



УДК 551.513:551.509,519.2
ГРНТИ 37.21.37

ПРОГНОЗ СРЕДНЕЙ МЕСЯЧНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННОЙ МОДЕЛИ ЦИРКУМ- ПОЛЯРНОГО ВИХРЯ С ОПЕРАТИВНЫМ ОПРЕДЕЛЕНИЕМ КРАЕВОЙ ИЗОГИПСЫ

Т.Н. ЗАДОРОВА, кандидат географических наук, доцент
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)
В.П. ЗАКУСИЛОВ, кандидат географических наук, доцент
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

В статье проведена оценка возможности прогноза средней месячной температуры воздуха в отдельных регионах северного полушария на основе использования параметров циркуляции, полученных с помощью модифицированной модели циркумполярного вихря. Для каждого региона выявлен комплекс информативных предикторов. Получены прогностические уравнения регрессии, рассчитаны ошибки прогноза.

Ключевые слова: циркумполярный вихрь; температура воздуха; параметры циркуляции; уравнения регрессии; прогноз; ошибки.

FORECAST OF AVERAGE MONTHLY AIR TEMPERATURE ON THE CIRCUMPOLAR VORTEX MODIFIED MODEL BASIS WITH OPERATIONAL DETERMINATION OF BOUNDARY ISOGIPSY

T. N. ZADOROZHNAJA, Candidate geographical sciences, associate professor
MESC AF "N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy" (Voronezh)
V.P. ZAKUSILOV, Candidate geographical sciences, associate professor
MESC AF "N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy" (Voronezh)

The article assesses the possibility of forecasting the average monthly air temperature in certain regions of the northern hemisphere on the basis of the use of circulation parameters obtained using a modified circumpolar vortex model. For each region, a set of the most informative predictors was identified. Prognostic regression equations are obtained, errors are calculated.

Keywords: circumpolar vortex, air temperature, circulation parameters, regression equations, forecast, errors.

Введение. Стихийные бедствия, аварии и катастрофы, связанные с глобальным изменением климата, ставят под угрозу государственную и общественную безопасность страны. Их влияние на природные и хозяйственные системы, на население страны становится все более ощутимыми. Поэтому исследования в области климата и его изменений становятся одной из приоритетных задач государственной политики РФ [1]. Важной составляющей изменения климата является температура воздуха. Вместе с тем, при прогнозе ее динамики на ближайшие и, особенно на отдаленные сроки, возникают значительные трудности.

Сложность заключается в многообразии одновременного влияния различных факторов, вклад которых невозможно учесть полностью в одной разрабатываемой модели,



в силу их плохой изученности и недостатка необходимой и полной информации. Поэтому имеется необходимость в более тщательном исследовании прогностических возможностей наиболее проверенных и обоснованных факторов.

Анализ изученности проблемы. Многочисленными исследованиями было доказано, что одним из наиболее действенных факторов, оказывающих влияние на температуру воздуха, выступает циркуляция атмосферы. Поэтому изучению барического режима различных слоев атмосферы придается большое значение. Познание закономерностей общей циркуляции атмосферы является основой при разработке методов долгосрочного прогнозирования, в частности, для предсказания глобальных катаклизмов. Раньше всех важность циркуляционных процессов для погоды и климата оценил М.В. Ломоносов, включавший в свои работы «многие вещи о переменах воздушных, знания которых нет роду человеческому полезнее».

Понятие «циркуляция атмосферы» включает в себя режим атмосферы над большими территориями. Режим атмосферы над пространством, соизмеримым с размерами полушария или всей планеты в целом, а также в вертикальном направлении до больших высот получил название общей циркуляции атмосферы (ОЦА), все части которой тесно связаны между собой.

При описании состояния общей циркуляции атмосферы возникает ряд трудностей. Это связано с тем, что крупномасштабные атмосферные процессы описываются большим количеством данных. Использовать же все их полностью в прогностических целях практически невозможно, так как в этом случае для получения устойчивых оценок необходимо иметь огромные ряды наблюдений, которые в настоящее время отсутствуют. Поэтому перед прогнозистом встает задача: малым количеством параметров наиболее полно отразить реальное состояние текущего процесса.

В этом случае ставится задача сжатия информации путем замены всего объема данных некоторыми расчетными параметрами, которые с определенной точностью отражали бы исходные объекты. Для этой цели используются различные подходы: использование численных показателей (в частности, индексы циркуляции, оценивающие интенсивность и направленность воздушных потоков, такие как индекс Россби, индекс Блиновой, индекс Каца и др.), применяемые впоследствии в качестве предикторов для разработки долгосрочных прогнозов погоды; сжатие информации путем процедуры разложения полей по различным функциям: сферическим, в ряды Фурье, по полиномам Чебышева, по естественным ортогональным составляющим и др. Однако их использование для описания циркуляции оказывается лишь некоторым ее приближением. В последнее время используются более современные индексы, такие как североатлантическое колебание (САК или NAO), восточно-атлантическое колебание (ВАК или EA), арктическое колебание (АК или AO) и другие. Эти индексы описывают различные стороны макропроцессов.

Однако циркуляционные процессы настолько многообразны, что учесть их каким-либо одним параметром невозможно. В связи с этим, в последние годы было обращено внимание на некоторые составляющие атмосферной циркуляции. Одним из объектов общей циркуляции атмосферы, описывающих особенности глобального движения воздуха вокруг полюса, является циркумполярный вихрь (ЦПВ). Он представляет собой крупный атмосферный вихрь с центром в районе полюса, который охватывает практически все северное полушарие, формирует воздушные течения, способствуя перемещению тепла и влаги в различные регионы и созданию соответствующей географической локализации термических очагов. Поэтому именно он может являться тем глобальным фактором, который способен заметно влиять на термический режим крупных территорий. Использование такого объекта в качестве предиктора, влияющего на погодные условия, может оказаться полезным при разработке долгосрочного прогноза. Впервые в



работах [2,3] были даны теоретические обоснования и предложены расчетные формулы для количественного определения параметров ЦПВ, которые в дальнейшем, были реализованы в работе [4]. Возникшие при этом трудности были в некотором плане сняты построением усовершенствованной модели циркумполярного вихря с оперативным определением краевой изогипсы в работе [5].

Цель работы – повысить качество прогноза средней месячной температуры воздуха, как по отдельным регионам северного полушария, так и в целом по выделенной зоне полушария путем применения параметров, рассчитанных с помощью усовершенствованной модели циркумполярного вихря.

Модель исследования. В качестве исходных данных использовались среднемесячные значения геопотенциала на поверхности 500 гПа в период с 1979 по 2014 годы, за холодный период года (январь). Информационной базой служили данные реанализа [6] в узлах регулярной сетки с шагом $2,5^\circ$ вдоль широтных кругов $40-60^\circ$ с. ш. и меридианов северного полушария с шагом $2,5^\circ$. Длина выборки составила 36 лет.

Использование данного периода обосновано тем, что, как показали исследования, нормы, используемые за более ранний период, в настоящее время являются не эффективными. В связи со значительным влиянием парниковых газов, начиная с 1979 года, температура воздуха за последние десятилетия имеет тенденцию к повышению.

В качестве параметров циркумполярного вихря использованы его характеристики и их порядковые номера, используемые при дальнейшем анализе:

X_c и Y_c – параметры, описывающие местоположение полюса циркуляции относительно географического полюса (координаты центра тяжести) определяются на поверхности 500 гПа (рассматривается декартовая система координат, центр которой совмещен с географическим полюсом, ось X направлена по меридиану $0-180^\circ$, ось Y – 90° з.д. – 90° в.д.);

λ, φ – географические координаты центра циркуляционного вихря;

S – площадь циркумполярного вихря (показывает размер территории северного полушария, в котором заключена циклоническая циркуляция, ограниченная с юга краевой изогипсой);

M – масса атмосферы рассматриваемого объема, ограниченная поверхностью 500 гПа и краевой изогипсой;

Z – интенсивность циркуляции, рассчитывается как отношение массы атмосферы M к площади вихря S .

Перечисленные параметры были названы площадными. Дополнительно использованы геометрические характеристики вихря, в качестве которых рассматривались параметры эллипса рассеивания, который является геометрической характеристикой концентрации двумерного распределения местоположения его центра тяжести. Направление его большой оси определяется углом θ . Характеристиками эллипса рассеивания являются:

σ_x, σ_y – дисперсии случайных величин X и Y (σ_x^2 и σ_y^2). Их можно интерпретировать как моменты инерции распределенной массы относительно осей, проходящих через центр тяжести);

σ_u, σ_v – полуоси эллипса. Они 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 θ и параллельного переноса начала координат в точку $O'(m_x, m_y)$;

K – коэффициент сжатия эллипса, рассчитываемый как отношение $K = \sigma_u / \sigma_v$.

Схема положения эллипса рассеивания масс ЦПВ в системе координат XOY показана на рисунке 1.



Угол наклона главной оси эллипса θ и коэффициент сжатия K характеризуют ориентацию вихря над поверхностью Земли относительно географического полюса.

Дополнительно использовался лапласиан геопотенциала H_0 на поверхности 500гПа вблизи центра циркумполярного вихря.

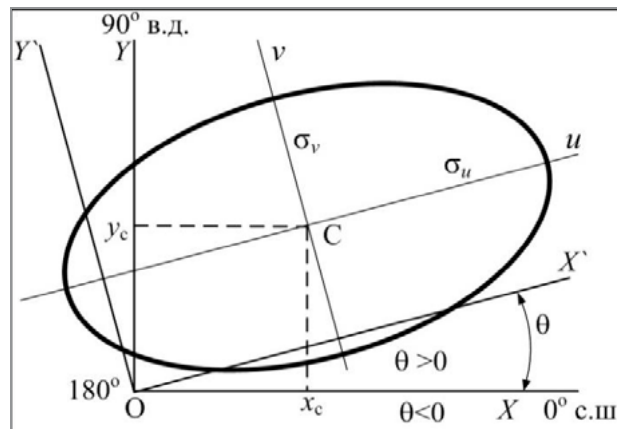


Рисунок 1 – Схема ориентации эллипса рассеяния масс ЦПВ на координатной плоскости XOY

В результате был получен целый ряд характеристик ЦПВ, которые полностью описывают геометрию циркумполярного вихря и особенности его расположения на полушарии. Всего в работе рассчитано 14 параметров (L_j), представленные в таблице 1:

Таблица 1 – Характеристики ЦПВ и их порядковые номера

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
X_c	Y_c	S	M	Z	θ	σ_x	σ_y	σ_u	σ_v	K	λ	φ	H_0

Для каждого из них получены многолетние ряды. Прогноз разрабатывался по территории северного полушария, ограниченной широтами от 40° до 60° с.ш., разделенной на 30-ти градусные сектора, представленные на рисунке 2.

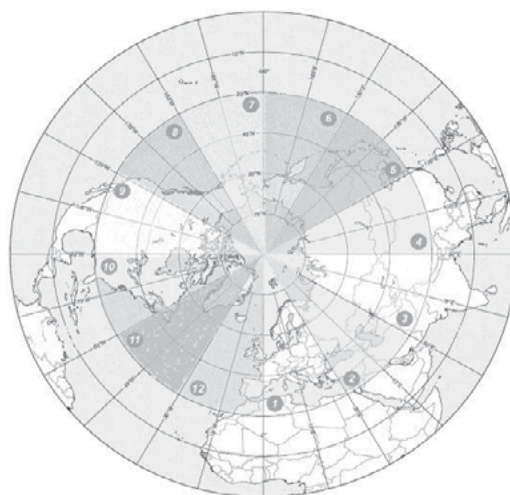


Рисунок 2 – Схема расположения секторов на северном полушарии в $40-60^\circ$ с. ш.



На схеме различными оттенками показаны 30-ти градусные сектора, порядковые номера которых помещены в кружках. Всего выделено 12 секторов S, которые в достаточной мере могут соответствовать физико-географическому районированию и индивидуальным климатическим особенностям отдельных регионов. В качестве объекта прогноза рассматривалась средняя месячная температура $\bar{T}_{j,i,q,t}^S$, сглаженная по каждому сектору:

$$\bar{T}_{j,i,q,t}^S = \frac{1}{N} \frac{1}{M} \sum_{j=1}^N \bar{T}_{j,t,q}^S \sum_{i=1}^M \bar{T}_{i,t,q}^S, \quad (1)$$

где \bar{T}_{ji}^S – среднемесячная температура воздуха на поверхности 1000 гПа в секторе S, в узле с координатами j,i, кратными 2,5°, N – количество узлов вдоль широты j (j = 1,2,...,13) в секторе S, M – количество узлов вдоль долготы i (i=1,2,...,9) в секторе S. В каждом секторе использовано 113 узлов регулярной сетки (2,5° × 2,5°), q – порядковый номер года в выборке одноименных месяцев (q=1,2,...,36).

Методика исследования. В целях разработки прогноза температуры, на первом этапе между каждым параметром циркумполярного вихря L_j и осредненной температурой воздуха в каждом из 12 секторов S_i рассчитывались парные коэффициенты корреляции R (L_j, $\bar{T}_{S_i}^{t+\tau}$). Корреляционные связи параметров циркуляции L_j с температурой воздуха $\bar{T}_{S_i}^{t+\tau}$ устанавливались в синхронные (τ = 0) сроки, то есть использовалась информация о температуре воздуха в январе. На основании полученных коэффициентов линейной корреляции строились графики, описывающие влияние каждого из параметров циркуляции L_j на температурный режим в рассматриваемых секторах S_i на северном полушарии. Для примера, на рисунке 3 показано влияние параметра σ_u на формирование средней месячной температуры воздуха в различных секторах полушария.

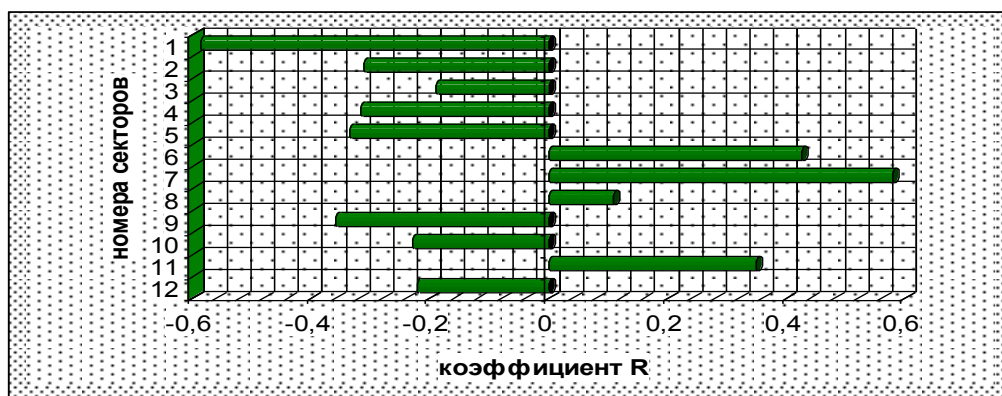


Рисунок 3 – Изменение уровня корреляционной связи между параметром σ_u и осредненной температурой в секторах в синхронные сроки (τ = 0)

По оси ординат отложены порядковые номера секторов на полушарии, согласно расположению их на рисунке 2. За начало отсчета принят нулевой меридиан (первый сектор: 0–30° в.д.). Согласно [7], для данной длины выборки при 5% доверительном интервале, значимый коэффициент корреляции составляет 0,36.

Из рисунка видно, что уровень корреляционной связи существенно меняется по полушарию. Величина коэффициента корреляции, находящаяся на уровне 0,4, наблюдается над континентальной частью восточной половины северного полушария, причем



знак этой связи отрицательный, а над океанической поверхностью Тихого океана (сектор 6 и 7), а также Атлантического океанов (сектор 11) – знак связи положительный.

Противоположный характер влияния на температурный режим секторов имеет параметр долготной координаты центра циркуляции λ . Особенности данных корреляционных связей представлены на рисунке 4.

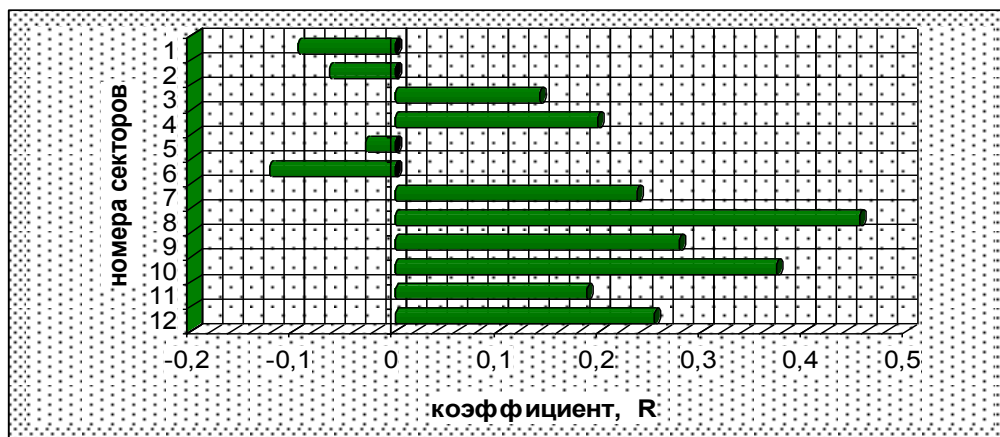


Рисунок 4 – Изменение уровня корреляции параметра λ и осредненной температурой по секторам

Основное влияние параметра λ обнаруживается на западной половине полушария, при этом знак такого влияния положительный.

Изменение уровня корреляции параметра φ и осредненной температурой по секторам представлено на рисунке 5.

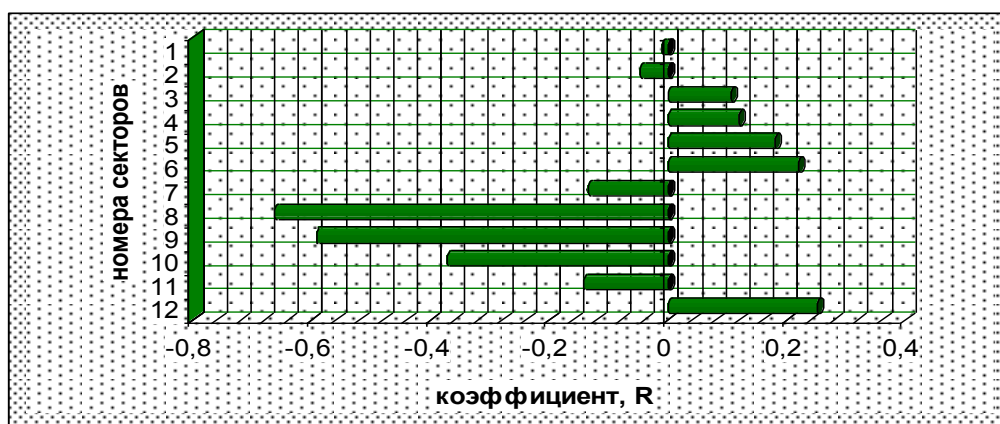


Рисунок 5 – Изменение уровня корреляции параметра φ и осредненной температурой по секторам

Из рисунка видно, что наибольший вклад в формирование температуры обнаруживается на территории Американского континента, где коэффициенты корреляции превышали величину $-0,6$, причем знак связи – отрицательный. Таким образом, анализ графиков показывает, что уровень информативности рассматриваемых параметров имеет избирательный характер.

На основании множественной пошаговой регрессии для каждого сектора выявлена совокупность наиболее информативных предикторов, представленных в таблице 2. Из таблицы видно, что на температуру воздуха практически во всех секторах оказывают влияние моменты инерции распределенной массы относительно осей, проходящих через центр тяжести системы или среднеквадратические отклонения вдоль осей эллипса σ_x , σ_y , а также параметр σ_u . Дополнительный вклад вносят координаты центра циркумполярного вихря X_c , U_c , φ , λ .



Таблица 2– Информативные параметры циркумполярного вихря. Синхронные сроки. Январь-январь ($\tau = 0$)

сектора	Порядковые номера параметров циркумполярного вихря													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1							σ_x		σ_u					
2								σ_y	σ_u					
3		Ус		М										Н ₀
4		Ус		М					σ_u					
5									σ_u					
6					Z		σ_x	σ_y	σ_u	σ_v				
7			S				σ_x	σ_y	σ_u	σ_v	K			
8	Xc					θ	σ_x				K		φ	
9	Xc					θ		σ_y	σ_u				φ	
10	Xc											λ	φ	
11						θ	σ_x				K			
12						θ	σ_x				K			
зона							σ_x	σ_y	σ_u			λ		

Такой же набор предикторов характерен и для прогноза температуры воздуха, осредненной по всей широтной зоне 40–60° с.ш., которая помещена в последней строке таблицы. Это может свидетельствовать о не случайности полученных результатов.

На основании отобранной совокупности предикторов в каждом рассматриваемом 30-ти градусном секторе на полушарии и отдельно во всей широтной зоне 40–60° с.ш. для синхронных сроков рассчитаны прогностические уравнения регрессии, представленные в таблице 3.

Таблица 3 – Линейные уравнения регрессии в синхронные сроки. Январь

№ сектора	Вид уравнений регрессии ($\tau = 0$)
1	$\hat{T}^{\tau=0}(0-30^{\circ}) = 0,105\sigma_x - 0,59\sigma_u + 63,81$
2	$\hat{T}^{\tau=0}(30-60) = -0,15\sigma_y - 0,19\sigma_u + 43,96$
3	$\hat{T}^{\tau=0}(60-90) = -0,2Y_c + 0,29M - 27,29$
4	$\hat{T}^{\tau=0}(90-120) = -0,34Y_c + 0,23M - 0,4\sigma_u + 22,79$
5	$\hat{T}^{\tau=0}(120-150) = -0,34\sigma_u + 20,22$
6	$\hat{T}^{\tau=0}(150-180) = -0,34Z + 0,16\sigma_y - 5,12$
7	$\hat{T}^{\tau=0}(180-210) = -0,48\sigma_x + 0,75\sigma_u + 0,46K - 43,86$
8	$\hat{T}^{\tau=0}(210-240) = -0,38X_c - 0,47\theta + 0,62\sigma_v + 38,15$
9	$\hat{T}^{\tau=0}(240-270) = -0,08X_c - 0,47\sigma_y - 0,48\varphi + 311,1$
10	$\hat{T}^{\tau=0}(270-300) = -0,3X_c + 0,19\lambda + 0,76\varphi - 41,02$
11	$\hat{T}^{\tau=0}(300-330) = -0,02\sigma_x + 0,133\sigma_u + 0,332K + 30,41$
12	$\hat{T}^{\tau=0}(330-360) = 0,178\theta - 0,04\sigma_x - 0,27K + 17,51$
Зона 40-60° с.ш.	$\hat{T}^{\tau=0}(0-360) = 0,08X_c - 0,34\sigma_y - 0,17\sigma_u + 0,326\lambda + 19,51$

Связь между фактическими и прогностическими значениями температуры воздуха оценивалась с помощью парного коэффициента корреляции, которая представлена на рисунке 6.

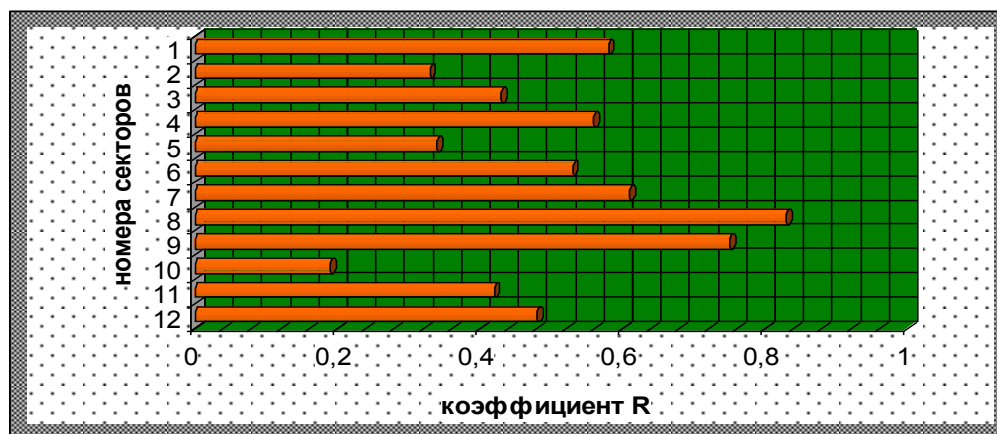


Рисунок 6 – Распределение коэффициентов корреляции $R(\bar{T}^{t-1}, \hat{T}^{t-1})$ между фактическими и прогностическими значениями температуры в секторах при $(\tau = 0)$. Январь

Из рисунка видно, что, в среднем по секторам коэффициент корреляции высокий и составляет 0,5. Сопласуется с ним и значение коэффициента корреляции, полученное для всей широтной зоны, для которой $R = 0,57$. В отдельных секторах, например, 8–9 (210–240 и 240–270° в.д.) значения R могут достигать величины 0,83–0,75 соответственно. Вместе с тем, восточная часть Северной Америки оказалась на самом низком уровне совпадения прогностических и фактических значений.

Оценка эффективности. В целях большей уверенности в значимости используемых предикторов и целесообразности использования предлагаемых уравнений регрессии в практической работе прогнозиста целесообразно воспользоваться всеми доступными статистическими показателями, которые способны оценивать различные стороны рассматриваемого процесса.

Одной из практически важных и показательных оценок успешности прогнозов является абсолютная ошибка $|\delta|$, которая рассчитывается как разность между фактическим и прогностическим значениями исследуемой величины. В данном случае расчет производился между осредненной по 30-ти градусному квадрату температурой воздуха в фактический момент времени и прогнозируемой величиной для конкретного исследуемого сектора. Чтобы оценить успешность прогнозов, необходимо сравнить ее с ошибкой какой-либо из методик, для которых не требуется расчетов. Таковыми являются случайные, инерционные или климатические прогнозы. В данной работе использовалась ошибка климатического прогноза, показателем которой является среднеквадратическое отклонение. Прогноз считается успешным, если ошибки методического прогноза меньше ошибок климатического прогноза, то есть естественных вариаций климата.

На рисунке 7 для всех исследуемых секторов приводится сравнение абсолютной ошибки δ и значение климатической изменчивости σ во всех секторах в синхронные сроки $(\tau = 0)$. Как видно из рисунка, во всех рассматриваемых секторах ошибки методического прогноза, полученные на основе использования усовершенствованной модели циркумполярного вихря меньше, чем ошибки климатического прогноза и, с этой точки зрения, полученные уравнения регрессии являются успешными. Наименьшие абсолютные ошибки прогноза температуры, как и климатические колебания, отмечены в районах с океанической поверхностью (сектора 6–8, 12). Однако и в этих районах величины δ намного меньше климатических ошибок, где они составляют 0,4–0,6 °C. Наибольшие ошибки характерны для внутренних континентальных районов (Восточная Сибирь и Северная Америка). Здесь ошибки могут превышать величину 1,5 °C, хотя и в этом случае величина ошибки меньше климатической.

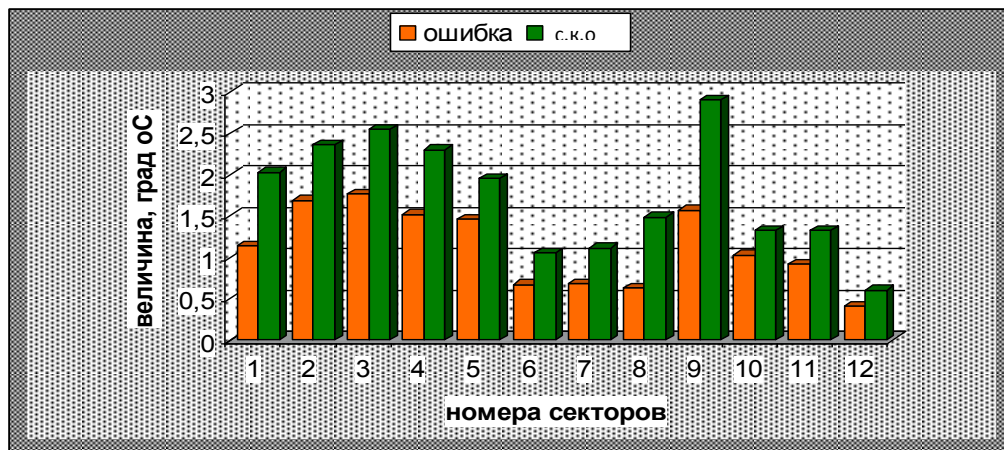


Рисунок 7– Сравнительное распределение по секторам абсолютной ошибки δ и среднеквадратического отклонения σ в синхронные сроки ($\tau = 0$)

Таким образом, во всех секторах ошибка методического прогноза намного меньше климатической ошибки. Это указывает на то, что предложенная модель прогноза температуры для синхронных сроков является успешной для всей рассматриваемой территории северного полушария в широтной зоне 40–60° с.ш.

Так как ни один современный метод оценки успешности прогнозов не является универсальным, то для большей уверенности в надежности получаемых оценок использовались и другие параметры, в частности параметр оценки Q , предложенный Багровым Н. А. [8]. Он описывает успешность прогнозов по средней величине отклонений ошибок прогнозов от нормы:

$$Q_s^t = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \left(\frac{\Delta T_{jS}^t}{\sigma_S^t} \right)^2, \quad (2)$$

где ΔT_{jS}^t – разность температур между фактическими и прогностическими значениями температуры в исследуемом календарном месяце t , фиксированном секторе S , j – год в выборке, N – количество лет в выборке, σ_S^t – среднеквадратическое отклонение в конкретном секторе S исследуемого месяца t .

Прогноз считается успешным, если рассчитанное значение $Q < 1$; при $Q \geq 1$, ошибки методического прогноза равны климатическому и предлагаемый метод не имеет преимуществ перед климатическими данными. Чем меньше величина Q , тем успешность методического прогноза выше. Данный параметр является величиной безразмерной. Распределение ошибок по параметру Q представлено на рисунке 8.

Анализ данного рисунка показывает, что в синхронные сроки во всех секторах параметр $Q < 1$, хотя величина данного параметра по секторам распределена неравномерно. Наиболее успешными являются прогнозы для территории американского сектора, где параметр Q находится в интервале долгот 210–240° в. д. и приближается к нулю, в то же время, в секторе 270–300° в.д. он близок к единице.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о том, что по величине ошибки Q предложенная модель прогноза температуры воздуха в секторах имеет преимущество над климатическим прогнозом, что свидетельствует об успешности примененной модели и используемых в ней параметров циркумполярного вихря.

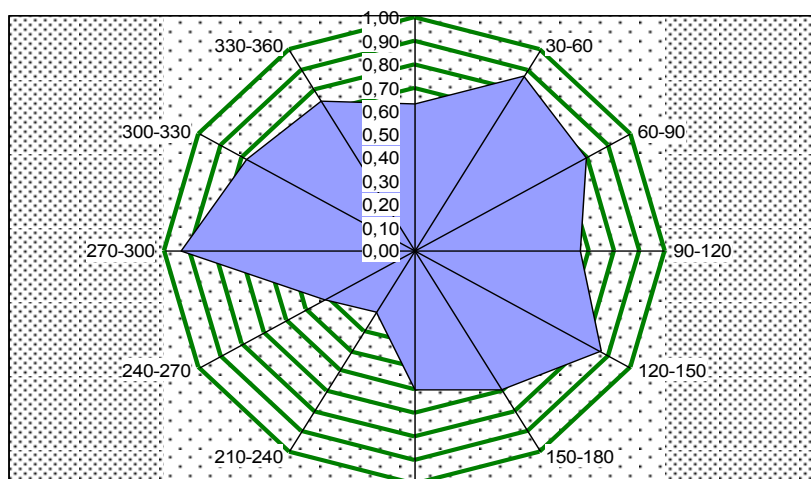


Рисунок 8 – Распределение по секторам оценок оправдываемости прогнозов по параметру Q , синхронные сроки ($\tau = 0$)

Для оценки оправдываемости прогноза температуры по знаку использовалось несколько показателей. Прежде всего, вероятность совпадения знаков фактического и прогностического значений температуры в процентах. При этом следует заметить, что при прогнозе использовались среднемесячные, осредненные по сектору температуры воздуха. Анализ полученных результатов показал, что нарушений в знаках фактических и прогностических значений температуры, как правило, не обнаруживалось. В этом случае можно было бы говорить о том, что совпадение знаков близко к 100 %. Для большей надежности при оценке успешности, предварительно рассчитанные фактические и прогностические значения температуры воздуха приводились к отклонениям от нормы (климатических значений), между которыми находилась вероятность совпадений знаков. Результаты представлены на рисунке 9.

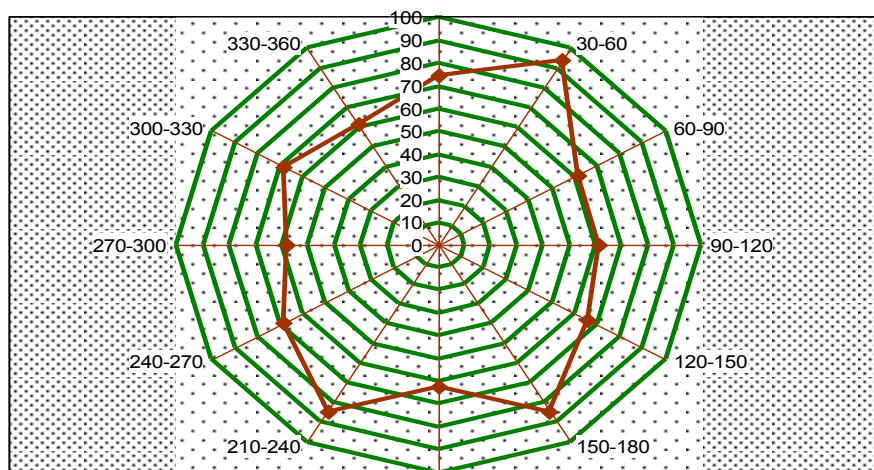


Рисунок 9 – Распределение по секторам % совпадений знаков фактических и прогностических аномалий температуры, сдвиг $\tau = 0$

Более жестким показателем, с помощью которого можно оценить успешность и надежность прогнозов температуры по знаку, является параметр Фехнера, который ответственен за совпадение прогностических и фактических знаков температуры воздуха. Как и в предыдущем варианте оценивались знаки не самих температур воздуха, а их отклонение от нормы, что существенно зависит от правильного расчета норм.



Параметр Фехнера (параметр ассоциации) описывается параметром ρ и рассчитывается по формуле:

$$\rho = \frac{n_+ - n_-}{N}, \quad (3)$$

где n_+, n_- – количество совпадений и не совпадений знаков фактических и прогностических значений температуры, полученных в отклонениях от нормы, соответственно; N – общее количество рассчитанных прогнозов.

Величина ρ колеблется от +1,0 до -1,0. Прогнозы считаются успешными, если значение $\rho > 0,2$. На рисунке 10 представлено распределение величины ρ по различным секторам в синхронные сроки.

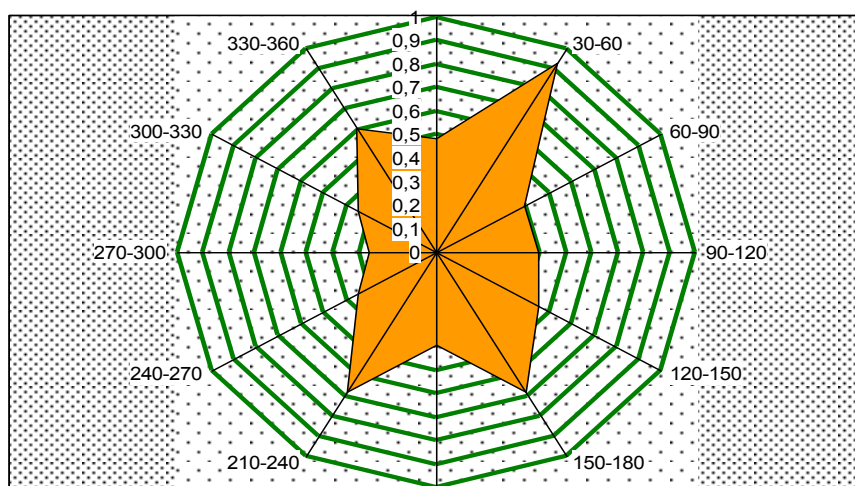


Рисунок 10 – Распределение параметра ρ по секторам. Синхронные сроки ($\tau = 0$)

Исходя из оценок успешности прогнозов, представленных на рисунке 10, следует признать, что в среднем, для всех сдвигов по времени, они значительно выше критериальных величин и поэтому их можно считать успешными. Хотя для различных регионов они индивидуальны. Как видно из рисунка наиболее успешными оказались прогнозы для Европейской территории и, особенно, для сектора 2 (восточная часть Европы). Здесь параметр ρ приближается к единице, что свидетельствует о высокой степени совпадения прогностических и фактических знаков температуры воздуха. Достаточно высокими являются оценки и для остальной рассматриваемой территории. Исключение, как и по другим параметрам оценки, составляет сектор 270–300° в. д. (восточная половина Северной Америки). Это связано со значительной температурной изменчивостью данного района. Среднее значение ρ по секторам для синхронного срока составляет 0,497, что свидетельствует о высокой успешности прогноза знака температуры.

Выводы. Таким образом, приведенные расчеты с использованием различных показателей оправдываемости прогнозов показали, что вклад используемых параметров циркуляции в формирование температуры воздуха, является значимым. Достоверность такого утверждения обусловлена применением современных методов оценки прогнозов и убедительной наглядной иллюстрацией правдоподобия фактических и расчетных данных при определенных уровнях значимости и критериальных значениях, которые допустимы в настоящее время для оценки прогнозов [9,10].

Полученные результаты являются предварительным экспериментом по использованию информации о характеристиках циркумполярного вихря в прогностических целях, полученных только в установленных в работе временных и пространственных рамках. Для создания более общей схемы необходимы дальнейшие исследования.



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Климатическая доктрина РФ. Постановление правительства РФ от 17 декабря 2009 № 851-рп. интернет: <http://www.gistatgroup.com/> (дата обращения 15.12.2011).
2. Глызь Г. А. О некоторых характеристиках циркумполярного вихря // Статистические методы анализа и прогноза в метеорологии: Труды ВНИИГМИ-МЦД. М.: Гидрометеиздат, 1979. Вып. 58. С. 98–104.
3. Багров Н. А., Орлова И. И. К вопросу определения центра циркуляции атмосферы. Труды ГМЦ. Вып. 211. С.3–12.
4. Шипко Ю. В., Задорожная Т. Н., Малюков Е. А. Моделирование атмосферных процессов северного полушария с оперативным определением краевой изогипсы // Информатика: проблемы, методология, технология: материалы XI Междунар. конф. 10–11 февраля. Воронеж: ВГУ, 2011. С. 297–301.
5. Шипко Ю. В., Задорожная Т. Н., Малюков Е. А. Моделирование атмосферных процессов северного полушария с оперативным определением краевой изогипсы // Информатика: проблемы, методология, технология: материалы XI Междунар. конф. 10–11 февраля. Воронеж: ВГУ, 2011. С. 297–301.
6. NCEP/DOE AMIP II Reanalysis [Электронный ресурс]. URL: <http://www.esrl.noaa.gov/pcd/data/gridded/data.ncep.reanalysis2.html> (дата обращения: 22.11.2016).
7. Кендалл М., Дж., Стьюарт А. Статистические выводы и связи. М.: Наука, 1973. 899 с.
8. Багров Н.А. и др. Долгосрочные гидрометеорологические прогнозы ЛГМИЗ, 1985. 240 с.
9. Руководство по практическим работам метеорологических подразделений авиации Вооруженных Сил. М.: Военное издательство, 1992. 488 с.
10. Наставление по метеорологическому обеспечению гражданской авиации России (НМО ГА-95). М., 1995. 156 с.

REFERENCES

1. Climate doctrine of the Russian Federation. Decree of the Government of the Russian Federation of December 17, 2009 No. 851-rp. Internet: <http://www.gistatgroup.com/> (reference date 15.12.2011).
2. GA Glyz, On some characteristics of the circumpolar vortex, in: Statistical Methods of Analysis and Prediction in Meteorology: Proceedings of VNIIGMI-WDC. Moscow: Gidrometeoizdat, 1979. Vol. 58. P. 98-104.
3. Bagrov NA, Orlova II To the problem of determining the center of the atmosphere's circulation. Transactions of the GMC. Issue. 211. P.3-12.
4. Shipko Yu. V., Zadorozhnaya TN, Malyukov EA Modeling of the atmospheric processes of the northern hemisphere with the operational definition of the marginal isohypes // Informatics: problems, methodology, technology: materials XI Intern. Conf. 10-11 February. Voronezh: VSU, 2011. P. 297-301.
5. Shipko Yu. V., Zadorozhnaya TN, Malyukov EA Modeling of the atmospheric processes of the northern hemisphere with the operational definition of the marginal isohypes // Informatics: problems, methodology, technology: materials XI Intern. Conf. 10-11 February. Voronezh: VSU, 2011. P. 297-301.
6. NCEP / DOE AMIP II Reanalysis [Electronic resource]. URL: <http://www.esrl.noaa.gov/pcd/data/gridded/data.ncep.reanalysis2.html> (date of circulation: 22.11.2016).



7. Kendall M., J., Stewart A. Statistical conclusions and connections. М.: Nauka, 1973. 899 p.
8. Bagrov N.A. Long-term hydrometeorological forecasts LGMZ, 1985. 240 p.
9. Manual on practical work of meteorological sub-sections of aviation of the Armed Forces. М.: Military Publishing House, 1992. 488 p.
10. Manual on meteorological support for civil aviation in Russia (NMO GA-951) .М., 1995. 156 p.

© Задорожная Т.Н., Закусилов В.П., 2017

Задорожная Тамара Николаевна, кандидат географических наук, доцент, старший научный сотрудник научно-исследовательского центра (проблем применения, обеспечения и управления авиацией Военно-воздушных сил), Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, vaiu@mil.ru

Закусилов Вадим Павлович, кандидат географических наук, доцент, доцент кафедры гидрометеорологического обеспечения, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, vaiu@mil.ru