

УДК 551.583(470)(045)

*Ю.П. Переведенцев, Е.М. Парубова, Б.Г. Шерстюков, К.М. Шанталинский, М.А. Мягков***ИЗМЕНЧИВОСТЬ ОСНОВНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НА ТЕРРИТОРИИ ПРИВОЛЖСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА В ПЕРИОД 1966–2018 гг.¹**

Рассмотрена пространственно-временная изменчивость температуры и влажности воздуха, атмосферных осадков в Приволжском федеральном округе в 1966–2018 гг. В результате статистической обработки данных 20 метеостанций выявлена четкая тенденция потепления в последние десятилетия и слабый рост годовых сумм осадков за исключением юго-востока региона. Рассмотрен годовой ход упругости водяного пара и относительной влажности, приведена статистика распределения по станциям «сухих» и «влажных» дней в различные месяцы. Выявлены корреляционные связи между отдельными циркуляционными модами (АО, NAO, SCAND, EAWR) и температурой воздуха. Показано, что положительные связи более тесные в зимнее время с индексами АО, NAO, чем в летнее время. С индексом SCAND в зимнее время устанавливается достаточно высокая отрицательная корреляция ($r=-0,7$), а с индексом EAWR в летний период (коэффициент корреляции достигает значения $-0,6$).

Ключевые слова: температура воздуха, атмосферные осадки, упругость водяного пара, относительная влажность, тренд, корреляция.

DOI: 10.35634/2412-9518-2021-31-1-65-75

Метеорологические наблюдения и исследования на территории Среднего Поволжья и Предуралья берут свои истоки с начала XIX в. Так, в отчете за 1804 г. по Казанскому учебному округу отмечалось, что «учитель Пермского училища Мензуховский с 1802 г., а Соликамского училища Попов с 1804 г. делают метеорологические наблюдения» [1]. Наблюдения стали систематическими с момента открытия в январе 1812 г. Метеорологической обсерватории при Казанском университете, которому было поручено осуществлять методическое руководство метеонаблюдениями в Казанском учебном округе. Впоследствии в своих фундаментальных монографиях по климату России выдающиеся русские климатологи XIX в. К.С. Веселовский (1857г.), Г.И. Вильд (1881г.), А.И. Воейков (1884 г.) использовали результаты метеонаблюдений Метеорологической обсерватории Казанского университета. Данные о температуре воздуха в этой обсерватории сохранились с 1828 г., что позволяет изучать региональные климатические изменения почти на протяжении 200 лет. Следует отметить, что одной из первых фундаментальных монографий по климату Среднего Поволжья была книга профессора Казанского университета Н.В. Колобова [2]. В дальнейшем его ученики не раз обращались к изучению регионального климата, что нашло свое отражение в многочисленных монографиях и научных статьях [3-7]. В данной статье главное внимание уделено анализу изменчивости ряда климатических показателей на территории Приволжского федерального округа (ПФО) в период 1966–2018 гг., последние десятилетия которого, начиная с 1970-х гг., приходятся на фазу активного потепления климата.

Материалы и методы исследований

Материалами для исследования послужили данные метеорологических наблюдений 20 метеорологических станций, расположенных на территории ПФО в период 1966–2018 гг. из фонда ВНИ-ИГМИ-МЦД. Индексы атмосферной циркуляции NAO, АО, SCAND, EAWR за этот же период брались с сайта NOAA Earth System Research Laboratory's Physical Sciences Division (PSD) (URL: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/>).

Результаты многолетних наблюдений за температурой и влажностью атмосферного воздуха, атмосферными осадками подвергались статистической обработке, что позволило найти средние величины, средние квадратические отклонения σ (СКО), линейные тренды температуры и осадков. Связь между температурой воздуха отдельных метеорологических станций и индексами атмосферной циркуляции определялась методами корреляционного анализа.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты 18-05-00721, 18-45-160006, 20-55-00014).

Результаты и их обсуждение

Основной характеристикой термического режима той или иной местности, служат средние месячные и средние годовые температуры воздуха (СГТВ) [8]. Территория ПФО характеризуется умеренно континентальным климатом с теплым летом и умеренно холодной зимой, где проявляется ещё значительное влияние Северной Атлантики, обеспечивающей регион теплом и осадками [5]. Как видно из рис. 1, значения СГТВ уменьшаются с юго-запада на северо-восток от 6,5 °С до 0,5 °С, при этом в центральной и северной части округа изотермы направлены с северо-запада на юго-восток.

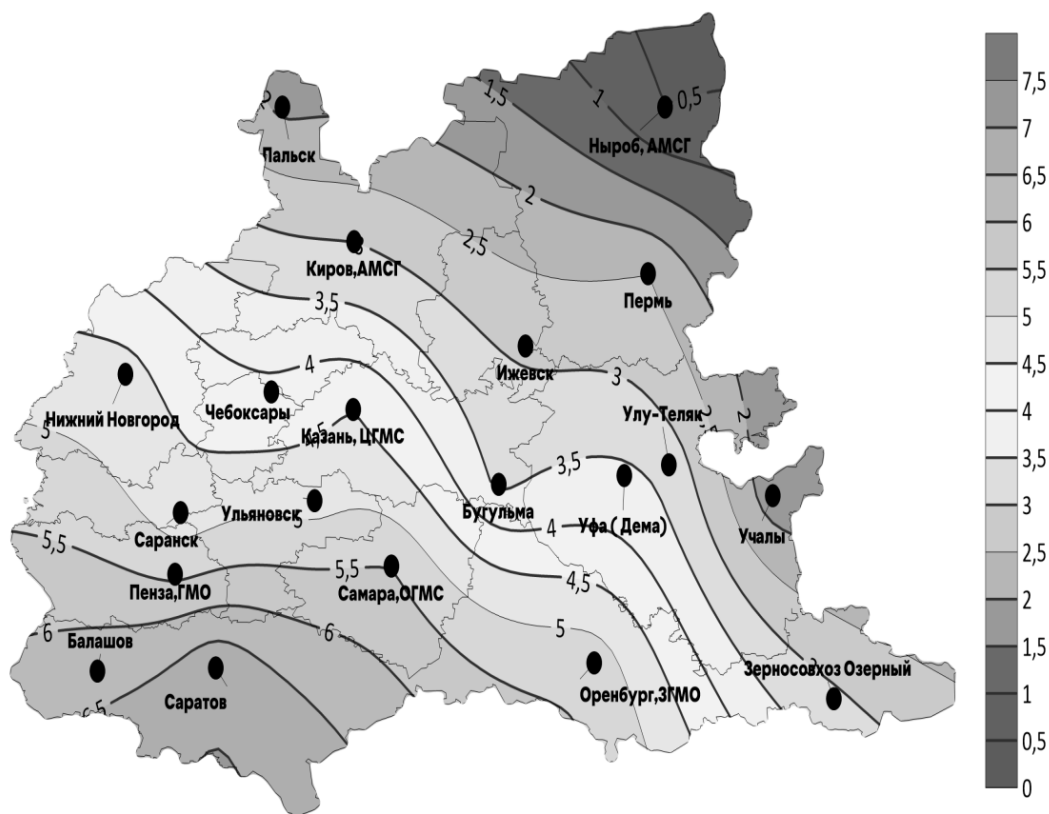


Рис. 1. Среднее многолетнее (1966–2018 гг.) значение годовой температуры воздуха, °С

Наиболее суровые погодные условия формируются на северо-востоке Пермского края и в Башкирском Предуралье. Согласно [9], распределение температуры воздуха (ТВ) зимой в условиях отрицательного радиационного баланса поверхности складывается под влиянием адвекции и радиационного охлаждения, что подтверждается данными табл. 1. В январе – самом холодном месяце года – средняя многолетняя температура колеблется по территории от -16,3 °С (станция Нырб, северо-восток) до -8,8 °С (станция Саратов, юго-запад). Перепады температур между западом и востоком оценивается в 4–6 °С. На всех станциях ПФО хорошо проявляется годовой ход ТВ. Самым теплым месяцем является июль, в котором происходит повышение ТВ с северо-востока от 17,1 °С (станция Нырб) на юго-запад и юго-восток до 22,5 °С (станции Саратов; Оренбург, Зональная гидрометеорологическая обсерватория (ЗГМО)). Летние перепады температуры по территории региона менее значительны, чем зимние. Изотермы в июле принимают квазизональный характер в условиях максимального солнечного нагрева.

Разница температур между июлем и январем характеризует степень континентальности климата. Согласно расчетам, годовая амплитуда температуры воздуха (ТВ) минимальна на западе (29,3 °С) и максимальна на юго-востоке в Оренбуржье (37,5 °С). Величина σ также имеет хорошо выраженный годовой ход. Она максимальна в январе на северо-западе (станция Лальск, $\sigma = 3,10$ °С) и минимальна на юге (станция Саратов, $\sigma = 1,87$ °С).

Таблица 1

Средние месячные и годовые значения температуры воздуха, °С

Станции	Месяцы												Год	Ам- пли- туда
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII		
Лальск	-14,3	-12,1	-5	2,5	9,6	15	17,6	14,4	8,5	1,8	-5,2	-10,8	1,9	31,9
Ныроб, АМСГ	-16,3	-14	-6	1,2	8,2	14,5	17,1	13,5	7,8	0,5	-7,4	-13,5	0,5	33,4
Киров, АМСГ	-13	-11,2	-4,2	4	11,5	16,3	18,7	15,8	9,7	2,3	-4,6	-10,1	3	31,7
Пермь	-13,7	-11,9	-4,4	3,7	10,9	16,1	18,3	15,4	9,6	2,3	-5,4	-11,2	2,5	32
Ижевск	-13,5	-12,1	-5	4	12,1	16,8	18,8	16,2	10,2	2,6	-4,7	-10,7	2,9	32,3
Нижний Новгород, мыза	-10,1	-8,9	-2,7	6	13,3	17,1	19,2	17	11,1	4,1	-2,6	-7,6	4,7	29,3
Чебокса- ры	-11,4	-10,4	-4,3	5	13,2	17,2	19,5	17,2	11,1	3,8	-3,3	-8,8	4,1	30,9
Казань, ЦГМС	-11,6	-10,6	-4	5,5	13,7	17,9	20,1	17,9	11,7	4,2	-3	-8,7	4,5	31,7
Саранск	-10,3	-9,9	-4,1	6	14	17,5	19,6	17,8	11,8	4,4	-2,5	-7,8	4,7	29,9
Ульяновск	-10,6	-10,7	-4,3	6,1	14,1	18,2	20,1	18	12,1	4,5	-2,7	-8,1	4,8	30,8
Бугульма	-12,8	-11,8	-5,3	4,7	13	17,1	18,9	16,9	11	3,1	-4,3	-10,1	3,4	31,7
Уфа, Дема	-13,6	-12,5	-5,1	5,5	13,5	17,9	19,6	17,3	11,3	3,9	-4	-10,8	3,6	33,2
Улу-Теляк	-13,5	-11,9	-4,5	5,4	12,8	17,2	19	16,5	10,8	3,7	-4,2	-11,1	3,3	32,5
Учалы	-14,6	-13,3	-6,6	3,5	11	15,7	17,2	15,1	9,3	1,9	-6,1	-12,2	1,7	31,8
Пенза, ГМО	-10	-9,6	-3,5	7	14,7	18,3	20,2	18,5	12,4	5,1	-1,9	-7,3	5,4	30,2
Самара, ОГМС	-11,1	-10,3	-3,6	7,3	15,4	19,4	21,4	19,5	13,3	5,3	-2,2	-8,3	5,5	32,5
Балашов	-8,9	-8,5	-2,7	8	15,5	19,1	21	19,7	13,4	5,9	-1	-6,3	6,3	29,9
Саратов	-8,8	-8,6	-2,4	8,6	16,1	20,4	22,5	20,7	14,3	6,6	-0,6	-6,4	6,9	31,3
Оренбург, ЗГМО	-13	-12,4	-5,2	7,5	15,9	20,5	22,5	20,6	14	5,3	-2,9	-9,7	5,3	35,5
Зернов- хоз Озер- ный	-16,2	-15,4	-8,3	5,2	14,2	19,7	21,3	19,2	12,5	3,6	-5,3	-12,8	3,1	37,5
Среднее	-12,4	-11,3	-4,6	5,3	13,1	17,6	19,6	17,4	11,3	3,7	-3,7	-9,6	3,9	32,0
Минимум	-16,3	-15,4	-8,3	1,2	8,2	14,5	17,1	13,5	7,8	0,5	-7,4	-13,5	0,5	29,3
Максимум	-8,8	-8,5	-2,4	8,6	16,1	20,5	22,5	20,7	14,3	6,6	-0,6	-6,3	6,9	37,5

Как известно, начиная с 1970-х гг., происходит глобальное потепление климата, которое находит свой отклик и в регионах. При этом отмечается, что в России, и особенно в Арктике, потепление происходит более интенсивно, чем в других регионах Земли [10]. Для оценки тенденции изменения климата в регионе строились линейные тренды ТВ по данным 20 метеостанций в период 1966–2018 гг. Анализ расчетов показал, что в зимний период отмечается наибольшая скорость потепления. Так, в январе значения коэффициента наклона линейного тренда (КНЛТ) меняются по территории региона в пределах 0,53 – 1,25 °С/10 лет, а в летний период темпы потепления значительно ниже (КНЛТ ~ 0,09 ÷ 0,56 °С/10 лет). В целом по всему региону наблюдается повышение ТВ и по годовым значениям КНЛТ (0,27 – 0,51 °С/10 лет). При этом СГТВ растет быстрее на западе округа, чем на востоке.

Рассмотрим распределение атмосферных осадков по территории ПФО в период 1966 – 2018 гг. Как известно, они в основном определяются циклонической активностью, характером рельефа местности, наличием водоемов, крупных лесных массивов и т.п. Как видно из табл. 2, в среднем по ПФО годовая сумма осадков, осредненная за 53 года, составляет 528 мм, наибольшее их количество (655

мм) отмечается на севере региона, а наименьшее на юге и юго-востоке (274 мм). На востоке ПФО на распределении осадков сказывается влияние Уральских гор, так на станции Улу-Теляк (республика Башкортостан) годовая сумма осадков достигает 707 мм. Годовой ход осадков хорошо выражен на большей части ПФО за исключением юга и юго-востока. Их максимум фиксируется в летнее время и минимум в период февраль – март. При этом, как видно из табл. 2, на северо-востоке округа в июле выпадает 79 мм осадков (станция Нырб), а на юго-востоке всего лишь 39 мм (станция Оренбург).

Таблица 2

Средние месячные и годовые значения сумм атмосферных осадков, мм

Станции	Месяцы												Год	Амплитуда
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII		
Лальск	40	32	32	36	47	67	77	68	56	60	53	48	616	45
Нырб, АМСГ	37	27	29	41	54	78	79	74	67	69	52	41	648	52
Киров, АМСГ	45	32	34	37	52	71	79	69	65	62	57	52	655	47
Пермь	42	29	28	37	53	80	76	75	67	61	53	44	645	52
Ижевск	33	25	26	31	40	63	66	61	53	52	43	34	527	41
Нижний Нов- город, мыза	46	37	33	39	44	71	75	64	62	64	55	57	647	42
Чебоксары	31	24	25	32	38	68	69	57	60	54	43	38	539	45
Казань, ЦГМС	40	33	31	33	35	60	67	55	50	52	45	45	546	36
Саранск	34	25	26	30	34	51	58	52	50	44	39	38	481	33
Ульяновск	33	23	23	32	39	62	66	48	55	40	32	33	486	43
Бугульма	26	22	22	31	41	69	66	51	55	53	40	32	508	47
Уфа, Дема	43	36	32	35	44	60	53	53	49	59	52	49	565	28
Улу-Теляк	51	40	38	40	51	72	76	64	67	79	69	60	707	41
Учалы	18	16	21	30	40	63	82	57	31	31	22	19	430	66
Пенза, ГМО	39	32	33	35	39	61	61	51	53	48	47	42	541	29
Самара, ОГМС	50	39	35	40	34	53	54	46	46	52	52	51	552	20
Балашов	44	33	31	32	37	62	60	40	47	42	46	47	521	31
Саратов	35	28	27	25	32	38	40	32	37	30	37	34	395	15
Оренбург, ЗГМО	28	23	24	26	29	37	39	27	31	35	32	31	362	16
Зерносовхоз Озерный	15	13	18	21	32	29	40	24	18	26	20	18	274	27
Среднее	37	28	28	33	41	61	64	53	51	51	44	41	532	38
Минимум	15	13	18	21	29	29	39	24	18	26	20	18	274	15
Максимум	51	40	38	41	54	80	82	75	67	79	69	60	707	66

Расчет линейных трендов годовых сумм осадков для 53-летнего периода показал, что на большей части территории ПФО наблюдается их рост с неравномерной скоростью от 2,2 мм/10лет (станция Пенза) до 30,6 мм/10 лет (станция Нырб). Наиболее заметно осадки возрастают на северо-западе округа, а на юго-востоке по данным станции Оренбург происходит даже их слабое уменьшение (КНЛТ = -2,9 мм/10 лет). Данные табл. 3 позволяют проследить за скоростью изменения осадков как по месяцам, так и по территории. В частности, можно отметить, что увеличение сумм осадков в годовом ходе происходит в основном в весеннее и раннее летнее время, а в июле на большей части территории округа их количество уменьшается.

Одной из характеристик состояния атмосферного воздуха является его влажность. Наиболее употребительными метеорологическими характеристиками влажности воздуха являются парциальное давление (упругость) водяного пара e (гПа) и относительная влажность воздуха f (%) [5]. Содержание водяного пара в атмосфере зависит от температуры воздуха, состояния подстилающей поверхности, физико-географических условий местности, времени суток и года, циркуляции атмосферы и ряда других факторов [11]. В работе рассматривается поведение упругости водяного пара и относительной влажности воздуха в период 1966 – 2018 гг. Согласно [4], изменения упругости водяного пара следуют за изменениями температуры воздуха, которая регулирует скорость испарения как одного из основных источников поступления влаги в атмосферу.

Таблица 3

Средние месячные и годовые значения трендов количества осадков, мм/10лет

Станции	Месяцы												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Лальск	1	2,1	1,6	-3,6	-0,4	9,5	3,4	5,3	1,1	-1	-1,6	1,2	18,7
Ныроб, АМСГ	2,2	2	2,9	1,9	1	7,9	0,3	-0,1	0,9	5,3	2,2	4,4	30,6
Киров, АМСГ	3,4	1,3	3,5	0,4	-1,9	5,8	-0,8	1,5	-2,2	1,5	-0,7	4,5	16,3
Пермь	0,4	0,1	2,8	2,1	0,2	6,7	-0,2	3,6	0,1	1,3	1,8	3,6	22,4
Ижевск	-1,1	-1,3	1,2	0,1	2,6	3,2	-0,6	0,6	0,5	-0,6	-1,9	1,4	3,9
Нижний Нов- город, мыза	2	1,5	4	1,5	-3,2	3,7	0,8	1	2,3	-0,5	-1,7	5,5	16,8
Чебоксары	1	-0,5	2,2	-1,5	0,1	2,4	3,2	0,7	1,9	-1,1	-0,2	1,9	10
Казань, ЦГМС	5,1	1,8	4,4	0	-0,1	-3,9	-1	-1,2	0,9	0,4	0,7	6,6	13,8
Саранск	1,4	0,6	0,8	-0,9	-1,2	-2,6	-6	-0,5	-0,8	-2,3	-2,5	1,4	-12,7
Ульяновск	3,7	1	3,1	2,1	2,7	0,6	-0,2	-0,2	3,4	0	0,8	3,8	20,9
Бугульма	-1,3	0,5	2,2	2,9	3,2	0,9	-5,3	0,8	-1,9	-1,4	0,5	-0,4	-0,8
Уфа, Дема	0,9	0,3	2,9	0,3	3,8	2	-3,9	-0,1	1,1	-1	-0,2	2	8,1
Улу-Теляк	0,8	0,3	3	0,7	1,8	3,8	-5,1	1,2	0,9	0,1	-0,7	1,9	8,7
Учалы	-0,4	0,1	2,6	2,8	-0,1	-3,3	-6,4	4,4	0,9	2,1	-0,2	-0,4	5,8
Пенза, ГМО	-0,3	1,1	1,7	2,2	1,8	-1,6	-2,5	-1,6	1	-1,8	-0,2	0,2	2,2
Самара, ОГМС	3,5	2	3,3	2	1,1	-2,4	-3,5	-2,3	3,1	0,3	-0,8	2,5	8,9
Балашов	1,3	2,7	2,8	-0,7	4,6	-0,8	1,5	-5,2	2	0,4	-1,5	-0,1	7
Саратов	0,6	2,3	2,5	3,5	1,1	2,9	-0,6	-5,4	4,4	1,5	-1,7	0,3	12,2
Оренбург, ЗГМО	0	0,3	2,2	1,5	1,3	-3,1	0,5	-1,3	-2,1	-1,3	-0,1	-0,6	-2,9
Зерносовхоз Озерный	-1,5	-0,1	2,3	1,3	1,4	-2,3	1,2	0,1	-1	-0,3	0,5	2,1	3,8
Среднее	1	1	3	1	1	1	-1	0	1	0	0	2	10
Минимум	-1,5	-1,3	0,8	-3,6	-3,2	-3,9	-6,4	-5,4	-2,2	-2,3	-2,5	-0,6	-12,7
Максимум	5,1	2,7	4,4	3,5	4,6	9,5	3,4	5,3	4,4	5,3	2,2	6,6	30,6

В табл. 4 представлены средние месячные и годовые значения упругости водяного пара (гПа) на территории ПФО за 1966–2018 гг. Как видно из табл. 4, годовой ход величины e следует за годовым ходом температуры воздуха (табл. 1). На всех 20 станциях годовой максимум упругости водяного пара отмечается в июле, а годовой минимум в январе. При этом в июле значение e растет с севера на юг от 10,3 гПа (станция Ныроб) до 11,3 гПа (станция Саратов), а в январе от 1,3 гПа (станция Ныроб) до 3,1 гПа (станция Балашов). В целом отклонения средних месячных значений упругости водя-

ного пара на отдельных станциях от осреднённых значений по территории всего округа не столь велики, более выражен годовой ход e . Так, амплитуда годовых колебаний величины e колеблется от 8,3 гПа (станция Лальск) до 10,2 гПа (станция Саратов), составляя в среднем по округу величину 9 гПа. Известно, что вблизи крупных рек, водоемов, в низких местах из-за роста испарения величина упругости водяного пара возрастает и, наоборот, на возвышенных местах понижается, что подтверждается данными табл. 4. Так, в июле на станции Казань величина $e = 11,5$ гПа, а на станции Бугульма, находящейся в возвышенной местности, $e = 10,9$ гПа.

Величина среднего квадратического отклонения характеризует межгодовую изменчивость упругости водяного пара. Её значения достигают максимума 6,7 гПа в июле на востоке региона (станция Улу-Теляк), а минимальные значения отмечаются в январе 0,5 гПа (станция Учалы). Следует отметить, что для температуры воздуха, наоборот, максимум неустойчивости возникает зимой, а летом климатические условия более стабильные. В отдельные годы средняя месячная величина упругости водяного пара заметно отличается от среднего многолетнего показателя. Так, в июле 2000 г. на станции Балашов зафиксировано максимальное значение $e = 18,9$ гПа (отклонение от многолетней нормы 6,8 гПа), а минимальное значение 0,5 гПа отмечено в январе на станции Улу-Теляк (отрицательная аномалия 1,7 гПа).

Таблица 4

Средние месячные и годовые значения упругости водяного пара, гПа

Станции	Месяцы												Год	Амплитуда
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII		
Лальск	2,3	2,4	3,5	4,8	5,9	8,6	10,6	9,4	7,4	5,9	4,1	2,9	5,6	8,3
Ныроб, АМСГ	1,9	2	3,2	4,5	5,4	8,1	10,3	9,1	7,1	5,5	3,5	2,4	5,3	8,4
Киров, АМСГ	2,3	2,4	3,5	5	6	9	10,9	9,7	7,5	5,8	4,1	2,9	5,8	8,6
Пермь	2,1	2,2	3,3	4,8	6	8,9	10,9	9,6	7,4	5,6	3,8	2,6	5,6	8,8
Ижевск	2,2	2,3	3,4	5,3	6,3	9,3	11,1	9,8	7,4	5,8	4	2,7	5,8	8,9
Нижний Новгород, мыза	2,8	2,9	3,8	5,3	6,6	9,6	11,2	10,1	7,7	6,1	4,6	3,4	6,2	8,4
Чебоксары	2,6	2,6	3,6	5,3	6,3	9,3	11	9,7	7,4	6	4,4	3,1	6	8,4
Казань, ЦГМС	2,5	2,5	3,7	5,5	6,5	9,6	11,5	10	7,5	5,9	4,4	3,1	6	9
Саранск	2,8	2,7	3,8	5,6	6,6	9,4	11,1	10	7,4	6,1	4,6	3,3	6,2	8,4
Ульяновск	2,7	2,6	3,8	5,6	6,7	9,8	11,7	10,5	8	6	4,5	3,2	6,3	9,1
Бугульма	2,3	2,3	3,4	5,2	6	9,1	10,9	9,4	7	5,6	4,1	2,8	5,7	8,6
Уфа, Дема	2,2	2,2	3,4	5,5	6,6	9,8	11,7	10,2	7,5	5,7	4	2,7	6	9,5
Улу-Теляк	2,2	2,2	3,4	5,3	6,9	10,2	12	10,6	7,7	5,8	4	2,6	6,1	9,8
Учалы	1,8	1,9	2,9	4,7	5,9	8,6	10,3	9	6,7	5	3,3	2,2	5,2	8,5
Пенза, ГМО	2,9	2,8	4	5,9	7,4	10,3	12,3	11,1	8,3	6,3	4,8	3,4	6,6	9,5
Самара, ОГМС	2,6	2,6	3,8	5,6	6,9	10,1	12,2	10,9	8,1	6,1	4,6	3,2	6,4	9,6
Балашов	3,1	3,1	4,2	6,2	7,7	10,4	12,1	10,7	8,2	6,4	5,1	3,8	6,8	9
Саратов	3	2,9	4,2	6,2	8,1	11,3	13,1	11,8	8,9	6,7	5,1	3,5	7	10,2
Оренбург, ЗГМО	2,2	2,2	3,6	5,8	7,4	10,4	12,2	10,6	7,8	5,9	4,3	2,8	6,3	10
Зерносовхоз Озерный	1,8	1,8	3,1	5,6	7,2	9,6	11,4	9,9	7,2	5,3	3,8	2,3	5,8	9,6
Среднее	2,4	2,4	3,6	5,4	6,6	9,6	11,4	10,1	7,6	5,9	4,3	2,9	6,0	9,0
Минимум	1,8	1,8	2,9	4,5	5,4	8,1	10,3	9	6,7	5	3,3	2,2	5,2	8,3
Максимум	3,1	3,1	4,2	6,2	8,1	11,3	13,1	11,8	8,9	6,7	5,1	3,8	7	10,2

Относительная влажность воздуха представляет собой процентное соотношение парциального давления водяного пара к давлению насыщения при той же температуре воздуха [8]. Годовой ход средних месячных величин относительной влажности, согласно [11], почти противоположен годовому ходу температуры воздуха.

Как видно из данных табл. 5, на территории ПФО хорошо проявляется годовой ход относительной влажности f : в ноябре, декабре достигаются максимальные значения относительной влажности (в холодный период октябрь – март отмечаются наибольшие значения), в теплое время года апрель – август значения f заметно ниже, особенно в мае (в большинстве случаев в ноябре фиксируются максимальные значения, а в мае – минимальные). Годовая амплитуда колебаний f происходит в диапазоне от 18 % (станция Улу-Теляк) до 29 % (станция Оренбург). И если в ноябре значения f варьируются от 78 % (станция Учалы) до 88 % (станция Лальск), то в мае от 52% (станция Оренбург) до 65 % (станция Лальск). Колебания f обусловлены географическим расположением станций. При этом величина среднего квадратического отклонения относительной влажности варьируется в мае в более значительных пределах (4,4–8,0 %), чем в ноябре (2,4–5,4 %). Годовые значения по территории ПФО меняются в незначительных пределах от 68 % (станция Оренбург) до 79 % (станция Лальск). На севере округа значения f несколько выше, чем на юге. Осредненные по территории округа величины относительной влажности имеют амплитуду годовых колебаний 27 % (в мае $f = 58$ %, а в ноябре 85 %).

Таблица 5

Средние месячные и годовые значения относительной влажности воздуха, %

Станции	Месяцы												Год	Амплитуда
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII		
Лальск	84	81	76	69	65	69	75	80	84	86	88	86	79	22
Ныроб, АМСГ	83	81	75	68	63	68	74	80	84	86	87	85	78	24
Киров, АМСГ	84	81	75	67	59	66	71	75	81	84	87	86	76	28
Пермь	82	79	72	66	60	67	72	76	80	82	84	83	75	24
Ижевск	83	80	77	70	60	67	71	74	78	82	86	84	76	26
Нижний Новгород, мыза	85	80	74	65	60	67	70	73	78	82	87	87	76	27
Чебоксары	84	81	77	68	59	66	69	70	77	82	86	86	75	28
Казань, ЦГМС	83	80	77	68	57	64	67	69	75	79	85	84	74	28
Саранск	84	81	79	70	60	68	70	70	75	81	86	85	76	26
Ульяновск	84	82	80	68	58	66	68	69	74	79	85	85	75	27
Бугульма	83	81	78	68	55	64	69	69	72	79	86	84	74	31
Уфа, Дема	81	79	77	68	59	67	71	73	75	78	83	83	74	24
Улу-Теляк	79	76	73	66	64	72	75	78	79	79	82	81	75	18
Учалы	79	75	73	65	59	66	72	74	73	74	78	79	73	20
Пенза, ГМО	84	82	80	68	59	66	68	68	73	79	86	85	75	27
Самара, ОГМС	83	80	78	63	52	60	63	63	68	75	85	85	71	33
Балашов	85	83	81	67	58	63	65	62	68	77	86	87	74	29
Саратов	81	79	78	64	54	58	59	59	65	74	83	83	70	29
Оренбург, ЗГМО	79	78	80	64	52	55	56	55	59	71	81	81	68	30
Зерносовхоз Озерный	81	81	84	70	56	54	56	55	59	71	83	83	69	31
Среднее	82	80	77	67	58	65	68	69	74	79	85	84	74	27
Минимум	79	75	72	63	52	54	56	55	59	71	78	79	68	18
Максимум	85	83	84	70	65	72	75	80	84	86	88	87	79	33

В табл. 6 представлены максимальные и минимальные осредненные значения f , наблюдавшиеся на отдельных станциях в период 1966–2018 гг.

Как видно из табл. 6, разница между экстремальными величинами относительной влажности весьма существенна. Следует отметить, что минимальные величины отмечаются в весенне-летний период в условиях засух (1972, 2010 гг.), а максимальные значения – в холодный период.

Таблица 6

Максимальные и минимальные осредненные значения относительной влажности воздуха, наблюдавшиеся на отдельных станциях в период 1966 – 2018 гг.

Станция	Величины относительной влажности	
	Максимальные (месяц, год)	Минимальные (месяц, год)
Чебоксары	93 (XI, 1971; XII, 1972)	42 (VII, 2010; VIII, 1972)
Саранск	92 (I, 2007; XII, 1985)	35 (VIII, 1972)
Учалы	91 (I, 1983)	40 (V, 1999)
Самара, ОГМС	93 (XII, 1977)	37 (VIII, 1972)
Пенза, ГМО	96 (I, 1999)	36 (VIII, 1972)
Балашов	96 (III, 1979)	30 (VIII, 1972)
Зерносовхоз Озерный	94 (XII, 1982)	34 (VI, 2012)

Таблица 7

Среднее многолетнее число дней с относительной влажностью не более 30 %

Станции	Месяцы												Год	Амплитуда
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII		
Лальск	0	0	1	5	9	4	1	0	0	0	0	0	21	9
Ныроб, АМСГ	0	0	1	3	9	5	1	0	0	0	0	0	19	9
Киров, АМСГ	0	0	0	4	10	3	1	1	0	0	0	0	19	10
Пермь	0	0	2	5	10	4	2	1	1	0	0	0	26	10
Ижевск	0	0	0	3	11	4	2	1	1	0	0	0	22	11
Нижний Новгород, мыза	0	0	1	5	8	2	1	1	0	0	0	0	17	8
Чебоксары	0	0	0	3	8	2	2	2	1	0	0	0	16	8
Казань, ЦГМС	0	0	0	3	10	4	2	2	1	0	0	0	23	10
Саранск	0	0	0	3	10	3	2	3	2	1	0	0	22	10
Ульяновск	0	0	0	6	12	5	3	3	2	1	0	0	26	12
Бугульма	0	0	0	4	14	4	2	3	3	1	0	0	33	14
Уфа, Дема	0	0	1	4	12	5	2	3	3	1	0	0	30	12
Улу-Теляк	0	1	3	7	11	3	2	2	2	2	0	0	32	11
Учалы	0	1	2	5	10	4	2	2	3	2	1	0	31	10
Пенза, ГМО	0	0	0	5	10	4	3	4	3	1	0	0	30	10
Самара, ОГМС	0	0	0	7	14	6	4	5	4	1	0	0	42	14
Балашов	0	0	0	6	11	5	4	7	4	1	0	0	39	11
Саратов	0	0	0	6	11	6	5	6	4	1	0	0	44	11
Оренбург, ЗГМО	0	0	0	8	17	12	12	14	10	4	0	0	79	17
Зерносовхоз Озерный	0	0	0	6	15	15	13	15	11	4	0	0	79	15
Среднее	0	0	1	5	11	5	3	4	3	1	0	0	33	11
Минимум	0	0	0	3	8	2	1	0	0	0	0	0	16	8
Максимум	0	1	3	8	17	15	13	15	11	4	1	0	79	17

Важными показателями режима влажности воздуха являются числа дней с относительной влажностью не более 30 % («сухие дни») и не менее 80 % («влажные дни») [4]. Согласно данным табл. 7, наибольшее среднее многолетнее число сухих дней на территории ПФО наблюдается в мае. Их количество колеблется от 8 дней (станции Чебоксары, Нижний Новгород) до 17 дней (станция Оренбург), то есть число сухих дней растет с северо-запада на юго-восток ПФО. Наибольшее число влажных дней наблюдается в ноябре, декабре и в целом в холодный период года. При этом их наибольшее количество наблюдается в декабре в Нижнем Новгороде – 26 дней, а наименьшее в Оренбурге – 18 дней, то есть убывание идет с северо-запада на юго-восток. Наименьшее число влажных дней отмечается в период апрель – сентябрь. Так, в июне их число меняется по территории ПФО в небольших пределах: от 2 дней (станция Саратов) до 7 дней (станция Ныроб). Проявляется хорошо выраженная зональность в числе влажных дней. Распределение СКО числа влажных дней подобно распределению СКО температуры воздуха: хорошо выражен сезонный ход – в зимние месяцы СКО максимально (например, в декабре для станции Саратов СКО = 8 дней), а летом минимально (станция Зерновхоз Озерный в июне СКО = 1,6 дня, число влажных дней всего 2).

Как известно, временные ряды индексов атмосферной циркуляции NAO, AO, SCAND, EAWR характеризуют колебания основных барических центров в Атлантико-Европейском секторе, и оказывают влияние на погодно-климатические условия Европейской части России [12]. Для оценки воздействия указанных индексов на температурный режим ПФО в период 1966 – 2018 гг. рассчитывались коэффициенты корреляции между среднемесячными значениями индексов и температуры воздуха отдельных станций. Анализ построенных карт показал, что в декабре – марте устанавливаются более тесные положительные связи между циркуляцией атмосферы (индексы NAO, AO) и термическим режимом, чем в остальные месяцы (коэффициенты корреляции значимые и достигают значений 0,46 – 0,55). Это свидетельствует о влиянии Северной Атлантики на колебания зимней температуры воздуха в регионе. В летний период в условиях максимума прихода солнечной радиации влияние Атлантики не столь существенно и коэффициенты корреляции становятся незначимыми. Индекс Восточная Атлантика – Западная Россия (EAWR) с основными центрами действия атмосферы в Восточной Атлантике и на Европейской территории России наибольшее влияние оказывает на колебания термического режима региона в июле (коэффициент корреляции $r = -0,6$), что приводит к понижению температуры. И, наконец, Скандинавский индекс (SCAND), характеризующийся основным центром давления над Скандинавией, проявляет себя достаточно активно в регионе в январе, феврале и марте, особенно на юго-востоке, где r достигает $-0,7$. В условиях Скандинавского блокирующего антициклона в ПФО устанавливается холодная погода, что подтверждается наличием значимой отрицательной связи между колебаниями температуры и индекса SCAND.

Выводы

В результате статистической обработки и анализа данных метеорологических наблюдений на 20 метеостанциях, расположенных на территории ПФО, в период 1966–2018 гг. выявлены следующие особенности регионального изменения климата:

1. Согласно данным тренд-анализа, наибольшее потепление климата в регионе происходит в зимний период (значения КНЛТ на территории округа варьируются в пределах 0,53–1,25 °C/10 лет), в летний период темпы потепления заметно ниже (в июле значения КНЛТ >0 и меняются в пределах 0,09–0,56 °C/10 лет).

2. Распределение линейных трендов годовых сумм осадков по территории ПФО неравномерно: осадки возрастают на северо-западе и северо-востоке округа (КНЛТ достигает 30 мм/10 лет) и слабо растут на юго-востоке. Распределение КНЛТ осадков по месяцам имеет пятнистый характер как по величине, так и по знаку.

3. Получено территориальное распределение характеристик влажности атмосферного воздуха, зависящее от сезона, физико-географических условий местоположения станций. Получена статистика распределения «сухих» и «влажных» дней по месяцам года, выявлены станции, где наблюдались экстремальные значения относительной влажности в определенные годы и месяцы.

4. С помощью корреляционного анализа получена оценка влияния циркуляционных мод на термический режим региона. Показано, что индексы NAO, AO, SCAND наиболее информативны в зимний период, а индекс EAWR в летний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Переведенцев Ю.П. Метеорология в Казанском университете: становление, развитие, основные достижения. Казань: Изд-во Казан.ун-та, 2001. 128 с.
2. Колобов Н.В. Климат Среднего Поволжья. Казань: Изд-во Казан.ун-та, 1968. 250 с.
3. Переведенцев Ю.П., Исмагилов Н.В., Шерстюков Б.Г., Наумов Э.П., Шанталинский К.М., Гоголь Ф.В. Современные изменения климата Республики Татарстан // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Серия: География. Геоэкология. 2008. №2. С. 13-23.
4. Изменения климатических условий и ресурсов Среднего Поволжья / Ю.П. Переведенцев, М.А. Верещагин, К.М. Шанталинский, Э.П. Наумов, Ю.Г. Хабутдинов [и др.]; науч. ред. Э.П. Наумов. Казань: Центр инновационных технологий, 2011. 295 с.
5. Переведенцев Ю.П., Соколов В.В., Наумов Э.П. Климат и окружающая среда Приволжского федерального округа. Казань: Изд-во Казан.ун-та, 2013. 274 с.
6. Переведенцев Ю.П., Шерстюков Б.Г., Шанталинский К.М., Гурьянов В.В., Аухадеев Т.Р. Климатические изменения в Приволжском федеральном округе в XIX- XXI веках // Метеорология и гидрология. 2020. № 6. С. 36-45.
7. Шерстюков Б.Г., Переведенцев Ю.П., Шерстюков А.Б. О связи многолетних колебаний температуры воздуха в Приволжском федеральном округе с циклическими космическими воздействиями на Землю // Вестн. Удм. ун-та. Сер. Биология. Науки о Земле. 2020. Т. 30, вып. 3. С. 307-316.
8. Матвеев Л.Т. Физика атмосферы. СПб.: Гидрометеиздат, 2000. 778 с.
9. Жаков С.И. Общие закономерности режима тепла и увлажнения на территории СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 230 с.
10. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата России: температура воздуха. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2012. 194 с.
11. Климат России / под ред. Н.В. Кобышевой. СПб.: Гидрометеиздат, 2001. 655 с.
12. Переведенцев Ю.П., Васильев А.А., Шанталинский К.М., Гурьянов В.В. Климатические изменения приземных полей атмосферного давления и температуры воздуха в умеренных широтах Северного полушария // Метеорология и гидрология. 2017. №7. С. 81-93.

Поступила в редакцию 16.02.2021

Переведенцев Юрий Петрович, доктор географических наук, профессор

E-mail: Yuri.Perevedentsev@ksu.ru

Парубова Екатерина Михайловна, аспирант

E-mail: parubovaem@mail.ru

Шанталинский Константин Михайлович, кандидат географических наук, доцент

E-mail: Konstantin.Shantalinsky@ksu.ru

Мягков Максим Александрович, аспирант

E-mail: mamuyagkov@bk.ru

ФГАОУ ВО «Казанский федеральный университет»

420008, Россия, г. Казань, ул. Кремлевская 18

Шерстюков Борис Георгиевич, доктор географических наук,

заведующий лабораторией исследования последствий изменения климата

ФГБУ «Всероссийский НИИ гидрометеорологической информации – Мировой центр данных»

249035, Россия, Калужская обл., г. Обнинск, ул. Королева, 6

E-mail: boris_sher@mail.ru

Yu.P. Perevedentsev, E.M. Parubova, B.G. Sherstyukov, K.M. Shantalinsky, M.A. Myagkov

VARIABILITY OF THE MAIN CLIMATIC INDICATORS IN THE TERRITORY OF THE VOLGA FEDERAL DISTRICT IN THE PERIOD 1966–2018

DOI: 10.35634/2412-9518-2021-31-1-65-75

The spatio-temporal variability of air temperature and humidity, atmospheric precipitation in the Volga Federal District in 1966–2018 is considered. As a result of statistical processing of data from 20 weather stations, a clear warming trend in recent decades and a weak increase in annual precipitation are revealed, except for the south-east of the region. The annual variation of water vapor pressure and relative humidity is considered, statistics of the distribution of "dry" and

"wet" days by stations in different months are carried out. Correlations between individual circulation modes (AO, NAO, SCAND, EAWR) and air temperature are revealed. It is shown that positive relationships are closer in winter with the AO and NAO indices than in summer. A sufficiently high negative correlation is established with the SCAND index in winter ($r = -0,7$), and with the EAWR index in summer (the correlation coefficient reaches a value of $-0,6$).

Keywords: air temperature, atmospheric precipitation, water vapor pressure, relative humidity, trend, correlation.

REFERENCES

1. Perevedentsev Yu.P. *Meteorologiya v Kazanskom universitete: stanovlenie, razvitie, osnovnye dostizheniya* [Meteorology at Kazan University: formation, development, main achievements], Kazan: Kazan. Univ., 2001, 128 p. (in Russ.).
2. Kolobov N.V. *Klimat Srednego Povolzh'ya* [The climate of the Middle Volga region], Kazan: Kazan. Univ., 1968, 250 p. (in Russ.).
3. Perevedentsev Yu.P., Ismagilov N.V., Sherstyukov B.G., Naumov E.P., Shantalinskiy K.M., Gogol' F.V. [Modern climate change in the Republic of Tatarstan], in *Vestn. Voronezh. Gos. Univ. Ser. Geografiya. Geoekologiya*, 2008, no. 2, pp. 13-23 (in Russ.).
4. Perevedentsev Yu.P., Vereshchagin M.A., Shantalinskiy K.M., Naumov E.P., Khabutdinov Yu.G. et al. *Izmeneniya klimaticheskikh usloviy i resursov Srednego Povolzh'ya* [Changes in climatic conditions and resources of the Middle Volga region], Naumov E.P. (ed), Kazan: Tsentr innovatsionnykh tekhnologiy Publ., 2011, 295 p. (in Russ.).
5. Perevedentsev Yu.P., Sokolov V.V., Naumov E.P. *Klimat i okruzhayushchaya sreda Privolzhskogo federal'nogo okruga* [Climate and environment of the Volga Federal District], Kazan: Kazan. Univ., 2013, 274 p. (in Russ.).
6. Perevedentsev Yu.P., Sherstyukov B.G., Shantalinskiy K.M., Gur'yanov V.V., Aukhadeev T.R. [Climate changes in the Volga Federal District in the XIX–XXI centuries], in *Meteorologiya i gidrologiya*, 2020, no.6, pp. 36-45 (in Russ.).
7. Sherstyukov B.G., Perevedentsev Yu.P., Sherstyukov A.B. [On the connection of long-term fluctuations in air temperature in the Volga Federal District with cyclic cosmic effects on Earth], in *Vestn. Udmurt. Univ. Ser. Biol. Nauki o Zemle*, 2020, vol. 30, iss. 3, pp. 307 - 316 (in Russ.).
8. Matveev L.T. *Fizika atmosfery* [Physics of the atmosphere], St. Petersburg: Gidrometeoizdat Publ., 2000, 778 p. (in Russ.).
9. Zhakov S.I. *Obshchie zakonomernosti rezhima tepla i uvlazhneniya na territorii SSSR* [General patterns of the heat and humidification regime in the USSR], Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1982, 230 p. (in Russ.).
10. Gruza G.V., Ran'kova E.Ya. *Nablyudaemye i ozhidaemye izmeneniya klimata Rossii: temperatura vozdukh* [Observed and expected climate change in Russia: air temperature], Obninsk: Vseross. nauch.-issled. Institut Gidrometeorologicheskoy Informatsii – Mirovoy Tsentr Dannya Publ., 2012, 194 p. (in Russ.).
11. *Klimat Rossii* [Climate of Russia], Kobysheva N.V. (ed), St. Petersburg: Gidrometeoizdat Publ., 2001, 655 p. (in Russ.).
12. Perevedentsev Yu.P., Vasil'ev A.A., Shantalinskiy K.M., Gur'yanov V.V. [Climatic changes in surface fields of atmospheric pressure and air temperature in the temperate latitudes of the Northern Hemisphere], in *Meteorologiya i gidrologiya*, 2017, no. 7, pp. 81-93 (in Russ.).

Received 16.02.2021

Perevedentsev Yu.P., Doctor of Geography, Professor

E-mail: Yuri.Perevedentsev@ksu.ru

Parubova E.M., postgraduate student

E-mail: parubovaem@mail.ru

Shantalinsky K.M., Candidate of Geography, Associate Professor

E-mail: Konstantin.Shantalinsky@ksu.ru

Myagkov M.A., postgraduate student

E-mail: mamyagkov@bk.ru

Kazan (Volga) Federal University

Kremlevskaya st., 18, Kazan, Russia, 420008

Sherstyukov B.G., Doctor of Geography, Head of the laboratory for research on the effects of climate change

All-Russian Research Institute for Hydrometeorological Information – The World Data Center

Koroleva st., 6, Obninsk, Kaluga region, Russia, 249035

E-mail: boris_sher@mail.ru