

МЕТОДИКА ПРОГНОЗА СУТОЧНОЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ИНВЕРСИОННОЙ ОБЛАЧНОСТИ, СПОСОБСТВУЮЩЕЙ ЗАГРЯЗНЕНИЮ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ В ПУНКТЕ ВОРОНЕЖ

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 12 марта 2013 г.

Аннотация: Рассматриваются климатические распределения инверсионной облачности в пункте Воронеж в холодный период года. Исследована возможность ее прогноза на сутки с целью выработки стратегии по решению экологических задач для своевременного принятия мер, способных уменьшить загазованность воздушной среды.

Ключевые слова: инверсионная облачность, распределение, лапласиан, прогноз, ошибки.

Abstract: We consider the distribution of climatic inversion of cloudiness during the cold season in Voronezh City. The author investigated possibility of its forecast for the day in order to develop strategy to deal with environmental problems for the timely adoption of measures that can reduce fumes in the air environment.

Key words: inversion cloudiness, distribution, Laplacian, forecast errors.

Одним из метеорологических факторов формирования и распространения загрязняющих веществ в атмосфере является повторяемость и интенсивность приземных инверсий, обусловленных термической устойчивостью атмосферы, наличием слабых ветров и значительной влажностью воздушной массы.

Способность земной поверхности поглощать или излучать теплоту, влияет на вертикальное распределение температуры в приземном слое атмосферы. Повышение температуры воздуха с высотой приводит к формированию температурных инверсий, в результате чего вредные выбросы не могут подниматься выше определенного потолка Z :

$$Z = 0,61 \left[V \cdot \frac{K}{p} DT \left(\frac{dT}{dZ} \right) \right]^{0,5}, \quad (1)$$

где V – объем уходящих газов в единицу времени, K – коэффициент обмена, DT – температура перегрева смеси, $\frac{dT}{dZ}$ – градиент температуры.

В инверсионных условиях ослабляется турбулентный обмен, ухудшаются условия рассеивания вредных выбросов в приземном слое атмосферы. Для приземной инверсии особое значение имеет повторяемость высот верхней границы, для приподнятой инверсии – повторяемость нижней границы. С приподнятыми инверсиями связано образование облаков нижнего яруса, способствующих увеличению экологического загрязнения. Наиболее высокие концентрации вредных веществ наблюдаются при низких температурах в период зимних инверсий и высокой влажности воздуха.

В целях заблаговременного предупреждения городских властей и служб санитарно-эпидемиологического надзора об ожидаемой экологической ситуации, связанной с формированием облачности, влияющей на загрязнение атмосферы по Воронежской области, в работе реализованы исследования по выработке некоторых прогностических рекомендаций по оценке вероятности возникновения и продолжительности инверсионной облачности, на ближайшие сутки.

Объектом исследования являлись ежечасные наблюдения за облачностью с высотой нижней

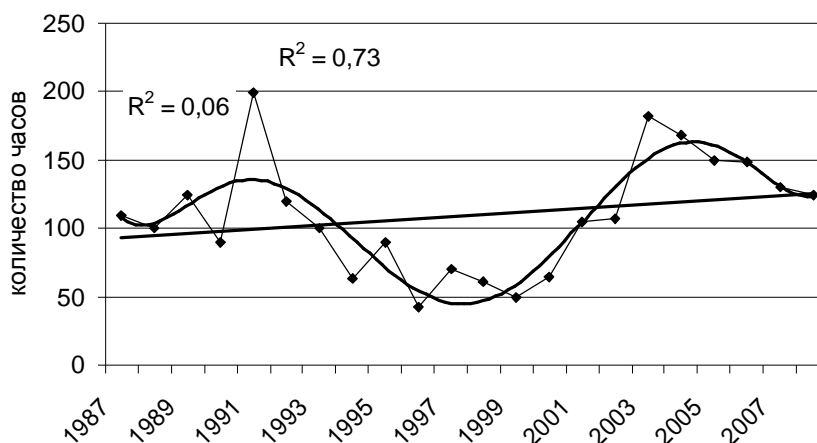


Рис. 1. Многолетний ход суммарного за месяц количества часов с инверсионной облачностью (по суточным данным)

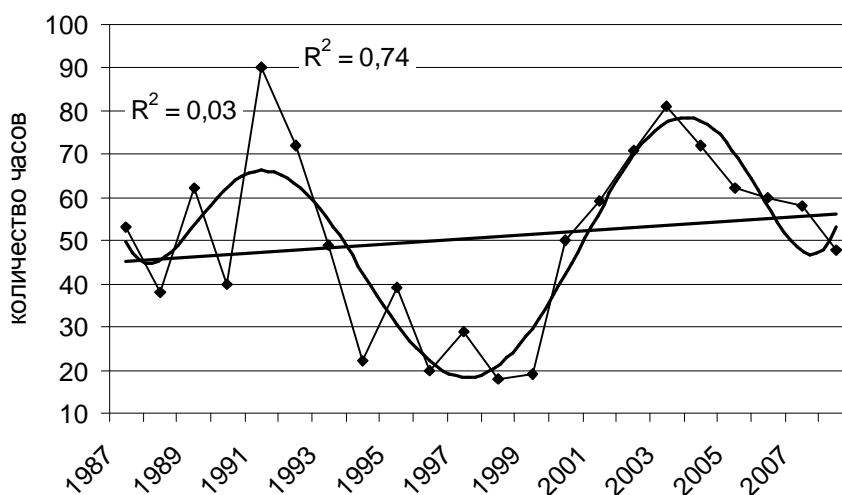


Рис. 2. Многолетнее распределение месячного количества случаев с инверсионной облачностью по данным дневных наблюдений

границы, находящейся в пределах 150-300 м, а степень покрытия облаков составляла 7-10 баллов. Исходными данными служили дневники погоды аэропорта Воронеж. Выборка составила 22 года (16368 наблюдений) одноименных месяцев (январь).

В случае отсутствия методического прогноза, в качестве предварительных прогностических рекомендаций, могут оказаться полезными данные, полученные на основе климатологической обработки исследуемой выборки. На первом этапе, для ориентировочного прогноза возможного появления исследуемого распределения облачности, в целях перспективного планирования мероприятий, зависящих от экологической ситуации, рассматривались климатические особенности распределения облачности в январе. На рис. 1 представлен многолетний ход суммарного за месяц количества часов с инверсионной облачностью указанного типа.

Из рис. 1 следует, что в январе в многолетнем ходе месячного количества инверсионной облачности имеет место колебательный процесс. Максимальное их значение за рассматриваемый период, составило 200 часов, минимальное – 43 часа. Аппроксимация данного временного ряда с помощью нелинейного тренда шестого порядка указала на наличие длинных волн с периодом около 12 лет, что соответствует периоду солнечной активности. Оценка аппроксимации составляет $R^2 = 0,74$, свидетельствующая о высокой точности. На рисунке представлен так же линейный тренд. Знак его положительный. Это указывает на то, что на данном отрезке времени суммарное за месяц количество часов с исследуемыми условиями в январе имеет слабую тенденцию к их увеличению. Скорость такого повышения составляет 6 случаев / 10 лет.

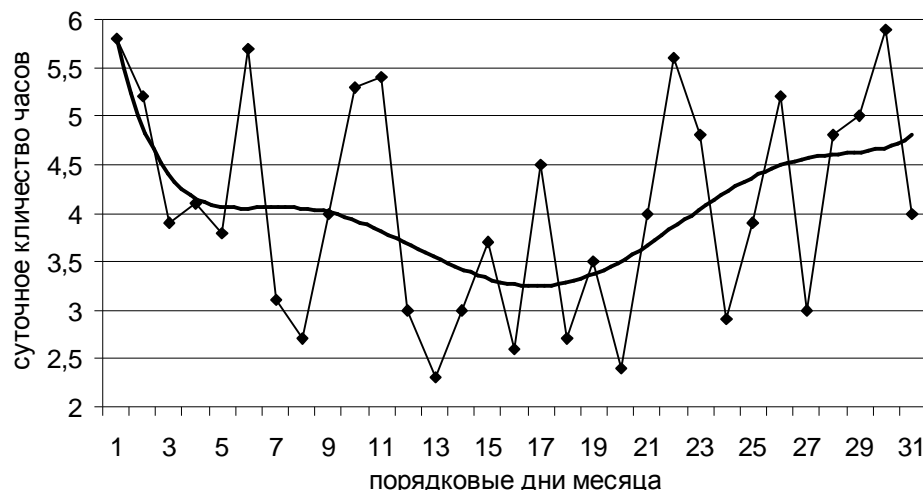


Рис. 3. Распределение внутри месяца среднего суточного количества часов с инверсионной облачностью

Уточнением к полученным результатам могут быть данные, использованные только за дневной период года (рис. 2). Из рис. 2 следует, что в январе, ежегодно в среднем на дневное время в исследуемых условиях приходится 52 часа с данным характером облачного покрова. Максимальное их количество в январе может составить 90 часов. Минимальное значение месячного количества составляет 18 часов.

Представленный на рис. 2 линейный тренд, является также положительным. Следовательно, на данном отрезке времени месячное количество случаев с инверсионной облачностью в январе в дневное время также имеет тенденцию к увеличению. Скорость такого повышения составляет 1-2 случая / 10 лет. Данный временной ряд также аппроксимирован с помощью нелинейного тренда шестого порядка, который повторяет выявленную ранее долговременную ритмичность с периодом в 12 лет. Точность такой аппроксимации R^2 также достаточно высока и составляет 0,71, что свидетельствует о достаточном к ней доверии.

Важной прогностической характеристикой при планировании мероприятий, зависящих от загрязнения атмосферы, может служить среднее многолетнее количество часов с инверсионной облачностью, которое с наибольшей вероятностью следует ожидать на каждый календарный день исследуемого месяца, а также их возможные экстремальные значения. На рис. 3 представлено распределение по дням месяца средних многолетних значений суммарного за сутки количества часов с инверсионной облачностью. Анализ данного рисунка показывает, что в ходе кривой имеют место значительные межсуточные колебания, хотя их амплитуда не превышает 4-х часов. Многолетнее зна-

чение среднего количества за сутки в январе составляет 4,1 часа.

Обращает на себя внимание тот факт, что колебания экстремумов, появляются практически регулярно через 4-5 суток, что близко к продолжительности естественного синоптического периода. Несмотря на кажущуюся изменчивость в месячном ходе облачности, можно отметить некоторое понижение суточного количества часов в середине месяца, начиная с 13-го и по 20-е января, где минимальные значения составляют 2-3 часа. К началу и концу месяца они их суточное количество увеличивается.

Проведенные выше исследования позволяют сделать вывод лишь о среднем количестве часов, которое можно ожидать ежедневно в течение суток, однако они не дают указаний на то, в какой период суток, рассматриваемый характер облачности встречается наиболее часто.

С целью уточнения данного вопроса, построен график частоты появления инверсионной облачности в различные периоды суток, который представлен на рис. 4.

Согласно данному графику, распределение частоты появления облачности в течение суток в январе имеет хорошо выраженный суточный ход, описываемый минимальными значениями частоты появления к 11 часам и двумя относительными максимумами. Первый из них наблюдается в 16 часов, частота его в этот срок составляет 5,6%. Продолжительность примерно такой же вероятности составляет 7 часов (с 16 до 23 часов). Второй период, с относительно высокой вероятностью появления инверсионной облачности, наблюдается в ночное время суток с 01 до 09 часов, причем вероятность появления этих условий в этот период

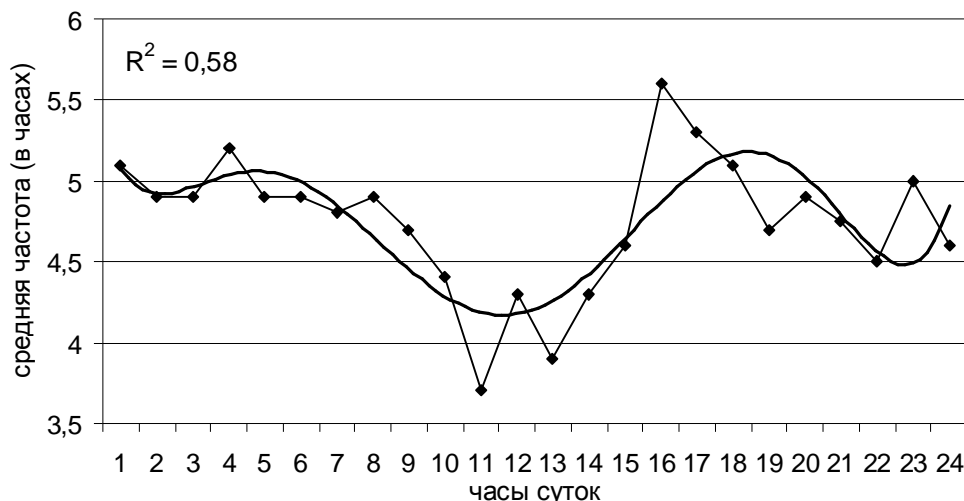


Рис. 4. Распределение частоты появления облачности внутри суток

Таблица

Вероятность непрерывной продолжительности инверсионной облачности по градациям с интервалом в 1 час

Прод.	Ч.с.	Прод.	Ч.с.	Прод.	Ч.с.	Прод.	Ч.с.
1	246	9	10	17	3	25	0
2	147	10	10	18	3	26	2
3	82	11	6	19	0	27	1
4	49	12	5	20	0	28	0
5	33	13	5	21	0	29	0
6	28	14	3	22	0	30	1
7	31	15	1	23	0		
8	18	16	3	24	1		

от срока к сроку практически не меняется. Такой суточный ход облачных условий в январе объясняется суточным ходом температуры и преобладающими синоптическими процессами. Аппроксимация кривой наилучшим образом восстанавливается с помощью полинома шестой степени. Точность представления кривой оценивается параметром $R^2 = 0,58$, повторяя конфигурацию искомой кривой.

В качестве дополнительных прогностических рекомендаций рассчитывалась повторяемость непрерывной продолжительности облачности. Результаты расчетов непрерывной продолжительности облачных условий погоды по различным градациям с интервалом в 1 час представлены в таблице.

Из таблицы следует, что наибольшая непрерывная продолжительность может составлять 30 часов, что составляет более суток, однако она встречалась в январе в течение всего исследуемого периода лишь один раз. Если же речь вести, в общем, о непрерывной продолжительности, достигающей сутки и более часов, то их отмечалось не более пяти случаев, или менее 1 %.

Наибольшая непрерывная продолжительность составляет один час. С увеличением продолжительности вероятность ее появления значительно уменьшается. Так, вероятность непрерывной продолжительности в два часа, уменьшилась почти вдвое. Такой же самый вывод можно сделать и в случае последующего увеличения непрерывной продолжительности. С практической точки зрения, можно принимать во внимание лишь непрерывную продолжительность с периодом не более 10 часов. Непрерывную продолжительность свыше этого срока можно считать явлением чрезвычайно редким.

Проведенный таким образом анализ климатических данных дает возможность в случае отсутствия методического прогноза последовательно, шаг за шагом, уточнять прогноз появления низкой инверсионной облачности на соответствующий период.

В данном разделе предпринята попытка разработать методический прогноз суточного количества часов с низкой облачностью. Трудность задачи состоит в том, что в данном случае имеется необходимость предсказать не только факт возник-

новения облачности с заданными характеристиками, но и предсказать ее возможную продолжительность. При этом сложно установить качественный набор предикторов, ответственных за формирование облачного покрова, которые, исходя из физических соображений, могут оказаться наиболее информативными.

При разработке методики прогноза исходили из того, что облачный покров возникает при определенной синоптической и циркуляционной обстановке, анализ которой проводится по синоптическим картам и картам барической топографии. Вместе с тем, данные карты описываются множеством количественных показателей, представленных отдельными точками пространства. Использовать их в прогностических моделях в полном объеме не представляется возможным. Поэтому возникает необходимость в существенном сжатии информации, заменяя все множество исходных данных расчетом некоторых параметров циркуляции, описывающих определенную сторону рассматриваемого процесса.

Из теоретических соображений вытекает, что основным фактором формирования облачного покрова являются вертикальные движение, их знак и величина (1). При решении многих задач анализа и прогноза метеоэлементов, где требуются знания о вертикальных движениях, используется лапласиан давления DH , который имеет вид:

$$DH = H_1 + H_2 + H_3 + H_4 - 4H_0, \quad (2)$$

где H_0 – значение геопотенциала в точке, для которой производится расчет лапласиана, $H_{1,2,3,4}$ – значения геопотенциалов, отстоящих от нулевой точки на определенный шаг DS .

При решении многих исследовательских задач используемый шаг сетки, как правило, составляет 300 км. Однако в зависимости от характера решаемой задачи величина DS может иметь и другие размеры.

С целью выбора оптимального шага, для прогноза суточного количества облачности, рассматривалось несколько вариантов, исследуя последовательно информативность лапласианов, рассчитанных с шагами: 5^0 , 10^0 , 15^0 , 20^0 , 25^0 .

Расчет лапласианов с различными шагами по времени проводился для трех изобарических поверхностей: 1000, 850 и 500 гПа. С целью решения поставленной задачи для каждой из указанных поверхностей использовался массив средне-суточных значений геопотенциалов, полученных по данным реанализа NCEP/NCAR, NCEP/DOE AMIP-II [2, 3].

На основе расчета парных коэффициентов корреляции, производился отбор предикторов. Анализ показал, что наилучшие связи обнаруживаются при использовании лапласианов, рассчитанных с шагом 5^0 / мер. Прогностическое уравнение выглядит следующим образом:

$$I = -1,101X_1 + 1,449X_2 - 0,234X_3 + 0,061, \quad (3)$$

где I – суточное количество часов с инверсионной облачностью, X_1 , X_2 , X_3 – значения лапласианов, рассчитанных с шагом 5^0 (550 км) на поверхностях 1000, 850 и 500 гПа соответственно.

Средняя ошибка прогноза на сутки составляет 2,5 часа. При необходимости заблаговременность прогноза можно увеличить, используя прогностические высотные карты на несколько дней вперед.

Приведенные результаты свидетельствуют о том, что использование климатических данных, совместно с расчетными, позволят успешно прогнозировать суточное количество часов облачности инверсионного характера, а соответственно экологическую ситуацию с суточной заблаговременностью. Это даст возможность заблаговременно предпринять упреждающие меры и скорректировать намеченные планы на сутки более длительное время.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зверев А. С. Синоптическая метеорология и основы предвычисления погоды. – Л. : Гидрометеоиздат, 1968. – 772 с.
2. NCEP/DOE AMIP-II Reanalysis (R-2) / M. Kanamitsu [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.

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

Akimov Leonid Musamudinovich
Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Head of the chair of management of nature, Voronezh State University, Voronezh, tel. 8-951-850-49-82, (473) 266-56-54, E-mail: orekhova@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» Министерства обороны Российской Федерации – ВУНЦ ВВС «ВВА», г. Воронеж, т. (4732) 22-99-07

Zadorozhnaya Tamara Nikolayevna
Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Military Educational-Research Centre of 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