

## Пространственно-временная структура колебаний приземной температуры на Южном Урале

Д.Ю. Васильев<sup>1</sup>, О.К. Бабков<sup>1</sup>, И.Р. Давлиев<sup>1</sup>,  
В.А. Семенов<sup>2, 3</sup>, О.И. Христодуло<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Уфимский государственный авиационный технический университет  
450008, г. Уфа, ул. Карла Маркса, 12, корп. 1

<sup>2</sup> Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН  
119017, г. Москва, Пыжевский пер., 3

<sup>3</sup> Институт географии РАН  
119017, г. Москва, Старомонетный пер., 29

Поступила в редакцию 31.07.2017 г.

Представлен анализ данных по среднемесячной приземной температуре воздуха за период 1940–2015 гг. по наблюдениям сети метеорологических станций Южного Урала. Для исследования пространственно-временной структуры приземной температуры атмосферного воздуха был использован метод разложения температурных рядов на естественные ортогональные составляющие (ЕОС). Выполнен корреляционный анализ выявленных ЕОС для зимы и лета с индексами основных крупномасштабных мод естественной изменчивости климата Северного полушария. На первую ведущую ЕОС, которая описывает положительный температурный тренд, приходится основной вклад в общую изменчивость. Зимой ведущая мода связана с Североатлантическим колебанием. Для лета выявлен существенный вклад Атлантического мультидекадного колебания и Восточно-Атлантического – Западно-Российского индекса, что может быть использовано для улучшения прогноза изменений климата в регионе в ближайшие десятилетия. В целом результаты говорят о значительном влиянии естественной климатической изменчивости на температурный режим и возможной трудности в выделении антропогенной составляющей климатических изменений в регионе.

*Ключевые слова:* приповерхностная температура воздуха, естественные ортогональные составляющие, климатические изменения, климатические индексы, Южный Урал; surface air temperature, empirical orthogonal components, climate changes, climatic indices, the Southern Urals.

### Введение

Проблема изменений климата, их причин и последствий – одна из самых важных и актуальных в климатологии и метеорологии. Согласно [1] за последние 100 лет климат Земли характеризовался глобальным потеплением, ускорившимся в конце XX в. и замедлившимся в начале XXI в. Такая динамика может указывать на совместный вклад внешних, прежде всего антропогенного, факторов и внутренней естественной климатической изменчивости в формирование климатических аномалий. Изменения климата на территории России происходят гораздо быстрее, чем на планете в целом. По данным инструментальных наблюдений, средняя скорость потепления для земного шара составила 0,16 °C/10 лет в 1976–2012 гг. и 0,08 °C/10 лет в 1901–2012 гг., тогда как в целом для России в период 1976–2012 гг. она равна 0,43 °C/10 лет [2].

В работах по исследованию климата за последние годы [3–6] отсутствует единое мнение об основной причине современного потепления климата, в том числе и для Южно-Уральского региона [7–9]. Однако во всех работах отмечается повышение глобальной приповерхностной температуры воздуха на 0,85 °C в XX в. Отмеченный в станционных наблюдениях рост приземной температуры хорошо согласуется с результатами прогнозов по климатическим моделям [10–15].

Повышение температуры воздуха на Южном Урале в XX в. представляло собой достаточно сложный процесс, характеризовавшийся пространственной неоднородностью и сопровождавшийся экстремальными погодными явлениями [16–19]. Следует отметить, что климатическая изменчивость в континентальных регионах Северной Евразии характеризуется значительным вкладом внутренней изменчивости атмосферы, в том числе связанной с Североатлантическим колебанием, а также влиянием ведущих совместных мод внутренней динамики атмосферы и океана, например Атлантического мультидекадного колебания. Все это затрудняет выделение изменений климата, связанных с внешними, в том числе антропогенным, факторами воз-

\* Денис Юрьевич Васильев (vasilevdy@ugatu.su); Олег Константинович Бабков; Ильнур Рифатович Давлиев; Владимир Анатольевич Семенов (vasemenov@ifaran.ru); Ольга Игоревна Христодуло.

действия. Цель настоящего исследования — анализ пространственно-временной структуры климатических изменений на Южном Урале и оценка вклада основных мод внутренней изменчивости климатической системы.

## Исследуемая территория и используемые данные

Южный Урал простирается от южного широтного участка р. Белой до верховьев р. Уфа. Это — самая широкая (до 150 км с востока на запад) часть Уральских гор. Климат Южного Урала резко континентальный, для него характерны холодная зима и жаркое лето. Количество атмосферных осадков — от 350 до 700–800 мм в год. На климат сильно влияют Уральские горы, являющиеся основным препятствием на пути движения воздушных масс. По территории проходит так называемая ось Воейкова [20], разделяющая регион на зоны влияния Исландского минимума и Азорского максимума.

Для анализа были взяты среднемесячные данные наблюдений за приповерхностной температурой атмосферного воздуха на высоте 2 м 10 метеостанций (МС) сети Росгидромета (<http://www.meteo.ru>): в с. Дуван (1940–2015 гг.), пос. Чишмы (1913–2015 гг.), с. Аксаково (1940–2015 гг.), г. Мелеуз (1933–2015 гг.), с. Зилаир (1933–2015 гг.), г. Бугуруслан (1898–2015 гг.), г. Сорочинск (1935–2015 гг.), г. Оренбург (1886–2015 гг.), пос. Акбулак (1931–2015 гг.), пос. Домбаровский (1937–2015 гг.) (в скобках указан доступный интервал инструментальных наблюдений). Критерием при выборе МС послужила длительность наблюдений (более 30 лет), отсутствие пропусков в рядах данных (менее 2 лет) и репрезентативность метеорологической сети в выбранном районе. Из полученных массивов среднемесячных рядов приповерхностной температуры воздуха по 10 МС были отобраны данные по зимним (декабрь–февраль) и летним (июнь–август) месяцам. Для них были вычислены температурные аномалии.

В работе также использовались многолетние (от 65 до 75 лет) ряды климатических индексов: Атлантического мультидекадного колебания (АМК/АМО) (1940–2015 гг.), Североатлантического колебания (САК/NAO) (1940–2015 гг.), Скандинавского колебания/SCAND (1950–2015 гг.), Арктического колебания (АК/АО) (1950–2015 гг.), Восточно-Атлантического — Западно-Российского колебания (ВАЗРК/ЕAWR) (1950–2015 гг.) и Полярно-Евразийского колебания (ПЕ/РЕ) (1950–2015 гг.), данные по которым находятся в свободном доступе (<https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/list>).

## Методы

С целью выделения структур, или мод, климатической изменчивости был использован метод разложения метеорологических полей на естественные ортогональные составляющие (ЕОС) [21–23]. Пре-

имущество метода состоит в выделении небольшого количества ортогональных (с некоррелированными рядами соответствующих временных коэффициентов) пространственных структур, описывающих общую временную изменчивость поля исследуемого метеоэлемента. Разложение на такие составляющие позволяет описать общую изменчивость полей сравнительно небольшим числом параметров разложения и, что главное для климатического анализа, обнаружить физические механизмы, ответственные за наблюдаемые изменения. Значение метеоэлемента, в нашем случае среднемесячной температуры приземного слоя воздуха, в любой точке поля  $a_i$  можно представить в виде суммы естественных составляющих:

$$f(a_i, t_k) = \sum_{j=1}^k \varphi_{jk} T_{ji}. \quad (1)$$

Естественные функции  $T_{ji}$  определяются в каждой точке поля по статистической выборке, а число коэффициентов разложения  $\varphi_{jk}$  для момента времени  $t_k$  зависит от скорости сходимости ряда (1). Из работ [24–26] следует, что для описания сезонных полей температуры над территорией Западной Сибири с точностью до 90% необходимо всего два первых коэффициента разложения. В нашем случае можно ограничиться рассмотрением трех первых коэффициентов, на долю которых приходится от 91% (летом) до 97% (зимой) общей изменчивости.

Чтобы иметь возможность обобщить результаты исследования на всю территорию, ряды аномалий приземной температуры по данным стационарных наблюдений были осреднены по площади согласно методике интерполяции данных [27]. Применение описанных ранее методов, естественно, привело к существенному уменьшению длительности рядов наблюдений на большинстве МС по сравнению с первоначально представленными данными. Расчетный период при этом сократился до минимального — с 1940 по 2015 г. Вычисленные коэффициенты корреляции были проверены на статистическую значимость согласно [28].

## Результаты и обсуждения

На рис. 1 приведены пространственные распределения ЕОС, имеющих три наибольших собственных числа (СЧ) по расчетам за 1940–2015 гг. (ЕОС1–3). Также были вычислены ЕОС4–10, СЧ которых очень малы (табл. 1); ЕОС с такими малыми значениями СЧ трудно подвергаются интерпретации и практически не имеют физического смысла [29]. Были рассчитаны не непрерывные в географическом пространстве поля, а 10-мерные собственные векторы ковариационной матрицы среднемесячной температуры атмосферного воздуха относительно их норм за 75-летний интервал стационарных наблюдений. Распределения на рис. 1 построены путем интерполяции постанционных значений векторов на регулярную сетку с помощью программы Surfer (<https://support.goldensoftware.com>).

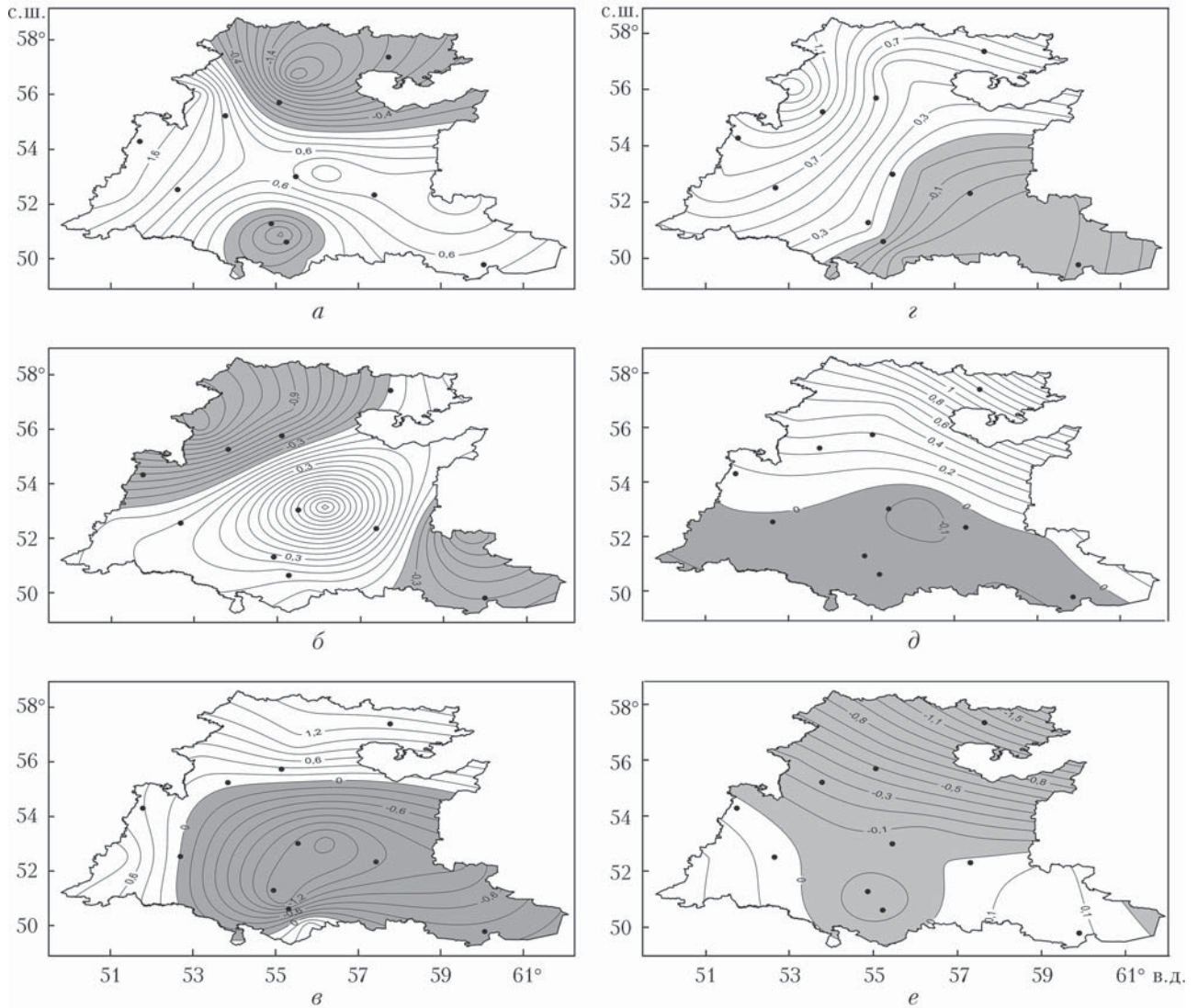


Рис. 1. Пространственное распределение EOC1 (а), EOC2 (б) и EOC3 (е) зимних месяцев (XII–II) и EOC1 (z), EOC2 (д), EOC3 (е) летних месяцев (VI–VIII); точками обозначены положения метеорологических станций

Таблица 1

Значения собственных чисел ковариационных матриц приповерхностной температуры атмосферного воздуха по сезонам и доли EOC1–10 в дисперсии разложения

Зима (XII–II)			Лето (VI–VIII)		
СЧ	Дисперсия	Суммарная дисперсия	СЧ	Дисперсия	Суммарная дисперсия
25,50	53,83	53,83	22,37	87,15	87,15
7,35	30,97	82,80	6,12	6,31	93,46
4,89	8,26	91,06	3,52	3,72	97,18
3,75	3,05	94,11	1,53	1,17	98,35
1,40	1,95	96,09	0,59	0,59	98,94
0,71	1,68	97,77	0,33	0,39	99,33
0,32	1,12	98,89	0,15	0,28	99,61
0,17	1,07	99,96	0,07	0,19	99,98
0,05	0,04	100,00	0,03	0,02	100,00
0,01	0	100,00	0,01	0	100,00

EOC1 летнего и зимнего сезонов (рис. 1, а, z) представляет аномалии противоположных знаков, имеющих дипольную структуру в направлении север–юг. Для зимнего сезона характерна отрица-

тельная аномалия южных станций, возникновение которой может быть обусловлено влиянием сухих и холодных среднеазиатских воздушных масс. EOC2 зимнего сезона представляет собой триполь-

с положительным очагом в центре и двумя отрицательными – на северо-западе и юго-востоке исследуемой территории. В летний сезон ЕОС2 представляет собой два обширных экстремума аномалий температуры разных знаков с центрами на северо-востоке (положительная) и юго-западе (отрицательная), что может объясняться доминирующими направлениями перемещения воздушных масс в регионе. У ЕОС3 летних месяцев экстремумы аномалий температуры находятся преимущественно на северо-востоке (отрицательная) и южных частях региона (положительная). Для ЕОС3 зимних месяцев характерен отрицательный очаг температурной

аномалии на юго-востоке, простираение которого совпадает с распространением отрога Сибирского (Азиатский максимум) антициклона.

Для выявления связи ЕОС среднемесячной температуры с основными модами изменчивости (САК, АМК, Скандинавское колебание, АК, ПЕ и ВАЗРК) был проведен корреляционный анализ, результаты которого представлены в табл. 2. Временная динамика индексов, характеризующих интенсивность некоторых мод климатической изменчивости вместе с временными коэффициентами мод изменчивости среднемесячной температуры воздуха, показана на рис. 2.

Таблица 2

Корреляции ЕОС1–3 зимнего и летнего сезонов с основными климатическими индексами													
ЕОС	АМК		САК		Скандинавский		АК		ПЕ		ВАЗРК		
	$r$	$\sigma_r$	$r$	$\sigma_r$	$r$	$\sigma_r$	$r$	$\sigma_r$	$r$	$\sigma_r$	$r$	$\sigma_r$	
<i>Зима</i>													
1	0,04	±0,12	<b>0,64</b>	±0,07	-0,24	±0,13	<b>0,58</b>	±0,08	0,03	±0,12	0,15	±0,11	
2	-0,12	±0,12	-0,20	±0,13	-0,02	±0,12	-0,16	±0,13	-0,04	±0,12	-0,07	±0,12	
3	0,17	±0,11	<b>-0,48</b>	±0,14	-0,13	±0,13	<b>-0,33</b>	±0,14	-0,04	±0,12	-0,05	±0,12	
<i>Лето</i>													
1	<b>0,56</b>	±0,08	0,05	±0,11	-0,22	±0,13	0,05	±0,11	0,04	±0,12	<b>-0,76</b>	±0,16	
2	<b>0,35</b>	±0,09	-0,09	±0,12	-0,15	±0,13	-0,01	±0,12	0,03	±0,12	<b>-0,26</b>	±0,13	
3	-0,09	±0,12	-0,10	±0,12	-0,04	±0,12	-0,01	±0,12	-0,01	±0,12	0,04	±0,12	

Примечание.  $r$  – коэффициент линейной корреляции Пирсона;  $\sigma_r$  – его стандартная ошибка; величины, статистически значимые на уровне 95%, выделены полужирным.

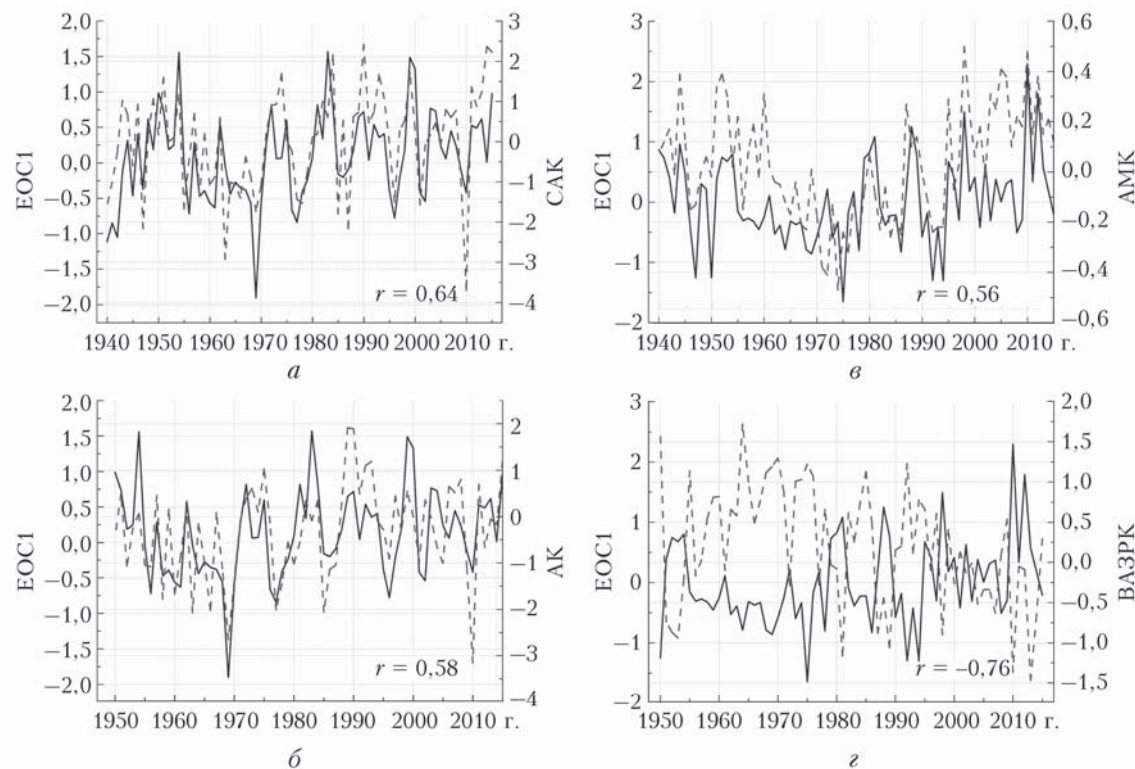


Рис. 2. Динамика климатических индексов САК, АК, АМК и ВАЗРК (шкала справа, пунктирная линия) и отдельных ЕОС1 для зимы (а, б) и лета (в, г) (шкала слева, сплошная линия)

Зимой ведущая ЕОС1 изменчивости приземной температуры связана с САК (и тесно с ним коррелированным АК). Положительные аномалии индекса САК зимой коррелированы с положительными аномалиями приземной температуры в Северной Евразии к северу от  $\sim 45^\circ$  с.ш. и отрицательными аномалиями в Северной Африке и к востоку от Средиземного моря.

Хотя основная часть рассматриваемого региона Южного Урала попадает в область положительных значений ЕОС1 (что соответствует положительным аномалиям температуры), на севере и юге отмечаются регионы с отрицательными аномалиями (см. рис. 1, *a*). Антикорреляция температурных аномалий на двух северных станциях и в центральной части региона отмечалась ранее [30]. Причиной такой пространственной структуры может быть недавно выявленная связь между Уральским блокингом/антициклоном и положительной фазой САК [31], что может приводить к отрицательным аномалиям температуры в южной части исследуемого региона на фоне общего потепления в Северной Евразии во время положительной фазы САК.

Летом корреляционный анализ выявил статистически значимые корреляции ЕОС1 с АМК и ВАЗРК. Следует отметить, что летняя ЕОС1 объясняет подавляющую часть общей изменчивости температурных аномалий (87%). Первая связь свидетельствует о значительном влиянии долгопериодных колебаний температуры поверхности океана в Северной Атлантике на региональный климат. Этот результат важен в связи с квазициклическими колебаниями АМК и позволяет использовать его для декадного прогноза климатических изменений в регионе. Отрицательные корреляции с ВАЗРК вызваны особенностью структуры этого индекса — с отрицательными аномалиями давления и температуры в регионе Южного Урала во время положительной фазы ВАЗРК. Поскольку данная мода атмосферной изменчивости связана с процессами в Северной Атлантике [32], то можно заключить, что летняя изменчивость температуры в исследуемом регионе на временных масштабах от междекадного до межгодового тесно связана с климатическими изменениями в Северной Атлантике.

ЕОС1 для зимнего периода, полученные в результате анализа среднемесячной температуры, описывают от 48% в декабре до 58% в феврале ее общей изменчивости. При этом многолетние колебания усредненной по исследуемой территории температуры также в среднем на 40% описываются ЕОС1 (рис. 3, *a*). Принимая во внимания малые масштабы территории Южного Урала, для приземной температуры воздуха зимних месяцев характерна слабая пространственная связанность с малыми значениями коэффициентов корреляции и небольшим заложением изолиний. Последнее обусловлено физической неоднородностью подстилающей поверхности. В целом поля ЕОС1 по отдельным зимним месяцам практически идентичны сезонной ЕОС1, поэтому их пространственные распределе-

ния здесь не приведены. Связь с циркуляционными индексами, полученная в результате корреляционного анализа, показывает, что наибольший вклад в изменчивость зимней температуры на Южном Урале вносят два климатических индекса — САК и АК, представляющие собой аномалии противоположного знака высоты геопотенциала (во всей толще тропосферы) и давления с центрами вблизи Исландской области пониженного давления и Азорского антициклона в Североатлантическом секторе (САК) и Алеутского минимума давления в северной части Тихого океана (АК). С остальными индексами связь оказалась слабой и статистически незначимой. Временная динамика ЕОС2 зимней температуры по региону, описывающая 31% общей изменчивости, слабоотрицательно коррелирует с изменчивостью САК — коэффициент корреляции составляет  $-0,20$  и статистически незначим. Корреляционный анализ выявил тесную (обратную) связь ЕОС3 зимних месяцев (доля которой равна 8% изменчивости) с САК и АК.

В летний период (июнь—август) ЕОС1, полученные в результате анализа средней для лета и за каждый месяц в отдельности температуры приземного воздуха, описывают 87% ее общей изменчивости на исследуемой территории. ЕОС1 по отдельным месяцам составляют в июне 75%, в июле 95%, в августе 89% общей дисперсии. В среднем для лета ЕОС1 хорошо передает колебания средней по территории температуры (корреляция 0,70) (рис. 3, *b*). Поля ЕОС1 аномалии температуры летних месяцев (июнь—август) идентичны сезонным ЕОС1, по этой причине карты по отдельным месяцам не приводятся. Корреляционный анализ выявил тесную связь ЕОС1 для летнего сезона с двумя модами изменчивости: АМК ( $r = 0,56$ ) и ВАЗРК ( $r = -0,76$ ), представляющими долгопериодное изменение приповерхностной температуры в северной части Атлантического океана и распределение аномалий давления над Северной Атлантикой и на западе Восточно-Европейской равнины соответственно. Связь ЕОС1 летних месяцев с другими климатическими индексами оказалась слабой и статистически незначимой. Анализ на тесноту связи колебаний ЕОС2 (6% общей изменчивости) с климатическими индексами аналогичен ЕОС1, значения коэффициента корреляции 0,35 и  $-0,26$  (статистически значимы). Корреляционный анализ ЕОС3 ( $\sim 4\%$  общей дисперсии) не выявил никакой ее статистически значимой связи с климатическими модами.

Для того чтобы оценить вклад изменчивости, связанный с выявленными аномалиями ЕОС, из осредненных по исследуемому региону температурных вариаций были вычтены аномалии температуры, связанные как с ЕОС1–3 по отдельности, так и с суммой ЕОС1, 2, 3. Остаточные аномалии в сравнении с исходными данными представлены на рис. 4, *a–в* для зимнего и рис. 4, *г–е* для летнего периодов. В зимний период на долю ЕОС1 и ЕОС3 приходится 62% общей температурной изменчивости, ЕОС2 не вносит существенного вклада, что продемонстрировано на рис. 4, *б*. Из рис. 4, *a*

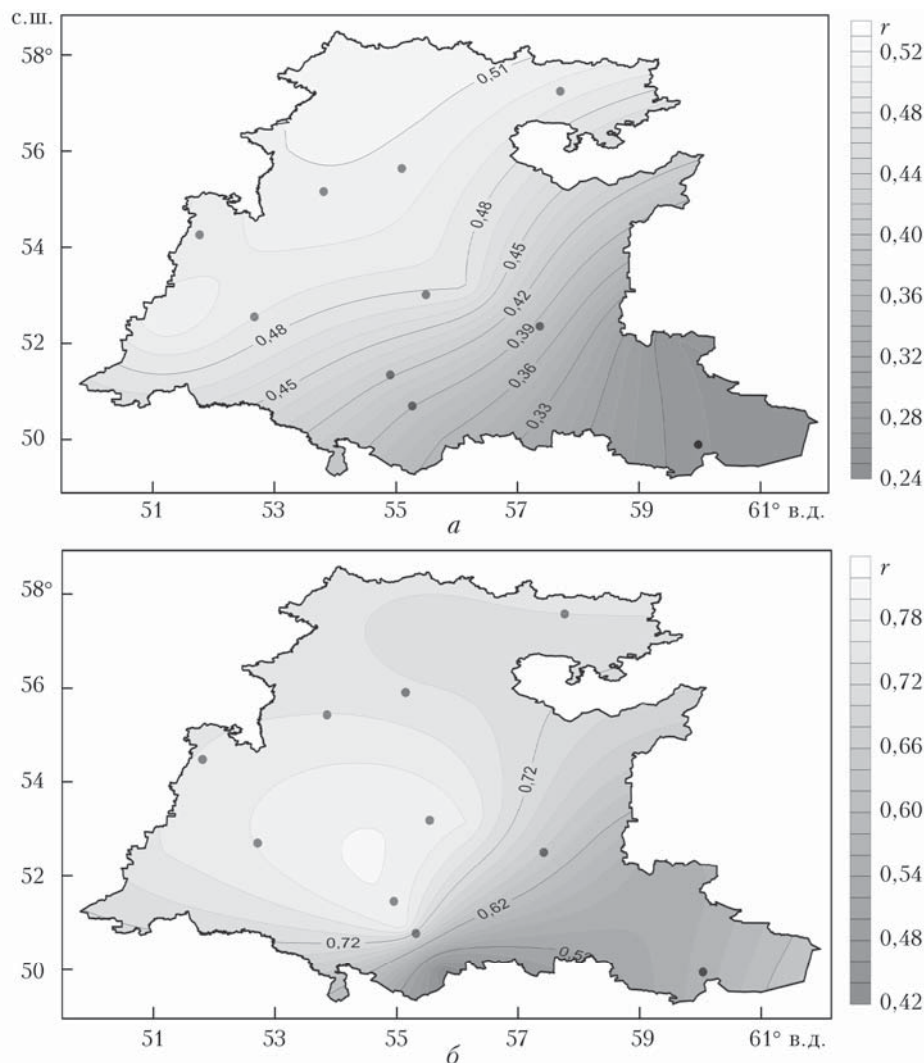


Рис. 3. Пространственное распределение значений коэффициента линейной корреляции  $r$  между временными рядами среднесезонной температуры, осредненной по территории Южного Урала, и временных рядов ЕОС1 для зимы (а) и лета (б)

видно, что вклад ЕОС1 доминирует в течение всего периода наблюдений и показывает положительный тренд. Удаление аномалий среднемесячной температуры воздуха, связанных с ЕОС1–3, приводит к полному исчезновению междекадной (внутривектовой) изменчивости, практически нивелирует температурные флуктуации и тренд почти исчезает. Летний период схож с зимним. На долю первых двух ЕОС также приходится больший вклад, влияние ЕОС3 незначительно, удаление первых трех ЕОС приводит к невозможности оценки тренда в колебаниях приземной температуры воздуха.

### Заключение

Используя метод разложения на ЕОС, были проанализированы среднемесячные значения приповерхностной температуры воздуха по десяти метеорологическим станциям Южного Урала, вычислены корреляционные и ковариационные матрицы станционных наблюдений и их СЧ. Установлено,

что на долю первых семи ЕОС приходится 99% всей изменчивости. Получено распределение ЕОС1–10, на основе которого выявлена пространственная структура колебаний среднемесячной температуры воздуха. Изменчивость среднесезонных полей приземной температуры достаточно полно (более чем на 90% изменчивости зимой и 97% летом) описывается первыми тремя ЕОС. ЕОС1 – ведущая мода изменчивости зимнего периода, на долю которой приходится основной вклад (54%); она хорошо коррелирована с САК и АК и слабо – с индексами АМК, Скандинавским, ПЕ, ВАЗРК. Такое свидетельство тесной связи временной эволюции приземной температуры на Южном Урале в зимний период с АК и его региональной компонентой САК [33–36] позволяет объяснить структуру температурных изменений в регионе, расположенном в зоне смены знака температурных аномалий, связанных с САК/АК. В течение положительной фазы САК зимой усиление западного переноса севернее 50° с.ш. приводит к потеплению над северной

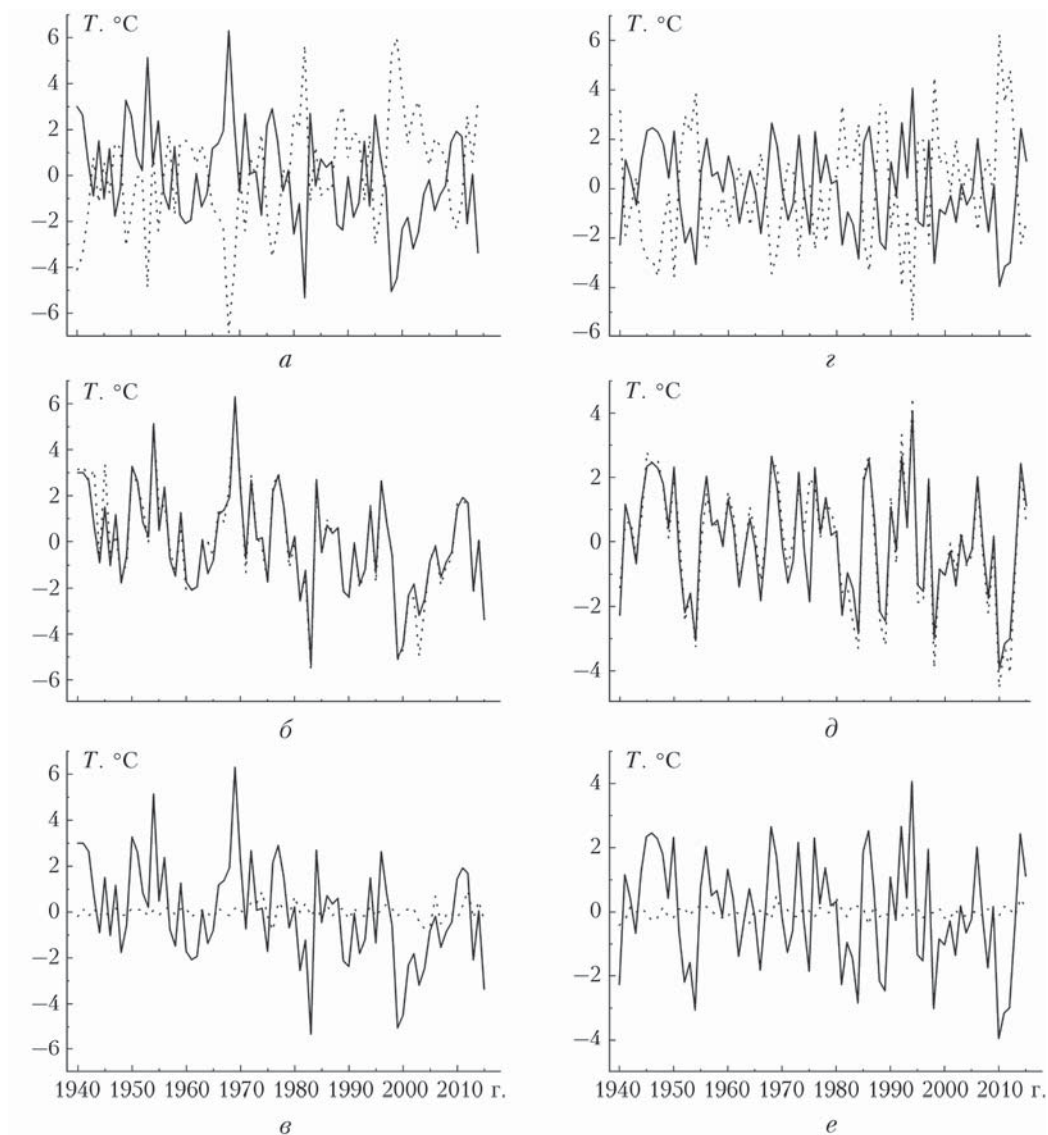


Рис. 4. Зимняя температурная аномалия по Южному Уралу (сплошная кривая) и с вычетом (пунктирная кривая) изменчивости, относящейся к суммарному вкладу ЕОС1 (а), ЕОС2 (б), ЕОС1 + 3 (в); летняя температурная аномалия по Южному Уралу (сплошная кривая) и с вычетом (пунктирная кривая) изменчивости, относящейся к суммарному вкладу ЕОС1 (г), ЕОС2 (д), ЕОС1 + 2 (е)

частью региона, за исключением крайних северных станций, где отрицательная аномалия температуры на положительной фазе САК может быть связана с усилением Уральского антициклона/блокинга, что отмечено в недавнем исследовании [30]. Похолодание над южной частью региона может объясняться усилением субтропического антициклона во время положительной фазы САК. Учитывая, что САК/АК связаны с внутренней изменчивостью атмосферной циркуляции, приходим к заключению, что региональные колебания температуры, в том числе на декадном масштабе, главным образом связаны с внутренней стохастической динамикой атмосферы.

Выявлена значительная положительная корреляция ЕОС1 летнего сезона с индексом АМК (0,56) и отрицательная с ВАЗРК (-0,76), что дает возможность связать летние температурные аномалии на Южном Урале с квазипериодическими колеба-

ниями меридионального переноса тепла в Северной Атлантике — главным механизмом, отвечающим за формирование низкочастотной изменчивости температуры поверхности океана и потоков тепла на границе раздела «океан—атмосфера». Поскольку АМК достаточно инерционно и квазициклично [37, 38], то значимая корреляция с ним позволяет использовать этот индекс для улучшения декадного прогноза изменений летнего климата в регионе. В частности, происходящий в настоящее время переход АМК в отрицательную фазу указывает на возможность замедления потепления летом в регионе в целом (за исключением его юго-восточной части) в ближайшие 2–3 десятилетия. Высокая обратная связь летней температуры на Южном Урале с индексом ВАЗРК, представляющим три очага аномалий давления, локализованных над Канарскими островами, Великобританией и Черным морем

[39–41], указывает на соответствующие процессы усиления зонального переноса и ослабление частоты блокирования в атмосфере. Результаты, полученные в нашей работе, согласуются с выводами других исследований [42, 43].

Авторы выражают искреннюю признательность Башкирскому УГМС, Оренбургскому ЦГМС Приволжского УГМС Росгидромета, лично В.З. Горохольской и М.С. Утесеновой за предоставленные данные инструментальных наблюдений по температуре воздуха.

Работа выполнена по теме Госзадания 0148-2014-0015 (рег. № 01201352488).

1. МГЭИК: Изменение климата, 2013 г.: Физическая научная основа. Вклад рабочей группы I в Пятый оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата / под ред. Т.Ф. Стокера, Д. Куина. Кембридж, Нью-Йорк: МГЭИК, 2013. 1535 с.
2. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М.: Росгидромет, 2014. 59 с.
3. Мохов И.И., Семенов В.А. Погодно-климатические аномалии в российских регионах и их связь с глобальными изменениями климата // Метеорол. и гидрол. 2016. № 2. С. 16–28.
4. Стерин А.М., Тимофеев А.А. Об оценке трендов приземной температуры воздуха для территории России методом квантильной регрессии // Метеорол. и гидрол. 2016. № 6. С. 17–30.
5. Чередыко Н.Н., Тартаковский В.А., Крутиков В.А., Волков Ю.В. Классификация климатов Северного полушария на основе оценки фазы температурного сигнала // Оптика атмосф. и океана. 2016. Т. 29, № 8. С. 625–632; Cheredko N.N., Tartakovsky V.A., Krutikov V.A., Volkov Yu.V. Climate classification in the Northern Hemisphere using phases of temperature signals // Atmos. Ocean. Opt. 2017. V. 30, N 1. P. 63–69.
6. Hirsch A.L., Wilhelm M., Davin E.L., Thiery W., Seneviratne S.I. Can climate-effective land management reduce regional warming? // J. Geophys. Res.: Atmos. 2017. V. 122, N 4. P. 2269–2288. DOI: 10.1002/2016JD026125.
7. Васильев Д.Ю., Лукманов Р.Л., Феранонтов Ю.И., Чувиров А.Н. Цикличность гидрометеорологических характеристик на примере Башкирии // Докл. АН. 2012. Т. 447, № 3. С. 331–334.
8. Васильев Д.Ю., Сивохин Ж.Т., Чибилев А.А. Динамика климата и внутривековые колебания стока в бассейне реки Урал // Докл. АН. 2016. Т. 469, № 1. С. 102–107.
9. Васильев Д.Ю., Феранонтов Ю.И. Тренды в колебаниях приземной температуры воздуха на примере Башкирии // Изв. РАН. География. 2015. № 1. С. 77–86.
10. Кисилев Б.В. Исследование хаотичности и детерминизма в индексах аномалии приземной температуры методом рекуррентных диаграмм // Изв. РАН. Физ. атмосф. и океана. 2016. Т. 52, № 1. С. 37–41.
11. Корнева И.А., Семенов С.М. Чувствительность температуры земной поверхности к изменению альbedo атмосферы: оценка радиационного эффекта // Метеорол. и гидрол. 2016. № 5. С. 5–11.
12. Семенов В.А. Связь аномально холодных зимних режимов на территории России с уменьшением площади морских льдов в Баренцевом море // Изв. РАН. Физ. атмосф. и океана. 2016. Т. 52, № 3. С. 257–266.
13. Lader R., Bhatt U.S., Walsh J.E., Rupp T.S., Bienenk P.A. Two-meter temperature and precipitation from atmospheric reanalysis evaluated for Alaska // J. Appl. Meteorol. Climatol. 2016. V. 55, N 4. P. 901–922. DOI: 10.1175/JAMC-D-15-0162.1.
14. Turuncoglu U.U., Sannino G. Validation of newly designed regional earth system model (RegESM) for Mediterranean basin // Clim. Dyn. 2017. V. 48. P. 2919–2947. DOI: 10.1007/s00382-016-3241-1.
15. Zhou C., Wang K. Land surface temperature over global desert: Means, variability, and trends // J. Geophys. Res. V. 2016. V. 121. P. 344–357. DOI: 10.1002/2016JD025410.
16. Васильев Д.Ю., Бабков О.К., Кочеткова Е.С., Семенов В.А. Вейвлет и кросс-вейвлет анализ сумм атмосферных осадков и приповерхностной температуры на Европейской территории России // Изв. РАН. География. 2017. № 6. С. 63–77.
17. Васильев Д.Ю., Павлейчик В.М., Семенов В.А., Сивохин Ж.Т., Чибилев А.А. Многолетний режим температуры воздуха и атмосферных осадков на территории Южного Урала // Докл. АН. 2018. Т. 478. № 5. С. 588–592.
18. Чернокульский А.В., Курганский М.В., Захарченко Д.И., Мохов И.И. Условия формирования и характеристики сильного смерча на Южном Урале 29 августа 2014 года // Метеорол. и гидрол. 2015. № 12. С. 29–37.
19. Новицкий М.А., Павлюков Ю.Б., Шмерлин Б.Я., Махнорылова С.В., Серебрянник Н.И., Петриченко С.А., Тереб Л.А., Калмыкова О.В. Башкирский смерч: возможности анализа и прогноза смерчопасной ситуации // Метеорол. и гидрол. 2016. № 10. С. 30–40.
20. Matishov G.G., Dzhenyuk S.L., Moiseev D.V., Zhichkin A.P. Pronounced anomalies of air, water, ice conditions in the Barents and Kara seas, and the sea of Azov // Oceanologia. 2014. V. 56, N 3. P. 445–460. DOI:10.5697/oc.56-3.445.
21. Обухов А.М. О статистических ортогональных разложениях эмпирических функций // Изв. АН СССР. Геофизика. 1960. № 3. С. 432–439.
22. Даценко Н.М., Перфилов В.И., Сонечкин Д.М. Методика расчета естественных составляющих метеорологических полей // Изв. АН СССР. Физ. атмосф. и океана. 1983. Т. 19, № 4. С. 348–356.
23. Даценко Н.М., Иващенко Н.Н., Сонечкин Д.М. Свойства и изменения естественных ортогональных составляющих температурных полей Северной Евразии в XX веке // Изв. РАН. Физ. атмосф. и океана. 2011. Т. 47, № 1. С. 35–49.
24. Виноградова Г.М., Завалишин Н.Н., Кузин В.И., Пушистов П.Ю. О внутривековой изменчивости климата Западной Сибири // Оптика атмосф. и океана. 1999. Т. 12, № 6. С. 494–498.
25. Виноградова Г.М., Завалишин Н.Н., Кузин В.И. Изменчивость сезонных характеристик климата Сибири в течении XX века // Оптика атмосф. и океана. 2000. Т. 13, № 6–7. С. 604–607.
26. Виноградова Г.М., Завалишин Н.Н., Кузин В.И. Внутривековые изменения климата Восточной Сибири // Оптика атмосф. и океана. 2002. Т. 15, № 5–6. С. 408–411.
27. Казан Р.Л. Осреднение метеорологических полей. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 204 с.
28. Исаев А.А. Статистика в метеорологии и климатологии. М.: Изд-во МГУ, 1988. 248 с.



29. North G.R., Bell T.L., Cahalan R.F., Moeng F.J. Sampling errors in the estimation of empirical orthogonal functions // *Mon. Weather Rev.* 1982. V. 110, N 7. P. 699–706.
30. Luo D., Xiao Y., Yao Y., Dai A., Simmonds I., Franke C.L.E. Impact of Ural blocking on winter warm arctic–cold Eurasian anomalies. Part I: Blocking-induced amplification // *J. Clim.* 2016. V. 29, N 11. P. 3925–3947.
31. Luo D., Xiao Y., Yao Y., Dai A., Simmonds I., Franke C.L.E. Impact of Ural blocking on winter warm arctic–cold Eurasian anomalies. Part II: The link to the North Atlantic oscillation // *J. Clim.* 2016. V. 29, N 11. P. 3949–3971.
32. Barnston A.G., Livezey R.E. Classification, seasonality, and persistence of low frequency atmospheric circulation patterns // *Mon. Weather Rev.* 1987. V. 115. P. 1083–1126.
33. Бардин М.Ю., Полонский А.Б. Североатлантическое колебание и синоптическая изменчивость в Европейско-Атлантическом регионе в зимний период // *Изв. РАН. Физ. атмосф. и океана.* 2005. Т. 41, № 2. С. 3–13.
34. Курбаткин Г.П., Смирнов В.Д. Межгодовые вариации температуры тропосферы, связанные с декадными изменениями Североатлантического колебания // *Изв. РАН. Физ. атмосф. и океана.* 2010. Т. 46, № 4. С. 435–447.
35. Friederichs P., Hense A. Statistical inference in canonical correlation analyses exemplified by influence of North Atlantic SST on European climate // *J. Clim.* 2003. V. 16, N 3. P. 522–534.
36. Hurrell J.W., Kushnir Y., Ottersen G., Visbeck M. An overview of the North Atlantic oscillation: Climatic significance and environmental impact // *The North Atlantic Oscillation: Climatic Significance and Environmental Impact.* Washington D.C.: American Geophysical Union, 2003. P. 1–35. DOI: 10.1029/134GM01.
37. Семенов В.А., Шелехова Е.А., Мохов И.И., Зуев В.В., Колтерманн К.П. Влияние атлантического долгопериодного колебания на формирование аномальных климатических режимов в регионах северной Евразии по модельным расчетам // *Докл. АН.* 2014. Т. 459, № 6. С. 742–745.
38. Fyfe J.C., Gillett N.P., Zwiers F.W. Overestimated global warming over the past 20 years // *Nat. Clim. Change.* 2013. V. 3. P. 767–769.
39. Нестеров Е.С. О влиянии Североатлантического и Восточно-Атлантического колебаний на формирование опасного волнения в Северной Атлантике // *Тр. Гидрометцентра России.* 2016. № 362. С. 83–91.
40. Barnston A.G., Livezey R.E. Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns // *Mon. Weather Rev.* 1987. V. 115. P. 1083–1126.
41. Wallace J.M., Gutzler D.S. Teleconnections in the geopotential height field during the Northern hemisphere winter // *Mon. Weather Rev.* 1981. V. 109. P. 784–812.
42. Семенов В.А. Структура изменчивости температуры в высоких широтах Северного полушария // *Изв. РАН. Физ. атмосф. и океана.* 2007. Т. 43, № 6. С. 1–10.
43. Попова В.В., Шмакин А.Б. Региональная структура колебаний температуры приземного воздуха в Северной Евразии во второй половине XX – начале XXI веков // *Изв. РАН. Физ. атмосф. и океана.* 2010. Т. 46, № 2. С. 161–175.

*D.Yu. Vasil'ev, O.K. Babkov, I.R. Davliev, V.A. Semenov, O.I. Christodulo.* **Spatiotemporal structure of surface air temperature fluctuations in the Southern Urals.**

The analysis of the monthly average surface air temperatures for the 1940–2015 period is provided based on observations of a network of meteorological stations in the Southern Urals. The temperature series expansion into empirical orthogonal components (EOC) is used for the study of the spatiotemporal structure. The correlation analysis of the EOC for winter and summer with the main large-scale natural climate variability modes of the Northern hemisphere is carried out. The first leading EOC describes a positive temperature trend and makes the main contribution into the temperature variability. For the winter season, the leading mode is associated with North Atlantic oscillation. For summer, a significant contribution of the Atlantic multi-decadal fluctuation and East-Atlantic-Western-Russian index is revealed; this finding can be used to improve the forecast of climate change in the coming decades for the region under study. In general, the results indicate a significant impact of natural climatic variability on the temperature regime as well as a possible difficulty in isolating the anthropogenic component of climate change in the region.