

## **Пространственно-временные изменения основных показателей температурно- влажностного режима в Приволжском федеральном округе**

Ю. П. Переведенцев\*, К. М. Шанталинский\*,  
Н. А. Важнова\*

*Дано описание основных характеристик климата и их пространственно-временных изменений за последние десятилетия в Приволжском федеральном округе на фоне современного глобального потепления по данным регулярной сети метеорологических станций, реанализа и Интернет-ресурсов. Выявлены долгопериодные тенденции изменения температуры воздуха, атмосферных осадков, облачности. Установлена зависимость некоторых климатических показателей от ряда геофизических факторов.*

### **1. Введение**

В последние годы усилился интерес к региональным изменениям климата и природной среды в целом и их социально-экономическим последствиям, происходящим на фоне современного глобального потепления. В работах [3, 5, 6, 9] дается анализ антропогенных и естественных факторов, определяющих изменения климата в XIX—XXI вв. Обнаружена общая тенденция увеличения числа и интенсивности региональных гидрометеорологических аномалий на фоне глобальных климатических изменений. Вопросам изучения глобальных и региональных климатических процессов посвящен также цикл работ, опубликованных авторами статьи. В частности, результаты статистического анализа современных изменений климата в тропосфере и стратосфере Земли и в отдельных регионах Северного полушария до 2009 г. представлены в работах [4, 11, 12, 14].

В настоящей статье рассматриваются пространственно-временные изменения температурно-влажностного режима за последние десятилетия (1955—2009 гг.) на обширной территории Приволжского федерального округа (ПФО), для которого характерно многообразие природных условий, сложившихся на пространстве Волжского бассейна и Предуралья. При этом особое внимание уделено долгопериодным изменениям температуры воздуха, количества осадков и общей облачности, а также количественной оценке влияния ряда естественных факторов (солнечная активность, неравномерное вращение Земли, циркуляция атмосферы) на температуру воздуха и осадки региона.

\* Казанский (Приволжский) федеральный университет; e-mail: Yuri.Perevedentsev@gmail.com.

## 2. Материалы и методы

В качестве исходных материалов для данного исследования использовали данные ВНИИГМИ-МЦД (1955—2009 гг.), представляющие собой средние месячные значения температуры приземного воздуха, сумм осадков и общей облачности более чем на 200 метеостанциях, относительно равномерно расположенных на территории округа и сопредельных территориях. Кроме того, использовали данные реанализа 1 NCEP/NCAR (1948—2009 гг.) о температуре воздуха Северного полушария, распространяемые NOAA/OAR/ESRL PSD, США.

Методом объективной интерполяции указанные данные были разнесены в узлы квадратной сетки с шагом 20 км и проведено пространственное и временное осреднение исследуемых величин по территории всего округа, отдельных его регионов и по сезонам года. По исходным и пространственно-осредненным временным рядам были рассчитаны характеристики описательной статистики, выполнен трендовый и корреляционный анализ.

Для выявления долгопериодных изменений временные ряды были подвергнуты цифровой фильтрации с помощью низкочастотного фильтра Поттера [21] с полосой пропускания 10 лет и более. Использование фильтра Поттера с указанной полосой пропускания колебаний обусловлено тем, что этот цифровой фильтр существенно не искажает фазы колебаний [10, 20], а также ординаты сглаженного ряда в этом случае близки к ординатам, полученным широко используемым в климатологии методом скользящих средних с интервалом осреднения 11 лет. При этом качество сглаживания фильтром Поттера по сравнению с простым скользящим осреднением существенно лучше (рис. 1).

По средним месячным значениям за исследуемый период была выполнена цифровая фильтрация низкочастотного компонента (НЧК) временных рядов указанным выше способом. Суммарное изменение исследуемых характеристик определялось путем суммирования межгодовых разностей НЧК на участках монотонного изменения сглаженных кривых. Отношение полученных величин к периодам монотонного изменения характеризует среднюю скорость изменения исследуемых величин на данном временном отрезке.

Далее были построены зависимости межгодовых изменений НЧК от года и месяца. Результаты представлялись в виде  $n$ -мерных векторов  $X(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n)$  и  $Y(y_1, y_2, \dots, y_i, \dots, y_n)$ , а в качестве показателя сходства векторов разных пунктов  $X$  и  $Y$  в  $N$ -мерном пространстве применялся показатель [7, 17], определяемый выражением

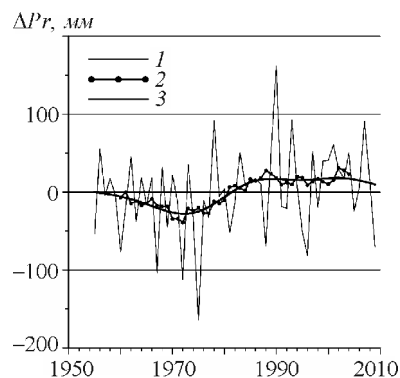


Рис. 1. Многолетний ход аномалий (относительно нормы за период 1961—1990 гг.) годовых сумм осадков, осредненных по территории Приволжского федерального округа.

1 — исходный ряд; 2 — простое 11-летнее скользящее осреднение; 3 — сглаживание низкочастотным фильтром Поттера (полоса пропускания 10 лет и более).

$$\frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i)^2 \sum_{i=1}^n (y_i)^2}} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i)^2}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i)^2 \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}},$$

где первое слагаемое представляет косинус угла между сравниваемыми векторами и является мерой параллельности векторов, а второе — мерой близости между ними.

Параметр  $\rho$  может принимать значения в интервале от  $-1$  до  $2$ . При  $\rho = 2$  имеет место полная аналогия рассматриваемых векторов, при  $\rho = -1$  — полная контрэнтология. Для определения границы между аналогичными и неаналогичными векторами все пространство делилось на два класса:  $\rho < 45$  — аналогичные;  $\rho > 45$  — неаналогичные векторы.

Указанным методом на территории округа были выделены три района (рис. 2а), в которых долгопериодная динамика температуры за период с 1955 по 2009 г. имеет сходный характер. Из-за большей пространственной изменчивости сумм осадков выделено 7 районов (рис. 2б), в которых имеет место их сходная долгопериодная динамика. По округу в целом и каждому району было произведено пространственное осреднение месячных, сезонных и годовых значений температуры и сумм осадков. Полученные временные ряды также были подвергнуты цифровой фильтрации для выделения НЧК.

### 3. Пространственное изменение климатических показателей

Рассмотрим особенности пространственного изменения основных климатических показателей на территории Приволжского федерального округа за базовый период 1961—1990 гг. Значения средней многолетней годовой приземной температуры изменяются от  $6,0$  С (юго-запад) до  $0$  С (северо-восток) (рис. 2а). В центре округа они имеют порядок  $3,0$ — $4,0$  С, с запада на восток происходит понижение температуры. В возвышенных районах Башкортостана и на северо-востоке Пермского края формируются наиболее суровые условия. Годовые изотермы направлены с северо-запада на юго-восток.

В январе средняя многолетняя температура повышается от  $-18,0$  С (северо-восток) до  $-9,0$  С (юго-запад). Самая низкая температура наблюдается в восточной половине региона. Зимой формирование температурного режима происходит в условиях отрицательного радиационного баланса поверхности и под влиянием адвекции тепла с Северной Атлантики, что создает перепады температуры между западом и востоком округа в  $4$ — $6$  С.

В июле изотермы из-за доминирующего влияния радиационного фактора принимают зональный характер. Средняя многолетняя температура увеличивается от  $16,5$  С (северо-восток) до  $24,0$  С (крайний юг) и температурные контрасты вдоль меридиана не столь велики.

Если запад округа характеризуется достаточно мягким континентальным климатом, то восток — весьма суровым. Годовая амплитуда темпера-

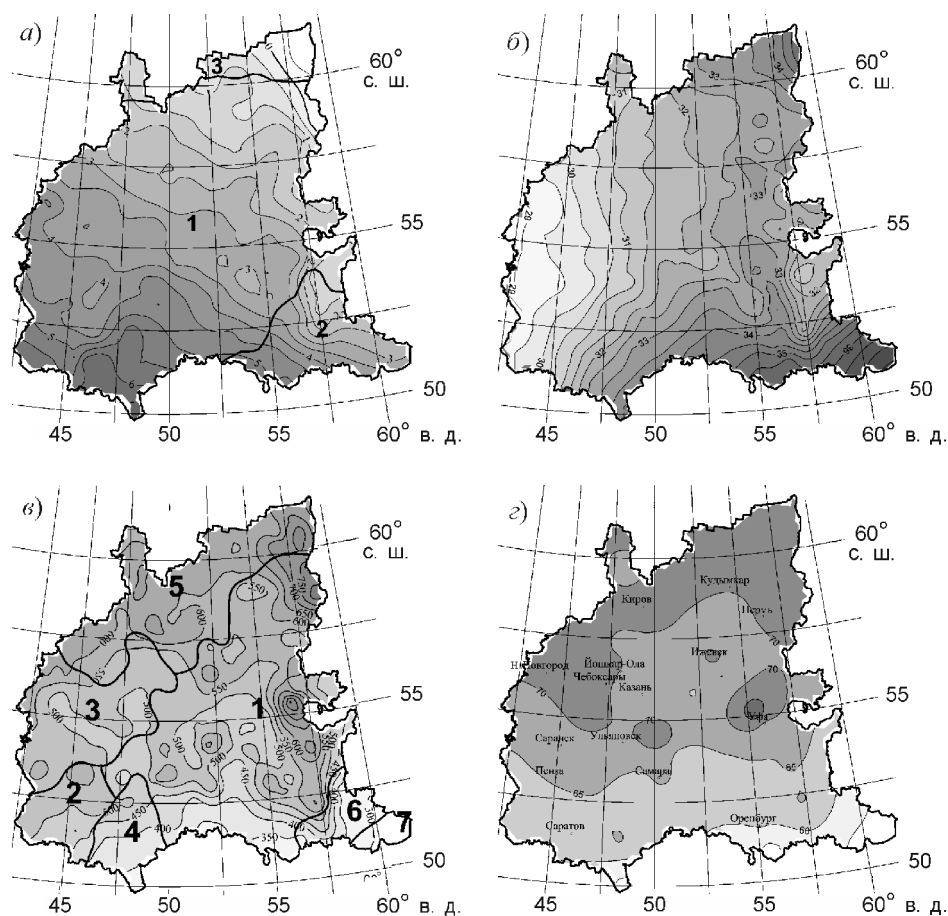


Рис. 2. Средние многолетние (1961—1990 гг.) значения температуры воздуха (*a*; °С); годовых амплитуд температуры воздуха (*б*; °С); сумм осадков (*в*; мм) и количества общей облачности (*г*; %).

Цифрами 1—3 на рисунке *a* и 1—7 на рисунке *в* обозначены районы с однородными изменениями соответствующей величины (см. ниже раздел 4).

туры минимальна на западе (29,1 С, Нижний Новгород) и максимальна на юго-востоке (37,2 С, Зерносовхоз Озерный), что отражает увеличение континентальности климата с северо-запада на юго-восток (рис. 2б).

В апреле температура быстро повышается и становится положительной повсеместно (разность температуры между севером и югом составляет 7,6°С) и, напротив, осенью наблюдается обратная картина: в октябре отмечается положительная температура, а в ноябре она повсеместно отрицательная. Самая низкая температура наблюдается на северо-востоке округа, где изотермы приобретают черты, близкие к зимним. Более детально термический режим рассмотрен в работе [13].

Распределение по территории количества осадков имеет более сложный характер, чем распределение температуры (рис. 2в). Годовые суммы осадков увеличиваются с юга и юго-востока на север от 300 до 800 мм. Наи-

большее количество осадков выпадает в предгорных районах Пермского края и Башкортостана. В холодный период распределение количества осадков наиболее неоднородное: на крайнем юго-востоке их выпадает меньше всего — 80 мм, а на севере территории и наветренных склонах Уральских гор — до 280 мм. В теплый период на большей части территории ПФО распределение осадков имеет примерно зональный характер и их сумма уменьшается от 440 мм на севере до 200 мм на юго-востоке. Исключением являются крайние восточные районы округа, где под влиянием Уральских гор изогипсы располагаются меридионально вдоль склонов. На востоке Пермского края наблюдается максимум осадков теплого периода (>560 мм). В то же время в течение всего года отмечаются орографически обусловленные локальные максимумы, например, в районе Бугульмы — 380 мм, здесь сказывается влияние Бугульминско-Белебеевской возвышенности.

В происходящих климатических процессах значительна роль облачности, которая определяет приход солнечной радиации и регулирует тепловое излучение, тем самым оказывая определяющее влияние на энергетический баланс Земли, из облаков выпадают атмосферные осадки. Облачность тесно связана с влажностью атмосферы и испарением с подстилающей поверхности, она имеет важное климатообразующее значение. В работе [16] приводятся сведения о динамике облачного покрова Земли по спутниковым данным за 1983—2009 гг. Показано, что доля глобальной общей облачности уменьшилась от 68 до 64,6% (уменьшение облачности на 4% равносильно увеличению потока приходящей солнечной радиации на  $0,9 \text{ Вт/м}^2$ ). Это достаточно заметная величина, так как согласно отчету IPCC-2007, за период 1750—2006 гг. увеличение приходящей солнечной радиации составило только  $1,6 \text{ Вт/м}^2$  (астрономический фактор).

Распределение среднего годового количества общей облачности по территории ПФО следующее (рис. 1з): больше всего облаков в северной ее части (небосвод закрыт на 70%), к югу происходит уменьшение до 60% (55% на крайнем юго-востоке), а изолиния 65% проходит через Пензу и Самару. Зимой в северной и центральной частях округа общая облачность достигает 75%, на юге — ~70%, а в юго-восточной части Оренбургской области — 65%. Летом ее количество заметно уменьшается: на севере 65%, на юге округа ~50%, а на границе с Казахстаном всего 45%.

#### 4. Многолетние изменения климатических показателей

Рассмотрим временной ход низкочастотного компонента с периодом более 10 лет аномалий температуры воздуха, количества осадков и общего количества облаков, рассчитанных относительно нормы 1961—1990 гг. по данным 200 станций Приволжского федерального округа. Такой подход позволяет выявить долгопериодные тенденции в колебаниях важнейших показателей климата в период 1955—2009 гг., характеризующих территорию ПФО в целом.

Проведена классификация режима температуры и количества осадков по характеру изменения низкочастотного компонента с использованием показателя сходства векторов разных станций, в виде которых были представлены поля изменения межгодовых разностей НЧК.

Анализ результатов сглаживания временных рядов температуры, осредненных по территории округа в целом и отдельным его частям, показал,

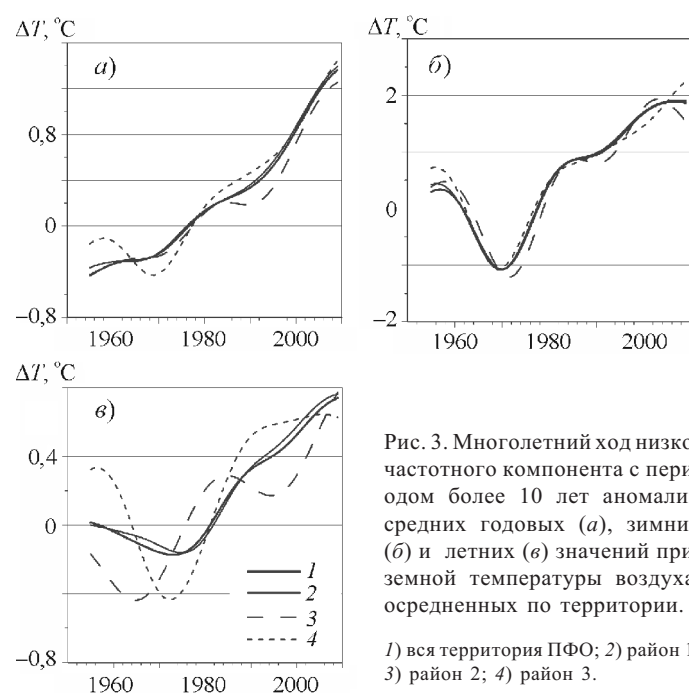


Рис. 3. Многолетний ход низкочастотного компонента с периодом более 10 лет аномалий средних годовых (а), зимних (б) и летних (в) значений приземной температуры воздуха, осредненных по территории.

1) вся территория ПФО; 2) район 1; 3) район 2; 4) район 3.

что изменение температурного режима на исследуемой территории достаточно однородно. Лишь на крайнем севере округа (север Кировской области и север Пермского края) и на крайнем юго-востоке (южные районы Башкортостана, центр и восток Оренбургской области) имеют место некоторые различия в долгопериодном ходе температуры по сравнению с остальной частью округа. Таким образом, на территории округа выявлено три разных по площади района, различающихся по характеру изменения температуры (рис. 2а).

Низкочастотные изменения приземной температуры воздуха в среднем по округу и в выделенных районах представлены на рис. 3, а характеристики этих изменений — в табл. 1.

Анализ рис. 3 показывает, что годовая температура воздуха за исследуемый период увеличилась примерно на 1,8 С. При этом наиболее активно температура повышалась с середины 1960-х годов. Однако и в этот период интенсивность повышения температуры не была постоянной. Так, если с 1967 по 1983 г. в течение 16 лет температура увеличивалась со скоростью около 0,03 С/год и ее суммарное повышение за этот период составило ~0,5 С, то затем в течение 9 лет повышение температуры продолжалось со скоростью ~0,2 С/год. С начала 1990-х годов и до конца исследуемого периода средняя годовая температура увеличивалась со скоростью более чем в два раза большей, чем в период 1967—1989 гг. В результате за 17 лет с 1992 по 2009 г. температура повысилась почти на 1 С.

В зимний период (декабрь — февраль) приземная температура воздуха, осредненная для всей территории ПФО, до 1970 г. понижалась, а ее повышение в последующий период, продолжавшийся до 2007 г., также было неоднородно. Причем с 1970 по 1983 г. повышение температуры состави-



ло 1,8 С (скорость повышения 0,14 С/год). Далее в период с 1983 по 1992 г. скорость повышения уменьшилась до 0,031 С/год, а затем вновь увеличилась до 0,056 С/год. Следует отметить, что после 2006 г. повышение температуры зимой практически прекратилось. Таким образом, с 1970 г. средняя температура зимой в ПФО увеличилась почти на 3 С, а наиболее интенсивное ее увеличение наблюдалось в 1970-х годах.

Повышение температуры летом в ПФО началось в начале 1970-х годов и продолжается по настоящее время. За период с 1973 по 2009 г. летом температура увеличилась более чем на 0,9°С за 36 лет и некоторое замедление ее увеличения в середине этого периода также имело место, но выражено оно гораздо слабее, чем зимой.

Поскольку выделенный по температуре район 1 занимает большую часть территории округа, то характер изменения НЧК приземной температуры в этом районе, как в среднем за год, так и по сезонам, во многом повторяет таковой для всего округа (рис. 3, табл. 1). В районе 2, который занимает крайний юго-восток округа, более резко выражено замедление повышения средней годовой и средней зимней температуры в 1980-е годы. В начале XXI в. также отмечается заметное понижение температуры зимой. В районе 3, крайнем северном районе ПФО, уменьшение скорости повышения температуры в 1980-е годы выражено в наименьшей степени. Кроме того, повышение температуры здесь продолжается и в настоящее время, хотя и более низкими темпами, чем в 1970-х годах.

Наибольшие пространственно-временные различия в низкочастотной динамике приземной температуры воздуха наблюдаются в летний период. Так, в районе 2 современное повышение температуры началось несколько раньше, чем в районах 1 и 3. Кроме того, в этом районе с 1985 по 1994 г. наблюдалось некоторое понижение температуры летом, которое сменилось наиболее активным ее увеличением, продолжающимся и до настоящего времени. В результате средняя за исследуемый период температура летом в этом районе увеличилась по сравнению с другими районами ПФО наиболее значительно. Так, с 1965 по 2009 г. повышение температуры в районе 2 составило 1,21 С.

В районе 3 увеличение температуры летом происходило в период с 1972 по 2007 г. (на 1,08 С). При этом за период с 1972 по 1993 г. температура повысилась приблизительно на 1 С, а далее ее повышение практически прекратилось и она увеличилась всего на 0,08 С за 13 лет.

Атмосферные осадки отличаются существенно большей пространственно-временной неоднородностью, поэтому на территории ПФО было выделено 7 районов по долгопериодному изменению сумм осадков (рис. 2в). Наличие указанных районов свидетельствует о сравнительно неоднородном характере формирования температурно-влажностного режима ПФО под влиянием атмосферной циркуляции, состояния подстилающей поверхности и других факторов.

Заметим, что далее в тексте приведены значения изменений количества осадков в холодный (ноябрь — март) и теплый (апрель — октябрь) периоды, в то время как в таблицах и на графиках для сопоставимости с ранее рассмотренными изменениями температуры результаты представлены для



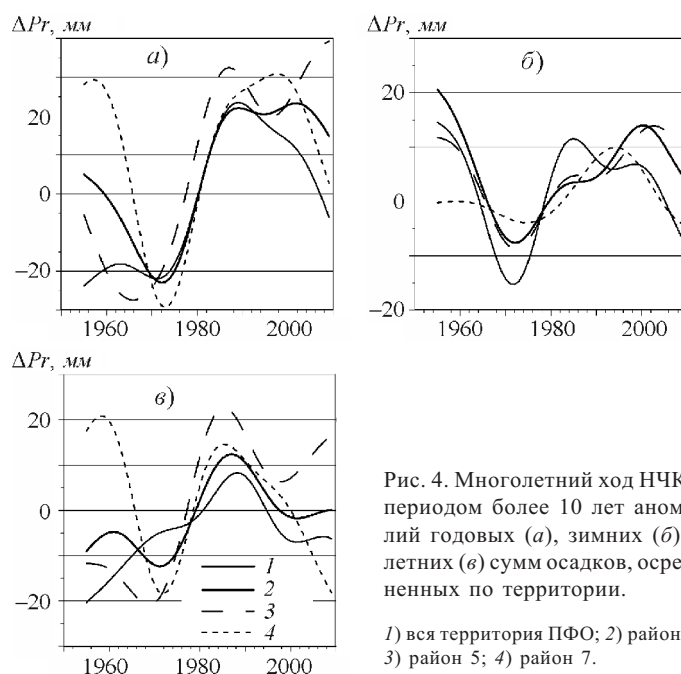


Рис. 4. Многолетний ход НЧК с периодом более 10 лет аномалий годовых (а), зимних (б) и летних (в) сумм осадков, осредненных по территории.

1) вся территория ПФО; 2) район 4; 3) район 5; 4) район 7.

зимнего (декабрь — февраль) и летнего (июнь — август) сезонов. Поэтому при сохранении характера динамики сумм осадков значения, приведенные в тексте, несколько выше.

Долгопериодная динамика количества осадков на территории ПФО в период с 1955 по 2009 г. характеризуется заметными изменениями. С середины 1950-х и до 1970-х годов на территории округа наблюдалось практически повсеместное уменьшение сумм осадков. В период наиболее активных современных климатических изменений, которые начались с 1970-х годов, годовые суммы осадков на территории ПФО несколько увеличились. Причем это увеличение произошло в результате резкого увеличения количества осадков в теплый период (~40 мм за 15 лет) с начала 1970-х до конца 1980-х годов и более плавного их увеличения в холодный период (более 30 мм за 26 лет) с середины 1970-х годов и до начала XXI в. С конца 1980-х годов суммы осадков теплого периода на территории округа в среднем стали уменьшаться, и уменьшение составило более 30 мм за последние 20 лет, а с начала нового столетия стало уменьшаться и количество осадков холодного периода (рис. 4, табл. 2).

Таким образом, по сглаженной кривой (рис. 4) в среднем по округу годовое количество осадков в начале исследуемого периода с 1955 по 1972 г. уменьшилось на 28 мм. Затем последовало достаточно резкое их увеличение (на 45 мм за 17 лет), которое завершилось в конце 1980-х годов. Далее суммы осадков существенно не менялись, однако в начале XXI в. наметилась тенденция к их уменьшению.

В районе 1, занимающем большую часть территории округа (рис. 2в), характер изменения НЧК сумм осадков во многом повторяет таковой для всего округа. Однако интенсивность изменения здесь несколько больше (табл. 2). Так, в холодный период увеличение сумм осадков с конца 1970-х

годов и до начала XXI в. составило 35 мм за 23 года, а увеличение количества осадков теплого периода — 48 мм за 15 лет (с середины 1970-х и до конца 1980-х годов). В результате, несмотря на существенное уменьшение количества осадков в конце исследуемого временного интервала, в период наиболее активных современных изменений климата количество осадков несколько увеличилось. В холодный период это увеличение составило 20 мм, в теплый — 10 мм. Следовательно, годовые суммы атмосферных осадков увеличились в этом районе на 30 мм, что соизмеримо со средним количеством осадков любого из месяцев холодного периода.

В районе 1, а также в районах 4, 6 и 7, занимающих крайнюю южную и юго-восточные части округа, наблюдается значительное сходство в ходе НЧК сумм осадков (рис. 4). Район 4 занимает большую часть заволжских районов Саратовской области, а районы 6 и 7 — крайний юго-восток Башкортостана и восток Оренбургской области. После уменьшения количества осадков от начала исследуемого периода и до 1970-х годов, наименее выраженного в районе 7, в этих районах также наблюдалось их увеличение, сменившееся в конце 1980-х — 1990-х годах уменьшением. В результате в этой части ПФО в районе 4 наблюдалось наименьшее увеличение годовых сумм осадков с 1970-х годов до настоящего времени (около 10 мм), а в районе 7 — наибольшее (более 30 мм).

Существенно отличается от средней по округу динамика НЧК сумм осадков в районах 2 (юго-восток Пензенской области и запад Саратовской), 3 (Чувашская Республика и Республика Мордовия, восточная часть Республики Марий Эл, запад Татарстана, северо-запад Ульяновской и Пензенской областей, южная часть Нижегородской области) и особенно в районе 5 (Кировская область, северная часть Пермского края, восток Республики Марий Эл и северная часть Нижегородской области), которые занимают западную, северо-западную и крайнюю северную части ПФО. Главной особенностью динамики количества осадков в этой части округа является колебательное изменение сумм осадков от 1970-х годов до настоящего времени как в холодный, так и в теплый период года.

В холодный период в районах 2 и 5 после значительного уменьшения количества осадков от 1955 г. и до 1970-х годов суммы осадков увеличивались в два этапа. Первый продолжался около 10 лет (от начала 1970-х до начала 1980-х годов), а второй — около 12 лет в районе 2 и 17 лет в районе 5 (рис. 4). Два периода увеличения количества осадков в холодный период разделяет небольшой период (около 6—9 лет) их уменьшения, более выраженный в районе 2. В конце исследуемого периода осадки холодного периода вновь стали в этих районах уменьшаться. В районе 3 осадки холодного периода волнообразно уменьшались вплоть до конца 1980-х годов и лишь затем отмечается их увеличение, практически синхронное с увеличением количества осадков в районах 2 и 5.

Динамика НЧК сумм осадков теплого периода в этих районах округа существенно различается. В районе 2 увеличение сумм осадков, начавшееся в 1960-х годах, продолжалось практически до конца 1990-х годов с некоторым его прекращением в 1980-х годах. Далее количество осадков теплого периода в районе 2 стало резко уменьшаться. В районе 3 после увеличения с конца 1960-х и до начала 1980-х годов осадки теплого периода

Таблица 2  
**Характеристики низкочастотных изменений количества осадков на территории Приволжского федерального округа**

Год (XI—X)		Зима (XII—II)		Лето (VI—VIII)	
<i>Pr</i>	<i>Pr</i>	<i>Pr</i>	<i>Pr</i>	<i>Pr</i>	<i>Pr</i>
Вся территория округа					
1955—1972	-27,9	1955—1972	-28,2	1955—1961	4,3
1972—1989	<b>45,1</b>	1972—2000	<b>21,7</b>	1961—1971	-7,6
1989—1995	-1,7	2000—2009	-9,3	1971—1987	24,8
1995—2002	2,8			1987—2001	-14,1
2002—2009	-8,5			2001—2009	1,8
Район 1					
1955—1974	-44,4	1955—1973	-31,2	1955—1963	8,4
1974—1990	<b>59,5</b>	1973—1999	<b>25,3</b>	1963—1974	-11,1
1990—2009	-21,2	1999—2009	-12,1	1974—1989	23,2
Район 2					
1955—1966	-18,6	1955—1970	-44,9	1955—1980	20,7
1966—1983	30,9	1970—1982	<b>19,0</b>	1980—1982	-0,0
1983—1989	-2,1	1982—1991	-10,2	1982—1989	0,9
1989—2000	14,4	1991—2000	7,4	1989—2009	-16,2
2000—2009	-27,4	2000—2009	-14,6		
Район 3					
1955—1968	-27,3	1955—1971	-31,0	1955—1958	2,5
1988—1981	<b>33,2</b>	1971—1980	7,5	1958—1970	-20,9
1981—1990	-12,3	1980—1990	-8,3	1970—1983	<b>34,0</b>
1990—2004	40,2	1990—2003	<b>20,1</b>	1983—1994	-12,8
2004—2009	-8,2	2003—2009	-6,5	1994—2007	12,4
				2007—2009	-0,6
					7,1
					-7,6
					15,5
					-10,1
					2,3
					10,5
					-10,1
					15,5
					-14,7
					5,4
					8,3
					-0,1
					1,2
					-8,1
					8,3
					-17,4
					26,1
					-11,6
					9,6
					-3,0

1955—1963	5,7	7,1	1955—1972	-17,5	1955—1988	28,6	8,7
1963—1971	-3,8	-4,8	1972—1985	20,7	1988—2001	-15,3	-11,8
1971—1989	45,4	25,2	1985—1994	-6,3	2001—2007	1,3	2,1
1989—2009	-29,6	-14,8	1994—1999	1,8	2007—2009	-0,5	-2,4
			1999—2009	-13,7			
Район 4							
1955—1966	-22,1	-20,1	1955—1972	-12,1	1955—1969	-9,1	-6,5
1966—1987	<b>59,9</b>	28,5	1972—1986	9,7	1969—1985	<b>43,5</b>	27,2
1987—1996	-12,6	-14,0	1986—1990	-0,9	1985—1998	-16,3	-12,6
1996—2009	19,3	14,9	1990—2003	7,3	1998—2009	10,3	9,3
			2003—2009	-6,6			
Район 5							
1955—1961	7,8	13,0	1955—1972	-5,1	1955—1963	18,1	22,6
1961—1975	<b>-48,9</b>	-34,9	1972—1994	9,9	1963—1975	<b>-23,0</b>	-19,2
1975—1991	52,0	32,5	1994—2009	-13,5	1975—1991	18,7	11,7
1991—2009	-38,9	-21,6			1991—2009	-45,8	-25,5
Район 6							
1955—1957	1,3	6,4	1955—1959	0,6	1955—1958	3,3	11,0
1957—1973	<b>-58,7</b>	-36,7	1959—1975	-2,5	1958—1972	<b>-39,3</b>	-28,0
1973—1998	<b>60,2</b>	24,1	1975—1994	7,3	1972—1985	<b>33,1</b>	25,4
1998—2009	-28,1	-25,6	1994—2009	-9,5	1985—2009	-32,7	-13,6
Район 7							

Примечание.  $P_r$  — величина изменения, мм;  $P_r'$  — скорость изменения, мм/10 лет.

практически не менялись, совершая небольшие колебания. Район 5 округа характеризуется наиболее значительным увеличением сумм осадков теплого периода в середине исследуемого периода (рис. 4в), так, увеличение составило 50 мм за 20 лет по сравнению с их увеличением в районе 2 на 35 мм за 35 лет. Далее в районе 5 количество осадков также резко уменьшилось (почти на 30 мм за 15 лет), а затем суммы осадков летом в этом районе ПФО вновь стали увеличиваться (рис. 4в).

В результате годовые суммы осадков в районе 2 с 1970-х и до 2010-х годов увеличились незначительно (на 10 мм), в то время как в районе 3 и, особенно, в районе 5 за тот же период их увеличение составило соответственно 45 и 60 мм.

### 5. Геофизические факторы и их влияние на режим температуры и осадков

Определялась корреляционная связь рассмотренных ранее климатических показателей с естественными факторами. К их числу относятся североатлантическое колебание (количественная характеристика — индекс NAO), явление Эль-Ниньо — южное колебание (индекс SOI), длительность суток (угловая скорость вращения Земли), а также относительное число пятен на Солнце, характеризующее солнечную активность (числа Вольфа). Анализировали межгодовые изменения указанных факторов за период 1955—2009 гг. С помощью фильтра Поттера проводилось сглаживание кривых (оставлены колебания с периодом более 10 лет), что позволяет судить о тенденции изменения каждого фактора.

Основное значение североатлантического колебания для климата Евразии определяется усилением западно-восточного переноса при положительной фазе колебания (углубление исландского минимума). Фаза североатлантического колебания определяет интенсивность и географическое распределение переноса как у поверхности земли [2], так и в тропосфере [19]. Влияние этого колебания на климат Северной Европы особенно выражено в зимний период. Корреляция индекса NAO и приземной температуры особенно велика в зоне 55—65° с. ш. до 60° в. д. и остается положительной практически на всей территории, исключая Кавказ и северо-восток России [2]. Известно, что изменение фазы североатлантического колебания в зимний период приводит к существенной перестройке атмосферной циркуляции в Атлантико-Европейском регионе.

Индекс NAO достиг своего максимума в начале 1990-х годов, после этого он неуклонно уменьшался и в настоящее время находится на самом низком за последние 40 лет уровне. Произошел переход к фазе отрицательных значений NAO, для которой характерно ослабление интенсивности западного переноса воздушных масс.

Установлено, что ряды индекса NAO содержат примерно 60—70-летнюю циклическую составляющую и имеют значимую положительную корреляцию с рядами температуры воздуха Северного полушария. Периоды с положительными значениями индекса NAO характеризуются более интенсивным западным переносом воздушных масс и заметным потеплением на большей части внетропической зоны Северного полушария, особенно выраженным в зимне-весенний период [2, 13].

Индекс южного колебания SOI в период 1950—2009 гг. имел значительную межгодовую изменчивость и в последние десятилетия отмечаются его отрицательные значения, что свидетельствует о преобладании процессов Эль-Ниньо (теплая фаза) над Ла-Нинья (холодная фаза). В 1983 г. отмечался абсолютный минимум индекса SOI, за ним последовал минимум в 1998 г. Действительно, в указанные годы наблюдались интенсивные явления Эль-Ниньо и колебания приземной глобальной температуры. Этому индексу свойственны 22-летние колебания. Известно, что явление Эль-Ниньо — южное колебание обуславливает дальние связи в климатической системе, влияющие на погоду и климат территорий, удаленных от места их экстремального проявления на многие тысячи километров [15].

Солнечная активность, характеризуемая числами Вольфа, ослабевает. Так, в 19-м цикле солнечной активности отмечены наибольшие значения чисел Вольфа (~190), затем наблюдается их уменьшение, и старт последующего 24-го цикла начинается с самой малой отметки. В работе [8] отмечено, что в текущем 24-м цикле, начавшемся осенью 2008 г., зафиксированы минимальные за всю 33-летнюю историю спутниковых наблюдений значения солнечной постоянной.

Проанализированы также данные о продолжительности суток за последние десятилетия. Эта величина, зависящая от скорости вращения Земли, испытывает ~20-летние колебания. На факт существования квазидвадцатидвухлетних колебаний скорости вращения Земли указано в работе [18]. В 1970-х годах продолжительность суток была наибольшей, затем она стала уменьшаться, т. е. происходило увеличение скорости вращения Земли.

В работах [1, 18] показано, что колебания планетарной циркуляции атмосферы вследствие закона сохранения импульса всегда сопровождаются изменениями угловой скорости вращения Земли. При этом глобальный межполушарный энергомассоперенос воздуха, возникающий между холодным зимним и теплым летним полушариями, а также между холодными полярными “шапками” и теплыми экваториальными и тропическими широтами, приводит к формированию четко выраженной полугодовой, годовой, квазидвухлетней и 5—6-летней цикличности в вариациях угловой скорости вращения Земли.

В табл. 3 представлены значения коэффициентов корреляции между аномалиями температуры воздуха и сумм осадков в ПФО с аномалиями температуры Северного полушария, аномалиями индексов NAO, SOI, чисел Вольфа и продолжительности суток. Коэффициент корреляции, начиная с величины  $r = 0,28$ , при данной выборке ( $n = 55$ ) значим на уровне 95%. Как видно из данных таблицы, статистически значимая положительная корреляция отмечается между аномалиями температуры ПФО и Северного полушария для зимы, лета и года в целом. Связи более тесные зимой ( $r = 0,62$ ), чем летом ( $r = 0,41$ ). Действительно, в последние десятилетия (с 1976 г.) наблюдается глобальное потепление климата, что находит свой отклик и на территории Поволжья, особенно в зимний период. Естественно, что связь осадков на территории ПФО с аномалиями температуры Северного полушария оказалась несравненно слабее — для зимы  $r = 0,30$ , а для лета практически связь отсутствует. Следует отметить, что потепление

Таблица 3

**Коэффициенты корреляции аномалий температуры  $T$  и сумм осадков  $Pr$  в Приволжском федеральном округе с аномалиями температуры Северного полушария  $T_{СП}$ , индекса североатлантического колебания NAO, числа Вольфа  $W$ , продолжительности суток  $D$  и индекса SOI южного колебания**

Период	Величина	$T_{СП}$	NAO	$W$	$D$	SOI
Год	$T$	0,59	0,05	-0,06	-0,31	-0,04
	$Pr$	0,25	0,21	0,12	-0,21	-0,15
	$T_{СП}$	1	-0,17	-0,11	-0,66	-0,27
Зима	$T$	0,62	0,64	0,05	-0,28	-0,15
	$Pr$	0,30	0,11	0,24	-0,25	-0,05
	$T_{СП}$	1	0,31	-0,05	-0,61	-0,37
Лето	$T$	0,41	-0,15	0,05	-0,25	0,24
	$Pr$	0,02	0,05	-0,11	-0,11	-0,06
	$T_{СП}$	1	-0,29	-0,15	-0,69	-0,03

привело к увеличению количества осадков зимой, что физически ясно (увеличение циклонической активности и влажности воздуха).

Имеется зависимость температуры воздуха на территории ПФО зимой от состояния Северной Атлантики. Свидетельством этого является тесная корреляция аномалий температуры зимой с аномалиями индекса NAO ( $r = 0,64$ ). Для лета такая связь незначима ( $r = -0,15$ ). Североатлантическое колебание оказывает определенное воздействие и на формирование аномалий температуры всего Северного полушария (зимой  $r = 0,31$ , летом  $r = -0,29$ ).

Как и следовало ожидать, связь с индексом SOI оказалась значимой лишь для температуры Северного полушария (зимой  $r = -0,37$ ). Связь отрицательная, так как отрицательные аномалии SOI обуславливают повышение температуры. Однако это явление больше проявляет себя в Южном полушарии, где на океанических просторах Тихого и Индийского океанов разворачиваются основные события, связанные с южным колебанием.

Связь температуры и количества осадков с солнечной активностью оказалась незначимой. Лишь для зимы коэффициент корреляции между аномалиями количества осадков и чисел Вольфа составил 0,24. В то же время неравномерность вращения Земли находит свой отклик в поле температуры как ПФО, так и, особенно, Северного полушария. Так, для годовых значений аномалий температуры Северного полушария  $r = -0,66$  (для зимы  $r = -0,61$ , для лета  $r = -0,69$ ). Изменения температуры воздуха, как и скорости вращения Земли, происходят с периодичностью 60—70 лет. Кроме того, изменения скорости вращения Земли оказывают влияние на зональную циркуляцию атмосферы (а следовательно, и на температуру воздуха). Возможно, это и явилось причиной значимой статистической связи. Так как  $r < 0$ , то это означает, что с уменьшением продолжительности суток (ускоряется вращение Земли) температура повышается. Для ПФО, естественно, рассматриваемая связь менее значимая (для года  $r = -0,31$ , для зимы  $r = -0,28$ ).

## 6. Выводы

Результаты анализа метеорологических данных на территории Приволжского федерального округа за 1955—2009 гг. позволили выявить следующие основные особенности региональных изменений климата:

— проведена объективная классификация многолетних колебаний температуры воздуха и количества осадков на территории округа по характеру изменения ее низкочастотного компонента, позволившая выделить 3 района, различающихся по изменению температуры воздуха, и 7 районов — по изменению количества осадков;

— современное потепление в ПФО, начавшееся в 1960—1970-е годы, характеризуется ослаблением в 1980-е годы и в конце исследуемого периода, при этом наибольший вклад в повышение средней годовой температуры вносит зимний период; в северной части округа температура увеличилась больше, а в юго-восточной — меньше;

— за исследуемый период изменения температуры и осадков носили немонотонный характер: в период 1955—1970 гг. в целом на территории ПФО выявлена тенденция понижения температуры воздуха (на  $\sim 1,5$  С) и уменьшения количества осадков зимой (на  $\sim 28$  мм); отмечена общая тенденция повышения температуры воздуха зимой с 1970 до 2006 г. (на 2,8 С) и летом до 2009 г. (на  $\sim 1$  С), при этом по отдельным районам наблюдаются существенные различия;

— выявлено уменьшение годового количества общей облачности и осадков; при этом продолжительность многолетних циклов количества осадков летом вдвое меньше, чем зимой;

— за исследуемый период количество осадков в западных и северных наиболее увлажненных частях ПФО увеличилось и уменьшилось в южных и юго-восточных наиболее засушливых районах; в результате контраст увлажнения разных частей округа за исследуемый период несколько увеличился;

— обнаружена статистически значимая отрицательная связь между осредненной по территории ПФО годовой температурой воздуха и продолжительностью суток ( $r = -0,66$ ), а также тесная положительная корреляция между температурой зимой и индексом NAO ( $r = 0,64$ ).

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 12-05-97014-р Поволжье а) и Минобрнауки РФ (грант 5.1616.2011).

## Литература

1. Андрианова О. Р., Белевич Р. Р. О связи колебаний некоторых океанографических характеристик с вариациями угловой скорости вращения Земли. — Метеорология и гидрология, 2003, № 11, с. 64—71.
2. Бардин М. Ю., Полонский А. Б. Североатлантическое колебание и синоптическая изменчивость в Европейско-Атлантическом регионе в зимний период. — Известия РАН. Физика атмосферы и океана, 2005, т. 24, № 2, с. 147—157.
3. Бирман Б. А., Бережная Т. В. Основные погодно-климатические особенности Северного полушария Земли. 2012 г. Аналитический обзор. — М., 2013, 60 с.



- 4. Верещагин М. А., Переведенцев Ю. П., Шанталинский К. М., Тудрий В. Д.** Факторный анализ многолетней динамики глобального термического режима приземного слоя воздуха. — Известия РАН. Серия географическая, 2004, № 5, с. 34—41.
- 5. Гудкович З. М., Карклин В. П., Фролов И. Е.** Внутривековые изменения климата, площади ледяного покрова Евразийских арктических морей и их возможные причины. — Метеорология и гидрология, 2005, № 6, с. 5—14.
- 6. Замолодчиков Д. Г.** Естественная и антропогенная концепции современного потепления климата. — Вестник РАН, 2013, т. 83, № 3, с. 227—235.
- 7. Карпеев Г. А.** Об аналогичности полей месячного количества осадков. — Труды Гидрометцентра СССР, 1969, вып. 44.
- 8. Клименко В. В.** Почему замедляется глобальное потепление? — Доклады АН, 2011, т. 440, № 4, с. 536—539.
- 9. Мохов И. И.** Результаты российских исследований климата в 2007—2010 гг. — Известия РАН. Физика атмосферы и океана, 2013, т. 49, № 1, с. 3—18.
- 10. Отнес Р., Энноксон Л.** Прикладной анализ временных рядов: основные методы. — М., Мир, 1982, 428 с.
- 11. Переведенцев Ю. П., Верещагин М. А., Шанталинский К. М. и др.** Изменения климатических условий и ресурсов Среднего Поволжья. — Казань, Центр инновационных технологий, 2011, 295 с.
- 12. Переведенцев Ю. П., Гоголь Ф. В., Наумов Э. П., Шанталинский К. М.** Динамика полей температуры воздуха северного полушария в современный период. — Проблемы анализа риска, 2007, т. 4, № 1, с. 73—80.
- 13. Переведенцев Ю. П., Соколов В. В., Наумов Э. П.** Климат и окружающая среда Приволжского федерального округа. — Казань, Изд-во Казанского ун-та, 2013, 273 с.
- 14. Переведенцев Ю. П., Шанталинский К. М.** Мониторинг глобальных и региональных изменений климата в тропосфере и стратосфере Северного полушария. /В сб.: Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем, т. XXIV. — М., ИГКЭ, 2011, с. 116—130.
- 15. Петросянец М. А., Семенов Е. К., Гушина Д. Ю., Соколикхина Е. В.** Циркуляция атмосферы в тропиках: климат и изменчивость. — М., МАКС Пресс, 2005, 670 с.
- 16. Покровский О. М.** Климатология облачности по результатам международного спутникового проекта. — Труды ГГО, 2012, вып. 565, с. 115—131.
- 17. Руководство** по месячным прогнозам погоды. — Л., Гидрометеиздат, 1972, 365 с.
- 18. Сидоренков Н. С.** Физика неустойчивостей вращения Земли. — М., Физматлит, 2002, 383 с.
- 19. Hurrell J. W. and van Loon H.** Decadal variations associated with the North Atlantic Oscillation. — Climatic Change, 1997, vol. 36, pp. 301—326.
- 20. Otnes R. K. and Enochson L.** Applied Time Series Analysis. Basic Techniques. — New York, John Wiley and Sons, 1978.
- 21. Potter R. W.** Compilation of Time Windows and Line Shapes for Fourier Analysis. — Handout Notes from an HP Seminar Circa, 1978.

Поступила  
10.1.2014

**SPATIOTEMPORAL VARIATIONS OF MAJOR PARAMETERS  
OF TEMPERATURE AND HUMIDITY REGIME  
IN VOLGA FEDERAL DISTRICT**

Yu. P. Perevedentsev, K. M. Shantalinskii,  
and N. A. Vazhnova

*Given is a description of major climatic characteristics and their spatiotemporal variations in Volga Federal District in recent decades against a background of the current climate warming using the data of the regular network of meteorological stations, reanalysis, and web resources. Revealed are long-period trends of air temperature, precipitation, and cloudiness. Established is a dependence of some climatic parameters on geographic factors.*