Введение

В настоящем обзоре представлены результаты мониторинга характеристик экстремальности температурного режима в крупных регионах (федеральных округах) России для зимнего и летнего сезонов 2020 года.

Мониторинг экстремумов ведется по данным суточного разрешения; для оперативного пополнения базы МК используются срочные данные SYNOP из базы данных МАКТ Гидрометцентра России.

Исторические данные о суточной температуре воздуха выбраны из архива станционной суточной минимальной, средней и максимальной температуры и суммы осадков на 600 станциях РФ, созданный и поддерживаемый во ВНИИГМИ-МЦД [1]. Из него были выбраны ряды с 1960 г. на 367 станциях, с наименьшим количеством пропусков, позволяющим рассчитывать тренды внугрисезонных статистик. Часть пропусков после 2011 г. были восполнены по срочным данным SYNOP из БД МАКТ Гидрометцентра России.

Рассматриваются несколько индексов экстремумов температуры, которые основаны на количестве дней в сезоне, в течение которых температура превосходит экстремальные квантили выборочной функции распределения среднесуточной температуры календарного дня $d: P^d_{5}$, P^d_{95} , а также («умеренные экстремумы») P^d_{10} , P^d_{90} . Это число дней с Т < P^d_{5} , Т > P^d_{95} , либо с Т < P^d_{10} , Т > P^d_{90} (мы будем обозначать их соответственно ND05, ND95 / ND10, ND90), а также число дней в сезоне в «волнах» тепла и холода, т.е. непрерывных эпизодах продолжительностью не менее 5 дней, в течение которых температура превосходила пороги «умеренных экстремумов». Эти индексы будем называть NCW10 («cold waves») и NHW90 («heat waves»).

Для расчета был использован модифицированный алгоритм оценки квантилей суточной температуры воздуха. Рекомендованный объединенной рабочей группой (РГ) ВМО по обнаружению изменений климата подход состоит в том, чтобы увеличить объем выборки для каждых суток d (d=1..365) календарного года в 5 раз за счет включения 2 дней предшествующих (d-2, d-1) и 2 последующих (d+1, d+2) за этими сутками. Однако для станций в условиях континентального климата с амплитудой годового хода температуры в несколько десятков градусов такой подход напрямую не слишком корректен: различие между средними температурами eT(d-2) и eT(d+2) может достигать 2 градусов для отдельных станций.

Модифицированный алгоритм оценки [2] предусматривает предварительное исключение годового хода из температуры за каждый день (T'(d)=T(d)-eT(d)), получение оценки процентиля для аномалии P_{α} T'(d) по упятеренной выборке и переход к процентилю самой температуры: P_{α} $T(d)=P_{\alpha}$ T'(d)+eT(d). Годовой ход температуры, а потом и годовой ход полученной оценки процентиля при этом рекомендуется сгладить, поскольку они содержат значительные выборочные артефакты — зубцы амплитудой до нескольких градусов. Был использован низкочастотный симметричный цифровой фильтр с точкой отсечки 90 дней.

Кроме того, все статистики рассчитывались не по выделенному «базовому периоду», а за полный период, чтобы избежать смещения при переходе от базового периода к другим частям выборки-

Рассматриваются осредненные по регионам значения индексов экстремальности. Для их расчета используется процедура осреднения, включающая 2 этапа:

- (1) предварительное осреднение станционных показателей экстремальности внутри боксов ячеек регулярной сетки (5°д.х2.5°ш.), т.е. станционные веса обратно пропорциональны плотности сети;
- (2) осреднение средних по ячейкам с весами, пропорциональными площади пересечения бокса с территорией региона (вес станции прямо пропорционален представляемой площади).

Отметим, что расчет среднего по региону числа дней в «волнах» тепла/холода выполнен по данным тех станций, на которых наблюдались волны. Это обстоятельство может привести к тому, что в среднем по региону значение индекса «число дней в волнах тепла/холода» в отдельные годы может превышать суммарное число дней в сезоне выше/ниже выбранных порогов (индекс ND).

Для сезонных показателей экстремальности в каждом регионе рассчитываются коэффициенты линейных трендов и их вклад в суммарную дисперсию рядов. Тренды оцениваются методом наименьших квадратов для периода с 1976 г. (условное начало современного потепления).

Результаты

В таблице 1 приведены значения сезонного числа аномально холодных дней с температурой ниже 10-го процентиля ND10 и аномально теплых дней с температурой выше 90-го процентиля, ND90, и сезонного числа дней в волнах холода NDCW10 и волнах тепла NDHW90, рассчитанные для центральных сезонов 2020 года для Европейской и Азиатской частей России. На рисунках 1, 2, 3, 4 показаны изменения рассматриваемых индексов для летнего и зимнего сезонов в федеральных округах России. Оценки линейных трендов характеризующие среднюю тенденцию изменений сезонных индексов экстремальности за период 1976-2020 гг. представлены в таблице 2.

По данным мониторинга климата России зимний сезон 2019/20 ГΓ. Доклад об особенностях территории РΦ 2020 (см. климата на http://climatechange.igce.ru/index.php?option=com_docman&Itemid=73&gid=27&lang=ru , a бюллетень «Изменения России» климата http://climatechange.igce.ru/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=32&dir=DES C&order=name&limit=20&limitstart=0&lang=ru), был исключительно теплым, особенности в ЕЧР, что проявилось и в количественных показателях экстремумов температуры. В среднем по Европейской части России зафиксировано 29 дней со средней суточной температурой выше 90-го процентиля, т. е. втрое больше ожидаемого в среднем за анализируемый период, а дней с температурой выше 95-го процентиля больше 17, почти вчетверо больше ожидаемого в среднем. Средняя по региону суммарная продолжительность непрерывных периодов с экстремально высокой температурой в сезоне составила более 17 дней. В Азиатской части России количество экстремально теплых дней было несколько меньше: ND90=16 и ND95=9. При этом в обоих регионах экстремумы холода практически не наблюдались (табл. 1). Зимой 2020 года в Северозападном и Центральном Федеральных округах (ФО) отмечены максимальные значения индекса ND90 за весь анализируемый период (с 1960 г.): 29 и 36 дней. В Северо-Западном ФО число дней с температурой выше 95-го процентиля и суммарная продолжительность непрерывных эпизодов также были рекордно высокими. В Центральном ФО значения индексов ND95 и NDHW90 оказались на 2 месте в упорядоченных по убыванию соответствующих рядах.

Таблица 1 - Сезонные (зима: декабрь 2019-февраль 2020 г., лето: июнь-август 2020 г.) значения характеристик экстремальности температурного режима: число дней с температурой выше 90-го процентиля (ND90) и выше 95-го процентиля (ND95), и суммарной продолжительности волн тепла и холода, осредненные по регионам России

а) Экстремумы холода

Регион		Зима		Лето							
1 CI HOII	ND10	ND05	NDCW10	ND10	ND05	NDCW10					
Физико-географические регионы											
Европейская часть России	0.53	0.17	0.00	2.39	0.60	6.79					
Азиатская часть России	1.91	0.58	5.16	2.00	0.63	6.07					
Федеральные округа											
Северо-Западный	0.90	0.27	0.00	0.94	0.15	6.00					
Центральный	0.00	0.00	0.00	1.76	0.18	0.00					
Приволжский	0.08	0.00	0.00	4.9	1.39	7.01					
Южный	0.38	0.16	0.00	1.23	0.28	0.00					
Северо-Кавказский	1.98	0.82	0.00	2.55	0.97	6.00					
Уральский	0.25	0.02	0.00	2.58	0.75	6.51					
Сибирский	1.17	0.27	0.00	1.85	0.72	5.00					
Дальневосточный	2.8	0.93	5.16	2.03	0.58	6.22					

б) Экстремумы тепла

Регион		Зима		Лето						
1 Ci non	ND90	ND95	NDHW90	ND90	ND95	NDHW90				
Физико-географические регионы										
Европейская часть России	29.49	17.44	17.71	13.60	7.99	9.71				
Азиатская часть России	16.33	9.25	11.01	10.73	6.25	11.01				
Федеральные округа										
Северо-Западный	29.51	19.43	18.8	10.87	6.10	7.58				
Центральный	36.31	19.64	20.31	12.12	6.72	9.48				
Приволжский	31.72	18.11	19.36	13.16	8.31	8.86				
Южный	19.62	9.68	10.61	20.71	12.18	13.06				
Северо-Кавказский	16.10	8.14	8.05	20.60	11.9	13.54				
Уральский	23.16	14.25	11.13	17.63	11.3	11.79				
Сибирский	22.14	12.95	10.88	9.85	5.22	11.05				
Дальневосточный	10.91	5.61	11.58	9.30	5.47	10.59				

Примечание: суммарная продолжительность волн тепла и холода осреднялась только по станциям, где они наблюдались

Летом число теплых дней (ND90) в ЕЧР и АЧР составило 13 и 10 соответственно. Среди федеральных округов наибольшее число теплых дней (~20 дней) отмечалось в среднем по Южному и Северо-Кавказскому ФО (табл. 1). Число экстремально теплых дней (ND95) превышало 10 в ЮФО и СКФО, а также в Уральском ФО; здесь же наблюдалась максимальная средняя продолжительность волн тепла.

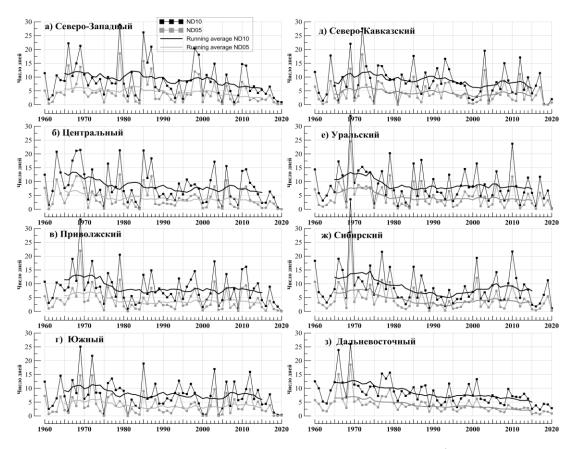


Рисунок 1 - Изменения индексов ND10 и ND05, осредненных по федеральным округам России для зимнего сезона. Сглаженные кривые получены 11-летним скользящим осреднением.

Анализ рядов региональных индексов экстремальности (рис. 1-8, табл. 2) показывает, что общая направленность изменений этих в рядах можно охарактеризовать как убывание индексов экстремумов холода и возрастание экстремумов тепла. Однако, имеется ряд особенностей, на которые следует обратить внимание.

Зима

В большинстве регионов вклад тренда в дисперсию ряда в основном не более 11% (табл. 2). Лишь в Дальневосточном ФО убывание числа холодных дней происходит почти монотонно (рис. 13, 23), тренд объясняет 30% межгодовой изменчивости индекса ND10 и 17% индекса NDCW10 (значимы на уровне 5%). В остальных округах наблюдаются заметные колебания. Локальные минимумы на сглаженных кривых ND10, ND05 около 1995 года прослеживаются для Северо-западного, Центрального, Уральского и особенно ярко для Сибирского федеральных округов: они соответствуют изменению знака тренда в средней температуре зимнего сезона — быстрый рост с середины 1970-х до середины 1990-х и затем убывание до 2010 г., соответствующие поведению индекса

Североатлантического колебания (САК) и (в противофазе) Скандинавской циркуляционной моды. После 2010 г. рост САК возобновился, после чего убывание экстремумов холода возобновилось в большинстве регионов [2].

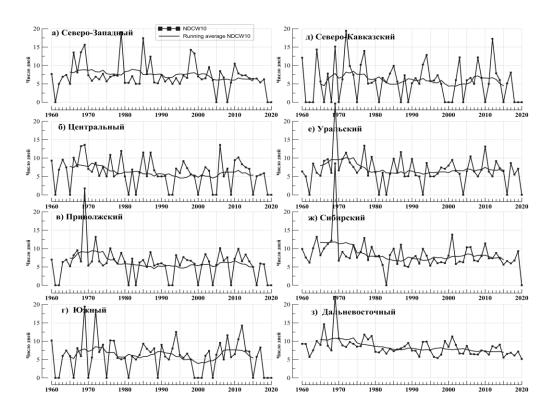


Рисунок 2 - Изменения индекса NDCW10, осредненного по федеральным округам России для зимнего сезона.

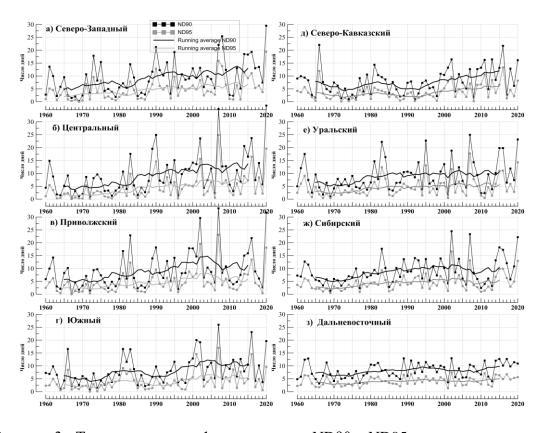


Рисунок 3 - То же, что на рис. 1, для индексов ND90 и ND95.

Индексы экстремального тепла зимой растут во всех федеральных округах России (табл. 2, 3) Значимый на уровне 5% положительный тренд ND90, ND95 наблюдается во всех ФО ЕЧР (кроме ND95 в ЮФО). В СЗФО, ЦФО, ПФО, УФО и СФО отмечается малое число экстремумов тепла в первой половине 2010-х гг.

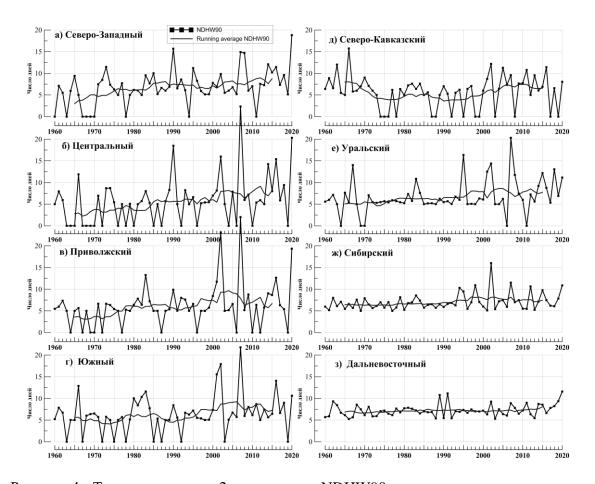


Рисунок 4 - То же, что на рис. 2, для индекса NDHW90.

Лето

Во всех федеральных округах число экстремумов холода (ND10, ND05, NDCW10) в летний сезон убывает (рис. 5, 6, табл. 2, 3), причем это убывание значительно более выражено, чем для зимнего сезона. В большинстве регионов убывание начинается в 1980-е гг. Исключение составляют Уральский, Сибирский и Приволжский ФО. В Сибирском ФО уменьшение числа холодных дней начинается с середины 1970-х гг. В Приволжском ФО наиболее интенсивное убывание рассматриваемых показателей началось в середине 1970-х гг., в Уральском - в начале 1970-х и продолжалось до середины 1980-х, после чего темпы убывания несколько замедлились. В Северо-Западном ФО резкое сокращение числа холодных дней наблюдалось с начала 1980-х до начала 1990-х гг.

В последние годы заметен рост индексов ND10, ND5 в Северо-Западном, Центральном и Приволжском федеральных округах.

В течение последних 10 лет в Южном ФО в 7 годах, в Северо-Кавказском ФО в 9 годах, в Центральном ФО в 6 годах волны холода летом не наблюдались.

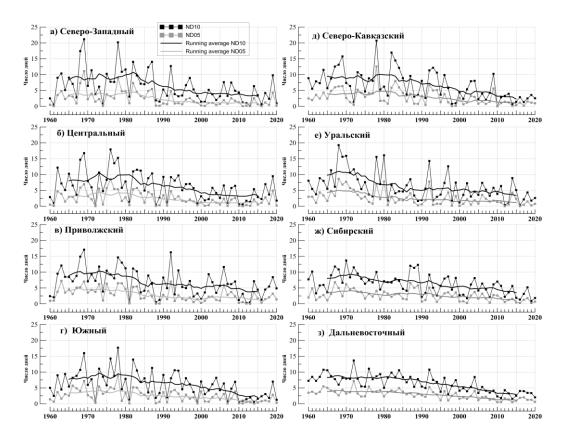


Рисунок 5 - Изменения индексов ND10 и ND05, осредненных по федеральным округам России для летнего сезона. Сглаженная кривая получена 11-летним скользящим осреднением.

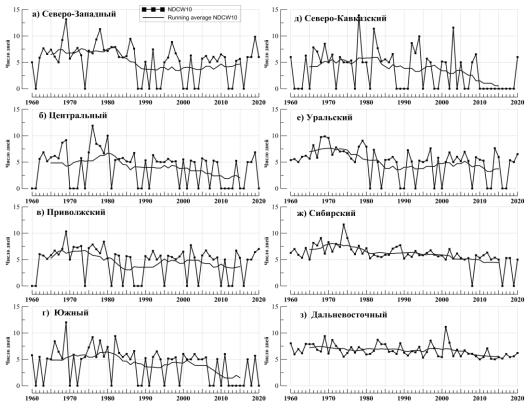


Рисунок 6 - Изменения индекса NDCW10, осредненного по федеральным округам России для летнего сезона. Сглаженная кривая получена 11-летним скользящим осреднением.

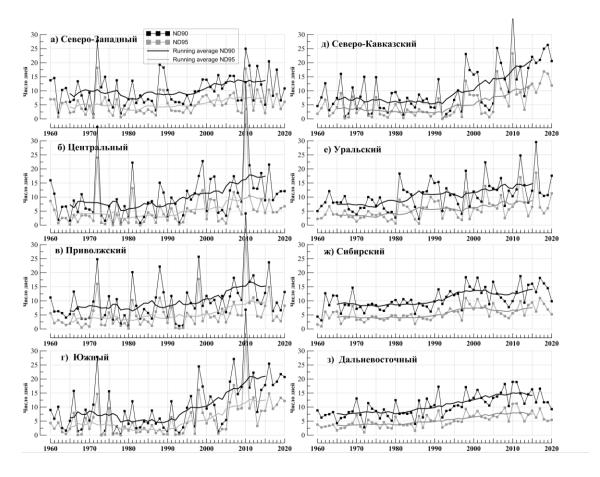


Рисунок 7 - То же, что на рис. 5, для индексов ND90 и ND95.

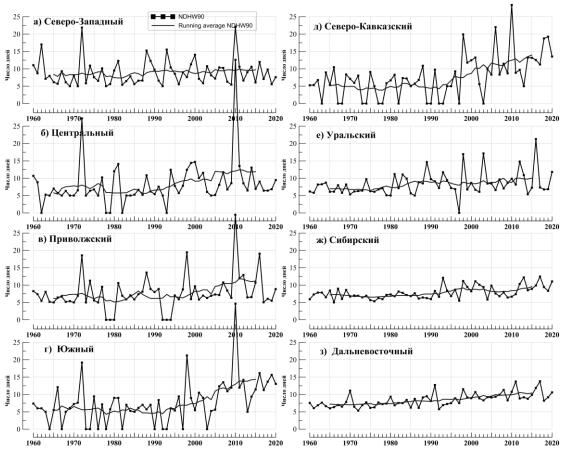


Рисунок 8 - То же, что на рис. 6, для индекса NDHW90.

Летом интенсивный рост числа жарких дней (ND90, ND95, NDHW90) в Центральном, Приволжском, Южном и Северо-Кавказском федеральных округах отмечается с начала 1990-х гг. (рис. 7 б, в, г, д, рис. 8 б, в, г, д). В этих же регионах зафиксированы максимальные значения коэффициентов линейного тренда всех рассматриваемых индексов экстремумов тепла за период 1976-2020 гг. (табл. 2, 3). Следует отметить, что столь интенсивный тренд здесь связан с пиковым значением индекса в 2010 г.

В остальных регионах рост менее интенсивный: (коэффициенты линейного тренда индексов ND90, ND95 меньше 2-х дней за десятилетие).

Таблица 2 - Коэффициенты линейного тренда числа дней со средней суточной температурой ниже 10-го и 5-го процентилей (ND10, ND5) и выше 90-го и 95-го процентилей (ND90, ND95) для зимнего и летнего сезонов за 1976-2020 гг. b-коэффициент линейного тренда (дни/10 лет), D - вклад тренда в дисперсию (%).

а) Экстремумы холода

	Зима				Лето				
Регион	ND10		ND05		ND10		NE	005	
	b	D	b	D	b	D	b	D	
Северо-Западный	-1.69	11	-1.07	11	-1.83	30	-0.86	30	
Центральный	-1.21	8	-0.61	6	-1.80	31	-0.78	26	
Приволжский	-0.71	3	-0.41	3	-1.11	14	-0.54	14	
Южный	-0.83	5	-0.32	2	-1.87	36	-0.80	29	
Северо-Кавказский	-1.19	10	-0.53	5	-2.03	34	-1.00	26	
Уральский	-0.52	2	-0.43	3	-0.91	10	-0.44	9	
Сибирский	-0.61	2	-0.45	4	-1.15	28	-0.57	23	
Дальневосточный	-1.38	30	-0.87	35	-1.58	62	-0.78	58	

б) Экстремумы тепла

	Зима				Лето				
Регион	ND90		ND95		ND90		ND95		
	b	D	b	D	b	D	b	D	
Северо-Западный	2.32	21	1.44	19	1.61	15	1.07	15	
Центральный	2.62	17	1.54	14	2.79	18	1.67	11	
Приволжский	1.67	8	1.07	8	2.02	12	1.39	11	
Южный	1.29	9	0.70	6	4.77	45	3.14	40	
Северо-Кавказский	1.51	16	0.86	14	4.43	46	2.90	46	
Уральский	1.01	4	0.69	5	1.64	15	1.23	17	
Сибирский	0.85	4	0.54	4	1.57	32	1.01	32	
Дальневосточный	0.54	7	0.30	6	1.75	36	1.04	33	

Примечание. Выделены тренды, значимые на уровнях 1% (темно-зеленый) и 5% (светло-зеленый)

В Северо-западном, Центральном, Приволжском,Южном, Уральском, Дальневосточном федеральных округах рост экстремумов тепла прекратился в середине 2000-х, в Сибирском несколько раньше - в начале 2000-х.

Таблица 3 - Оценки линейного тренда суммарной сезонной продолжительности волн тепла и холода для федеральных округов России и для зимнего и летнего сезонов за 1976-2020 гг. b – коэффициент линейного тренда (дни/10 лет), D - вклад тренда в дисперсию (%).

	Зима				Лето				
Федеральный округ	NDCW10		NDHW90		NDCW10		NDHW90		
	b	D	b	D	b	D	b	D	
Северо-Западный	-0.92	10	0.92	10	-0.63	6	0.30	1	
Центральный	-0.47	3	1.52	12	-1.12	22	1.38	8	
Приволжский	-0.38	2	0.73	3	-0.16	1	1.36	11	
Южный	-0.44	2	0.67	4	-1.14	24	2.66	28	
Северо-Кавказский	-0.61	4	0.63	5	-1.22	17	2.86	34	
Уральский	-0.19	1	0.72	6	-0.34	2	0.60	5	
Сибирский	-0.27	2	0.36	5	-0.65	27	0.77	28	
Дальневосточный	-0.52	17	0.27	6	-0.35	15	0.81	32	

Примечание. Выделены тренды, значимые на уровнях 1% (темно-зеленый) и 5% (светлозеленый)

Литература

1. Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Александрова Т.М. «Описание массива данных суточной температуры воздуха и количества осадков на метеорологических станциях россии и бывшего СССР (TTTR)»

http://meteo.ru/data/162-temperature-precipitation#описание-массива-данных

2. Бардин М. Ю., Платова Т. В., 2019: Долгопериодные вариации показателей экстремальности температурного режима на территории России и их связи с изменениями крупномасштабной атмосферной циркуляции и глобальным потеплением // Метеорология и гидрология, № 12, с.5-15