



УДК 551.509.324
ГРНТИ 37.21.39

ПРИМЕНЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗА НИЗКОЙ ОБЛАЧНОСТИ НА СРЕДНИЕ СРОКИ

*Т.Н. ЗАДОРЖНАЯ, 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 работе проведена оценка потенциальных возможностей прогноза суммарного количества часов с облачностью высотой 150-300 м в пункте Воронеж, на основе свойств естественного синоптического периода, с учетом характера и интенсивности атмосферной циркуляции на высотах 1000, 850 и 500 гПа.

Ключевые слова: Воронеж; январь; низкая облачность; естественный синоптический период; лапласиан геопотенциала; шаг сетки; коэффициент корреляции; прогноз.

THE APPLICATION OF STATISTICAL MODELS TO FORECAST LOW CLOUDINESS IN THE MEDIUM TERM

*T. N. ZADOROZHNAJA, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor
MESC AF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh)
V.P. ZAKUSILOV, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor
MESC AF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh)*

In this paper we evaluated the possibility of forecasting the total number of hours with a cloud height of 150-300 m in Voronezh, on the basis of the properties of the natural SYNOPSIS period, taking into account the nature and intensity of the atmospheric circulation at altitudes 1000, 850 and 500 hPa

Keywords: Voronezh; january; low clouds; natural synoptic period; laplacian of the geopotential spacing; correlation coefficient; forecast.

Введение. В современных условиях планирования и проведения летной подготовки большое значение приобретает как качество прогнозов, так и заблаговременность информации об ожидаемых изменениях погоды с тем, чтобы своевременно скорректировать намеченные действия и спланировать будущее. Эта прогностическая информация должна соответствовать уровню планируемых операций. Период в 5–7 суток является оптимальным, на который производится планирование различных мероприятий в авиационных подразделениях ВКС.

Актуальность. Важной характеристикой погодных условий является облачность, которая значительно осложняет производство полетов. Несмотря на очевидную важность прогноза такого метеорологического элемента, до настоящего времени качество его прогноза пока не вполне удовлетворяет потребителя. Это связано со значительной сложностью выявления и учета наиболее информативных факторов, ответственных за процессы формирования облачности на длительные сроки и недостаточной изученностью данной проблемы. Поэтому при планировании работы в частях, даже на неделю, как правило, используют климатические данные, которые необходимо постоянно уточнять.



Имеющиеся в настоящее время методы прогноза облачности [1,2] направлены чаще всего на то, чтобы предсказать факт возможного ее появления в пределах определенной градации. Вместе с тем, для выполнения определенной задачи в частях, необходимо знать, как долго данная градация будет сохраняться в течение времени, необходимого для выполнения требуемого вида полетов. Необходимо, чтобы конкретные условия сохранялись в течение всей полетной смены (как правило, 8 часов) или хотя бы ее половины.

Целью данной работы является разработка методики прогноза суммарного количества часов с низкой облачностью в пункте Воронеж на период от 5 до 7 суток, с использованием свойств естественного синоптического периода (ЕСП) и циркуляционного режима в холодный период года.

Объектом исследования являлись ежечасные наблюдения за высотой низкой облачности, когда в срок наблюдения высота ее нижней границы составляла 150–300 м, а общее количество облаков находилось в пределах 7–10 баллов. Выбор такого варианта связан с тем, что для большинства типов самолетов, аэродромов и летчиков такие условия относятся к экстремально-сложным условиям погоды (или минимуму погоды).

Для решения поставленной задачи использовались **статистические методы исследования**.

Обоснование используемого подхода. В основу прогноза низкой облачности положено свойство естественного синоптического периода. Естественный синоптический период (ЕСП) – это промежуток времени, в течение которого на пространстве естественного синоптического района (Атлантико-Европейского района: 50° з.д.– 90° в.д.) сохраняются основные черты термобарического поля, обуславливающего перенос воздушных масс, а, следовательно, и распределение характера облачных полей [3]. В течение ЕСП, как правило, атмосфера развивается в одном направлении, способствуя перемещению тепла и влаги в одни и те же районы.

Следовательно, в конкретных районах будет формироваться и сохраняться облачность в соответствии с той воздушной массой, которая регулярно поступает на данную территорию в течение всего естественного синоптического периода. Поэтому в этом случае расчет климатических характеристик будет наиболее успешным. Смена ЕСП повлечёт за собой смену воздушной массы, а, следовательно, смену характера облачного покрова в рассматриваемом районе.

Исходные данные и методика их обработки. В данном разделе в качестве прогнозируемой величины использовалось суммарное за ЕСП количество часов с исследуемым типом сложности погоды. Это тот бюджет времени, который можно максимально использовать в наступающем периоде. С этой целью вся исходная выборка суточных значений количества часов с облачностью 150 – 300 м была разбита, согласно установленным правилам [3], на отдельные ЕСП. Для каждого из них рассчитывались суммарные за ЕСП значения облачности $\tilde{\ell}_m$ по формуле:

$$\tilde{\ell}_m = \sum_{q=1}^n \sum_{i=1}^k \ell_{iqm} \quad (1)$$

где m – порядковый номер ЕСП в выборке, q – порядковый номер суток в естественном синоптическом периоде, n – количество суток в текущем периоде, ℓ – факт наличия искомого вида облачности в текущем ежечасном наблюдении, k – количество наблюдений с низкой облачностью в сутках.

Учитывая оперативную работу прогнозиста при выборе предикторов, мы исходили из того, что при разработке прогноза необходимо использовать ту информацию, ко-



торая постоянно имеется в распоряжении синоптика. Кроме того, на расчет прогноза должен затрачиваться минимум рабочего времени.

Как известно, облачный покров возникает при определенной синоптической и циркуляционной обстановке [4], которая обнаруживается по синоптическим картам и картам барической топографии. Поэтому в данной работе в качестве предикторов используется состояние циркуляционного режима.

Так как карты барической топографии представляются большим количеством числовых показателей, то возникает необходимость в существенном сжатии информации, заменяя все множество исходных данных расчетом некоторых параметров циркуляции, описывающих определенную сторону рассматриваемого процесса. Исходя из физических соображений, основным фактором формирования облачного покрова являются вертикальные движения, их скорость и знак [5]. При решении задач анализа и прогноза в качестве аналога вертикальных движений используется оператор Лапласа (лапласиан), имеющий для плоскости вид:

$$\nabla^2 f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}, \quad (2)$$

где f – некоторая функция, в нашем случае значение геопотенциала H .

Поле метеорологической величины при подобных расчетах считается линейным, т.е. значение f_i в узле с координатами x_i, y_i задается в виде:

$$f_i = f_0 + \frac{\partial f}{\partial x} x_i + \frac{\partial f}{\partial y} y_i, \quad (3)$$

где f_0 – значение функции в начале координат, в точке, для которой ведется расчет, $\frac{\partial f}{\partial x}$,

$\frac{\partial f}{\partial y}$ – частные производные исследуемой функции по широте и аналогично по долготе.

Как правило, в практических целях частная производная заменяется конечными разностями по данным в дискретных точках пространства:

$$\frac{\partial f}{\partial x} = \frac{\Delta f}{\Delta x}, \quad (4)$$

где $\Delta f = f_2 - f_1$, а $\Delta x = x_2 - x_1$.

Для определения конечных разностей использована расчетная сетка, на которой начало координат, совпадает с пунктом расчета. Вертикальная ось (Y) совпадает с направлением меридиана, а ось X – с широтой, проходящей через пункт расчета. Вычисления производят от востока к западу и от севера к югу. В этом случае:

$$\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)_0 = \frac{1}{2\Delta S}(f_1 - f_3), \quad (5)$$



$$\left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)_0 = \frac{1}{2\Delta S}(f_2 - f_4), \quad (6)$$

где ΔS – шаг сетки.

С целью выбора оптимального шага в данной работе рассматривалось несколько вариантов, исследуя последовательно информативность шагов с расстояниями: 5° , 10° , 15° , 20° , 25° ($1^\circ = 110$ км).

Для практических целей расчет лапласиана ΔH проводился по стандартной формуле [5]:

$$\Delta H = H_1 + H_2 + H_3 + H_4 - 4H_0. \quad (7)$$

Для описания характера циркуляции в данном исследовании лапласианы рассчитывались на поверхностях 1000 гПа, 850 гПа и 500 гПа. Предполагалось, что именно эти уровни атмосферы могут являться ответственными за формирование облачного покрова рассматриваемого типа.

С целью решения поставленной задачи для каждой из указанных поверхностей использовался массив среднесуточных значений геопотенциала, полученных по данным реанализа. Архив данных представлял собой поле геопотенциала в узлах регулярной широтно-долготной сетки разрешением $2,5^\circ$. В качестве исходного месяца рассматривался январь. Исследуемая выборка включала период с 1980 по 2015 годы.

В этом случае формула для расчета лапласиана имела вид:

$$\Delta H_{tq}^{\gamma\tau} = H_{tq(1)}^{\gamma\tau} + H_{tq(2)}^{\gamma\tau} + H_{tq(3)}^{\gamma\tau} + H_{tq(4)}^{\gamma\tau} - 4H_{tq(0)}^{\gamma\tau}, \quad (8)$$

где ΔH – значение лапласиана, γ – высота изобарической поверхности ($\gamma = 1000, 850, 500$ гПа) для которой производился расчет лапласианов, τ – шаг, с которым производился расчет ($\tau = 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 25^\circ$), t – порядковый номер года в выборке ($t = 1, 2, \dots, 35$), в выражении в скобках (0,1,2,3,4) помещен порядковый номер точки, используемый при расчете лапласиана.

Учитывая, что расчет ΔH проводился для пяти установленных шагов и трех изобарических поверхностей, в конечном счете рассматривалось 15 вариантов расчета лапласианов.

Другим важным показателем, имеющим прогностическое значение, могут являться суточные изменения лапласианов $\delta\Delta H_{tq}^{\gamma\tau}$. Они рассчитывались как разность значений лапласианов между последующим $q+1$ и предыдущим q днями в тенденции текущего периода:

$$\delta\Delta H_{tq}^{\gamma\tau} = \Delta H_{t(q+1)}^{\gamma\tau} - \Delta H_{tq}^{\gamma\tau}. \quad (9)$$

Суточные значения $\delta\Delta H_{tq}^{\gamma\tau}$ можно интерпретировать как адвективный фактор. Они рассчитывались также для каждой из трех выбранных поверхностей и с учетом различных шагов сетки.

Дополнительную информацию о циклонической или антициклонической циркуляции может внести параметр, предложенный в работе [5]:



$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} = \frac{1}{8(\delta s)^2} \{ (f_9 + f_{11} - 2f_0) + 0,5[(f_{13} + f_{14} - 2f_2) + (f_{16} + f_{15} - 2f_4)] \}$$

$$\frac{\partial^2 f}{\partial y^2} = \frac{1}{8(\delta s)^2} \{ (f_{10} + f_{12} - 2f_0) + 0,5[(f_{17} + f_{20} - 2f_1) + (f_{18} + f_{19} - 2f_3)] \}$$

Данный параметр обозначен величиной $\Delta H_m^\gamma(D)$. Он наиболее полно учитывает информацию исследуемой территории. Дополнительно исследовалась также межсуточная разность $\delta H_{q-1}^\gamma(D)$. В общем виде используемый вектор-предиктор записывался в виде:

$$\bar{X} \approx \left\{ \begin{array}{l} \Delta H_{m1}^\gamma(\tau)_{1,2}, \Delta H_{m2}^\gamma(\tau)_{1,2}, \dots, \Delta H_{mn}^\gamma(\tau)_{1,2} \\ \delta \Delta H_{m1}^\gamma(\tau)_{1,2}, \delta \Delta H_{m2}^\gamma(\tau)_{1,2}, \dots, \delta \Delta H_{mn}^\gamma(\tau)_{1,2} \\ \Delta H_{m1}^\gamma(D)_{1,2}, \Delta H_{m2}^\gamma(D)_{1,2}, \dots, \Delta H_{mn}^\gamma(D)_{1,2} \\ \delta \Delta H_{m1}^\gamma(D)_{1,2}, \delta \Delta H_{m2}^\gamma(D)_{1,2}, \dots, \delta \Delta H_{mn}^\gamma(D)_{1,2} \end{array} \right\} .$$

Цифры, стоящие за скобками, указывают на порядковые дни естественного синоптического периода, по которым производилось осреднение предикторов.

Исходные ряды предикторов состояли из двух вариантов:

- значений предикторов, осредненных за первые два дня ЕСП;
- значений предикторов, осредненных за весь естественный синоптический период.

Вектор-предиктант имел вид:

$$\bar{l}_{mn} \approx \bar{l}_{m1}, \bar{l}_{m2}, \dots, \bar{l}_{mn},$$

где n – количество использованных в выборке периодов ($n = 197$).

Между последовательностями (11) и (12) по каждому из рассматриваемых предикторов, и отдельно для каждой изобарической поверхности γ , с шагами сетки τ , находились парные коэффициенты корреляции R . Распределение парных коэффициентов корреляции по высотам для различных шагов сетки, при использовании в качестве предикторов суточных значений лапласианов, представлено на рисунке 1.

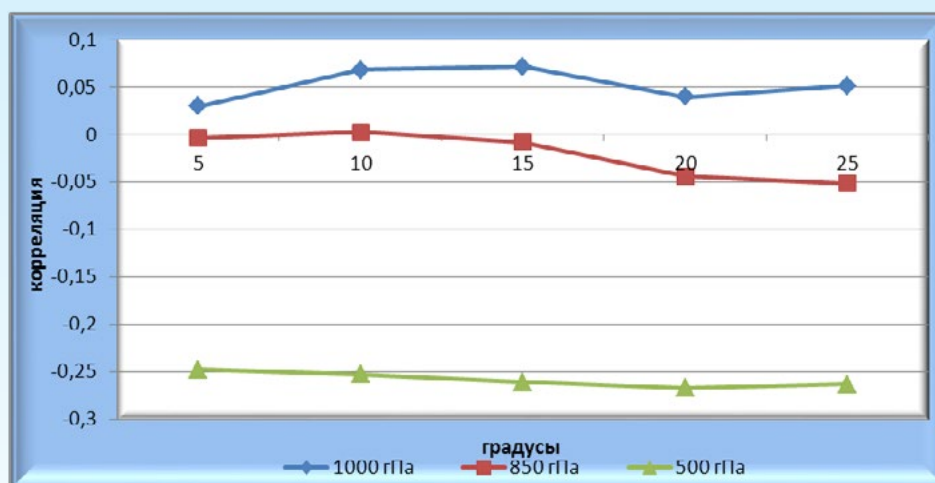


Рисунок 1 – Распределение по высотам коэффициентов корреляции R между значениями лапласианов за первые два дня ЕСП и суммарным за ЕСП количеством часов с экстремально-сложными условиями



Из рисунка следует, что при разработке прогноза суммарного за ЕСП количества случаев с экстремально-сложными условиями целесообразнее всего использовать значения лапласианов за первые два дня периода, рассчитанных на поверхности 500 гПа. При этом знак корреляционной связи оказался отрицательным. Это означает, что при формировании облачности искомой градации на высоте около пяти километров должны наблюдаться нисходящие движения. Это связано с тем, что низкая облачность может формироваться за счет приподнятого тумана, который возникает при радиационном выхолаживании в антициклональных полях. Таким образом, нисходящие движения создают инверсионные слои, в которых задерживается верхний край приподнятого тумана. При этом в нижележащем слое наблюдается малоградиентное (нейтральное в отношении лапласианов) барическое поле. Поэтому корреляционные связи с величинами лапласианов на 1000 гПа и 850 гПа не велики.

Дополнительно оценивалась связь между суммарным за естественный синоптический период количеством случаев с экстремально - сложными условиями $\tilde{\ell}_m$ и суточными разностями лапласианов $\delta\Delta H_m^{\gamma}(\tau)_{1-2}$ на различных изобарических поверхностях и с различным шагом сетки. Результаты представлены на рисунке 2.

Исходя из вида рисунка, можно сделать вывод о том, что при использовании предиктора, учитывающего адвекцию вихря, основной вклад вносят именно первые две нижележащие поверхности: 1000 и 850 гПа. При всех шагах сетки наибольший вклад в формирование облачности вносит поверхность 1000 гПа, при этом наиболее высокие коэффициенты корреляции наблюдаются на шаге сетки $\tau = 25^{\circ}$ меридиана.

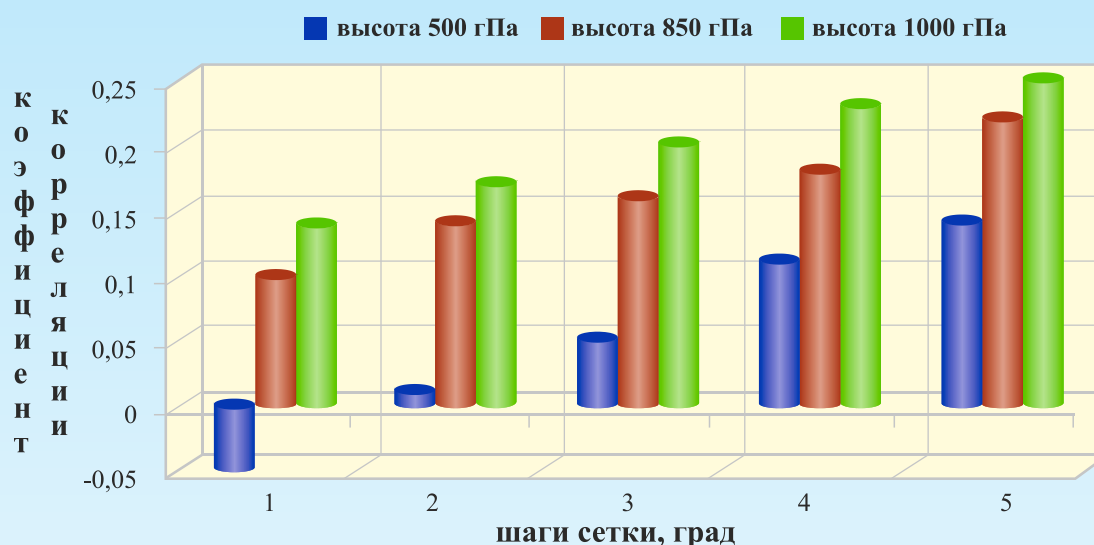


Рисунок 2 – Распределение по высотам парного коэффициента корреляции между суммарным за ЕСП количеством случаев $\tilde{\ell}_m$ и суточными разностями лапласианов $\delta\Delta H_m^{\gamma}(\tau)_{2-1}$

Несколько ниже значения коэффициентов корреляции отмечаются для поверхности 850 гПа. Для поверхности 500 гПа коэффициенты корреляции еще ниже, тем не менее, при шаге 25° они также достигают уровня значимости.

Распределение по высотам парного коэффициента корреляции, рассчитанного более детально по большой площади $\Delta H_m^{\gamma}(D)$, представлено на рисунке 3.

Анализ рисунка свидетельствует о том, что в данном варианте наиболее тесные взаимно - корреляционные связи ($R = - 0,31$) обнаруживаются для поверхности 500 гПа, при этом знак связи отрицательный, то есть в том случае, когда на среднем уровне атмосферы имеют место нисходящие движения.



Проведенные расчеты показали, что используемые предикторы на определенных изобарических поверхностях и шагах сетки могут быть полезными при разработке прогноза количества часов с экстремально-сложными условиями в наступающем естественном синоптическом периоде.

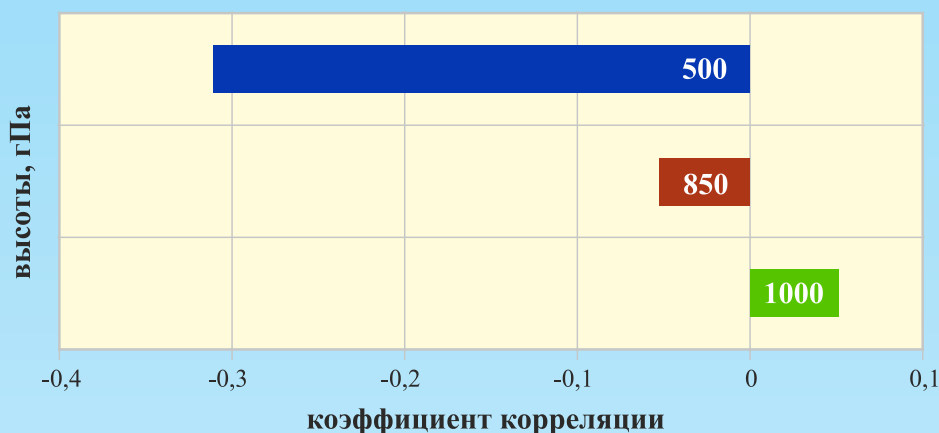


Рисунок 3 – Распределение по высотам парного коэффициента корреляции между значениями $\Delta H_m^\gamma(D)_{1+2}$ за первые два дня ЕСП и количеством случаев $\tilde{\ell}_m$

С целью отбора лучшей совокупности предикторов для прогноза $\tilde{\ell}_m$ использовалось несколько вариантов предикторов:

- суточные разности лапласианов на всех трех изобарических поверхностях (вариант 1):

$$\delta\Delta H_m^{1000}(25)_{2-1}, \delta\Delta H_m^{850}(25)_{2-1}, \delta\Delta H_m^{500}(25)_{2-1}; \quad (13)$$

- лапласианы, рассчитанные на поверхности 500 гПа (вариант 2):

$$\Delta H_m^{500}(25)_{1+2}, \Delta H_m^{500}(D)_{1+2}; \quad (14)$$

- лапласианы $\Delta H_m^{850}(25)_{1+2}$, лапласианы $\Delta H_m^{500}(25)_{1+2}$, лапласианы $\Delta H_m^{500}(D)$, (вариант 3);

- лапласианы $\Delta H_m^{500}(25)_{1+2}$ и разности лапласианов $\delta\Delta H_m^{500}(25)_{2-1}$ на 500 гПа (вариант 4).

Для данных вариантов выборок были рассчитаны множественные коэффициенты корреляции, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Множественные коэффициенты корреляции для различного набора предикторов

Множественный коэффициент корреляции	Варианты сочетания предикторов			
	1	2	3	4
R	0,55	0,49	0,36	0,27

Успешность уравнений регрессии для различных вариантов совокупностей предикторов представлена в таблице 2.

Оценка успешности проводилась с использованием параметра δ , как разность между фактическими и прогностическими значениями рассчитываемых параметров.

Из данных таблицы видно, что наиболее успешным является первый вариант, для которого величина ошибки составляет 1–2 часа. В этом случае в расчете используются



данные об адвекции вихря на поверхностях 1000 и 850 гПа. Максимальные ошибки 5–6 часов за ЕСП приходятся на четвертый вариант, когда в качестве предикторов используются данные на поверхности 500 гПа с шагом 25°.

Таблица 2 – Виды уравнений регрессии и их ошибки для различных вариантов

№	Вид уравнений регрессии	δ
1	$\tilde{\ell}_m = 22,08 - 0,37\delta\Delta H_m^{1000}(25)_{2-1} + 0,79\delta\Delta H_m^{850}(25)_{2-1} - 0,17\delta\Delta H_m^{500}(25)_{2-1}$	11,9
2	$\tilde{\ell}_m = 20,57 + 0,04\Delta H_m^{500}(25)_{1+2} - 1,48\Delta H_m^{500}(25)_{1+2}$	22,6
3	$\tilde{\ell}_m = 20,67 + 0,14\delta\Delta H_m^{850}(25)_{2-1} + 0,026\Delta H_m^{500}(25)_{1+2} - 1,196\Delta H_m^{500}(D)_{1+2}$	44,9
4	$\tilde{\ell}_m = 21,83 - 0,04\Delta H_m^{500}(25)_{1+2} + 0,08\delta\Delta H_m^{500}(25)_{2-1}$	55,8

На следующем этапе расчет суммарного за ЕСП количества случаев с экстремально сложными условиями проводился с учетом информации за весь естественный синоптический период $\Delta\tilde{H}_m^\gamma(\tau)$. Знак волны указывает, что данные за указанный интервал являются сглаженными за соответствующий период. Для этого варианта парные коэффициенты корреляции представлены на рисунке 4.

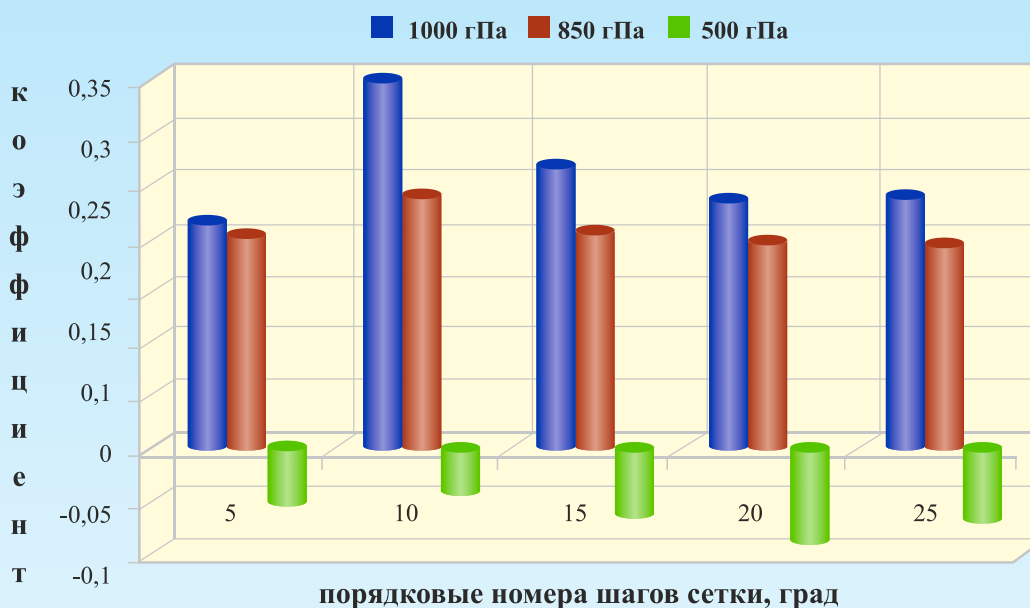


Рисунок 4 – Распределение коэффициентов корреляции по высотам и шагам сетки

Из данного рисунка видно, что величины коэффициентов корреляции при использовании $\Delta\tilde{H}_m^\gamma(\tau)$ в качестве предикторов несколько выше, чем в предыдущем варианте. Наиболее высокие корреляционные связи отмечаются при расчете лапласианов на поверхности 1000 гПа с шагом сетки 10°/меридиана. С дальнейшим увеличением шага сетки коэффициент парной корреляции уменьшается.

Минимальное значение $R[\tilde{\ell}_m, \Delta\tilde{H}_m^{1000}(\tau)] = 0,035$ наблюдается при шаге сетки 10° меридиана на поверхности 500 гПа.

Уравнение регрессии для прогноза суммарного за ЕСП количества часов с экстремально сложными условиями, при котором расчет параметров циркуляции проводился по всему периоду, представлено в таблице 3.



Таблица 3 – Ошибки прогноза суммарного за ЕСП количества часов с экстремально – сложными условиями (по сглаженным за ЕСП значениям лапласианов)

Вид уравнения регрессии	δ (час)	R
$\bar{\tau}_m = 25,08 + 0,36\Delta H_m^{1000}(10) + 0,21\Delta H_m^{850}(10)$	4,57	0,31

Судя по значениям величины ошибки δ , которая описывает среднее по абсолютной величине значение между фактическими и прогностическими значениями исследуемого метеоэлемента, можно говорить о том, что использование данной совокупности предикторов для прогноза суммарного за ЕСП количества случаев с экстремально - сложными условиями погоды является успешным.

Следует отметить, что в январе среднее климатическое по выборке значение $\bar{\tau}_m$ по пункту Воронеж составляет 20 часов, а среднее квадратическое отклонение $\sigma = 17,3$ часа. Сравнивая климатическое и прогностическое значения, видно, что полученная ошибка уравнения регрессии δ , равная четырем часам, значительно меньше климатической нормы и является вполне пригодной в практической работе прогнозиста.

Выводы. Таким образом, проведенные в данном исследовании результаты, позволят улучшить климатический прогноз сложных и экстремально-сложных условий погоды на период до 5–7 дней. Преимуществом данного метода является то, что в данном подходе при расчете прогностического уравнения, используется информация, которая всегда имеется в распоряжении метеоспециалиста. Кроме того, расчет не требует большого рабочего времени, что очень важно в оперативной работе синоптика.

Предлагаемые уравнения регрессии хоть и не являются совершенной моделью, так как используется только один фактор, формирующий низкую облачность, но они позволят в первом приближении, успешнее, чем при использовании только климатического прогноза, планировать работу в авиационных полках в сложных и экстремально-сложных условиях.

Описанный подход для прогноза экстремально-сложных условий погоды может быть распространен на другие районы при наличии статистически значимой выборки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамова, Е.И. К вопросу об определении количества облачности // Тр. ГМЦ. 1983. Вып. 14. С. 13–16.
2. Золоторев В.Н. Прогноз условий погоды различной степени сложности на основе самоорганизующихся статистических моделей // Проблемы повышения эффективности метеорологического, аэродромно-технического и инженерно-аэродромного обеспечения авиации ВС: сб. научных статей. Воронеж. ВВАИУ. 1998. Вып. 18. С. 32–40.
3. Храбров Ю.Б. Методика составления прогноза погоды на 5–7 дней. М.: Гидрометеиздат, 1953. 40 с.
4. Матвеев Л.Т. Основы общей метеорологии. Физика атмосферы. Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1965. 876 с.
5. Зверев А.С. Синоптическая метеорология и основы предвычисления погоды. Л.: Гидрометеиздат, 1988. С. 83–84.

BIBLIOGRAPHY

1. Abramova E.I. To the question of the determination of the amount of cloud cover // In: proc. GMC. 1983. Iss. 14. P. 13–16.



2. Zolotarev V.N. Forecast weather conditions of various degrees of complexity on the basis of self-organizing statistical models // Problems of increase of efficiency of meteorological, airfield-technical, and engineer-but-airfield security aviation aircraft: coll. scientific articles. Voronezh. VVAIU. 1998. Iss. 18. P. 32–40.

3. Khrabrov Y.B. Methodology the weather forecast for 5–7 days. Moscow: Gidrometeoizdat, 1953. 40 p.

4. Matveev L.T. Fundamentals of General meteorology. Physics of the atmosphere. Leningrad: Hydrometeorological Publishing House, 1965. 876 p.

5. Zverev A.S. Synoptic meteorology and the basics of precalculating weather. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1988. P. 83–84.

© 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 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