

## **ОСОБЕННОСТИ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ И РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ В XX-XXI ВЕКАХ**

*Переведенцев Ю. П.<sup>1</sup>, Лопух П. С.<sup>2</sup>, Шанталинский К. М.<sup>1</sup>, Шерстюков Б. Г.<sup>3</sup>,  
Дорожко Н. В.<sup>2</sup>*

*1-Казанский федеральный (Приволжский университет)*

*Казань, Россия, e-mail: ypereved @kpfu.ru*

*2- Белорусский государственный университет*

*Минск, Республика Беларусь, e-mail: lopuch49@mail.ru*

*3- ВНИИГМИ-МЦД Обнинск, Россия*

Статья посвящена оценке изменений термического режима на Европейской территории России и Республики Беларусь за последние 120 лет с использованием метеонаблюдений на 95 станциях. Актуальность темы обусловлена необходимостью изучения региональных климатических изменений в условиях современного глобального потепления. В результате выполненного исследования выявилось, что в регионе в период 1900-2019 гг. во все месяцы года происходит повышение температуры воздуха с различной скоростью. Потепление происходит более интенсивно в период декабрь-март. Установлена зависимость термического режима от типа циркуляционных мод.

Ключевые слова изменения климата; температура; тренд; корреляция; циркуляция атмосферы.

## **FEATURES OF CLIMATIC CHANGE IN THE EUROPEAN TERRITORY OF RUSSIA AND THE REPUBLIC OF BELARUS IN THE XX-XXI CENTURIES**

*Perevedentsev Yu.P.<sup>1</sup>, Lopuch P. S.<sup>2</sup>, Shantalinsky K. M.<sup>1</sup>,  
Sherstyukov B. G.<sup>3</sup>, Dorozhko N. V.<sup>2</sup>*

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

*2- Belarusian State University Minsk, Republic of Belarus, e-mail: lopuch49@mail.ru;*

*3- VNIIGMI-MCD Obninsk, Russia*

The article is devoted to the assessment of changes in the thermal regime in the European territory of Russia and the Republic of Belarus over the past 120 years using meteorological observations at 95 stations. The relevance of the topic is due to the need to study regional climatic changes in the context of modern global warming. As a result of the study, it was revealed that in the region in the period 1900-2019. in all months of the year the air temperature rises at different rates. Warming occurs more intensely during the December-March period. The dependence of the thermal regime on the type of circulation modes has been established.

Keywords: temperature; climate change; trend; correlation; circulation of the atmosphere.

Проблема современных глобальных и региональных изменений окружающей среды и климата по-прежнему остается актуальной в связи с необходимостью обеспечения безопасности государств от неблагоприятных

последствий этих изменений. Согласно [1, 4], в связи с возрастанием в атмосфере концентрации парниковых газов происходит непрерывный рост глобальной приповерхностной температуры, который продолжается и в 21 веке. С целью сохранения климата планеты в декабре 2015 г. были подписаны Парижские соглашения, направленные на ограничение выбросов парниковых газов в атмосферу. Известно, что потепление климата происходит с различной скоростью в различных регионах Земли. Оно наиболее интенсивно в Арктике (так называемое арктическое ускорение потепления) и в высоких широтах Северного полушария. В частности, в работах [2, 3] рассмотрена динамика температурно-влажностного режима в Поволжье и в Предуралье в XIX-XXI веках. В настоящей статье географические рамки исследования расширены благодаря сотрудничеству климатологов Казанского (Приволжского) федерального университета и Белорусского государственного университета в рамках совместного проекта «Многолетние и сезонные особенности изменения климата и их экстремальных проявлений на территории России и Беларуси». Здесь рассматриваются первые результаты совместного исследования.

По данным 99 станций долгопериодных метеорологических станций в период 1900 – 2019 гг. (120 лет) для Европейской территории России (ЕТР) и Республики Беларусь (РБ) рассмотрена изменчивость температурного режима. Были построены климатические карты распределения температуры воздуха (ТВ) для различных месяцев года, сезонов и в целом за год. Дополнительно строились карты пространственного распределения коэффициентов корреляций, рассчитанных между средней температурой всего рассматриваемого региона и температурой отдельных станций для января, июля, зимнего и летнего сезонов.

Для оценки влияния циркуляционных колебаний – Арктической осцилляции (АО), Североатлантического колебания NAO, колебания Восточной Атлантики – Западной России (EAWR), Скандинавского колебания (SCAND) рассчитывались коэффициенты корреляции между указанными индексами и температурой воздуха всех станций в январе и июле в период 1950-2019 гг.

С целью выявления долговременных тенденций изменения термического режима построены линейные тренды температуры воздуха для каждого из месяцев зимнего и летнего сезонов, годовых значений. Для выделения температурных долговременных колебаний в период 1900-2019 гг. рассчитывались низкочастотные компоненты (НЧК) с периодом более 20 лет. Результаты расчетов представлены в таблице.

Как видно из таблицы, на рассматриваемой территории хорошо проявляется годовой ход ТВ с минимумами в январе ( $-11,30^{\circ}\text{C}$ ) и максимумами в июле ( $18,38^{\circ}\text{C}$ ). Годовая амплитуда составляет  $29,68^{\circ}\text{C}$ . Средние квадратические отклонения ТВ меняются в пределах от  $3,19^{\circ}\text{C}$  (февраль) до  $1,24^{\circ}\text{C}$  (август). Наибольшее значение коэффициента наклонного линейного тренда (КНЛТ) приходится на март ( $0,290^{\circ}\text{C}/10$  лет), а наименьшее

на август ( $0,068^{\circ}\text{C}/10$  лет). Выделяется также декабрь, где  $\text{КНЛТ}=0,226^{\circ}\text{C}/10$  лет. Таким образом, по осредненным данным по территории во все месяцы года наблюдается потепление, но с различной интенсивностью. Как видно из таблицы 1, осредненное за год значение  $\text{КНЛТ}$  равно  $0,147^{\circ}\text{C}/10$  лет, при этом в зимний период скорость потепления ( $A=0,190^{\circ}\text{C}/10$  лет) вдвое превышает летнюю скорость потепления ( $A=0,081^{\circ}\text{C}/10$  лет). В целом средняя годовая ТВ всей рассматриваемой территории составляет  $3,45^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{СКО}=0,96^{\circ}\text{C}$ , а скорость потепления составляет  $0,147^{\circ}\text{C}/10$  лет.

Согласно рисунку, в зимний период в регионе с начала 1970-х годов, согласно кривой НЧК, наблюдается повышение ТВ примерно на  $2,8^{\circ}\text{C}$ , в летний период активное повышение ТВ началось с середины 1970-х годов и составило по НЧК лишь  $1,5^{\circ}\text{C}$ . В годовом плане потепление составило  $\sim 2^{\circ}\text{C}$ . Таким образом, начиная с начала 1970-х годов в регионе происходит заметное потепление климата, отличающееся по своей интенсивности и характеру в различные месяцы года, что хорошо видно из поведения НЧК температуры воздуха. Например, в ноябре четко прослеживается периодичность изменения температуры – кривая НЧК имеет вид волны с продолжительностью  $\sim 40$  лет.

Таблица – Характеристики изменения осредненной по территории Европейской части России и Беларуси температуры воздуха в период 1900-2019 гг.

Месяц	$A_v, ^{\circ}\text{C}$	$R_{ms}, ^{\circ}\text{C}$	$A, ^{\circ}\text{C}/10$ лет	$R^2L, \%$	$R^2F, \%$
I	-11,30	3,02	0,165	2	12
II	-10,54	3,19	0,195	3	12
III	-4,95	2,50	0,290	15	24
IV	3,68	1,95	0,161	7	12
V	10,68	1,75	0,171	10	17
VI	15,89	1,33	0,081	3	11
VII	18,38	1,30	0,094	5	15
VIII	16,49	1,24	0,068	2	23
IX	10,84	1,34	0,090	4	15
X	3,83	1,78	0,127	5	15
XI	-3,12	2,20	0,094	1	18
XII	-8,51	2,83	0,226	6	12
I-XII	3,45	0,96	0,147	27	38
XII-II	-9,60	2,07	0,190	9	15
VI-VII	16,92	0,90	0,081	8	22

Примечание:  $A_v$  – среднее значение ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $R_{ms}$  – среднее квадратическое отклонение ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $A$  –  $\text{КНЛТ}$  ( $^{\circ}\text{C}/10$  лет),  $R^2L$  – коэффициент детерминации линейного тренда (%),  $R^2F$  – коэффициент детерминации низкочастотной компоненты (%).

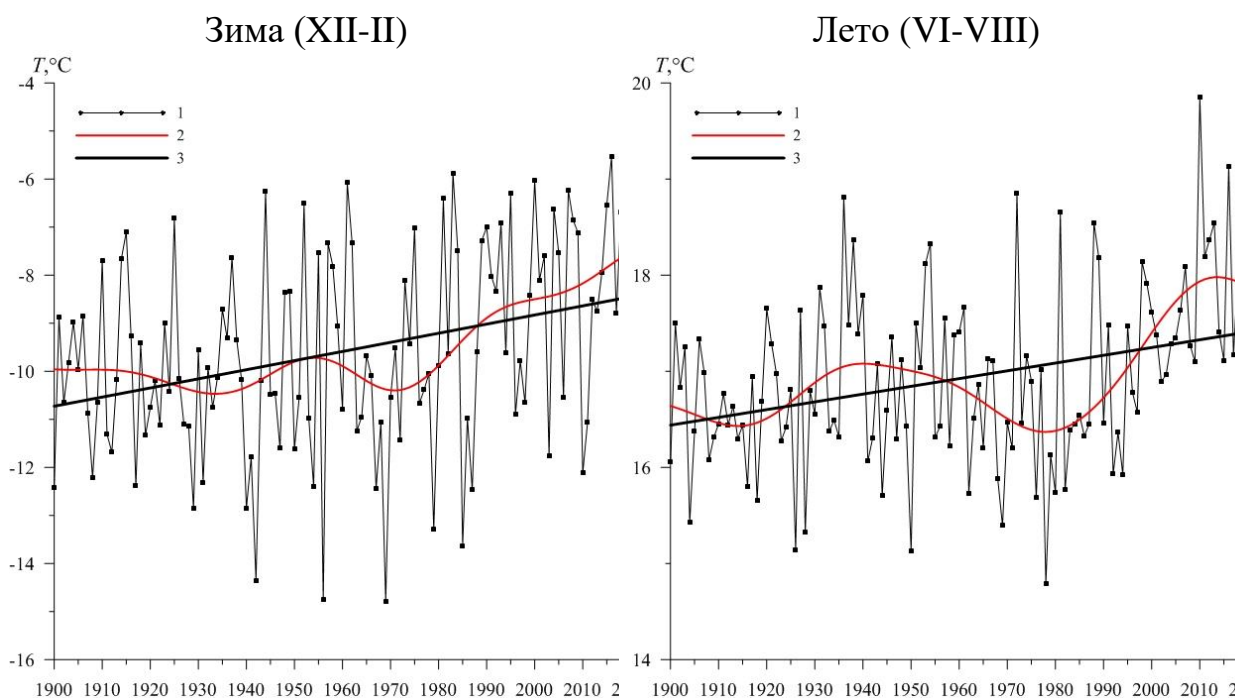


Рисунок – Многолетний ход температуры воздуха у поверхности Земли осредненной по территории ЕЧР и РБ (1900 – 2019 гг.) зимой и летом.  
1 – исходный ряд, 2 – НЧК, 3 – линейный тренд.

Построенные климатические карты распределения температуры воздуха для января и июля (1900 – 2019 гг.) показывают, что ТВ понижается с юго-запада на северо-восток. Так, среднеянварская температура на территории РБ составляет порядка  $-6^{\circ}\text{C}$ , на Северном Кавказе она положительная ( $\sim +4^{\circ}\text{C}$ ), а на северо-востоке ЕТР опускается до  $-22^{\circ}\text{C}$ , в июле изотермы имеют квазизональный характер и ТВ возрастает с севера ЕТР на юг от  $10^{\circ}\text{C}$  до  $24^{\circ}\text{C}$  на Северном Кавказе. На территории РБ среднеиюльская температура  $\sim 18^{\circ}\text{C}$ .

Зимой средняя ТВ для РБ порядка  $-4^{\circ}\text{C}$ , на северо-востоке ЕТР она порядка  $-20^{\circ}\text{C}$ , тепло в районе побережья Черного моря, где ТВ  $\sim +4^{\circ}\text{C}$ , летом средняя ТВ на Северном Кавказе  $22^{\circ}\text{C}$ , на арктическом побережье ЕЧР она опускается до  $8^{\circ}\text{C}$ , на территории РБ  $\sim 18^{\circ}\text{C}$ . Изотермы зимней и летней температуры практически совпадают со среднеянварскими и среднеиюльскими.

Были рассчитаны коэффициенты корреляции ( $r$ ) между температурой воздуха осредненной по всему региону и температурами 99-и станций. Поскольку средняя температура по региону относится к его центру, то построенные карты изокоррелят позволяют оценить как форму, так и скорость затухания связей в поле температуры с расстоянием. Так, если для января, а также зимы в целом изокорреляты образуют эллипс с большой осью, направленной с юго-запада на северо-восток (направление определяющего потока), то в июле (и летом) овал вытянут в меридиональном направлении. При этом статистические связи зимой более тесные с удаленными районами,

чем летом. Так, в январе коэффициент корреляции между РБ и центром ЕТР порядка 0,8, то в июле  $r=0,4$ . То же наблюдается для зимы и лета.

Для оценки влияния циркуляции атмосферы на термический режим региона рассчитывались коэффициенты корреляции  $r$  за 120 летний период между временными рядами индексов атмосферной циркуляции (АО, NAO, ВАР, SCAND) и температурой воздуха на отдельных станциях. Были построены карты корреляции для января и июля. Выявились следующие особенности. В январе с арктической осцилляцией (АО) связи более тесные на западе региона (в районе Пскова  $r=0,6$ ), в направлении с запада на восток происходит их ослабление в Предуралье ( $r=0,4$ ). В июле связи незначимы. С индексом североатлантического колебания (NAO) в январе также связи более тесные в западной части региона ( $r=0,6$ ), в восточном направлении происходит заметное ослабление влияния NAO, а на юго-востоке ЕТР  $r$  уменьшается до 0,2 и меньших значений (Оренбург). В июле значения коэффициентов корреляции незначительны  $\sim 0,2$ . Таким образом, арктическая осцилляция и североатлантическое колебание оказывают заметное воздействие на термический режим региона в зимний период и прежде всего на его западную часть. Это воздействие положительное, т.е. атмосферная циркуляция способствует потеплению региона в зимний период. Циркуляционная мода Восточная Атлантика-Западная Россия (EAWR) наибольшее влияние оказывает в летний период и в основном на центр и особенно восток региона, где величина  $r=-0,6$ , что свидетельствует об охлаждающем влиянии Северной Атлантики в этот период. Связь температуры воздуха с индексом SCAND в январе лучше выражена в центре и особенно на востоке территории (Урал, Оренбуржье, Северной Кавказ), где  $r$  принимает отрицательное значение ( $r=-0,6$ ). Таким образом, формирование блокирующего скандинавского антициклона заметно влияет на зимний термический режим востока ЕТР и способствует понижению ТВ. В июле связь между компонентами лучше на северо-западе ЕТР ( $r=+0,4$ ) и ослабевает в направлении юго-востока.

Выводы. 1. Методом тренд-анализа выявлена неоднородная картина интенсивности потепления на ЕТР и РБ: наибольшая скорость потепления отмечается в марте и декабре, где значения КНЛТ соответственно равны 0,290 и 0,226°C/10 лет, менее интенсивно происходит потепление в летний период (в августе КНЛТ=0,068°C/10 лет).

2. В зимний период потепление происходит со скоростью, вдвое превышающей летнюю (КНЛТ соответственно равны 0,190 и 0,081°C/10 лет). При этом во все сезоны и месяцы, согласно кривой НЧК температуры интенсивность потепления усилилась с 1970-х годов.

3. Согласно данным корреляционного анализа, в зимний период статистические связи между центром региона и периферийными станциями более тесные, чем в летний. И если зимой главная ось овала корреляции направлена с юго-запада на северо-восток, то летом она вытянута с юга на север.

4. Циркуляционный фактор играет важную роль в динамике термического режима. Происходит заметное изменение характера статистических связей в зависимости от индекса циркуляции. Если АО и NAO более эффективно влияют на термический режим западных районов зимой (связи положительные), то SCAND зимой в значительно большей степени влияет на восток региона (связь отрицательная). Колебание EAWR также более эффективно воздействует на восток региона, но уже в летний период и с отрицательным знаком. Роль циркуляционных факторов на рассматриваемой территории неоднородная как по знаку, так и интенсивности.

**Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 20-55-00014) и БРФИ (проект № X20P-392).**

### **Библиографические ссылки**

1. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации // М.: Росгидромет, 2014. – 1008 с.
2. Динамика тропосферы и стратосферы в умеренных широтах Северного полушария и современные изменения климата В Приволжском федеральном округе / Ю.П. Переведенцев [и др.]. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2017. – 186 с.
3. Мониторинг и прогнозирование климатической изменчивости на территории Приволжского федерального округа / Ю.П. Переведенцев [и др.] // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. – 2019. - №1(371). С. 67-94.
4. IPCC (2013) Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group 1 to the 5<sup>th</sup> Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / T.F. Stoker [et.al.] / – Cambridge, United Kingdom; New York, USA. – 1535 p.