

ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК ЦЕНТРА ЦИРКУЛЯЦИИ АТМОСФЕРЫ НА УРОВНЕ 100 ГПА

Ю. В. Шипко, Е. В. Шувакин

*Военный учебно-научный центр ВВС «Военно-воздушная академия
им. профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Россия*

Поступила в редакцию 13 ноября 2017 г.

Аннотация: В статье представлена модель циркумполярного вихря на изобарическом уровне 100 гПа, даны подходы автоматизированного расчета основных характеристик полюса циркуляции: координат центра, лапласиана, ориентации оси ложбины. Приведены их статистические оценки для января и июля. Рассчитаны поля информативности данных характеристик для приземной температуры воздуха.

Ключевые слова: циркумполярный вихрь, центр циркуляции, лапласиан, ось ложбины, температура воздуха.

Abstract: The model of circumpolar vortex at isobaric level of 100 hPa is presented. The approaches of automated calculation of the main characteristics of the circulation pole are given: coordinates of centre, laplacian, orientation of hollow axis. Their statistical estimates for January and July are given. The fields of informational content of these characteristics for air temperature are calculated.

Key words: circumpolar vortex, circulation centre, laplacian, axis of hollow, air temperature.

Одним из обобщенных объектов, описывающих особенности атмосферной циркуляции в Северном полушарии, можно считать циркумполярный вихрь (ЦПВ) с центром в районе полюса и западно-восточным движением воздуха. Характеристики ЦПВ (положение центра циркуляции, мощность, конфигурация и другие) оказывают существенное влияние на формирование погодных условий различных районов России. Изучение данного объекта позволяет углубить понимание закономерностей общей циркуляции атмосферы и соответственно улучшить качество метеорологических прогнозов.

Важное место в исследованиях ЦПВ занимают вопросы, касающиеся определения центра циркуляции и местоположения вихря [3, 4]. Имеются различные подходы к расчету центра вихря и моделированию ЦПВ [2, 5, 6, 8]. Анализ работ по определению центра (или полюса) циркуляции атмосферы показывает, что в этом вопросе нет однозначного толкования [4].

Большинство методов прогноза основаны на использовании информации о циркуляции только в нижней или средней тропосфере. Однако, исследования показывают, что значительную роль в фор-

мировании погоды играют также процессы, происходящие в более высоких слоях атмосферы, в частности, в стратосфере [9]. ЦПВ просматривается над всем полушарием, как в тропосфере, так и в стратосфере, поэтому информация о его состоянии на высоких изобарических уровнях позволит более успешно решать задачи моделирования и прогноза метеорологических параметров.

Цель данной статьи – совершенствование модели ЦПВ Северного полушария путем оценки характеристик центра циркуляции атмосферы на уровне 100 гПа и их информативности для приземной температуры воздуха.

Поставленная цель достигается решением задачи программного определения характеристик центра ЦПВ с использованием алгоритмов анализа полей геопотенциальной высоты изобарического уровня 100 гПа.

В качестве исходного материала использовались сеточные данные (в узлах регулярной сетки с шагом 2,5° по широте и долготе) реанализа параметров атмосферы NCEP/DOE AMIP-II [13] за период 1980-2015 годы (4-х срочные значения полей геопотенциальной высоты на изобарическом уровне 100 гПа и температуры воздуха на уровне 1000 гПа, по которым выполнен расчет среднесуточных значений).

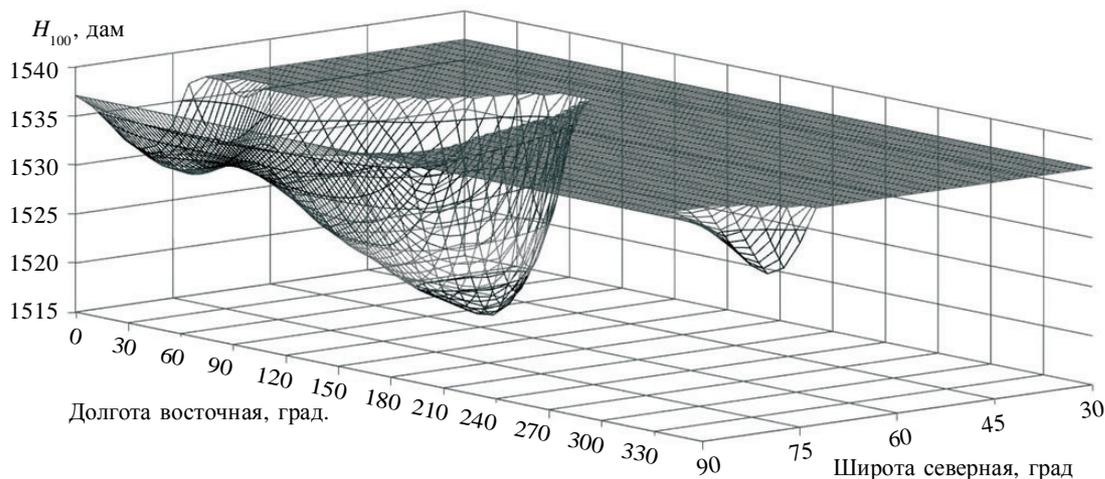


Рис. 1. Поверхность средней суточной геопотенциальной высоты уровня 100 гПа, ограниченная краевой изогипсой H_{cp} (1 января 2013 г.)

Оценки положения центра циркуляции на уровне 500 гПа

При построении моделей ЦПВ чаще используется изобарический уровень 500 гПа [1, 3, 4, 5, 6]. Адекватным представляется подход, определяющий центр циркуляции как положение центра масс атмосферы, заключенной между поверхностью H_{500} и горизонтальной плоскостью, проходящей через краевую изогипсу H_o [3, 4, 5]:

$$x_c = \frac{r \sum \sum (H_o - H_{ij}) \cos^2 j_i \cos l_j}{\sum \sum (H_o - H_{ij}) \cos j_i}, \quad (1)$$

$$y_c = \frac{r \sum \sum (H_o - H_{ij}) \cos^2 j_i \cos l_j}{\sum \sum (H_o - H_{ij}) \cos j_i}, \quad (2)$$

где рассматривается декартова система координат XOY в плоскости экватора, центр совмещен с центром Земли, ось X направлена к нулевому меридиану, ось Y – на восток (90° западной – 90° восточной долготы); r – радиус Земли; H_{ij} – значение высоты изобарической поверхности в точке (x_i, y_j) , учитываются точки (узлы), для которых выполняется условие $H_{ij} < H_o$; j_i, l_j – широта и долгота точки соответственно, $i = \overline{1, l}, j = \overline{1, m}$ (l, m – размерности расчетной сетки полушария по северной широте и восточной долготе с шагом $2,5^\circ$).

Ограничивающая изогипса H_o выбирается совпадающей с осью планетарной высотной фронтальной зоны (увеличенных горизонтальных градиентов температуры и давления в средней и верхней тропосфере, имеющей большое протяжение в умеренных или субтропических широтах), при этом принимается постоянное значение для оп-

ределенного месяца [3, 4, 5]. Данная модель (обозначим как модель 1) имеет некоторую неопределенность и неоднозначность выбора изогипсы H_o и вопрос о положении центра ЦПВ однозначно не решается.

Модель ЦПВ с оперативным (автоматизированным) определением краевой изогипсы [6, 11] (обозначим как модель 2) также не решает задачи приближения модельного центра ЦПВ к фактическому, поскольку околополюсная циркуляция в тропосфере распадается на несколько центров. И первая замкнутая изогипса, охватывающая все частные центры, может дать очень большое смещение центра циркуляции.

Проведена сравнительная оценка рассмотренных моделей ЦПВ 1 и 2 по параметру смещения модельного центра циркуляции относительно фактического центра. В качестве фактического центра атмосферной циркуляции условно принят локальный (в интервале $60-90^\circ$ северной широты) минимум геопотенциальной поверхности H_{500} Северного полушария.

Средняя ошибка отклонений центра циркуляции по долготе для модели 1 составила $13,7^\circ$, для модели 2 $41,5^\circ$. Средняя ошибка по широте – соответственно $-11,8^\circ$ и $-14,6^\circ$. При этом тест по t -критерию Стьюдента [10] показал значимое отличие (на уровне значимости $\alpha = 0,05$) модельных отклонений центра циркуляции для сравниваемых моделей.

Поскольку рассмотренные модели 1, 2 дают в среднем сравнительно большие отклонения модельных центров циркуляции от фактических, предлагается при построении модели ЦПВ (с оп-

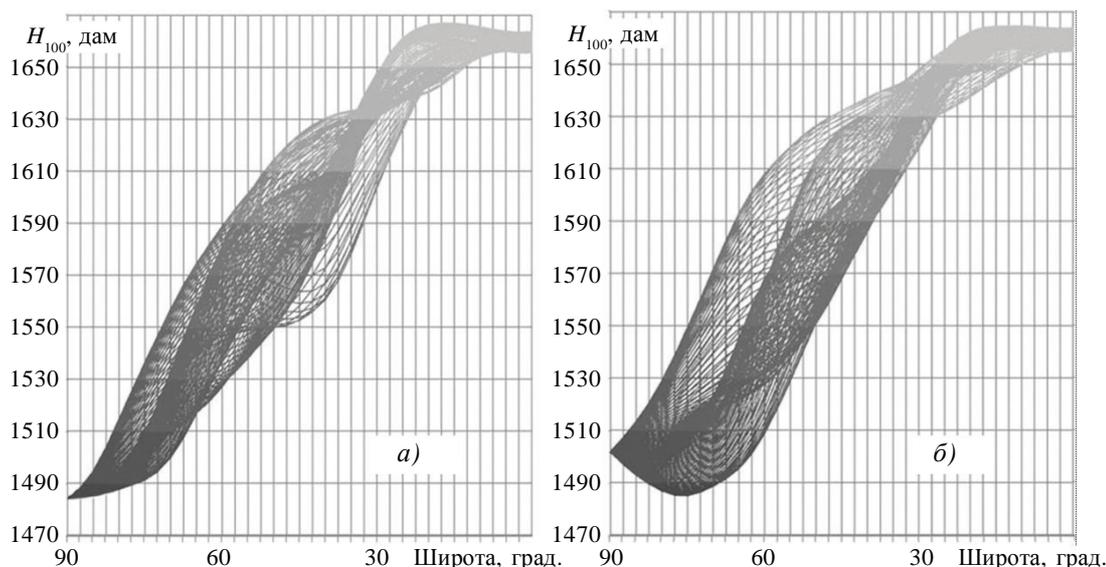


Рис. 2. Отображение проекции на меридиональную плоскость развертки по долготе поверхности средней суточной геопотенциальной высоты уровня 100 гПа: а) 8 января 1981 года; б) 3 января 1981 года

ределением характеристик центра) использовать поверхность геопотенциальной высоты уровня 100 гПа, где прослеживается (в основном) только один минимум.

Модель циркумполярного вихря уровня 100 гПа

Рассматривается поверхность H_{100} геопотенциальной высоты уровня 100 гПа, которая (согласно исходным данным [8]) представлена дискретными значениями в узлах регулярной сетки с шагом $2,5^\circ$. Данное образование ограничивается определенной широтой, условно выбирается $j_0 = 40^\circ$, поскольку в представленной архивной выборке не было случаев выхода минимума за пределы данной широты. Алгоритм построения модифицированной модели ЦПВ включает следующие последовательные процедуры.

1. Расчет минимального значения H_{100} на заданной широте j_0 . Данное значение принимается за краевую изогипсу $H_0 = \min H|_{j=40}$.

2. В области значений геопотенциальной высоты $H_{100} \leq H_0$ по широте и долготе определяется абсолютный минимум H_c и его координаты (x_c, y_c) . Данное значение принимается за центр циркуляции.

3. Для более полного описания поля давления в качестве дополнительного параметра модели на уровне 100 гПа включается лапласиан (как характеристика вертикальной составляющей вихря скорости) [7]:

$$\nabla^2 H_{100} = (H_1 + H_2 + H_3 + H_4 - 4H_0) / (ds)^2, \quad (3)$$

где H_0, H_1, H_2, H_3, H_4 – значения H_{100} в точках расчетной сетки, при этом точка 0 соответствует центру (x_c, y_c) ; ds – шаг регулярной сетки.

4. Определение оси ложбины циркумполярного образования. Предполагается, что «чаша» поверхности геопотенциальной высоты H_{100} заполняется жидкостью до граничного уровня H_{cp} , равного значению H_{100} в точке геометрического полюса $H|_{j=90}$. Определяются точки (узлы регулярной сетки) и их координаты (x_i, y_i) , находящиеся под «зеркалом» жидкости, для которых выполняется условие $H_0 \leq H_{cp}$. Пример отображения поверхности точек $H_i \leq H_{cp}$ средней суточной геопотенциальной высоты H_{100} (для 1 января 2013 г.) представлено на рисунке 1, где явно просматривается минимум поверхности – центр вихря, а также ложбина циркумполярного образования.

В случае, когда абсолютный минимум поверхности H_{100} совпадает с координатами полюса, т.е. $H_c = H|_{j=90}$, значение H_{cp} задается следующим образом: $H_{cp} = H|_{j=90} + 10$ дам («чаша» поверхности H_{100} условно заполняется жидкостью до этого уровня). Пример такого случая для 8 января 1981 года поверхности H_{100} представлен на рисунке 2а (в отличие от наиболее часто наблюдаемой конфигурации, данной на рисунке 2б, когда центр циркуляции – минимум поверхности H_{100} – смещен относительно геометрического полюса).

Положение оси ложбины циркумполярного образования, относительно оси Ox выбранной системы координат определяется углом b . Разработана методика расчета угла b [12] для представ-

Статистические оценки параметров модели в январе

| Параметр | Средняя | Медиана | Минимум | Максимум | Станд. отклонение |
|------------------------------------|---------|---------|---------|----------|-------------------|
| x_c , км | 214 | 250 | -2200 | 2872 | 856 |
| y_c , км | 177 | 345 | -3746 | 3394 | 1663 |
| $\nabla^2 H$, дам/км ² | 0,00339 | 0,00278 | 0,00007 | 0,01103 | 0,00257 |
| β , град. | 95,4 | 95,6 | 30,2 | 157,7 | 13,5 |

Таблица 2

Статистические оценки параметров модели в июле

| Параметр | Средняя | Медиана | Минимум | Максимум | Станд. отклонение |
|------------------------------------|---------|---------|---------|----------|-------------------|
| x_c , км | 205 | 342 | -4080 | 3864 | 1577 |
| y_c , км | -1027 | -1074 | -3820 | 2939 | 1282 |
| $\nabla^2 H$, дам/км ² | 0,00160 | 0,00158 | 0,00003 | 0,00413 | 0,00089 |
| β , град. | 96,9 | 97,8 | 16,6 | 161,5 | 20,5 |

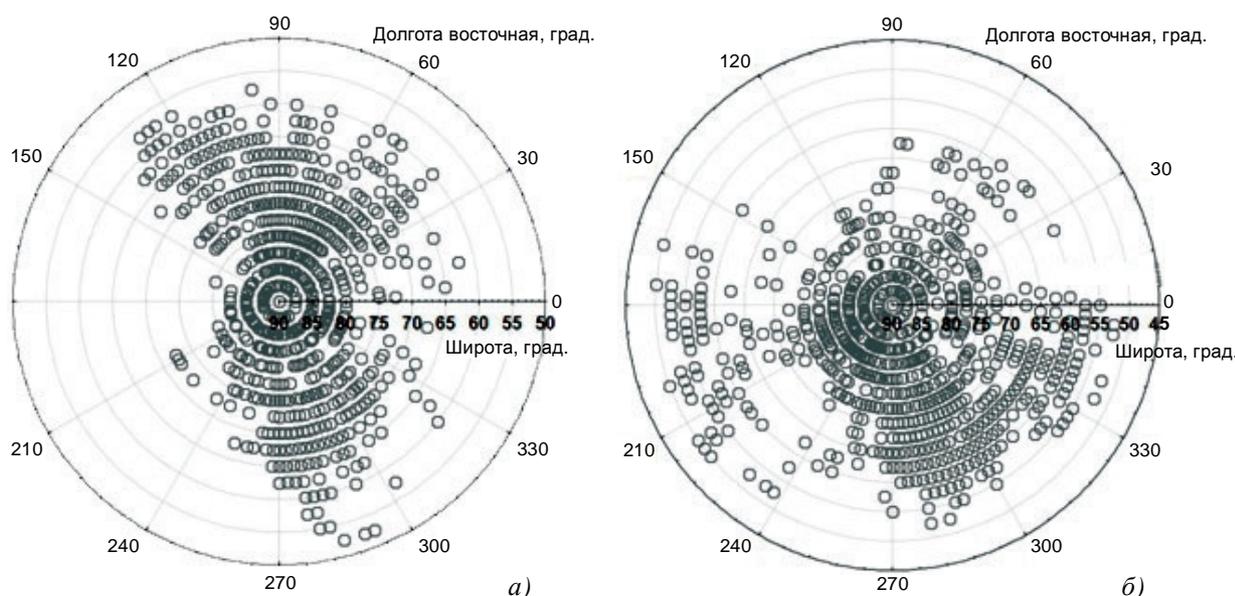


Рис. 3. Распределение центров ЦПВ уровня 100 гПа в полярной системе координат (1980-2015 гг.): а) январь; б) июль

ленного на рисунке 1 «чаши» усеченного циркумполярного образования.

5. Расчет других характеристик модели ЦПВ на уровне 100 гПа с учетом принятой краевой изогипсой H_0 : условных площади и массы, интенсивности, параметров эллипса рассеяния масс, угла ориентации, средних квадратических отклонений по главным осям, коэффициента сжатия [5].

В настоящей статье результаты ограничены только представлением характеристик полюса циркуляции, отмеченных в пунктах 1-4. Положение

центра циркуляции, лапласиан, ориентация оси барической ложбины являются одними из основных характеристик общей циркуляции атмосферы и могут служить индикатором развития синоптических процессов в нижней и средней тропосфере в рамках прогнозирования метеорологических условий на различные сроки.

По среднесуточным значениям параметров модели ЦПВ получены их статистические оценки (климатические характеристики) для центральных месяцев зимы и лета (января, июля) пе-

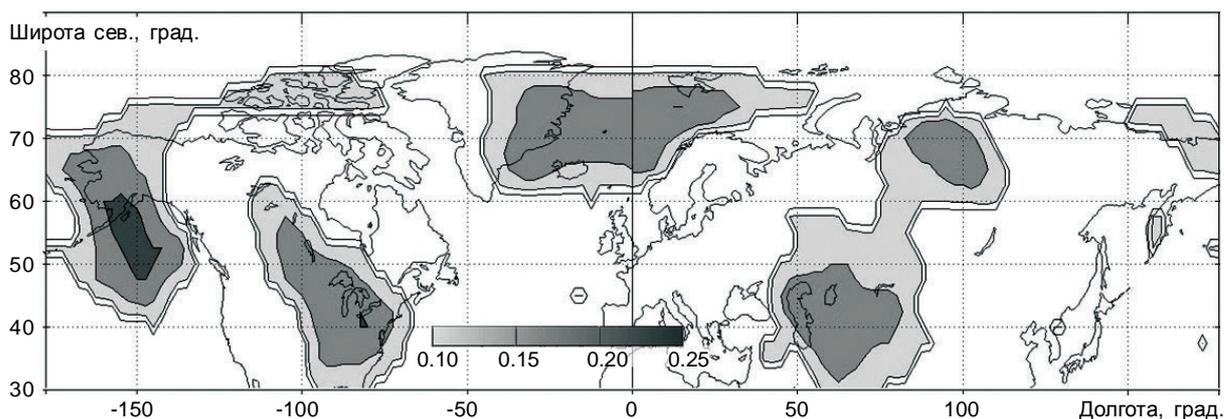


Рис. 4. Поле информативности параметра f_1 на карте Северного полушария (синхронное, январь 1980-2015 гг.)

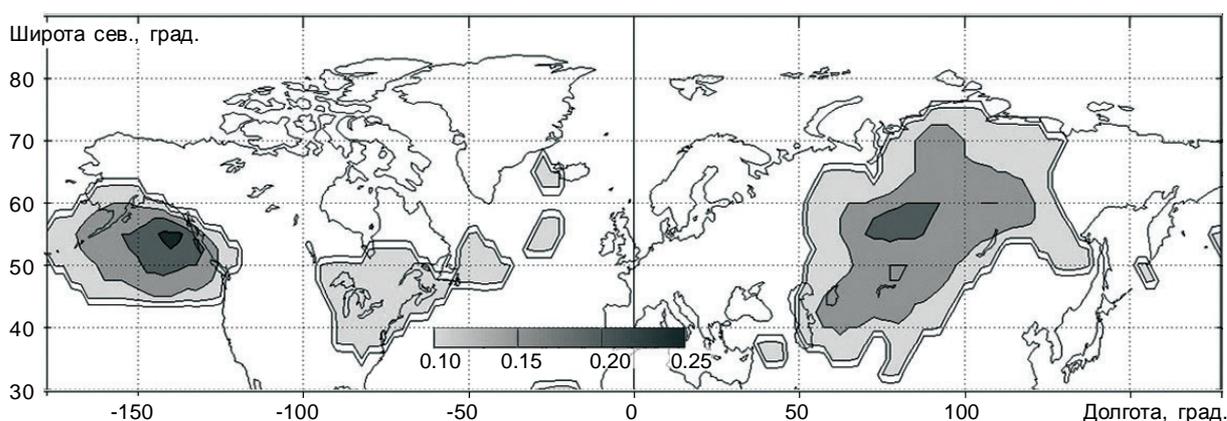


Рис. 5. Поле информативности параметра f_1 на карте Северного полушария (сдвиг 4 суток, январь 1980-2015 гг.)

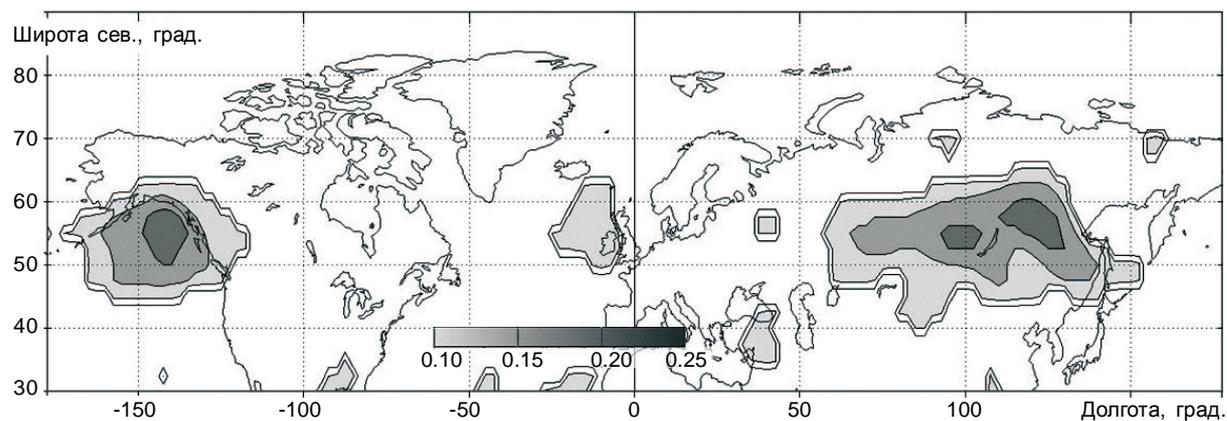


Рис. 6. Поле информативности параметра f_1 на карте Северного полушария (сдвиг 7 суток, январь 1980-2015 гг.)

риода 1980-2015 годов, которые представлены в таблицах 1, 2.

Распределения центров циркуляции (x_c, y_c) на уровне 100 гПа периода 1980-2015 годов, определенных как минимумы поверхностей H_{100} , представлены для января и июля в полярной системе координат на рисунке 3.

Как видно из рисунка 3, совпадение центра циркуляции (на уровне 100 гПа) с точкой геогра-

фического полюса встречается крайне редко. Кроме того, как следует из данных таблиц 1, 2 и рисунка 3, среднее значение положений центра циркуляции в январе соответствует восточному полушарию, в июле – западному.

Оценка информативности характеристик центра циркуляции

Модель уровня 100 гПа использовалась для оценки информативности характеристик циркуля-

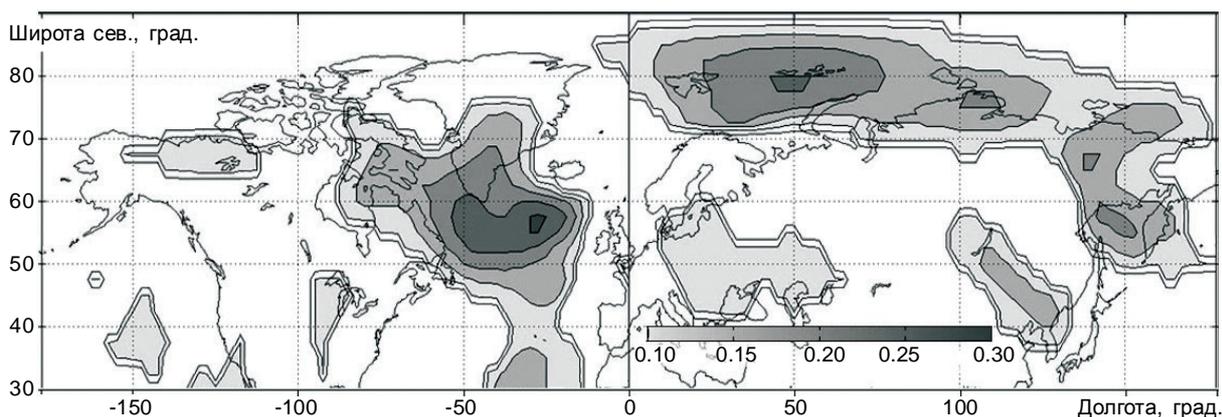


Рис. 7. Поле информативности параметра f_2 на карте Северного полушария (синхронное, январь 1980-2015 гг.)

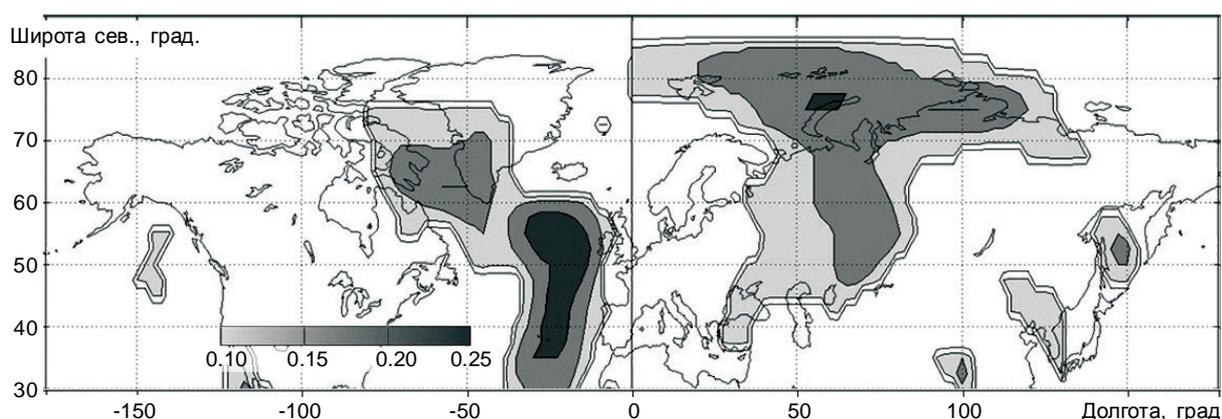


Рис. 8. Поле информативности параметра f_2 на карте Северного полушария (сдвиг 4 суток, январь 1980-2015 гг.)

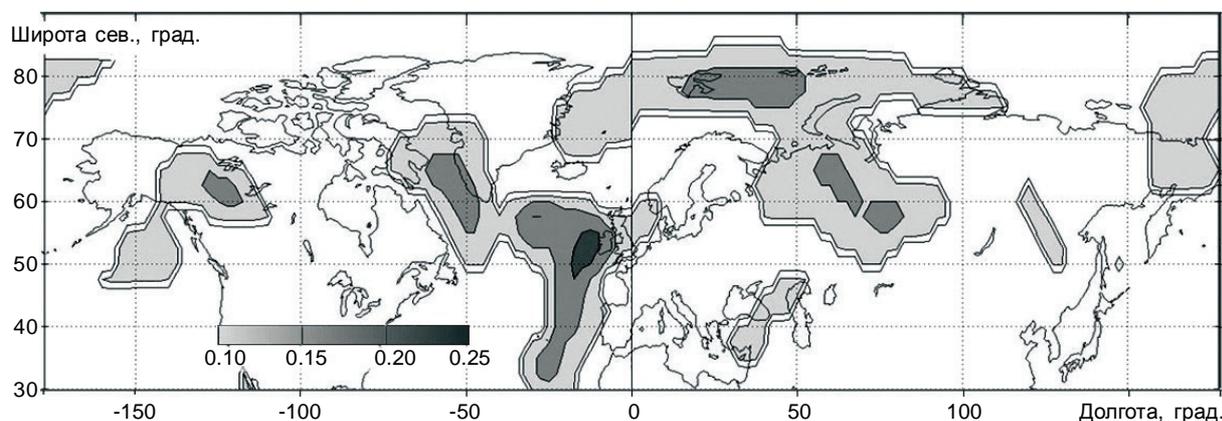


Рис. 9. Поле информативности параметра f_2 на карте Северного полушария (сдвиг 7 суток, январь 1980-2015 гг.)

ции свободной атмосферы с целью возможности их использования в прогностических схемах поля приземной температуры воздуха.

В качестве показателя информативности использовался линейный коэффициент корреляции [10] между характеристиками центра ЦПВ ($f_1 = x_c$, $f_2 = y_c$, $f_3 = \nabla^2 H$) и температурой воздуха t_{ij} в узлах (j_i, l_j) регулярной сетки на уровне 1000 гПа.

$$r_{ft} = \frac{1}{n} \sum_{m=1}^n \left(\frac{f_{km} - \overline{f_k}}{S_{fk}} \right) \left(\frac{t_{ijm} - \overline{t_{ij}}}{S_{tij}} \right), \quad (4)$$

где $\overline{f_k}, \overline{t_{ij}}$ – средние значения параметров; S_{fk}, S_{tij} – средние квадратические отклонения параметров.

Чтобы оценить существенность (значимость) оценки коэффициента корреляции r и, соответственно, реальность измеряемой связи между температурой воздуха и параметрами ЦПВ, проверя-

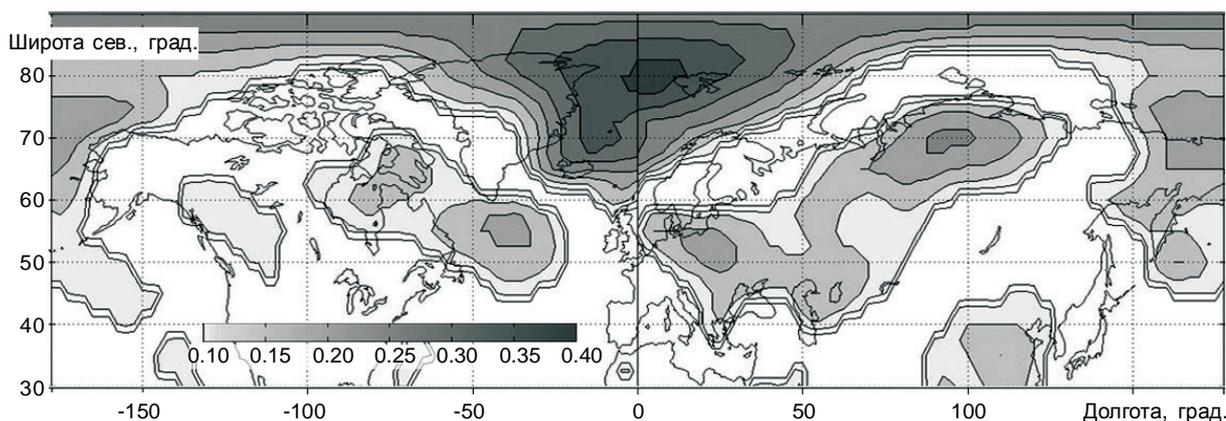


Рис. 10. Поле информативности параметра f_3 на карте Северного полушария (синхронное, январь 1980-2015 гг.)

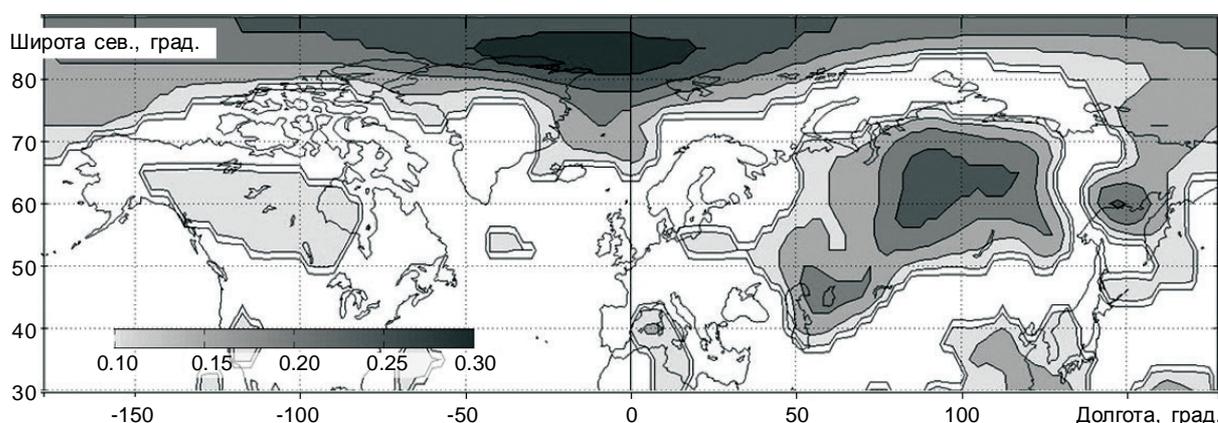


Рис. 11. Поле информативности параметра f_3 на карте Северного полушария (сдвиг 4 суток, январь 1980-2015 гг.)

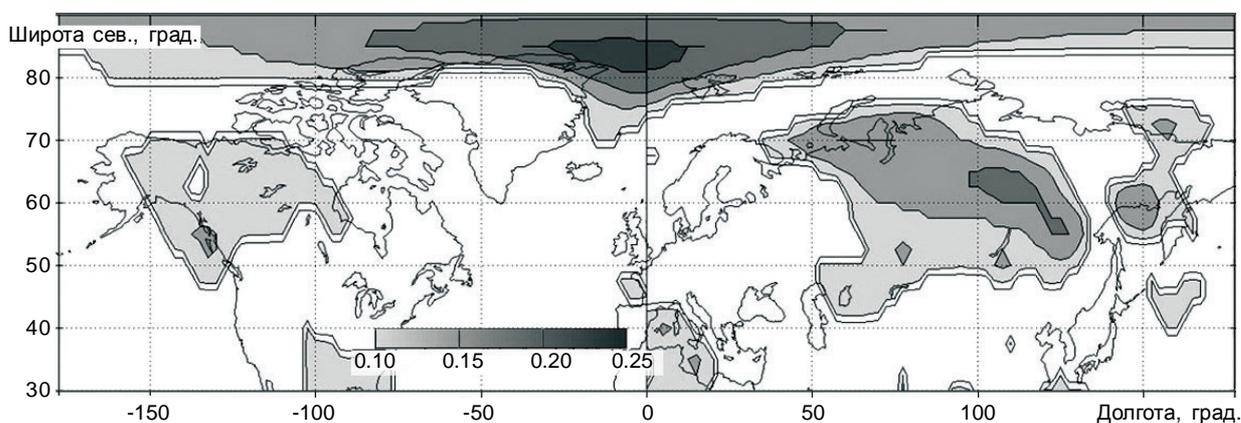


Рис. 12. Поле информативности параметра f_3 на карте Северного полушария (сдвиг 7 суток, январь 1980-2015 гг.)

ется гипотеза о равенстве коэффициента корреляции нулю. Для принятия гипотезы $H_0: r=0$, используется условие [10]:

$$t = \frac{|r^*| \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^{*2}}} < t_{кр}(a, v), \quad (5)$$

где $t_{кр}(a, v)$ – критическая точка распределения Стьюдента с $v = n-2$ степенями свободы уровня значимости a .

Определено, что нулевая гипотеза H_0 отвергается при $|r^*| > 0,07$ (при уровне значимости $a = 0,025$ и объемах выборки $800 < n < 1100$ (объем выборки уменьшается при расчетах со сдвигом во времени). Таким образом, условно можно считать информативными характеристики центра ЦПВ, для которых выборочный коэффициент корреляции с температурой воздуха $|r^*| > 0,07$.

Выполнен расчет корреляционной зависимости приземной температуры воздуха (уровня 1000 гПа) и характеристик центра ЦПВ (уровня 100 гПа) для синхронной связи и со сдвигом по времени 4 и 7 суток. Поля распределения коэффициента корреляции отражены на картах северного полушария и представлены на рисунках 4-12 в виде $|r^*| > 0,1$ (для примера расчеты выполнены для января, когда ЦПВ наиболее выражен).

Как следует из анализа полей оценок коэффициентов корреляции, наибольшую по площади информативность имеют параметры: f_2 – координата y_c центра циркуляции и f_3 – значение лапласиана в центре циркуляции (x_c, y_c).

По рисункам 4-12 можно отметить, что информативность характеристик центра циркуляции на уровне 100 гПа носит избирательный характер – в самых различных районах Северного полушария. Информативность параметров прослеживается и по мере увеличения сдвига по времени (до 7 суток), при этом несколько изменяются районы влияния (смещение, изменение конфигурации), величина информативности снижается незначительно. Кроме того, следует, что для температуры воздуха на территории Российской Федерации информативны все параметры ЦПВ.

Итак, циркуляция атмосферы – главный фактор, оказывающий влияние на формирование и пространственное распределение всех метеорологических параметров. Поэтому модельные характеристики структурных объектов общей циркуляции атмосферы можно использовать в качестве предикторов для диагноза и прогноза требуемой метеоинформации.

Отмечается, что с высотой значение центра циркуляции возрастает [4]. Поэтому для отыскания связей центра циркуляции с различными элементами погоды необходима информация с более высоких слоев атмосферы. Этому отвечает построенная модель ЦПВ на изобарическом уровне 100 гПа.

Таким образом, в данной статье предлагается модифицированная модель ЦПВ, отличающаяся от известных моделей использованием поля H_{100} и включением дополнительных параметров (кроме характеристик центра масс, условной массы, площади и другие) – координат центра циркуляции, параметров оси ложбины, лапласиана. Программная реализация и использование комплекса характеристик модели в качестве предикторов позволят более полно и оперативно отражать особенности атмосферной циркуляции над Северным полуша-

рием в схемах метеорологических прогнозов и моделях климатической системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акимов Л. М. Использование структурных особенностей циркумполярного вихря для прогноза температуры воздуха в отдельных регионах Северного полушария / Л. М. Акимов, Т. Н. Задорожная // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. География. Геоэкология. – 2013. – № 1. – С. 67-73.
2. Акимов Л. М. Характеристики вертикальной структуры циркумполярного вихря Северного полушария / Л. М. Акимов, Ю. В. Шипко, Т. Н. Задорожная // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. География. Геоэкология. – 2012. – № 1. – С. 89-93.
3. Багров Н. А. О центре циркуляции / Н. А. Багров // Метеорология и гидрология. – 1975. – № 2. – С. 3-11.
4. Багров Н. А. К вопросу определения центра циркуляции атмосферы / Н. А. Багров, И. И. Орлова // Статистические методы долгосрочного прогноза погоды : труды Гидрометцентра СССР. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1978. – Вып. 211. – С. 3-14.
5. Глызь Г. А. О некоторых характеристиках циркумполярного вихря / Г. А. Глызь // Статистические методы анализа и прогноза в метеорологии : труды ВНИИГМИ-МЦД. – Москва : Гидрометеиздат, 1979. – Вып. 58. – С. 98-104.
6. Задорожная Т. Н. Совершенствование математической модели циркумполярного вихря северного полушария / Т. Н. Задорожная, Ю. В. Шипко, Е. А. Малюков // Вестник Военного авиационного инженерного университета. – Воронеж, 2010. – № 4 (11). – С. 47-52.
7. Зверев А. С. Синоптическая метеорология и основы предвычисления погоды / А. С. Зверев. – Ленинград : Гидрометеорологическое изд-во, 1968. – 776 с.
8. Нестерова Г. А. Статистический анализ ежедневных данных характеристик циркумполярного вихря / Г. А. Нестерова, Каткова Т. Ф. // Вероятностные метеорологические прогнозы и мониторинг климата : труды Городского мониторингового центра. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1987. – Вып. 294. – С. 125-132.
9. Педь Д. А. Некоторые климатические особенности циркумполярного вихря северного полушария / Д. А. Педь // Труды Гидрометцентра СССР. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1973. – Вып. 115. – С. 25-44.
10. Справочник по прикладной статистике : в 2 т. / под ред. Э. Ллойда, У. Ледермана. – Москва : Финансы и статистика, 1990. – Т. 2. – 526 с.
11. Шипко Ю. В. Моделирование атмосферных процессов Северного полушария с оперативным определением краевой изогипсы / Ю. В. Шипко, Т. Н. Задорожная, Е. А. Малюков // Информатика : проблемы, методология, технологии : сборник материалов XI Международной научно-методической конференции. – Воронеж : Воронежский государственный университет, 2011. – С. 297-301.

12. Шипко Ю. В. Модель циркумполярного вихря Северного полушария в терминах механики / Ю. В. Шипко, Е. В. Шuvaкин, М. А. Шuvaев // Информатика: проблемы, методология, технологии : сборник материалов XVII Международной научно-методической конференции. – Воронеж : Научно-исследовательские публикации, 2017. – Т. 4. – С. 91-96.

13. NCEP/DOE AMIP II Reanalysis. – URL: <http://www.esrl.noaa.gov/pcd/data/gridded/data.ncep.reanalysis2.html> (дата обращения 5.08.2017).

REFERENCES

1. Akimov L. M. Ispol'zovaniye strukturnykh osobennostey tsirkumpolyarnogo vikhrya dlya prognoza temperatury vozdukhа v otdel'nykh regionakh Severnogo polushariya / L. M. Akimov, T. N. Zadorozhnaya // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Geografiya. Geoekologiya. – 2013. – № 1. – S. 67-73.

2. Akimov L. M. Kharakteristiki vertikal'noy struktury tsirkumpolyarnogo vikhrya Severnogo polushariya / L. M. Akimov, YU. V. SHipko, T. N. Zadorozhnaya // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Geografiya. Geoekologiya. – 2012. – № 1. – S. 89-93.

3. Bagrov N. A. O tsentre tsirkulyatsii / N. A. Bagrov // Meteorologiya i gidrologiya. – 1975. – № 2. – S. 3-11.

4. Bagrov N. A. K voprosu opredeleniya tsentra tsirkulyatsii atmosfery / N. A. Bagrov, I. I. Orlova // Statisticheskiye metody dolgosrochnogo prognoza pogody : trudy Gidromettsentra SSSR. – Leningrad : Gidrometeoizdat, 1978. – Vyp. 211. – S. 3-14.

5. Glyz' G. A. O nekotorykh kharakteristikakh tsirkumpolyarnogo vikhrya / G. A. Glyz' // Statisticheskiye metody analiza i prognoza v meteorologii : trudy VNIIGMI-MTSD. – Moskva : Gidrometeoizdat, 1979. – Vyp. 58. – S. 98-104.

6. Zadorozhnaya T. N. Sovershenstvovaniye matematicheskoy modeli tsirkumpolyarnogo vikhrya severnogo polushariya / T. N. Zadorozhnaya, YU. V. SHipko,

E. A. Malyukov // Vestnik Voyennogo aviatsionnogo inzhenerenogo universiteta. – Voronezh, 2010. – № 4 (11). – S. 47-52.

7. Zverev A. S. Sinopticheskaya meteorologiya i osnovnyye predvychisleniya pogody / A. S. Zverev. – Leningrad : Gidrometeorologicheskoye izd-vo, 1968. – 776 s.

8. Nesterova G. A. Statisticheskiy analiz ezhdnevnykh dannyykh kharakteristik tsirkumpolyarnogo vikhrya / G. A. Nesterova, Katkova T. F. // Veroyatnostnyye meteorologicheskiye prognozy i monitoring klimata : trudy Gorodskogo monitoringovogo tsentra. – Leningrad : Gidrometeoizdat, 1987. – Vyp. 294. – S. 125-132.

9. Ped' D. A. Nekotoryye klimaticheskiye osobennosti tsirkumpolyarnogo vikhrya severnogo polushariya / D. A. Ped' // Trudy Gidromettsentra SSSR. – Leningrad : Gidrometeoizdat, 1973. – Vyp. 115. – S. 25-44.

10. Spravochnik po prikladnoy statistike : v 2 t. / pod red. E. Lloyd, U. Ledermana. – Moskva : Finansy i statistika, 1990. – T. 2. – 526 s.

11. SHipko YU. V. Modelirovaniye atmosferynykh protsessov Severnogo polushariya s operativnym opredeleniyem krayevoy izogipsy / YU. V. SHipko, T. N. Zadorozhnaya, E. A. Malyukov // Informatika : problemy, metodologiya, tekhnologii : sbornik materialov XI Mezhdunarodnoy nauchno-metodicheskoy konferentsii. – Voronezh : Voronezhskiy gosudarstvennyy universitet, 2011. – S. 297-301.

12. SHipko YU. V. Model' tsirkumpolyarnogo vikhrya Severnogo polushariya v terminakh mekhaniki / YU. V. SHipko, E. V. SHuvakin, M. A. SHuvayev // Informatika : problemy, metodologiya, tekhnologii : sbornik materialov XVII Mezhdunarodnoy nauchno-metodicheskoy konferentsii. – Voronezh : Nauchno-issledovatel'skiye publikatsii, 2017. – T. 4. – S. 91-96.

13. NCEP/DOE AMIP II Reanalysis. – URL: <http://www.esrl.noaa.gov/pcd/data/gridded/data.ncep.reanalysis2.html> (дата обращения 5.08.2017).

Шипко Юрий Владимирович

кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник Военного учебно-научного центра ВВС «Военно-воздушная академия им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж, т. 8-950-762-73-79, E-mail: yshipko@mail.ru

Шuvaкин Евгений Витальевич

кандидат технических наук, преподаватель Военного учебно-научного центра ВВС «Военно-воздушная академия им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж, т. 8-980-346-78-08, E-mail: argentina_85@mail.ru

Shipko Yury Vladimirovitch

PhD in Technical Science, Associate Professor, Military Educational-Research Centre of Air Force «Air Force Academy named after professor N.E. Zhukovsky and Yu. A. Gagarin», Voronezh, tel. 8-950-762-73-79, E-mail: yshipko@mail.ru

Shuvakin Evgeniy Vitalievitch

PhD in Technical Science, Teacher, Military Educational-Research Centre of Air Force «Air Force Academy named after professor N.E. Zhukovsky and Yu. A. Gagarin», Voronezh, tel. 8-980-346-78-08, E-mail: argentina_85@mail.ru