

Статистический прогноз загрязнения городской атмосферы. 1. Статистические закономерности межсуточной 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.

Выполнен статистический анализ среднесуточных концентраций и приращений среднесуточных концентраций для угарного газа и оксидов азота по данным измерений в г. Москве. Оценены вероятности превышения пороговых концентраций для указанных примесей. Оценено соотношение между концентрациями угарного газа в рабочие и выходные дни.

Ключевые слова: статистический анализ, угарный газ, оксиды азота, среднесуточные концентрации, приращения концентраций; *statistical analysis, carbon monoxide, nitrogen oxides, average daily concentrations, concentration differencies.*

Введение

В настоящее время все более актуальной становится задача прогноза загрязнения воздушных бассейнов мегаполисов [1–3]. Загрязнение воздушных бассейнов городов определяется сложными метеорологическими процессами в пограничном слое атмосферы [1, 4–7], которые до сих пор не контролируются в достаточно полном объеме. Наряду с недостатком информации об источниках загрязнения [8] это обстоятельство существенно затрудняет решение задачи прогноза загрязнения городской атмосферы численными методами [9].

В г. Москве функционирует сеть автоматических постов контроля качества атмосферного воздуха, на которых непрерывно измеряются (время осреднения 20 мин) концентрации угарного газа, оксида и диоксида азота, озона, а также суммарные концентрации углеводородов и некоторых других газовых компонентов загрязнения атмосферного воздуха [10]. Анализ данных измерений позволил установить некоторые статистические закономерности изменчивости концентраций указанных газовых примесей [11, 12] в воздушном бассейне г. Москвы.

Однако опубликованные результаты исследований статистических закономерностей изменчивости недостаточны для решения прогностических задач. Поэтому в настоящей статье в связи с необходимостью разработки методики краткосрочного прогноза (на 3 сут вперед) загрязнения воздушного бассейна г. Москвы проанализированы вариации приращений среднесуточных концентраций двух сравнительно консервативных примесей: угарного газа СО и оксидов азота NO_x (сумма концентраций оксида NO и диоксида азота NO₂).

Статистические закономерности изменчивости среднесуточных концентраций газовых компонентов загрязнения

Статистические характеристики вариаций среднесуточных концентраций угарного газа

В работе [11] проанализированы вариации разовых (20-минутных средних) концентраций угарного газа [СО]. Были рассчитаны среднегодовые концентрации $\bar{C} = [\overline{CO}]$, отклонения от среднегодовых концентраций $c_i = C_i - \bar{C}$, где i – номер измерения, стандартные отклонения σ_p , а также коэффициенты вариаций $\gamma_p = \sigma_p / \bar{C}$ и параметры асимметрии и эксцесса [13, 14]:

* 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).

$$A_p = k^{-1} \sigma_p^{-3} \sum_i c_i^3 \text{ и } E_p = -3 + k^{-1} \sigma_p^{-4} \sum_i c_i^4,$$

где k — число реализаций в анализируемых массивах (статистических ансамблях) наблюдательных данных.

При прогнозе межсуточной изменчивости необходимо иметь представление о вариациях среднесуточных концентраций угарного газа $[CO]_c$. Статистические характеристики вариаций среднесуточной концентрации вычисляются по таким же формулам, как и для разовой концентрации. Примеры статистических характеристик σ_c , γ_c , A_c и E_c , рассчитанных по данным измерений в г. Москве на 5 разных постах в 2003, 2004 и 2006 гг., приведены в [15]. С учетом результатов дополнительных расчетов выяснилось, что стандартные отклонения σ_p в среднем примерно на 40% превышают соответствующие стандартные отклонения σ_c , что проявляется в отличиях значений γ_p от соответствующих значений γ_c . Параметры асимметрии A_p , как правило, на 40–60% больше параметров A_c , а параметры эксцесса E_p могут в несколько раз (от 2 до 8) превышать соответствующие параметры E_c .

Вероятности превышения ПДК_{сс} для угарного газа

Согласно данным [15] для угарного газа в г. Москве на некоторых постах сравнительно часто наблюдаются превышения предельно допустимой среднесуточной концентрации ПДК_{сс} = 3 мг/м³. В частности, в 2004 г. вероятность превышения ПДК_{сс} составила 21% на посту МАДИ (Ленинградский проспект) и 8% на ул. Народного Ополчения. С вероятностью меньше 1% на 4 постах наблюдались превышения 2ПДК_{сс} = 6 мг/м³. При разработке методов прогноза необходимо знать, в какой мере скоррелированы превышения ПДК_{сс} для СО на разных постах.

Оценка коррелированности превышений ПДК_{сс} для угарного газа на разных постах

О характере изменчивости среднесуточных концентраций СО в г. Москве в периоды повышенного загрязнения атмосферного воздуха можно судить по рис. 1, на котором показана временная изменчивость среднесуточных концентраций угарного газа на Переяславской ул., на посту МАДИ (Ленинградский проспект) и на ул. Казакова. Прямая 4 соответствует предельно допустимой среднесуточной концентрации угарного газа ПДК_{сс} = 3 мг/м³.

Несмотря на близкие по уровню среднегодовые концентрации угарного газа на посту МАДИ (2,23 мг/м³), на Переяславской ул. (2,26 мг/м³) и на ул. Казакова (1,95 мг/м³), их средние значения за рассматриваемый период времени оказались существенно различными, а вариации среднесуточных концентраций СО на указанных постах слабо коррелировали друг с другом.

Статистически обеспеченные выводы о степени коррелированности превышений ПДК_{сс} на разных

постах можно сделать, анализируя большие массивы данных мониторинга. На рис. 2 показана корреляционная диаграмма, построенная по данным измерений среднесуточных концентраций СО в 2002 и 2003 гг. на постах Балчуг и МАДИ. Прямые $C_B = C_B^* = 3$ мг/м³ и $C_M = C_M^* = 3$ мг/м³ выделяют 4 области изменения концентраций $[CO]_c$.

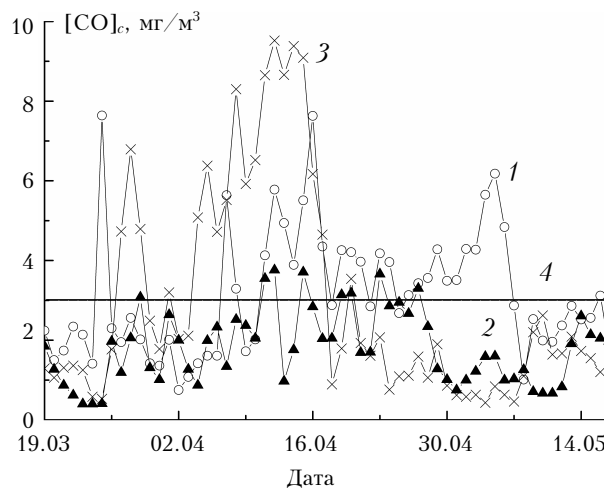


Рис. 1. Временная изменчивость среднесуточных концентраций угарного газа в период с 19.03 по 14.05.2002 г. на Переяславской ул. (1), на Ленинградском проспекте (2) и на ул. Казакова (3). Прямая 4 — ПДК_{сс} для угарного газа

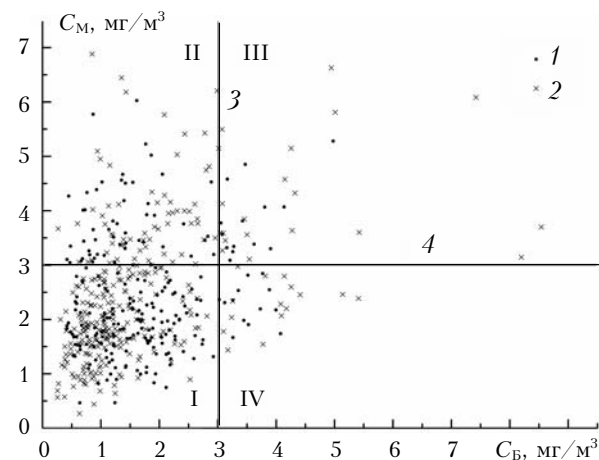


Рис. 2. Корреляция среднесуточных концентраций угарного газа на постах Балчуг (C_B) и МАДИ (C_M) по данным измерений в 2002 (1) и 2003 гг. (2): прямая 3 — $C_B = 3$ мг/м³ и 4 — $C_M = 3$ мг/м³. I, II, III и IV — выделенные области изменения C_B и C_M

В квадрат I попадают случаи, когда на обоих постах $[CO]_c$ не превышает ПДК_{сс} (вероятность попадания в этот квадрат P_1). В 2002 г. вероятность P_1 в рассматриваемом случае была равна 65%, а в 2003 г. — 68%. Вероятность P_2 (область II на рис. 2) превышения ПДК_{сс} для СО только на посту МАДИ в 2002 г. составляла 23% и в 2003 г. — 20%. На посту Балчуг вероятность P_4 (область IV) превышения ПДК_{сс}, при условии не превышения

этой нормы на посту МАДИ, в 2002 г. оказалась равной 6, а в 2003 г. – 5%. Что касается вероятности P_3 (область III на рис. 2) одновременного превышения ПДК_{сс} для СО на обоих указанных постах, то в 2002 г. она составила 6% и в 2003 г. – 7%. Отсюда следует, что для пары постов МАДИ – Балчуг в 2002–2003 гг. доля совместных превышений ПДК_{сс} для СО $\delta_{CO} = P_3(1 - P_1)^{-1}$ составила 0,14 и 0,22 соответственно, что заметно меньше единицы.

Далее было выбрано несколько пар постов, и для периода времени с 2002 по 2005 г. проанализированы соотношения между вероятностями P_1 , P_2 , P_3 и P_4 (табл. 1). Согласно данным, приведенным в табл. 1, δ_{CO} варьирует в пределах примерно от 0,1 до 0,4 (в среднем 0,2).

Из полученных результатов следует, что по наблюдаемому превышению ПДК_{сс} на одном посту нельзя предсказать с достаточно высокой вероятностью факты превышения ПДК_{сс} для [СО] на других постах. Поэтому целесообразно прогнозировать среднесуточные концентрации угарного газа для разных районов города независимо друг от друга.

Статистические характеристики разностей среднесуточных концентраций угарного газа

Возможности статистического прогноза [СО]_c на сутки вперед определяются статистическими зако-

номерностями изменчивости разности Δ_1 между измеренными среднесуточными концентрациями СО в следующие друг за другом сутки:

$$\Delta_1 = [\text{CO}]_c^{(1)} - [\text{CO}]_c^{(0)} = C_1 - C_0, \quad (1)$$

где C_0 – концентрация угарного газа за предшествующие сутки является предиктором прогноза.

В связи с необходимостью статистического прогноза загрязнения городской атмосферы угарным газом на 3 сут вперед введем также разности $\Delta_2 = C_2 - C_0$ и $\Delta_3 = C_3 - C_0$, где C_2 – среднесуточная концентрация угарного газа через сутки после исходных (реперных) суток, характеризуемых концентрацией C_0 , а C_3 – среднесуточная концентрация через 2 сут после реперных. В табл. 2 для периода 2002–2006 гг. и нескольких постов приведены стандартные отклонения σ_1 , σ_2 и σ_3 для разностей (приращений) Δ_1 , Δ_2 и Δ_3 и соответствующие значения A_1 , A_2 и A_3 параметра асимметрии.

Для сравнения в табл. 2 даны стандартные отклонения σ_c для вариаций среднесуточных концентраций угарного газа. Пример эмпирической функции распределения (ЭФР) для Δ_1 , построенной по данным измерений за 6-летний период (2002–2007 гг.) на посту МАДИ, показан на рис. 3.

Аналогичный вид имеют ЭФР для Δ_2 и Δ_3 . Из табл. 2 следует, что σ_1 составляет примерно 0,6–1,0 от σ_c (в среднем 0,81); σ_2 примерно 0,80–1,25 от σ_c (в среднем 0,99) и σ_3 – 0,8–1,3 от σ_c (в среднем 1,13).

Таблица 1
Вероятности превышения предельно допустимых среднесуточных концентраций угарного газа, %

Год	Пост	P_1	P_2	P_3	P_4
2002	МАДИ – Переяславская ул.	68	16	6	10
2002	МАДИ – ул. Казакова	72	18	4	6
2002	ул. Казакова – Переяславская ул.	79	5	5	11
2002	Марьино – Шаболовка	84	6	4	6
2003	МАДИ – Балчуг	68	20	7	5
2003	МАДИ – Марьино	60	17	10	13
2003	Балчуг – Сухаревская пл.	80	8	4	8
2004	Вешняки – ул. Народного Ополчения	87	3	5	5
2005	Бирюлево – ул. Народного Ополчения	87	7	1	5
2005	МАДИ – Балчуг	88	10	2	0

Таблица 2
Стандартные отклонения (мг/м³) и параметры асимметрии для приращений среднесуточных концентраций угарного газа

Год	Пост	σ_c	σ_i			A_i		
			Δ_1	Δ_2	Δ_3	Δ_1	Δ_2	Δ_3
2002	МАДИ	0,91	0,83	1,09	1,11	0,11	-0,08	-0,19
2002	Переяславская ул.	1,20	1,04	1,24	1,30	-0,13	0,25	0,10
2002	ул. Казакова	1,36	0,85	1,11	1,25	0,15	-0,06	0,61
2002	Балчуг	0,91	0,83	1,09	1,11	0,11	-0,07	-0,19
2003	МАДИ	1,22	1,08	1,30	1,38	0,17	0,24	0,50
2003	Марьино	1,41	0,77	1,15	1,36	0,49	0,81	0,76
2003	Балчуг	1,19	0,96	1,25	1,36	-0,59	-0,59	-0,62
2004	Бирюлево	0,66	0,51	0,63	0,68	0,34	0,31	-0,07
2004	ул. Народного Ополчения	0,85	0,83	1,06	1,12	-0,04	-0,01	0,15
2005	Бирюлево	1,00	0,75	1,00	1,05	0,38	0,61	-0,64
2005	Вешняки	1,03	0,84	1,27	1,34	-0,18	0,21	0,29
2006	Полярная	0,66	0,67	0,84	0,87	0,15	0,18	-0,18

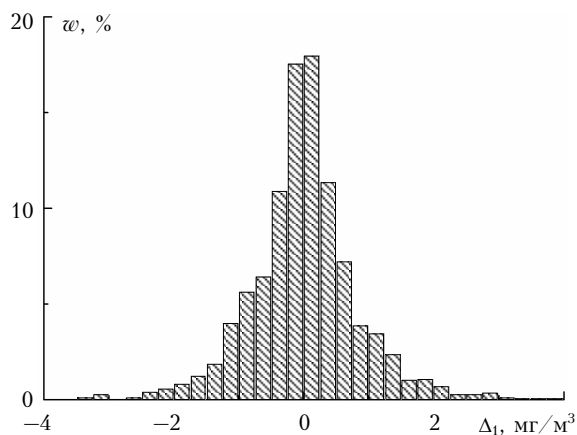


Рис. 3. Эмпирическая функция распределения разности среднесуточных концентраций угарного газа Δ_1 по данным измерений на посту МАДИ в 2002–2007 гг.

Таким образом, стандартное отклонение σ_c может служить мерой изменчивости приращений Δ_1 , Δ_2 и Δ_3 . Отметим, что отношение σ_2/σ_1 в среднем равно 1,23, а σ_3/σ_1 соответственно равно 1,40. Полученные нами статистические характеристики приращений позволяют оценить возможности прогноза среднесуточных концентраций угарного газа на 3 сут вперед.

Вероятности превышения заданных порогов для приращений среднесуточных концентраций угарного газа

Для статистического прогноза принципиальное значение имеет статистика больших отклонений концентраций и их приращений. В связи с этим обстоятельством были рассчитаны вероятности превышения (по модулю) приращениями Δ_1 , Δ_2 и Δ_3 заданных порогов от 1,0 до 4,0 мг/м³ (через 0,5 мг/м³).

В табл. 3 для некоторых постов с повышенным уровнем загрязнения приведены примеры результатов расчетов указанных вероятностей. В частности, на посту МАДИ вероятность наблюдения значений Δ_1 , Δ_2 и Δ_3 , превышающих 2,5 мг/м³, меньше 10%, а в Бирюлево вероятность наблюдения значений Δ_1 и Δ_2 , превышающих 1,5 мг/м³, тоже меньше 10%. Вероятности

Таблица 3

Вероятности превышения (%) заданных пороговых значений (мг/м³) приращениями Δ_1 , Δ_2 , Δ_3 среднесуточных концентраций угарного газа

Год	Пост	Δ	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
2002	Балчуг	Δ_1	21	7,9	2,2	0,9	0	0	0
		Δ_2	33	15	8,2	2,3	0,9	0	0
		Δ_3	33	16	8,4	2,8	1,4	0	0
2003	МАДИ	Δ_1	31	14	6,0	2,7	2,0	0,7	0,6
		Δ_2	41	23	13	5,4	2,4	1,0	0,7
		Δ_3	42	25	15	6,6	3,5	1,1	1,0
2003	Марьино	Δ_1	16	7,0	2,7	0,9	0,6	0	0
		Δ_2	28	15	9,0	4,6	2,8	1,2	0,6
2004	Люблино	Δ_1	17	6,4	2,9	2,3	1,1	0,6	0,3
		Δ_2	23	12	5,2	2,9	1,2	0,6	0,3
2005	Бирюлево	Δ_1	9,3	5,7	3,0	1,5	1,2	0,6	0,5
		Δ_2	15	7,0	4,9	3,4	2,1	1,8	1,5

наблюдения значений Δ_1 , Δ_2 и Δ_3 , превышающих по модулю 1,5 мг/м³, оказались на уровне 5–25% для постов с повышенными концентрациями СО (табл. 3).

Зная вероятности превышения для Δ_1 , Δ_2 и Δ_3 , нетрудно оценить вероятности ошибочного прогноза среднесуточных концентраций СО при заданных допустимых диапазонах изменения $[\text{CO}]_c$.

О корреляционных связях между концентрациями СО и NO_x

При разработке методики статистического прогноза необходимо знать характер статистических связей между концентрациями различных компонентов загрязнения атмосферного воздуха. В данной статье ограничимся оценкой статистических связей между среднесуточными концентрациями СО и NO_x.

В качестве примера на рис. 4 представлена корреляционная диаграмма для $[\text{NO}_x]_c$ и $[\text{CO}]_c$, построенная по данным измерений в Люблино в 2004 (точки 1) и в 2005 гг. (крестики 2). Прямые 3 и 4 на рис. 4 соответствуют значениям коэффициента η^* в уравнении $[\text{NO}_x]_c = \eta^* [\text{CO}]_c$, равным 0,04 и 0,20.

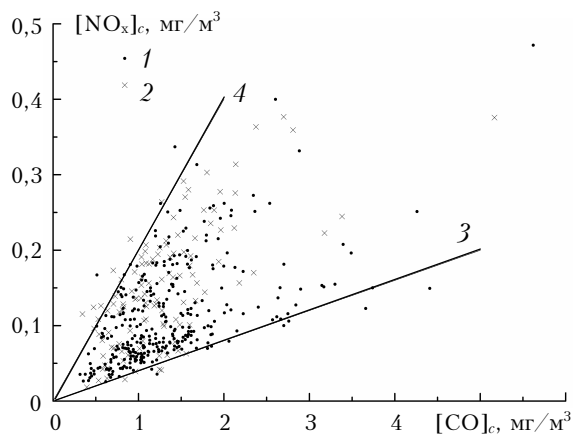


Рис. 4. Корреляция среднесуточных концентраций оксидов азота и угарного газа по данным измерений в Люблино в 2004 (1) и 2005 гг. (2). Прямые 3 и 4 соответствуют отношениям концентраций оксидов азота и угарного газа 0,04 (3) и 0,20 (4)

Видно, что в рассматриваемом случае параметр η^* или отношение среднесуточных концентраций NO_x и СО меняются в широких пределах, что свидетельствует о нецелесообразности восстановления среднесуточных концентраций NO_x по данным измерений концентрации СО. Этот вывод подтверждается многочисленными примерами для других постов. Поэтому далее задачи прогноза среднесуточных концентраций СО и NO_x решаются независимо.

Статистические характеристики вариаций среднесуточных концентраций NO_x

Их необходимо знать в связи с задачей статистического прогноза. В табл. 4 приведены значения $[\text{NO}_x]_c$, σ_c , γ_c , A_c и E_c вариаций $[\text{NO}_x]_c$ для нескольких постов, рассчитанные по данным измерений

Таблица 4

Статистические характеристики вариаций среднесуточных концентраций NO_x

Год	Пост	$[\overline{\text{NO}_x}]$	σ_c	γ_c	A_c	E_c
		мг/м ³				
2004	Люблино	0,115	0,071	0,62	2,23	9,42
2004	ул. Народного Ополчения	0,126	0,106	0,83	2,64	11,2
2004	пр. Вернадского	0,056	0,040	0,72	2,42	7,23
2005	Балчуг	0,089	0,063	0,70	4,82	31,0
2005	ул. Народного Ополчения	0,210	0,194	0,92	3,04	12,8
2005	пр. Вернадского	0,089	0,057	0,64	1,31	1,53
2006	Балчуг	0,14	0,059	0,52	2,46	10,2
2006	Коптевский бульвар	0,103	0,086	0,84	2,38	6,17

Таблица 5

Вероятности превышения уровня 0,18 мг/м³ среднесуточными концентрациями NO_x

Год	Пост	P_1	P_2	P_3	P_4
2004	ул. Народного Ополчения – Люблино	71,7	12,8	10,4	5,1
2004	Люблино – Коптевский бульвар	78,5	8,5	7,0	6,0
2005	ул. Народного ополчения – Люблино	37,5	29,2	13,5	19,8
2005	Люблино – пр. Вернадского	41,2	31,7	1,6	7,9
2006	ул. Народного Ополчения – пр. Вернадского	62,7	22,6	10,7	4,0
2006	пр. Вернадского – Коптевский бульвар	81,0	6,4	8,3	4,3
2006	Коптевский бульвар – Балчуг	85,4	7,0	5,6	2,0

в 2004–2006 гг. Согласно предварительным оценкам концентрация NO_x в среднем в 10–20 раз меньше концентрации CO для разных постов. Коэффициенты вариаций γ_c для NO_x меняются в пределах от 0,60 до 0,90. Среднее значение $\gamma_c = 0,65$ близко к соответствующему среднему для CO (0,63). Параметры асимметрии A_c и параметры E_c для NO_x по порядку величины близки к соответствующим параметрам для CO , что свидетельствует примерно об одинаковых возможностях статистического прогноза среднесуточных концентраций CO и NO_x .

Оценка вероятностей превышения пороговой концентрации для $[\text{NO}_x]_c$

Критерии для среднесуточных концентраций NO_x в настоящее время отсутствуют (о критериях для разовых концентраций NO_x см. [1]). Поэтому для оценки вариаций $[\text{NO}_x]_c$ воспользуемся значением ПДК_{сс} для NO (60 мкг/м³) и кратными величинами. В качестве примера рассмотрим вероятности P_1 , P_2 , P_3 и P_4 для некоторых пар постов (табл. 5) для пороговых условий $C_1^* = C_2^* = 3\text{ПДК}_{\text{сс}} = 180 \text{ мкг/м}^3$.

Напомним, что вероятности превышения пороговой концентрации для первого поста определяются суммой $P_2 + P_3$, а для второго поста – суммой $P_3 + P_4$. Нетрудно видеть, что рассматриваемая ситуация для NO_x качественно напоминает проанализированные выше ситуации с превышениями ПДК_{сс} для CO .

Видно, что, как и для CO , статистический прогноз $[\text{NO}_x]_c$ целесообразно осуществлять независимо для разных постов.

Статистический анализ вариаций приращений среднесуточных концентраций NO_x

Рассчитаны статистические характеристики вариаций приращений среднесуточных концентраций

оксидов азота. В табл. 6 приведены примеры результатов расчетов стандартных отклонений σ_1 , σ_2 и σ_3 для приращений среднесуточных концентраций NO_x Δ_1 , Δ_2 и Δ_3 , а также стандартных отклонений σ_c для соответствующих среднесуточных концентраций.

Таблица 6

Стандартные отклонения для приращений среднесуточных концентраций NO_x

Год	Пост	σ_c , мкг/м ³	σ_i , мкг/м ³		
			Δ_1	Δ_2	Δ_3
2004	пр. Вернадского	40	41	50	53
2004	ул. Народного Ополчения	106	105	128	138
2005	Люблино	80	71	94	105
2005	ул. Народного Ополчения	194	153	219	243
2006	Вешняки	94	84	108	109
2006	Балчуг	59	60	72	78
2006	ул. Народного Ополчения	181	155	175	175

Как оказалось, стандартное отклонение σ_1 в среднем составляет $0,89\sigma_c$, а $\sigma_2 = 1,34\sigma_c$.

Вероятности превышения заданных порогов для приращений среднесуточных концентраций NO_x

Знание этих вероятностей необходимо при прогнозе среднесуточных концентраций оксидов азота. Результаты оценки вероятностей превышения (по модулю) пороговых концентраций 120, 240, 360, 480 и 600 мкг/м³ приращениями Δ_1 , Δ_2 и Δ_3 среднесуточных концентраций NO_x для нескольких постов в 2004–2006 гг. приведены в табл. 7.

Видно, что вероятность превышения порога 120 мкг/м³ для приращения Δ_1 составляет примерно от 2 до 30%, а для Δ_2 – от 5 до 35%. Соответствующие вероятности для Δ_3 и Δ_2 близки. Вероятность превышения порога 240 мкг/м³ для всех постов, кроме поста на ул. Народного Ополчения, не больше 5%.

Таблица 7

Вероятности превышения (%) заданных пороговых значений (мкг/м³) приращениями Δ_1 , Δ_2 , Δ_3 среднесуточных концентраций NO_x

Год	Пост	Δ	Пороги, мкг/м ³				
			120	240	360	480	600
2004	Коптевский бульвар	Δ_1	9,5	3,7	1,9	0,9	0
		Δ_2	15,8	4,0	2,5	1,2	0,6
		Δ_3	18,9	4,1	2,5	2,2	0,6
2004	ул. Народного Ополчения	Δ_1	14,6	3,7	2,1	0,6	0,3
		Δ_2	21,9	5,5	2,8	1,2	0,6
		Δ_3	23,6	6,2	3,1	2,9	1,2
2005	Балчуг	Δ_1	2,3	0,3	0	0	0
		Δ_2	4,8	2,1	1,2	0	0
2005	Люблино	Δ_1	8,8	0,9	0	0	0
		Δ_2	19,8	1,8	0	0	0
2005	ул. Народного Ополчения	Δ_1	27,7	7,6	3,6	2,2	1,4
		Δ_2	34,3	13,3	7,0	4,1	2,6
2006	Вешняки	Δ_1	9,7	3,1	1,3	0	0
		Δ_2	16,5	5,4	1,6	0,6	0

Вероятности превышения более высоких пороговых концентраций для Δ_1 , Δ_2 и Δ_3 на всех постах сравнительно невелики.

Результаты статистического анализа свидетельствуют о сходстве статистических закономерностей изменчивости среднесуточных концентраций угарного газа и оксидов азота. Полученные нами статистические закономерности позволяют решать задачу статистического прогноза среднесуточных концентраций СО и NO_x.

Соотношение между концентрациями угарного газа в рабочие и выходные дни

Среднесуточные концентрации антропогенных примесей в приземном слое городской атмосферы в рабочие и выходные дни могут заметно различаться [11], что необходимо учитывать при разработке методик прогноза загрязнения атмосферного воздуха. Нами были выполнены расчеты указанных концентраций СО по данным измерений в 2003–2004 гг. на 22 постах в г. Москве. Было получено соотношение регрессии

$$[\overline{\text{CO}}]^{**} = K_w [\overline{\text{CO}}]^*, \quad (2)$$

где коэффициент $K_w = 0,875$; $[\overline{\text{CO}}]^*$ – средняя концентрация оксида углерода в рабочие дни, $[\overline{\text{CO}}]^{**}$ – в выходные дни. Для отдельных реализаций коэффициент K_w меняется в пределах от 0,75 до 1,00.

Аналогичная закономерность имеет место и для суммарной концентрации оксидов азота NO_x.

Заключение

1. Проанализированы вариации среднесуточных концентраций угарного газа и оксидов азота в воздушном бассейне г. Москвы. Оценены соотношения между статистическими характеристиками среднесуточных и разовых концентраций указанных примесей.

2. Рассчитаны вероятности превышения ПДК_{сс} для угарного газа и заданных порогов для среднесуточных концентраций оксидов азота. Показано, что вероятности превышения ПДК_{сс} для угарного газа одновременно на двух постах в среднем в 5 раз меньше соответствующей вероятности превышения ПДК_{сс} хотя бы на одном из двух рассматриваемых постов.

3. Рассчитаны статистические характеристики вариаций приращений среднесуточных концентраций угарного газа и оксидов азота. Определены вероятности превышения заданных порогов для приращений среднесуточных концентраций указанных примесей. Оценены отношения между стандартными отклонениями среднесуточных концентраций и их приращений.

4. Получена оценка средних концентраций угарного газа в выходные и рабочие дни.

Описанные в настоящей статье статистические закономерности изменчивости концентраций могут быть положены в основу разработки методики краткосрочного прогноза (на 3 сут вперед) среднесуточных концентраций угарного газа и оксидов азота.

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

Авторы благодарят Б.Д. Белана 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. Берлянд М.Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 272 с.
2. Сонькин Л.Р. Синоптико-статистический анализ и краткосрочный прогноз загрязнения воздуха городов. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 227 с.
3. Мониторинг качества атмосферного воздуха для оценки воздействия на здоровье человека. Копенгаген: Ре-

- циональные публикации ВОЗ. Европейская сер. № 5. 2001. 293 с.
4. *Каллистратова М.А., Кузнецов Р.Д., Кузнецов Д.Д.* Влияние низкоуровневых струйных течений на ближний перенос атмосферных примесей: Тезисы докл. // XII Междунар. конф. молодых ученых «Состав атмосферы. Атмосферное электричество. Климатические процессы». Борок, май, 2008. М.: Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта, 2008. С. 72–73.
 5. *Кадыров Е.Н., Кузнецова Н.Н., Голицын Г.С.* Остров тепла в пограничном слое атмосферы над большим городом: новые результаты на основе дистанционных данных // Докл. РАН. 2002. Т. 385. № 4. С. 541–548.
 6. *Гончаров В.П.* Циркуляционные режимы переноса в циркулярно-вихревой модели уличного каньона // Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана. 1995. Т. 31. № 2. С. 205–210.
 7. *Курбацкий А.Ф., Курбацкая Л.И.* Трехпараметрическая модель турбулентности для атмосферного пограничного слоя над урбанизированной поверхностью // Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана. 2006. Т. 42. № 4. С. 476–494.
 8. *Уорк К., Уорнер С.* Загрязнение воздуха. Источники и контроль. М.: Мир, 1980. 540 с.
 9. *Пененко В.В., Алоян А.Е.* Модели и методы для задач охраны окружающей среды. Новосибирск: Наука, 1985. 256 с.
 10. *Бюллетень* о состоянии атмосферного воздуха в городе Москве в 2005 г. М.: Мосэкомониторинг, 2006. 72 с.
 11. *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.
 12. *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.
 13. *Смирнов Н.В., Душин-Барковский И.В.* Краткий курс математической статистики для технических приложений. М.: Физматгиз, 1959. 264 с.
 14. *Малинин В.Н.* Статистические методы анализа гидрометеорологической информации. СПб.: РГГМУ, 2008. 408 с.
 15. *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.

G.I. Gorchakov, E.G. Semoutnikova, B.A. Anoshin, A.V. Karpov, A.B. Kolesnikova. **Statistical prediction of the urban atmosphere contamination. 1. Statistical regularities of interdiurnal variability of the carbon monoxide and nitrogen oxides concentrations.**

Statistical analysis of average daily concentrations and their differences for carbon monoxide and nitrogen oxides with observational data in Moscow has been carried out. Exceeding probabilities of threshold concentrations of the abovementioned impurities were determined. The relation between carbon monoxides concentrations at the working days and at the weekends has been evaluated.