

**МЕТЕОРОЛОГИЯ / METEOROLOGY**

УДК 551.513

**РАЗЛОЖЕНИЯ ПОЛЕЙ АНОМАЛИЙ СРЕДНЕМЕСЯЧНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ  
ПО ЕСТЕСТВЕННЫМ ОРТОГОНАЛЬНЫМ ФУНКЦИЯМ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ РЕАНАЛИЗА НА ТЕРРИТОРИИ  
УЗБЕКИСТАНА И СОПРЕДЕЛЬНЫХ СТРАН****М.Л. АРУШАНОВ<sup>1\*</sup>, А.И. ВДОВЕНКО<sup>2</sup>**<sup>1</sup> Научно-исследовательский гидрометеорологический институт, mikl-arushanov@rambler.ru<sup>2</sup> Центр гидрометеорологической службы Республики Узбекистан

**Аннотация.** В метеорологии разложение метеорологических полей по фиксированным функциям (сферическим, тригонометрическим, полиномов Чебышева, в ряд Фурье и пр.) широко используется для решения задач объективного анализа, численного моделирования и прогноза. Особое внимание, начиная с работ Н.А.Багрова, А.М.Обухова, уделяется разложению по системе естественных ортогональных функций (ЕОФ). Исходными данными для разложений метеорологических полей являются, как правило, данные наземной метеорологической сети наблюдений. Начиная с 90-ых годов прошлого столетия данные всех доступных метеорологических измерений ассимилируются на регулярную широтно-долготную сетку в виде реанализов. Эти данные, полученные как согласование всех имеющихся методов наблюдений, представляются достаточно надёжными в плане их точности.

В данной статье использованы данные реанализа ECMWF ERA-40 среднемесячной приземной температуры воздуха для территории, ограниченной широтами 37,5°-47,5° с.ш. и долготами 55,0°-75,0° в.д., в целях оценки информационного содержания разложения температуры по системе естественных ортогональных функций с помощью минимального числа параметров. Получены пространственные корреляционные матрицы среднемесячной температуры воздуха, их собственные числа и собственные векторы, выполнены оценки скорости сходимости разложения, корреляционной связи главных компонент поля среднемесячной температуры с исходным полем. Представлены распределения дисперсий, средних величин и первых естественных составляющих среднемесячной температуры воздуха на территории Узбекистана для каждого месяца года по выборкам 1954-1986 гг. и 1987-2018 гг.

**Ключевые слова:** среднемесячная температура, корреляционная матрица, собственные числа, собственные векторы, главные компоненты, коэффициенты разложения, скорость сходимости.

**Введение.** В метеорологии среднемесячная температура является одним из основных параметров долгосрочного прогноза. С этой точки зрения она представляет большой практический интерес, а её прогноз на сегодняшний день остаётся до конца не решённой проблемой. Детерминированные гидродинамические методы прогноза ограничены естественным фактором – пределом предсказуемости [Мусаелян, 1984], а относительная успешность прогнозов, полученных динамико-стохастическими методами, определяется степенью устойчивости полученных регрессионных уравнений, которая, в свою очередь, зависит от степени изменчивости прогнозируемой величины, определяемая многочисленными факторами.

Начиная с работ [Багров, 1958; Обухов, 1960] и их последователей [Мещерская,

---

\* Ответственный автор: mikl-arushanov@rambler.ru, тел.: +998 90 997-61-46

Яковлева, 1968; Мартемьянов, Овчинникова, 1967; Мещерская и др., 1970; Гример, 1963; Арушанов, 1983] в целях улучшения точности объективного анализа и решения проблемы устойчивости динамико-стохастических моделей прогноза, в качестве разложений метеорологической величины используются разложения по системе собственных векторов корреляционной матрицы менее изменчивых относительно исходных метеорологических величин, что явилось причиной столь внимательного изучения разложений по системе естественных ортогональных функций (ЕОФ). Эти свойства зависят от структуры корреляционных матриц, определяющих в пространственном, временном и пространственно-временном измерениях прочность соответствующих связей.

Для практического применения ЕОФ необходимо исследовать особенности их скорости сходимости и устойчивости касаясь той или иной метеорологической величины для данной географической области, как функций месяца, сезона, года, а также особенности их пространственного распределения по изучаемой географической территории, тем самым определить информационное содержание исследуемых разложений. Этому вопросу посвящена настоящая статья на примере аномалий среднемесячной приземной температуры воздуха применительно к территории Узбекистана и сопредельных стран.

**Исходные данные и метод исследования.** В качестве метеорологической величины рассматривается средняя месячная температура воздуха данных реанализа ECMWF ERA-40 [Gibson et al., 1994] на территории ограниченной широтами 37,5-47,5° и долготами 55,0-75,0° в узлах сетки с шагом 2,5°. Период выборки составляет 65 лет (1954-2018 гг.). По данным этой выборки построены аномалии среднемесячной температуры для всех узлов сетки.

В рассмотрении вводится система функций  $\varphi(x_k)$ , заданных в точках  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ , удовлетворяющая условию [Мещерская и др., 1970]

$$\sum_{k=1}^n \varphi_k(x_k) \varphi_\beta(x_k) = \varrho_{\alpha\beta} = \begin{cases} 1 & \text{при } \alpha=\beta, \\ 0 & \text{при } \alpha \neq \beta. \end{cases} \quad (1)$$

Тогда, метеорологическая величина – функция  $f(x_k)$  представляется в виде разложения:

$$f_k = \sum_{\alpha=1}^n a_\alpha \varphi_{\alpha k}, \quad k=1, 2, \dots, n. \quad (2)$$

Для сокращения записи приняты обозначения:  $f(x_k) = f_k$ ;  $\varphi(x_k) = \varphi_k$ .

В (2) – коэффициенты разложения, определяемые выражением

$$a_\beta = \sum_{\kappa=1}^n f_\kappa \varphi_{\beta \kappa}. \quad (3)$$

В работе [Мещерская и др., 1970] показано, что представления функции  $f$  в виде (2) с минимальной средней квадратичной погрешностью

$$\delta^2 = \left( f_k - \sum_{\alpha=1}^m a_\alpha \varphi_{\alpha k} \right) = \min \text{ при } m=1, 2, \dots, n-1$$

и задача разложения функции  $f$  на некоррелированные компоненты  $\overline{a_\alpha a_\beta} = 0$  при  $\alpha \neq \beta$ , приводят к одному и тому же результату – системе однородных уравнений вида

$$\sum_{j=1}^n B_{kj} \varphi_{\beta j} = \lambda_{\beta} \varphi_{\beta k}, \quad k=1, 2, \dots, n; \beta=1, 2, \dots, n. \quad (4)$$

Уравнение (4) означает, что при действии некоторого линейного оператора  $B$  вектор  $\varphi$  преобразуется в коллинеарный вектор  $\lambda\varphi$ . Вектор, обладающий таким свойством, называется собственным вектором линейного преобразования  $B$ , а число  $\lambda$  – собственным значением [Фадеев и Фадеева, 1962]. Таким образом, разложение (2) представляет собой разложение метеорологической величины по системе собственных векторов корреляционной матрицы  $|B_k|$ . Поскольку матрица  $|B_k|$  является вещественной симметрической, то её собственные числа  $\lambda_k$  вещественны, а собственные векторы – ортогональны. В силу положительно определённой корреляционной матрицы все собственные числа положительны [Гантмахер, Крейн, 1950].

Численное решение системы (4) и разложение (2) были выполнены для отклонений среднемесячной температуры от выборочной нормы за два тридцатилетних периода времени (1954-1986 гг. и 1987-2018 гг.) по специально разработанной программе на FORTRAN 90 в оболочке *Microsoft Developer Studio*. Для расчёта собственных векторов и собственных чисел использован метод вращения Якоби [Деммель, 2001]. Собственные векторы упорядочиваются в порядке убывания собственных чисел.

**Оценка динамики корреляционных функций по двум тридцатилетним выборкам.** Территория, по которой вычислялись корреляционные функции горизонтальных координат (корреляционные матрицы) аномалий средней месячной температуры воздуха по данным реанализа за каждый месяц года в узлах сетки 5x9 по двум тридцатилетним выборкам показана на рис. 1.

В целях анализа динамики корреляционных функций (корреляционных матриц) среднемесячной температуры горизонтальных координат (расстояний), последние рассчитывались для каждого месяца года по выборкам 1954-1986 гг. и 1987-2018 гг. с полюсами, расположенных в точках: в верхнем левом углу (рис. 1) с координатами 47,5° с.ш., 55° в.д.; в нижнем левом углу – 37,5° с.ш., 55° в.д.; в центре территории – 42,5° с.ш., 65° в.д.; в нижнем правом углу – 37,5° с.ш., 75° в.д. Смысл выбранных координат полюсов корреляционной функции прозрачен – учёт направлений основных течений атмосферных процессов на рассматриваемой территории.

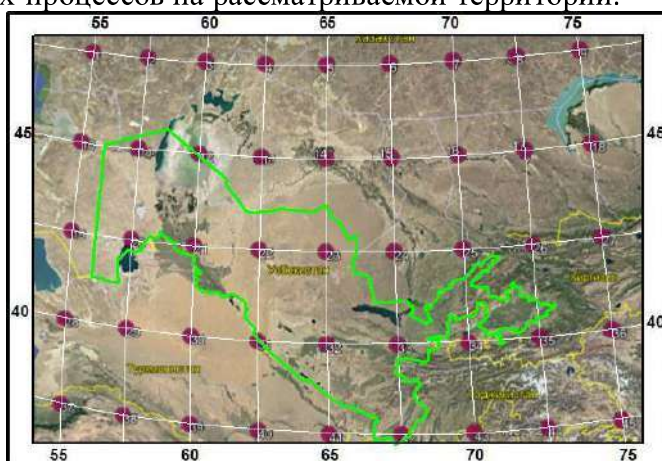
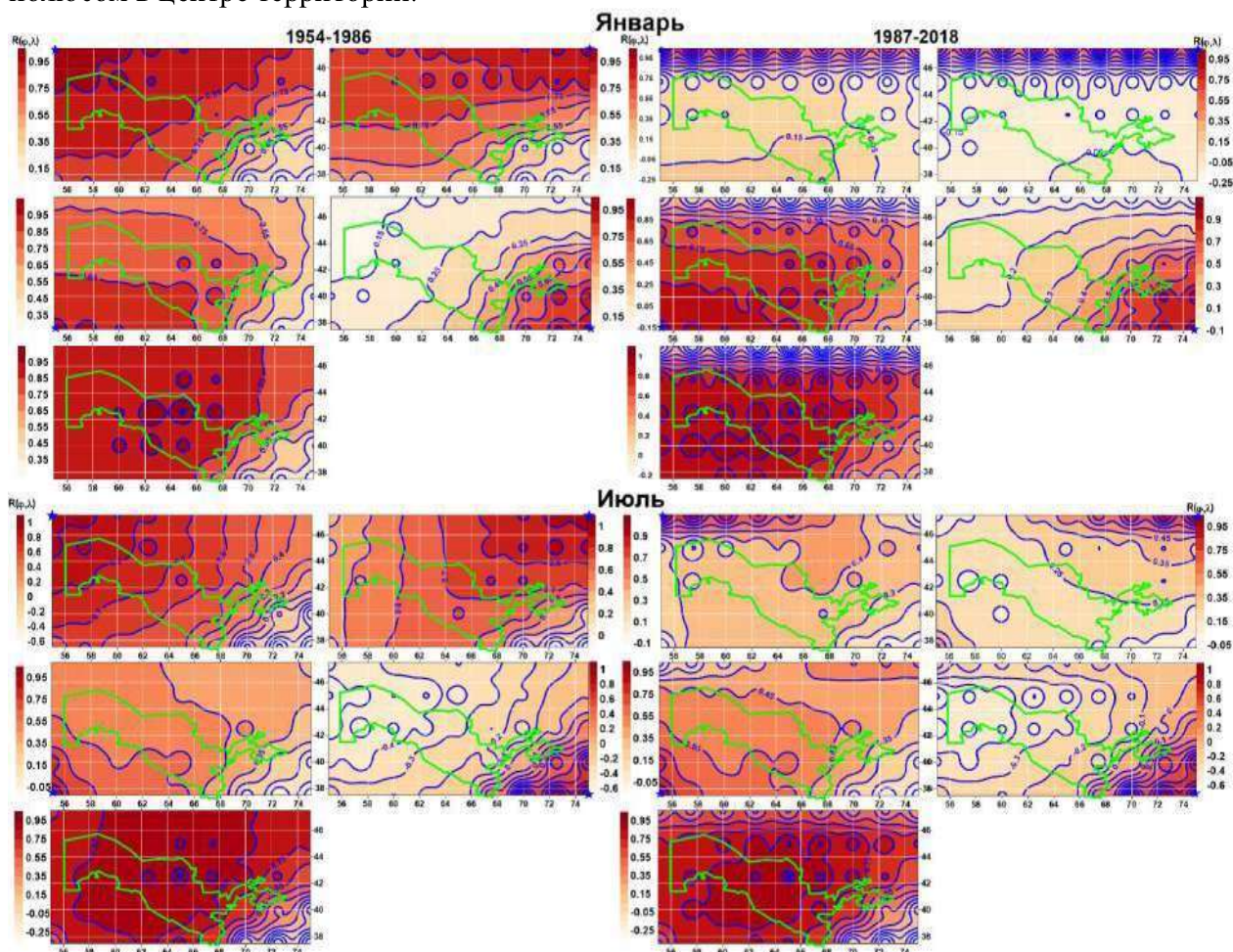


Рис. 1. Территория, по которой выполнялось разложение аномалий средней месячной температуры по ЕОФ, ● – узлы сетки с данными

Fig. 1. Territory over which the decomposition of the average monthly temperature anomalies according to the NOF was carried out, ● – grid nodes with data

На рис. 2 приведено пространственное распределение корреляционных функций для января и июля месяцев. Первая особенность распределений корреляционных функций – их существенная пространственная анизотропия.

В целях более детального исследования свойств анизотропии корреляционных функций среднемесячной температуры были рассчитаны анизотропные корреляционные функции для каждого месяца года (рис. 3) в направлениях: восток-запад (E-W), север-юг (N-S), север-запад – юго-восток (NW-SE), юго-запад – северо-восток (SW-NE) и с полюсом в центре территории.



**Рис. 2. Пространственное распределение корреляционных функций с полюсом в четырёх точках, рассчитанных по двум тридцатилетним выборкам, \* – точка полюса**

**Fig. 2. Spatial distribution of correlation functions with a pole at four points, calculated from two thirty-year-old samples, \* – polepoint**

Как следует из рисунков 2 и 3 кривые изменения корреляционных функций подобны для фиксированного направления. При этом второй важной особенностью, рассчитанных корреляционных функций по двум тридцатилетним периодам, является их значительное отличие. Это важный фактор указывает на значительную перестройку циркуляционных атмосферных процессов за последнее тридцатилетие на исследуемой территории согласно наблюдаемым глобальным климатическим изменениям. Поскольку структура корреляционной матрицы определяет ЕОФ, то в целом указанные изменения непременно должны быть отображены в их распределении.

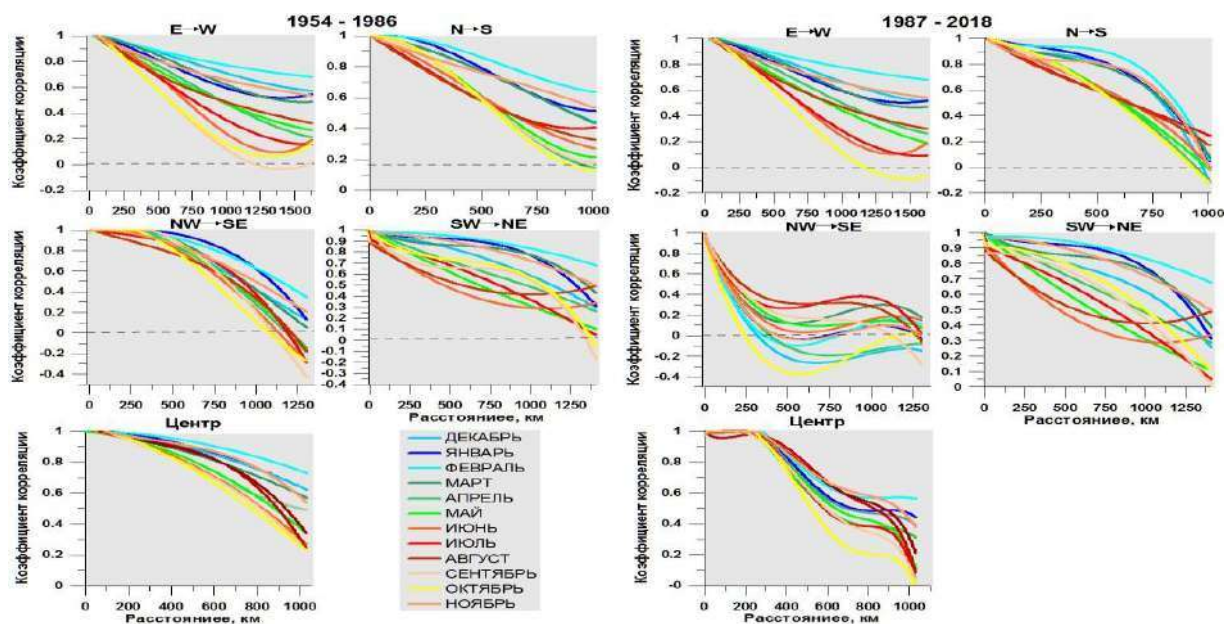


Рис. 3. Анизотропные корреляционные функции средней месячной температуры, рассчитанные по двум тридцатилетним выборкам

Fig. 3. Anisotropic correlation functions of the average monthly temperature, calculated from two thirty-year samples

**Устойчивость ЕОФ аномалий средней месячной температуры.** На первом этапе были вычислены нормы среднемесячной температуры по данным двух периодов (1854-1986 гг. и 1987-2018 гг.) и её аномалии.

В нашем исследовании важной представляется оценка различия норм среднемесячных температур, вычисленных по двум тридцатилетиям. Результаты оценки в виде их разностей для января и июля месяцев показаны на рис. 4, а для всех месяцев – в табл. 1. Как видно из рис. 4 и табл. 1 между нормами двух базисных периодов средней месячной температуры, знаки распределения различны: выделяются обширные области (особенно в июле месяце), где разности отрицательные. Иначе говоря, изменение температуры на фоне глобального положительного тренда за последнее тридцатилетие в этих областях имеет отрицательный тренд и зависит от месяца года. Указанная выше региональная особенность подлежит специальному исследованию для понимания причин, определяющих отрицательный тренд в этих областях. С позиций же ЕОФ за счёт векового хода средней месячной температуры должны быть некоторые различия в ЕОФ аномалий средней месячной температуры, определённых по двум выборкам.

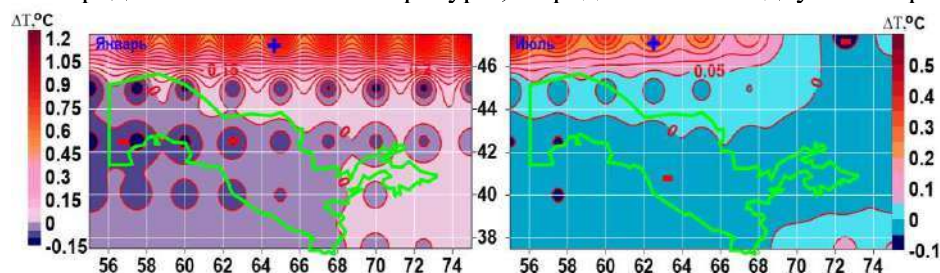


Рис. 4. Разности норм средней месячной температуры, вычисленной по данным 1987-2018 гг. и 1954-1986 гг.

Fig. 4. Differences in the norms of the average monthly temperature, calculated according to the data of 1987-2018 and 1954-1986

Таблица 1

Разности норм средней месячной температуры воздуха по месяцам года  
между двумя периодами:  $\Delta T = T_{\text{norm}}(1987-2018) - T_{\text{norm}}(1954-1986)$

Table 1

Differences in the norms of the average monthly air temperature by months of the year  
between two periods:  $\Delta T = T_{\text{norm}}(1987-2018) - T_{\text{norm}}(1954-1986)$

$\lambda$	$\varphi$	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
55.0	47.5	0.34	0.85	1.13	0.18	0.07	1.14	0.54	1.22	0.55	1.38	-0.30	0.29
57.5	47.5	0.78	1.28	1.42	0.41	0.20	1.29	0.41	1.37	0.55	1.63	-0.05	0.5
60.0	47.5	0.86	1.36	1.70	0.75	0.41	1.43	0.36	1.47	0.66	1.69	0.09	0.86
62.5	47.5	0.87	1.42	2.06	1.07	0.68	1.52	0.33	1.53	0.82	1.71	0.21	1.07
65.0	47.5	0.89	1.41	2.23	1.15	0.83	1.5	0.28	1.55	0.91	1.75	0.37	1.11
67.5	47.5	0.87	1.30	2.06	1.05	0.82	1.33	0.20	1.43	0.80	1.67	0.41	1.17
70.0	47.5	0.89	1.32	1.85	0.96	0.71	1.07	0.04	1.14	0.57	1.5	0.35	1.41
72.5	47.5	1.03	1.56	1.82	0.96	0.6	0.84	-0.08	0.87	0.38	1.34	0.37	1.98
75.0	47.5	1.16	1.73	1.86	1.10	0.62	0.78	0.02	0.76	0.35	1.26	0.56	2.64
55.0	45.0	-0.13	-0.03	0.03	-0.11	0.00	-0.08	-0.03	-0.05	-0.10	0.02	0.04	-0.08
57.5	45.0	-0.13	-0.02	0.03	-0.09	-0.00	-0.06	-0.03	-0.04	-0.10	0.02	0.04	-0.06
60.0	45.0	-0.12	0.00	0.04	-0.07	-0.02	-0.03	-0.03	-0.02	-0.08	-0.00	0.04	-0.03
62.5	45.0	-0.10	0.01	0.05	-0.05	-0.04	-0.00	-0.03	-0.02	-0.08	-0.02	0.03	-0.03
65.0	45.0	-0.09	0.01	0.05	-0.04	-0.05	0.00	-0.01	-0.02	-0.08	-0.01	0.01	-0.04
67.5	45.0	-0.11	-0.01	0.04	-0.03	-0.06	0.01	-0.00	-0.01	-0.08	-0.01	0.01	-0.05
70.0	45.0	-0.13	-0.04	0.03	-0.02	-0.05	0.01	0.00	-0.00	-0.07	-0.02	0.02	-0.06
72.5	45.0	-0.12	-0.05	0.02	-0.01	-0.05	0.00	-0.01	-0.00	-0.07	-0.01	0.02	-0.07
75.0	45.0	-0.09	-0.02	0.02	-0.00	-0.05	0.00	-0.03	-0.01	-0.05	0.02	0.02	-0.07
55.0	42.5	-0.12	-0.07	0.04	-0.10	-0.01	-0.06	-0.05	-0.07	-0.12	-0.01	0.01	-0.09
57.5	42.5	-0.12	-0.05	0.06	-0.08	-0.02	-0.05	-0.05	-0.05	-0.11	-0.01	0.01	-0.07
60.0	42.5	-0.12	-0.03	0.07	-0.05	-0.04	-0.03	-0.04	-0.03	-0.09	-0.04	0.02	-0.05
62.5	42.5	-0.11	-0.01	0.09	-0.03	-0.04	-0.01	-0.02	-0.01	-0.09	-0.05	0.02	-0.05
65.0	42.5	-0.08	-0.00	0.10	-0.00	-0.04	0.00	-0.00	-0.00	-0.09	-0.05	0.00	-0.03
67.5	42.5	-0.06	-0.00	0.11	0.01	-0.05	0.01	-0.00	-0.00	-0.07	-0.04	0.00	-0.01
70.0	42.5	-0.06	-0.03	0.09	0.02	-0.05	0.00	-0.02	-0.00	-0.04	-0.02	0.00	-0.01
72.5	42.5	-0.06	-0.05	0.08	0.02	-0.02	-0.00	-0.03	-0.01	-0.01	0.01	0.00	-0.02
75.0	42.5	-0.03	-0.03	0.07	0.02	0.00	-0.01	-0.04	-0.02	0.00	0.04	0.01	-0.02
55.0	40.0	-0.07	-0.07	0.06	-0.06	-0.01	-0.03	-0.04	-0.04	-0.09	-0.04	-0.01	-0.05
57.5	40.0	-0.07	-0.06	0.07	-0.04	-0.02	-0.03	-0.05	-0.04	-0.10	-0.06	-0.01	-0.04
60.0	40.0	-0.07	-0.04	0.09	-0.03	-0.03	-0.02	-0.05	-0.02	-0.10	-0.07	-0.00	-0.05
62.5	40.0	-0.08	-0.04	0.11	-0.00	-0.03	-0.00	-0.02	-0.00	-0.10	-0.07	0.00	-0.07
65.0	40.0	-0.05	-0.03	0.14	0.02	-0.04	0.00	-0.01	0.00	-0.09	-0.08	0.00	-0.04
67.5	40.0	-0.02	-0.01	0.14	0.04	-0.03	0.02	-0.03	-0.00	-0.06	-0.07	0.00	0.02
70.0	40.0	-0.01	-0.02	0.11	0.04	-0.02	0.03	-0.03	-0.01	-0.00	-0.01	-0.00	0.02
72.5	40.0	0.00	-0.03	0.08	0.03	0.00	0.01	-0.02	-0.01	0.03	0.04	-0.01	0.00
75.0	40.0	0.02	-0.02	0.07	0.04	0.04	0.01	-0.01	-0.00	0.04	0.05	-0.00	-0.01
55.0	37.5	-0.02	-0.05	0.10	-0.01	-0.01	0.00	-0.01	-0.00	-0.03	-0.05	-0.00	0.01
57.5	37.5	-0.01	-0.05	0.10	-0.00	-0.02	-0.00	-0.02	-0.00	-0.05	-0.08	-0.00	0.02
60.0	37.5	-0.03	-0.04	0.10	0.00	-0.03	-0.00	-0.02	-0.01	-0.07	-0.09	0.00	0.00
62.5	37.5	-0.04	-0.05	0.12	0.01	-0.05	-0.01	-0.02	-0.00	-0.07	-0.08	0.00	-0.03
65.0	37.5	-0.03	-0.05	0.13	0.03	-0.04	-0.00	-0.02	0.00	-0.07	-0.09	-0.00	-0.00
67.5	37.5	-0.01	-0.03	0.12	0.04	-0.00	0.03	-0.01	-0.00	-0.05	-0.05	-0.00	0.03
70.0	37.5	-0.01	-0.03	0.09	0.04	0.02	0.06	0.02	-0.00	-0.00	0.02	-0.01	0.02
72.5	37.5	-0.00	-0.02	0.05	0.03	0.03	0.06	0.06	0.02	0.04	0.09	-0.02	-0.01
75.0	37.5	0.01	-0.00	0.03	0.02	0.03	0.03	0.05	0.04	0.05	0.07	-0.01	-0.02
Среднее		0.12	0.24	0.42	0.16	0.09	0.24	0.03	0.24	0.08	0.29	0.05	0.22

В табл. 2 приведены косинусы углов между собственными векторами (СВ) аномалий средней месячной температуры, вычисленные по двум базисным периодам. Действительно, углы между собственными векторами значительные (значения косинусов углов  $\cos \widehat{\varphi_{1п} \varphi_{2п}}$  малы) для всех месяцев года. Отсюда прямо следует, что естественные функции, полученные по данным одной эпохи (1954-1986 гг.) не могут быть использованы для другой (1987-2018 гг.). Поэтому при разработке прогностических моделей, основанных на разложении по естественным ортогональным

функциям, необходимо выбирать базовый период, отвечающий тенденции изменения климата в текущей эпохе.

Таблица 2

**Косинусы углов между одноимёнными собственными векторами аномалий средней месячной температуры**

Table 2

**Cosines of angles between the same-named eigenvectors of mean monthly temperature anomalies**

№СВ	$\cos \widehat{\varphi_{1\Pi} \varphi_{2\Pi}}$											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	.11	.02	.19	.10	-.02	.36	.24	.28	.11	-.12	.10	-.03
2	.12	-.07	.02	.17	.06	.04	.42	-.12	-.22	-.15	.08	.15
3	.04	-.18	.09	.10	.16	.23	.00	.19	-.08	.03	-.06	-.24
4	-.12	.31	.22	-.08	-.01	.09	.19	-.04	-.11	.14	-.29	-.25
5	.06	.01	-.14	.14	-.04	.18	.03	-.28	.14	.11	-.12	.08
6	-.33	-.04	-.08	.12	-.14	.16	.05	.30	.03	-.04	.16	-.25
7	.25	.02	-.13	.00	.15	-.08	-.01	.07	-.02	.17	.07	-.06
8	-.15	-.12	-.11	.13	.10	.21	.04	-.20	-.01	-.30	-.12	-.22
9	-.27	.09	.14	-.21	-.05	.28	-.11	-.14	-.01	.08	-.06	-.17
10	-.06	.18	-.01	.09	.21	-.06	-.12	-.20	.00	-.20	-.16	.16
11	-.29	-.15	-.16	.14	-.05	.19	-.19	-.01	-.08	.05	-.09	.05
12	.21	.01	-.16	.02	-.07	.28	.01	-.20	.13	.00	-.25	.02
13	.02	-.14	-.10	.09	.37	-.15	.13	-.34	-.17	-.12	-.06	-.27
14	.03	.15	.26	-.29	.23	-.03	-.06	-.19	-.18	.13	-.01	.03
15	-.18	.05	-.19	-.04	-.05	-.15	.05	.33	-.14	.03	-.07	.08
16	-.25	.02	.02	-.07	.09	.02	.18	.36	.02	-.03	.11	.00
17	.06	-.11	-.11	.02	-.04	.15	.02	-.19	.09	.13	-.02	-.06
18	-.43	-.11	-.04	.17	.32	.15	.24	-.01	-.12	-.06	.03	-.15
19	.00	-.15	-.10	-.11	.00	.07	.13	-.26	-.13	.10	.28	.19
20	.03	.03	.05	.12	-.21	.06	.20	.18	-.09	-.14	-.21	-.08
21	-.04	.04	.12	.02	-.01	.06	-.01	.10	-.25	-.09	.02	.01
22	.11	.03	.00	.01	-.16	.19	.23	.20	.16	.08	-.12	-.07
23	-.21	-.10	-.18	.31	-.05	.04	.30	-.06	-.05	-.03	.01	.09
24	-.26	.04	-.03	.06	.16	.04	-.02	-.37	.07	.08	.04	.16
25	.09	-.03	-.12	-.17	-.19	.21	.21	-.06	-.20	-.18	-.18	.23
26	-.07	.23	.09	.04	.24	-.19	.27	-.05	.02	-.05	-.16	-.19
27	-.10	-.20	.05	.10	.33	.21	.28	-.09	-.10	.04	-.25	.11
28	-.02	-.07	.05	.01	-.07	-.01	-.01	-.02	-.02	-.28	.04	-.02
29	-.14	-.06	-.30	-.16	.22	.12	-.06	-.17	.18	.20	-.12	-.11
30	-.09	.20	.28	-.05	-.29	-.09	-.05	-.19	-.27	-.08	.14	.02
31	-.23	-.27	-.06	.03	-.02	-.18	.03	-.18	-.20	-.05	-.07	-.11
32	.00	-.04	-.15	-.10	.05	.15	-.05	-.32	-.08	-.11	-.36	.13
33	.27	.03	.00	-.21	-.31	.01	.24	-.02	-.11	-.16	.07	.03
34	.05	-.12	-.28	-.12	.05	.28	.03	.06	.09	.24	.05	-.20
35	.11	-.08	.23	-.17	.08	-.14	.07	-.29	-.10	.11	.05	-.13
36	-.10	.08	-.44	.01	-.02	.08	.15	.12	.13	-.02	.19	-.05
37	-.06	.00	-.10	-.23	.23	.11	.10	-.35	-.11	-.09	-.11	-.23
38	-.01	-.01	-.25	-.02	-.04	-.03	-.13	-.02	.09	-.08	.05	-.07
39	-.22	-.22	-.23	-.08	.26	-.07	-.11	.24	-.05	-.06	.22	-.16
40	.05	-.08	.13	-.16	.12	-.09	.06	-.05	.11	.14	-.25	.14
41	.01	.00	-.05	.14	-.02	.09	.05	.25	.08	-.33	.04	-.19
42	.01	.08	-.10	-.05	.16	-.02	.23	-.08	-.22	-.23	.05	-.24
43	.11	.09	.11	-.07	.07	.07	.21	.05	.13	-.25	-.07	.30
44	-.21	.13	-.08	-.09	.08	.03	.15	.24	.00	.36	-.07	-.14
45	.10	.18	-.07	-.23	-.23	.08	.00	-.05	-.13	.04	-.05	.32

Примечание: 1П – период 1954-1986 гг.; 2П – период 1987-2018 гг.

Note: 1П – period 1954-1986; 2П – period 1987-2018.

**Оценка сходимости разложения по системе ЕОФ аномалий средней месячной температуры в различные месяцы года. Скорость сходимости ряда членов разложения по системе фиксированных функций, в частности ЕОФ, имеет большое**

практическое значение в решении тех или иных задач (объективного анализа, прогностических моделей и пр.).

В табл. 3 представлены собственные числа и доли суммарной дисперсии  $d\%$ , приходящейся на сумму  $k$ -ых членов разложения согласно формуле [Мещерская и др., 1970]

$$d\% = \frac{\sum_{i=1}^k \lambda_i}{\sum_{j=1}^n \lambda_j} \times 100, \quad k \leq n. \quad (5)$$

Из табл. 3 следует, что в зимние месяцы первый член разложения по выборке 1954-1986 годы описывает 27-29% суммарной дисперсии. На сумму первого и второго приходится в зимний период, в среднем, 49%, в весенний – 44,7%, в летний – 47,2%, в осенний – 45,5%. На сумму первых трёх коэффициентов разложения приходится суммарной дисперсии, соответственно: зима – 67%, весна – 61,6%, лето – 61,4%, осень – 63,6%.

Аналогичные оценки были получены по выборке 1987-2018 годы. Здесь скорость сходимости такова. На первый член разложения зимой приходится 75,1%; весной – 65,7%; летом – 62,7%, осенью – 66,1%. Сумма первых двух членов разложения составляет: зимой – 88,8%; весной – 82,4%, летом – 78,1%, осенью – 83,5%. Сумма первых трёх членов разложения: зима – 94,3%, весна – 89,5%, лето – 85,9%, осень – 91,8%. Как видно из представленных оценок скорость сходимости разложения по ЕОФ оказывается очень высокой, особенно в современную эпоху (выборка 1987-2018 гг.). Общим для разложений является закономерное изменение скорости сходимости от месяца к месяцу – наибольшая в холодный период, наименьшая – в тёплый, т.е. имеется хорошо выраженный годовой ход (рис. 5). Здесь скорость сходимости разложения в феврале месяце, касаясь периода 1987-2018 гг. несколько выше, чем в январе, что указывает на более интенсивную динамику процессов в этом месяце. В целом скорость сходимости в современную эпоху интенсивного изменения климатической системы планеты оказывается несколько быстрее по отношению к эпохе (1954-1986 гг.) с относительно устойчивым климатом.

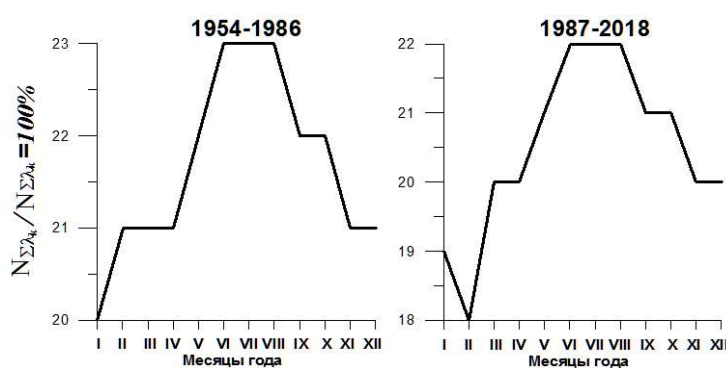


Рис. 5. Скорость сходимости разложения по ЕОФ, при котором достигается 100% дисперсия

Fig. 5. The rate of convergence of the EOF expansion, at which 100% variance is achieved

Таблица 3

Собственные числа и оценка скорости сходимости разложения аномалий средней месячной температуры по ЕОФ

Table 3

Eigenvalues and estimation of the rate of convergence of the decomposition of mean monthly temperature anomalies in NOF

k	Месяцы года (1954-1986 гг.)																							
	I		II		III		IV		V		VI		VII		VIII		IX		X		XI		XII	
	λ	d,%	λ	d,%	λ	d,%	λ	d,%	λ	d,%	λ	d,%	λ	d,%	λ	d,%	λ	d,%	λ	d,%	λ	d,%	λ	d,%
1	12.13	27.0	13.0	29.0	10.6	23.6	11.04	24.5	10.29	22.9	8.98	20.0	16.93	37.6	14.05	31.2	12.34	27.4	12.58	28.0	10.45	23.2	12.05	26.8
2	9.72	48.6	9.60	50.3	9.80	45.3	9.28	45.2	9.64	44.3	8.43	38.7	7.74	54.8	7.50	47.9	7.92	45.0	8.55	47.0	9.53	44.4	10.11	49.3
3	7.38	65.9	8.77	69.8	8.10	63.3	7.45	61.7	7.00	59.9	8.08	56.7	5.06	66.1	6.09	61.4	6.27	59.0	7.23	63.0	8.24	62.8	7.23	65.3
4	6.47	80.3	5.71	82.5	6.97	78.8	6.30	75.7	5.93	73.1	5.70	69.4	4.26	75.6	5.78	74.3	5.24	70.6	5.79	75.9	6.55	77.3	6.71	80.3
5	7.73	90.8	4.46	92.4	5.02	90.0	4.65	86.1	3.98	82.0	4.17	78.6	3.32	82.9	3.91	83.0	3.75	79.0	4.09	85.0	5.96	90.6	5.39	92.2
6	1.16	93.4	1.00	94.7	1.75	93.9	1.69	89.8	3.05	88.7	2.51	84.2	2.29	88.1	2.08	87.6	2.61	84.8	2.15	89.8	1.28	93.4	0.79	94.0
7	1.07	95.8	0.61	96.0	0.83	95.8	1.56	93.3	1.56	92.2	1.82	88.3	1.50	91.4	1.87	91.8	2.09	89.4	1.52	93.2	0.66	94.9	0.77	95.7
8	0.70	97.4	0.49	97.1	0.59	97.1	1.04	95.6	1.17	94.8	1.73	92.1	1.02	93.7	1.10	94.2	1.65	93.1	0.9	95.3	0.53	96.1	0.44	96.7
9	0.41	98.3	0.37	98.0	0.41	98.0	0.60	97.0	0.75	96.5	1.14	94.7	0.92	95.7	0.72	95.8	1.24	95.9	0.72	96.9	0.52	97.3	0.37	97.5
10	0.24	98.9	0.34	98.7	0.24	98.5	0.48	98.0	0.55	97.7	0.92	96.7	0.70	97.3	0.57	97.1	0.63	97.3	0.47	98.0	0.35	98.1	0.29	98.2
11	0.13	99.2	0.20	99.2	0.16	98.9	0.31	98.8	0.30	98.4	0.44	97.7	0.37	98.1	0.41	98.0	0.46	98.3	0.23	98.5	0.22	98.6	0.25	98.8
12	0.08	99.4	0.09	99.4	0.15	99.3	0.20	99.2	0.23	98.9	0.27	98.3	0.20	98.6	0.27	98.6	0.19	98.8	0.18	98.9	0.16	98.9	0.16	99.1
13	0.07	99.5	0.08	99.6	0.08	99.5	0.11	99.4	0.13	99.2	0.20	98.8	0.13	98.9	0.20	99.1	0.13	99.1	0.12	99.2	0.12	99.2	0.11	99.4
14	0.04	99.6	0.05	99.7	0.07	99.6	0.07	99.6	0.10	99.5	0.15	99.1	0.11	99.1	0.10	99.3	0.09	99.3	0.10	99.4	0.08	99.4	0.07	99.6
15	0.04	99.7	0.03	99.8	0.04	99.7	0.04	99.7	0.07	99.6	0.10	99.3	0.09	99.3	0.07	99.5	0.08	99.5	0.07	99.6	0.06	99.6	0.06	99.7
16	0.03	99.8	0.02	99.8	0.03	99.8	0.03	99.8	0.41	99.7	0.09	99.5	0.07	99.5	0.05	99.6	0.07	99.6	0.04	99.7	0.06	99.7	0.03	99.8
17	0.02	99.9	0.01	99.9	0.02	99.9	0.02	99.9	0.02	99.8	0.05	99.7	0.05	99.6	0.05	99.7	0.05	99.7	0.04	99.8	0.04	99.8	0.02	99.8
18	0.01	99.9	0.01	99.9	0.02	99.9	0.01	99.9	0.01	99.9	0.04	99.8	0.03	99.7	0.03	99.8	0.03	99.8	0.02	99.8	0.02	99.9	0.01	99.9
19	0.01	99.9	0.01	99.9	0.01	99.9	0.01	99.9	0.02	99.9	0.02	99.8	0.03	99.8	0.02	99.8	0.03	99.9	0.02	99.9	0.01	99.9	0.01	99.9
20	0.01	100	0.01	99.9	0.01	99.9	0.01	99.9	0.01	99.9	0.02	99.9	0.03	99.9	0.01	99.9	0.01	99.9	0.01	99.9	0.01	99.9	0.01	99.9
21	-	-	0.01	100	0.01	100	0.01	100	0.12	99.9	0.12	99.9	.023	99.9	0.16	99.9	0.10	99.9	0.13	99.9	0.12	100	0.1	99.9
22	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	100	0.1	99.9	.013	99.9	0.13	99.9	0.01	99.9	0.08	100	-	-	0.1	100
23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	100	.011	100	0.08	100	-	-	-	-	-	-	-	-

продолжение таблицы 3  
continuation of table 3

k	Месяцы года (1987-2018 гг.)																							
	I		II		III		IV		V		VI		VII		VIII		IX		X		XI		XII	
	λ	d,%	λ	d,%	λ	d,%	λ	d,%	λ	d,%	λ	d,%	λ	d,%	λ	d,%	λ	d,%	λ	d,%	λ	d,%	λ	d,%
1	27.40	60.9	30.12	66.9	26.25	58.3	21.87	48.6	23.09	51.3	21.15	47.0	25.90	57.6	25.24	56.1	21.90	48.7	22.76	50.6	28.46	63.2	27.80	61.8
2	8.47	79.7	9.13	87.2	8.37	77.0	9.41	69.5	8.51	70.3	8.64	66.2	7.05	73.2	6.99	71.6	10.11	71.2	9.36	71.4	8.54	82.2	8.06	79.7
3	5.56	92.1	3.16	94.3	5.93	90.1	6.53	84.0	5.61	82.7	6.69	81.1	4.75	83.8	5.51	83.9	5.19	82.7	6.71	86.3	3.38	89.8	4.08	88.8
4	1.82	96.1	.92	96.3	1.56	93.6	3.33	91.4	2.51	88.3	2.52	86.7	2.45	89.3	2.10	88.6	2.59	88.4	2.36	91.6	1.93	94.1	2.42	94.2
5	.50	97.3	.44	97.3	1.36	96.7	1.36	94.5	1.94	92.7	1.94	91.0	1.77	93.2	1.40	91.7	2.09	93.1	1.44	94.8	.81	95.9	.88	96.1
6	.33	98.0	.44	98.3	.44	97.6	.71	96.1	1.09	95.1	1.24	93.8	.93	95.3	1.30	94.6	1.03	95.4	.71	96.3	.54	97.1	.63	97.5
7	.23	98.5	.24	98.8	.30	98.3	.51	97.2	.79	96.9	.80	95.6	.75	96.9	.81	96.4	.61	96.7	.48	97.4	.29	97.8	.36	98.3
8	.15	98.9	.13	99.1	.18	98.7	.35	98.0	.37	97.7	.61	96.9	.30	97.6	.53	97.6	.40	97.6	.33	98.2	.26	98.3	.16	98.7
9	.13	99.2	.09	99.3	.17	99.1	.22	98.5	.28	98.3	.40	97.8	.29	98.3	.26	98.2	.33	98.4	.25	98.7	.16	98.7	.13	99.0
10	.09	99.4	.07	99.5	.07	99.3	.14	98.9	.21	98.8	.28	98.5	.21	98.8	.20	98.6	.17	98.8	.17	99.1	.15	99.0	.11	99.3
11	.07	99.5	.04	99.6	.07	99.5	.12	99.1	.14	99.1	.16	98.8	.15	99.1	.13	99.0	.12	99.0	.10	99.3	.12	99.3	.08	99.5
12	.05	99.7	.04	99.7	.06	99.6	.09	99.3	.11	99.3	.12	99.1	.08	99.3	.12	99.2	.11	99.3	.06	99.5	.09	99.5	.05	99.6
13	.04	99.8	.03	99.8	.04	99.7	.06	99.5	.07	99.5	.08	99.3	.06	99.4	.07	99.4	.07	99.5	.05	99.6	.06	99.7	.04	99.7
14	.02	99.8	.02	99.8	.02	99.8	.05	99.6	.04	99.6	.08	99.5	.06	99.6	.06	99.5	.06	99.6	.04	99.7	.03	99.8	.03	99.8
15	.01	99.9	.01	99.9	.02	99.8	.04	99.7	.06	99.7	.06	99.6	.04	99.7	.05	99.7	.04	99.7	.03	99.8	.02	99.8	.02	99.8
16	.01	99.9	.01	99.9	.02	99.9	.04	99.8	.03	99.8	.04	99.7	.04	99.8	.03	99.8	.03	99.8	.03	99.8	.02	99.9	.02	99.9
17	.01	99.9	.01	99.9	.01	99.9	.03	99.9	.02	99.8	.03	99.8	.02	99.8	.03	99.8	.02	99.8	.02	99.9	.01	99.9	.01	99.9
18	.01	99.9	.01	100.0	.01	99.9	.01	99.9	.01	99.9	.02	99.9	.02	99.9	.01	99.9	.02	99.9	.01	99.9	.01	99.9	.01	99.9
19	.01	100	-	-	.01	100	0.01	100	.01	99.9	.01	99.9	.01	99.9	.01	99.9	.01	99.9	.01	99.9	.10	100	.01	100
20	-	-	-	-	.01	100	-	-	.01	100	.01	99.9	.00	100	.01	99.9	.01	100	-	-	-	-	-	-
21	-	-	-	-	-	-	-	-	.01	100	.01	99.9	.01	100	.01	100	-	-	-	-	-	-	-	-
22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	.01	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

**Выводы.** Выполненное исследование информационного содержания разложения аномалии среднемесячной температуры по ЕОФ для территории Узбекистана и сопредельных стран показало:

1. Корреляционные функции аномалий среднемесячной температуры существенно анизотропны. Корреляционные функции, рассчитанные для заданных направлений подобны для всех месяцев года, и имеют высокие значения для направлений, совпадающих с основными направлениями воздушных течений на рассматриваемой территории.

2. Распределение разностей норм среднемесячной температуры на исследуемой территории неоднозначно: имеются области, где на фоне глобального положительного тренда температуры разности отрицательны и зависят от месяца года. Здесь предстоит выяснить причины, приводящие к тенденции отрицательного тренда на фоне глобального положительного потепления.

3. Скорость сходимости разложения температуры по системе ЕОФ оказывается очень высокой и имеет ярко выраженный годовой ход.

4. Высокая скорость сходимости позволяет использовать разложение по ЕОФ при решении многих практических задач.

**Вклад авторов.** **М.Л. Арушанов:** постановка проблемы, методика расчёта, анализ результатов. **А.И. Вдовенко:** сбор и статистическая обработка данных, определение объекта исследования, численные расчёты, анализ. Все авторы прочитали и согласны с подготовленной к публикации версией рукописи.

## ЛИТЕРАТУРА

*Арушанов М.Л.* Восстановление полей приземного давления и геопотенциала на АТ-500 по данным о типе и количестве облачности с помощью естественных ортогональных функций // Тр. САНИИ, Вып. 85(166). – 1983. – С. 39-49.

*Арушанов М.Л.* Исследование пространственно-временной статистической структуры поля облачности над южной территорией среднеазиатского региона // Тр. САНИИ, Вып. 85(166). – 1983. – С. 24-38.

*Багров Н.А.* Аналитическое представление полей // Тр. ЦИП, Вып. 64. – 1958. – С. 3-18.

*Гантмахер Ф.Р., Крейн М.Г.* Осцилляционные матрицы и ядра и малые колебания механических систем. – М. Гостехиздат. – 1950. – 420 с.

*Деммель Дж.* Вычислительная линейная алгебра. – М.: МИР, 2001. – 410 с.

*Мартемьянов В.И., Овчинникова Л.П.* О представлении вертикальных профилей геопотенциала и температуры на некоторых станциях северного полушария с помощью системы собственных векторов // Тр. САНИГМИ, Вып. 29(44). – 1967. – С. 8-19.

*Мещерская А.В., Руховец Л.В., Юдин М.И., Яковлева Н.И.* Естественные составляющие метеорологических полей. – Л.: Гидрометеоздат, 1970. – 199 с.

*Мещерская А.В., Клюквин Л.Н.* О разложении полей аномалии средней месячной температуры по естественным ортогональным функциям // Тр. ГГО, Вып. 201. – 1968. – С. 14-51.

*Мусаелян Ш.А.* Проблемы предсказуемости состояния атмосферы и гидродинамический долгосрочный прогноз погоды. – Л.: Гидрометеоздат, 1984. – 184 с.

*Обухов, А.М.* О статистически ортогональных разложениях эмпирических функций // Известия АН СССР. Серия геофизическая. – 1960. – № 3. – С. 432-439.

*Фадеев Д.К., Фадеева В.Н.* Вычислительные методы линейной алгебры. – М.: Изд-во ФМ литературы. – 1962. – 734 с.

*Bengston L. and Shukla J.* Integration of space and in situ observations to study global climate change // Bull. Amer. Meteor. Soc., 69, 1988. – PP. 1130-1143.

*Kalnay E. et al.* The NMC/NCAR 40-year Reanalysis Project // Bull. Amer. Meteor. Soc., 77, 1996. – PP. 437-471.

*Kanamitsu M., Ebisuzaki W., Woollen J., S-K Yang, Hnilo J.J., Fiorino M., and Potter G.L.* NCEP-DOE AMIP-II Reanalysis (R-2) // Bull. Amer. Met. Soc., 83. 2002. – PP. 1631-1643.

*Gibson J.K., Kallberg P., Nomura A., Uppala S.* The ECMWF re-analysis (ERA) project – Plans and current status. 10th Int. Conf. Interactive Inf. and Proc. Syst. Meteor // Oceanogr. and Hydrol., Nashville, TN, AMS. 1994. – PP. 164-167.

*Grimer M.* The space-filtering of monthly surface temperature anomaly data in terms of pattern, using empirical orthogonal functions // Quarterly journal of the Royal Met. Society, vol. 89, №381. 1963. – PP. 7-16.

*Schubert S.D., Rood R.B. and Pfaendtner J.* An Assimilated Data Set for Earth Science Applications // Bull. Amer. Meteor. Soc., 74. 1993. – PP. 2331-2342.

*Trenberth K. E. and Olson J. G.* An evaluation and inter comparison of global analyses from NMC and ECMWF // Bull. Amer. Meteor. Soc., 69. 1988. – PP. 1047-1057.

## ЎЗБЕКИСТОН ВА УНГА ТУТАШ МАМЛАКАТЛАР ҲУДУДЛАРИДА РЕАНАЛИЗ МАЪЛУМОТЛАРИДАН ФОЙДАЛАНГАН ҲОЛДА ЎРТАЧА ОЙЛИК ҲАРОРАТ АНОМАЛИЯЛАРИ МАЙДОНЛАРИНИ ТАБИЙ ОРТОГОНАЛ ФУНКЦИЯЛАР БЎЙИЧА ЁЙИШ

М.Л. АРУШАНОВ<sup>1</sup>, А.И. ВДОВЕНКО<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Гидрометеорология илмий-тадқиқот институт, mikl-arushanov@rambler.ru

<sup>2</sup> Ўзбекистон Республикаси Гидрометеорология хизмати маркази

**Аннотация.** Метеорологияда метеорологик майдонларни фиксирланган функциялар (сферик, тригонометрик, Чебишев кўпҳадлари, Фурье қаторлари ва бошқалар) бўйича ёйиш объектив таҳлил, сонли моделлаштириш ва прогнозлаш масалаларини ечишда кенг қўлланилади. Н.А.Багров, А.М.Обухов ишларидан бошлаб табиий ортогонал функциялар (ТОФ) тизими бўйича ёйишга алоҳида эътибор қаратилади. Метеорологик майдонларни ёйишда бошланғич маълумотлар сифатида, одатда, ер усти метеорологик кузатув тармоғидан олинган маълумотлар хизмат қилади. Ўтган асрнинг 90-йилларидан бошлаб мавжуд бўлган барча метеорологик ўлчаш маълумотлари қайта таҳлиллари (реанализ) шаклида мунтазам кенглик-узунлик тўрига ассимиляцияланади. Барча мавжуд кузатиш усулларининг ўзаро мувофиқлашуви сифатида олинган бу маълумотлар аниқлиги жиҳатидан етарли даражада ишончли ҳисобланади.

Ушбу мақолада минимал миқдордаги параметрлардан фойдаланган ҳолда табиий ортогонал функциялар тизими бўйича ҳарорат ёйилмасининг информацион мазмунини баҳолаш мақсадида,  $37,5^{\circ}$ - $47,5^{\circ}$  ш.к. ва  $55,0^{\circ}$ - $75,0^{\circ}$  ш.у. билан чегараланган ҳудуд учун ер усти ўртача ойлик ҳаво ҳароратининг ECMWF ERA-40 реанализ маълумотларидан фойдаланилган. Ўртача ойлик ҳаво ҳароратининг фазовий корреляция матрицалари, уларнинг хусусий қийматлари ва хусусий векторлари олинган, ёйишнинг яқинлашиш тезлиги, ўртача ойлик ҳаво ҳарорати майдонининг асосий компонентлари билан бошланғич майдон орасидаги корреляцион алоқа баҳоланган. Ўзбекистон ҳудудида 1954 йилдан 1986 йилгача ҳамда 1987 йилдан 2018 йилгача вақт қаторлари бўйича ҳар бир ой учун ўртача ойлик ҳаво ҳароратининг дисперсиялари, ўртача қийматлари ва биринчи табиий компонентлари тақсимооти ҳавола этилган.

**Калит сўзлар:** ўртача ойлик ҳарорат, корреляция матрицаси, хусусий қийматлар, хусусий векторлар, асосий компонентлар, ёйиш коэффициентлари, яқинлашиш тезлиги.

**EXPANSIONS OF ANOMAL FIELDS OF THE MONTHLY MEAN TEMPERATURE IN NATURAL ORTHOGONAL FUNCTIONS USING REANALYSIS DATA ON THE TERRITORY OF UZBEKISTAN AND NEIGHBORING COUNTRIES****M.L. ARUSHANOV<sup>1</sup>, A.I. VDOVENKO<sup>2</sup>**<sup>1</sup> Hydrometeorological Research Institute, mikl-arushanov@rambler.ru<sup>2</sup> Center of Hydrometeorological Service of the Republic of Uzbekistan

**Abstract.** *In meteorology, the decomposition of meteorological fields into fixed functions (spherical, trigonometric functions, Fourier series, etc.) is widely used to solve problems of objective analysis, numerical modeling and forecasting. Particular attention, starting with the works of N.A. Bagrov, A.M. Obukhov, is given to the expansion in terms of a system of natural orthogonal functions (EOF). The initial data for the decomposition of meteorological fields are, as a rule, the data of the ground-based meteorological observation network. Since the 90s of the last century, the data of all available meteorological measurements have been assimilated onto a regular latitude-longitude grid in the form of reanalyses. These data, obtained as agreement of all available observation methods, seem to be quite reliable in terms of their accuracy. This article uses the ECMWF ERA-40 reanalysis data of the average monthly surface air temperature for the territory bounded by latitudes 37.5°-47.5° N. and longitudes 55.0°-75.0° E, in order to assess the information content of the temperature expansion according to the system of natural orthogonal functions using the minimum number of parameters. The spatial correlation matrices of the average monthly air temperature, their eigenvalues and eigenvectors were obtained, estimates of the rate of convergence of the expansion, the correlation between the main components of the average monthly temperature field and the initial field were made. Distributions of dispersions, mean values and first natural components of mean monthly air temperature in Uzbekistan for each month of the year are presented for samples from 1954 to 1986 and from 1987 to 2018.*

**Keywords:** *monthly average temperature, correlation matrix, eigenvalues, eigenvectors, principal components, expansion coefficients, convergence rate.*

**REFERENCE**

*Arushanov M.L.* Vosstanovlenie poley prizemnogo davleniya i geopotentsiala na AT-500 po dannim o tipe i kolichestve oblachnosti s pomozchyu estestvennih ortogonalnih funktsiy [Reconstruction of the surface pressure and geopotential fields on the AT-500 from data on the type and amount of cloudiness using natural orthogonal functions] // Tr. SANII, Vip. 85(166). – 1983. – S. 39-49. (in Russian)

*Arushanov M.L.* Issledovanie prostranstvenno-vremennoy strukturi polya oblachnosti nad yuzhnoy terrytoriey Sredneaziatskogo regiona [Investigation of the spatial-temporal statistical structure of the cloudiness field over the southern territory of the Central Asian region] // Tr. SANII, Vip. 85(166). – 1983. – S. 24-38. (in Russian)

*Bagrov N.A.* Analiticheskoe predstavlenie poley [Analytical view of fields] // Tr. TsIP, Vip. 64. – 1958. – S. 3-18. (in Russian)

*Gantmakher F.R., Kreyn M.G.* Ostsillyatsionnie matritsi i yadra i malie kolebaniya mehanycheskih sistem [Oscillatory matrices and nuclei and small vibrations of mechanical systems]. – M.: Gosteizdat. – S. 1950. – 420. (in Russian)

*Demmel J.* Vichislitel'naya lineynaya algebra [Computational Linear Algebra.] – M.: MIR, 2001. – 410 s. (in Russian)

*Martemyanov V.I., Ovchinnikova L.P.* O predstavlenii vertikalnogo profilya geopotentsiala i temperaturi na nekotoryh stantsiyah severnogo polushariya s pomozchyu sistemi sobstvennih vektorov [On the representation of the vertical profiles of the geopotential and temperature at some stations in the Northern Hemisphere using the system of eigenvectors] // Tr. SANIGMI, Vip. 29 (44). – 1967. – S. 8-19. (in Russian)

*Meshcherskaya A.V., Rukhovets L.V., Yudin M.I., Yakovleva N.I.* Yestestvennie sostavlyashie meteorologicheskikh poley [Natural components of meteorological fields]. – L.: Gidrometeoizdat. – 1970.

– 199 s. (in Russian)

*Meshcherskaya A.V. and Klyukvin L.N.* O razlozhenii poley anomalii sredney mesyachnoy temperaturi [On the expansion of the fields of the anomaly of the mean monthly temperature in terms of natural orthogonal functions] // Tr. GGO, Vip. 201. – 1968. – S. 14-51. (in Russian)

*Obukhov A.M.* O statisticheski ortogonalnih razlozheniyah empiricheskikh funktsiy [On statistically orthogonal expansions of empirical functions] // Izvestiya AN SSSR. Seriya geofizicheskaya. – 1960. – No. 3. – S. 432-439. (in Russian)

*Fadeev D.K., Fadeeva V.N.* Vichislitelnie metodi lineynoy algebr [Computational methods of linear algebra]. – M.: Izd-vo FM literaturi. – 1962. – 734 s. (in Russian)

УДК: 551.586

## БУХОРО ШАҲРИНИНГ БИОИҚЛИМИЙ ШАРОИТЛАРИ

Б.М. ХОЛМАТЖАНОВ<sup>1,2\*</sup>, С.У. БЕГМАТОВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Мирзо Улуғбек номидаги Ўзбекистон Миллий университети, b.xolmatjanov@nuu.uz

<sup>2</sup> Гидрометеорология илмий-тадқиқот институти, sardor0752@gmail.com

**Аннотация:** Бухоро метеорология станциясида 2009-2018 йй. кузатиш маълумотларини статистик қайта ишлаш асосида ҳаво қурғоқчилигининг термогигрометрик коэффициентидан фойдаланиб кўп йиллик ўртача биоиклимий шароитларнинг вақт бўйича ўзгариш хусусиятлари аниқланган. Сайёҳларни биоиклимий маълумотлар билан таъминлаш мақсадида иссиқлик ҳиссиёти, об-ҳаво шароитларининг эстетик (булутлилик ва нисбий намлик) ва физикавий (димикчи, ёғингарчилик, шамол) таъкил этувчиларини акс эттирувчи “Иқлимий-туристик ахборот схемаси” ҳавола қилинди.

**Калит сўзлар:** Бухоро шаҳри, ҳаво қурғоқчилигининг термогигрометрик коэффициенти, биоиклимий шароитлар, иссиқлик ҳиссиёти, “Иқлимий-туристик ахборот схемаси”

**Кириш.** Бухоро – жаҳоннинг энг қадимий ва тарихий-меъморий обидаларга бой шаҳарларидан бири ҳисобланади. 1996 йилда Бухоро ЮНЕСКО томонидан жаҳон маданий мероси ҳисобланувчи шаҳарлар сафига киритилганлиги ва муҳофазага олганлиги эълон қилинди. 1997 йилда шаҳарнинг 2500 йиллик юбилейи халқаро миқёсда нишонланди. Кўхна Бухорода кўкка бўй чўзган миноралар, обида-ю кадамжолар, осору антиқалар ажодларимиз ақл-заковатини намойиш қилади. Бухоро Шарқу Фарбда “очик осмон остидаги музей, шавкатли тарихнинг жилвакор кўзгуси” деган фахрли номга ҳам эга. Бухоро Аркида нафақат ҳукмдор амирлар, балки буюк олимлар, шоиру файласуфлар ҳам яшаб, ижод қилиб, авлодларга бебаҳо мерос қолдирган. Бухоро маданияти энг юксалган ўрта асрларда Арқда Рудакий, Фирдавсий, Абу Али Ибн Сино, Фаробий, Умар Хайём каби буюк мутафаккирлар яшаган. Юртимиз азалдан инсоният тамаддуни, жумладан, ислом маданияти ривожиди алоҳида ўрин тутди. Ислом оламидаги тўрт шариф саналган шаҳарлардан бири Бухородир. Шарқда қадимдан “Самарқанд сайқали рўи замин аст, Бухоро қуввати дини ислом аст”, деб бежиз айтилмаган [Дунё...2020].

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 19 майдаги “2017-2019 йилларда Бухоро шаҳри ва Бухоро вилоятининг туристик салоҳиятини жадал ривожлантириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги ҳамда 2017 йил 16 августдаги “2018-2019 йилларда туризм соҳасини ривожлантириш бўйича биринчи навбатдаги чора-тадбирлар тўғрисида”ги қарорларида белгиланган вазифаларга мувофиқ Бухоро

\* Масъул муаллиф: b.xolmatjanov@nuu.uz, тел.: +998 99 878-51-27