

ГЛОБАЛЬНЫЕ И РЕГИОНАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА В НАСТОЯЩЕМ И БУДУЩЕМ И ИХ ПОСЛЕДСТВИЯ

Переведенцев Ю.П.¹⁾, Мирсаева Н.А.¹⁾, Шанталинский К.М.¹⁾, Николаев А.А.¹⁾, Гледко Ю.А.²⁾, Лопух П.С.²⁾

*¹⁾Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, Россия,
e-mail: ypereved@kpfu.ru*

*²⁾Белорусский государственный университет, г. Минск, Республика Беларусь,
e-mail: gledko74@mail.ru*

Рассматриваются долгопериодные изменения климата на территории России и Республики Беларусь на фоне происходящих климатических процессов в Северном полушарии. Выявлена связь изменения температуры воздуха с колебаниями атмосферной циркуляции. Дана оценка изменениям температуры воздуха в Казани до конца 21 века для различных климатических сценариев СМIP6.

Ключевые слова: изменения климата; температура воздуха; линейный тренд; низкочастотная компонента; циркуляция атмосферы; климатические сценарии будущего.

CURRENT AND FUTURE GLOBAL AND REGIONAL CLIMATE CHANGE AND ITS IMPACTS

*Perevedentsev Yu.P.¹⁾, Mirsaeva N.A.¹⁾, Shantalinskiy K.M.¹⁾, Nikolaev A.A.¹⁾,
Gledko Y.A.²⁾, Lopuch P.S.²⁾*

¹⁾Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia, e-mail: ypereved@kpfu.ru

*²⁾Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus, e-mail:
gledko74@mail.ru*

Long-period climate changes on the territory of Russia and the Republic of Belarus against the background of ongoing climatic processes in the Northern Hemisphere are considered. The connection between air temperature changes and atmospheric circulation fluctuations is revealed. The estimation of air temperature changes in Kazan up to the end of the 21st century for different climatic scenarios of СMIP6 is given.

Keywords: climate change; air temperature; linear trend; low-frequency component; atmospheric circulation; future climate scenarios.

Проблема происходящих и ожидаемых глобальных и региональных изменений окружающей среды и климата является весьма актуальной для

мирового сообщества в связи с появлением климатических угроз и необходимостью адаптации к происходящим климатическим изменениям. Современное состояние проблемы климатических изменений, происходящих на планете и в России, прогностические оценки будущих климатических изменений до конца XXI века представлены в 6-м оценочном докладе МГЭИК (2021 г.) [6] и 3-м оценочном докладе Росгидромета (2022 г.) [5]. Главный вывод этих докладов состоит в том, что причиной происходящего потепления климата является антропогенный фактор, в результате которого происходит рост в атмосфере концентрации парниковых газов (концентрация CO_2 повысилась с 1700 г. на 46 %, CH_4 на 157 % и N_2O на 22 %). С целью сохранения климата планеты были подписаны Парижские соглашения (2015 г.), направленные на ограничение выбросов парниковых газов в атмосферу, чтобы избежать повышения средней глобальной температуры воздуха на 2°C по сравнению с доиндустриальным уровнем. В последующие годы на климатических форумах было предложено ограничить рост глобальной температуры уровнем $1,5^\circ\text{C}$. В [1] рассмотрены негативные последствия для природных и социально-экономических систем, которые могут возникнуть в случае повышения средней глобальной температуры на $1,5^\circ\text{C}$. Вопросы региональных изменений климата ранее рассматривались в работах [2-4].

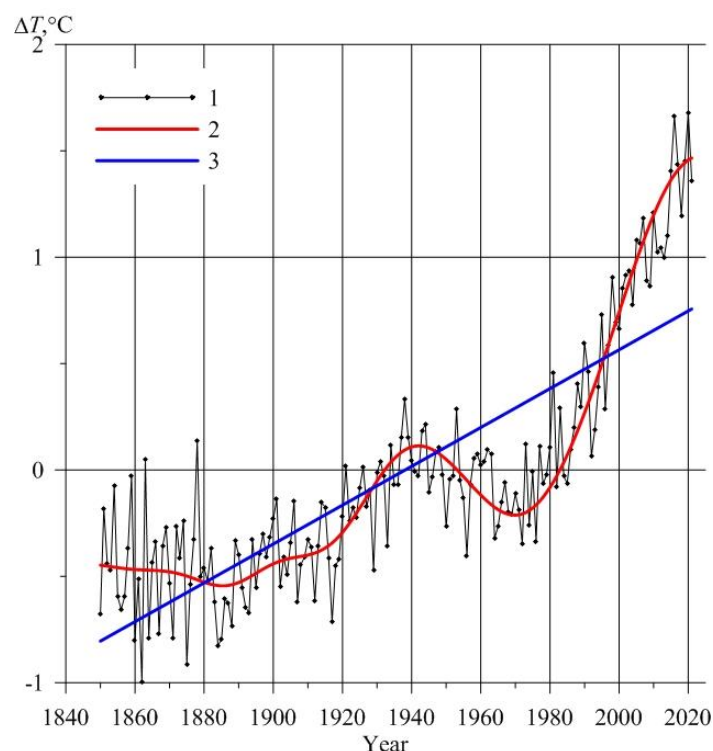


Рис. 1. Аномалии приповерхностной температуры воздуха Северного полушария за год (1 – исходный ряд, 2 – НЧК с периодом более 35 лет, 3 – линейный тренд)

Рассмотрим временные ряды аномалий осредненной по Северному полушарию приповерхностной температуры воздуха за весь период инструментальных наблюдений с 1850 по 2022 гг. (данные CRU), сглаженные низкочастотным фильтром Поттера с точкой отсечения 25 лет. Как видно из рис. 1, наблюдаются периоды похолодания и потепления различной интенсивности в рассматриваемой период. Согласно линии низкочастотной компоненты (НЧК) в СП с 1970 по 2022 г. среднегодовая температура увеличилась на $\sim 1,3^{\circ}\text{C}$. Следует отметить, что в начале XX века заметное потепление было обусловлено естественными факторами – из-за ослабления вулканической активности произошло усиление прозрачности атмосферы и потока солнечной радиации. «Горб» на кривой НЧК (рис. 1) особенно ярко проявился в летнее время.

Для оценки региональных изменений ТВ на широтном круге $\sim 55^{\circ}\text{с.ш.}$ привлекались данные 6 станций в период 1891-2022 гг.

Температурные различия между рассматриваемыми станциями видны из табл. 1, где представлены средние многолетние значения температуры ($^{\circ}\text{C}$).

Таблица 1

Средние многолетние значения температуры воздуха (1891-2022 гг.)

Станция	I	IV	VII	X	Год	Лето	Зима	Амплитуда
Калининград	-2,61	6,60	17,64	8,14	7,44	16,74	-1,71	22,26
Минск	-6,33	5,98	17,93	6,05	5,92	16,98	-5,25	26,33
Смоленск	-8,07	4,98	17,46	4,93	4,76	16,44	-7,04	27,79
Елаьма	-10,61	5,11	18,91	4,42	4,31	17,67	-9,46	31,81
Лукоянов	-11,55	4,53	18,58	3,66	3,62	17,40	-10,45	32,56
Порецкое	-11,52	4,86	19,18	4,02	3,94	17,91	-10,47	33,10
Казань	-11,82	4,94	20,31	4,53	4,34	18,91	-10,68	34,27
Елабуга	-12,96	4,25	19,73	3,65	3,46	18,35	-11,91	35,03
Уфа	-13,87	4,44	19,38	3,45	3,11	18,13	-12,76	35,57

Для выявления зависимости от циркуляционных факторов рассчитывались коэффициенты корреляции между температурами зимнего и летнего периода с одной стороны и индексами циркуляции (ИЦ) атмосферы – Северо-Атлантическим колебанием (NAO), Арктической осцилляцией (АО), колебанием Восточная Атлантика – Западная Россия (EAWR) и Скандинавским колебанием (SCAND). В табл. 2 представлены значения коэффициентов корреляции r при 95% уровне значимости $r=0,25$.

Как видно из табл. 2, Северо-Атлантическое колебание и Арктическая осцилляция более эффективно влияют на термический режим в зимний период. При этом западные станции имеют связи с ИЦ более высокие, чем восточные. Повсеместно $r>0$, что свидетельствует о потеплении. Scand

также более эффективно проявляется в зимний период, но с отрицательным знаком, что приводит к понижению температуры более заметной в восточных районах Европейской части России (ЕЧР).

Таблица 2

Коэффициенты корреляции приземной температуры воздуха с индексами атмосферной циркуляции (1891-2022 гг.)

	Уфа	Казань	Елаьтма	Смоленск	Минск	Калининград	Уфа	Казань	Елаьтма	Смоленск	Минск	Калининград
	Лето						Зима					
NAO	-0,27	-0,19	-0,06	0,05	0,04	0,13	0,51	0,61	0,64	0,67	0,69	0,69
AO	0,04	0,03	0,06	0,20	0,19	0,20	0,48	0,57	0,59	0,64	0,66	0,70
EAWR	-0,69	-0,72	-0,58	-0,45	-0,39	-0,30	0,04	-0,01	-0,03	0,06	0,09	0,16
SCAND	-0,22	-0,09	0,08	0,08	-0,02	0,05	-0,62	-0,51	-0,43	-0,38	-0,39	-0,39

Летом на восточные районы ЕЧР более эффективно действует колебание EAWR с отрицательным знаком, что приводит к похолоданию (для ст. Уфа $r=-0,69$, а для ст. Калининград $r=-0,30$).

Следует отметить, что характер временного изменения низкочастотных компонент индексов циркуляции и нормированных аномалий температуры имеет большое согласование из-за высокой корреляции между ними. Так, в случае усиления положительной фазы NAO зимой наблюдается прирост положительных аномалий температуры (усиливается потепление) и наоборот. Анализ колебания НЧК EAWR показывает, что в летний период 1950-2022 гг. индекс испытывает сильное падение, в то же время температура воздуха растет, так как ослабевает охлаждающее влияние этой циркуляционной моды.

С целью определения географических различий в изменениях температуры воздуха (ТВ) были построены для 6 европейских станций, СП и суши СП НЧК средней годовой ТВ (СГТВ), средней зимней ТВ (СЗТВ) и средней летней ТВ (СЛТВ) с периодом более 20 лет. На кривых НЧК среднегодовых температур активная фаза потепления на всех ст. (Калининград, Минск, Смоленск, Елаьтма, Казань), кроме ст. Уфа, началась раньше (1940-1960 гг.), чем в целом по СП (1970 г.). Зимой на всех станциях активная фаза потепления началась в 1970 г., что практически совпадает с ее началом в СП. В летний период на СП потепление началось в 1970 г., а на станциях Калининград, Минск, Смоленск, Елаьтма с 1982 г., т.е. с заметным запаздыванием, кроме ст. Уфа, где потепление идет с 1970 г.

Построенные профили НЧК для ТВ по среднегодовым, зимним и летним месяцам для западной и восточной группы станций обнаруживают много общего в их структуре, что свидетельствует об однородном характере климатических изменений на ЕЧР.

Построенные для каждой станции по годовым, зимним и летним данным нормированные аномалии ТВ, линейные тренды и НЧК с периодом более 20 лет позволили выявить точки, с которых началось современное потепление и проследить за долгопериодными колебаниями температуры. Величины КНЛТ во всех случаях положительны.

Безусловно, теоретический и практический интерес вызывают оценки будущих изменений основных климатических показателей на рассматриваемой территории. С этой целью использовались результаты ансамблевых расчетов по 40 климатическим моделям выполненных для 4-х основных сценариев проекта СМIP6: ssp126, ssp245, ssp370, ssp585. Согласно современной тенденции увеличения концентрации CO₂ в атмосфере, наиболее вероятным сценарием является ssp245. Расчеты выполнены как в целом для периода 2021-2100 гг., так и последовательно по 20-летним под-периодам: 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 и 2081-2100 гг.

Анализ показал, что в зимний период потепление будет происходить более высокими темпами, чем в летний. По наиболее вероятному сценарию ssp245 (радиационный форсинг составит 4,5 Вт/м²) в заключительный 20-и летний период 21 века (2081-2100 гг.) по сравнению с 2021-2040 гг. повышение температуры воздуха по сезонам и за год составит соответственно: 2,88°C (зимой), 2,37°C (весной), 2,12°C (осенью) и 2,4°C (за год). Более высокие темпы потепления ожидаются в случае осуществления наиболее жесткого сценария (ssp585), при котором радиационный форсинг составит 8,5 Вт/м². Однако его реализация маловероятна. В этом случае в конце столетия годовая температура в Казани возрастает на 5,5°C, а в зимний период на 6,6°C.

Заключение

1) С использованием годовой амплитуды колебаний температуры воздуха получена оценка различия в континентальности климата на рассматриваемых станциях;

2) С помощью НЧК с периодом >20 лет установлено время начала современного потепления климата как в СП, так и на отдельных станциях: в СП оно началось в 1970 г., а на рассматриваемых станциях в период с 1943 г. (ст. Минск) по 1970 г. (ст. Уфа);

3) Дана оценка степени корреляции ТВ с ИЦ атмосферы;

4) Дана оценка повышения ТВ в Казани до конца 21 века с использованием глобальных климатических моделей СМIP6.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ (проект № 22-27-20080).

Библиографические ссылки

1. Гладильщикова А.А., Дмитриева Т.М., Семенов С.М. Специальный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата «Глобальное потепление на 1,5°C». Фундаментальная и прикладная климатология. 2019. № 4. С. 5-18.

2. Переведенцев Ю.П., Верещагин М.А., Наумов Э.П., Шанталинский К.М. Многолетние колебания основных показателей гидрометеорологического режима Волжского бассейна. Метеорология и гидрология. 2001. № 10. С. 16.

3. Переведенцев Ю.П., Верещагин М.А., Наумов Э.П., Шанталинский К.М., Николаев А.А. Региональные проявления современного потепления климата в тропо-стратосфере Северного полушария. Известия РАН. Серия географическая. 2005. № 6. С. 6-16.

4. Переведенцев Ю.П., Шерстюков Б.Г., Шанталинский К.М., Гурьянов В.В., Аухадеев Т.Р. Климатические изменения в Приволжского федеральном округе в XIX-XXI веках. Метеорология и гидрология. 2020. № 6. С. 36-46.

5. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. СПб.: Научное издание, 2022. 124 с.

6. IPCC, 2022: Summary for Policymakers [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem (eds.)].