

УДК 551.524(470.4)(045)

*М.А. Мязков***ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК В ТРОПО-СТРАТОСФЕРЕ НА ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРО-ЗАПАДА ПРИВОЛЖСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА**

Рассмотрены пространственно-временные изменения термического режима с пространственным разрешением  $0,25 \times 0,25^\circ$  на территории северо-запада Приволжского федерального округа по данным реанализа ERA5 за период 1979–2018 г. Для изучения высотного распределения температуры воздуха были построены вертикальные профили средних значений, среднего квадратического отклонения и коэффициента наклона линейного тренда температуры на 37 изобарических поверхностях от уровня земли до 47 км (1 гПа), рассчитаны коэффициенты детерминации. Определена степень корреляционных связей между соседними уровнями тропо-стратосферы в поле температуры по сезонам и в целом за год, выявлено её значительное ослабление в районе тропопаузы. Выявлена временная тенденция повышения температуры в нижних слоях тропосферы и её понижение в стратосфере.

*Ключевые слова:* температура воздуха, тропосфера, стратосфера, линейный тренд, вертикальная корреляция, Приволжский федеральный округ.

DOI: 10.35634/2412-9518-2020-30-4-448-456

Проблема изменения климата в XXI в. приобрела международный характер и оказывает существенное влияние на жизнедеятельность человека, состояние животного и растительного мира. Особую обеспокоенность вызывает высокая скорость глобального потепления, наблюдаемая в последние десятилетия. В связи с этим «в декабре 2015 г. были подписаны Парижские соглашения, направленные на ограничение выбросов парниковых газов в атмосферу, чтобы избежать повышения средней глобальной температуры воздуха на  $2^\circ\text{C}$  по сравнению с доиндустриальными уровнями» [1]. Вместе с тем, ввиду неравномерного изменения основных климатических параметров по территории Земли, возникает интерес к региональным исследованиям. Подобного рода исследования активно проводятся в последние годы в Казанском федеральном университете [2–7].

Цель настоящей статьи – рассмотреть высотное распределение температуры воздуха (ТВ) над территорией северо-запада Приволжского федерального округа (СЗ ПФО) в период 1979–2018 гг. с использованием данных реанализа ERA5 и оценить тесноту корреляционных связей между соседними изобарическими поверхностями.

Территории СЗ ПФО включают в себя: Республику Марий Эл, Республику Мордовия, Чувашскую Республику, Нижегородскую и Пензенскую области.

**Материалы и методы исследований**

В качестве исходных данных в настоящей работе использовались среднемесячные данные комплексного реанализа ERA5 с пространственным разрешением  $0,25 \times 0,25^\circ$  (<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels-monthly-means>) о ТВ в период 1979–2018 гг. у земли и на 37 изобарических поверхностях от 1000 до 1 гПа. Информационные сведения об исходном продукте содержатся в [8].

Многолетние ряды исходных данных подвергались статистической обработке – рассчитывались средние величины, средние квадратические отклонения (СКО), коэффициенты наклона линейного тренда (КНЛТ) ТВ, коэффициенты детерминации КНЛТ и вертикальные коэффициенты корреляции между соседними изобарическими поверхностями.

Высотное распределение среднегодовых климатических характеристик на территории СЗ ПФО за исследуемый период представлено на рис. 1.

**Результаты и их обсуждение**

Использование передовых технологий и систем моделирования позволяют анализировать параметры атмосферы от земной поверхности до больших высот. Основное внимание в настоящей работе уделено особенностям термического режима над территорией СЗ ПФО в тропосфере и стратосфере. Результаты расчетов представлены в табл. 1.

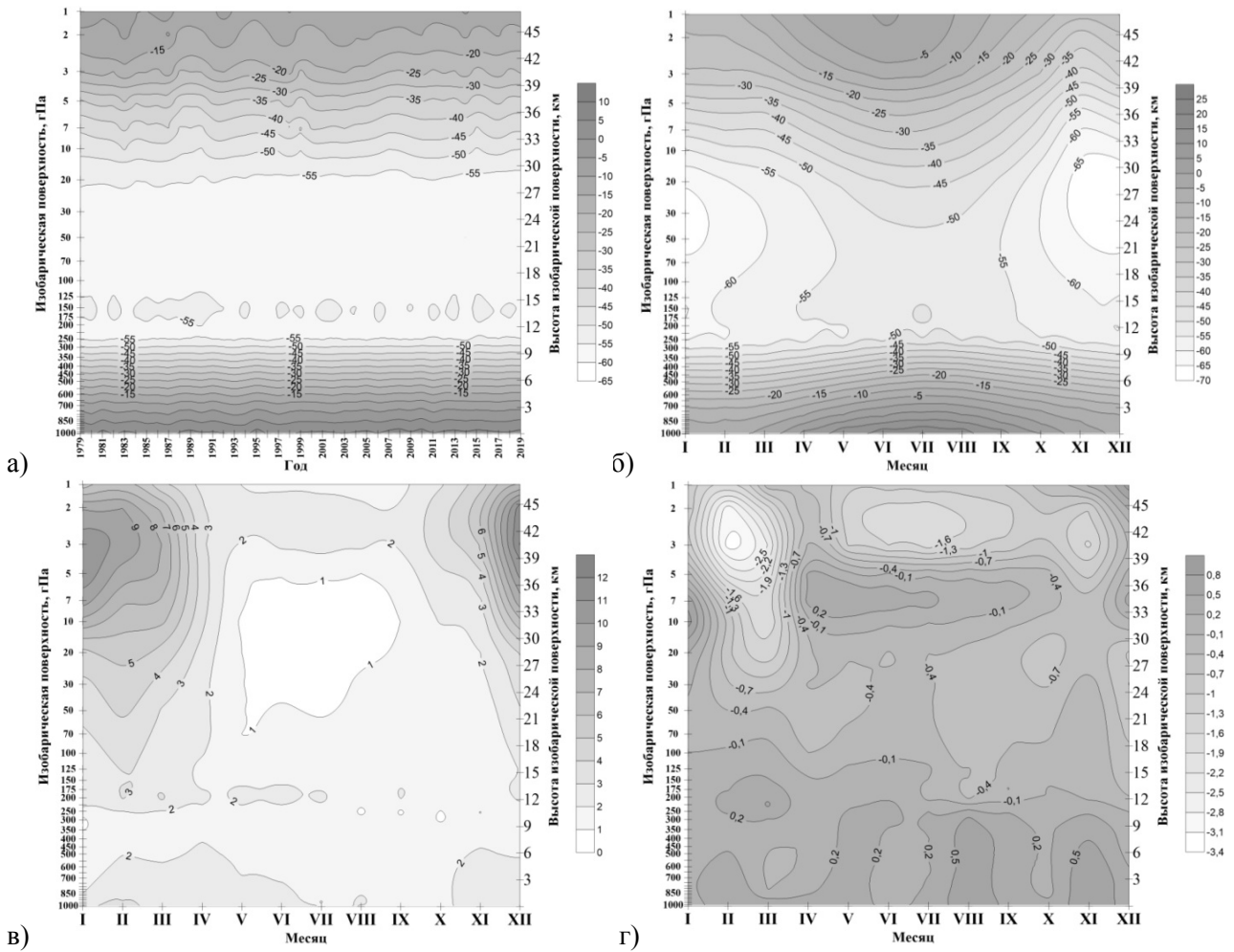


Рис. 1. Высотное распределение среднегодовых климатических характеристик на территории СЗ ПФО в период 1979–2018 гг.: а) б) средняя температура воздуха, °С; в) среднее квадратическое отклонение температуры, °С; г) коэффициент наклона линейного тренда температуры воздуха, °С/10 лет

Из результатов, представленных в табл. 1, видно, что зимой в атмосфере ТВ понижается до уровня 30 гПа (~23 км), где она достигает минимума и составляет -66,09 °С. В слое стратосферной инверсии отмечается повышение ТВ до -18,23°С на уровне 1 гПа (~ 47 км). Летом температура в тропо-стратосфере с высотой понижается до уровня 70 гПа (~ 18 км) и составляет -52,73 °С, далее с высотой благодаря интенсивному нагреву озоносферы температура повышается, за счет поглощения озоном ультрафиолетовой радиации, и на уровне 1гПа достигает -1,75 °С, что заметно выше её зимних значений. Следовательно, летний сезон оказывает значительное влияние на потепление тропосферы. Осенью характер распределения рассматриваемых показателей аналогичен зимнему, а весной ситуация ближе к летнему состоянию. Достаточно хорошо выражен сезонный ход величины СКО, летом ее значения заметно ниже зимних, особенно в средней и верхней стратосфере.

Известно, что воздух в стратосфере прогревается не от земной поверхности как в тропосфере, а от верхних слоев вниз, главным образом через поглощение ультрафиолетовой радиации озоном [9]. С целью выявления временных тенденций изменения ТВ в период 1979–2018 гг. оценивалась величина линейного тренда. В целом в течение всего года от уровня Земли до уровня 200 гПа происходит рост ТВ, что подтверждается положительными значениями КНЛТ. Наиболее существенный прогрев воздуха в тропосфере отмечается летом, особенно вблизи земной поверхности, на уровне 1000 гПа КНЛТ составляет 0,55 °С/10 лет. Начиная с уровня 200 гПа до уровня 2 гПа, наблюдается отрицательный тренд температуры, как в осенне-зимний, так и в весенне-летний период, в связи с охлаждением стратосферы, однако, в летний период в слое 7–1 гПа формируются зоны потепления, значения КНЛТ составляют от 0,13 до 0,74 °С/10 лет. Выявленная зависимость соответствует современной теории глобального потепления климата.

Таблица 1

**Основные параметры изменчивости средних температур воздуха на территории СЗ ПФО  
на различных изобарических поверхностях в период 1979 – 2018 гг.**

P, гПа	H, км	Год				Зима				Весна			
		T <sub>c</sub> , °C	СКО, °C	КНЛТ, °C/10 лет	R <sup>2</sup> L, %	T <sub>c</sub> , °C	СКО, °C	КНЛТ, °C/10 лет	R <sup>2</sup> L, %	T <sub>c</sub> , °C	СКО, °C	КНЛТ, °C/10 лет	R <sup>2</sup> L, %
1000	0,1	5,66	2,38	0,42	9,5	-7,90	3,19	0,18	0,1	5,95	2,33	0,42	11,5
950	0,5	3,75	2,29	0,41	13,3	-8,57	2,63	0,20	0,6	3,87	2,43	0,40	12,2
900	1	1,93	2,25	0,35	22,5	-8,21	2,44	0,22	1,4	1,38	2,48	0,32	23,4
850	1,5	-0,26	2,21	0,33	6,4	-8,96	2,36	0,26	2,6	-1,30	2,44	0,23	4,7
800	2	-2,61	2,15	0,33	6,0	-10,47	2,28	0,30	0,9	-3,95	2,35	0,18	5,6
750	2,5	-5,16	2,07	0,33	16,2	-12,58	2,21	0,30	0,0	-6,65	2,25	0,15	12,2
700	3	-7,96	1,98	0,31	30,7	-15,22	2,13	0,26	2,2	-9,51	2,16	0,11	10,6
650	3,5	-11,09	1,90	0,27	36,0	-18,30	2,05	0,21	4,3	-12,70	2,08	0,08	12,2
600	4,3	-14,67	1,84	0,24	26,0	-21,85	1,97	0,15	4,2	-16,34	2,03	0,06	10,3
550	4,9	-18,71	1,79	0,21	14,3	-25,86	1,88	0,09	2,8	-20,45	1,98	0,04	5,1
500	5,7	-23,33	1,73	0,18	10,7	-30,43	1,77	0,02	1,9	-25,15	1,93	0,02	1,6
450	6	-28,68	1,66	0,13	0,3	-35,68	1,64	-0,06	0,2	-30,57	1,84	-0,02	0,7
400	7,3	-34,86	1,55	0,09	0,2	-41,60	1,45	-0,12	0,0	-36,78	1,70	-0,04	1,2
350	8,2	-41,75	1,37	0,09	0,4	-48,06	1,21	-0,13	0,0	-43,64	1,45	-0,01	1,6
300	9,4	-48,99	1,09	0,14	1,1	-54,49	1,00	-0,07	1,1	-50,63	1,04	0,10	5,1
250	10,6	-55,06	1,26	0,21	12,4	-59,48	1,61	0,10	2,6	-56,17	1,50	0,30	10,5
200	12	-56,34	2,32	0,07	23,4	-60,35	2,58	0,14	1,2	-56,42	2,64	0,35	14,6
150	13,9	-55,01	1,82	-0,03	15,7	-59,22	2,41	-0,03	1,5	-54,41	2,00	0,13	3,6
100	16,3	-56,69	1,75	-0,20	5,4	-61,25	2,60	-0,19	4,8	-55,82	1,89	-0,13	0,0
70	18,5	-57,99	1,80	-0,22	4,6	-63,51	3,01	-0,27	2,9	-56,99	1,92	-0,21	0,3
50	20,5	-58,52	1,88	-0,29	8,2	-65,17	3,39	-0,36	0,6	-57,24	2,02	-0,30	0,0
30	23,7	-57,96	2,08	-0,37	13,0	-66,09	3,91	-0,41	0,0	-56,25	2,24	-0,44	0,0
20	26,3	-55,63	2,34	-0,38	16,5	-64,59	4,62	-0,33	1,0	-53,66	2,64	-0,55	0,2
10	30,9	-48,14	3,17	-0,44	19,5	-56,79	6,82	-0,07	2,6	-45,46	3,41	-0,74	0,4
7	33,2	-42,13	3,59	-0,35	22,7	-49,20	8,04	-0,41	4,5	-39,33	3,69	-0,52	0,8
5	35,5	-35,47	4,09	-0,45	25,3	-41,26	9,07	-0,79	6,6	-32,42	3,90	-0,51	1,4
3	39,2	-24,47	4,58	-0,96	26,2	-31,30	10,07	-0,61	8,0	-20,25	3,82	-1,15	2,3
2	42,1	-17,83	4,72	-0,73	25,7	-25,87	9,98	-0,38	8,0	-12,37	3,84	-0,82	2,7
1	47,4	-10,57	4,16	0,62	24,6	-18,23	6,90	-0,09	7,6	-4,90	3,70	0,88	3,1

Окончание табл. 1

Р, гПа	Н, км	Лето				Осень			
		Т <sub>с</sub> , °С	СКО, °С	КНЛТ, °С/10 лет	R <sup>2</sup> L, %	Т <sub>с</sub> , °С	СКО, °С	КНЛТ, °С/10 лет	R <sup>2</sup> L, %
1000	0,1	19,43	2,00	0,55	18,3	5,17	2,02	0,54	14,9
950	0,5	16,59	2,07	0,55	44,8	3,10	2,02	0,48	19,6
900	1	13,24	2,04	0,48	62,6	1,31	2,05	0,39	41,0
850	1,5	9,77	1,98	0,42	34,5	-0,55	2,04	0,38	30,9
800	2	6,48	1,90	0,43	16,7	-2,50	2,06	0,43	24,7
750	2,5	3,35	1,79	0,43	60,7	-4,74	2,04	0,45	32,5
700	3	0,29	1,62	0,40	29,6	-7,39	2,01	0,45	25,9
650	3,5	-2,94	1,51	0,37	34,5	-10,43	1,96	0,43	19,7
600	4,3	-6,55	1,46	0,35	26,3	-13,94	1,90	0,40	11,5
550	4,9	-10,59	1,45	0,34	15,6	-17,93	1,84	0,38	4,6
500	5,7	-15,22	1,48	0,33	15,4	-22,51	1,76	0,35	6,0
450	6	-20,64	1,49	0,31	1,2	-27,83	1,67	0,30	1,1
400	7,3	-27,06	1,49	0,30	2,1	-33,99	1,54	0,24	1,3
350	8,2	-34,42	1,46	0,31	5,5	-40,90	1,36	0,20	1,1
300	9,4	-42,68	1,28	0,34	2,1	-48,17	1,02	0,18	0,0
250	10,6	-50,14	1,03	0,28	1,5	-54,46	0,89	0,14	1,5
200	12	-51,78	2,18	-0,18	22,7	-56,80	1,88	-0,02	6,6
150	13,9	-50,30	1,36	-0,12	19,7	-56,09	1,52	-0,09	10,9
100	16,3	-52,27	1,27	-0,29	12,9	-57,42	1,25	-0,17	8,4
70	18,5	-52,73	1,14	-0,27	11,6	-58,74	1,13	-0,13	9,0
50	20,5	-51,75	0,95	-0,31	12,8	-59,92	1,17	-0,20	11,6
30	23,7	-49,22	0,82	-0,32	15,0	-60,29	1,35	-0,31	13,7
20	26,3	-45,27	0,63	-0,23	16,6	-59,00	1,45	-0,39	14,3
10	30,9	-36,66	0,55	-0,33	18,1	-53,65	1,92	-0,63	15,0
7	33,2	-31,29	0,43	0,13	19,2	-48,70	2,20	-0,61	16,1
5	35,5	-25,45	0,78	0,36	19,1	-42,74	2,62	-0,85	17,0
3	39,2	-13,35	1,13	-0,73	18,5	-32,99	3,32	-1,35	16,4
2	42,1	-5,96	1,36	-0,74	17,8	-27,14	3,71	-0,98	15,6
1	47,4	-1,75	2,10	0,74	16,5	-17,38	3,93	0,98	14,6

Примечание: Р – изобарическая поверхность, гПа; Н – высота, км; Т<sub>с</sub> – средняя температура воздуха, °С; СКО – среднее квадратическое отклонение температуры воздуха, °С; КНЛТ – коэффициент наклона линейного тренда температуры воздуха, °С/10 лет; R<sup>2</sup>L – скорректированный коэффициент детерминации линейного тренда, показывающий процент дисперсии исходного ряда, объясняемый трендом.

Анализируя многолетний ход средней годовой ТВ по уровням изобарических поверхностей осредненной по территории СЗ ПФО, представленный на рис. 2, выявлена тенденция потепления в тропосфере (уровни 850 и 500 гПа) и похолодания в нижней, средней, верхней стратосфере (уровни 70, 10, 2 гПа). За 40 лет ТВ на уровне 850 гПа выросла по линейному тренду на 1,3 °С, на уровне 500 гПа на 0,7 °С. В стратосфере, наоборот, наблюдается понижение температуры на уровне: 70 гПа на 0,9 °С, 10 гПа на 1,8 °С, 2 гПа на 2,9 °С. Положительный тренд температуры на верхней границе стратосферы (уровень 1 гПа) вблизи стратопauзы свидетельствует о ее повышении с приростом около 2,5 °С.

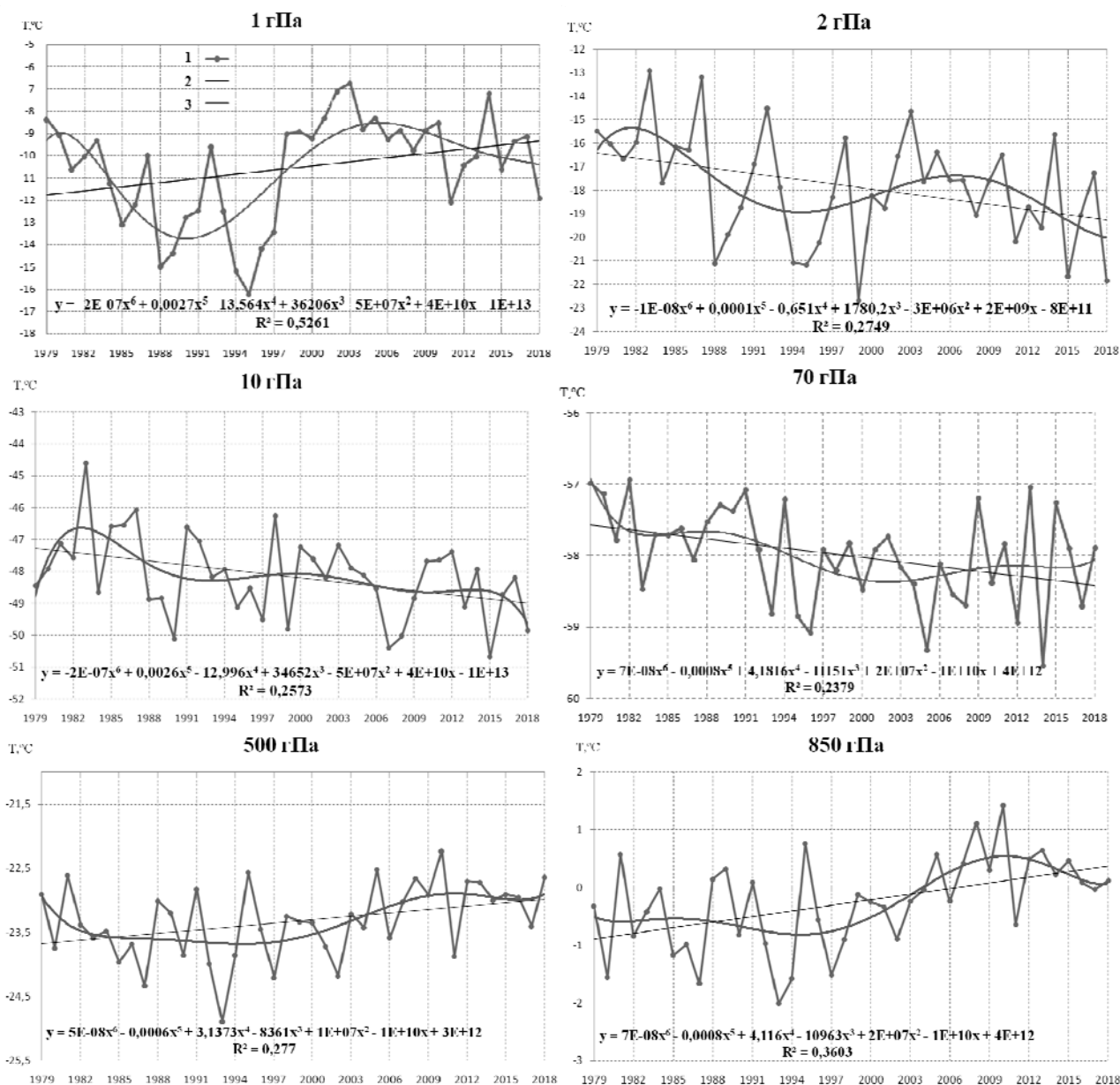


Рис. 2. Многолетний ход (1979 – 2018 г.) средней годовой температуры воздуха по уровням изобарических поверхностей на территории СЗ ПФО (52,0–58,5° с.ш., 41,5–50,5° в.д.):

1 – исходный ряд; 2 – линейный тренд; 3 – полиномиальный тренд

Из графиков, приведенных на рис. 2, видно вертикальное рассогласование в сроках наступления экстремальных показателей. В тропосфере на уровне 850 и 500 гПа максимальное потепление наблюдается в 2010 год, а в стратосфере наибольшее понижение ТВ на уровне 70 гПа приходится на 2014 г., на уровне 10 гПа – 2015 г., на уровне 2 гПа – 1999 г. и на уровне 1 гПа – 1995 г.

Таблица 2

**Коэффициенты корреляции  $r$  между соседними уровнями осредненной по территории СЗ ПФО среднемесячной температуры воздуха в период 1979–2018 гг.**

Уровни, гПа		Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь
975	1000	0,98	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00
950	975	0,98	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00
900	925	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00
875	900	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00
850	875	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
800	825	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
775	800	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
750	775	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
700	750	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99
650	700	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
600	650	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
550	600	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
500	550	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
450	500	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00
400	450	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00
350	400	0,97	0,97	0,97	0,99	0,99	1,00
300	350	0,71	0,78	0,68	0,89	0,88	0,96
250	300	0,62	0,65	0,56	0,39	-0,06	0,14
225	250	0,98	0,95	0,97	0,89	0,91	0,80
200	225	0,98	0,97	0,98	0,97	0,94	0,94
175	200	0,98	0,98	0,98	0,97	0,96	0,97
150	175	0,99	0,99	0,98	0,95	0,99	0,98
100	125	0,99	0,99	0,97	0,97	0,94	0,92
70	100	0,97	0,98	0,95	0,95	0,77	0,88
50	70	0,98	0,98	0,95	0,94	0,83	0,92
30	50	0,89	0,95	0,84	0,75	0,82	0,89
20	30	0,89	0,94	0,87	0,84	0,81	0,88
10	20	0,82	0,76	0,79	0,66	0,53	0,61
7	10	0,96	0,92	0,93	0,94	0,71	0,05
5	7	0,98	0,95	0,96	0,95	0,70	0,53
3	5	0,94	0,90	0,91	0,67	-0,02	-0,15
2	3	0,96	0,95	0,93	0,80	0,83	0,82
1	2	0,65	0,81	0,72	0,69	0,34	0,26

Окончание табл. 2

Уровни, гПа		Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
975	1000	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99	0,99
950	975	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,98
900	925	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99	0,99
875	900	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
850	875	1,00	1,00	0,99	1,00	1,00	1,00
800	825	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
775	800	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
750	775	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
700	750	1,00	0,99	1,00	0,99	1,00	1,00
650	700	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
600	650	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
550	600	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
500	550	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
450	500	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
400	450	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99
350	400	1,00	1,00	0,99	0,99	0,99	0,98
300	350	0,97	0,98	0,97	0,93	0,91	0,84
250	300	0,57	0,66	0,30	0,13	0,47	0,60
225	250	0,74	0,63	0,73	0,88	0,89	0,94
200	225	0,88	0,85	0,93	0,96	0,96	0,96
175	200	0,95	0,94	0,97	0,98	0,98	0,98
150	175	0,93	0,93	0,98	0,98	0,98	0,99
100	125	0,95	0,96	0,98	0,97	0,98	0,98
70	100	0,95	0,96	0,94	0,94	0,91	0,98
50	70	0,95	0,98	0,93	0,96	0,97	0,99
30	50	0,88	0,91	0,93	0,94	0,93	0,95
20	30	0,92	0,78	0,89	0,95	0,93	0,93
10	20	0,67	0,71	0,66	0,81	0,82	0,81
7	10	0,04	0,42	0,83	0,95	0,93	0,96
5	7	0,54	0,47	0,86	0,97	0,94	0,97
3	5	-0,07	0,03	0,53	0,91	0,88	0,92
2	3	0,85	0,84	0,85	0,92	0,93	0,97
1	2	0,33	0,26	0,19	0,66	0,66	0,89

Исследованы вертикальные корреляционные связи между соседними уровнями в поле температуры по сезонам и в целом за год. Из анализа табл. 2 видно, что во все сезоны года корреляционные связи по вертикали в тропосфере наиболее тесные в слое 1000–400 гПа ( $r \approx 1,0$ ). Как известно, высота тропопаузы меняется в течение года: зимой она ниже, чем летом. В результате межуровневые связи значительно ослабевают в районе тропопаузы, в слое: 400–250 гПа – зимой ( $r \approx 0,65$ ), в слое 300–200 гПа – весной ( $r \approx 0,4$ ) и осенью ( $r \approx 0,3$ ), в слое 300–150 гПа – летом ( $r \approx 0,5$ ). Роль тропопаузы, как переходного слоя в формировании вертикальных связей над территорией СЗ ПФО, четко проявилась, ее сезонные колебания повлекли за собой вертикальный сдвиг областей с ослабленными связями. Низкая межуровневая связь наблюдается в верхней стратосфере, особенно в летний период между уровнями 10 и 7 гПа ( $r = 0,04$ ), 5 и 7 гПа ( $r = 0,47$ ), 5 и 3 гПа ( $r = -0,02$ ).

«Взаимодействие по вертикали осуществляется посредством волнового механизма, с помощью которого возмущения метеорологических полей, обусловленные бароклинностью атмосферы, неоднородным нагревом подстилающей поверхности и орографией, передаются вверх из тропосферы в стратосферу» [10]. Данный механизм высокоэффективен в холодное время года, когда в стратосфере формируются западные течения, а волновые возмущения проникают вверх через тропопаузу. Кроме того, внезапные стратосферные потепления, часто происходящие зимой, могут привести к быстрому повышению температуры на 70 °С, что также способствует термодинамическому взаимодействию в тропо-стратосфере.

## Выводы

1. По данным реанализа ERA5 на территории СЗ ПФО исследована динамика пространственно-временных изменений полей ТВ за 1979–2018 гг. В тропосфере отмечается рост температуры воздуха в рассматриваемый период, а в стратосфере её понижение.

2. В средней и верхней стратосфере во все сезоны года обнаруживается инверсия температуры воздуха, особенно интенсивная в летний период.

3. Вертикальные корреляционные связи между соседними уровнями в поле температуры воздуха во все сезоны года резко ослабевают в районе тропопаузы, что указывает на ослабление взаимосвязи тропосферы и стратосферы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Переведенцев Ю.П. Современные изменения климата и их последствия // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Серия: География. Геоэкология. 2019. № 2. С. 98-102.
2. Современные изменения климата Республики Татарстан / Ю.П. Переведенцев, Н.В. Исмагилов, Б.Г. Шерстюков, Э.П. Наумов, К.М. Шанталинский, Ф.В. Гоголь // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Серия: География. Геоэкология. 2008. №2. С. 13-23.
3. Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М. Особенности проявления современного глобального потепления климата в различных регионах Северного полушария в последние десятилетия // Вестн. Удм. ун-та. Серия Биология. Науки о Земле. 2008. Вып.2. С. 3-14.
4. Динамика тропосферы и стратосферы в умеренных широтах Северного полушария и современные изменения климата в Приволжском федеральном округе / Ю.П. Переведенцев, В.В. Гурьянов, К.М. Шанталинский, Т.Р. Аухадеев. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2017. 186 с.
5. Климатические изменения приземных полей атмосферного давления и температуры воздуха в умеренных широтах Северного полушария / Ю.П. Переведенцев, А.А. Васильев, К.М. Шанталинский, В.В. Гурьянов // Метеорология и гидрология. 2017. № 7. С. 81-93.
6. Термический режим в тропосфере, стратосфере и нижней мезосфере Северного полушария в 1979-2016 гг. / Ю.П. Переведенцев, К.М. Шанталинский, А.А. Васильев, В.В. Гурьянов // Метеорология и гидрология. 2019. № 8. С. 5-20.
7. Климатические изменения в Приволжском федеральном округе в XIX–XXI веках / Ю.П. Переведенцев, Б.Г. Шерстюков, К.М. Шанталинский, В.В. Гурьянов, Т.Р. Аухадеев // Метеорология и гидрология. 2020. № 6. С. 36-46.
8. Hersbach H., Bell B., Berrisford P., et al. The ERA5 global reanalysis // Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. 2020; 146:1999–2049. URL: <https://doi.org/10.1002/qj.3803>.
9. Mohanakumar K. Stratosphere-Troposphere interactions. Springer, 2008. 416 p.
10. Холтон Дж.Р. Динамическая метеорология стратосферы и мезосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 224 с.



Мягков Максим Александрович, аспирант  
ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»  
420008, Россия, г. Казань, ул. Кремлевская, 18  
E-mail: mamuyagkov@bk.ru

*M.A. Myagkov*

**SPATIAL AND TIME CHANGES IN CLIMATIC CHARACTERISTICS  
IN THE TROPO-STRATOSPHERE IN THE NORTH-WEST OF THE VOLGA FEDERAL DISTRICT**

DOI: 10.35634/2412-9518-2020-30-4-448-456

The spatial-temporal changes in the thermal regime with a spatial resolution of  $0.25 \times 0.25^\circ$  in the north-west of the Volga Federal District were considered according to the ERA5 reanalysis data for the period 1979-2018. To study the altitude distribution of air temperature, vertical profiles of mean values, standard deviation and slope coefficient of the linear temperature trend were constructed on 37 isobaric surfaces from ground level to 47 km (1 hPa), and the coefficients of determination were calculated. Determined the degree of correlations between adjacent levels the tropo-stratosphere in the temperature field by seasons and in general for the year, its significant weakening in the tropopause region was revealed. The time tendency of temperature rise in the lower troposphere and its decrease in the stratosphere is revealed.

*Keywords:* air temperature, troposphere, stratosphere, linear trend, vertical correlation, Volga Federal District.

REFERENCES

1. Perevedentsev Yu.P. [Modern climate changes and their consequences], in *Vestn. Voronezh. Gos. Univ. Ser. Geografiya. Geoekologiya*, 2019, no. 2, pp. 98-102 (in Russ.).
2. 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.).
3. Perevedentsev Yu.P., Shantalinskiy K.M. [Features of the manifestation of modern global warming in various regions of the Northern Hemisphere in recent decades], in *Vestn. Udmurt. Univ. Ser. Biology. Nauki o Zemle*, 2008, iss. 2, pp. 3-14 (in Russ.).
4. Perevedentsev Yu.P., Gur'yanov V.V., Shantalinskiy K.M., Aukhadeev T.R. *Dinamika troposfery i stratosfery v umerennykh shirotakh Severnogo polushariya i sovremennye izmeneniya klimata v Privolzhskom federal'nom okruge* [Dynamics of the troposphere and stratosphere in the temperate latitudes of the Northern Hemisphere and modern climate changes in the Volga Federal District], Kazan: Kazan. University, 2017, 186 p. (in Russ.).
5. 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.).
6. Perevedentsev Yu.P., Shantalinskiy K.M., Vasil'ev A.A., Gur'yanov V.V. [Thermal regime in the troposphere, stratosphere and lower mesosphere of the Northern Hemisphere in 1979-2016], in *Meteorologiya i gidrologiya*, 2019, no. 8, pp. 5-20 (in Russ.).
7. Perevedentsev Yu.P., Sherstyukov B.G., Shantalinskiy K.M., Gur'yanov V.V., Aukhadeev T.R. [Climatic changes in the Volga Federal District in the XIX–XXI centuries], in *Meteorologiya i gidrologiya*, 2020, no. 6, pp. 36-46 (in Russ.).
8. Hersbach H., Bell B., Berrisford P., et al. The ERA5 global reanalysis, in *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 2020, 146:1999–2049, Available at: <https://doi.org/10.1002/qj.3803>.
9. Mohanakumar K. *Stratosphere-Troposphere interactions*. Springer, 2008. 416 p.
10. Holton J.R. *Dinamicheskaya meteorologiya stratosfery i mezosfery* [Dynamic meteorology of the stratosphere and mesosphere], Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1979, 224 p. (in Russ.).

Received 28.10.2020

Myagkov M.A., postgraduate student  
Kazan (Volga region) Federal University  
Kremlevskaya st., 18, Kazan, Russia, 420008  
E-mail: mamuyagkov@bk.ru