

ВЫЯВЛЕНИЕ ХАРАКТЕРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ЦИРКУЛЯЦИИ АТМОСФЕРЫ НА ОСНОВЕ ТИПОЛОГИЗАЦИИ ЦИРКУМПОЛЯРНОГО ВИХРЯ СЕВЕРНОГО ПОЛУШАРИЯ

Ю.В. Шипко, Е.В. Шувакин

В статье рассматриваются особенности общей циркуляции атмосферы Северного полушария, выявленные в результате многомерного статистического анализа циркумполярных образований на изобарическом уровне 500 гПа. На основе анализа выделяются три типа общего вращения атмосферы вокруг полюса. Проведенная типологизация находит свое отражение на картах абсолютной топографии в виде характерных для каждого типа циркумполярного вихря распределений барических образований над территорией Арктики. Полученные результаты могут быть использованы в прогностических схемах и моделировании климатической системы.

Ключевые слова: циркумполярный вихрь, статистический анализ, Арктика

ВВЕДЕНИЕ

Методы моделирования климатической системы и долгосрочного прогнозирования неразрывно связаны с моделированием глобальных процессов атмосферной циркуляции. Основным элементом общей циркуляции атмосферы Северного полушария рассматривается циклонический циркумполярный вихрь (ЦПВ) с центром в районе полюса и вращением с запада на восток. Его мощность, географическое местоположение центра циркуляции и другие характеристики существенно влияют на формирование и перераспределение погодных условий в различных районах земного шара [1-3]. Подобные крупномасштабные процессы циркуляции описываются большим количеством данных о метеорологическом режиме на обширной территории. Использовать полностью имеющуюся информацию о состоянии вихря (для выявления закономерностей атмосферной циркуляции и в прогностических целях) на практике затруднительно. В связи с этим возникает необходимость сжатия информации, замены всего объема данных о вихре ограниченным набором параметров, которые с определенной точностью отражали бы исходные свойства ЦПВ [4,5].

Целью работы является совершенствование моделей климатической системы и прогностических схем путем выявления и учета структурных особенностей ЦПВ Северного полушария. Полученная в результате моделирования климатическая информация, позволит повысить эффективность деятельности потребителя гидрометеорологической информации.

В качестве исходного материала использовались данные реанализа параметров атмосферы NCEP/DOE AMIP-II [6]. Рассматривались значения геопотенциальной высоты в узлах регулярной широтно-долготной сетки с шагом $2,5^\circ$ по четырём срокам (00, 06, 12, 18 часов Всемирного скоординированного времени) на изобарическом уровне 500 гПа за период 1979-2013 гг. По срочным данным геопотенциальной высоты проведен расчет среднесуточных значений. Задача решалась для центрального зимнего месяца (января), когда циклонический характер ЦПВ наиболее выражен.

МЕТОДИКА ВЫДЕЛЕНИЯ ТИПОВ ЦИРКУМПОЛЯРНОГО ВИХРЯ НА ОСНОВЕ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ЕГО СТРУКТУРЫ

При построении математической модели ЦПВ выбран подход [1, 7, 8], определяющий аналогию между проекцией поверхности H_{500} на плоскость XOY и двумерным нормальным распределением на этой плоскости случайных величин X , Y с весами p_{ij} для точек (x_i, y_j) . При этом веса проекций элементов объема «чаши», образованной топографией изобарической поверхности и горизонтальной плоскостью, проходящей через краевую изогипсу H_o , определяются по формуле (1):

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

где H_{ij} – значение высоты изобарической поверхности в узле (x_i, y_j) ; φ_i – широта точки (x_i, y_j) ; учитываются только точки (узлы), для которых выполняется условие $H_{ij} < H_o$.

Характеристиками модели циркумполярного вихря являются: площадь S , ограниченная с юга изогипсой H_o ; условная «масса» M рассматриваемого объема; условная плотность ЦПВ $z = M/S$; геометрические параметры концентрации двумерного распределения около центра масс: угол θ между главной осью эллипса рассеяния и осью X ; σ_u, σ_v – полуоси или главные средние квадратические отклонения эквивалентного единичного эллипса рассеяния; коэффициент сжатия эллипса $k = \sigma_v / \sigma_u$. Модель ЦПВ программно реализована для поверхности H_{500} . В качестве краевой изогипсы H_o выбрана характеристика для января изогипсы, совпадающая с осью планетарной высотной фронтальной зоны, $H_o = 540$ дам.

С целью определения однородных по структуре групп множества циркумполярных образований $\{O_i\}$ ($i = 1, 2, \dots, n$; где n – объем выборки суточных значений характеристик ЦПВ, $n = 1085$) с описательными признаками x_{ij} ($j = 1, 2, \dots, p$; к расчету приняты параметры модели вихря: $x_c, y_c, S, M, z, \theta, \sigma_u, \sigma_v, k$), проведена процедура иерархической кластеризации объектов многомерного пространства. При этом не требуется априорной информации о распределении генеральной совокупности [9]. Мерой близости, «похожести» различных объектов O_l, O_m выбрано среднее расстояние (2):

$$d_H(O_l, O_m) = \sum_{j=1}^p |x_{lj} - x_{mj}|. \quad (2)$$

Предварительно проведена стандартизация параметров по формуле $x_j^* = (x_{ij} - \bar{x}_j) / \sigma_{xj}$, чтобы компоненты вектора признаков были однородны по своему физическому смыслу. Для меры (2) влияние отдельных больших разностей (выбросов) уменьшается, так как они не возводятся в квадрат как в евклидовой метрике.

Дерево иерархической кластеризации имеет три отчетливо выделяющиеся ветви. Таким образом, при рассмотрении среднесуточных характеристик циклонических образований можно говорить, в первом приближении, о трех группах (типах) ЦПВ. При этом объекты циркуляции 1-го типа составляют 30,1 % случаев, 2-го – 29,6 %, 3-го – 40,3 % [10]. Результаты статистических оценок основных характеристик ЦПВ отмеченных кластеров сведены в табл.

Статистические оценки параметров ЦПВ по кластерам (500 гПа, январь)

Параметр ЦПВ	Кластер 1		Кластер 2		Кластер 3	
	средняя	ср. кв. откл.	средняя	ср. кв. откл.	средняя	ср. кв. откл.
x_c , км	-420,02	394,43	-552,63	330,64	-503,71	284,68
y_c , км	-91,15	328,29	-59,09	326,82	27,47	264,89
$S \cdot 10^{-6}$, км ²	63,39	3,83	65,34	3,32	65,57	2,92
$M \cdot 10^{-9}$, км ² дам	1,37	0,16	1,38	0,17	1,56	0,15
z , дам	21,72	2,54	21,19	2,71	23,86	2,42
θ , град.	32,34	14,34	-31,98	17,75	2,80	31,80
σ_u , км	2453,85	147,77	2411,18	127,15	2217,08	119,02
σ_v , км	1617,53	138,59	1688,51	143,82	1788,39	129,93
k	0,66	0,07	0,70	0,07	0,81	0,07

Из данных таблицы видно, что объекты циркуляции 3-го кластера, в сравнении с объектами кластеров 1, 2, имеют в среднем большую «массу» и «плотность», более сжатый эллипс рассеяния масс. Выявлена особенность распределений угла ориентации эллипса рассеяния по кластерам: для кластера 1 (в основном) $\theta > 0$; для кластера 2 – $\theta < 0$ (т. е. объекты циркуляции кластера 1 имеют направление главной оси эллипса рассеяния восточной ориентации, а кластера 2 – западной); для кластера 3 угол θ имеет бимодальное распределение.

ОСОБЕННОСТИ БАРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ИЗОБАРИЧЕСКОМ УРОВНЕ H_{500} НАД ТЕРРИТОРИЕЙ АРКТИЧЕСКОГО РЕГИОНА

Для выявления особенностей типов барических образований над Арктикой из полученных трех кластеров циркумполярных образований были выбраны объекты с характеристиками вихря, соответствующими средним по каждому кластеру. С помощью процедуры автоматизированного построения карт барической топографии в Северном полушарии [11] получено визуальное отображение, по которому составлено описание особенностей барических полей для каждого типа ЦПВ.

Все три типа циркумполярного вихря по своему географическому положению центра располагаются в районе Северного полюса и концентрируют свою «условную массу» над островами Канадского архипелага, центральной части Северного Ледовитого океана, Карского моря и Новосибирских островов, островов архипелага Новая Земля. Выявлены определенные различия типов, которые заключаются в «массовых характеристиках» ЦПВ, в ориентации эллипса рассеяния «условных масс» и географическому положению центров. Указанные различия находят свое отражение на картах AT_{500} и на приземных картах погоды.

Как видно из таблицы объекты первого кластера (в среднем) характеризуются наименьшей площадью (S), «условной массой» (M) и относительно малой величиной (z) вихря, что говорит о слабой интенсивности циклонического образования, центр которого на картах AT_{500} находится в западном полушарии, в юго-восточной части Северного Ледовитого океана, в районе островов Канадского архипелага. Район северной Атлантики характеризуется антициклоническим вторжением, гребень антициклона, направленный на северо-восток, располагается в районе Британских островов. Данное барическое поле представлено на рис. 1.

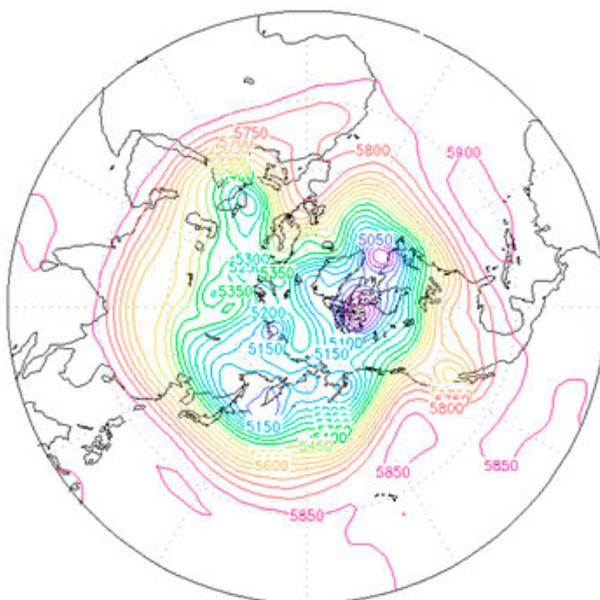


Рис. 1. Характер барического поля на карте AT_{500} (первый тип ЦПВ)

Циркумполярные объекты второго кластера имеют (в среднем) наименьшую интенсивность, однако, по своей площади они занимают значительную территорию, что отчетливо видно из анализа рис. 2. На картах AT_{500} , данный тип ЦПВ представлен в виде циклонического образования с двумя центрами в районе Канадского архипелага и полуострова Таймыр с характерной ложбиной, находящейся в районе Чукотского и Берингова морей, восточнее ярко выражен Алеутский минимум. Район Северной Атлантики и скандинавского полуострова находится под влиянием барического гребня.

Барические образования третьего типа ЦПВ имеют наибольшие значения площади, «условной массы» и интенсивности. Данные объекты ЦПВ на картах AT_{500} (рис. 3) характеризуются как «глубокое» барическое образование с ярко выраженным центром в районе западной части Арктической зоны РФи северо-восточной оконечности Северной Америки. При этом центральная и восточная части Арктической зоны находятся под влиянием обширной барической ложбины. Район северной Атлантики, включающей в себя западную территорию российской Арктики, находится под влиянием гребня антициклона.

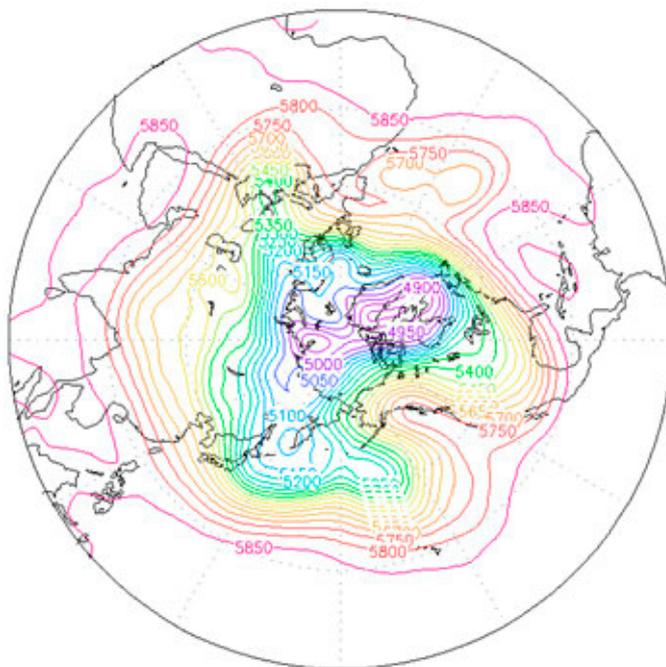


Рис. 2. Характер барического поля на карте AT_{500} (второй тип ЦПВ)

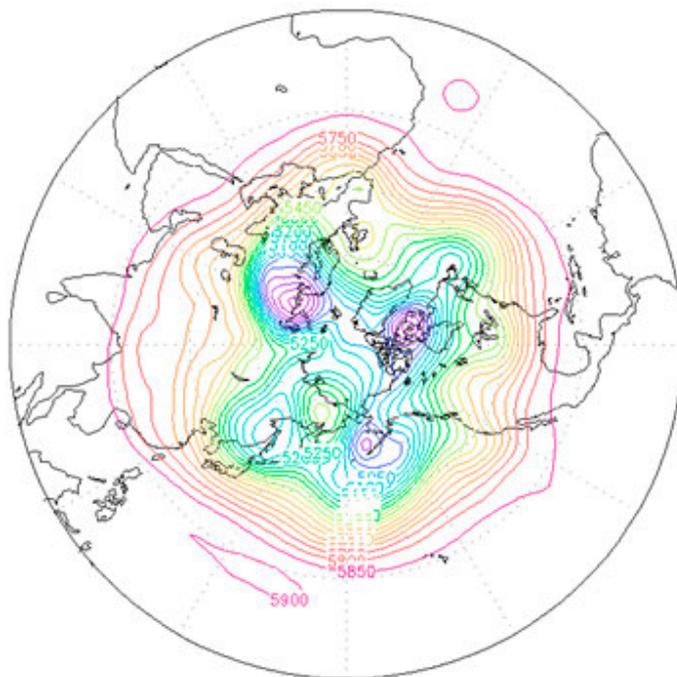


Рис. 3. Характер барического поля на карте AT_{500} (третий тип ЦПВ)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенная типологизация циркумполярных процессов позволяет выявить главные и устойчивые свойства многолетнего режима атмосферной циркуляции. Научная новизна работы заключается в решении частной задачи по выявлению отдельных кластеров (групп) глобальных циклонических циркумполярных образований.

Полученные результаты позволяют говорить о дифференцированном использовании данных о состоянии ЦПВ в разрабатываемых погодно-климатических моделях, тем самым, повысить эффективность применения метеоинформации при решении авиационных задач [12] путем использования ее в прогностических схемах и моделях принятия метеозависимых решений.

IDENTIFYING THE CHARACTERISTIC FEATURES OF THE ATMOSPHERIC CIRCULATION ON THE BASIS OF TYPOLOGY OF THE CIRCUMPOLAR VORTEX IN THE NORTHERN HEMISPHERE

Y.V. Shipko, E.V. Shuvakin

The article discusses the features of the General circulation of the atmosphere of the Northern hemisphere revealed by the result of the multivariate statistical analysis of the circumpolar formations on isobaric at the level of 500 hPa. Based on the analysis of three types of General rotation of the atmosphere around pole. The above typology is reflected on the maps of absolute topography in the form of the characteristic to each type of the circumpolar vortex distribution baric formations over the territories of the Arctic. The obtained results can be used for prognostic purposes, in particular, seasonal and annual forecasts of the direction and speed of wind, elevation, and land.

Keywords: circumpolar vortex, statistical analysis, the Arctic

ЛИТЕРАТУРА

1. Багров Н.А. О центре циркуляции // Метеорология и гидрология. 1975. № 2. С. 3-11.
2. Ананьев Л.Б., Звягинцев А.М., Кузнецова Н.И., Нахаев М.И. Особенности общего содержания озона и циркуляция в нижней стратосфере в зимне-весенний период 2011 года // Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации. 2012. № 347. С. 44-60.
3. Задорожная Т. Н., Закусилов В. П. Исследование термического режима аномально-жаркого лета 2010 года в Центральном Черноземье и факторов его обусловивших // Труды главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. 2014. № 570. С. 133-148.
4. Акимов Л.М., Шипко Ю.В., Задорожная Т.Н. Характеристика вертикальной структуры циркумполярного вихря северного полушария // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2012. № 1. С. 89-93.
5. Шипко Ю. В., Шувакин Е. В. Моделирование циркумполярного вихря Северного полушария для анализа крупномасштабных атмосферных процессов // Вестник Воронежского института ФСИИ России. 2014. № 4. С. 59-65.
6. Kanamitsu M. et al. NCEP/DOE AMIP-II Reanalysis// Bull. American Meteor. Soc. 2002. Vol. 83. P. 1631–1643.
7. Глызь Г.А. О некоторых характеристиках циркумполярного вихря//Труды ВНИИГМИ-МЦД, 1979., Вып. 58. М.: Гидрометеоиздат. С. 98-104.
8. Багров Н. А., Орлова И. И. К вопросу определения центра циркуляции атмосферы // Труды Гидрометцентра СССР. Вып. 211.– Л.: Гидрометеоиздат, 1978. – С. 3–14.
9. Айвазян С.А., Бухштабер В.М., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика: Классификация и снижение размерности. Справочное издание, [под ред. С.А. Айвазяна]. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 607 с.
10. Шипко Ю.В., Шувакин Е.В. Типологизация объектов циркумполярного вихря северного полушария // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1; URL: <http://www.science-education.ru/121-17282> (дата обращения: 06.02.2015).
11. NCEP/DOE AMIP II Reanalysis [Электронный ресурс]. URL: <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/data.ncep.reanalysis2.html> (дата обращения: 13.11.2014).
12. Михайлов В.В., Гедзенко Д.В. Теоретические основы повышения эффективности применения метеоинформации при решении авиационных задач // Системы управления и информационные технологии. 2009. Т. 37. № 3.1. С. 171-174.