Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды

ФГБУ «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля»

Бюллетень мониторинга изменений климата Земного шара

Приземная температура

Осень 2019

Москва 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ[1,2]

1. ВВЕДЕНИЕ …….. 3

2. ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ У ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМНОГО ШАРА ОСЕНЬЮ 2019 года. ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ АНОМАЛИИ ……..... 6

3. КРУПНОМАСШТАБНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ЗЕМНОГО ШАРА ЗА ПЕРИОД ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ 1850-2019 гг. (осенний сезон) …….…… 12

4. ВРЕМЕННЫЕ РЯДЫ РЕГИОНАЛЬНО ОСРЕДНЕННЫХ АНОМАЛИЙ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ, 1911-2019 гг. (осенний сезон) …….…… 17

5. ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА, 1976-2019 гг. (осенний сезон) …..……..... 21

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ ……..... 24

[1] Бюллетень подготовлен в ФГБУ «ИГКЭ». Данные текущих наблюдений (сводки КЛИМАТ и СИНОП из оперативного потока) подготовлены в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» и ФГБУ «Гидрометцентр РФ». Все Бюллетени мониторинга климата, сезонные и годовые, выпускаемые в ФГБУ «ИГКЭ», размещаются на сайте http://climatechange.igce.ru/

[2] На обложке приведено поле средних сезонных аномалий температуры приземного воздуха над сушей Земного шара: осень 2019 года. Использованы станционные данные ИГКЭ.

1 – ВВЕДЕНИЕ

В настоящем бюллетене представлены данные о климатических аномалиях осеннего сезона 2019 года и обновленные (с учетом этих данных) оценки тенденций в изменении температурного режима осенних сезонов на территории земного шара в течение 1976–2019 гг. (по разделу «приземная температура»). Оценки приведены для сезона в целом и каждого из месяцев (сентябрь-октябрь-ноябрь).

Бюллетень подготовлен в рамках оперативного мониторинга климата в ФГБУ «ИГКЭ»[3], с использованием данных метеорологических наблюдений о среднемесячной температуре приземного воздуха на 3288 наземных станциях земного шара (массив Т3288, данные ИГКЭ; массив сформирован и ежемесячно пополняется средствами технологии мониторинга на основе телеграмм КЛИМАТ, СИНОП).

Параллельно в бюллетене приводятся оценки по данным о приповерхностной температуре на сети 5-градусных боксов, охватывающей всю территорию земного шара, включая континенты и океаны (массивы HadCRUT4, CRUTEM4, HadSST3[4], данные метеослужбы Великобритании; в бюллетене упоминаются как «данные Hadley/CRU»).

Таким образом, массив Т3288 служит базовым массивом для оценки состояния температурных условий на суше земного шара, а массив HadCRUT4 используется для создания полной картины над сушей и океанами. Глобальные временные ряды HadCRUT4, CRUTEM4, HadSST3 приводятся как дополнительная информация из альтернативного источника (в том числе, для сравнения с одноименными данными ИГКЭ с целью лучшего понимания меры их неопределенности). В соответствии с рекомендацией ВМО[5], все основные оценки приводятся в аномалиях температуры относительно базового периода 1981-2010 гг.

Развернутый комментарий к материалам бюллетеня с описанием используемых источников, сети станций и элементов методики размещен на сайте ИГКЭ[6].

Сравнение глобальных временных рядов сезонных аномалий температуры приземного воздуха (осень) по данным Т3288 (ИГКЭ) и CRUTEM4 (Hadley/CRU).

Цель предлагаемого сравнения - с одной стороны, убедиться в репрезентативности массива Т3288, а с другой – оценить меру неопределенности оценок, полученных с использованием единой системы наблюдений, но разных методов и технологий сбора

---

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

[4] 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-центром (Met Office Hadley Centre) и Университетом 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.4.6.0.0, CRUTEM.4.6.0.0, HadSST.3.1.1.0 от 23.12.2019.

[5] WMO, 2018: Press Release Number: 18-01-2018/WMO confirms 2017 among the three warmest years on record.

[6] О бюллетене GCCM (read me). URL: http://climatechange.igce.ru/index.php?option =com_docman &task=doc_download&gid=220 &Itemid=76&lang=ru.

данных, их обработки и анализа. Близость рядов примерно с середины прошлого столетия четко видна уже визуально (рис. 1.1). Количественные результаты их сравнения (статистические характеристики попарных разностей) по данным за 1976-2019 гг. (период современного глобального потепления) и 1920-2019 гг. (последнее столетие) приведены в табл. 1.1 для Земного шара, Северного и Южного полушарий (только суша!).

Среднее различие рядов за 1920-2019 гг. не превышает 0.02°С (табл. 1.1, рис. 1.1), а за период 1976-2019 гг. и вовсе равно нулю. Стандартное отклонение различий за эти периоды (0.03–0.05°С) на порядок ниже стандартного отклонения самих рядов (0.3–0.5°С). Максимальные различия за период с 1976 г. не превышали 0.08°С, но в целом за вековой период в Южном полушарии достигали 0.16°С. При этом во всех случаях ряды характеризуются исключительно высокой корреляцией (не ниже 0.99) и предельно низким различием трендов (до ±0.01°С/10 лет).

Рисунок 1.1 – Временные ряды пространственно осредненных сезонных аномалий температуры приземного воздуха над сушей Земного шара, Северного и Южного полушарий (1901-2019 гг., осень, °С).

Использованы временные ряды, рассчитанные по данным массива T3288 (ИГКЭ), и глобальные временные ряды CRUTEM4 (Hadley/CRU).

Таблица 1.1 – Оценки близости/различия глобальных временных рядов Т3288 (ИГКЭ) и CRUTEM4 (Hadley/CRU) в среднем за осенний сезон для территории суши Земного шара (ЗШ), Северного (СП) и Южного (ЮП) полушарий

Оценка	1976-2019			1920-2019		
	ЗШ	СП	ЮП	ЗШ	СП	ЮП
Корреляция рядов	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99
Среднее различие, °С	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02
СКО (сигма) различий, °С	0.03	0.03	0.03	0.04	0.03	0.05
Среднее абсолютное различие, °С	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.04
Макс. абсолютное различие, °С	0.08	0.08	0.07	0.14	0.11	0.16
Разность коэфф. тренда, °С /10лет	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.01
СКО Т3288, °С	0.43	0.50	0.30	0.41	0.46	0.34
СКО CRUTEM4, °С	0.41	0.49	0.28	0.40	0.45	0.34

Таким образом, статистические оценки изменчивости температуры приземного воздуха, полученные по данным массива Т3288, очень близки к оценкам по данным эталонного массива CRUTEM4. Для каждого из сезонов аналогичные материалы с тем же заключением представлены в соответствующих выпусках сезонных бюллетеней.

Дополнительно в таблице 1.2 приведены значения межгодовых изменений среднегодовой температуры *на суше Земного шара* в последние годы, начиная с момента ее двукратного скачкообразного повышения в 2015 и 2016 гг. (по обоим источникам). Можно видеть (рис. 1.1, табл. 1.2), что осенью 2019 года, по сравнению с предыдущим осенним сезоном, произошел значительный скачок температуры, приблизивший ее вплотную к рекордному уровню 2015 г.

Таблица 1.2 – Межгодовые изменения приземной температуры осеннего сезона последних четырех лет, в среднем по территории суши Земного шара и полушарий

Межгодовые разности	Данные Т3288, °С (ИГКЭ)			Данные CRUTEM4, °С (Hadley/CRU)		
	ЗШ	СП	ЮП	ЗШ	СП	ЮП
2019-2018	0.203	0.238	0.125	0.225	0.271	0.137
2018-2017	-0.084	-0.124	0.008	-0.101	-0.136	-0.033
2017-2016	0.023	-0.016	0.121	0.011	-0.048	0.129
2016-2015	-0.211	-0.195	-0.26	-0.232	-0.231	-0.234
2019-2015	-0.069	-0.097	-0.006	-0.097	-0.144	-0.001
2019-2016	0.142	0.098	0.254	0.135	0.087	0.233

2 – ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ У ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМНОГО ШАРА ОСЕНЬЮ 2019 ГОДА. ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ АНОМАЛИИ

Осенний сезон 2019 года стал вторым самым теплым (после 2015 года) в целом по территории Земного шара и Северного полушария и четвертым в Южном полушарии. При этом в Северном полушарии на втором месте оказалась температура поверхности океанов, а в Южном – над сушей. Более подробные данные приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Пять самых теплых осенних сезонов по данным разных источников для Земного шара, Северного и Южного полушарий: средняя за осенний сезон аномалия температуры VT и год наблюдения

№	ЗШ		СП		ЮП	
	VT, °C	Год (осень)	VT,°C	Год (осень)	VT,°C	Год (осень)
HadCRUT4 (Hadley/CRU, суша+море)						
1	0.550	2015	0.765	2015	0.337	2015
2	0.443	**2019**	0.657	**2019**	0.292	1997
3	0.350	2016	0.530	2005	0.236	2018
4	0.345	2018	0.506	2016	0.233	**2019**
5	0.328	2005	0.471	2017	0.207	2009
T3288 (ИГКЭ, суша)						
1	0.767	2015	0.857	2015	0.559	2015
2	0.698	**2019**	0.829	2005	0.553	**2019**
3	0.640	2005	0.783	2010	0.507	2014
4	0.579	2017	0.760	**2019**	0.428	2018
5	0.562	2010	0.662	2016	0.420	2017
CRUTEM4 (Hadley/CRU, суша)						
1	0.752	2015	0.859	2015	0.538	2015
2	0.655	**2019**	0.821	2005	0.537	**2019**
3	0.634	2005	0.764	2010	0.493	2014
4	0.533	2010	0.715	**2019**	0.433	2017
5	0.531	2017	0.628	2016	0.400	2018
HadSST3 (Hadley/CRU, море)						
1	0.503	2015	0.695	2015	0.268	2015
2	0.410	**2019**	0.659	**2019**	0.245	1997
3	0.364	2016	0.539	2016	0.232	2016
4	0.358	2018	0.530	2014	0.204	2018
5	0.325	2014	0.510	2018	0.171	**2019**

Особенности географического распределения сезонных аномалий

На рисунках 2.1-2.2 представлены пространственные распределения аномалий приповерхностной температуры для сезона в целом и для каждого из месяцев, в таблице 2.2 – оценки регионально осредненных аномалий (в абсолютной и вероятностной шкале), а в таблице 2.3 – количество локальных экстремумов для крупных регионов мира.

Осенью 2019 г. на территории Земного шара, при явном доминировании локальных положительных аномалий (три четверти всех данных, на станциях и в боксах), во многих

регионах наблюдалась температура ниже климатической нормы (рис. 2.1, табл. 2.3). В частности (рис. 2.1), обширные области отрицательных аномалий отмечены в Северной Америке (до -2.1°С), на севере Европы (до -2.1°С), в Казахстане и Средней Азии (до -1.8°С), Антарктиде (до -1.1°С) и на поверхности океанов Южного полушария – в субэкваториальных широтах и в восточных секторах Тихого и Индийского океанов.

Рисунок 2.1 – Пространственное распределение аномалий приземной температуры на территории Земного шара осенью 2019 г.: а) по сеточным данным HadCRUT4 (Hadley/CRU, UK); б) по станционным данным T3288 (ИГКЭ)

Аномалии приведены в отклонениях от средних за 1981-2010 гг. Кружками белого (минимумы) и желтого (максимумы) цвета указано положение боксов/станций с рекордными значениями аномалий. Значками меньшего размера указано положение 5%-х экстремумов того же знака. Для станций Антарктиды и Гренландии непосредственно в точках расположения станций показаны числовые значения наблюдаемых аномалий. Пустыми боксами (а) и штриховкой (б) показаны области отсутствия наблюдений.

Таблица 2.2 - Пространственно осредненные значения аномалии (°C) приземной температуры и их вероятности непревышения на территории Земного шара осенью 2019 г., в среднем за сезон и в каждом из месяцев

Регион	Осень		Сентябрь		Октябрь		Ноябрь	
	$vT_{IX\text{-}XI}$	***F%***	vT_{IX}	***F%***	vT_{X}	***F%***	vT_{XI}	***F%***
HadCRUT4 (суша+море)								
Земной шар	0.44	99	0.44	98	0.47	99	0.43	99
Северное полушарие	0.66	99	0.76	99	0.68	99	0.53	94
Южное полушарие	0.23	97	0.12	92	0.26	98	0.32	98
Атлантика (15-70N)	0.43	94	0.51	96	0.40	92	0.38	94
Тихий океан (20-65N)	**0.93**	**100**	**1.07**	**100**	**0.85**	**100**	0.87	99
Арктический пояс (65-90N)	1.65	99	1.55	99	1.74	96	1.65	89
Умеренный пояс СП (25-65N)	0.69	99	0.91	99	**0.74**	**100**	0.43	91
Тропики (25S-25N)	0.42	98	0.32	97	0.40	98	0.53	99
Умеренный пояс ЮП (65-25S)	0.21	95	0.16	92	0.24	96	0.21	94
Антарктический пояс (90-65S)	0.38	77	**-1.07**	**36**	1.10	92	1.00	93
IGCE-T3288 (суша)								
Земной шар	0.70	99	0.74	99	**0.78**	**100**	0.63	94
Северное полушарие	0.76	97	0.91	99	**0.86**	**100**	0.57	92
Южное полушарие	0.55	99	0.34	93	0.59	98	**0.74**	**100**
Северная Америка	0.57	86	**1.50**	**100**	0.08	54	0.16	66
Евразия	0.76	95	0.76	96	1.19	98	0.41	80
Европа	0.96	90	0.43	69	1.22	95	1.27	76
Азия	0.70	94	0.86	97	1.15	97	0.10	75
Южная Америка	**0.63**	**100**	0.79	94	0.27	91	0.86	99
Африка	0.65	97	0.67	98	0.48	92	0.75	96
Австралия	0.81	96	0.24	77	1.64	98	0.67	87
Антарктида	0.47	79	**-0.19**	**57**	0.42	72	1.18	96
CRUTEM4 (суша)								
Земной шар	0.66	99	0.67	99	0.72	99	0.57	94
Северное полушарие	0.72	97	0.85	99	**0.79**	**100**	0.50	90
Южное полушарие	0.54	99	0.31	94	0.58	98	**0.73**	**100**

Условные обозначения:

1. *vT* – наблюденная аномалия осенью 2019 года, °C (базовый период 1981-2010 гг.)
2. F% –значение эмпирической функции распределения F=prob ($X \leq vT_{2019}$) по данным за 1911-2018 гг. (вероятность непревышения)
3. Синим шрифтом выделены отрицательные аномалии
4. Красным шрифтом выделены абсолютные максимумы (жирным шрифтом) и аномалии с вероятностью непревышения 99%

Наиболее крупные положительные аномалии зафиксированы в Арктике – на севере Канады и Аляске (до 6.7-6.8°С), в Гренландии (до 3.3°С), а также в Восточной Сибири (до 5.2-5.3 °С на островах Северной Земли) и на Дальнем Востоке (до 4.8°С на о. Врангеля), в Европе (до 3.6°С), в центральной части Южной Америки (до 2.9°С) и Северной части Тихого океана (до 2.5°С). Средняя сезонная аномалия по Южной Америке и северной части Тихого океана достигли рекордного значения (табл. 2.2).

В целом, общее число сезонных 5%-х экстремумов тепла (на станциях/боксах) составило 23-24% всех данных, в том числе 5-6% - абсолютные максимумы (табл. 2.3). В Евразии 5%-х экстремумов тепла – 22%, но в Европе – 30%; в Южной Америке – 19%, в Африке – 22% (из них 9% - абсолютные максимумы), в Австралии -21% (табл. 2.3). На акваториях океанов обширные области положительных аномалий с многочисленными экстремумами наблюдаются на севере Тихого океана, в регионе Мексиканского залива, в Индийском океане, а также в экваториальной части Тихого и Атлантического океанов (рис. 2.1). Доля 5%-х экстремумов тепла в экваториальном поясе составила 34%, а в поясе умеренных широт Северного полушария 25% (табл. 2.3).

Таблица 2.3 – Количество локальных экстремумов на территории Земного шара осенью 2019 г. по данным массивов Т3288 и HadCRUT4 (все значения приведены в процентах от NN)

Регион NN - число боксов/ станций		Число значений в каждой категории (в % от NN)						
		Аномалии (отн. 191-210 гг.)			5%-е экстремумы холода/тепла		Абсолютные экстремумы	
		$V < 0$	$V=0$	$V>0$	$X \le P_{05}$	$X \ge P_{95}$	X = min	X = max
HadCRUT4 (суша+море)								
ЗШ	1686	19.6	5.9	74.6	0.5	24.1	0.1	5.6
СП	985	11.2	4.1	84.8	0.1	29.7	0	6.1
ЮП	701	31.4	8.4	60.2	1.0	16.3	0.3	5.0
90-65S	14	35.7	7.1	57.1	-	0.0	-	-
65-25S	363	32.0	9.4	58.7	0.3	8.3	-	2.8
25S-25N	651	17.8	6.8	75.4	1.1	33.8	0.3	8.0
25-65N	547	15.9	3.5	80.6	0.0	25.0	-	5.5
65-90N	111	5.4	0.9	93.7	0.0	18.0	0.0	2.7
Т3288 (только суша)								
ЗШ	1802	19.6	4.4	76.0	0.3	22.6	0.0	5.4
СП	1478	19.6	4.1	76.4	0.3	22.9	0.0	4.7
ЮП	325	19.7	5.8	74.5	0.3	21.5	-	8.3
С. Америка	305	32.1	5.6	62.3	1.0	16.4	-	3.0
Евразия	917	17.4	3.9	78.6	0.2	21.7	0.0	3.9
Ю. Америка	148	16.9	8.1	75.0	-	18.9	-	6.8
Африка	130	17.7	3.8	78.5	0.0	22.3	-	8.5
Австралия	73	20.5	4.1	75.3	-	20.5	-	0.03
Антарктида	18	44.4	5.6	50.0	5.6	0.0	-	-
Европа	332	13.9	1.8	84.3	-	30.4	-	0.08
Азия	592	19.4	5.1	75.5	0.3	16.7	0.0	1.7

Рисунок 2.2 – Пространственное распределение среднемесячных аномалий приземной температуры на территории Земного шара осенью 2019 г. (сентябрь-ноябрь). Условные обозначения см. Рис. 2.1

Внутрисезонные особенности распределения аномалий

В сентябре интенсивные очаги тепла с многочисленными абсолютными максимумами (рис. 2.2) наблюдались на суше: в США – более чем на половине территории страны (до 5.3°С, абсолютные максимумы на 51 станциях, и в целом по континенту), в Монголии и прилегающих районах Китая и России (до 4.7°С), в Передней Азии (до 3.8°С), а также в центре Южной Америки (до 3.9°С). Мощной областью тепла на поверхности океанов охвачена северная часть Тихого океана, с многочисленными экстремумами, которая сохранялась в этом районе на протяжении всего сезона (рис. 2.2), в сентябре и в октябре средняя региональная аномалия достигла максимума (табл. 2.2). Области 5%-х экстремумов тепла в этом месяце также наблюдались в тропической области Атлантики Северного полушария, в экваториальных широтах Индийского и Тихого океанов.

Области интенсивных отрицательных аномалий сформировались в Прикаспийском регионе (до -2.8°С), на территории Антарктиды (до -4.0°С), на севере Австралии, в Индонезии и прилегающих океанических районах (до -1.7°С), а также (более слабых) – в восточной части Тихого океана и на юге Атлантического и Индийского океанов.

Октябрь характеризуется наличием интенсивных положительных аномалий в Арктическом регионе с максимумами до +7.8°С в Российском секторе и Канадском арктическом архипелаге (рис. 2.2). Большая часть Евразии в этом месяце занята положительными аномалиями (вероятность непревышения средней по континенту температуры 98%), с множеством локальных максимумов в Европе (на ЕЧР до 3.6°С), на Дальнем Востоке, в Средней и Передней Азии (до 3.2°С). Обширная область тепла отмечена в Австралии (до 4.1°С) и восточном секторе Антарктиды (до 5.4°С).

Континенты западного полушария, напротив, отличаются преобладанием отрицательных аномалий. Интенсивным очагом холода занята бóльшая часть территории США и юго-запад Канады (аномалии до -5.5°С); здесь на шести станциях наблюдались абсолютные минимумы и еще на 45 станциях – 5%-е экстремумы холода. Более слабые отрицательные аномалии заняли значительную территорию Южной Америки и западную Антарктиду (-1.7°С). В восточном полушарии под отрицательными аномалиями оказалась вся Скандинавия, Финляндия, Великобритания и северо-запад ЕЧР (до -3.8°С), а также значительные территории в центральной части Африки (до -2.4°С), в Китае и Индии (до -1.6°С).

Распределение положительных и отрицательных аномалий на поверхности океанов в течение сезона остается практически неизменным.

В ноябре контраст положительных и отрицательных аномалий усилился. Очаг холода в Северной Америке стал несколько слабее (до -3.4°С) и переместился в восточный сектор. По-прежнему отрицательными аномалиями занята территория Скандинавии (до -3.2°С) и Великобритании, а в центре Евразии оформилась обширная область холода, охватившая всю Среднюю Азию (до -4.9°С), Иран, Афганистан и Пакистан, Западную Сибирь и юг Восточной Сибири (до -5.5°С). Интенсивные положительные аномалии зафиксированы в этом месяце на Дальнем Востоке (до 9.9°С) и Аляске (до 9.2°С), в Европе (до 6.9°С); более слабые – в центральной Африке и Южной Америке (Парагвай-Бразилия, до 3.1°С), в Восточной Антарктиде (до 2.4°С).

3 – КРУПНОМАСШТАБНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ЗЕМНОГО ШАРА ЗА ПЕРИОД ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ, 1850-2019 гг. (осенний сезон)

Многолетние и межмесячные изменения глобальной температуры. На рис. 3.1 представлены межгодовые (по вертикали) и межмесячные (по горизонтали) изменения глобально осредненных аномалий приповерхностной температуры (для Земного шара и полушарий) на протяжении всего периода инструментальных наблюдений (с 1850 г.). Аномалии рассчитаны относительно среднего за весь период (1850-2019 гг.).

Рисунок 3.1 – Изменение аномалий средней месячной приповерхностной температуры, осредненной по всей территории (суша+море) Земного шара (GL), Северного (NH) и Южного (SH) полушарий в течение периода с января 1850 по ноябрь 2019 гг. (по данным HadCRUT4, Hadley/CRU, UK) в зависимости от месяца (по горизонтали) и года (по вертикали). Аномалии выражены в отклонениях от средней за 1850-2019 гг.

На рисунке 3.1 хорошо прослеживаются основные климатические особенности представленного периода: похолодание в начале 20-го столетия, арктическое потепление 1940-х и современное глобальное потепление, ставшее особенно активным с середины 1990-х. Наиболее ярко оно проявляется в Северном полушарии и заметно усилилось в последние годы – примерно с середины 2014 г. (в обоих полушариях).

Широтно-долготные разрезы. На рисунке 3.2 можно проследить зональные и меридиональные особенности изменения температурного режима последних лет (2013-2019 гг.), от месяца к месяцу. Меридиональный профиль (рис. 3.2а) характеризует узкий пояс умеренных широт Северного полушария (40-60°с.ш., 180°з.д.–180°в.д..), от восточного сектора Тихого океана, далее – территория США, затем – Северная Атлантика, Евразия и западный сектор Тихого океана. В основном, представленный период отличается холодными аномалиями в Атлантике и теплыми – в Тихом океане (за исключением периода с середины 2016 до конца 2017 гг.) – и в этом осеннем сезоне было именно так, плюс преобладание отрицательных аномалий на континентах (рис. 3.2а).

Судя по зональным профилям (рис. 3.2б), арктическая аномалия тепла после небольшого ослабления летом 2019 года, осенью вновь усилилась. На всех широтах Земного шара зонально осредненные аномалии положительны, при этом значения, близкие к нулю (температура на уровне климатической нормы) заметны в умеренных широтах Северного полушария и тропических широтах Южного полушария.

Рисунок 3.2 – Изменение во времени меридиональных (слева) и зональных (внизу) профилей аномалии приповерхностной температуры у берегов Северной Америки с января 2013 г. по ноябрь 2019 г**.**

Расчет выполнен по сеточным данным HadCRUT4 (данные Hadley/CRU, суша+море), приведенным к базовому периоду 1981-2010 гг. Зональные профили получены осреднением вдоль всего широтного круга, а меридиональные – внутри широтного пояса 40-6° с.ш.

Временные ряды глобально осредненной температуры. Интегральную характеристику и оценку интенсивности наблюдаемых изменений приземной температуры Земного шара дают глобально осредненные временные ряды для территории Земного шара и полушарий. На рисунке 3.3 видно определенное повышение глобальной температуры от 2018 г. к 2019, однако средняя скорость потепления осенних сезонов за период с 1976 г. осталась без изменения.

Рисунок 3.3 – Временные ряды сезонных аномалий приземной температуры (осень), осредненных по территории Земного шара, Северного и Южного полушарий: а) по данным Hadley/CRU, 1850-2019 гг.: HadCRUT4 (суша+море), CRUTEM4 (суша), HadSST3 (море); б) по данным ИГКЭ, 1901-2019 гг.: T3288 (суша).

Для всех рядов показан ход 11-летних скользящих средних и линейный тренд за 1976-2019 гг. с 95% доверительным интервалом. Справа приведены числовые значения сезонных аномалий в 2019 г. и коэффициентов линейного тренда за 1976-2019 гг. (°C/10лет, осень).

В таблице 3.1 приведены коэффициенты линейного тренда для всех рядов (по всем наборам данных, для Земного шара и обоих полушарий), за 1976-2019 гг. (период современного глобального потепления) и 1920-2019 гг. (последнее 100-летие).

Таблица 3.1 – Коэффициенты линейного тренда (*°C/10 лет*) глобальных временных рядов приземной температуры за 1976-2019 гг. и 1920-2019 гг., в среднем за осенний сезон и по месяцам

Регион	**1976-2019**				**1920-2019**			
	Осень	**Сентябрь**	**Октябрь**	**Ноябрь**	**Осень**	**Сентябрь**	**Октябрь**	**Ноябрь**
HadCRUT4 (суша+море)								
Земной шар	0.180	0.175	0.191	0.173	0.076	0.075	0.075	0.079
Северное полушарие	0.255	0.251	0.268	0.248	0.08	0.078	0.077	0.086
Южное полушарие	0.104	0.099	0.115	0.098	0.072	0.072	0.074	0.071
T3288-ИГКЭ (суша)								
Земной шар	0.301	0.290	0.325	0.291	0.099	0.092	0.096	0.107
Северное полушарие	0.343	0.320	0.371	0.340	0.102	0.093	0.095	0.118
Южное полушарие	0.204	0.218	0.218	0.180	0.092	0.094	0.102	0.081
CRUTEM4 (суша)								
Земной шар	0.288	0.279	0.309	0.277	0.101	0.096	0.100	0.109
Северное полушарие	0.332	0.312	0.355	0.329	0.102	0.093	0.096	0.118
Южное полушарие	0.201	0.213	0.216	0.173	0.099	0.101	0.106	0.090
HadSST3 (море)								
Земной шар	0.146	0.149	0.151	0.138	0.065	0.066	0.065	0.065
Северное полушарие	0.214	0.229	0.217	0.196	0.067	0.069	0.068	0.064
Южное полушарие	0.083	0.073	0.090	0.085	0.066	0.066	0.066	0.068

Примечание. Все оценки в таблице статистически значимы на 1%-м уровне.

Таблица 3.2 – Сравнение скорости глобального потепления осенних сезонов (у поверхности) в разных факторных подгруппах

	Показатель	**1976-2019**			**1920-2019**		
		ЗШ	**СП**	**ЮП**	**ЗШ**	**СП**	**ЮП**
k_1	b_{T3288}/b_{HadSST}	2.06	1.60	2.46	1.52	1.52	1.39
	b_{CRUTEM}/b_{HadSST}	1.97	1.55	2.42	1.55	1.52	1.50
k_2	$b_{СП} / b_{ЮП}$	1976-2019			1920-2019		
		T3288	CRUTEM	HadSST	T3288	CRUTEM	HadSST
		1.68	1.65	2.58	1.11	1.03	1.02
k_3	$b_{1976\text{-}2019} / b_{1920\text{-}2019}$	СП			ЮП		
		T3288	CRUTEM	HadSST	T3288	CRUTEM	HadSST
		3.36	3.25	3.19	2.22	2.03	1.26

Для сравнения интенсивности (средней скорости) потепления в разных факторных подгруппах[7], в табл. 3.2 приведены показатели k_1-k_3, рассчитанные как отношение соответствующих коэффициентов тренда (см. первый столбец табл. 3.2). Показатели k_1-k_3 количественно уточняют выводы, основанные на визуальном сопоставлении глобальных временных рядов (рис. 3.3) и оценок трендов (табл. 3.1) в разных группах данных. Из этих оценок видно, что:

- потепление осенних сезонов (и современное, и в целом за 100 лет) над сушей протекает быстрее, чем над океанами (k_1=1.4-2.5, больше 1), причем этот контраст в последние 40-50 лет в Южном полушарии существенно усилился, тогда как в Северном полушарии остался практически на том же уровне;
- в Северном полушарии средняя скорость потепления осенних сезонов выше, чем в Южном (k_2=1.0-2.6); максимален этот контраст над океанами (k_2=2.6) за последние 40-50 лет, а на 100-летнем периоде он практически отсутствует.
- современное потепление осенних сезонов ускорилось по сравнению со 100-летним в k_3=3.2-3.4 раз в Северном полушарии и только в k_3=1.3-2.2 раза – в Южном. При этом в Северном полушарии ускорение происходит равномерно на всей территории (на суше и на поверхности океанов), а в Южном – более интенсивно над сушей.

[7] Под факторами здесь понимаются величины, определяющие разбиение всей совокупности данных на сравниваемые выборки: суша/море, полушария (СП/ЮП), период оценивания (современный/столетие).

4 – ВРЕМЕННЫЕ РЯДЫ РЕГИОНАЛЬНО ОСРЕДНЕННЫХ АНОМАЛИЙ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ, 1911-2019 гг. (осенний сезон)

Представленные ниже временные ряды (рисунки 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 шести континентов и для Европы и Азии отдельно). Данные до 1911 г. не приводятся, т.к. представляются недостаточно полными и надежными (особенно над океанами). На всех временных рядах показаны тренды за период 1976-2019 гг., условно принятый за период современного глобального потепления. Числовые оценки трендов для всех регионов приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1. – Коэффициенты линейного тренда (*°C/10 лет*) регионально осредненных аномалий приземной температуры осеннего сезона за 1976-2019 гг. (в целом за сезон и по месяцам)

Регион	Осень	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
HadCRUT4 (суша+море)				
Атлантика (15-70N)	0.225	0.225	0.243	0.206
Тихий океан (20-65N)	0.217	0.229	0.215	0.207
Арктический пояс (65-90N)	0.628	0.441	0.741	0.715
Умеренный пояс СП (25-65N)	0.297	0.309	0.311	0.269
Тропики (25S-25N)	0.147	0.142	0.151	0.151
Умеренный пояс ЮП (65-25S)	0.100	0.094	0.112	0.091
Антарктический пояс (90-65S)	0.233	**0.177	0.318	0.197
T3288 (суша)				
Северная Америка	0.322	0.345	0.299	*0.324
Евразия	0.367	0.339	0.43	0.336
Европа	0.448	0.456	0.422	*0.467
Азия	0.343	0.304	0.428	*0.299
Южная Америка	0.224	0.293	0.194	0.195
Африка	0.295	0.250	0.304	0.323
Австралия	0.290	0.282	0.381	*0.218
Антарктида	0.208	**0.162	0.272	*0.178

Примечание - Звездочкой (*) выделены оценки, статистически значимые на 5%-м уровне; двумя звездочками (**) выделены оценки для Антарктического региона, для которых уровень значимости α=35%. Остальные оценки статистически значимы на 1%-уровне.

Оценки сезонных трендов для регионов Земного шара и континентов (табл.4.1) все положительны, статистически значимы на 1% уровне и указывают на более интенсивное потепление осенних сезонов в Арктическом поясе (0.63°C/10 лет) и в Европе (0.45°C/10 лет). Однако при более детальном рассмотрении оценки не столь однозначны. В Антарктиде значимый на 1% уровне тренд к потеплению наблюдается только в октябре, а в Антарктическом поясе – в октябре и ноябре. Следует также выделить ноябрь как месяц с большей неопределенностью полученных оценок «глобального потепления».

Более детально проследить особенности многолетнего хода приземной температуры в каждом регионе можно по временным рядам на рисунках 4.1-4.3 и по соответствующим оценкам современных тенденций в их изменении в таблице 4.1.

а) Т3288 (только суша)

б) HadCRUT4 (суша+море)

Рисунок 4.1 – Временные ряды пространственно осредненных аномалий приземной температуры осеннего сезона для континентов (а), северных частей Атлантического и Тихого океанов (б, вверху) и основных широтных поясов земного шара (б, внизу).

Расчеты выполнены по методике ИГКЭ: для континентов - по данным ИГКЭ (массив Т3288), для океанов и широтных поясов – по данным Hadley/CRU (массив HadCRUT4). Аномалии приведены в отклонениях от средних за 1981–2010 гг. Сглаженные кривые (жирная линия) получены 11-летним скользящим осреднением. Показан линейный тренд за 1976-2019 гг. с 95%-м доверительным интервалом (голубая заливка).

Рисунок 4.2 – См. рис. 4.1, но для аномалий осенних месяцев и только для континентов (Т3288)

Рисунок 4.3 – См. Рис. 4.1., но для аномалий осенних месяцев и только для океанов и широтных поясов земного шара (HadCRUT4)

5 – ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА, 1976-2019 гг. (осенний сезон)

Ниже приведено географическое распределение коэффициентов линейного тренда приповерхностной температуры за 1976-2019 гг. для осеннего сезона (рис. 5.1) и отдельно для каждого из месяцев (рис. 5.2). Использованы данные наблюдений на 1785 станциях (массив T3288) и в центрах 1626 боксов (массив HadCRUT4), для которых своевременно поступили данные за три осенних месяца 2019 года. В таблице 5.1 приведено их количественное распределение в зависимости от географического региона, направленности тренда и уровня значимости. В ячейках таблицы для каждой анализируемой выборки указано реальное число станций/боксов, учтенных в этой выборке и их доля в общем объеме соответствующих данных.

Таблица 5.1 – Распределение локальных оценок тренда за ***1976-2019 (осенний 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
HadCRUT4	ЗШ	1626	138	3	9	17	1488	925	1107	1182
			8.5%	0.2%	0.6%	1.0%	91.5%	56.9%	68.1%	72.7%
	СП	968	7	0	0	0	961	674	787	825
			0.7%	0.0%	0.0%	0.0%	99.3%	69.6%	81.3%	85.2%
	ЮП	658	131	3	9	17	527	251	320	357
			19.9%	0.5%	1.4%	2.6%	80.1%	38.1%	48.6%	54.3%
T3288	ЗШ	1785	69	10	14	15	1716	1017	1247	1349
			3.9%	0.6%	0.8%	0.8%	96.1%	57.0%	69.9%	75.6%
	СП	1469	38	6	8	8	1431	854	1042	1129
			2.6%	0.4%	0.5%	0.5%	97.4%	58.1%	70.9%	76.9%
	ЮП	317	31	4	6	7	286	163	206	221
			9.8%	1.3%	1.9%	2.2%	90.2%	51.4%	65.0%	69.7%

Примечание – Таблица обобщает распределение оценок на рис. 5.1. Процентное содержание данных рассчитано относительно N (N - общее количество станций/боксов).

Можно видеть, что *тенденция к потеплению осенних сезонов* наблюдается практически повсеместно – локальные положительные тренды составляют 92-96% всех оценок. Область наиболее *интенсивного потепления* осенних сезонов, по-прежнему, Арктика (до 2.0^{o}C/10 лет в Карском море, рис. 5.1), за ней - Европа и западная территория США (до 0.7^{o}C/10 лет). В то же время на всех континентах отмечаются области статистически незначимого положительного тренда, наиболее обширные из которых расположены в Сибири, на западе Канады и в Аргентине.

Из остальных 4-8% оценок (тенденция к похолоданию) только 0.2-0.6% статистически значимы на 1%-м уровне. Эти области располагаются в Боливии (до -0.3^{o}C/10 лет), в Бангладеш (до -0.4^{o}C/10 лет) и на юге Атлантики (у побережья Аргентины).

Рисунок 5.1 - Пространственное распределение коэффициентов линейного тренда температуры осеннего сезона у поверхности Земного шара за период 1976-2019 гг. (°C/10 лет).

Использованы данные: а) HadCRUT4 - сеточные данные Hadley/CRU, UK (суша+море); б) T3288 – станционные данные ИГКЭ (только суша). Пустыми боксами (а) и штриховкой (б) показаны области отсутствия наблюдений. Для станций Антарктиды и Гренландии приведены числовые значения коэффициентов тренда. Белыми кружками выделены боксы/станции, для которых тренд статистически значим на 1%-м уровне.

В распределениях месячных оценок тренда (рис. 5.2) можно отметить, что тенденция к потеплению Арктики наиболее четко проявляется в октябре (до 2.3°С/10 лет в Карском море и Канадском арктическом архипелаге), а Европы и Северной Америки – в сентябре (до 0.8°С/10 лет).

В течение всего сезона, на всех континентах, кроме Австралии, выделяются области слабого отрицательного тренда, статистически незначимого даже на 10%-м уровне (в Северной Америке и Сибири - обширные). На сезонной карте им соответствуют области слабого, также статистически незначимого, положительного тренда, что указывает скорее на отсутствие в изменении температуры в этих областях реальных однонаправленных тенденций любого знака.

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

6 – ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- Сезонная аномалия температуры приземного воздуха осенью 2019 г., в среднем по территории Земного шара, Северного и Южного полушарий, составила 0.44°C, 0.66°C, 0.23°C, соответственно. Этот сезон стал вторым самым теплым осенним сезоном в истории наблюдений для Земного шара и Северного полушария и четвертым в Южном полушарии; самым теплым остается осень 2015 года (соответствующие аномалии 0.55, 0.77, 0.34°C).
- В целом по Земному шару, на 75-76% всех станций/боксов средняя за сезон температура была выше климатической нормы, в том числе наблюдалось большое количество экстремумов – 23-24% всех данных оказались выше 95-го процентиля (5%-е экстремумы тепла), а 5-6% превысили прежние абсолютные максимумы. Осенний сезон 2019 года стал рекордно теплым для Южной Америки, а сентябрь – для Северной Америки. Региональная аномалия в северной части Тихого океана достигла максимума в среднем за сезон, а также в сентябре и октябре.
- На 20% станций/боксов сезонные аномалии температуры этой осенью были отрицательны и еще на 4-6% равны 0 (на фоне высоких, близких к рекордным, значений глобальных температур). При этом области с отрицательными аномалиями наблюдались во многих регионах Земного шара: в Северной Америке, Северной Европе, в Казахстане и Средней Азии, в Антарктиде, а также на поверхности океанов Южного полушария. Наиболее интенсивными были: область холода в Северной Америке в октябре и ноябре и в Евразии – в ноябре.
- На большей части Земного шара продолжается потепление осенних сезонов: положительные тренды составляют 92-96% всех локальных оценок. При этом среди отрицательных коэффициентов тренда (4-8%) статистически значимы на 1%-м уровне 0.2-0.6% (в Боливии и Бангладеш, на юге Атлантики). Область наиболее интенсивного потепления осенних сезонов (1976-2019 гг.) на суше Земного шара – Арктика (до +2.0°C/10 лет на островах Северного Ледовитого океана), за ней – Европа и западная территория США (до 0.7°C/10 лет).
- В пространственном распределении локальных оценок тренда температуры отдельных месяцев выделяются области слабого отрицательного тренда, статистически незначимого даже на 10%-м уровне (наиболее обширные: в октябре - в Северной Америке, в ноябре – в Сибири). На сезонной карте и в сентябре им соответствуют области слабого, также статистически незначимого, положительного тренда, что указывает, по-видимому, на отсутствие в изменении температуры в этих областях однонаправленных тенденций любого знака.