 95% -м доверительным интервалом (голубая заливка).

Таблица 4.1. – Коэффициенты линейного тренда (*°C/10 лет*) пространственно осредненных аномалий приземной температуры для северных частей Атлантического и Тихого океанов, основных широтных поясов и континентов земного шара за 1976-2017 гг. (в среднем за весенний сезон и по месяцам)

Регион	Весна	Март	Апрель	Май
HadCRUT4 (суша+море)				
Атлантика (15-70N)	0.176	0.169	0.184	0.177
Тихий океан (20-65N)	0.141	0.112	0.135	0.174
Арктический пояс (65-90N)	0.675	0.780	0.756	0.502
Умеренный пояс СП (25-65N)	0.293	0.335	0.280	0.264
Тропики (25S-25N)	0.152	0.143	0.159	0.151
Умеренный пояс ЮП (65-25S)	0.135	0.118	0.143	0.125
Антарктический пояс (90-65S)	**-0.028**	**-0.046**	****-0.206**	0.130
T3288 (суша)				
Северная Америка	**0.161	0.176	0.146	*0.162
Евразия	0.523	0.664	0.511	0.395
Южная Америка	0.125	0.139	0.157	0.078
Африка	0.351	0.358	0.322	0.353
Австралия	0.129	0.136	0.159	0.091
Антарктида	**-0.031**	0.089	****-0.281**	0.110

Примечание. Оценки, статистически значимые на 1%-уровне, приведены без выделения.
Усл. обозначения: * α = 5%; ** α = 10%; серая заливка α >10%, где α – уровень значимости.

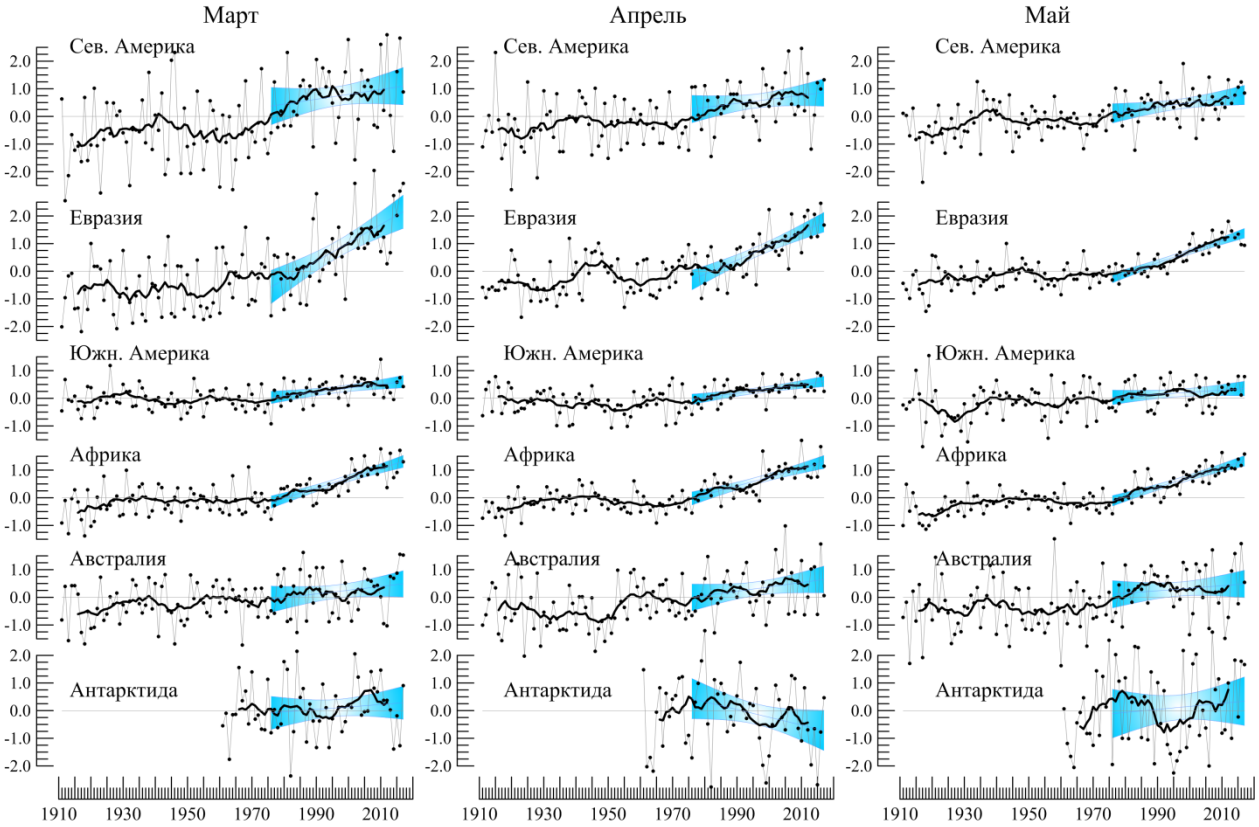


Рисунок 4.2 – См. рис. 4.1, но для аномалий весенних месяцев и только для континентов. *Расчеты выполнены по методике и данным ИГКЭ. Использован массив станционных данных T3288.*

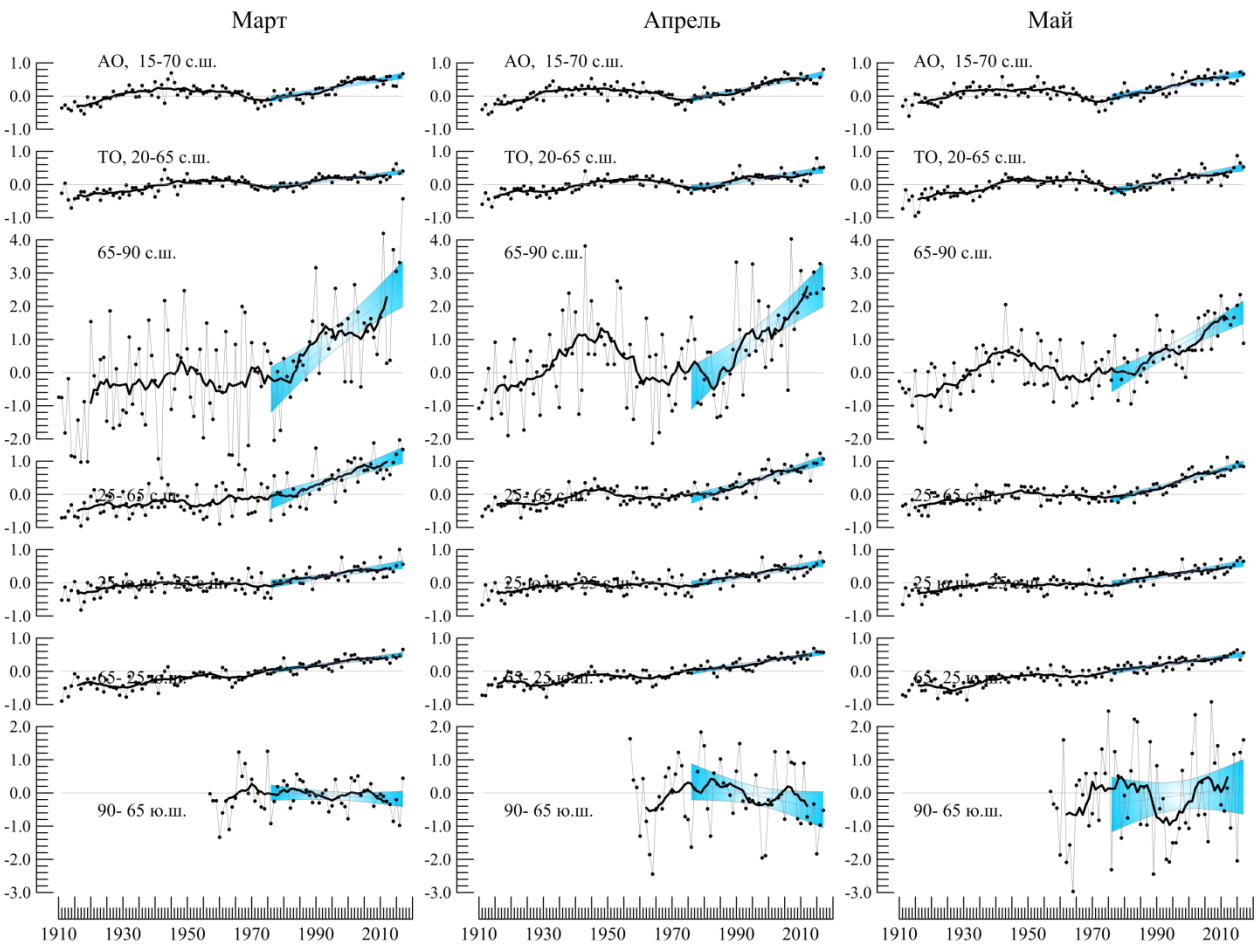


Рисунок 4.3 – См. рис.4.2, но для океанов и широтных поясов земного шара. *Использованы сеточные данные Hadley/CRU, UK (массив HadCRUT4, суша+море). Расчеты выполнены по методике ИГКЭ.*

5. ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА ЗЕМНОГО ШАРА, 1976-2017 гг. (весенний сезон)

Использованы данные наблюдений на 1775 станциях (массив Т3288) и в центрах 1574 боксов (массив HadCRUT4), для которых своевременно поступили данные за весну 2017 г., временные ряды на отрезке 1976-2017 гг. не содержат последовательных пропусков и число наблюдений n>=n0, где n0=35.

Ниже приведены: географическое распределение оценок тренда в форме полей изолиний с указанием областей статистически значимых оценок (рис. 5.1, 5.2) и количественное распределение оценок в зависимости от направленности и уровня значимости тренда и географического положения станции (табл. 5.1).

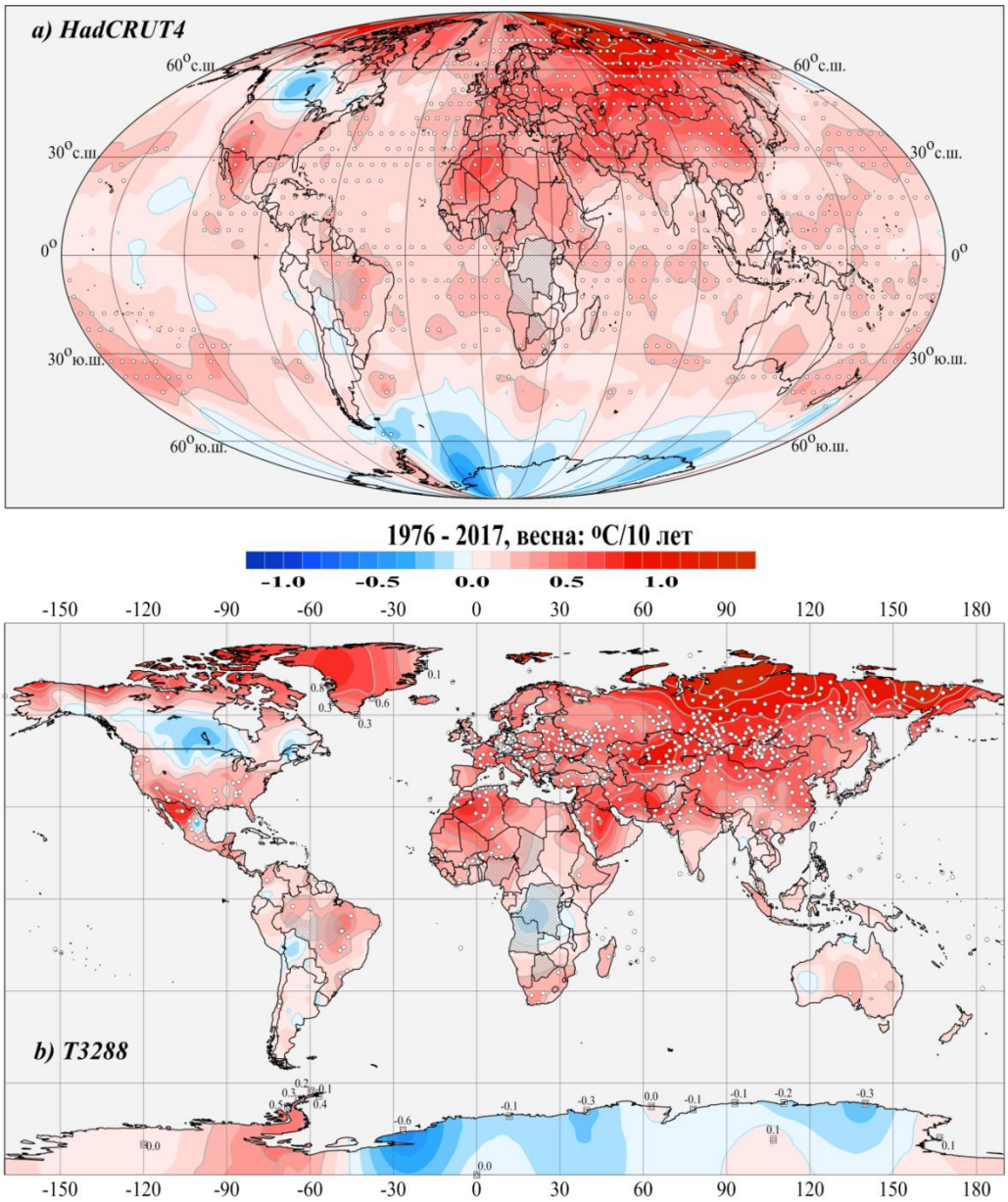


Рисунок 5.1 - Пространственное распределение коэффициентов линейного тренда температуры весеннего сезона у поверхности Земного шара за период 1976-2017 гг. (°C/10 лет).

Использованы данные: а) HadCRUT4 - сеточные данные Hadley/CRU, UK (суша+море); б) Т3288 – станционные данные ИГКЭ (только суша). Для станций Антарктиды и Гренландии показаны числовые значения коэффициентов тренда. Белыми кружками выделены боксы/станции, для которых тренд статистически значим на 1%-м уровне.

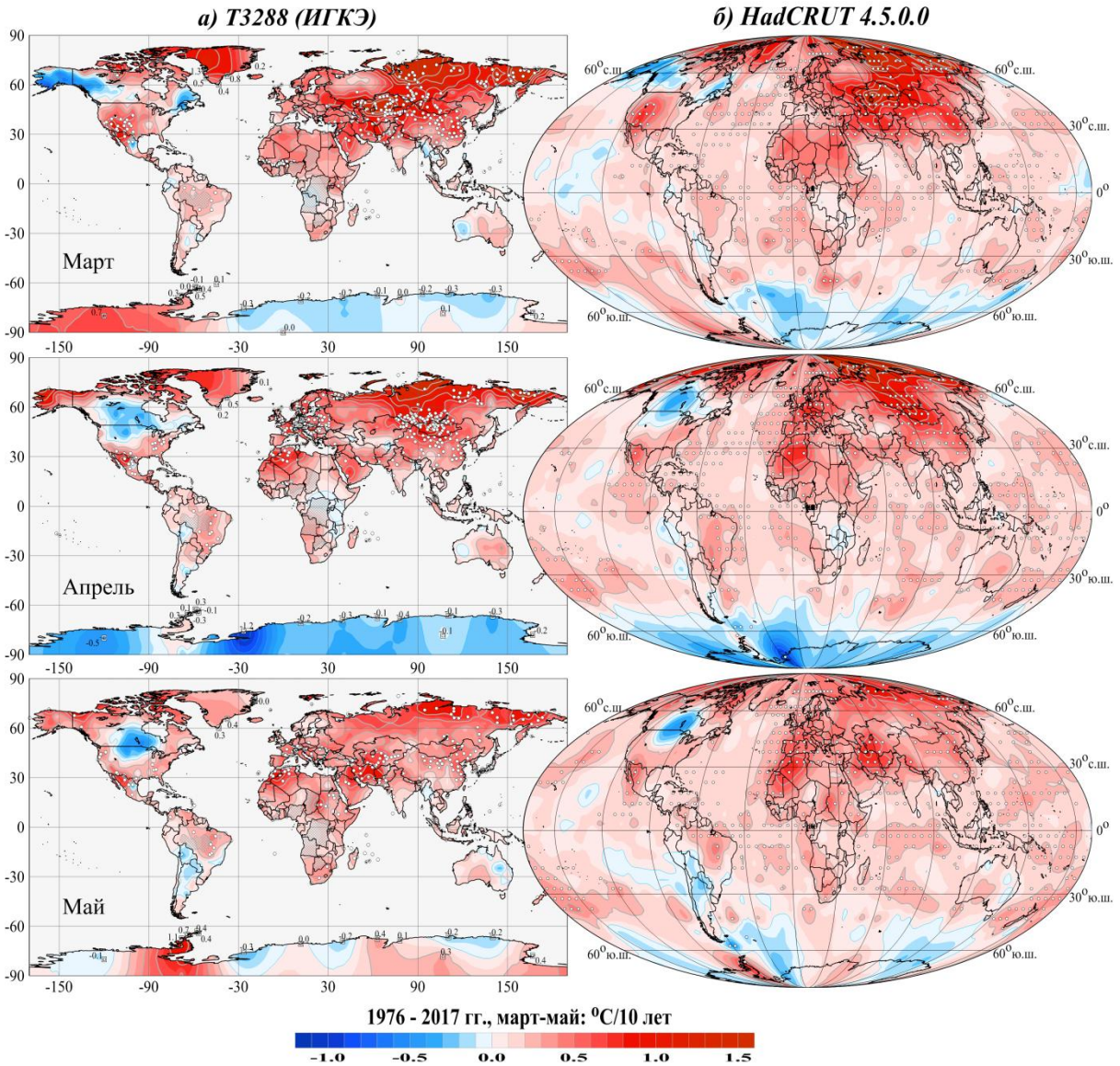


Рисунок 5.2 – См. рис. 5.1, но для коэффициентов тренда среднемесячных аномалий температуры весенних месяцев.

Таблица 5.1 – Распределение «точечных» оценок тренда за ***1976-2017 (весенний сезон)*** в зависимости от знака коэффициента тренда ***b*** и уровня значимости ***α***

Данные N		b>0				b<0			
		Всего	в том числе			Всего	в том числе		
			α=1%	α=5%	α=10%		α=1%	α=5%	α=10%
Т3288	1775	1640	917	1182	1282	135	4	11	15
		92.4%	**51.7%**	**66.6%**	**72.2%**	**7.6%**	**0.2%**	**0.6%**	**0.8%**
	В том числе в Северном полушарии								
	1473	1388	861	1092	1167	85	3	5	6
		94.2%	**58.5%**	**74.1%**	**79.2%**	**5.8%**	**0.2%**	**0.3%**	**0.4%**
HadCRUT4	1574	1484	749	974	1076	90	3	8	11
		94.3%	**47.6%**	**61.9%**	**68.4%**	**5.7%**	**0.2%**	**0.5%**	**0.7%**
	В том числе в Северном полушарии								
	941	908	520	661	717	33	0	0	0
		96.5%	**55.3%**	**70.2%**	**76.2%**	**3.5%**	**0.0%**	**0.0%**	**0.0%**

Примечание. Таблица обобщает распределение оценок на рис. 5.1. Процентное содержание данных рассчитано относительно N)

Можно видеть, что глобальная картина трендов (рис. 5.1) очень близка к таковой для 1976-2016 гг. (http://climatechange.igce.ru/index.php?option=com , бюллетень 2016.II). На большей части земного шара (табл. 5.1) доминирует тенденция к потеплению весенних сезонов: 92.4% всех станционных оценок тренда положительны и больше половины из них статистически значимы на 1%-уровне (соответственно, 94.3% и 47.6% по сеточным данным HadCRUT4). Отрицательные тренды получены всего в 7.6% используемых станций, из которых 0.6% статистически значимы на 5%-уровне. По объединенным сеточным данным HadCRUT4, в Северном полушарии отрицательный тренд получен в 33 боксах из 941 (3.5%), но все они статистически незначимы даже на 10%-м уровне.

Как и в 2016 г., области заметного потепления сосредоточены на Евразийском континенте (прежде всего, на Арктическом побережье Сибири), в северной Африке, на островах Канадского архипелага, на юге США и в Мексике. Тенденция к похолоданию, отмечается, только на территории Канады, в Южном океане, на территории Антарктиды (кроме западного сектора) и в небольшой области на востоке Тихого океана (в приэкваториальном поясе).

Не изменились, в сравнении с 1976-2016 гг., и детали географического распределения месячных трендов (рис. 5.2). В том числе: область похолодания на Аляске и северо-западе Канады в марте; отрицательный тренд на всей территории Антарктиды (кроме Антарктического п-ва) в апреле; отрицательный тренд в Южной Америке (Боливия, Парагвай, Аргентина) и на востоке Австралии в мае. Максимальная локальная скорость похолодания отмечена в апреле, на береговой антарктической станции Halley (75.5^{o}ю.ш., 26.6^{o}з.д.), где коэффициент тренда -1.2 ^{o}C/10 лет статистически значим на 1%-уровне. В мае несколько усилилась, в сравнении с 1976-2016 гг. тенденция к потеплению Антарктиды и Южного океана в восточном полушарии.

Таким образом, с добавлением данных за весенние месяцы 2017 г., основные тенденции в изменении весенних температур за период с 1976 г. не изменились. Тенденция к потеплению весен, по-прежнему, отмечается на большей части земного шара (около 50% оценок статистически значимы на 1%-м уровне). В то же время в южной полярной области и в центре Северной Америки сохраняется тенденция к слабому похолоданию, которая практически всюду, кроме отдельных районов Антарктиды и Южного океана, статистически незначима (вероятность ложного тренда более 20-50%). В Антарктиде можно говорить о некотором усилении этой тенденции в апреле (в среднем по региону, тренд отрицательный, статистически значимый на 10%-м уровне).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Весенний сезон 2017 г. в среднем по территории Земного шара и Северного полушария стал вторым самым теплым после сезона 2016 г. по всем видам наблюдений – над сушей (T3288, CRUTEM4), над океанами (HadSST3), и интегрально (HadCRUT4). В Южном полушарии он был вторым в среднем по океаническим акваториям (HadSST3), но пятым по территории суши (T3288, CRUTEM4).

2. Аномалия глобальной температуры приземного воздуха над сушей, в среднем для Земного шара, Северного и Южного полушарий, составила весной 2017 г. 1.244, 1.484, 0.672^{o}C (данные T3288, ИГКЭ, суша). Для всей территории, над сушей и океанами соответствующие значения равны 0.755, 0.964, 0.547^{o}C (данные HadCRUT4, Hadley/CRU, суша+море). Таким образом, уровень температурных аномалий весной 2017 г., в сравнении с 2016 г., заметно снизился и скачкообразное повышение весенней температуры от 2015 к 2016 гг. компенсировалось более чем на 50%.

3. На территории крупных регионов средняя по региону температура оказалась выше климатической нормы во все месяцы весеннего сезона во всех рассматриваемых регионах, но лишь в Северной Атлантике (15-70N) она была рекордно высокой в целом за сезон и в апреле. В марте температура была рекордно высокой в Арктическом поясе (65-90N) и в умеренном поясе Южного полушария (25-65S).

4. В поле сезонных аномалий приземной температуры доминируют станции с положительными аномалиями. Их доля составила 91% над сушей (данные T3288) и 88% на всей территории (данные HadCRUT4). Почти четверть всех значений оказались выше 95-го процентиля, а на 5% станций (6% боксов) сезонная температура достигла максимальной отметки (с 1911 г.). Для сравнения: 5%-е экстремумы холода отмечены лишь на 0.4% всех станций, и ни один из них не достиг уровня «исторического» минимума.

5. Наиболее значительные положительные аномалии сосредоточены на континентах Северного полушария – в азиатской части Евразии, на территории США и на северо-западе Африки. Самые крупные из них зафиксированы на северо-востоке Сибири (7.6-8.2^{o}C). Сезонные экстремумы холода, попавшие в 5% самых холодных весен, наблюдались всего на 8 станциях (0.4% из 1835, по данным T3288), но ни один из них не достиг уровня «исторического» минимума. Наименьшими из значений оказались –2.7°C на береговой антарктической станции HALLEY (75.5^{o}ю.ш., 26.6^{o}з.д.) и –2.8°C в боксе с центром (77.5^{o}ю.ш., 27.5^{o}з.д.).

6. Самым теплым месяцем сезона был март, самым холодным – май. Контраст между условиями в марте и мае четко проявился в статистике аномалий и экстремумов разного знака, особенно в регионах наиболее значимых и значительных температурных аномалий. Так, в Арктическом поясе доля станций с отрицательными аномалиями температуры увеличилась от 4% в марте до 45% в мае. При этом процент станций с 5%-ми экстремумами тепла уменьшился от 58% в марте до 4% в мае, а доля станций, обновивших абсолютные максимумы, в мае вовсе упала до 0 (в марте их было 39%)

На территории России эта статистика еще ярче. В марте доля положительных аномалий составила 99.7%, экстремумов тепла (выше 95-го процентиля) – 60.8%, абсолютных максимумов – 22.4%. В мае им соответствуют 56.9% – 6.5% – 0.3%.

7. Тренд приземного потепления весенних сезонов в 1976-2017 гг. в среднем по

территории суши Земного шара, Северного и Южного полушарий составил 0.302, 0.377, 0.126^{o}C/10 лет (данные T3288), а по территории океанов – 0.139, 0.160, 0.118^{o}C/10 лет (данные HadSST3). По объединенным данным над всей территорией (HadCRUT4, суша+море), соответствующие оценки составили 0.186, 0.251 и 0.120 ^{o}C/10 лет. Наиболее выражен тренд в Северном полушарии.

8. В Северном средняя скорость современного потепления на суше выше, чем на поверхности океанов, более чем в 2 раза, а в Южном полушарии они примерно одинаковы. Потепление Северного полушария интенсивнее, чем Южного на суше в 2.8-3 раза, на поверхности океанов – в 1.4 раза. Потепление 1976-2017 гг. ускорилось относительно 1918-2017 гг. в Южном полушарии примерно в 1.5 раза, в Северном – примерно в 2.3-2.8 раз (на суше менее интенсивно, чем на акваториях океанов).

9. С добавлением данных за весенние месяцы 2017 г., основные тенденции в изменении весенних температур за период с 1976 г. не изменились. Тенденция к потеплению, по-прежнему, отмечается на большей части земного шара (около 50% оценок статистически значимы на 1%-м уровне). Области наибольшего потепления сосредоточены в Евразии (прежде всего, на Арктическом побережье Сибири), в северной Африке, на островах Канадского архипелага, на юге США и в Мексике.

В то же время в южной полярной области и в центре Северной Америки сохраняется тенденция к слабому похолоданию, которая практически всюду, кроме отдельных районов Антарктиды, статистически незначима (вероятность ложного тренда более 20-50%). В Антарктиде можно говорить о некотором усилении этой тенденции в апреле.