

В.С. Комаров, В.И. Акселевич, А.В. Креминский

**ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ АЛГОРИТМОВ МГУА В ЗАДАЧЕ
ПРЕДВЫЧИСЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДНЕГО ВЕТРА**

Обсуждаются возможности и перспективы использования модифицированной версии метода группового учета аргументов (МГУА) в задаче предвычисления (восстановления) зональной и меридиональной составляющих вектора среднего ветра, проводимого в пограничном слое и свободной атмосфере (до высоты 8 км) в интересах оперативной оценки распространения атмосферных загрязнений. На конкретных примерах продемонстрирована эффективность данного метода и широкие возможности его использования при создании автоматизированной системы атмосферно-экологического мониторинга ограниченных территорий.

Среди современных проблем, стоящих перед задачами атмосферно-экологического мониторинга ограниченных территорий, важное место занимает проблема предвычисления (восстановления) осредненного по вертикали ветра (для краткости в дальнейшем будем называть его средним ветром). Это связано с тем, что пространственное распространение веществ техногенного происхождения определяется в первую очередь полем скоростей ветра [1, 2].

Действительно, анализ данных переноса загрязняющих примесей в атмосфере показал, что при установившейся постоянной скорости оседания каждая частица перемещается в горизонтальном направлении под воздействием ветров, дующих на разных высотах. Поэтому согласно [1] вектор горизонтального перемещения \mathbf{s} частицы от источника выброса до точки падения на поверхность земли пропорционален интегралу по вертикали от вектора скорости ветра, т.е.

$$\mathbf{s} \sim \frac{1}{h} \int_0^h \mathbf{V}(z) dz, \tag{1}$$

где h – высота загрязнения.

Для расчетов распространения облака загрязняющих примесей на практике вводят обычно вектор осредненного по вертикальным слоям $h - h_0$ ветра (вектор среднего ветра) вида

$$\langle \mathbf{V} \rangle_{h_0, h} = \frac{1}{h - h_0} \int_{h_0}^h \mathbf{V}(z) dz, \tag{2}$$

характеристики которого, представленные зональной v_x и меридиональной v_y составляющими скорости ветра, определяются следующим образом:

$$\begin{aligned} \langle v_x \rangle_{h_0, h} &= \frac{1}{h - h_0} \int_{h_0}^h v_x(z) dz; \\ \langle v_y \rangle_{h_0, h} &= \frac{1}{h - h_0} \int_{h_0}^h v_y(z) dz. \end{aligned} \tag{3}$$

В соотношениях (2) и (3) $\langle \cdot \rangle_{h_0, h}$ означает процедуру осреднения по вертикали в слое $h_0 - h$, причем на практике чаще всего используются слои, отсчитываемые от поверхности земли, т.е. когда $h_0 = 0$.

Все вышесказанное было учтено авторами в алгоритме вычисления характеристик среднего ветра, использованных в задаче предвычисления (на период в 12 ч) зональной и меридиональной составляющих вектора среднего ветра, которое осуществлялось с помощью модифицированного метода группового учета аргументов (ММГУА) [3].

Здесь сразу следует подчеркнуть, что данный метод, входящий в группу нетрадиционных физико-статистических методов, является достаточно простым, не требующим большого объема исходных экспериментальных данных и значительных затрат машинного времени, не нуждающимся в предварительном статистическом осреднении многолетних рядов эмпирических наблюдений и позволяющим на основе взятой априорной информации синтезировать прогностическую модель в условиях частичной или полной неопределенности наших знаний о структуре моделируемого процесса и свойствах шумов в используемых данных.

Все это было подтверждено авторами настоящей статьи и в отношении статистического оценивания и предвычисления характеристик свободной атмосферы (вертикальных профилей температуры, зональной и меридиональной составляющих скорости ветра), результаты которых приведены в [4]. Однако в ней в качестве исходной информации были использованы данные радиозондовых наблюдений, представленные лишь на основных изобарических поверхностях, а именно на уровне станции, 850 гПа (~1,5 км), 700 (~3), 500 (~5,5), 400 (~7) и 300 (~9 км), что не позволяет сделать оценку эффективности применения ММГУА в задаче предвычисления характеристик среднего ветра с большим разрешением по высоте (особенно в пограничном слое), которое требуется при расчете пространственного переноса загрязняющих примесей от источника их выброса в атмосферу.

Указанная проблема решается в настоящей статье на примере многолетних (1966 – 1970 гг.) данных трех типичных аэрологических станций: Кефлавик (63°57'с. ш., 22°37'з. д.), Рим (41°48'с. ш., 12°38'в. д.) и Майами (25°49'с. ш., 80°17'з. д.), представляющих различные физико-географические районы северного полушария. При этом предварительное формирование исходного материала (вертикальных профилей v_x и v_y) проводилось с помощью известной [1, 5] процедуры интерполяции данных, представленных в изобарической системе координат, на сетку стандартных высот, являющуюся наиболее удобной для расчета распространения загрязнений в атмосфере. Нами в качестве таких высот взяты: уровень станции с $h_0 = 0$; 0,1; 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. Что касается характеристик вектора среднего ветра, то они определялись либо на этапе формирования исходных выборок (в случае восстановления по алгоритму ММГУА непосредственно самих значений $\langle v_x \rangle$ и $\langle v_y \rangle$), либо на этапе, когда эти характеристики оценивались уже по результатам прогноза зональной и меридиональной составляющих скорости ветра, представленных на отдельных уровнях.

Поскольку в настоящей статье нами использован тот же алгоритм ММГУА, что и в [4], то здесь мы не будем на нем останавливаться.

Точность предвычисления характеристик среднего ветра ($\langle v_x \rangle$ и $\langle v_y \rangle$) оценивалась с помощью относительных стандартных погрешностей δ/σ в процентах (здесь δ – абсолютная стандартная ошибка прогноза, а σ – среднее квадратическое отклонение, характеризующее естественную изменчивость метеорологической величины).

Рассмотрим теперь некоторые предварительные результаты численных экспериментов по оценке качества предвычисления (с заблаговременностью в 12 ч) характеристик среднего ветра, для чего воспользуемся табл. 1, содержащей относительные стандартные погрешности отклонений восстановленных значений $\langle v_x \rangle$ и $\langle v_y \rangle$ от соответствующих значений этих параметров, определенных по данным фактических радиозондовых наблюдений. Сразу же отметим, что из-за большой громоздкости материала в табл. 1 в качестве иллюстрации приводятся результаты точностных оценок только для станции Рим.

Таблица 1

Относительные стандартные погрешности (θ , %) отклонений восстановленных значений составляющих вектора среднего ветра от тех же характеристик, определенных для зимы и лета по данным радиозондирования ст. Рим

Слой восстановления, км	Информативные слои (уровни), км												
	0-6,0	0-5,0	0-4,0	0-3,0	0-2,4	0-2,0	0-1,6	0-1,2	0-0,8	0-0,4	0-0,2	0-0,1	0
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1. Зональная составляющая вектора среднего ветра. Зима													
0-8,0	7	14	50	50	48	50	56	63	67	74	92	98	102
0-6,0		2	25	28	27	28	35	41	44	52	68	73	77
0-5,0			9	15	16	16	26	30	34	42	56	61	66
0-4,0				5	5	7	18	21	23	31	45	50	54
0-3,0					0	3	9	10	11	18	33	38	41
0-2,4						1	3	4	6	12	26	30	33
0-2,0							1	1	3	8	20	23	25
0-1,6								0	2	5	13	15	17
0-1,2									1	2	6	8	8
0-0,8										1	2	3	3
0-0,4											0	0	1
0-0,2												0	0
0-0,1													0
2. Меридиональная составляющая вектора среднего ветра. Зима													
0-8,0	7	11	12	43	44	47	71	73	76	76	82	97	110
0-6,0		1	1	23	23	23	48	50	52	53	61	73	87
0-5,0			0	13	13	13	36	37	40	40	50	61	76
0-4,0				4	4	5	24	25	26	27	38	49	64
0-3,0					0	2	11	12	12	12	24	35	48
0-2,4						0	4	5	5	5	16	26	37
0-2,0							1	2	2	2	12	20	29
0-1,6								0	0	0	8	14	21
0-1,2									0	0	4	8	12
0-0,8										0	2	3	5
0-0,4											0	0	1
0-0,2												0	0
0-0,1													0
3. Зональная составляющая вектора среднего ветра. Лето													
0-8,0	10	27	37	53	53	55	69	73	73	73	77	80	83
0-6,0		4	12	25	25	26	44	50	48	46	50	51	54
0-5,0			4	13	13	16	33	39	38	38	37	38	40
0-4,0				4	3	9	23	28	28	24	25	27	29
0-3,0					0	4	12	15	15	16	15	17	20
0-2,4						1	4	5	6	7	11	13	15
0-2,0							1	2	3	6	8	10	12
0-1,6								0	1	4	5	6	8
0-1,2									0	2	2	3	4
0-0,8										0	1	1	2
0-0,4											0	0	0
0-0,2												0	0
0-0,1													0
4. Меридиональная составляющая вектора среднего ветра. Лето													
0-8,0	21	53	54	85	89	90	95	102	107	120	133	147	152
0-6,0		6	6	58	59	62	70	74	76	86	98	110	116
0-5,0			0	33	33	35	48	53	55	61	73	85	92
0-4,0				10	10	12	29	35	38	41	51	63	70
0-3,0				0	0	3	12	15	18	25	34	43	49
0-2,4						1	4	6	8	17	25	32	37
0-2,0							1	2	4	11	18	24	27
0-1,6								0	2	1	11	15	18
0-1,2									0	3	5	1	9
0-0,8										1	2	3	4
0-0,4											0	0	0
0-0,2												0	0
0-0,1													0

Численные эксперименты по оценке качества предвычисления характеристик среднего ветра показали следующее:

1. Модифицированный метод группового учета аргументов является достаточно эффективным методом предвычисления зональной $\langle v_x \rangle$ и меридиональной $\langle v_y \rangle$ составляющих вектора среднего ветра при наличии в срок восстановления, т.е. через 12 ч, данных приземных наблюдений, причем точность прогноза характеристик $\langle v_x \rangle$ и $\langle v_y \rangle$ существенно выше при использовании в качестве исходной информации не этих характеристик, а значений $\langle v_x \rangle$ и $\langle v_y \rangle$ непосредственно, по восстановленным величинам которых осуществляется осреднение по слоям $0 - h$.

2. Наилучшие результаты прогноза (с относительной погрешностью $\theta < 60\%$), проводимого с помощью алгоритма ММГУА, характерны для атмосферных слоев $0 - h$, расположенных в основном ниже уровня 5–6 км. Причем даже при наличии только данных наземных наблюдений можно осуществить надежную оценку характеристик среднего ветра до высоты 2,4–4,0 км.

3. Наиболее успешное восстановление характеристик среднего ветра, как и вертикальных профилей v_x и v_y [4], осуществляется при задании 10 структур, определяющих лучшую (с точки зрения качества прогноза) структуру прогностической модели, и при использовании статистических выборок объемом около 14–16 профилей.

Существенным моментом является также и то, что использование алгоритма ММГУА может дать хорошие результаты (в частности, заметное повышение высоты h) в случаях, когда для оценивания характеристик среднего ветра могут быть взяты данные ветровых лидаров, которые обладают большим разрешением по высоте, но малым потолком зондирования (около 1,0–1,5 км), обусловленным недостаточной точностью получаемой информации на больших высотах [6]. Об этом, в частности, можно судить по табл. 2, в которой приведены для станций Кефлавик, Рим и Майами значения высоты верхней границы h и относительной погрешности θ восстановления составляющих вектора среднего ветра, проведенного с помощью алгоритма ММГУА на основе данных лидарных наблюдений за ветром в слое $0 - 1,2$ км, т.е. в слое атмосферы, где в основном осуществляется ветровое лидарное зондирование. Действительно, из табл. 2 следует, что в этом случае предельная высота верхней границы слоя прогноза h для параметров $\langle v_x \rangle_{0-h}$ и $\langle v_y \rangle_{0-h}$ существенно выше, чем при использовании только наземных данных, и достигает около 5–6 км, а относительная стандартная погрешность повсеместно не превышает 60%.

Таблица 2

Значения высоты верхней границы (h , км) и относительной стандартной погрешности ($\theta = \delta/\sigma$, %) прогноза характеристик среднего ветра, проведенного с помощью алгоритма ММГУА на основе данных ветрового радиозондирования в слое $0 - 1,2$ км

Станция	Составляющие вектора среднего ветра			
	Зональная		Меридиональная	
	h	θ	h	θ
	Зима			
Кефлавик	5	60	5	51
Рим	6	41	6	50
Майами	5	58	6	60
	Лето			
Кефлавик	5	60	5	61
Рим	6	50	5	53
Майами	5	58	6	56

Таким образом, как показывают результаты проводимых численных экспериментов, применение алгоритмов ММГУА в задаче предвычисления характеристик среднего ветра, определяющего пространственное распространение атмосферных загрязнений, является достаточно эффективным, и поэтому данный метод может быть с успехом использован при создании автоматизированной системы атмосферно-экологического мониторинга ограниченных территорий. Однако полученные результаты являются предварительными и требуют дальнейшего подтверждения на основе более полного экспериментального материала, что является предметом наших дальнейших исследований.

1. Брюхань Ф.Ф. Методы климатологической обработки и анализа аэрологической информации. М.: Гидрометеиздат, 1983. 112 с.
2. Владимиров А.М., Ляхин Ю.И., Матвеев Л.Т., Орлов В.Г. Охрана окружающей среды. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 423 с.
3. Кочерга Ю.Л. // Автоматика. N 5. 1991. С. 80 – 87.
4. Комаров В.С., Акселевич В.И., Креминский А.В. // Оптика атмосферы и океана. 1994. Т. 7. N 2. С. 231 – 237.
5. Zuev V.E. and Komarov V.S. Statistical Models of the Temperature and Gaseous Components of the Atmosphere. Dordrecht – Boston – Lancaster – Tokyo: D. Reidel Publishing Company, 1987. 306 p.
6. Комаров В.С., Акселевич В.И., Креминский А.В., Матвиенко Г.Г. // Оптика атмосферы и океана. 1994. Т. 7. N 2. С. 182 – 189.

Институт оптики атмосферы СО РАН, Томск
 Российский государственный
 гидрометеорологический институт, Санкт-Петербург

Поступила в редакцию
 15 ноября 1993 г.

V.S. Komarov, V.I. Akselevich, A.V. Kreminskii. An Experience of Using MGAV Algorithms in Precomputations of the Mean Wind Characteristics as of the Basic Parameter Determining Spatial Dispersal of Air Pollutions.

The capabilities and prospects of a modified version of the method of group account for variables (MGAV) in application to precomputations (reconstruction) of zonal and meridional components of the mean wind in the boundary atmospheric layer and in the free atmosphere (up to 8 km altitude) aimed at providing operative estimation of air pollution dispersal are discussed in this paper. The efficiency of this approach as well as its potentialities in application to creation of automated systems for ecological monitoring of the atmosphere over limited areas is demonstrated, using calculations for some particular cases.