

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ЦИРКУМПОЛЯРНОГО ВИХРЯ ДЛЯ ПРОГНОЗА ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В ОТДЕЛЬНЫХ РЕГИОНАХ СЕВЕРНОГО ПОЛУШАРИЯ

Л. М. Акимов, Т. Н. Задорожная

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

Поступила в редакцию 14 июня 2012 г.

Аннотация: Исследованы параметры циркумполярного вихря, оценена степень их влияния на формирование среднемесячной температуры воздуха в различных регионах северного полушария. С учетом оптимальной совокупности предикторов для каждого установленного региона получены прогностические уравнения, приведены оценки их успешности.

Ключевые слова: температура воздуха, циркумполярный вихрь, прогноз.

Abstract: There was a research on parameters of the circumpolar vortex and its influence on air temperature formation in different regions of the North hemisphere. Taking into account the optimal aggregate predictors for each defined region there were prognostic equations and assessment of their success.

Key words: air temperature, circumpolar whirlwind, forecast.

Одним из показателей погодных аномалий является температура воздуха, с которой связано формирование многочисленных опасных явлений погоды. Однако, точность таких прогнозов невелика. Неудачи долгосрочных прогнозов связаны с влиянием на них многих факторов, как внешних, так и внутренних. Полный их перечень пока не поддается учету. К тому же недостаточно изучены взаимосвязи. В связи с этим, продолжается поиск возможных новых предикторов и выявление их прогностических возможностей. Предлагаемое исследование является очередной попыткой совершенствования методики месячного прогноза температуры воздуха.

Исследования показывают, что основное влияние (около 77%) на температурный режим оказывается характером атмосферной циркуляции. Поэтому данный фактор наиболее часто используется в качестве предиктора. Сложность его использования заключается в том, что циркуляция атмосферы задается многочисленным количеством данных наблюдений, в различных точках северного полушария, полностью использовать которые в

прогностических уравнениях не представляется возможным. Поэтому задача сводится к тому, чтобы, во-первых, наиболее полно отразить реальное состояние циркуляции, а, во-вторых – уменьшить объем потенциальных предикторов, которые при необходимости могли бы быть использованы в качестве функции влияния в гидродинамических моделях и прогностических уравнениях регрессии. Чаще всего в исследованиях описание циркуляции осуществляется на основании расчетов различных индексов, являющиеся ее грубым приближением.

Мы предприняли попытку изучить структурные особенности циркумполярного вихря, которые, на наш взгляд, способны наиболее полно отразить реальное состояние развивающегося процесса над северным полушарием, описывая различные стороны его проявления на плоскости.

Выявление взаимно-корреляционных связей между каждым из вычисленных параметров циркумполярного вихря и температурой воздуха по отдельным регионам Северного полушария, ограничено параллелью 35° с.ш.

В качестве исходных данных мы использовали среднемесячные значения геопотенциала на поверхности 500 гПа и температуры воздуха на

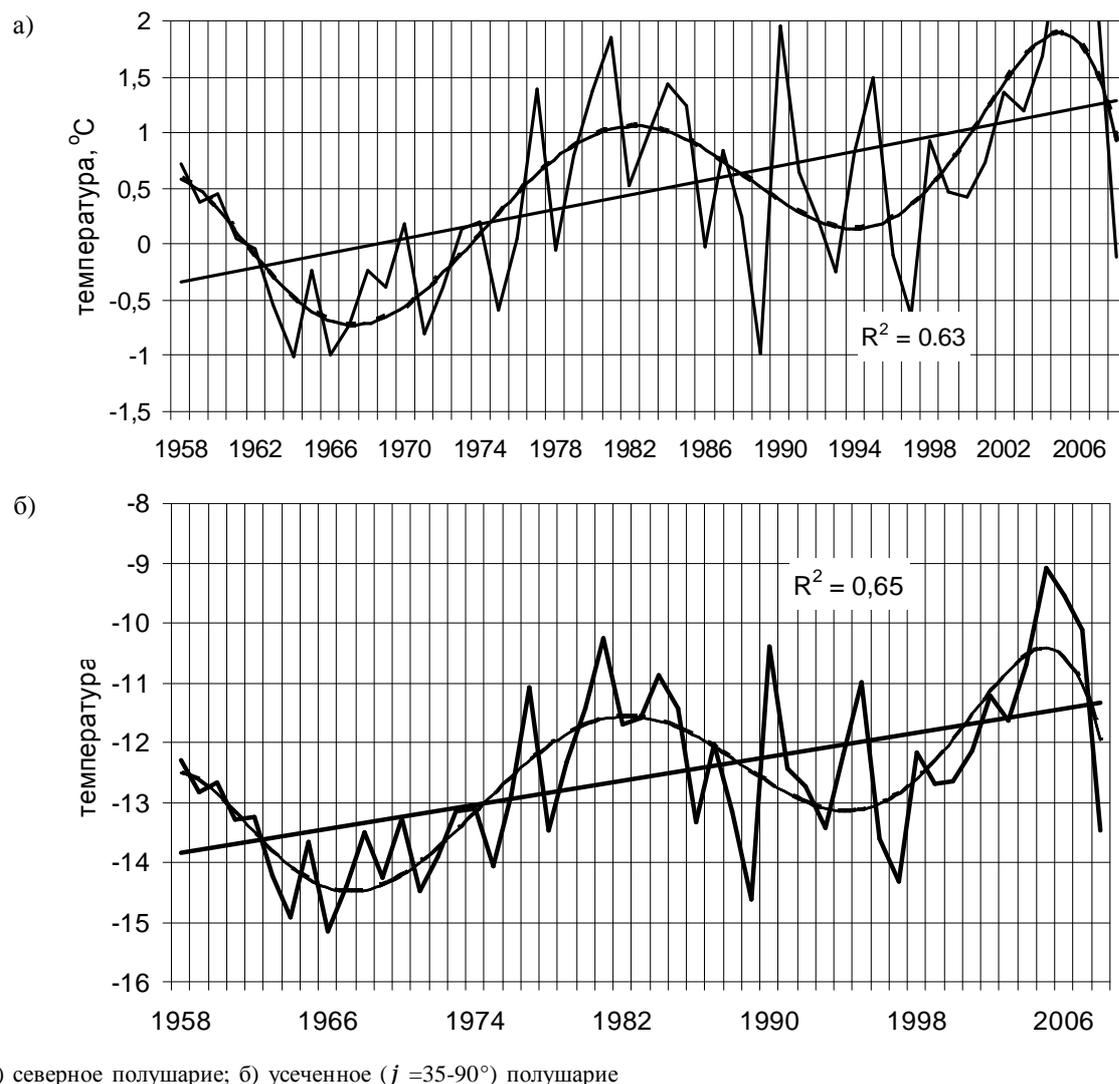


Рис. 1. Многолетний ход температуры воздуха (1958-2008 г.), январь

1000 гПа в узлах сетки с шагом $2,5^\circ$ по широте и долготы на пространстве Северного полушария за январь в период 1958-2008 гг. Информационной базой служили данные реанализа NCEP/NCAR, NCEP/DOE AMIP-II [2, 3].

В целях выявления возможного предиктора, достаточно полно отражающего характер атмосферной циркуляции, на первом этапе рассматривались особенности многолетнего хода температуры воздуха, осредненной по Северному полушарию (рис. 1).

Как указано на рис. 1а, линейный тренд многолетнего хода температуры Северного полушария отражает тенденцию к повышению температуры. В тоже время на различных временных отрезках скорость этого повышения меняется, нарушая периодически и знак тенденции. За рассматриваемый период наблюдений это происходило неоднократно, что свидетельствует о наличии в температур-

ных рядах помимо трендовой составляющей, периодических колебаний. Они хорошо аппроксимируются полиномом шестой степени ($R^2=0,63$). В связи с этим, можно предположить, что на термический режим полушария периодически оказывает влияние глобальный фактор, который сам может меняться под влиянием температуры, приходя с течением времени к своему исходному состоянию.

Аналогичный анализ проведен по усеченной территории ($j = 90-35^\circ$ с.ш.) Северного полушария (рис. 1б). Как показано на рис. 1б, характер колебаний в ходе температуры подобен тому, что указан на рис. 1а. С той лишь разницей, что в случае усеченной территории степень аппроксимации длиннопериодных колебаний становится выше ($R^2=0,65$).

Проведенный предварительный анализ может свидетельствовать о том, что термический режим Северного полушария и его колебания формиру-

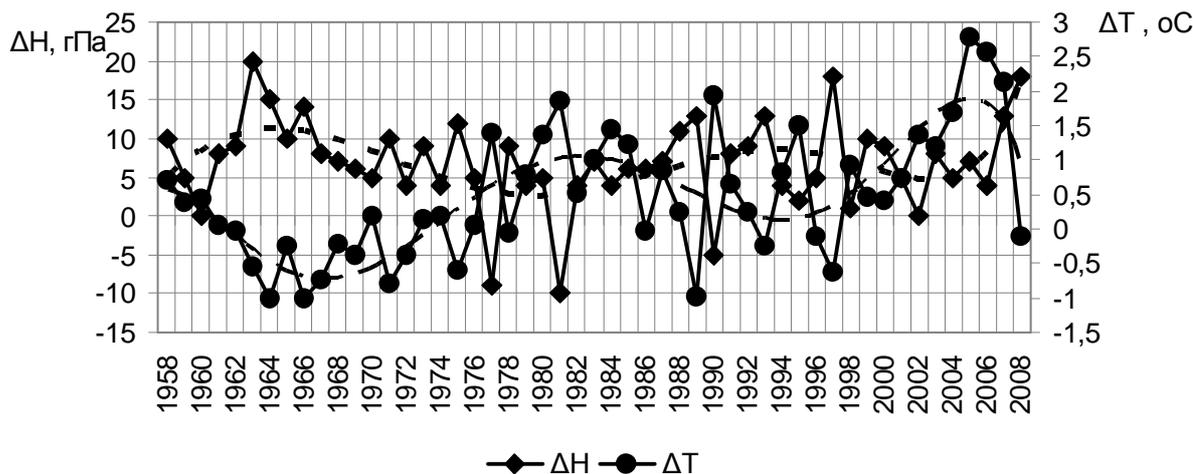


Рис. 2. Совмещенный ход температуры воздуха и циркумполярного вихря на поверхности АТ-500 гПа

ются за счет процессов, развивающихся, в основном, на территории умеренных широт. Тропическая и субтропическая зоны в данном случае существенного участия в периодических изменениях не принимают. Таким образом, глобальный фактор, который создает крупные колебания на фоне векового тренда, связан только с процессами, развивающимися в умеренных и высоких широтах. Основным объектом, способным управлять процессами на данной территории, является циркумполярный вихрь. От его интенсивности и структурных особенностей зависит перемещение и направленность воздушных масс, следовательно, и локализация температурных очагов.

Расчет интенсивности циркуляционного вихря с центром в районе полюса производится по формуле:

$$W_j^q = \frac{1}{n} \sum_{l=1}^n \left(H_{lj}^q - H_0 \right), \quad (1)$$

где n – общее количество долгот; l – порядковый номер долготы; H_{lj}^q – среднемесячное значение геопотенциала на долготе l и фиксированной широте; q – порядковый номер года в выборке; H_0 – среднемесячное значение геопотенциала в центре географического полюса.

На рис. 2 представлены совмещенные графики многолетнего хода среднемесячных значений температуры воздуха, осредненной по всему Северному полушарию, и среднемесячных значений циркумполярного вихря на поверхности АТ-500 гПа.

Как следует из рис. 2, между рассматриваемыми объектами достаточно явно обнаруживается связь, находящаяся в противофазах. Особенно это заметно на значительных отклонениях. Таким образом, в январе увеличение интенсивности циркум-

полярного вихря способствует понижению термического режима в северном полушарии и наоборот. Линейные тренды одного и другого ряда свидетельствуют о наличии в обоих рядах многолетней тенденции. Но небольшие изменения в тенденции вихря влекут за собой значительный рост температуры.

Исследуемые кривые были аппроксимированы нелинейными полиномами, указывающими на наличие в обоих рядах аналогичных колебаний с противоположными фазами. Установлено, что фазы колебаний в рядах вихря несколько опережают колебания в рядах температуры, что может свидетельствовать о его причинной обусловленности. Показанная выше связь между глобальной температурой и интенсивностью циркуляции может быть использована для прогноза в отдельно взятых регионах полушария.

Следует заметить, что данный показатель, являясь глобальным, оценивает интенсивность циркуляции по всей территории в среднем. Кроме того, расчет его производится с центром в районе географического полюса, который не всегда совпадает с центром циркуляции атмосферы на Северном полушарии. Более того, его конфигурация не всегда проявляется в виде концентрических окружностей. Чаще он имеет неправильную форму с наличием ложбин и гребней различной конфигурации, направленности и ориентации. Все это данным параметром не учитывается.

Поэтому в данном исследовании для оценки влияния циркуляционного режима на температуру воздуха в отдельных регионах, в качестве предикторов решено привлечь набор характеристик циркумполярного вихря, способных более полно учесть его структурные особенности.

Использовались следующие характеристики атмосферной циркуляции.

1. Местоположение полюса циркуляции относительно географического полюса. Миграция полюса может существенно поменять ориентацию всего процесса на полушарии, в результате чего существенно меняется термический режим в регионах. Несмотря на кажущуюся простоту, до сих пор нет общепринятого определения понятия центра циркуляции.

В данном исследовании за основу расчета координат центра циркуляции на полушарии принят метод, предложенный в работе [1], который, согласно современным представлениям, является наиболее объективным и физически обоснованным.

В этом варианте модель центра циркуляции представляется как проекция на поверхность Земли центра масс объема чаши, образованной топографией некоторой изобарической поверхности и горизонтальной плоскостью, проходящей через краевую изогипсу H_0 . В данной работе центр тяжести определяется на поверхности 500 гПа. Расчет координат центра циркуляции x_c, y_c определялся по формулам:

$$x_c = \frac{r \sum_i \sum_j (H_0 - H_{i,j}) \cos^2 j_i \cos l_j}{\sum_i \sum_j (H_0 - H_{i,j}) \cos j_i} \quad (2)$$

$$y_c = \frac{r \sum_i \sum_j (H_0 - H_{i,j}) \cos^2 j_i \sin l_j}{\sum_i \sum_j (H_0 - H_{i,j}) \cos j_i}$$

где r – радиус Земли; j_i, l_j – географические координаты; H_{ij} – значение высоты изобарической поверхности H в точке (x_i, y_j) ; H_0 – значение краевой изогипсы, в качестве которой принималась характерная для января постоянная величина 536 гПа; расчет производился при условии $H_{ij} < H_0$.

Рассматривается декартова система координат, центр которой совмещен с географическим полюсом, ось X направлена по меридиану 0-180°, ось Y – 90° з.д. – 90° в.д.

2. Второй важной характеристикой вихря использована его площадь S , ограниченная с юга изогипсой H_0 . Расчет производился по формуле:

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

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

3. Масса атмосферы M , рассматриваемого объема, ограниченная поверхностью 500 гПа и изогипсой H_0 , вычисляется по формуле:

$$M = r^2 D_j D_l \sum_i \sum_j (H_0 - H_{ij}) \cos j_i \quad (4)$$

4. Отношение массы M атмосферы к площади вихря S , в данном случае рассчитывалось по формуле:

$$Z = M/S. \quad (5)$$

5. В качестве геометрической характеристики концентрации двумерного распределения около центра масс рассматривался эллипс рассеивания, направление его большей оси определяется углом q , представленным на рис. 3.

Из рис. 3 видно как расположена большая ось эллипса по отношению к оси X . В данном случае, угол между осью координат X и направлением большей оси X' положительный. Тангенс угла q рассчитывается по формуле:

$$\operatorname{tg} 2q = \frac{2 r s_x s_y}{s_x^2 - s_y^2}, \quad (6)$$

где r, s_x, s_y – коэффициент корреляции и средние квадратические отклонения рассматриваемого распределения соответственно.

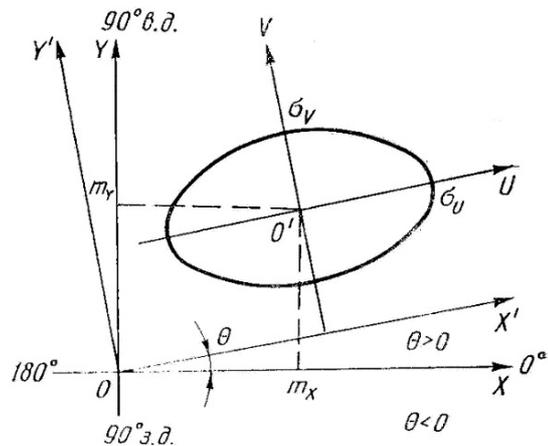


Рис. 3. Эллипс рассеивания

7. Дополнительной характеристикой циркуляционного вихря является коэффициент сжатия эллипса K :

$$K = s_u / s_v. \quad (7)$$

где s_u, s_v – являются главными средними квадратическими отклонениями, характеризующими рассеивание вдоль осей U и V системы координат $UO'V$, которая получена путем поворота системы координат XOY на угол q и параллельного переноса начала координат в точку $O'(m_x, m_y)$, как показано на рис. 3. Они определяются по формулам:

$$s_u^2 = \frac{1}{2} \left[s_x^2 + s_y^2 + \sqrt{(s_x^2 - s_y^2)^2 + 4r^2 s_x^2 s_y^2} \right], \quad (8)$$

$$s_v^2 = \frac{1}{2} \left[s_x^2 + s_y^2 - \sqrt{(s_x^2 - s_y^2)^2 + 4r^2 s_x^2 s_y^2} \right]. \quad (9)$$

Угол наклона главной оси эллипса q и коэффициент сжатия K характеризуют ориентацию вихря над поверхностью Земли.

Таким образом, каждое индивидуальное поле геопотенциала описывается набором числовых характеристик ЦПВ, которые в комплексе более полно отражают особенности циркуляции над полушарием. В дальнейшем исследуются прогностические возможности данных характеристик для отдельных участков Северного полушария.

С этой целью на Северном полушарии выделена территория (90-35° с.ш.), которая в целях детализации была разделена на 30-ти градусные сектора, вдоль соответствующих меридианов. Схема выделенных секторов представлена на рис. 4.

На схеме различными оттенками показаны 30-ти градусные сектора, порядковые номера которых помещены в кружках. Всего рассмотрено 12 секторов, которые, по нашему мнению, достаточно объективно соответствуют физико-географическому районированию и индивидуальным климатическим особенностям отдельных регионов. Для каждого из них рассчитаны многолетние ряды осредненных по секторам среднемесячных значений температуры воздуха. Первый сектор располагается в Западной Европе (0-30° в.д.).

На следующем этапе с целью выявления вклада каждого из рассчитанных параметров исследовалась линейная связь между отдельными параметрами циркулярного вихря и значениями температуры воздуха, осредненными по каждому из выше установленных 12 секторов. Предварительно, в целях согласования размерностей, значения вычисленных параметров были стандартизированы.

По ним проведена проверка гипотезы о принадлежности параметров к одним и тем же распределениям. Результаты анализа показали, что распределения практически всех параметров близки к нормальному, что позволяет использовать их в корреляционном анализе.

В качестве предсказателей использовался весь спектр рассчитанных параметров: $X_c, Y_c, S, M, Z, tgq, q, s_x, s_y, s_u, s_v, K, I, j$. Предиктантом являлись ряды среднемесячной температуры воздуха \bar{T}_i^q за январь, осредненной по каждому из 12 выделенных секторов.

Между упомянутыми рядами рассчитывались парные коэффициенты корреляции $r(X, Y)$. Следует уточнить, что для данной длины выборки при 95 % доверительном интервале, значимой является величина коэффициента корреляции r , которая превышает 0,23.

Анализ парных коэффициентов показал, как и следовало ожидать, каждый из исследуемых предикторов оказывает значимое влияние на различные географические районы, что вполне объясняется природой данного предиктора. Для сравнения на рис. 5 представлено распределение парных коэффициентов корреляции по полушарию для координаты центра циркулярного вихря X_c и параметра рассеивания s_x .

Из рис. 5а следует, что параметр X_c имеет значимую положительную связь с территорией восточного полушария и отрицательную с западной. Для сравнения справа, на рис. 5б, приведено распределение парных коэффициентов корреляции

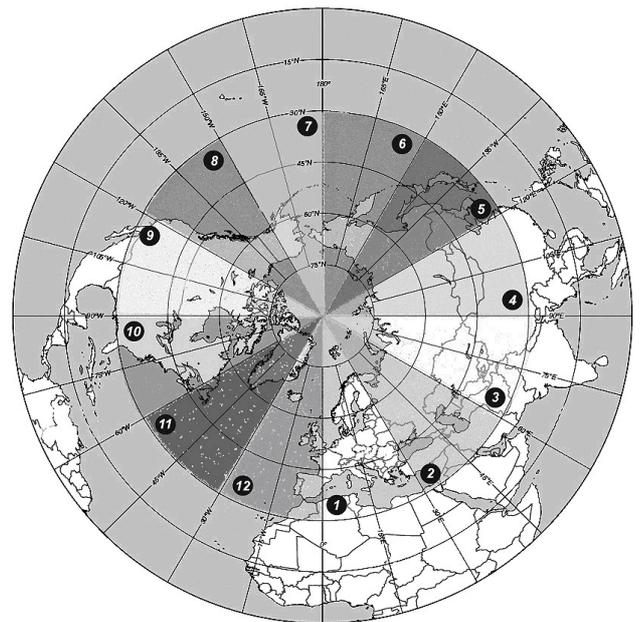


Рис. 4. Схема расположения выделенных секторов

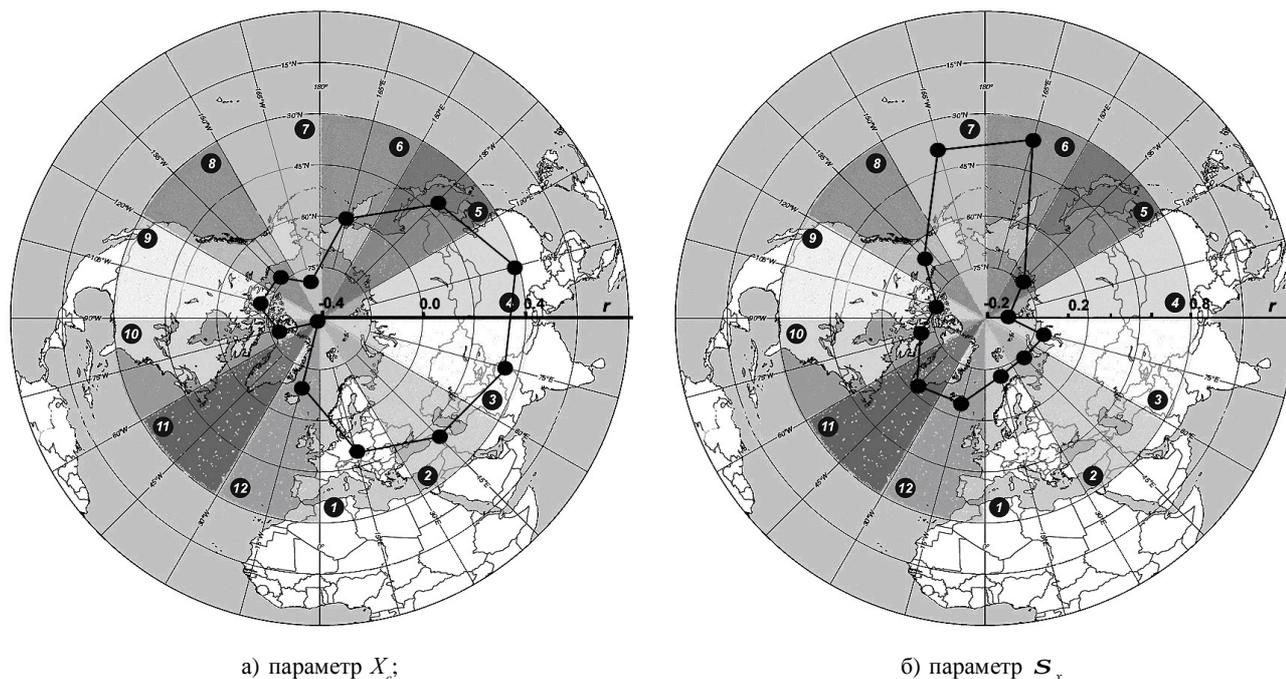


Рис. 5. Распределение парных коэффициентов корреляции

Таблица

Предикторы и ошибки уравнений регрессии

| Сектор | Набор предикторов | Ошибка d |
|--------|------------------------------------|------------|
| 1 | X_c, φ | 1,42 |
| 2 | $Y_c, \varphi, \sigma_x, \sigma_y$ | 1,17 |
| 3 | φ, λ, Z | 1,27 |
| 4 | $Y_c, \varphi, \theta, \lambda$ | 0,68 |
| 5 | $Y_c, \varphi, tg\theta, \lambda$ | 2,20 |
| 6 | Z, M, S, K | 1,06 |
| 7 | Y_c, σ_y, Z, M | 1,21 |
| 8 | Y_c, M | 4,85 |
| 9 | θ, σ_x | 2,48 |
| 10 | X_c, φ, Z, M | 2,14 |
| 11 | X_c, Y_c, φ, Z, M | 3,92 |
| 12 | Y_c, Z, M | 2,39 |

для параметра S_x , который имеет свои приоритеты в области значимого влияния.

На основании процедуры отбора для каждого рассматриваемого сектора предложен оптимальный набор предикторов, на основании которых рассчитаны линейные уравнения регрессии и их ошибки. Результаты помещены в таблице.

Анализ таблицы наглядно показывает, что для различных секторов влияние факторов носит избирательный характер, тем не менее, практически в каждом секторе главную роль играют координаты центра циркумполярного вихря, а в районе океанических поверхностей важную роль играют характеристики массы, площади и их отношения.

В последней графе таблицы помещена успешность прогнозов d , которая рассчитывалась как средняя разность между фактической и прогностической температурой, взятой по абсолютной величине.

Итак, результаты показывают, что успешность для различных регионов не одинакова. Средняя по территории ошибка прогноза составляет $2,15^\circ$. В среднем наиболее успешными оказались прогнозы для Евроазиатской территории, особенно для запада Восточной Сибири.

Проведенное исследование является первой попыткой использовать рассчитанные характеристики в качестве предикторов. Рассчитанные параметры циркумполярного вихря позволяют разра-

батывать фоновый прогноз температуры, достоверность которого зависит от исследуемого сектора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Багров Н. А. К вопросу определения центра циркуляции / Н. А. Багров, И. И. Орлова // Труды ГМЦ. – Л. : Гидрометеиздат, 1978. – Вып. 211. – С. 3-11.

Акимов Леонид Мусамудинович
кандидат географических наук, доцент Воронежского государственного университета, г. Воронеж, т. (473) 266-56-54, 8-951-850-49-82, E-mail: root@geogr.vsu.ru, akl63@bk.ru

Задорожная Тамара Николаевна
кандидат географических наук, доцент, «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина» (г. Воронеж) Министерства обороны Российской Федерации – ВУНЦ ВВС «ВВА», г. Воронеж, т. (473) 222-99-07

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

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

Akimov Leonid Musamudinovitch
Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of Voronezh State University, Voronezh, tel. 8-951-850-49-82, (473) 266-56-54, E-mail: root@geogr.vsu.ru, akl63@bk.ru

Zadorozhnaya Tamara Nikolayevna
Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Military Educational and Scientific Centre of the Air Force, «Air Force Academy named after professor N. E. Zhukovskiy and Y. A. Gagarin» (Voronezh) of the Ministry of Defense of the Russian Federation – MERC AF «AFA», Voronezh, tel. (4732) (4732) 22-99-07