

## ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕРТИКАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ЦИРКУМПОЛЯРНОГО ВИХРЯ СЕВЕРНОГО ПОЛУШАРИЯ

Л. М. Акимов, Ю. В. Шипко, Т. Н. Задорожная

*Воронежский государственный университет, Россия  
Военный авиационный инженерный университет, Россия*

*Поступила в редакцию 15 декабря 2011 г.*

**Аннотация:** В работе представлены результаты моделирования циркумполярного вихря Северного полушария с оперативным определением краевой изогипсы. В качестве исходной информации использованы данные реанализа NCEP/NCAR, NCEP/DOE. Выявлены характеристики вертикальной структуры атмосферной циркуляции на уровнях  $H_{1000}$ ,  $H_{500}$ ,  $H_{100}$ .

**Ключевые слова:** краевые изогипсы, вертикальная структура, циркумполярный вихрь.

**Abstract:** The article presents the results of the simulation of the circumpolar vortex in the Northern Hemisphere with the operational definition of the edge isohypses. The reanalysis data NCEP/NCAR, NCEP/DOE have been used as the initial information. The characteristics of the vertical structure of atmospheric circulation at levels  $H_{1000}$ ,  $H_{500}$ ,  $H_{100}$  have been identified.

**Key words:** edge isohypses, vertical structure, circumpolar vortex.

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). Его мощность, географическое местоположение центра циркуляции и другие характеристики существенно влияют на формирование и перераспределение погодных условий в различных районах земного шара.

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) практически невозможно. 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.

В представленной работе предпринята попытка усовершенствования математической модели ЦПВ и выявление его структурных особенностей для последующего использования полученных

результатов в долгосрочных методах прогнозирования и моделировании климатической системы.

В качестве исходной информации использовались данные реанализа NCEP/NCAR (National Centers for Environmental Prediction/ National Center Atmospheric Research) [8] и NCEP/DOE AMIP-II (Department of Energy The Atmospheric Model Intercomparison Project) [9]. К расчету принимались значения геопотенциальной высоты в узлах регулярной широтно-долготной сетки с шагом  $2,5^\circ$  по четырем срокам (международного согласованного времени) на различных изобарических уровнях. Для каждого узла регулярной сетки рассчитывались среднесуточные значения. Рассматривались данные за январь месяц, когда циклонический характер ЦПВ наиболее выражен, за период 1958-2010 гг. Таким образом, объем выборки составил  $n = 1643$ .

В качестве базовой использовалась модель ЦПВ, предложенная в работах [1, 2, 4], где центр циркуляции определяется как проекция на поверхность Земли центра масс объема «чаши», образованной топографией некоторой изобарической поверхности и горизонтальной плоскостью, проходящей через краевую изогипсу  $H_o$ . Условная масса элемента  $(x_i, y_j)$  представляется в виде:

$$P_{ij} = \frac{(H_o - H_{ij}) \cos j_i}{\sum_i \sum_j (H_o - H_{ij}) \cos j_i} \quad (1)$$

Тогда центр ЦПВ как центр масс системы материальных точек определяется по формулам:

$$x_c = \frac{r \sum_i \sum_j (H_o - H_{ij}) \cos^2 j_i \cos I_j}{\sum_i \sum_j (H_o - H_{ij}) \cos j_i}, \quad (2)$$

$$y_c = \frac{r \sum_i \sum_j (H_o - H_{ij}) \cos^2 j_i \sin I_j}{\sum_i \sum_j (H_o - H_{ij}) \cos j_i},$$

где  $H_{ij}$  – значение высоты изобарической поверхности  $H$  в точке  $(x_i, y_j)$ ;  $r$  – радиус Земли;  $j_i, I_j$  – широта и долгота точки  $(x_i, y_j)$ . Учитываются точки  $(x_i, y_j)$ , для которых выполняется условие  $H_{ij} < H_o$ . Используется декартова система координат  $XOY$  с центром в географическом полюсе, ось  $X$  направлена вдоль гринвичского меридиана, ось  $Y$  – вдоль  $90^\circ$  в.д.

Параметрами данной модели вихря являются его площадь  $S$ , ограниченная с юга изогипсой  $H_o$ , «масса»  $M$ :

$$S = r^2 D_j D_l \sum_i \sum_j \cos j_i, \quad (3)$$

$$M = r^2 D_j D_l \sum_i \sum_j (H_o - H_{ij}) \cos j_i, \quad (4)$$

где  $D_j, D_l$  – шаги по меридиану и параллели, выделяющие элементарную площадку  $S_{ij}$ .

Рассматриваются геометрические характеристики эллипса рассеяния масс  $p_{ij}$ : угол  $q$  направления большой оси с осью  $OX$ , а также главные полуоси эллипса  $s_u, s_v$ , коэффициент сжатия эллипса  $k = s_u/s_v$  [4].

Приведенная выше модель циркумполярного вихря реализована [1, 2, 4] применительно к уровню  $H_{500}$  для постоянной (для каждого месяца) ограничивающей изогипсы  $H_o$ , совпадающей с осью планетарной высотной фронтальной зоны (ПВФЗ) [3, 5]. Но этот подход к определению краевой изогипсы является приближенным и не дает полной картины о территории, на которой формируется ЦПВ.

В работах [6, 7] дан новый подход к расчету характеристик вихря с оперативным расчетом краевой изолинии  $H_o$  в автоматизированном режиме для каждого рассматриваемого случая. Алгоритм расчета  $H_o$  сводится к определению максимального уровня «жидкости», заполняющей «чашу» поверхности  $H$ . При этом остаются вне модели локальные максимумы в экваториальном поясе и учитывается (включается в модель) вся внутренняя структура ЦПВ. Этот подход использовался и в данной работе.

В целях учета вертикальной структуры ЦПВ рассматривались модели нескольких уровней:  $H_{1000}, H_{500}, H_{100}$ . При использовании подхода с оперативным расчетом краевой изогипсы получены статистические оценки параметров циркуляции, представленные в таблице.

Как следует из данных таблицы, параметры массы и площади на разных уровнях заметно различаются. Если рассматривать отношение осей эллипса рассеяния, то для уровней  $H_{500}, H_{100}$  величина  $k$  в среднем близка к единице (т.е. фигура рассеяния близка к кругу), что нельзя сказать для уровня характеристики на уровне  $H_{1000}$ .

На рисунках 1, 2, 3 представлены поля распределения центров ЦПВ (январь) в полярной системе координат для рассматриваемых уровней. Как видно из этих рисунков, центры вихрей соответствующих поверхностей концентрируются в разных секторах Северного Ледовитого океана. Это

Таблица

Статистические оценки параметров ЦПВ на разных уровнях

Уровень, гПа	Характеристики	$x_c$ , км	$y_c$ , км	$S \cdot 10^{-6}$ , км <sup>2</sup>	$M \cdot 10^{-9}$ , км <sup>2</sup> дам	$q$ , град.	$s_u$ , км	$s_v$ , км	$k$
1000	Среднее значение	-528,9	-603,2	32,31	0,143	-9,0	3050,6	2016,0	1,408
	Среднее кв. отклонение	658,0	518,8	9,23	0,060	16,6	368,9	257,5	0,261
500	Среднее значение	-257,9	142,4	167,92	6,095	1,5	2731,6	2555,9	0,998
	Среднее кв. отклонение	113,1	104,1	8,77	0,320	30,3	77,0	77,6	0,041
100	Среднее значение	74,3	214,9	181,86	9,920	4,0	2726,4	2561,2	0,971
	Среднее кв. отклонение	120,0	157,0	7,63	0,693	24,9	77,3	93,8	0,041

Характеристики вертикальной структуры циркумполярного вихря Северного полушария

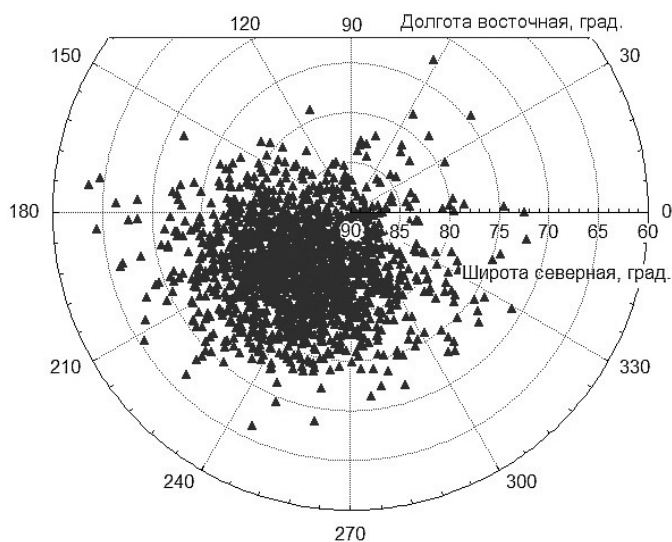


Рис. 1. Распределение центров ЦПВ для уровня  $H_{1000}$  (январь, 1958-2010 гг.)

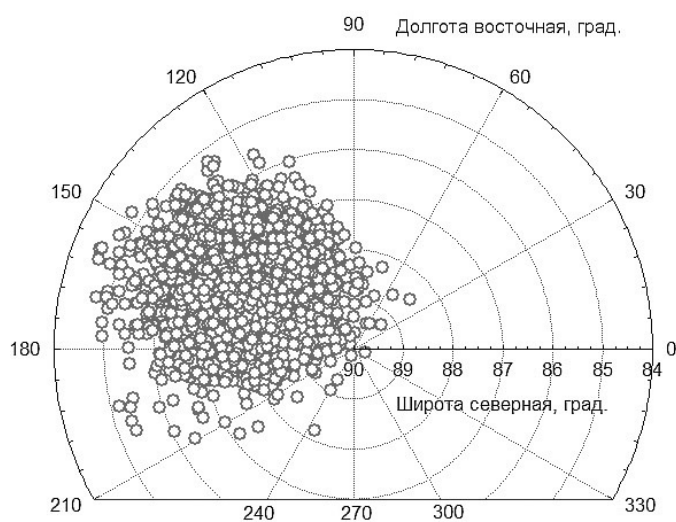


Рис. 2. Распределение центров ЦПВ для уровня  $H_{500}$  (январь, 1958-2010 гг.)



Рис. 3. Распределение центров ЦПВ для уровня  $H_{100}$  (январь, 1958-2010 гг.)

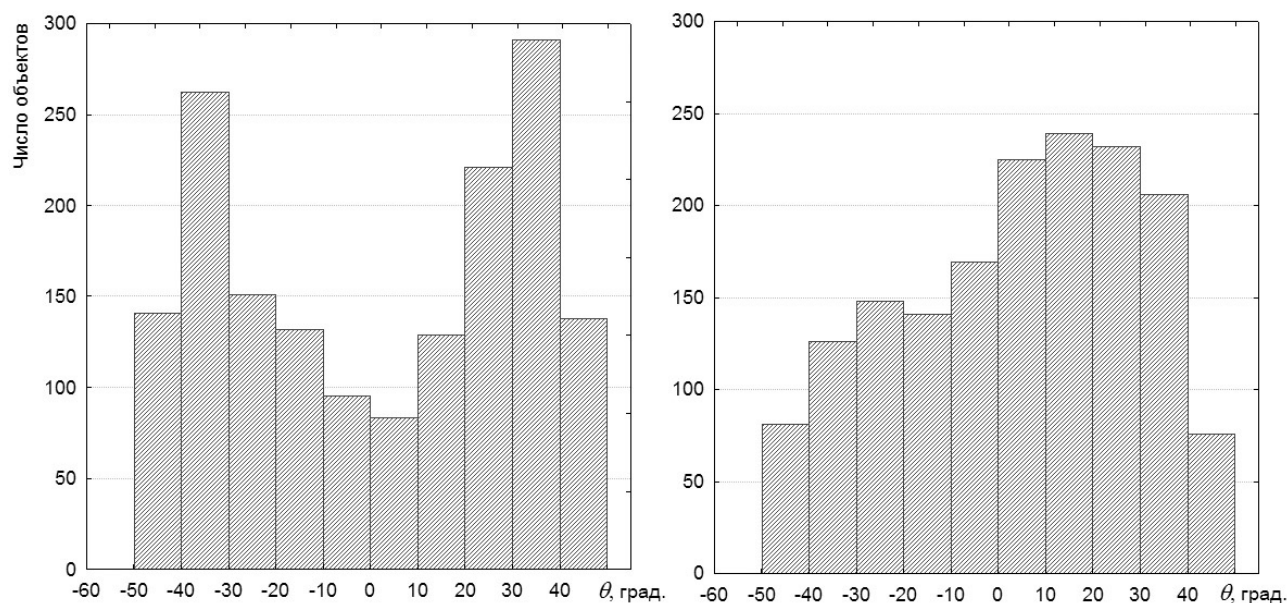


Рис. 4. Гистограммы распределения угла (январь, 1958-2010 гг.): а) для уровня  $H_{500}$ ; б) для уровня  $H_{100}$

объясняется тем, что положение центров основных барических образований детерминировано, а изменению подвержена их интенсивность, которая и способствует определенному разбросу параметров массы и площади ЦПВ на разных уровнях. Данное положение подтверждает необходимость рассмотрения вертикальной структуры вихря.

Кроме того, для разных уровней различаются распределения угла  $q$ . На уровне 1000 гПа распределение  $q$  близко к нормальному, на 500 гПа – распределение двумодальное, на уровне 100 гПа – распределение асимметричное (гистограммы представлены на рис. 4).

Таким образом, проведенное моделирование циркумполярного вихря позволило выявить особенности вертикальной структуры атмосферной циркуляции для января Северного полушария. Результаты работы позволяют судить о свойствах исследуемого объекта циркуляции и могут найти приложение в подходах к анализу влияния ЦПВ на различные метеорологические элементы в схемах прогноза при выборе предикторов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Багров Н. А. О центре циркуляции / Н. А. Багров // *Метеорология и гидрология*. – 1975. – № 2. – С. 3-11.
2. Багров Н. А. К вопросу определения центра циркуляции атмосферы / Н. А. Багров, И. И. Орлов // *Тр. Гидрометеоцентра*. – Л. : Гидрометеиздат, 1978. –

Вып. 211. Статистические методы долгосрочного прогноза погоды. – С. 3-14.

3. Глызь Г. А. Анализ положения планетарной высотной фронтальной зоны / Г. А. Глызь // *Тр. Всесоюз. НИИ гидрометеоинформации. Мировой центр данных*. – М. : Гидрометеиздат, 1979. – Вып. 58. Статистические методы анализа и прогноза в метеорологии. – С. 105-111.

4. Глызь Г. А. О некоторых характеристиках циркумполярного вихря / Г. А. Глызь // *Тр. Всесоюз. НИИ гидрометеоинформации. Мировой центр данных*. – М. : Гидрометеиздат, 1979. – Вып. 58. Статистические методы анализа и прогноза в метеорологии. – С. 98-104.

5. Задорожная Т. Н. Моделирование структурных особенностей циклонической циркуляции на заданном уровне / Т. Н. Задорожная, Ю. В. Шипко // *Сб. реф. деп. рукоп. Сер. Б.* – М. : Центр военно-науч. информ. МО РФ, 2009. – Вып. 88.

6. Задорожная Т. Н. Совершенствование математической модели циркумполярного вихря Северного полушария / Т. Н. Задорожная, Ю. В. Шипко, Е. А. Малюков // *Вестн. Военного инженерного ун-та*. – Воронеж : Науч. кн., 2010. – № 4(11). – С. 47-52.

7. Педь Д. А. Некоторые климатические особенности циркумполярного вихря Северного полушария / Д. А. Педь // *Тр. Гидрометеоцентра*. – 1973. – Вып. 115. – С. 25-44.

8. The NCEP/NCAR 40-year Reanalysis Project / E. Kalnay [et al.] // *Bul. American Meteor. Soc.* – 1996. – Vol. 77. – P. 437-471.

9. NCEP/DOE AMIP-II Reanalysis (R-2) / M. Kanamitsu [et al.] // *Bul. American Meteor. Soc.* – 2002. – Vol. 83. – P. 1631-1643.

Акимов Леонид Мусамудинович

кандидат географических наук, доцент кафедры гео-экологии и мониторинга окружающей среды Воронежского государственного университета, г. Воронеж, т. (473) 266-56-54, 8-951-850-49-82, E-mail: [akl63bk.ru](mailto:akl63bk.ru), [root@geogr.vsu.ru](mailto:root@geogr.vsu.ru)

Шипко Юрий Владимирович

кандидат технических наук, доцент Военного авиационного инженерного университета, г. Воронеж, т. (473) 255-20-56, 8-950-762-73-79, E-mail: [yshipko@mail.ru](mailto:yshipko@mail.ru), [yshipko@gmail.com](mailto:yshipko@gmail.com)

Задорожная Тамара Николаевна

кандидат географических наук, доцент Военного авиационного инженерного университета, г. Воронеж, т. (473) 222-99-07

Akimov Leonid Musamudinovitch

PhD in Geography, associate professor of the department of geocology and environmental monitoring, Voronezh State University, Voronezh, tel. (473) 266-56-54, 8-951-850-49-82, E-mail: [akl63bk.ru](mailto:akl63bk.ru), [root@geogr.vsu.ru](mailto:root@geogr.vsu.ru)

Shipko Yuriy Vladimirovitch

PhD in Technical Sciences, associate professor, Military Aviation Engineering University, Voronezh, tel. (4732) 55-20-56, 8-950-762-73-79, E-mail: [yshipko@mail.ru](mailto:yshipko@mail.ru), [yshipko@gmail.com](mailto:yshipko@gmail.com)

Zadorozhnaya Tamara Nikolayevna

PhD in Geography, associate professor, Military Aviation Engineering University, Voronezh, tel. (473) 222-99-07