

УДК 551.513

doi: 10.33933/2713-3001-2022-66-7-19

Оценка внутренней структуры переднеазиатской депрессии

В.С. Балакин, Ю.В. Шипко

Центральный научно-исследовательский институт ВВС Минобороны России, Москва,
balakin69vs@gmail.com

Рассматривается сезонный центр действия атмосферы — переднеазиатская депрессия, преобладающий тип атмосферной циркуляции нижней тропосферы в летний период над территорией Ближнего и Среднего Востока. С целью выявления особенностей внутренней структуры депрессии построена программно-реализованная модель объектов циркуляции для изобарических уровней 925, 850 гПа. Выполнен переход из многомерного пространства параметров обобщенной модели к ортогональным факторам. Выявлены кластеры (типы) барических образований, представлена визуализация кластеров на факторной плоскости. Полученные модельные характеристики атмосферной циркуляции могут быть использованы в качестве предикторов для диагноза и прогноза метеорологической информации.

Ключевые слова: переднеазиатская депрессия, геопотенциальная высота, реанализ, изобарический уровень, фактор, кластер.

Internal structure estimation of the South Asia Low

V.S. Balakin, Yu.V. Shipko

Central Scientific Research Institute of Air Force (RF Ministry of Defense), Moscow,
balakin69vs@gmail.com

The paper examines the seasonal atmospheric center of action — the South Asia Low (or thermal depression), the predominant type of atmospheric circulation of the lower troposphere during warm period (April–October) over the Near and Middle East. The characteristics of the depression determine the weather and climatic conditions of the region, which can limit or exclude the implementation of meteorological solution for various consumers of information. In this way, the relevance of South Asia Low model development is beyond doubt. The purpose of the work was to identify the features of internal structure of the South Asia Low. The methods of factorial, cluster, discriminant analysis are used. The study information base was made up of geopotential height fields grid data of the reanalysis of the National Centers for Environmental Prediction/Department of Energy Atmospheric Model Intercomparison Project II (for June, July and August of 2005—2019). The software-implemented generalized model of the South Asia Low at isobaric levels of 925, 850 hPa, including 26 predictors, was constructed. Statistical analysis of multidimensional data of reanalysis of atmospheric parameters was carried out, followed by transition to the factor model after compressing the information (with 5 common factors explaining ~80 % of total predictor variance). Clustering of the South Asia Low cyclonic objects was carried out. Three clusters (types) of circulation objects in the lower troposphere varying in power, shape and intensity were identified, which allows to refine meteorological information. The visualization of clusters on the factor plane and statistical characteristics of common factors for identifying the South Asia Low types are presented. Model characteristics of circulation objects in the lower troposphere can be used as predictors for diagnosis and forecast of required meteorological information for effective functioning of various organizational and technical

systems. The new information presented in the paper expands the understanding of the internal structure of summer cyclonic circulation over the Near and Middle East territory.

Keywords: South Asia Low, geopotential height, reanalysis, isobaric level, factor, cluster.

For citation: *V.S. Balakin, Yu.V. Shipko.* Internal structure estimation of the South Asia Low. *Gidro-meteorologiya i Ekologiya.* Journal of Hydrometeorology and Ecology. 2022, 66: 7—19. [In Russian]. doi: 10.33933/2713-3001-2022-66-7-19

Введение

Центры действия атмосферы остаются предметом изучения метеорологов, поскольку их характеристики (мощность, конфигурация, географическое местоположение центра циркуляции и др.) существенно влияют на формирование метеорологических условий в различных районах земного шара, используются в качестве показателей общего состояния циркуляции атмосферы в климатическом аспекте и в схемах прогнозирования.

Рассматривается сезонный центр действия атмосферы над территорией Ближнего и Среднего Востока в теплый периода года (апрель—октябрь) — южно-азиатский летний циклон [1] или переднеазиатская депрессия (ПАД) [2—4], которую иначе называют термической депрессией, поскольку формируется в результате сильного нагревания подстилающей поверхности. Для ПАД характерна большая устойчивость (повторяемость в июле, августе 94—96 %). Объекты ПАД относятся к низким барическим образованиям, прослеживаются в нижней тропосфере до высоты 3—4 км [3].

ПАД оказывает главное влияние на метеорологические условия региона в летний период, в течение которого наблюдается ясная, жаркая и сухая погода. Температура воздуха днем поднимается до 30—40 °С, местами выше 50 °С. В условиях ПАД часто отмечаются пыльные бури. Термические вихри создают запыленность воздуха, иногда вихри достигают силы урагана и поднимают пыль на высоту, перемещают ее на значительные расстояния, что приводит к резкому ухудшению видимости на большой территории в течение нескольких суток. Кроме того, с ПАД связано преобладание северных ветров в восточной части Средиземного моря, иногда достигающих значительной силы. Такие метеорологические условия ограничивают функционирование различных метеозависимых организационно-технических систем.

Таким образом, с целью повышения информативности атмосферной циркуляции в нижней тропосфере над территорией Ближнего и Среднего Востока в летний период решается задача оценки внутренней структуры ПАД. Представленный материал является продолжением исследования ПАД [5, 6].

Исходный материал

Информационную базу исследования составили данные реанализа параметров атмосферы NCEP/DOE AMIP-II [7] за июнь, июль, август периода 2005—2019 гг. Использовались сеточные данные (в узлах регулярной сетки с шагом 2,5°

по широте и долготе) геопотенциальной высоты на изобарических уровнях 1000, 925, 850 гПа. Предварительно по срочным данным (00, 06, 12, 18 ч) полей H_{1000} , H_{925} , H_{850} выполнен расчет среднесуточных значений в узлах сетки.

Модель циклонической циркуляции на изобарическом уровне

При построении базовой модели ПАД использован подход [8, 9], определяющий объект циклонической циркуляции как объем «чаши», образованной топографией некоторой изобарической поверхности с краевой изогипсой H_0 и горизонтальной плоскостью, проходящей через эту изогипсу. При этом веса элементов объема «чаши» определяются по формуле [8, 9]:

$$p_{ij} = \frac{(H_0 - H_{ij}) \cos \varphi_i}{\sum_i \sum_j (H_0 - H_{ij}) \cos \varphi_i}, \quad (1)$$

где H_{ij} — высота изобарической поверхности в узле (x_i, y_j) ; φ_i — широта точки (x_i, y_j) ; учитываются только узлы, для которых $H_{ij} < H_0$.

Используемая декартова система координат XOY представляется в плоскости экватора, где центр совмещен с центром Земли, ось X направлена к нулевому меридиану, ось Y — на восток. В этой системе центр циркуляции определяется как центр масс системы точек по формулам механики [9]:

$$x_c = \frac{r \sum_i \sum_j (H_0 - H_{ij}) \cos^2 \varphi_i \cos \lambda_j}{\sum_i \sum_j (H_0 - H_{ij}) \cos \varphi_i}, \quad y_c = \frac{r \sum_i \sum_j (H_0 - H_{ij}) \cos^2 \varphi_i \sin \lambda_j}{\sum_i \sum_j (H_0 - H_{ij}) \cos \varphi_i}, \quad (2)$$

где r — радиус Земли; φ_i, λ_j — соответственно широта и долгота точки (x_i, y_j) .

Координаты центра (2) связаны с географическими координатами посредством известных формул:

$$x_c = r \cos \varphi_c \cos \lambda_c, \quad y_c = r \cos \varphi_c \sin \lambda_c.$$

Характеристиками модели являются: площадь S , ограниченная изогипсой H_0 , условная «масса» M рассматриваемого объема «чаши» и плотность Z [9]:

$$S = r^2 \Delta \varphi \Delta \lambda \sum_i \sum_j \cos \varphi_i, \quad M = r^2 \Delta \varphi \Delta \lambda \sum_i \sum_j (H_0 - H_{ij}) \cos \varphi_i, \\ M = r^2 \Delta \varphi \Delta \lambda \sum_i \sum_j (H_0 - H_{ij}) \cos \varphi_i, \quad Z = \frac{M}{S}, \quad (3)$$

где $\Delta \varphi, \Delta \lambda$ — шаги по меридиану и параллели, выделяющие элементарную площадку (при данных реанализа NCEP — $2,5^\circ$ по широте и долготе).

Геометрической характеристикой концентрации двумерного распределения около центра масс является эллипс рассеяния с полуосями σ_x, σ_y или главными средними квадратическими отклонениями σ_u, σ_v эквивалентного единичного эллипса рассеяния [9]:

$$\sigma_{u/v}^2 = \frac{1}{2} \left[\sigma_x^2 + \sigma_y^2 \pm \sqrt{(\sigma_x^2 - \sigma_y^2)^2 + 4\rho^2 \sigma_x^2 \sigma_y^2} \right]. \quad (4)$$

Характеристикой формы двумерного распределения «масс» является коэффициент сжатия эллипса $k = \sigma_v / \sigma_u$.

Модель дополняется еще одной характеристикой циклонической циркуляции — углом положения оси ложбины β , расчет которого проводится по формулам механики [10]. В них ось ложбины циклонического образования рассматривается как главная центральная ось инерции плоской фигуры (S) полученного распределения условных «масс» точек (1), относительно которой главный центральный момент инерции имеет минимальное значение.

Обобщенная модель ПАД на уровнях 925 и 850 гПа

Учитывая, что объекты ПАД относятся к барическим образованиям нижней тропосферы, в работе рассматриваются поверхности геопотенциальной высоты на изобарических уровнях 925, 850 гПа в области $\varphi = 10 - 40^\circ$, $\lambda = 30 - 90^\circ$.

Краевая изогипса определяется следующим образом: находится минимум H_{\min} поверхностей H_{925} , H_{850} в рассматриваемой области; рассчитывается значение $H_0 = H_{\min} + 4$, которое принимается за краевую изогипсу каждой поверхности. Учитывается, что изогипсы принято проводить через 4 дам (рис. 1).

Как характеристика взаимосвязи процессов на различных изобарических уровнях [1] вводится в рассмотрение высотная ось депрессии — линия, соединяющая приземный центр барического образования (уровня 1000 гПа) с центром на уровне 850 гПа. Принимая за центры циклонического образования минимумы H_{\min} поверхностей геопотенциальной высоты H_{1000} и H_{850} в рассматриваемой области, высотная ось отображается прямой линией (рис. 1).

Положение высотной оси ПАД можно характеризовать изменением координат центров циркуляции $H_{1000\min}$ и $H_{850\min}$ (согласно рис. 1):

$$\Delta\varphi_{\text{во}} = \varphi_{850\min} - \varphi_{1000\min}, \quad \Delta\lambda_{\text{во}} = \lambda_{850\min} - \lambda_{1000\min}, \quad (5)$$

где знак «-» отклонения по широте $\Delta\varphi_{\text{во}}$ соответствует отклонению оси к югу, «+» — к северу; знак «-» отклонения по долготе $\Delta\lambda_{\text{во}}$ соответствует западному отклонению оси, «+» — восточному.

Гистограммы распределения отклонений координат высотной оси ПАД представлены на рис. 2.

В климатическом аспекте (июнь—август 2005—2019 гг.) характеристики (5) имеют значения: $\Delta\varphi_{\text{во}} = 1,6^\circ$; $\Delta\lambda_{\text{во}} = 6,8^\circ$. Это соответствует в среднем северо-восточному наклону высотной оси депрессии, что в данном случае означает сторону присутствия более холодных воздушных масс относительно рассматриваемой территории ПАД.

Разработанная программно-реализованная модель ПАД позволила провести статистическую обработку выборки циклонических образований по данным реанализа. Оценки параметров (2)—(5) модели ПАД (июнь—август, 2005—2019 гг.) представлены в табл. 1.

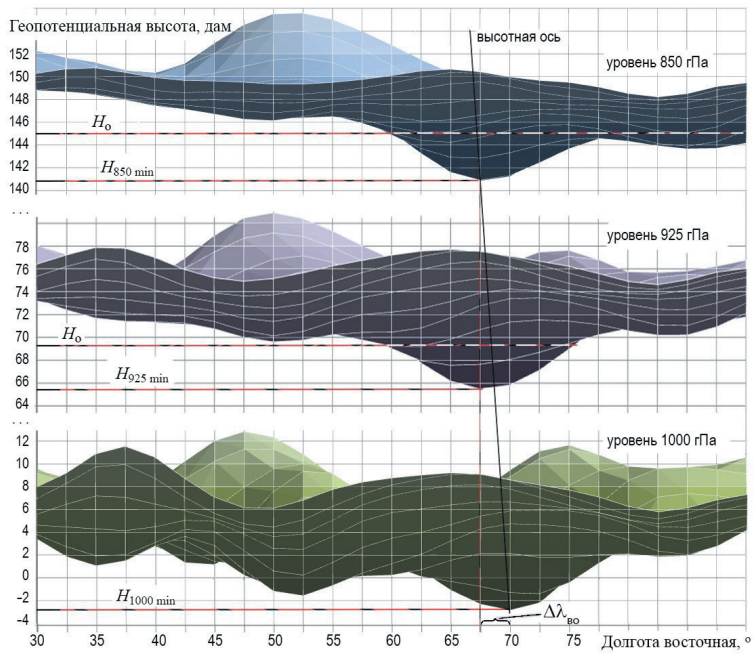


Рис. 1. Схема определения краевой изогипсы и высотной оси по среднесуточным поверхностям геопотенциальной высоты на изобарических уровнях 1000, 925 и 850 гПа.

Fig. 1. Scheme for determining the edge isohypse and the height axis on the average daily surfaces of geopotential height at isobaric levels 1000, 925, 850 hPa.

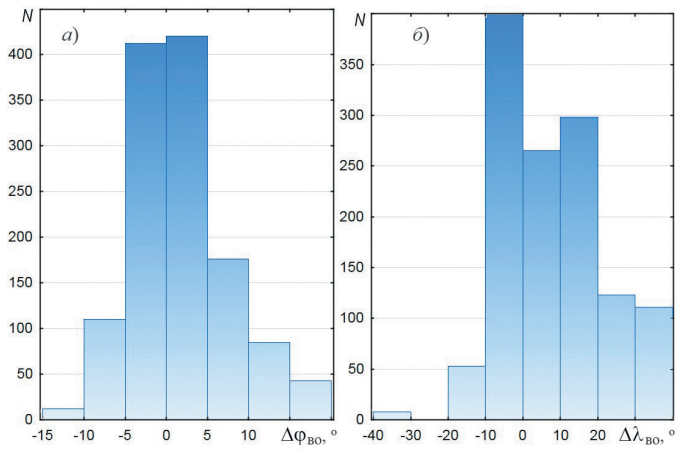


Рис. 2. Гистограмма распределения отклонения координаты высотной оси ПАД:

a) по широте; *б)* по долготе.

Fig. 2. Histogram of deviation distribution coordinate SAL height axis:

a) by latitude; *б)* by longitude.

Статистические оценки параметров модели ПАД
(июнь—август, 2005—2019 гг.)

Statistic estimates of SAL model parameters
(June—August, 2005—2019)

Параметр / объекта ПАД	Среднее значение	Медиана	Максимум	Минимум	Среднее квадрати- ческое отклонение
Изобарический уровень 925 гПа					
H_{\min} , дам	66,45	66,37	72,93	60,58	2,21
$S \cdot 10^{-6}$, км ²	5,417	5,175	14,544	0,359	2,536
$M \cdot 10^{-6}$, км ² дам	8,719	7,863	31,687	0,697	4,866
Z , дам	1,571	1,572	2,341	0,725	0,250
σ_u , км	1011	1025	1731	177	280
σ_v , км	193	188	433	44	74
k	0,195	0,181	0,592	0,076	0,069
x_c , км	2183	2219	3777	223	541
y_c , км	5099	5101	5887	4142	255
λ_c , град. в.д.	66,8	66,5	87,4	48,7	6,1
φ_c , град. с.ш.	28,8	28,8	39,9	22,3	1,8
β , град.	133,7	135,6	150,1	25,4	11,8
Изобарический уровень 850 гПа					
H_{\min} , дам	141,46	141,40	147,43	134,98	2,18
$S \cdot 10^{-6}$, км ²	6,795	6,403	19,847	0,480	3,393
$M \cdot 10^{-6}$, км ² дам	0,011	0,010	0,038	0,001	0,006
Z , дам	1,546	1,540	2,783	0,808	0,258
σ_u , км	1016	1028	1831	204	274
σ_v , км	250	247	529	54	86
k	0,254	0,239	0,913	0,059	0,091
x_c , км	1708	1718	3412	235	532
y_c , км	5255	5269	5907	4223	250
λ_c , град. в.д.	72,0	72,0	87,4	51,1	5,9
φ_c , град. с.ш.	29,2	29,1	41,4	19,1	2,9
β , град.	131,8	135,1	167,2	19,8	15,2
Изобарические уровни 1000, 850 гПа					
$\Delta\lambda_{во}$	6,8	6,8	26,9	-9,8	4,9
$\Delta\varphi_{во}$	1,6	1,5	12,8	-6,6	2,5

Факторная модель переднеазиатской депрессии

С целью сжатия информации использован подход факторного анализа, когда параметры модели ПАД ($i = 1, 2, \dots, m$) представляются в виде линейной комбинации небольшого числа $k < m/2$ скрытых общих факторов в виде [11]:

$$z_j = a_{j1} \cdot f_1 + a_{j2} \cdot f_2 + \dots + a_{jk} \cdot f_k + e_j,$$

где z_j — признаки объекта (центрированные и нормализованные параметры); a_{jk} — коэффициенты — так называемые факторные нагрузки; f_i ($i = 1, 2, \dots, k$) — общие факторы; e_j — специфичный фактор (остаток).

Сделан переход из пространства 26 признаков объектов ПАД к 5-мерному пространству ортогональных факторов. Выделенные общие факторы объясняют 79 % общей дисперсии параметров. С учетом значений факторных нагрузок (превышающих по модулю 0,6) факторам модели дана следующая интерпретация:

- f_1 — фактор мощности (35 % общей дисперсии признаков);
- f_2 — фактор конфигурации (19 % дисперсии);
- f_3 — фактор положения центра циркуляции (11 % дисперсии);
- f_4 — фактор наклона высотной оси по долготе (8 % дисперсии);
- f_5 — фактор интенсивности (6 % дисперсии).

По величине выделенных факторов можно отметить особенность ПАД — изменение в течение летнего сезона. Например, на рис. 3 для сравнения даны гистограммы распределения факторов в начале и конце лета (в июне и августе).

Как следует из рис. 3, в течение лета имеет место рост мощности и интенсивности ПАД, смещение центра циркуляции нижней тропосферы, изменение наклона высотной оси депрессии в западном направлении.

Общие факторы являются некоррелированными величинами, поэтому могут использоваться в качестве предикторов при разработке регрессионных моделей параметров атмосферы (в исследованиях влияния характеристик депрессии на метеорологические величины), что повышает качество статистических и прогнозных характеристик моделей.

Оценка внутренней структуры переднеазиатской депрессии

С целью определения однородных по структуре групп объектов ПАД проведена процедура иерархической кластеризации объектов многомерного пространства, когда не требуется априорной информации о распределении генеральной совокупности объектов. Мерой близости циклонических объектов депрессии выбрано евклидово расстояние D [11].

На рис. 4 представлено дерево кластеризации объектов ПАД, где отчетливо выделяются три ветви «сгустков». Обозначим их как кластеры 1-го, 2-го и 3-го типа циркуляции.

Визуализация полученного разделения общей совокупности циркуляционных объектов ПАД на кластеры представлена на плоскости выделенных общих факторов (рисунки 5 и 6).

Статистические характеристики факторов для выделенных кластеров ПАД отображены в виде диаграммы на рис. 7.

Этапом типологизации циклонических объектов ПАД является построение правила отнесения каждого нового объекта к одному из выявленных кластеров (типов). Когда число классов (типов, совокупностей) известно, используется

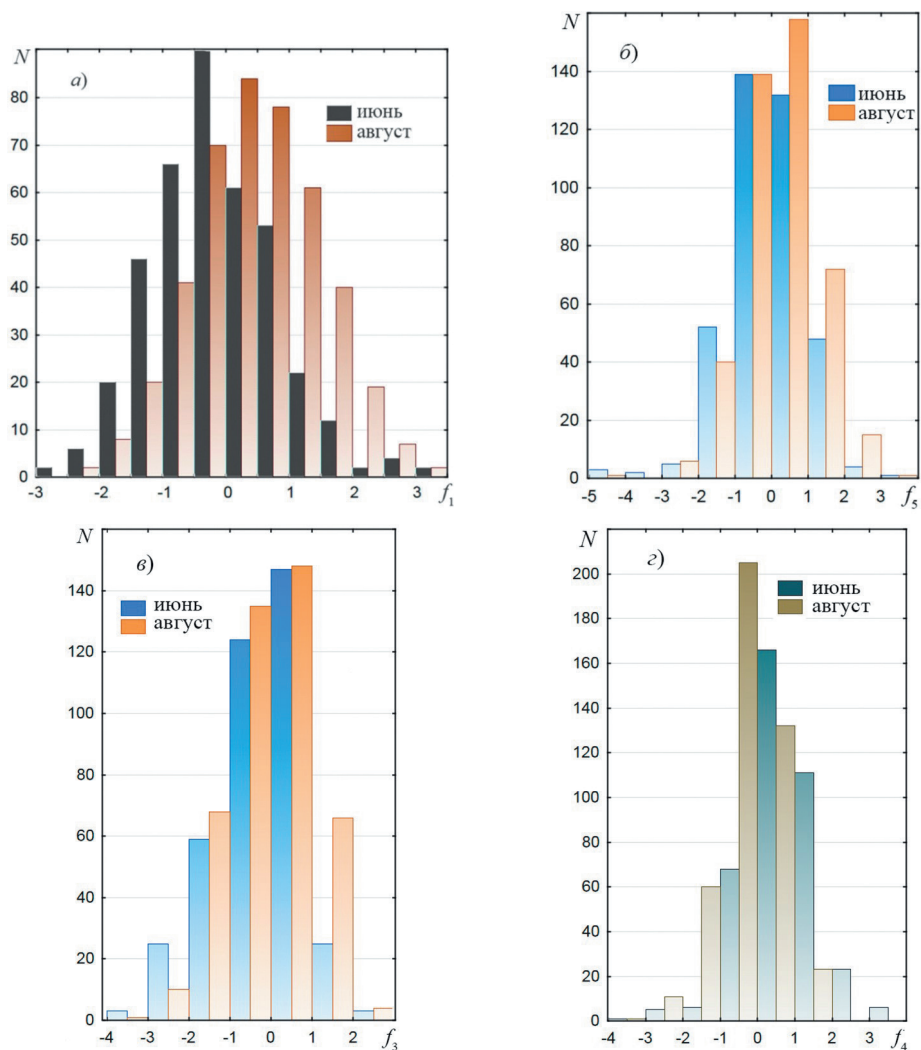


Рис. 3. Гистограммы распределения общих факторов ПАД в июне и августе (2005—2019):

- а) фактор мощности; б) фактор интенсивности; е) фактор положения центра циркуляции;
- з) фактор наклона высотной оси.

Fig. 3. Histograms of distribution of SAL common factors in June and August (2005—2019):

- a) the power factor; б) the intensity factor; e) the position factor of the circulation center;
- z) the tilt factor of height axis.

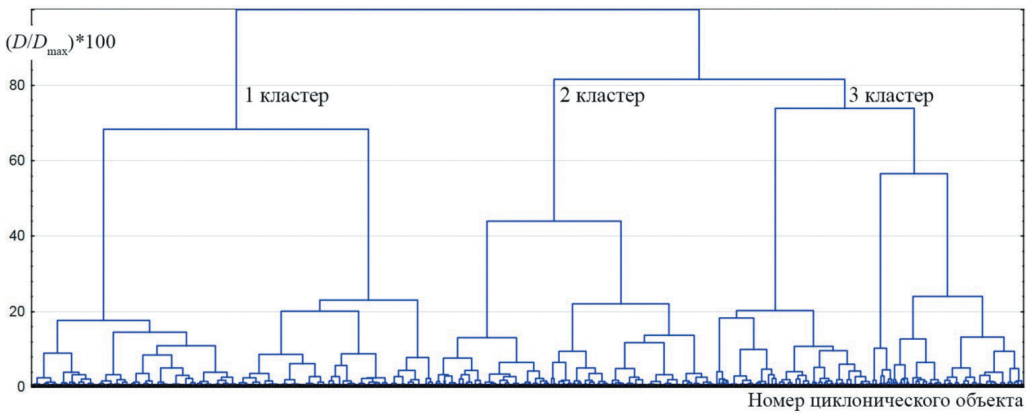


Рис. 4. Дерево кластеризации объектов ПАД (июнь—август, 2005—2019).

Fig. 4. Clustering tree of SAL objects (June—August, 2005—2019).

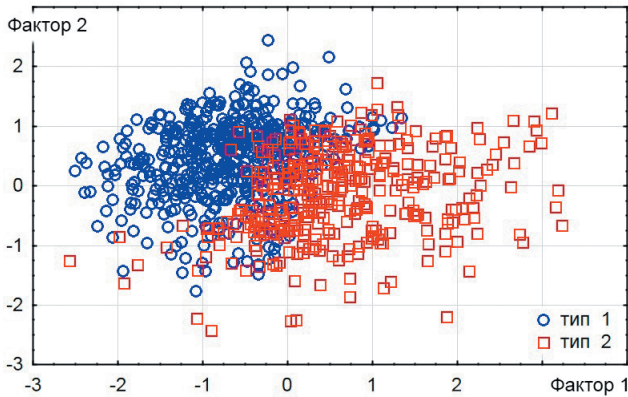


Рис. 5. Распределение объектов ПАД на плоскости факторов f_1, f_2 с учетом кластеризации (не показаны объекты кластера 3 типа).

Fig. 5. Distribution of SAL objects on the factor plane f_1, f_2 considering clustering (cluster objects of type 3 are not shown).

аппарат дискриминантного анализа [11] по построению классификационных функций. На базе выделенных общих факторов депрессии построены классификационные функции:

$$\begin{aligned}
 C_1 &= -1,59076 - 1,36409f_1 + 0,86403f_2 - 0,30163f_3 - 0,13523f_4 + 0,15353f_5, \\
 C_2 &= -2,50466 + 1,28888f_1 - 0,38780f_2 + 1,20433f_3 + 0,42209f_4 - 1,24158f_5, \\
 C_3 &= -1,89093 + 0,61272f_1 - 0,77832f_2 - 0,70156f_3 - 0,20723f_4 + 0,92940f_5. \quad (6)
 \end{aligned}$$

При отнесении объекта ПАД к тому или иному типу используется следующее решающее правило: при реализации условий ортогональных факторов объект

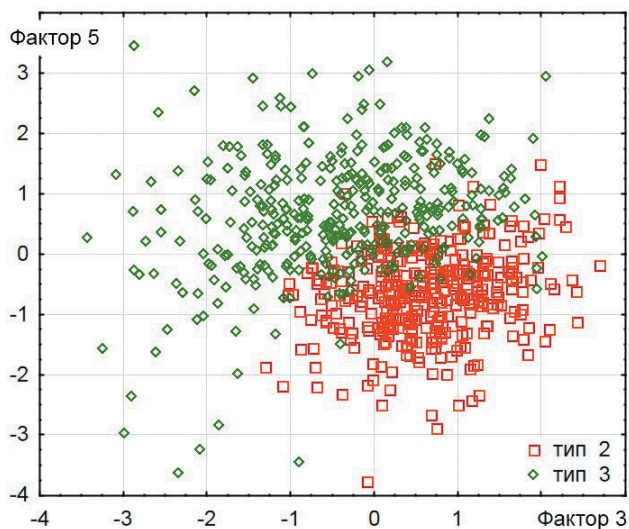


Рис. 6. Распределение объектов ПАД на плоскости факторов f_3, f_5 с учетом кластеризации (не показаны объекты кластера 1 типа).

Fig. 6. Distribution of SAL objects on the factor plane f_3, f_5 considering clustering (cluster objects of type 1 are not shown).

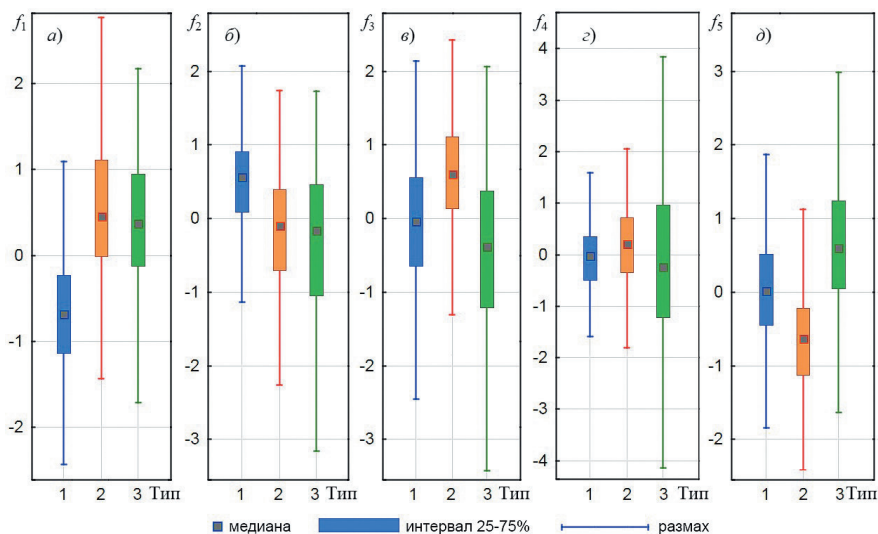


Рис. 7. Статистические характеристики общих факторов для кластеров ПАД:
а) фактор 1; б) фактор 2; в) фактор 3; г) фактор 4; д) фактор 5.

Fig. 7. Statistical characteristics of common factors for SAL clusters:
а) factor 1; б) factor 2; в) factor 3; г) factor 4; д) factor 5.

циркуляции относится к типу $j(j = 1, 2, 3)$, для которого классификационная функция (6) принимает максимальное значение.

Заключение

Учитывая, что циркуляция атмосферы — главный фактор, оказывающий влияние на формирование и пространственное распределение всех метеорологических параметров, модельные характеристики структурных объектов ПАД, имеющей место в нижней тропосфере летнего периода на территории Ближнего и Среднего Востока, можно использовать в качестве предикторов для диагноза и прогноза требуемой метеорологической информации.

Построена модель ПАД — преобладающего типа барического поля над территорией Ближнего Востока в летний период, на основе которой выявлены особенности атмосферной циркуляции в нижней тропосфере. Выделены ортогональные факторы, объясняющие ~80 % общей дисперсии признаков.

По методике типологизации внутренней структуры нижней тропосферы в летний период на территории Ближнего и Среднего Востока выявлены три типа ПАД в летнем сезоне, отличающиеся по мощности, форме, интенсивности циркуляционных объектов, что позволяет уточнять метеорологическую информацию по районам макрорегиона.

Полученные результаты могут быть использованы при организации метеорологического обеспечения различных метеозависимых организационно-технических систем. Кроме того, они могут служить основой для дальнейших научных исследований по повышению качества прогностических схем и моделей, в целом, — эффективности метеорологического обеспечения.

Список литературы

1. Зверев А.С. Синоптическая метеорология и основы предвычисления погоды. Л.: Гидрометеиздат, 1968. 776 с.
2. Авиационно-климатическая характеристика Ближнего Востока. М.: Воениздат, 1969. 112 с.
3. Авиационно-климатическая характеристика Среднего Востока. М.: Воениздат, 1977. 110 с.
4. Анасова Е.Г. О характеристиках местоположения центров действия атмосферы // Труды ВНИИГМИ-МЦД: Статистические методы анализа и прогноза в метеорологии. М.: Гидрометеиздат, 1979. Вып. 58. С. 89—97.
5. Шипко Ю.В., Бучнев Д.В., Облогин М.А., Балабан О.Р. Модель азиатской депрессии летнего периода на изобарическом уровне 1000 гПа // Электронное периодическое издание «Воздушно-космические силы. Теория и практика». Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2018. № 8. С. 209—218.
6. Шипко Ю.В., Балакин В.С., Шувакин Е.В. Факторная модель переднеазиатской депрессии на изобарическом уровне 925 гПа // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2020. № 1. С. 22—28. doi: 10.17308/geo.2020.1/2657.
7. NCEP/DOE AMIP II Reanalysis: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://psl.noaa.gov/data/gridded/data.ncep.reanalysis2.pressure.html>. Дата обращения: 22.02.2021.
8. Багров Н.А., Орлова И.И. К вопросу определения центра циркуляции атмосферы // Труды ГМЦ: Статистические методы долгосрочного прогноза погоды. Л.: Гидрометеиздат, 1978. Вып. 211. С. 3—14.
9. Глызь Г.А. О некоторых характеристиках циркумполярного вихря // Труды ВНИИГМИ-МЦД: Статистические методы анализа и прогноза в метеорологии. М.: Гидрометеиздат, 1979. Вып. 58. С. 98—104.

10. Шупко Ю.В., Шувакин Е.В., Шуваев М.А. Модель циркумполярного вихря северного полушария в терминах механики // Информатика: проблемы, методология, технологии: Материалы XVII Международной научно-методической конференции (Воронеж, 9—10 февраля 2017 г.). Воронеж: Научно-исследовательские публикации, 2017. Т. 4. С. 91—96.
11. Айвазян С.А., Бухштабер В.М., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика: Классификация и снижение размерности / Под ред. С.А. Айвазяна. М.: Финансы и статистика, 1989. 607 с.

References

1. Zverev A.S. *Synopticheskaya meteorologiya i osnovy predvychisleniya pogody*. Synoptic meteorology and the basics of weather forecasting. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1968: 776 p. [In Russian].
2. *Aviacionno-klimaticheskaya harakteristika Blizhnego Vostoka*. Aviation-climatic characteristics of the Near East. Moscow: Voenizdat, 1969: 112 p. [In Russian].
3. *Aviacionno-klimaticheskaya harakteristika Srednego Vostoka*. Aviation-climatic characteristic of the Middle East. Moscow: Voenizdat, 1977: 110 p. [In Russian].
4. Apasova E.G. About the characteristics of the location of atmospheric action centers. *Trudy VNIIGMI-MCD: Statisticheskie metody analiza i prognoza v meteorologii*. Proceedings of RIHMI-WDC: Statistical methods of analysis and forecast in meteorology. Moscow: Gidrometeoizdat. 1979, 58: 89—97. [In Russian].
5. Shipko Yu.V., Buchnev D.V., Oblogin M.A., Balaban O.R. Model of the Asian depression of the summer period at the isobaric level 1000 hPa. *Elektronnoe periodicheskoe izdanie «Vozdushno-kosmicheskie sily. Teoriya i praktika»*. Electronic periodical «Aerospace Forces. Theory and practice». Voronezh: MES Air Force. 2018, 8: 209—218. [In Russian].
6. Shipko Yu.V., Balakin V.S., Shuvakin E.V. Factor model of the South Asia Low at the isobaric level 925 hPa. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya*. Bulletin of Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology. 2020, 1: 22—28. doi: 10.17308/geo.2020.1/2657. [In Russian].
7. NCEP/DOE AMIP II Reanalysis. Available at: <https://psl.noaa.gov/data/gridded/data.ncep.reanalysis2.pressure.html> (accessed: 22.02.2021).
8. Bagrov N.A., Orlova I.I. On the issue of determining the center of atmospheric circulation. *Trudy GMC: Statisticheskie metody dolgosrochnogo prognoza pogody*. Proceedings of the HMC: Statistical methods of long-term weather forecast. Leningrad: Gidrometeoizdat. 1978, 211: 3—14. [In Russian].
9. Glyz' G.A. On some characteristics of circumpolar vortex. *Trudy VNIIGMI-MCD: Statisticheskie metody analiza i prognoza v meteorologii*. Proceedings of RIHMI-WDC: Statistical methods of analysis and forecast in meteorology. Moscow: Gidrometeoizdat. 1979, 58: 98—104. [In Russian].
10. Shipko Yu.V., Shuvakin E.V., Shuvaev M.A. Circumpolar vortex model of the northern hemisphere in terms of mechanics. *Informatika: problemy, metodologiya, tekhnologii: Materialy XVII Mezhdunarodnoj nauchno-metodicheskoy konferencii (Voronezh, 9—10 fevralya 2017)*. Informatics: problems, methodology, technologies: Materials of the XVII International Scientific and Methodological Conference (Voronezh, February 9—10, 2017). Voronezh: Nauchno-issledovatel'skie publikacii., 2017, 4: 91—96. [In Russian].
11. Ayvazyan S.A., Buhstaber V.M., Enyukov I.S., Meshalkin L.D. *Prikladnaya statistika: Klassifikaciya i snizhenie razmernosti*. Applied Statistics: Classification and Reduction of Dimension. Moscow: Finance and statistics, 1989: 607 p. [In Russian].

Конфликт интересов: конфликт интересов отсутствует.

Статья поступила 24.05.2021

Принята к публикации после доработки 01.12.2021

Сведения об авторах

Балакин Владимир Станиславович, старший научный сотрудник, Научно-исследовательская лаборатория, Центральный научно-исследовательский институт Военно-воздушных сил (Минобороны России), balakin69vs@gmail.com.

Шипко Юрий Владимирович, канд. техн. наук, доцент, старший научный сотрудник, Научно-исследовательская лаборатория, Центральный научно-исследовательский институт Военно-воздушных сил (Минобороны России), yshipko@mail.ru.

Information about authors

Balakin Vladimir Stanislavovitch, Senior researcher, Scientific research laboratory, Central Scientific Research Institute of Air Force (RF Ministry of Defense).

Shipko Yuriy Vladimirovitch, PhD (Tech. Sci.), Associate Professor, Senior researcher, Scientific research laboratory, Central Scientific Research Institute of Air Force (RF Ministry of Defense).