

ОПТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И БАЗЫ ДАННЫХ ОПТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ
ОБ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ

УДК 551.510

**Статистический прогноз загрязнения городской атмосферы.
2. Методика прогноза межсуточной и внутрисуточной
изменчивости концентраций угарного газа и оксидов азота**

**Г.И. Горчаков¹, Е.Г. Семутникова², Б.А. Аношин¹,
А.В. Карпов¹, А.Б. Колесникова^{1*}**

¹Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН
119017, г. Москва, Пыжевский пер., 3

²ГПУ «Мосэкомониторинг»
119019, г. Москва, ул. Новый Арбат, 11, стр. 1

Поступила в редакцию 8.10.2009 г.

Проанализирована внутрисуточная изменчивость концентраций угарного газа и оксидов азота. Разработана методика краткосрочного прогноза межсуточной изменчивости указанных концентраций. Разработаны два варианта методики прогноза внутрисуточной изменчивости угарного газа и оксидов азота.

Ключевые слова: краткосрочный статистический прогноз, межсуточная изменчивость, внутрисуточная изменчивость, концентрации примесей, угарный газ, оксиды азота; short-term statistical forecasting method, interdiurnal variability, intradiurnal variability, impurity concentrations, carbon monoxide, nitrogen oxides.

Введение

В последнее время в связи с задачами экологии [1–3] и химии атмосферы [4, 5] растет актуальность прогнозирования загрязнения воздушных бассейнов городов. Достаточно определенные оценки загрязнения атмосферного воздуха в городе на несколько суток вперед могут быть получены при использовании статистических закономерностей изменчивости концентраций антропогенных примесей [6–8].

В настоящей статье представлена методика краткосрочного (на 3 сут вперед) статистического прогноза в г. Москве концентраций угарного газа и оксидов азота [9], которая основывается на установленных в [10] статистических закономерностях изменчивости указанных концентраций. Результаты статистического анализа суточного хода концентрации и «четырёхпериодных» (шестичасовые средние) концентраций позволили разработать два варианта методики прогноза внутрисуточной изменчивости угарного газа и оксидов азота в городской атмосфере.

Статистический прогноз среднесуточных концентраций

Результаты статистического анализа вариаций среднесуточных концентраций и их приращений по-

зволяют оценить возможности краткосрочного статистического прогноза загрязнения городской атмосферы угарным газом и оксидом азота. В частности, полученные нами статистические закономерности [10] дают возможность определить вероятности успешного прогноза попадания прогнозируемой среднесуточной концентрации в определенный интервал ее изменения.

Интервальный статистический прогноз среднесуточных концентраций угарного газа

Оценим эмпирические вероятности $P_i^{(s)}$ ($i = 1, 2, 3$) успешного прогноза, а также соответствующие вероятности ошибочного прогноза $P_i^{(m)} = 1 - P_i^{(s)}$ на первые ($i = 1$), вторые ($i = 2$) и третьи ($i = 3$) сутки для попадания прогнозируемых среднесуточных концентраций C_i ($i = 1, 2, 3$) в интервалы

$$C_0 + \xi_i \sigma_c > C_i > C_0 - \xi_i \sigma_c,$$

где C_0 – средняя концентрация за предшествующие первому дню прогноза сутки (предиктор прогноза); σ_c – стандартное отклонение для среднесуточной концентрации; ξ_i ($i = 1, 2, 3$) – заданные параметры прогноза. Аналогичные результаты статистического прогноза могут быть получены с помощью соотношений

$$C_0 + \zeta_i \sigma_i > C_i > C_0 - \zeta_i \sigma_i,$$

где σ_i ($i = 1, 2, 3$) – стандартные отклонения для приращений среднесуточных концентраций [10] Δ_i

* Геннадий Ильич Горчаков (gengor@ifaran.ru); Евгения Геннадьевна Семутникова; Борис Александрович Аношин (gengor@ifaran.ru); Алексей Владимирович Карпов (karpov@ifaran.ru); Александра Борисовна Колесникова (gengor@ifaran.ru).

($i = 1, 2, 3$); ξ_i – параметры прогноза. Очевидно, что соотношения между ξ_i и ζ_i определяются соотношениями между σ_i и σ_c . Если $C_0 < \xi_i \sigma_c$ и аналогично $C_0 < \zeta_i \sigma_i$, то для угарного газа в качестве оценки нижней допустимой границы прогнозируемых концентраций C_i можно выбрать, например, $0,1 \text{ ПДК}_{\text{cc}} = 0,3 \text{ мг/м}^3$.

Возможности статистического прогноза среднесуточных концентраций проиллюстрируем на примере данных измерений концентрации угарного газа на посту МАДИ (табл. 1) в 2003–2005 гг. для трех наборов параметров ξ_i ($i = 1, 2, 3$).

Таблица 1

Вероятности успешного прогноза $P_i^{(s)}$ (%) среднесуточных концентраций угарного газа (МАДИ)

Год	ξ_1	ξ_2	ξ_3	$P_1^{(1)}$	$P_2^{(1)}$	$P_3^{(1)}$
2003	1,0	1,35	1,35	81	80	79
2004	1,0	1,35	1,35	84	86	84
2005	1,0	1,35	1,35	87	86	85
2003	1,4	1,8	1,85	91	90	91
2004	1,4	1,8	1,85	92	94	92
2005	1,4	1,8	1,85	91	90	91
2003	1,7	2,15	2,25	95	95	95
2004	1,7	2,15	2,25	97	98	97
2005	1,7	2,15	2,25	94	93	93

Здесь в качестве «эталонного» выбран 2003 г., для которого вероятности $P_i^{(s)}$ равны 80, 90 и 95% (с точностью до 1%). Видно, что при фиксированных параметрах прогноза ξ_i вероятности успешного прогноза $P_i^{(s)}$ заметно меняются от года к году. Наиболее «устойчивым» оказался прогноз для вероятности успешного прогноза 90%.

При ошибочном прогнозе наблюдаемые концентрации угарного газа $C_i^{(obs)}$ выходят за рамки прогнозируемых интервалов. Представляют интерес случаи недооценки прогнозируемой среднесуточной концентрации. При этом ошибки прогноза

$$g_i = C_i^{(obs)} - C_i^{(f)} = C_i^{(obs)} - [C_0 + \xi_i \sigma_c],$$

где $C_i^{(f)}$ – прогнозируемые концентрации.

В частности, по данным измерений на посту МАДИ в 2003 г. было определено число случаев недооценки

среднесуточной концентрации угарного газа при вероятностях ошибочного прогноза 5, 10 и 20% (табл. 2), когда $g_i < 0,5 \text{ ПДК}_{\text{cc}}$ и когда $0,5 \text{ ПДК}_{\text{cc}} \leq g_i < \text{ПДК}_{\text{cc}}$. Из табл. 2 следует, что вероятность «больших» ошибок прогноза ($g_i > 0,5 \text{ ПДК}_{\text{cc}}$) была меньше 12%.

Для данного статистического ансамбля максимальные значения g_i не превышали $\text{ПДК}_{\text{cc}} = 3 \text{ мг/м}^3$. Данные о статистике ошибок прогноза среднесуточных концентраций угарного газа были получены также для ряда других постов.

Таким образом, разработана методика краткосрочного (на 3 сут вперед) статистического прогноза среднесуточных концентраций угарного газа и, в частности, оценены ошибки интервального статистического прогноза.

Интервальный прогноз среднесуточных концентраций оксидов азота

По аналогии с угарным газом было выполнено исследование возможностей прогноза среднесуточных концентраций NO_x . В табл. 3 в качестве примера для 5 статистических ансамблей приведены коэффициенты ζ_i ($i = 1, 2, 3$), обеспечивающие успешный прогноз среднесуточных концентраций NO_x с вероятностью 90%. Нетрудно видеть, что коэффициенты ζ_i меняются в заметно меньших диапазонах, чем коэффициенты ξ_i . Для разных постов и разных временных периодов коэффициенты ζ_i могут существенно различаться.

В целом методика интервального статистического прогноза среднесуточных концентраций NO_x не отличается от аналогичной методики для угарного газа.

Поскольку концентрации антропогенных примесей в рабочие и выходные дни в среднем заметно различаются («календарная» изменчивость), то очевидно, что это различие необходимо учитывать при прогнозе среднесуточных концентраций [10]. Если предиктор C_0 (среднесуточная концентрация) относится к дням рабочей недели, а некоторые прогнозируемые среднесуточные концентрации C_i ($i = 1, 2, 3$) относятся к выходным дням, то они должны быть заменены на концентрации $C_i^* = K_w C_i$. В противоположном случае прогнозируемые концентрации C_i следует заменить на концентрации $\tilde{C}_i^{**} = K_w^{-1} C_i$.

Таблица 2

Число случаев недооценки среднесуточной концентрации угарного газа (МАДИ, 2003 г.)

Прогнозируемая концентрация	Вероятность ошибочного прогноза, %	Ошибка прогноза	
		$g_i < 0,5 \text{ ПДК}_{\text{cc}}$	$0,5 \text{ ПДК}_{\text{cc}} \leq g_i \leq \text{ПДК}_{\text{cc}}$
C_1	20	22	4
	10	12	2
	5	4	2
C_2	20	21	2
	10	11	1
	5	4	1
C_3	20	20	3
	10	12	–
	5	3	–

Таблица 3

Параметры, обеспечивающие успешный прогноз среднесуточных концентраций NO_x с вероятностью 90%

Год	Пост	Параметр		
		ζ_1	ζ_2	ζ_3
2004	пр. Вернадского	1,59	1,60	1,60
2004	ул. Народного Ополчения	1,33	1,37	1,30
2005	Люблино	1,62	1,60	1,57
2005	ул. Народного Ополчения	1,41	1,37	1,44
2006	Балчуг	1,25	1,24	1,28

Более высокая точность прогнозирования среднесуточных концентраций может быть достигнута, если используются конкретные значения K_w для соответствующих постов.

Представляет интерес и альтернативный по отношению к интервальному прогноз превышений среднесуточными концентрациями заданных пороговых концентраций.

Прогноз превышений ПДК_{сс} и других пороговых концентраций для угарного газа на сутки вперед

В работе [10] были представлены данные о вероятностях превышения ПДК_{сс} для угарного газа. Целесообразно также определить эмпирические вероятности превышения P_c^* и для других пороговых концентраций. В табл. 4 представлены примеры результатов расчетов $P_{2,0}^*$ при пороговой концентрации $C^* = 2,0 \text{ мг/м}^3$, а также аналогичных вероятностей $P_{2,25}^*$, $P_{2,0}^*$ и $P_{1,5}^*$ для 4 постов по данным измерений в 2002–2005 гг.

Таблица 4

Условные вероятности превышения пороговых концентраций угарного газа

Год	Пост	Пороговая концентрация, мг/м^3	P_c^* , %	P_{11} , %	P_{22} , %
2003	МАДИ	2,0	57	75	57
		2,25	50	71	72
		3,0	27	54	83
2002	ул. Казакова	1,5	59	79	69
		2,0	34	64	81
2002	Марьино	1,5	42	69	78
		2,0	28	66	87
2004	ул. Народного Ополчения	1,5	57	72	63
		1,0	37	54	76
2005	ул. Народного Ополчения	1,5	51	69	68
		2,0	56	56	82

Как и следовало ожидать, указанные вероятности превышения достаточно сильно зависят от выбора пороговой концентрации угарного газа.

Условные вероятности превышения пороговых концентраций

Рассмотрим далее задачу оценки условных вероятностей превышения пороговых концентраций, если известен факт превышения рассматриваемой концентрации за предыдущие сутки. Присвоим индекс 1 сут, когда среднесуточная концентрация угар-

ного газа выше пороговой, и индекс 2 – суткам, когда она ниже пороговой. Введем условную вероятность P_{11} повторения «повышенного» уровня загрязнения на следующие сутки и вероятность P_{22} повторения «пониженного» уровня загрязнения. В табл. 4 приведены примеры результатов расчетов P_{11} и P_{22} (первый индекс характеризует предиктор статистического прогноза). Как оказалось, для достаточно больших пороговых концентраций (от 1,5 до 3,0 мг/м^3 в зависимости от выбора поста) условные вероятности часто превышают 70%.

Нетрудно оценить вероятности превышения заданной пороговой концентрации на 2-е сут. В частности, по данным измерений на посту МАДИ в 2003 г. вероятность P_{11} превышения порога $C^* = 2,5 \text{ мг/м}^3$ оказалась равной 66%, а вероятность P_{22} – 67%. Для надежной идентификации указанные вероятности удобно обозначать как $P_{1^*/1}^M(2,25)$ и $P_{2^*/2}^M(2,25)$ соответственно. В нижнем индексе первая цифра характеризует уровень загрязнения в «реперные» сутки, звездочки – «отсутствие» информации о загрязнении в сутки, предшествующие прогнозу (цифра после косой черты характеризует уровень загрязнения в период прогноза, верхний индекс – код поста). Условные вероятности прогноза превышения заданных пороговых концентраций на 3-и сут еще ниже. В частности, в 2003 г. для поста МАДИ имеем $P_{1^*/1}^M(2,25) = 61\%$ и $P_{2^*/2}^M(2,25) = 62\%$.

Были проанализированы возможности прогноза превышения заданных порогов для угарного газа с использованием информации об уровне загрязнения за двое предшествующих суток. Так, например, для поста МАДИ (2003 г.) $P_{11/1}^M(2,25) = 77\%$ и $P_{22/2}^M(2,25) = 76\%$, что несколько выше вероятностей $P_{1^*/1}^M$ и $P_{2^*/2}^M$ (табл. 4). Определенный выигрыш здесь есть, но он не так велик, как хотелось бы.

Оценка условных вероятностей при использовании информации об уровне загрязнения на нескольких постах

Были сделаны попытки использовать для прогноза информацию об уровне загрязнения атмосферного воздуха на нескольких постах. В частности, вероятность повышенного загрязнения на посту МАДИ (данные 2003 г.) при условии повышенного загрязнения в предшествующие сутки хотя бы на двух постах из трех (1 – Марьино, 2 – Переяславская ул., 3 – Сухаревская пл.) $P_{11/1}^{1,2,3/M}(2,0)$ оказалась равной 83% (пороговая концентрация 2,0 мг/м^3), что несколько больше соответствующей вероятности $P_{11} = 75\%$ (см. табл. 4). Значительного повышения вероятности успешного прогноза при использовании информации о загрязнении атмосферного воздуха в нескольких районах города, к сожалению, ждать не приходится.

Из вышеизложенного, в частности, следует, что при оптимальном выборе критериев загрязнения для каждого поста возможен сравнительно успешный прогноз превышения пороговых концентраций.

Приведенные результаты характеризуют возможности «порогового» статистического прогноза загрязнения городской атмосферы угарным газом. Выполненный нами анализ показал, что существуют примерно такие же возможности прогноза превышений некоторых оптимально выбранных уровней концентрации NO_x .

В целом более эффективным является интервальный прогноз среднесуточных концентраций CO и NO_x . Пороговый прогноз дает полезную дополнительную оценку вероятности уровня загрязнения атмосферного воздуха в последующие сутки.

Статистический прогноз внутрисуточной изменчивости концентраций

Анализ вариаций разовых концентраций угарного газа и оксидов азота и их временной изменчивости позволил оценить возможности статистического прогноза внутрисуточной изменчивости указанных компонентов загрязнения атмосферного воздуха в воздушном бассейне г. Москвы. Возможности этого прогноза зависят от времени осреднения концентраций. В настоящей статье рассматриваются вариант «четырёхпериодного» прогноза (время осреднения 6 ч) и вариант прогноза на основе «среднего суточного хода», рассчитываемого по данным измерений разовых концентраций.

Четырёхпериодный прогноз концентраций примесей

В качестве периодов внутрисуточного прогноза выберем «утро» (4:00–10:00), «день» (10:00–16:00), «вечер» (16:00–22:00), «ночь» (22:00–4:00) и соответствующие им концентрации \mathcal{E}_1 , \mathcal{E}_2 , \mathcal{E}_3 и \mathcal{E}_4 . Были рассчитаны статистические характеристики вариаций \mathcal{E}_j ($j = 1, 2, 3, 4$) для угарного газа. В табл. 5 приведены примеры результатов расчетов средних утренних, дневных, вечерних и ночных концентраций \mathcal{E}_j , а также соответствующих коэффициентов вариаций \mathcal{E}_j .

Концентрации \mathcal{E}_j для одного и того же статистического ансамбля различаются не более чем в 1,5 раза, а чаще всего не более чем на 10–20%.

Коэффициенты вариаций \mathcal{E}_j для угарного газа находятся в пределах примерно от 0,6 до 1,0. В дневные и вечерние периоды коэффициенты вариаций в среднем (по группе постов) заметно меньше, чем утром и ночью.

При четырехпериодном прогнозе в качестве предиктора будем использовать среднесуточную концентрацию примеси C (или C_i – см. ниже). Целью прогноза является оценка сверху (с вероятностью r) концентраций \mathcal{E}_j при известном значении среднесуточной концентрации C . Характер корреляционной связи для угарного газа «вечерней концентрации» $\mathcal{E}_3 = [\text{CO}]_в$ с концентрацией $C = [\text{CO}]_с$ иллюстрирует рис. 1, построенный по данным измерений на посту Марьино в 2003 г.

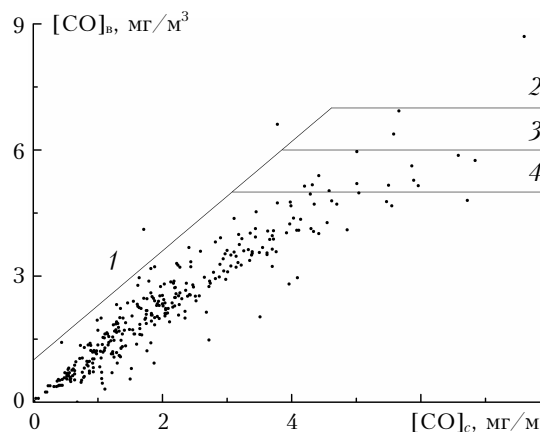


Рис. 1. Корреляция вечерних и среднесуточных концентраций угарного газа по данным измерений на посту в Марьино в 2003 г. Кусочно-линейные стохастические огибающие: 1 – общая прямая линия; 2, 3 и 4 – прямолинейные отрезки огибающих, обеспечивающих вероятности успешного прогноза $r = 0,99; 0,98$ и $0,95$

Анализ данных измерений на многих постах в разные годы показал, что «стохастическая огибающая», с помощью которой с вероятностью r достигается оценка сверху концентрации \mathcal{E}_j ($j = 1, 2, 3, 4$), может быть представлена кусочно-линейными функциями. В частности, для статистического ансамбля, представленного на рис. 1, это могут быть отрезки прямых 1, 2, 3 и 4. Первый отрезок 1 (рис. 1) описывается прямой $\mathcal{E}_3 = K_3 C + b_3$. По нашим данным, для угарного газа можно положить $K_1 = K_2 = K_3 \approx 1,3$.

Таблица 5

Статистические характеристики вариаций четырехпериодных концентраций угарного газа (2003 г.)

Пост	$\langle [\text{CO}] \rangle$, мг/м ³				γ			
	утро	день	вечер	ночь	утро	день	вечер	ночь
Переяславская ул.	1,84	1,95	2,04	1,87	0,75	0,58	0,68	0,78
Марьино	1,97	2,09	2,29	1,96	0,80	0,64	0,63	0,77
ул. Казакова	1,70	1,64	1,83	1,88	0,90	0,69	0,68	0,82
Сухаревская пл.	1,24	1,28	1,32	1,44	0,87	0,72	0,69	0,96
Глебовская ул.	1,06	0,74	0,85	1,08	1,00	0,67	0,79	0,90
Лосинный о-в	0,68	0,72	0,67	0,68	0,90	0,66	0,65	0,65
Средние	1,42	1,40	1,50	1,50	0,85	0,66	0,69	0,81

Таблица 6

Параметры (мг/м³) четырехпериодного прогноза концентрации угарного газа (2003 г.)

Пост	Утро		День		Вечер		Ночь	
	<i>b</i>	<i>C</i> _{max}	<i>b</i>	<i>C</i> _{max}	<i>b</i>	<i>C</i> _{max}	<i>b</i>	<i>C</i> _{max}
Переяславская ул.	1,2	8,5	1,3	6,0	1,35	6,5	2,3	8,5
Марьино	0,6	8,5	0,8	6,8	1,0	7,0	0,8	7,7
ул. Казакова	1,0	9,5	1,0	6,2	1,0	7,2	1,0	8,7
Сухаревская пл.	0,65	6,3	1,2	5,0	1,6	5,7	1,2	5,7
Глебовская ул.	1,5	6,0	1,1	3,0	1,0	4,5	1,3	4,0
Лосинный о-в	1,3	3,3	1,0	3,0	1,0	3,0	1,0	2,7

Значения константы *b* (мг/м³) для нескольких статистических ансамблей приведены в табл. 5. Уравнение второго отрезка стохастической огибающей имеет вид $\mathcal{E}_3 = C_{\max} (C < 6 \text{ мг/м}^3)$.

Приведенные в табл. 6 значения параметра *C*_{max} (мг/м³) обеспечивают вероятность успешного прогноза (непревышения уровня, задаваемого стохастической огибающей) $r > 0,97 \div 0,99$. Подбор стохастических огибающих при вариациях *r* целесообразно осуществлять, главным образом, путем вариаций *C*_{max}. В частности, огибающая, составленная из отрезков прямых 1 и 2 (*C*_{max} = 7 мг/м³), обеспечивает вероятность успешного прогноза верхней границы \mathcal{E}_3 с вероятностью $r_3^{(1)} = 0,99$, а огибающие, в которых вместо отрезка 2 входят отрезки прямых 3 (*C*_{max} = 6 мг/м³) и 4 (*C*_{max} = 5 мг/м³), обеспечивают в рассматриваемых случаях вероятности успешного прогноза $r_3^{(2)} = 0,98$ и $r_3^{(3)} = 0,95$ соответственно.

Для оксидов азота пример корреляционной связи $\mathcal{E}_1 = [\text{NO}_x]_y$ с соответствующей среднесуточной концентрацией $C = [\text{NO}_x]_c$ приведен на рис. 2 (Люблино, 2004). В случае NO_x коэффициенты *K_j* близки к 2,0. При вероятности успешного прогноза $r_1^{(1)} = 0,99$ параметр *C*_{max} = 0,35 мг/м³ (прямая 2 на рис. 2), а при $r_1^{(2)} = 0,95$ (3 на рис. 2) параметр *C*_{max} = 0,25 мг/м³.

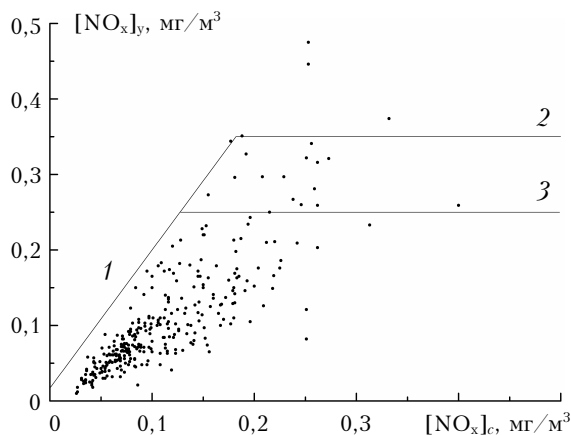


Рис. 2. Корреляция утренних и среднесуточных концентраций оксидов азота по данным измерений на посту в Люблино в 2004 г. Прямолинейные участки огибающих: 1 – общий прямолинейный участок; 2 и 3 – участки огибающих, обеспечивающих вероятности успешного прогноза $r = 0,99$ и $0,95$

Корреляционные диаграммы для других периодов суток и других постов имеют примерно такой же

вид, как и на рис. 2. Следовательно, задача выбора стохастической огибающей для заданного значения *r* при четырехпериодном прогнозе NO_x решается так же, как и в случае угарного газа.

Статистический прогноз внутрисуточной изменчивости разовых концентраций

Как и в предыдущем варианте, при прогнозе внутрисуточной изменчивости разовых или среднесуточных концентраций оксида углерода и оксидов азота в качестве предикторов будем использовать соответствующие среднесуточные (см. выше) концентрации *C_i* (*i* = 1, 2, 3) и «типичный» суточный ход концентрации. Предположим, что прогнозируемый суточный ход с точностью до коэффициента имеет такой же временной ход, как средний суточный $\bar{C}_s(t)$, где *t* – время суток; *s* – номер сезона (1 – весна, 2 – лето, 3 – осень и 4 – зима). Примеры среднего суточного хода концентрации угарного газа на четырех постах для весеннего сезона (*s* = 1) показаны на рис. 3.

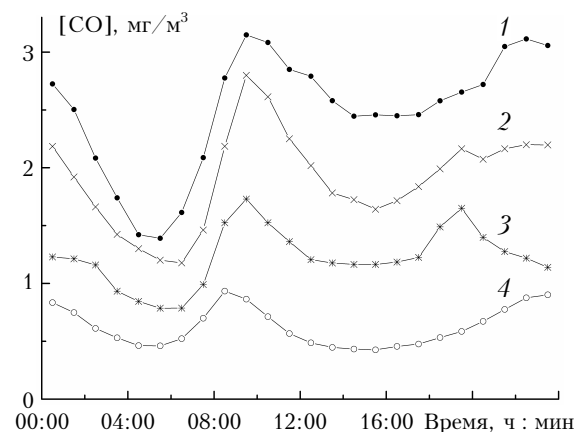


Рис. 3. Средний суточный ход концентрации угарного газа для весеннего сезона в 2004 г. на постах: 1 – МАДИ; 2 – ул. Народного Ополчения; 3 – Балтуг; 4 – пр. Вернадского

Были определены соответствующие стандартные отклонения $\sigma_1(t)$, что позволило также рассчитать коэффициенты вариаций $\gamma_1(t)$ (рис. 4).

Расчеты среднего суточного хода концентраций угарного газа и соответствующих коэффициентов вариаций были выполнены для всех четырех сезонов года и всех постов г. Москвы.

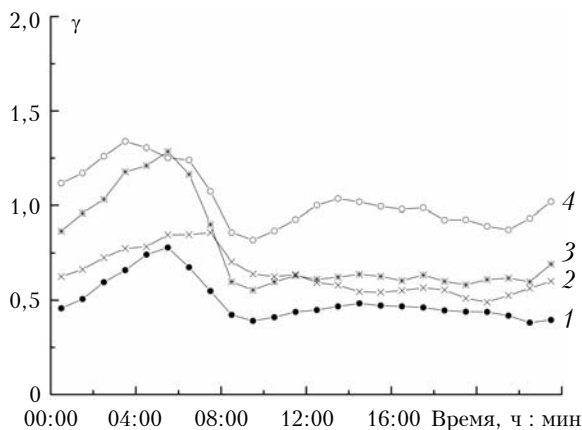


Рис. 4. Средний суточный ход коэффициентов вариаций для угарного газа в весенний сезон (2004 г.) на постах: 1 – МАДИ; 2 – ул. Народного Ополчения; 3 – Балчуг; 4 – пр. Вернадского

Зная средний суточный ход $\bar{C}_s(t)$ и соответствующую ему среднесуточную концентрацию \bar{C}_s , можно рассчитать нормированный суточный ход концентрации

$$\bar{c}_s(t) = \bar{C}_s(t) / \bar{C}_s.$$

Прогнозируемый на 1, 2-е и 3-и сут наиболее вероятный суточный ход $C_{is}^*(t)$, очевидно, будет определяться как соответствующей нормированной функцией $\bar{c}_s(t)$, так и прогнозируемой среднесуточной концентрацией C_i ($i = 1, 2, 3$):

$$C_{is}^*(t) = C_i \bar{c}_s(t).$$

Восстановленный для предшествующих периоду прогноза суток временной ход концентрации определяется формулой

$$C_{0s}(t) = C_0 \bar{c}_s(t).$$

Наблюдаемые внутрисуточные разовые концентрации $C_{is}(t_p)$, где $p = 1, 2, \dots, 72$ – номера последовательно измеряемых в течение суток разовых концентраций с вероятностями r_q^* , где $q = 1, 2, 3, \dots$ – номер в списке заданных вероятностей, будут попадать в диапазоны изменения, определяемые соотношениями

$$C_{0s}(t) + k_{isq}^* \sigma_s(t) > C_{is}(t) > C_{0s}(t) - k_{isq}^* \sigma_s(t),$$

где коэффициенты k_{isq}^* определяются вероятностями r_q^* , а $\sigma_s(t)$ – соответствующие стандартные отклонения ($s = 1, 2, 3, 4$).

Наибольший интерес представляют вероятности недооценки наблюдаемых разовых концентраций r_{ij}^* . Соответствующие значения параметров k_{isq}^* можно определить, анализируя статистику случайных величин $\mathfrak{H}(t_p) = \mathfrak{H}_p = C_p / \sigma_p$ ($p = 1, 2, \dots, 72$).

Ошибки прогноза можно несколько уменьшить, если перейти от разовых к среднечасовым концентрациям. Методика статистического прогноза (кон-

центраций угарного газа) в данном случае остается неизменной.

Что касается методики прогноза внутрисуточной изменчивости концентрации оксидов азота, то она практически не отличается от методики прогноза суточного хода концентрации угарного газа.

В [6] показано, что в Москве средний суточный ход концентрации угарного газа в выходные дни заметно отличается от соответствующего среднего суточного хода в рабочие дни меньшей дисперсией или относительной амплитудой внутрисуточных максимумов и минимумов. Задача учета «календарной» (рабочие/выходные дни) изменчивости осложняется необходимостью учета сезонной изменчивости суточного хода [6].

Следует также иметь в виду, что различия суточного хода концентраций примесей в Москве в рабочие и выходные дни для разных постов весьма разнообразны. Поэтому для прогноза суточного хода концентрации CO и NO_x целесообразно использовать рассчитанные нами конкретные зависимости для рабочих и выходных дней.

Детальный анализ и прогноз внутрисуточной изменчивости разовых концентраций угарного газа и оксидов азота для всех четырех сезонов года носят прикладной характер и далеко выходят за рамки настоящей статьи.

Таким образом, разработаны две методики статистического прогноза внутрисуточной изменчивости концентраций антропогенных примесей в городской атмосфере.

Основные результаты

1. Разработан метод интервального прогноза среднесуточных концентраций угарного газа и оксидов азота. Оценены вероятности успешного прогноза для заданных пороговых концентраций и ошибки прогноза. На примере угарного газа предложен способ учета «календарной» изменчивости (рабочие/выходные дни) среднесуточных концентраций.

2. Рассчитаны условные вероятности превышения заданных порогов среднесуточными концентрациями угарного газа. Оценены возможности «порогового» прогноза среднесуточных концентраций.

3. Проанализированы вариации концентраций угарного газа и оксидов азота для четырех периодов (четырёх сроков) суток (утро, день, вечер, ночь). Предложена методика оценки с заданной вероятностью верхней границы четырехпериодных концентраций.

4. Проанализированы вариации среднего суточного хода концентраций угарного газа и оксидов азота, в том числе для рабочих и выходных дней. Представлены данные, иллюстрирующие внутрисуточную изменчивость коэффициентов вариаций для угарного газа. Разработана методика прогноза внутрисуточной изменчивости разовых (или среднечасовых) концентраций угарного газа и оксидов азота.

В целом разработана основанная на результатах статистического анализа методика краткосрочного (на 3 сут вперед) статистического прогноза

концентраций угарного газа и оксидов азота, включая методику прогноза среднесуточных концентраций указанных примесей и методику прогноза внутрисуточной изменчивости рассматриваемых концентраций.

В работе использованы данные экологического мониторинга ГПУ «Мосэкомониторинг», полученные на городской сети автоматических постов контроля качества атмосферного воздуха.

Авторы выражают благодарность Б.Д. Белану за полезные советы.

Работа выполнена при поддержке Правительства г. Москвы (ППМ № 102-ПП «О целевой среднесрочной экологической программе г. Москвы на 2003–2005 гг.»).

1. *Мониторинг* качества атмосферного воздуха для оценки воздействия на здоровье человека. Копенгаген: Региональные публикации ВОЗ. Европейская сер. № 5. 2001. 293 с.
2. *Берлянд М.Е.* Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 272 с.
3. *Сонькин Л.Р.* Синоптико-статистический анализ и краткосрочный прогноз загрязнения воздуха городов. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 224 с.

4. *Исидоров В.А.* Органическая химия атмосферы. СПб.: Химиздат, 2001. 352 с.
5. *Белан Б.Д.* Тропосферный озон. 6. Компоненты озоновых циклов // Оптика атмосфер. и океана. 2009. Т. 22. № 4. С. 358–370.
6. *Горчаков Г.И., Семутникова Е.Г., Зоткин Е.В., Карпов А.В., Лезина Е.А., Ульяненко А.В.* Вариации газовых компонент загрязнения в воздушном бассейне г. Москвы // Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана. 2006. Т. 42. № 2. С. 176–190.
7. *Горчаков Г.И., Семутникова Е.Г., Аношин Б.А., Карпов А.В., Колесникова А.Б.* Углеводороды в городской атмосфере // Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана. 2009. Т. 45. № 3. С. 337–347.
8. *Аношин Б.А.* Статистический анализ вариаций среднесуточных и максимальных концентраций угарного газа в воздушном бассейне г. Москвы // Оптика атмосфер. и океана. 2008. Т. 21. № 6. С. 546–550.
9. *Бюллетень* о состоянии атмосферного воздуха в городе Москве в 2005 г. М.: Мосэкомониторинг, 2006. 72 с.
10. *Горчаков Г.И., Семутникова Е.Г., Аношин Б.А., Карпов А.В., Колесникова А.Б.* Статистический прогноз загрязнения городской атмосферы. 1. Статистические закономерности межсуточной изменчивости концентраций угарного газа и оксидов азота // Оптика атмосфер. и океана. 2010. Т. 23. № 3. С. 211–217.

G.I. Gorchakov, E.G. Semoutnikova, B.A. Anoshin, A.V. Karpov, A.B. Kolesnikova. Statistical prediction of the urban atmosphere contamination. 2. Forecasting method of the interdiurnal and intradiurnal concentration variability of the carbon monoxide and nitrogen oxides.

Intradiurnal concentration variability of the carbon monoxide and nitrogen oxides has been analyzed. Interdiurnal variability short-term forecasting method of the carbon monoxide and nitrogen oxides concentrations were worked out. Two forecasting methods of the carbon monoxide and nitrogen oxides intradiurnal variability have been worked out.