

В.С. Комаров, А.В. Кремнинский

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА АЛЬТЕРНАТИВНЫХ МЕТОДОВ ОБЪЕКТИВНОГО АНАЛИЗА ПОЛЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ И ВЕТРА ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ЗАДАЧАМ МЕЗОМАСШТАБНОГО ДИАГНОЗА И ПРОГНОЗА ПРОЦЕССОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ

Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск

Поступила в редакцию 18.05.99 г.

Принята к печати 07.06.99 г.

Рассматриваются результаты статистической оценки качества и эффективности альтернативных подходов к объективному трех- и четырехмерному анализу мезомасштабных полей температуры и ветра, основанных на использовании методов оптимальной интерполяции и экстраполяции случайного процесса, а также модифицированного метода группового учета аргументов (ММГУА) и разработанных в интересах метеорологической поддержки задач экодиагностики и прогноза процессов загрязнения атмосферы.

Статистическая оценка качества указанных подходов, проведенная по данным многолетних радиозондовых наблюдений пяти аэрологических станций (они представляют типичный мезометеорологический полигон), показала, что наилучшие результаты построения мезомасштабных полей температуры и ветра в трехмерном случае дает алгоритм ММГУА, дополненный методом оптимальной интерполяции (для построения приземных полей), а в четырехмерном случае – тот же комплексный алгоритм, но расширенный за счет метода оптимальной экстраполяции случайного процесса, использованного также только для наземных измерений.

1. Введение

Объективный анализ полей метеорологических величин, представляющий собой процедуру получения значений этих величин в точках некоторой регулярной сетки по данным измерений на станциях, получил широкое распространение не только в практике численного прогноза погоды [1, 2], но и в задачах мезомасштабного диагноза и прогноза процессов загрязнения атмосферы [3]. Очевидно, что при использовании того или иного метода объективного анализа необходимо предварительно выяснить, а какую точность построения заданного поля обеспечивает взятый метод.

Здесь следует обратить внимание на одно важное обстоятельство. До сих пор оценка различных методов объективного анализа проводилась главным образом на примере поля геопотенциала для изобарической поверхности 500 гПа (~5,5 км), играющего важную роль в схемах численного прогноза погоды [1]. При этом отличительной особенностью такой оценки было то, что она осуществлялась только для макромасштабного поля, формирующегося под воздействием синоптических процессов, горизонтальные масштабы которых составляют около 1000 км [4].

Однако в задачах мезомасштабного диагноза и прогноза процессов загрязнения атмосферы, решаемых с помощью уравнения переноса примеси для пограничного слоя атмосферы [5, 6] (здесь происходит в основном распространение техногенных загрязняющих веществ) и с использованием метеорологических величин (таких, как температура и ветер), мы имеем дело с объективным анализом более изменчивых полей, которые формируются под воздействием мезомасштабных атмосферных процессов (их характерный масштаб порядка 100 км [4]).

Учитывая все это, а также то обстоятельство, что объективный анализ мезометеорологических полей в погра-

ничном слое атмосферы не нашел еще своего должного развития, мы попытались оценить успешность такого анализа (на примере мезомасштабных полей температуры и ветра) при использовании альтернативных методов пространственного прогноза, а именно метода оптимальной интерполяции (МОИ) [7], получившего широкое распространение на практике, и комплексной методики, в основу которой положена процедура оптимального комплексирования модифицированного метода группового учета аргументов (ММГУА) [8] с алгоритмом МОИ.

Сразу же отметим, что первые результаты такой оценки, сделанной применительно к объективному трехмерному анализу, были проведены в [9], но они получены по данным слишком ограниченного по объему массива аэрологических наблюдений.

Кроме того, следует обратить внимание еще на одно важное обстоятельство. При решении задачи численного прогноза процессов загрязнения атмосферы необходимо иметь сведения не только о пространственном, но и временном изменении мезомасштабных полей температуры и ветра. Следовательно, для поддержки этой задачи требуется также реализовать процедуру объективного анализа для четырехмерного случая.

Все это послужило причиной проведения статистической оценки качества объективного анализа, базирующегося также на процедуре четырехмерной интерполяции (экстраполяции) полей температуры и ветра.

В настоящей статье рассматриваются некоторые методические аспекты и результаты численной оценки качества альтернативных методов объективного трех- и четырехмерного анализа мезомасштабных полей температуры и ветра, которая, в отличие от [9], проведена на существенно большем по объему эмпирическом материале.

2. Методические аспекты решения поставленных задач

Прежде чем приступить к обсуждению результатов численной оценки точности альтернативных методов объективного анализа, следует кратко остановиться на рассмотрении некоторых методических аспектов решения поставленных задач.

Вначале остановимся коротко на существовании оцениваемых методов, исходя из общего подхода к решению задачи интерполяции метеорологических полей – основы их объективного анализа.

В общем случае интерполяция (или экстраполяция) метеорологических величин, согласно [7], может проводиться в четырех измерениях, составленных пространственными координатами и временем. Обозначим через r радиус-вектор точки такого пространства. Тогда интерполяция метеорологической величины ξ в точку r_0 по известным ее значениям в точках r_1, r_2, \dots, r_n осуществляется по формуле

$$\xi(r_0) = \Xi[\xi(r_1), \xi(r_2), \dots, \xi(r_n)], \quad (1)$$

где вид функции Ξ определяется применяемым способом интерполяции и взаимным расположением точек $r_0, r_1, r_2, \dots, r_n$.

Исходя из этого условия, метод оптимальной интерполяции (первый из оцениваемых нами методов) базируется на процедуре определения значения поля в точке $r_0 \in W_x \subset R^m$ по данным его измерений в точках r_i (здесь $i = 1, 2, \dots, n$ – число точек в некотором замкнутом множестве W_x конечномерного евклидова пространства R^m) с помощью выражения [7]:

$$\xi(r_0) = \bar{\xi}(r_0) + \sum_{i=1}^n a_i (\xi(r_i) - \bar{\xi}(r_i)) = \bar{\xi} + \sum_{i=1}^n a_i \xi'(r_i), \quad (2)$$

где $\xi(r_0)$ – искомое значение метеорологической величины в узле регулярной сетки; $\bar{\xi}(r_0)$ – среднее значение (норма) той же метеорологической величины в искомом узле регулярной сетки, причем для метеорологического полигона $\bar{\xi}(r_0) = \bar{\xi}(r_i) = \bar{\xi}$ [7]; $\xi'(r_i) = \xi(r_i) - \bar{\xi}(r_i)$ – отклонение метеорологической величины от нормы в i -й точке, т.е. на i -й станции; a_i – весовые коэффициенты, подлежащие определению.

При этом для оптимального оценивания значения поля ξ в точке r_0 необходимо соблюдать условие

$$E[a] = M\{[\tilde{\xi}(r_0) - a \xi(r_i)]^2\} \rightarrow \min \quad (3)$$

(здесь $E[a]$ – погрешность оптимальной интерполяции; $\tilde{\xi}(r_0)$ – наблюдаемое значение поля ξ в точке r_0 ; M – оператор математического ожидания), а для определения весовых коэффициентов a_i следует использовать систему линейных уравнений вида [2]:

$$\sum_{j=1}^n a_j \mu_{ij} + a_i \eta^2 = \mu_{0i} \quad (i = 1, 2, \dots, n), \quad (4)$$

где μ_{ij} и μ_0 – значения автокорреляционных функций метеорологической величины, а $\eta^2 = \Delta^2 / \sigma_\xi^2$ (Δ^2 – дисперсия ошибки измерения и σ^2 – дисперсия этой величины). Для оценки μ используются аналитические выражения вида [10]:

для температуры (T)

$$\mu_T(\rho) = [\exp(-\alpha\rho)] \cos(\beta\rho); \quad (5)$$

для зонального (V_x) и меридионального (V_y) ветра

$$\mu_{V_x}(\rho) = \mu_{V_y}(\rho) = (1 - \alpha\rho) \exp(-\rho)^2, \quad (6)$$

где ρ – расстояние, тыс. км; $\alpha = 0,436$ и $\beta = 0,863$ для температуры; $\alpha = 1,162$ – для составляющих скорости ветра.

Подробное описание алгоритма оптимальной интерполяции дается в [8, 9].

Второй из взятых методов – модифицированный метод группового учета аргументов, впервые описанный в [11], базируется на использовании смешанной разностной динамико-стохастической модели

$$\xi_0(h, N+1) = \sum_{\tau=1}^{N^*} A(h, \tau) \xi_\tau(h, N+1-\tau) + \sum_{j=0}^{h-1} B(h, j) \xi_\tau(h, N+1) + \varepsilon(h, N+1), \quad (7)$$

где h – высота; τ – временной шаг; $N^* < [N-h-1]/2$ – порядок запаздывания по времени; $A(h, 1), \dots, A(h, N^*)$ и $B(h, 0), \dots, B(h, h-1)$ – неизвестные параметры модели; $\varepsilon(h, N+1)$ – невязка модели. При этом для выбора и построения подобной модели берутся пространственно-временные наблюдения вида

$$\{\xi_\tau(h, t), h = 0, 1, \dots, h_k; t = 1, 2, \dots, N\}, \xi_0(h, t), h = 0, 1, \dots, \bar{h} \leq h_k; t = N+1\} \quad (8)$$

(t – время), а также два метода построения наилучшей модели: метод направленного группового перебора (для оптимизации структуры модели) и метод минимаксного оценивания, применяемый для получения оценок ее параметров, гарантирующих качество прогноза.

Подробное описание алгоритма ММГУА дается в [8]. Следует лишь отметить, что для реализации процедуры объективного трехмерного анализа на основе этого алгоритма необходимо, чтобы в момент времени $t = N+1$ имелись измеренные (в i -х точках) значения поля ξ на уровне земли, а также результаты его интерполяции в узлы регулярной сетки. Поэтому для построения приземного поля заданной метеорологической величины (в нашем случае это температура и составляющие скорости ветра) нами был применен метод оптимальной интерполяции. Полученные результаты вместе с выборкой пространственно-временных наблюдений вида (8), взятой для ближайшей к узлу станции, использовались для выбора и построения наилучшей прогнозирующей модели ММГУА, а также для реализации самой процедуры объективного трехмерного анализа мезомасштабных полей температуры и ветра.

Третий из взятых методов – метод оптимальной экстраполяции случайного процесса, использованный при построении алгоритма объективного четырехмерного анализа, основывается на процедуре численного определения значений метеорологической величины ξ в момент времени $t+l$ по данным ее измерений в предшествующие моменты времени $t-k$ (здесь $k = 0, 1, 2, \dots, n$) с помощью выражения вида [12]:

$$\xi(t+l) = \bar{\xi}(t) + \sum_{k=0}^n a_k \xi(t-k), \quad (9)$$

где $\bar{\xi}(t)$ – среднее значение метеорологической величины ξ (для стационарного процесса $\bar{\xi}(t) = \bar{\xi} = \text{const}$ [12]); $\xi(t-k)$ – значения отклонений той же метеорологической величины от среднего в предшествующие моменты времени $t-k$; a_k – некоторые весовые коэффициенты, подлежащие определению с помощью системы уравнений

$$\sum_{j=0}^n a_j \mu_{\xi}(k-j) = \mu_{\xi}(l+k), k = 0, 1, 2, \dots, n. \quad (10)$$

В формуле (10) μ_{ξ} – временные автокорреляционные функции метеорологической величины, для вычисления которых были использованы следующие аналитические формулы: для температуры

$$\mu_T(\tau) = (1+d) \exp(-d), \quad (11)$$

где τ – величина упреждения, ч; $d = \sqrt{(\tau/\tau_0)^2}$ – коэффициент (τ_0 – масштаб временной корреляции, равный 48 ч [13]);

для составляющих скорости ветра

$$\mu_{V_x}(\tau) = \mu_{V_y}(\tau) = \exp[-\alpha(\tau)], \quad (12)$$

где для зональной составляющей скорости ветра $\alpha = 0,275$, а для меридиональной составляющей – $\alpha = 0,537$ [14].

Используя выражения (9)–(12), можно легко осуществить временную экстраполяцию приземных значений температуры, зонального и меридионального ветра в точках r_i , а уже затем с помощью комплексной методики, основанной на оптимальном комплексировании алгоритмов ММГУА и МОИ, можно реализовать и всю процедуру объективного четырехмерного анализа. Именно такой методический подход к объективному четырехмерному анализу мезомасштабных полей температуры и ветра и был применен в настоящей работе.

Остановимся теперь коротко на использованном нами способе оценки точности взятых методов объективного анализа. Известно, что на практике применяется не один, а несколько способов такой оценки (они подробно описаны в [7]). Среди них наибольшее распространение получили два способа, один из которых базируется на процедуре сравнения результатов объективного и синоптического анализов (этот способ использован, например, в [15]), а второй – на процедуре определения значений метеорологической величины на контрольной станции по данным окружающих станций, минуя вычисления этих значений в точках регулярной сетки [7].

Поскольку второй способ является более надежным и объективным, то он и был использован нами для оценки точности взятых методов объективного анализа. При этом оценка точности различных методов объективного анализа была осуществлена с помощью среднеквадратической погрешности такого анализа, определяемой из выражения

$$\delta_{\xi} = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=0}^n (\Delta \xi_i)^2 \right]^{1/2} \quad (13)$$

($\Delta \xi = \xi_i^* - \xi_i$ представляет собой i -е отклонение полученного в результате интерполяции значения метеорологической величины ξ_i^* от ее измеренного значения ξ_i , а n – число использованных реализаций), а также с помощью относительной погрешности, рассчитываемой по формуле вида

$$\Theta_{\xi} = \delta_{\xi} / \sigma_{\xi}, \%, \quad (14)$$

где σ_{ξ} – среднее квадратическое отклонение, характеризующее естественную изменчивость метеорологической величины.

Следует к этому добавить, что вначале оценка точности объективного анализа проводилась применительно к трехмерному, а не двумерному типу интерполяции полей температуры и ветра, поскольку результаты этого анализа должны использоваться при решении задач диагностики пространственного распространения техногенных загрязняющих веществ. А в этом случае, согласно [16], имеем дело уже не с данными измерений температуры и ветра на отдельных уровнях, а результаты их усреднения по отдельным вертикальным слоям атмосферы. При этом процедура такого усреднения для температуры T , зонального V_x и V_y составляющих вектора ветра основывается на использовании выражений вида

$$\langle \xi \rangle_{h_0, h} = \frac{1}{h-h_0} \int_{h_0}^h \xi(z) dz, \quad (15)$$

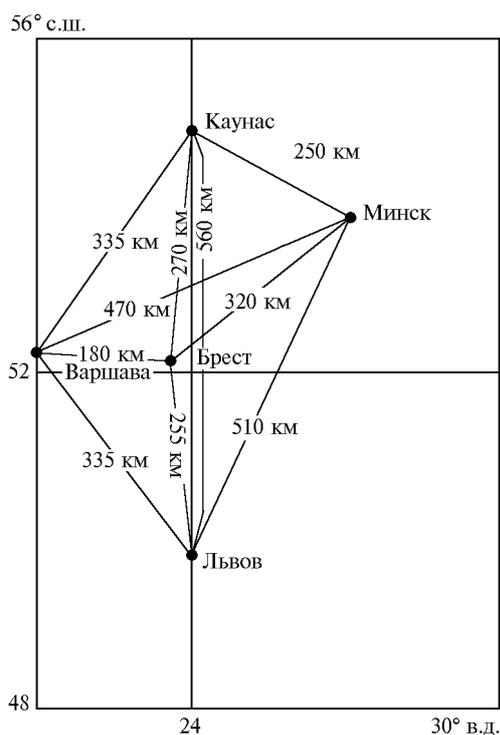
где z – высота, а знак $\langle \bullet \rangle$ обозначает процедуру усреднения данных по вертикали в некотором слое атмосферы. В нашем случае это слой $h-h_0$, где h – высота верхней границы взятого слоя, а h_0 – высота нижней границы того же слоя, совпадающей обычно с уровнем земной поверхности.

Отметим, что в качестве атмосферных слоев, взятых для расчета среднепослойных (или просто средних) значений температуры, зонального и меридионального ветра, использованы следующие слои: 0 – 100, 0 – 200, 0 – 400, 0 – 800, 0 – 1200 и 0 – 1600 м. При этом для получения значений температуры и характеристик ветра на исходных высотах 0, 100, 200, 400, 800, 1200 и 1600 м, полностью перекрывающих весь пограничный слой атмосферы, была предварительно использована процедура линейной интерполяции указанных метеорологических величин с изобарических поверхностей и уровней особых точек на перечисленные геометрические высоты.

3. Результаты численных экспериментов по оценке точности альтернативных методов объективного трехмерного анализа полей температуры и ветра

Остановимся на рассмотрении результатов численных экспериментов по оценке точности объективного анализа, проведенного на примере полей температуры и ветра с помощью метода оптимальной интерполяции и комплексного метода, в основу которого положена процедура комплексирования алгоритмов ММГУА и МОИ.

Для оценки точности альтернативных методов объективного анализа были использованы данные многолетних (1971–1975 гг.) и двухсрочных радиозондовых наблюдений пяти аэрологических станций: Варшава (52° 11' с.ш., 20° 58' в.д.), Каунас (54° 53' с.ш., 29° 53' в.д.), Брест (52° 07' с.ш., 23° 41' в.д.), Минск (53° 11' с.ш., 27° 32' в.д.) и Львов (49° 48' с.ш., 23° 57' в.д.), которые представляют собой типичный мезометеорологический полигон (его схема приведена на рисунке). При этом в качестве контрольной точки r_0 , использованной для такой оценки, взята станция Брест, а общий объем синхронных наблюдений для каждой из окружающих ее станций r_i составляет 360 реализаций для зимнего и 380 – для летнего сезонов.



План-схема типичного мезометеорологического полигона

Поскольку для территорий крупных городов и их окрестностей основной перенос техногенных загрязняющих веществ осуществляется в нижнем километровом слое атмосферы [17], то для проверки точности используемых нами методов объективного анализа взяты в качестве примера результаты точностной оценки для двух атмосферных слоев: 0 – 100 м, где велика роль влияния особенностей подстилающей поверхности, приводящего к заметному уменьшению (по сравнению со свободной атмосферой) размеров областей локальной однородности полей температуры и ветра [7], и 0 – 800 м, где это влияние существенно ослабевает.

Численные эксперименты по оценке точности альтернативных методов объективного анализа мезомасштабных полей средней температуры $\langle T \rangle_{h_0, h}$, среднего зонального $\langle V_x \rangle_{h_0, h}$ и меридионального $\langle V_y \rangle_{h_0, h}$ ветра позволили установить (табл. 1), что:

- комплексный алгоритм объективного анализа, основанный на процедуре комплексирования ММГУА с методом оптимальной интерполяции, является достаточно точным и эффективным, поскольку величина относительной погрешности (θ) в контрольной точке r_0 составляет независимо от сезона и слоя атмосферы около 18–42% для средней температуры и 35–54% для составляющих скорости ветра (это существенно меньше предельно допустимого (с точки зрения требований статистического прогноза) значения $\theta_0 = 66\%$);

- комплексный алгоритм значительно улучшает (по сравнению с методом оптимальной интерполяции) качество объективного трехмерного анализа мезомасштабных полей температуры, зонального и меридионального ветра. Действительно, из табл. 1 хорошо видно, что среднеквадратическая погрешность объективного трехмерного анализа рассматриваемых полей в контрольной точке r_0 , проведенного с помощью комплексного алгоритма, существенно меньше (в 1,4–2,4 раза) аналогичных погрешностей, полученных при использовании метода оптимальной интерполяции.

Среднеквадратические (δ) и относительные (θ , %) погрешности объективного трехмерного анализа полей температуры, зонального и меридионального ветра, проведенного на основе комплексного алгоритма (1) и метода оптимальной интерполяции (2)

Слой атмосферы, м	Зима				Лето			
	δ		θ		δ		θ	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Температура T , °C								
0–100	1,4	2,5	29	53	0,8	1,9	18	43
0–800	1,6	2,2	38	51	1,6	2,2	42	59
Зональный ветер V_x , м/с								
0–100	1,5	2,5	39	63	1,6	2,5	44	69
0–800	2,0	2,9	38	55	1,8	2,7	35	52
Меридиональный ветер V_y , м/с								
0–100	1,8	2,7	52	76	1,7	2,6	54	84
0–800	2,1	3,1	45	66	2,0	2,9	45	66

Все это говорит о том, что комплексный алгоритм обеспечивает вполне приемлемую для практики точность построения рассматриваемых мезометеорологических полей, а главное, он дает более надежные результаты, чем метод оптимальной интерполяции. Отсюда следует, что этот алгоритм более приемлем для проведения объективного трехмерного анализа мезомасштабных полей температуры и ветра в интересах численного диагноза уровня загрязнения атмосферы на ограниченной территории (например, крупного города или промышленного центра).

4. О точности объективного четырехмерного анализа мезомасштабных полей температуры и ветра при различных интервалах временного упреждения

Наряду с экодиагностикой важное место в экологическом мониторинге ограниченного воздушного бассейна занимает проблема прогнозирования процессов загрязнения атмосферы на локальном уровне.

В этом случае для метеорологической поддержки решения указанной проблемы необходимо на предварительном этапе проводить объективный четырехмерный анализ мезомасштабных полей температуры и ветра. Поэтому возникает задача проведения численной оценки качества комплексной методики (напомним, что она базируется на трех методах: МОИ, ММГУА и оптимальной экстраполяции случайного процесса) при ее использовании в подобном анализе.

Учитывая это, нами были проведены численные эксперименты по оценке точности уточненного комплексного алгоритма, примененного также и при объективном четырехмерном анализе мезомасштабных полей температуры и ветра, который осуществлялся для различных величин упреждения $\tau = 12, 24, \dots, 60$ ч.

Для такой оценки, как и в случае с объективным трехмерным анализом, использованы те же массивы радиозондовых наблюдений 5 аэрологических станций, представляющих типичный мезометеорологический полигон (см. рис. 1).

В табл. 2 и 3 приведены результаты статистической оценки качества комплексной методики, использованной для объективного четырехмерного анализа мезомасштабных полей температуры и ветра при различных величинах упреждения. При этом в качестве точностных характеристик взяты те же среднеквадратическая (δ) и относительная (θ , %) погрешности. Следует также отметить, что поскольку оценка точности комплексной методики объек-

тивного четырехмерного анализа проведена впервые, то в табл. 2 и 3 погрешности этого анализа даются для всех рассматриваемых слоев атмосферы.

Таблица 2

Среднеквадратические (δ) и относительные (θ , %) погрешности объективного четырехмерного анализа мезомасштабных полей температуры, зонального и меридионального ветра, рассчитанные для различных интервалов упреждения (τ). Зима

Слой атмосферы, м	Интервал упреждения (τ), ч									
	12		24		36		48		60	
	δ	θ	δ	θ	δ	θ	δ	θ	δ	θ
Температура T , °C										
0–100	1,2	26	1,2	26	1,5	32	2,0	43	2,7	57
0–200	1,3	28	1,3	28	1,6	35	2,1	46	2,8	61
0–400	1,3	30	1,3	30	1,6	36	2,2	50	2,8	64
0–800	1,4	33	1,4	33	1,7	40	2,3	53	2,9	67
0–1200	1,6	39	1,6	39	1,8	44	2,4	58	3,0	73
0–1600	1,8	43	1,8	44	2,0	49	2,5	61	3,2	78
Зональный ветер V_z , м/с										
0–100	1,8	46	1,9	49	2,4	62	2,8	72	3,3	85
0–200	1,8	45	1,9	48	2,4	60	2,8	70	3,3	83
0–400	1,9	40	1,9	40	2,5	53	3,0	64	3,5	74
0–800	2,0	37	2,0	37	2,7	51	3,3	62	3,9	74
0–1200	2,1	37	2,1	37	2,7	48	3,5	62	4,1	73
0–1600	2,2	38	2,2	38	2,8	48	3,7	64	4,3	74
Меридиональный ветер V_y , м/с										
0–100	2,0	57	2,0	57	2,6	72	3,0	86	3,1	89
0–200	2,0	57	2,0	57	2,6	72	3,0	86	3,1	89
0–400	2,1	51	2,1	51	2,7	66	3,2	78	3,4	83
0–800	2,3	49	2,4	51	2,9	61	3,5	74	3,8	81
0–1200	2,3	45	2,4	47	3,0	59	3,7	73	4,1	80
0–1600	2,4	44	2,5	46	3,1	57	4,0	74	4,4	81

Таблица 3

Среднеквадратические (δ) и относительные (θ , %) погрешности объективного четырехмерного анализа мезомасштабных полей температуры, зонального и меридионального ветра, рассчитанные для различных интервалов упреждения (τ). Лето

Слой атмосферы, м	Интервал упреждения (τ), ч									
	12		24		36		48		60	
	δ	θ	δ	θ	δ	θ	δ	θ	δ	θ
Температура T , °C										
0–100	1,1	24	1,2	27	1,6	36	2,2	49	2,5	56
0–200	1,2	27	1,3	30	1,7	40	2,3	53	2,6	59
0–400	1,2	29	1,3	32	1,8	44	2,4	58	2,7	66
0–800	1,3	32	1,3	32	1,9	48	2,6	65	2,9	72
0–1200	1,4	38	1,4	38	2,0	54	2,6	70	2,9	78
0–1600	1,5	42	1,6	44	2,1	58	2,6	72	2,9	80
Зональный ветер V_z , м/с										
0–100	1,8	47	1,9	50	2,2	58	2,4	63	2,8	74
0–200	1,8	45	1,9	48	2,2	55	2,5	62	2,9	72
0–400	1,9	41	2,0	43	2,3	50	2,6	57	3,1	67
0–800	2,1	40	2,1	40	2,5	48	2,8	55	3,5	67
0–1200	2,1	40	2,1	40	2,5	48	2,9	55	3,6	68
0–1600	2,2	41	2,2	41	2,6	49	3,0	57	3,7	70
Меридиональный ветер V_y , м/с										
0–100	2,1	63	2,1	63	2,4	73	2,8	85	3,2	97
0–200	2,2	62	2,2	62	2,5	71	2,9	83	3,3	94
0–400	2,2	55	2,2	55	2,6	65	3,0	75	3,4	85
0–800	2,3	52	2,3	52	2,7	64	3,1	70	3,6	82
0–1200	2,3	53	2,3	53	2,7	63	3,1	72	3,6	84
0–1600	2,4	57	2,4	57	2,8	67	3,2	76	3,7	88

В результате анализа табл. 2 и 3 можно сделать следующие выводы:

а) комплексная методика, использованная для объективного анализа и дополненная методом оптимальной экстраполяции случайного процесса, обеспечивает вполне приемлемую для практики точность (θ порядка 32 – 63%) четырехмерного построения мезомасштабных полей температуры и составляющих скорости ветра при интервале упреждения, равном 36 и 24 ч соответственно;

б) комплексный уточненный алгоритм дает наилучшие результаты объективного четырехмерного анализа для поля температуры в зимний период, когда даже при $\tau = 48$ ч относительная погрешность такого анализа, причем независимо от слоя атмосферы, существенно меньше предельно допустимой (при статистическом прогнозе) погрешности, равной 66%.

Таким образом, численная оценка качества комплексной методики, дополненной методом оптимальной экстраполяции случайного процесса, говорит о возможности и достаточной эффективности ее использования и в случае объективного четырехмерного анализа мезомасштабных полей температуры и ветра, правда, для ограниченного интервала упреждения 36 и 24 ч соответственно. А отсюда следует, что эта методика может быть применена для подготовки прогностических пространственно-распределенных параметров (таких как температура и составляющие скорости ветра), которые относятся к параметрам моделей переноса примеси и необходимы для численного прогнозирования уровня загрязнения атмосферы на ограниченной территории, особенно в условиях внезапных промышленных выбросов.

1. Белов П.Н. Практические методы численного прогноза погоды. Л.: Гидрометеоздат, 1967. 335 с.
2. Гордин В.А. Математические задачи гидродинамического прогноза погоды. Л.: Гидрометеоздат, 1987. 264 с.
3. Комаров В.С., Солдатенко С.А., Соболевский О.М. // Оптика атмосферы и океана. 1996. Т. 9. N 4. С. 440–445.
4. Белов П.Н., Борисенков Е.П., Панин Б.Д. Численные методы прогноза погоды. Л.: Гидрометеоздат, 1989. 376 с.
5. Берлянд М.Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы. Л.: Гидрометеоздат, 1985. 272 с.
6. Белов П.Н., Комаров В.С. // Оптика атмосферы и океана. 1995. Т. 8. N 7. С. 1001–1008.
7. Гандин Л.С., Каган Р.Л. Статистические методы интерполяции метеорологических данных. Л.: Гидрометеоздат, 1976. 359 с.
8. Комаров В.С. Статистика в приложении к задачам прикладной метеорологии. Томск: Изд-во СО РАН, 1997. 255 с.
9. Комаров В.С., Креминский А.В. // Оптика атмосферы и океана. 1996. Т. 9. N 4. С. 413–423.
10. Комаров В.С., Попов Ю.Б. // Оптика атмосферы и океана. 1998. Т. 11. N 8. С. 801–807.
11. Комаров В.С., Акселевич В.И., Креминский А.В. // Оптика атмосферы и океана. 1994. Т. 7. N 2. С. 231–237.
12. Казакевич Д.И. Основы теории случайных функций и их применение в гидрометеорологии. Л.: Гидрометеоздат, 1977. 319 с.
13. Панчев С. Случайные функции и турбулентность. Л.: Гидрометеоздат, 1967. 447 с.
14. Комаров В.С., Креминский А.В., Ломакина Н.Я., Матвиенко Г.Г. // Оптика атмосферы и океана. 1996. Т. 9. N 4. С. 541–546.
15. Четверикова И.А. // Труды ЦИП. 1962. Вып. 102. С. 3–12.
16. Брюхань Ф.Ф. Методы климатической обработки и анализа аэрологической информации. М.: Гидрометеоздат, 1983. 112 с.
17. Владимиров А.М., Ляхин Ю.Н., Матвеев Л.Т., Орлов В.Т. Охрана окружающей среды. Л.: Гидрометеоздат, 1991. 423 с.

V.S. Komarov, A.V. Kreminskii. **Comparative Estimate of Different Methods for Objective Analysis of Temperature and Wind Fields in Problems of Mesoscale Diagnostics and Forecast of Atmospheric Pollution Processes.**

The quality and efficiency of different methods for objective three or four-dimension analysis of mesoscale fields of temperature and wind are estimated statistically. The methods are based on the methods of optimum interpolation and extrapolation of a random process as well as modified method of group accounting for arguments (MMGAA) worked out for meteorological maintenance of the problems of ecological diagnostics and forecast of the processes of atmospheric polluting.

The statistical analysis of the pointed methods conducted based on many-year radiosonde observations at 5 aerologic stations has shown the method MMGAA to be the best in three-dimension case (together with the method of optimum interpolation). In the four-dimension case the best results were obtained with the same complex algorithm, but extended by the method of optimum extrapolation of a random process used only in ground measurements.