

КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ПРИВОЛЖСКОМ ФЕДЕРАЛЬНОМ ОКРУГЕ В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ

Ю.П. Переведенцев¹, К.М. Шанталинский¹, В.В. Гурьянов¹, А.А. Николаев¹, Н.В. Исмагилов¹, Т.Р. Аухадеев¹, М.А. Мягков¹, А.Б. Мустафина¹

¹Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия

CLIMATE CHANGE IN THE VOLGA FEDERAL DISTRICT IN CONDITIONS OF GLOBAL WARMING

Yu.P. Perevedentsev¹, K.M. Shantalinsky¹, V.V. Guryanov¹, A.A. Nikolaev¹, N.V. Ismagilov¹, T.R. Aukhadееv¹, M.A. Myagkov¹, A.B. Mustafina¹

¹Kazan (Volgaregion) Federal University, Kazan, Russia

Рассматриваются изменения температуры воздуха на территории Приволжского федерального округа до уровня 0,1 гПа (64 км). Обнаружены связи между колебаниями температуры и арктической осцилляцией. На примере 3-х станций Приказанского региона показана роль глобальных процессов и городского фактора в термическом режиме, а с помощью 7 климатических моделей из ансамбля CMIP 5 дана оценка изменений температуры до конца 21 века.

Considers temperature changes in the Volga Federal District at level to 0.1 hPa (64 km). Found relationships between variations in temperature and Arctic oscillation. In example 3 stations Kazan region shows the role of global processes and urban in thermal mode, while using a 7 climate model from the ensemble CMIP 5, assesses changes in temperature until the end of the 21st century.

В последние десятилетия в связи с активной фазой глобального потепления повысился интерес к региональным климатическим изменениям [1]. Этому обстоятельству способствует развитие современных информационно-вычислительных технологий, свободного доступа к реанализам, результатам ансамблевых вычислений по программе CMIP5 и др.

Рассмотрим распределение характеристик температуры воздуха до уровня 0,1 гПа (64 км), что сделано для территории Поволжья впервые.

В качестве исходного материала использовались данные реанализа ERA-Interim о температуре воздуха по Северному полушарию за период 1979-2016 гг. На территории ПФО использовались средние месячные температуры воздуха на 26 уровнях в 24 узлах географической сетки с шагом 2,5° реанализа, что позволило в результате осреднения по территории получить временные ряды. Рассчитывались средние значения на каждом уровне по сезонам и в целом за год, средние квадратические отклонения (СКО), линейные тренды, коэффициенты корреляции между уровнями и по горизонтали со значениями температуры умеренной зоны и первого естественно-синоптического района. Дана оценка связей между изменениями температуры воздуха и индексами Арктической осцилляции (АО), с целью выделения колебаний с периодом более 10 лет временные ряды на различных уровнях подвергались низкочастотной фильтрации фильтром Поттера, вычислялись коэффициенты детерминации линейного тренда и низкочастотной компоненты (НЧК) по методике [2].

Получено распределение по вертикали средних многолетних значений температуры воздуха A_v (°C), СКО, коэффициентов наклона линейных трендов (КНЛТ) A °C/год на 26 изобарических поверхностях. Осредненные данные по ПФО как для зимнего (XII-II), летнего (VI-VIII) периодов и года в целом (I-XII) показывают понижение температуры A_v с высотой в тропосфере и нижней стратосфере (50-30 гПа), рост в средней и верхней стратосфере и понижение ее в мезосфере. Отмечается значительный годовой ход температуры. В зимний период она принимает отрицательные значения во всей толще атмосферы, в летний период выше уровня 700 гПа. СКО зимой наибольшее значение принимает у поверхности земли (2,26 °C), затем значения характеристики межгодовой изменчивости уменьшаются и вновь увеличиваются с уровня 30 гПа, достигая на уровне 3 гПа 6,41 °C. В летний период СКО по величине значительно уступают зимним на всех уровнях, лишь на уровне 0,8 гПа СКО равно 2,22 °C. Значения КНЛТ положительны в тропосфере и отрицательны в стратосфере.

О том, насколько между собой связаны процессы, происходящие в различных слоях атмосферы, можно судить по характеру поведения коэффициента корреляции, рассчитанного

между уровнями в поле температуры воздуха. Анализ полученных результатов показывает, что зимой и летом в тропосфере в слое 1000 – 400 гПа связи высокие ($r \sim 1,0$), затем в слое 400-250 гПа зимой и 300-200 гПа летом связи резко ослабевают, сказывается влияние тропопаузы. В зимней стратосфере связи более тесные, в летний период в верхней стратосфере и в слое 0,29-0,1 гПа они резко ослабевают, что свидетельствует о расслоении атмосферы. Слабо связаны между собой уровни 10 и 7 гПа ($r = -0,04$), 5 и 3 гПа ($r = -0,07$). В это время важную роль в термическом режиме играет озоновый слой, а динамическое перемешивание не столь выражено (ослабление вертикального волнового взаимодействия). Эффект ослабления корреляционных связей отмечен в нашей работе [2] ранее при анализе процессов в полярной зоне Северного полушария.

Для установления связи между колебаниями температуры воздуха в ПФО и арктической осцилляцией (АО) рассчитывались коэффициенты корреляции для 26 уровней для зимы, лета и года в целом. По современным представлениям АО в значительной степени является результатом взаимодействия тропосферы и стратосферы [3]. Положительная фаза АО ассоциируется с положительной аномалией интенсивности циркумполярного вихря и усилением среднего зонального потока, а отрицательная фаза АО наблюдается при ослаблении циркумполярного вихря и среднего зонального потока. Как следует из расчетов, в зимний период в нижней тропосфере значения коэффициентов корреляции между температурой и АО достаточно высоки ($r = 0,60$ на уровне 1000 гПа), что свидетельствует о потеплении ПФО за счет циркуляционного фактора. Отмечается также усиление связи в верхней тропосфере (в слое 300-200 гПа) и в средней и верхней стратосфере (7-3 гПа). В стратосфере связь имеет отрицательный знак в отличие от тропосферы ($r = -0,43$ на уровне 7 гПа). Возможно, это связано с распространением планетарных волн Россби из тропосферы в стратосферу, возникновением зимних стратосферных потеплений, приводящих к разрушению циркумполярного циклона. В этом случае зональный поток ослабевает, а температура будет расти, что и приводит к отрицательной связи между ними. Этот вопрос требует специального исследования. Так как АО в основном проявляется в зимний период, то коэффициенты корреляции для летнего периода оказались незначимыми.

С целью определения степени влияния факторов различного масштаба на температурный режим Приказанского региона исследовались изменения средних месячных температур воздуха в период с 1928 по 2017 гг. для трех близлежащих станций Казань, университет (городская), Вязовые и Арск (сельские).

Выполненное сглаживание временных рядов позволило более детально определить периоды однозначного изменения приземной температуры воздуха. Так, зимой с 1928 по 1957 г. температура в исследуемом регионе повышалась со скоростью около $0,6-0,8^\circ\text{C}/10$ лет, далее до 1970 г. происходило некоторое понижение температуры на величину около $0,8^\circ\text{C}$. С начала 70-х годов XX века началось активное потепление климата Приказанского региона, которое с конца XX века существенно ослабло и сменилось слабым похолоданием, а затем в конце первого десятилетия XXI столетия зимняя температура вновь стала увеличиваться. В результате по кривой низкочастотной компоненты средняя зимняя температура с 1928 по 2017 г. выросла в Казани на $4,7$, в Вязовых – на $4,2$ и в Арске – на $4,1^\circ\text{C}$.

Иначе изменялась средняя летняя температура воздуха. В начале исследуемого периода примерно до второй половины 70-х годов XX столетия температура в общем понижалась, испытывая колебания с периодом около 20 лет. В этот период понижение составило около $1,3^\circ\text{C}$ за городом и в два раза меньше около $0,7^\circ\text{C}$ в Казани, что явилось следствием отепляющего влияния городских условий. С середины 70-х годов в Приказанском регионе, как и в целом по полушарию начался интенсивный рост температуры, в результате которого средняя летняя температура увеличилась на $1,9^\circ\text{C}$ за городом и на $2,2^\circ\text{C}$ в городе.

Изменение средней годовой температуры воздуха носили более равномерный характер. Рост средней годовой температуры начался с середины 40-х годов XX столетия и до 1990 г. скорость роста в Казани составляла $0,17^\circ\text{C}/10$ лет, а за городом $0,11-0,12^\circ\text{C}/10$ лет. Далее потепление развивалось более высокими темпами: в Казани скорость повышения средней годовой температуры в этот период достигла величины $0,6^\circ\text{C}/10$ лет, а в сельской местности – $0,5^\circ\text{C}/10$ лет. В результате в Казани с 1945 по 2017 г. средняя годовая температура повысилась на $2,7^\circ\text{C}$, а на станциях Вязовые и Арск – на $2,1^\circ\text{C}$. Таким образом, как уже указывалось ранее, повышение средней годовой температуры за весь исследуемый период определялось в основном потеплением холодного периода года.

Как видно из рис.1, изменения температуры в Приказанском регионе хотя и носили более резкий характер, тем не менее, протекали достаточно согласовано с изменениями температуры всего полушария как зимой, так и летом. Особенно это относится к последнему этапу потепления, начавшемуся в середине 70-х годов XX столетия. Указанные колебания температуры воздуха являются результатом действия глобальных, региональных и локальных факторов. Для оценки вклада глобальных факторов в изменчивости температур Приказанского региона вычислялись коэффициенты корреляции как за весь исследуемый период, так и два подпериода, первый представляет собой промежуток времени предшествующий последнему потеплению (1928-1976 гг.), второй – собственно наиболее выраженную часть этого потепления с 1977 г. по настоящее время.

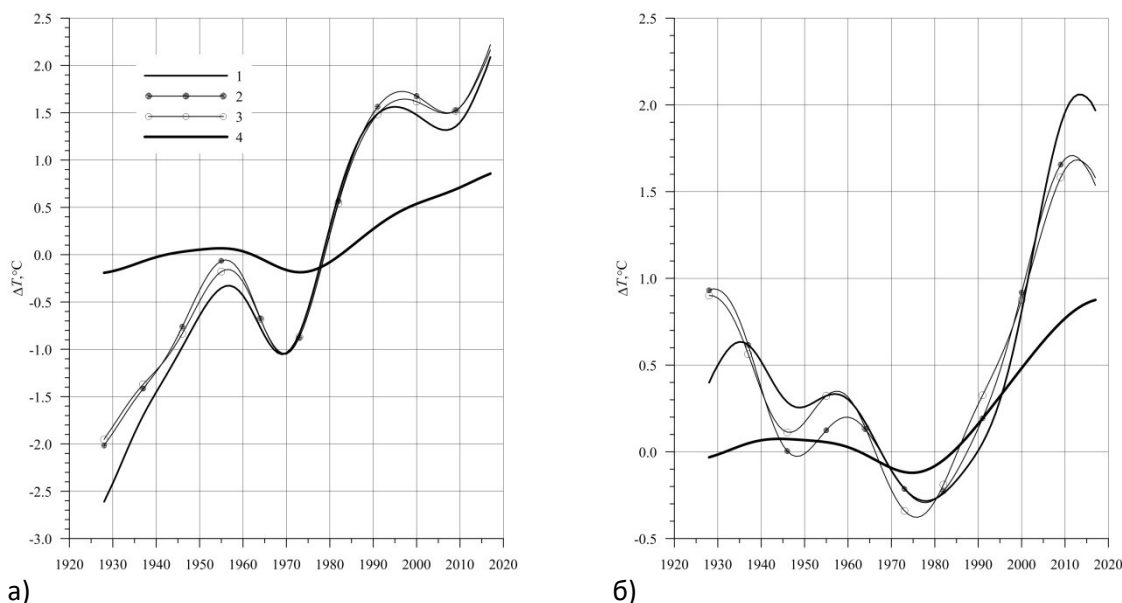


Рис. 1. Низкочастотная компонента с периодом более 20 лет аномалий приземной температуры воздуха (°C) в Приказанском регионе и Северном полушарии: а) зима (декабрь-февраль), б) лето (июнь-август).

1 – Казань, университет, 2 – Вязовые, 3 – Арск, 4 – Северное полушарие (по данным CRU).

Значения коэффициентов корреляции за весь период исследования составили зимой величину около 0,61, а летом – 0,48. В период 1928-1976 гг. соответственно 0,52 и 0,40, а в период 1977 – 2017 гг. – 0,52 и 0,53. Увеличение коэффициента в летний сезон последнего периода связано с более равномерным повышением летней температуры в этот период. Поскольку квадрат коэффициента корреляции характеризует вклад факториального признака в изменчивость результативного признака, а также, поскольку изменения температуры всего Северного полушария определяются влиянием процессов глобального масштаба, можно оценить вклад глобальных процессов в изменчивость температуры Приказанского региона. Этот вклад не остается неизменным в течение года. За весь же исследуемый период он составил зимой 37%, а летом – 23%.

Было проведено исследование по оценке качества моделирования реальных изменений температуры в округе с 1861 по 2005 гг. с помощью 7 отобранных климатических моделей из проекта CMIP5 (всего рассматривалось 39 моделей). Анализ результатов показал, что в теплое время года модели лучше воспроизводят ход температуры, чем в холодный. Выявлены статистические погрешности в результате тестирования ансамбля климатических моделей. С использованием 7 моделей CMIP5 (BNU-ESM, CMCC-CM, MPI-ESM-LR, MPI-ESM-MR, GISS-E2-H, EC-EARTH, FIO-ESM) получены достаточно реалистические тренды температуры воздуха для 4-х периодов 1896-2005 гг. и оценены значения КНЛТ (°C/10 лет) для каждого месяца года при различных сценариях RCP 2,6; RCP 4,5 и RCP 8,5. Представлен расчет распределения среднемесячных значений температуры воздуха в январе и июле в период 2005-2098 гг. при

различных сценариях. В январе по «жесткому» сценарию RCP 8,5 среднемесячная температура может повыситься на 8°C, а в июле на 6°C.

Литература

1. Переведенцев Ю.П., Гурьянов В.В., Шанталинский К.М., Аухадеев Т.Р. Динамика тропосферы и стратосферы в умеренных широтах Северного полушария и современные изменения климата в Приволжском федеральном округе // Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2017. – 186 с.
2. Perevedentsev Y.P. Climatic changes in the troposphere, stratosphere and lower mesosphere in 1979-2016 / Y.P. Perevedentsev, K.M. Shantalinskiy, V.V. Guryanov // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 107 (2017) 012040 doi :10.1088/1755-1315/107/1/012040.
3. Крыжов В.Н., Горелиц О.В. Арктическая осцилляция и ее влияние на температуру и осадки в Северной Евразии в XX в. // Метеорология и гидрология. – 2015. - № 11. – С. 5-19.
Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ (грант 18-05-00721, грант 18-45-160006).

This work was supported by the RFBR grants (grant 18-05-00721, grant 18-45-160006).