

**В.С. Комаров, А.Я. Богушевич, С.Н. Ильин, А.В. Креминский,
Ю.Б. Попов, А.И. Попова**

Автоматизированная метеорологическая система для оперативной обработки аэрологической информации, диагностики и прогноза параметров состояния атмосферы в области мезомасштаба.

Часть 2. Результаты испытаний системы

Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск

Поступила в редакцию 10.12.2004 г.

Обсуждаются результаты апробации и статистической оценки качества алгоритмов, использованных в автоматизированной метеорологической системе для пространственного и временного прогнозирования полей метеорологических величин (геопотенциала, температуры и ортогональных составляющих скорости ветра) в области мезомасштаба.

В работе [1] были рассмотрены структурные особенности, состав, исходные алгоритмы и технические характеристики автоматизированной метеорологической системы (АМС), разработанной специалистами Института оптики атмосферы СО РАН. Однако остались открытыми вопросы: насколько работоспособна и эффективна такая система и может ли она с успехом использоваться на практике.

В данной статье, являющейся продолжением [1], даются ответы на все поставленные вопросы. С этой целью на основе реальных экспериментальных данных проведена оценка работоспособности, качества и эффективности используемых в АМС алгоритмов путем их апробации (на основе реальных (срочных) измерений с приведением графического отображения выходной прогностической информации) и определения статистических характеристик успешности или оправдываемости численной диагностики и прогнозирования состояния атмосферы. Отметим, что задача диагностики состояния атмосферы над территорией, не освещенной метеорологической информацией, по результатам наблюдений ее состояния в прилегающих районах рассматривается в нашем случае как задача пространственной экстраполяции (или интерполяции) метеорологических полей в области мезомасштаба.

1. Характеристика исходного материала и некоторые аспекты статистической оценки качества алгоритмов АМС

Для апробации алгоритмов АМС и статистической оценки их качества были использованы дан-

ные многолетних (2000–2003 гг.) и двухсрочных (00 и 12 ч по Гринвичу) радиозондовых наблюдений пяти аэрологических станций: Москва (55°45' с.ш., 37°57' в.д.), Рязань (54°38' с.ш., 39°42' в.д.), Сухонычи (54°06' с.ш., 35°21' в.д.), Смоленск (54°45' с.ш., 32°04' в.д.) и Курск (51°46' с.ш., 36°10' в.д.), которые представляют типичный мезометеорологический полигон.

Для статистической оценки качества алгоритмов АМС из общего массива исходных данных (они представлены в виде бюллетеней КН-04) были отобраны синхронные по времени (для всех станций) двухсрочные наблюдения, которые были либо приведены [с помощью линейной интерполяции (см. выражение (1) в [1]) и с учетом информации особых точек] к системе геометрических высот: 0 (уровень земной поверхности); 0,2; 0,4; 0,8; 1,2; 1,6; 2,0; 2,4; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0 и 8,0 км, либо взяты без изменения для шести стандартных изобарических поверхностей: 925, 850, 700, 500, 400 и 300 гПа. При этом общее количество подобных реализаций составило около 200 для каждого типа данных.

Рассмотрим теперь некоторые методические аспекты статистической оценки качества используемых в АМС алгоритмов численной диагностики и прогнозирования.

На практике для оценки качества пространственной экстраполяции (интерполяции) чаще всего используется простой подход, состоящий в непосредственном определении значений метеорологической величины на выбранной контрольной станции по данным окружающих станций, минуя вычисления ее значений в заданной точке пространства или узлах некоторой регулярной сетки [2]. По данным

проэкстраполированных (проинтерполированных) значений и фактическим измерениям, полученным для контрольной станции, определяются индивидуальные разности, которые и являются основой для оценки качества прогнозирования с помощью какой-либо статистической характеристики его успешности. Подобный подход был использован и в настоящей работе. При этом для статистической оценки качества разработанных алгоритмов численной диагностики и прогноза были применены стандартная, т.е. среднеквадратическая, δ_{ξ} и относительная θ_{ξ} , %, погрешности, рассчитываемые с помощью выражений вида

$$\delta_{\xi_j} = \left[\frac{1}{n_j} \sum_{i=1}^{n_j} (\hat{\xi}_{ij} - \xi_{ij})^2 \right]^{1/2}; \quad (1)$$

$$\theta_{\xi_j} = \delta_{\xi_j} / \sigma_{\xi_j}, \quad (2)$$

где $\hat{\xi}_{ij}$ и ξ_{ij} – прогностическое, т.е. полученное в результате пространственной интерполяции (экстраполяции) или временного прогноза, и измеренное (в контрольной точке или на момент прогнозирования) значения метеорологической величины, взятые для i -й реализации и j -го уровня; n_j – число использованных реализаций для j -го уровня и σ_{ξ_j} – среднеквадратическое отклонение метеорологической величины для j -го уровня.

Кроме стандартной погрешности была использована также вероятность P ошибок прогнозирования состояния атмосферы меньше и больше некоторой заданной величины: $\Delta_i \leq \pm 1, \dots, \leq \pm 4$ и $\Delta_i > \pm 4$ °C (для температуры) и $\Delta_i \leq \pm 1, \dots, \leq \pm 4$ и $\Delta_i > \pm 4$ м/с (для ортогональных составляющих скорости ветра).

В заключение следует сказать, что для статистической оценки качества алгоритмов пространственной экстраполяции, проведенной на примере температуры и ветра (они играют, в частности, важную роль при численном диагнозе распространения облака загрязняющих примесей от источника их возникновения [3]), использованы не уровенные измерения этих метеорологических величин, а результаты их осреднения по отдельным слоям атмосферы. Для расчета средних в слое значений температуры $\langle T \rangle_{h_0, h}$, зональной $\langle V_x \rangle_{h_0, h}$ и меридиональной $\langle V_y \rangle_{h_0, h}$ составляющих скорости ветра взято выражение (3), приведенное в [1].

2. Некоторые примеры апробации алгоритмов АМС на основе реальных аэрологических данных

Прежде чем перейти к анализу результатов статистической оценки качества алгоритмов диагностики и прогнозирования, использованных в АМС, рассмотрим некоторые примеры их апробации,

проведенной на основе реальной аэрологической информации.

На рис. 1 приведен пример пространственной экстраполяции поля ветра вдоль заданной траектории (до расстояния 225 км от ближайшей аэрологической станции, проводящей ветровое зондирование), осуществленной для 17 августа 2003 г. (00 ч по Гринвичу) по данным радиозондовых наблюдений четырех станций: Москва, Рязань, Сухиничи и Курск.

Следует отметить, что сама пространственная экстраполяция проводилась для зональной и меридиональной составляющих скорости ветра, а уже затем на их основе рассчитывались прогностические значения скорости и направления результирующего ветра (они и приведены на рис. 2), для чего были использованы выражения вида [3]:

$$V_r = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}; \quad (3)$$

$$D_r = \arctg(V_x/V_y), \quad (4)$$

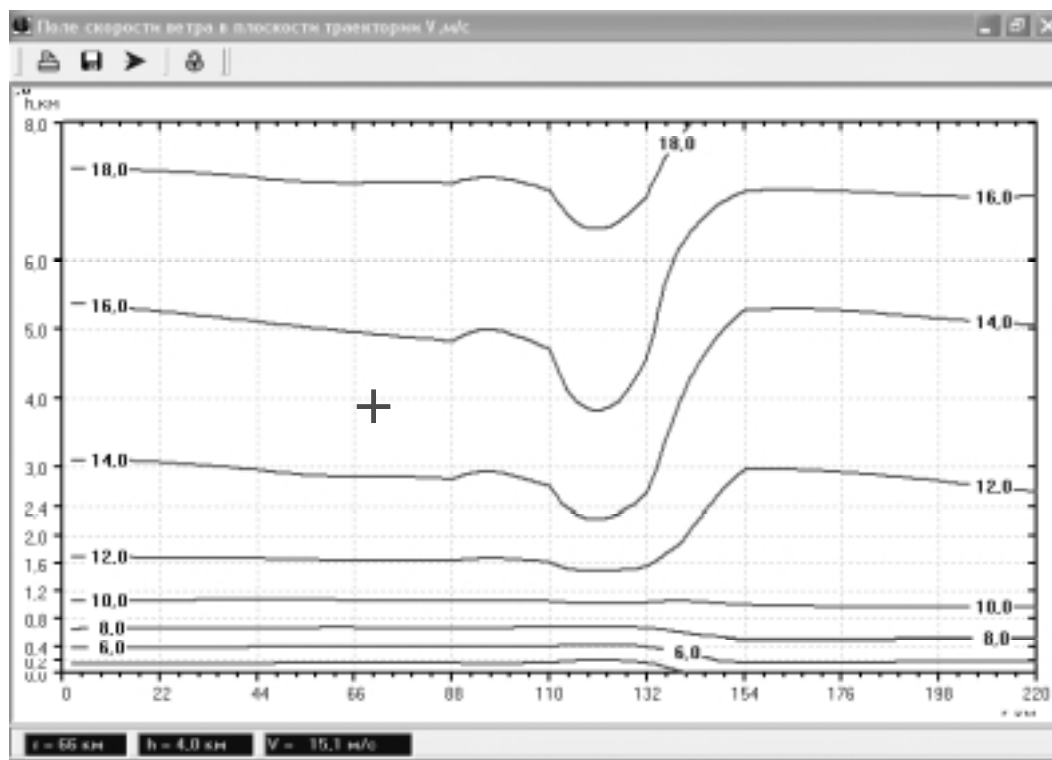
где V_r и D_r – скорость и направление результирующего ветра; V_x и V_y – его зональная и меридиональная составляющие.

Кроме того, надо подчеркнуть, что для проведения (с помощью АМС) изовел и изогон, т.е. линий равных скоростей и одинакового направления ветра [4], исходные прогностические данные брались с разрешением 1 км по горизонтали и 20 м по высоте.

Вторым примером апробации алгоритмов АМС является пример объективного анализа поля ветра на изобарической поверхности 500 гПа (рис. 2), проведенного для 17 июля 2001 г. (12 ч по Гринвичу) по данным всех пяти аэрологических станций (их названия приведены выше), находящихся в пределах взятого мезомасштабного полигона с центром в районе Сухиничи. Как и в случае с пространственной экстраполяцией, объективному анализу были подвержены поля зонального и меридионального ветра. Проинтерполированные значения этих полей затем стали основой для построения карт изовел и изогон, приведенного на рис. 2. При этом следует подчеркнуть, что для построения подобных карт вывод прогностических данных осуществлялся с пространственным разрешением 1×1 км, что позволило получить достаточно сглаженные изолинии скорости и направления результирующего ветра.

И наконец, третьим примером апробации алгоритмов АМС является пример сверхкраткосрочного (с заблаговременностью 3 и 6 ч) прогноза температуры вблизи земной поверхности, проведенного 14–15 мая 2003 г. в районе г. Томска по данным акустической системы АМК-03 с разрешением 20 мин. На рис. 3 приводятся результаты сравнения такого прогноза с реальными измерениями температуры воздуха.

Скорость результирующего ветра



Направление результирующего ветра

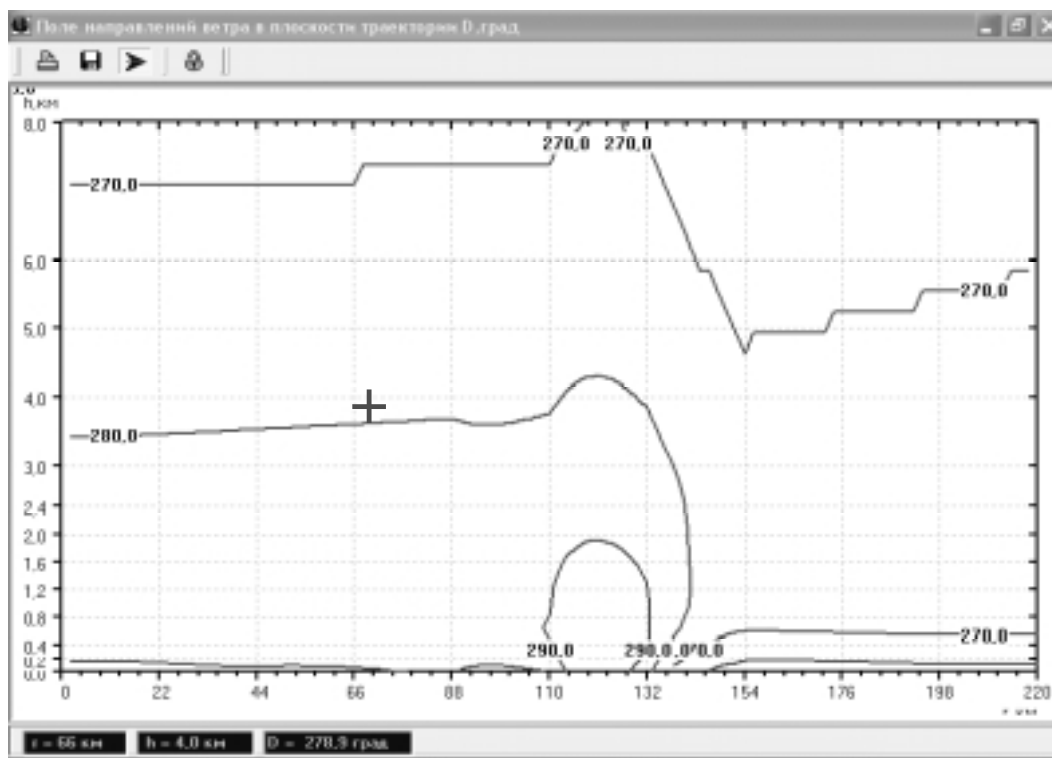
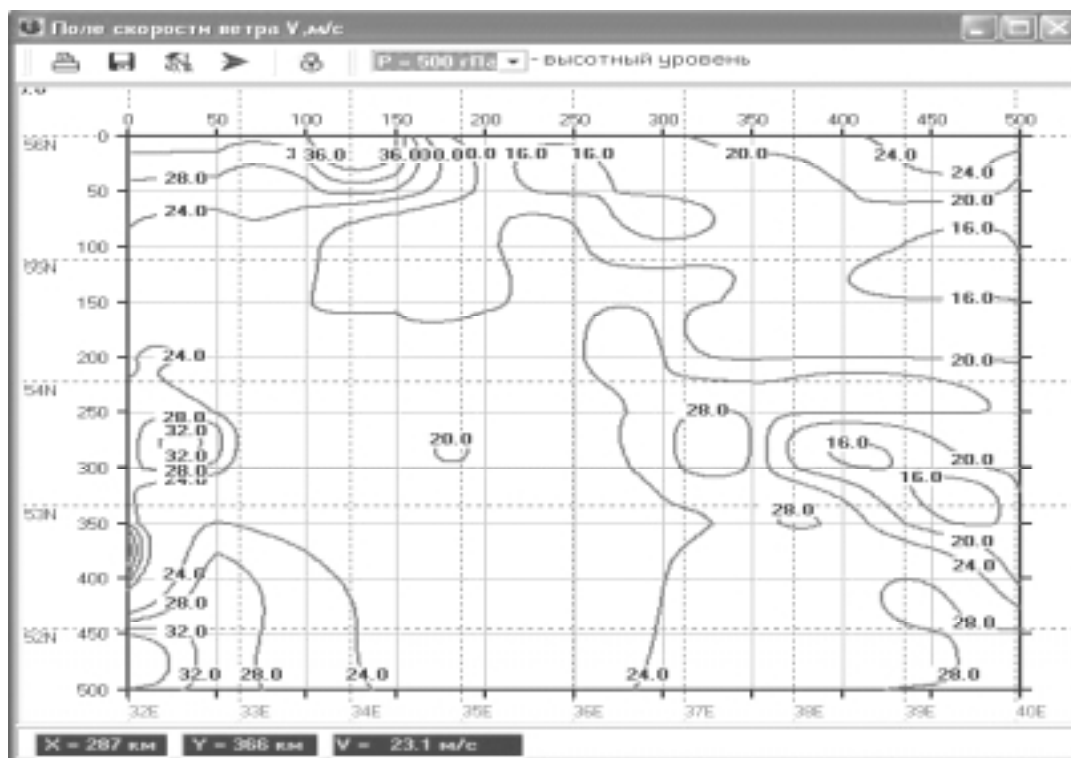


Рис. 1. Пример пространственной экстраполяции поля ветра вдоль заданной траектории (на расстояние 225 км) для 17 августа 2003 г. (00 ч по Гринвичу) по данным мезомасштабного полигона с центром в районе ст. Сухиничи

Поле скорости ветра



Поле направления ветра

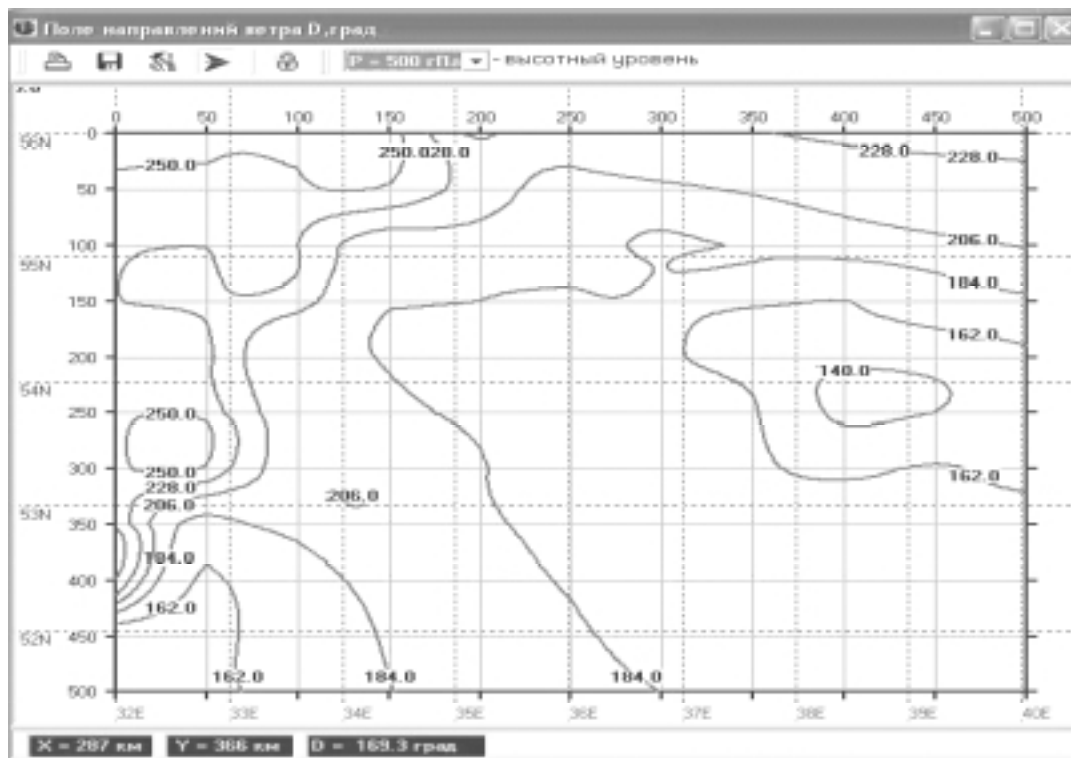


Рис. 2. Пример объективного анализа поля ветра на изобарической поверхности 500 гПа, проведенного системой для 17 июля 2001 г. (12 ч по Гринвичу) по данным мезомасштабного полигона с центром в районе ст. Сухиничи

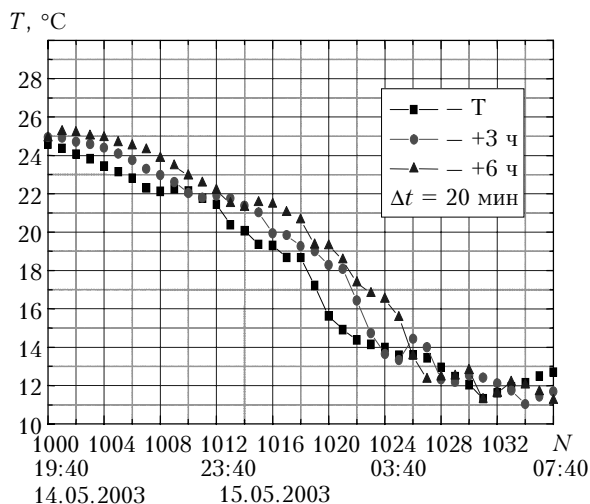


Рис. 3. Пример временного прогноза температуры воздуха на 3 и 6 ч. по данным АМК-03 для 14.05.2003 – 15.05.2003 г. в районе г. Томска (время местное)

3. Результаты статистической оценки качества и эффективности прогностических алгоритмов, примененных в автоматизированной метеорологической системе

Перейдем теперь к рассмотрению результатов статистической оценки качества алгоритмов пространственной экстраполяции, объективного анализа и сверхкраткосрочного прогноза, использованных при создании автоматизированной метеорологической системы.

3.1. Оценка качества алгоритмов пространственной экстраполяции

Остановимся вначале на анализе результатов статистической оценки качества алгоритма пространственной экстраполяции, использованного в АМС для определения средних в слое значений температуры, зональной и меридиональной составляющих скорости ветра над не освещенной данными наблюдений территорией. Сразу же подчеркнем, что эти параметры широко применяются при численной диагностике и прогнозе распространения облака загрязняющих примесей по пространству, а также в практике метеорологического обеспечения решения различных задач военной геофизики.

Здесь следует напомнить, что примененные в АМС алгоритмы пространственной экстраполяции базируются на использовании аппарата калмановской фильтрации и малопараметрической динамико-стохастической модели, основанной на учете корреляционных свойств полей метеорологических величин.

В табл. 1 приведены результаты статистической оценки качества алгоритмов пространственной экстраполяции средних в слое значений температуры, зональной и меридиональной составляющих скорости ветра, представленные значениями стан-

дартной (среднеквадратической) погрешности δ_ξ и вероятности P ошибок такой экстраполяции меньше и больше заданной величины. Сразу же подчеркнем, что в табл. 1 в качестве примера приведены результаты статистической оценки точности взятого алгоритма только для зимнего сезона и контрольной станции Смоленск, находящейся на расстоянии 225 км к западу от ближайшей станции Сухиничи, где имеются данные аэрологических наблюдений. Следовательно, нами рассматривается экстремальный случай пространственной экстраполяции, когда она проводится против наиболее выраженного в зимней тропосфере западного переноса, характерного для умеренных широт северного полушария [5].

Таблица 1

Стандартные погрешности δ_ξ и вероятности P ошибок пространственной экстраполяции средних в слое значений температуры ($\Delta_i \leq \pm 4^\circ\text{C}$ и $\Delta_i > \pm 4^\circ\text{C}$), зональной и меридиональной составляющих скорости ветра ($\Delta_i \leq \pm 4\text{ м/с}$ и $\Delta_i > \pm 4\text{ м/с}$), проведенной до расстояния 225 км с помощью автоматизированной метеорологической системы. Зима

Слой, км	$P \cdot 10^2$					δ_ξ
	$\Delta_i \leq \pm 1$	$\Delta_i \leq \pm 2$	$\Delta_i \leq \pm 3$	$\Delta_i \leq \pm 4$	$\Delta_i > \pm 4$	
<i>Температура, °C</i>						
0–0,2	73	86	91	96	04	1,2
0–0,4	71	85	91	96	04	1,3
0–0,8	70	85	91	96	04	1,4
0–1,2	67	84	91	96	04	1,5
0–1,6	66	84	91	96	04	1,5
0–2,0	65	84	91	96	04	1,5
0–2,4	64	84	91	96	04	1,5
0–3,0	65	84	91	97	03	1,5
0–4,0	68	84	91	97	03	1,5
0–5,0	68	84	91	97	03	1,5
0–6,0	68	84	93	97	03	1,5
0–8,0	68	84	96	98	02	1,4
<i>Зональная составляющая скорости ветра, м/с</i>						
0–0,2	77	94	98	99	01	1,1
0–0,4	74	90	95	99	01	1,3
0–0,8	71	86	91	97	03	1,5
0–1,2	67	85	90	96	04	1,6
0–1,6	62	85	90	95	05	1,7
0–2,0	56	83	90	95	05	1,8
0–2,4	54	82	90	94	06	1,8
0–3,0	54	81	90	94	06	1,8
0–4,0	54	81	90	94	06	1,8
0–5,0	57	80	90	94	06	1,8
0–6,0	57	80	90	94	06	1,8
0–8,0	57	80	90	94	06	1,8
<i>Меридиональная составляющая скорости ветра, м/с</i>						
0–0,2	85	95	96	99	01	1,0
0–0,4	77	93	95	99	01	1,1
0–0,8	67	86	93	98	02	1,4
0–1,2	60	85	92	95	05	1,6
0–1,6	56	85	91	94	06	1,7
0–2,0	55	84	90	94	06	1,8
0–2,4	55	82	89	93	07	1,8
0–3,0	55	81	89	93	07	1,9
0–4,0	52	81	98	93	07	1,9
0–5,0	50	78	88	93	07	2,0
0–6,0	47	78	87	93	07	2,0
0–8,0	46	76	86	93	07	2,0

Таблица 2

Стандартные погрешности δ_ξ и вероятности P ошибок объективного анализа мезометеорологических полей, проведенного с помощью АМС для контрольной станции Сухиничи. Зима

Слой, гПа	$P \cdot 10^2$				δ_ξ	
	$\Delta_i \leq \pm 1$	$\Delta_i \leq \pm 2$	$\Delta_i \leq \pm 3$	$\Delta_i > \pm 4$		
<i>Геопотенциал, джм</i>						
925	62	83	93	96	04	1,5
850	56	78	93	96	04	1,6
700	55	75	90	95	05	1,8
500	55	74	90	94	06	1,9
400	55	73	86	93	07	1,9
300	52	70	82	88	12	2,1
<i>Температура, °С</i>						
925	62	86	93	98	02	1,4
850	64	87	94	97	03	1,5
700	68	86	94	97	03	1,4
500	68	87	94	98	02	1,3
400	69	88	94	99	01	1,2
300	70	88	94	100	00	1,2
<i>Зональная составляющая скорости ветра, м/с</i>						
925	52	72	85	93	07	2,1
850	50	68	80	90	10	2,3
700	50	65	77	90	10	2,3
500	50	63	75	85	15	2,7
400	52	63	75	82	18	2,8
300	53	63	76	81	19	2,9
<i>Меридиональная составляющая ветра, м/с</i>						
925	56	71	85	92	08	2,0
850	50	66	82	91	09	2,1
700	49	66	76	87	13	2,5
500	51	67	76	86	14	2,6
400	53	66	76	86	14	2,6
300	54	66	77	88	12	2,5

Анализ данных табл. 2 показывает, что:

– использованный в АМС алгоритм объективного анализа дает вполне надежные (с точки зрения практики) результаты, поскольку стандартные погрешности такого анализа, причем независимо от сезона и уровня атмосферы, составляют порядка 1,5–2,1 джм (для геопотенциала), 1,2–1,5 °С (для температуры) и 2,0–2,9 м/с (для ортогональных составляющих скорости ветра);

– наилучшие по качеству результаты объективного анализа, проведенного с помощью АМС, получаются при интерполяции мезомасштабного поля температуры, когда вероятность ошибок даже менее $\pm 1^\circ\text{C}$ составляет (независимо от сезона и уровня атмосферы) 0,62–0,70, а при $\Delta_i \leq 2^\circ\text{C}$ она достигает 0,86–0,88.

3.3. Результаты статистической оценки качества алгоритма временного прогноза параметров состояния атмосферы

И наконец, рассмотрим результаты статистической оценки качества алгоритма, используемого в АМС для временного прогноза параметров состояния атмосферы и основанного на применении аппарата калмановской фильтрации и динамико-стохастической модели, базирующейся на системе линейных стохастических уравнений, описывающих эволюцию случайного процесса.

Анализ данных табл. 1 показывает, что:

– во-первых, алгоритм пространственной экстраполяции, использованный для прогнозирования средних в слое значений температуры и ортогональных составляющих скорости ветра до расстояния 225 км, дает достаточно надежные результаты, поскольку значения стандартных погрешностей независимо от слоя атмосферы варьируют в пределах 1,2–1,5 °С (для параметра $\langle T \rangle_{h_0,h}$) и 1,0–2,0 м/с (для параметров $\langle V_x \rangle_{h_0,h}$ и $\langle V_y \rangle_{h_0,h}$), а вероятность ошибок такой экстраполяции составляет при $\Delta T \leq \pm 2^\circ\text{C}$ и $\Delta V_x, \Delta V_y \leq \pm 2$ м/с примерно 0,84–0,86 и 0,76–0,95;

– во-вторых, стандартные погрешности пространственной экстраполяции средних в слое зональной и меридиональной составляющих скорости ветра, равные 1,0–2,0 м/с во всей рассматриваемой толще тропосферы, находятся на уровне среднеквадратических ошибок измерения скорости ветра с помощью радиозондов, которые, согласно [6], варьируют в пределах 0,9–2,0 м/с.

Последний вывод особенно важен с практической точки зрения, поскольку ветер является наиболее влияющим компонентом атмосферы при численной оценке распространения облака загрязняющей примеси по пространству, а также в метеорологическом обеспечении решения различных задач военной геофизики.

3.2. Результаты статистической оценки качества алгоритма объективного анализа мезометеорологических полей

Рассмотрим теперь результаты статистической оценки качества алгоритма, используемого в АМС для объективного анализа метеорологических полей в области мезомасштаба. Результаты такого анализа применяются обычно для локального прогноза погоды, проводимого на основе известных уравнений гидротермодинамики мезопроцессов [7].

Здесь следует подчеркнуть, что главными особенностями алгоритма объективного анализа мезометеорологических полей является то, что, во-первых, он базируется на использовании той же, что и при пространственной экстраполяции, прогностической модели (она основана на учете корреляционных свойств метеорологических полей) и, во-вторых, позволяет оценивать значения поля метеорологической величины не в точках пространства или вдоль некоторой траектории, а в узлах заданной регулярной сетки.

В табл. 2 приводятся в качестве примера значения стандартной погрешности δ_ξ и вероятности P ошибок объективного анализа меньше и больше заданной величины, осуществленного для зимнего периода и мезомасштабных полей геопотенциала, температуры, зональной и меридиональной составляющих скорости ветра.

С этой целью воспользуемся табл. 3, в которой приводятся в качестве примера стандартные δ_{ξ} и относительные θ (%) погрешности временного (с заблаговременностью $\tau = 12$ ч) прогноза геопотенциала, температуры, зональной и меридиональной составляющих скорости ветра, проведенного для зимнего периода по данным ст. Сухиничи.

Таблица 3

Стандартные δ_{ξ} и относительные θ (%) погрешности временного (с заблаговременностью $\tau = 12$ ч) прогноза параметров состояния атмосферы, проведенного с помощью АМС для станции Сухиничи. Зима

Уровень, гПа	Геопотенциал, дам		Температура, °С		Зональный ветер, м/с		Меридиональный ветер, м/с	
	δ_H	θ	δ_T	θ	δ_{V_z}	θ	δ_{V_y}	θ
925	2,8	32	1,9	36	2,8	51	3,5	57
850	2,9	32	1,9	34	3,2	54	4,0	54
700	3,0	28	1,9	34	3,7	54	4,5	55
500	3,5	25	1,9	34	4,8	54	6,9	52
400	4,3	25	1,8	37	6,0	54	7,9	50
300	4,8	25	1,5	38	6,9	53	8,5	50

Из анализа табл. 3 следует, что:

– наилучшие (по точности) результаты алгоритм временного прогноза, использованный в АМС, дает при прогнозировании геопотенциала и температуры, когда относительные погрешности такого прогнозирования варьируют в пределах 25–32 и 34–38% соответственно;

– наименее точные результаты временного прогноза используемый алгоритм дает для случаев, когда экстраполяция по времени проводится для ортогональных составляющих скорости ветра, поскольку относительные погрешности такого прогноза, причем независимо от уровня атмосферы и взятой составляющей, составляют примерно 50–57%.

Здесь следует отметить, что в случае сверхкраткосрочного прогноза (т.е. при заблаговременности $\tau \leq 6$ ч) предложенный алгоритм должен обеспечить существенно лучшие результаты временной экстраполяции. Это, в частности, подтверждается результатами такого прогноза, проведенного на примере приземной температуры по данным измерений автоматизированного метеорологического комплекса АМК-3 в районе г. Томска. Из полученных результатов следует, что значения среднеквадратической погрешности сверхкраткосрочного прогноза приземной температуры, проведенного с заблаговременностью 3 и 6 ч, равняются 1,0 и 1,3 °С, причем вероятность ошибок прогноза менее ± 1 °С составляет порядка 0,81 и 0,70 соответственно.

Заключение

Из приведенного выше анализа качества алгоритмов прогнозирования, использованных в автоматизированной метеорологической системе, следует, что эти алгоритмы (особенно пространственной экстраполяции и объективного анализа) являются достаточно надежными и поэтому разработанная

АМС может с успехом применяться для информационной поддержки задач экологии и военной геофизики. Однако необходимо подчеркнуть, что эффективность АМС можно существенно повысить, если ее доработать в части:

1) использования более качественного алгоритма пространственной экстраполяции мезометеорологических полей, предложенного в [8] и основанного на применении аппарата калмановской фильтрации и четырехмерной динамико-стохастической модели, который дает в 1,2–1,5 раза более точные (чем алгоритмы АМС) результаты такой экстраполяции;

2) создания нового алгоритма сверхкраткосрочного прогноза параметров состояния атмосферы, базирующегося на применении аппарата калмановской фильтрации и смешанной динамико-стохастической модели, учитывающей изменения метеорологических полей в пространстве (по высоте) и во времени;

3) использования (наряду с данными радиозондовых станций) информации метеорологических станций, а также данных мобильных систем, включая системы лидарного, радиометрического и акустического зондирования;

4) адаптации прогностических алгоритмов к резким изменениям состояния атмосферы (например, при прохождении атмосферных фронтов), изменяющейся конфигурации локальной сети станций (особенно мобильных) и вариабельности их численности во времени;

5) использования элементов ГИС-технологий для привязки карт изолиний с результатами объективного анализа мезометеорологических полей к картам заданных районов и проведения масштабирования полученных данных;

6) автоматизации поиска требуемой информации в общем потоке метеорологических данных, поступающих по каналам связи, и передачи полученной прогностической информации потребителям.

1. Комаров В.С., Богушевич А.Я., Креминский А.В., Попов Ю.Б., Попова А.И. Автоматизированная метеорологическая система для оперативной обработки аэрологической информации, диагностики и прогноза параметров состояния атмосферы в области мезомасштаба. Часть 1. Описание структуры системы // Оптика атмосф. и океана. 2005. Т. 18. № 8. С. 699–707.
2. Гандин Л.С., Каган Р.Л. Статистические методы интерпретации метеорологических данных. Л.: Гидрометеоиздат, 1976. 359 с.
3. Брюхань Ф.Ф. Методы климатической обработки и анализа аэрологической информации. М.: Гидрометеоиздат, 1983. 112 с.
4. Хромов С.П., Мамонтова Л.И. Метеорологический словарь. Л.: Гидрометеоиздат, 1974. 568 с.
5. Хромов С.П., Петросянец М.А. Метеорология и климатология. М.: Изд-во МГУ, Изд-во «Колос С», 2004. 582 с.
6. Решетов В.Д. Требования к точности измерения, разрешению в пространстве и во времени для информации о состоянии атмосферы // Тр. ЦАО. 1978. Вып. 133. С. 55–64.

7. Белов П.Н., Борисенков Е.П., Панин Б.Д. Численные методы прогноза погоды. Л.: Гидрометеониздат, 1989. 376 с.
8. Комаров В.С., Лавриненко А.В., Ломакина Н.Я., Попов Ю.Б., Попова А.И., Ильин С.Н. Простран-

ственная экстраполяция метеорологических полей в области мезомасштаба на основе четырехмерной смешанной динамико-стохастической модели и алгоритма калмановской фильтрации // Оптика атмосф. и океана. 2004. Т. 17. № 8. С. 651–656.

V.S. Komarov, A.Yu. Bogushevich, S.N. Il'in, A.V. Kreminskii, Yu.B. Popov, A.I. Popova. Automated meteorological system for fast processing of aerological information, diagnostics, and forecast of parameters of atmospheric state on mesoscale. Part 2. Result of system tests.

The results of testing and statistical assessment of the quality of algorithms used in the automatized meteorological system for spatial and temporal prediction of the field of meteorological parameters (geopotential, temperature, and orthogonal wind velocity components) on mesoscale are discussed.