

Б.А. Аношин

## Статистический анализ вариаций среднесуточных и максимальных концентраций угарного газа в воздушном бассейне г. Москвы

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, г. Москва

Поступила в редакцию 2.02.2008 г.

Проанализированы вариации среднесуточных и максимальных разовых концентраций угарного газа в г. Москве. Изучена внутрисуточная изменчивость максимальных разовых концентраций, и предложена методика их восстановления.

### Введение

Экологическая обстановка в приземном слое городской атмосферы определяется статистикой превышений определенных уровней и, в частности, «предельно допустимых» среднесуточных и максимальных разовых концентраций вредных примесей (ПДК<sub>сс</sub> и ПДК<sub>мр</sub>), включая угарный газ, или оксид углерода СО [1, 2]. Однако закономерности изменчивости среднесуточных и максимальных разовых концентраций до сих пор недостаточно изучены.

В данной статье проанализированы результаты измерений максимальных разовых ( $N^M$ ) и среднесуточных ( $N^c$ ) концентраций угарного газа в г. Москве на сети автоматических постов контроля качества атмосферного воздуха [3–5] в 2002–2006 гг. Максимальные разовые концентрации СО определяются каждые сутки и сопоставляются с соответствующими среднесуточными концентрациями.

### Методика измерений и аппаратура

В настоящее время в г. Москве функционируют более 30 автоматических постов контроля качества атмосферного воздуха [5]. Концентрация угарного газа измеряется на большинстве постов. Для мониторинга угарного газа в настоящее время используются газоанализаторы К-100 фирмы «ОПТЭК» (г. Санкт-Петербург) и ML-9830 фирмы «Monitor

Labs» (Франция) [3]. Газоанализаторы ML-9830 имеют погрешность единичного измерения  $\pm 0,25$  мг/м<sup>3</sup> при времени осреднения 20 с. Случайная погрешность измерения концентрации СО заметно снижается благодаря последующему осреднению за периоды времени 20 мин. Осредненные результаты измерений автоматически записываются в базу данных ГПУ «Мосэкомониторинг» [4, 5].

### Вариации среднесуточных концентраций угарного газа

По данным измерений разовых концентраций угарного газа в 2002–2006 гг. были рассчитаны его среднесуточные концентрации  $N^c$  и выполнен статистический анализ вариаций  $N^c$ . В табл. 1 для некоторых постов приведены среднегодовые величины  $\bar{N}^c$  и соответствующие стандартные отклонения [6]:

$$\sigma^c = \sqrt{(k-1)^{-1} \sum_i (n_i^c)^2},$$

где  $n_i^c = N_i^c - \bar{N}^c$  — отклонение среднесуточных концентраций  $N_i^c$  от средних величин  $\bar{N}^c$ ,  $i$  — текущий номер суток ( $i = 1, 2, \dots, k$ ) и  $k$  — число суток, охваченных измерениями.

Таблица 1

Статистические характеристики вариаций среднесуточных концентраций угарного газа в г. Москве

Год	Пост	$\bar{N}^c$	$\sigma^c$	$\gamma^c$	$A^c$	$E^c$
		мг/м <sup>3</sup>				
2003	МАДИ	2,47	1,24	0,50	0,92	0,94
2003	Люблино	1,40	0,75	0,54	2,09	6,88
2003	Бирюлево	1,05	0,54	0,52	2,42	10,70
2004	Люблино	1,35	0,71	0,53	1,90	5,74
2004	пр. Вернадского	0,68	0,43	0,63	2,93	11,10
2006	пр. Вернадского	0,64	0,41	0,64	2,20	6,95
2006	ул. Чайнова	0,82	0,44	0,54	1,98	6,90

Кроме того, в табл. 1 приведены значения коэффициентов вариаций  $\gamma^c = \sigma^c / \bar{N}^c$ , параметров асимметрии  $A^c = (k^c)^{-1}(\sigma^c)^{-3} \sum_i (n_i^c)^3$  и эксцесса  $E^c = -3 + (k^c)^{-1}(\sigma^c)^{-4} \sum_i (n_i^c)^4$ , где  $k^c$  – число суток [6].

Коэффициенты вариаций  $\gamma^c$  заметно меньше соответствующих коэффициентов вариаций  $\gamma$  для разовых концентраций [3]. В 2003 г. на посту МАДИ параметр  $\gamma$  на 40% превышал параметр  $\gamma^c$ , а на посту Бирюлево – на 60%. Асимметрия и эксцесс эмпирических функций распределения (ЭФР) для среднесуточных концентраций, как правило, существенно меньше соответствующих величин для ЭФР разовых концентраций [3].

Указанные соотношения обусловлены осреднением данных при переходе от разовых к среднесуточным концентрациям. Приведенные примеры характерны для всего периода измерений, в том числе для 2002 г., когда наблюдалось задымление городской атмосферы [7, 8]. Заметная асимметрия и большой эксцесс распределений  $N^c$  говорят о том, что соответствующие эмпирические функции распределения следует аппроксимировать не гауссовыми, а логнормальными распределениями [6]. На рис. 1 в качестве примера приведена ЭФР  $N^c$ , построенная по данным измерений на посту Шаболовка в 2003 г.

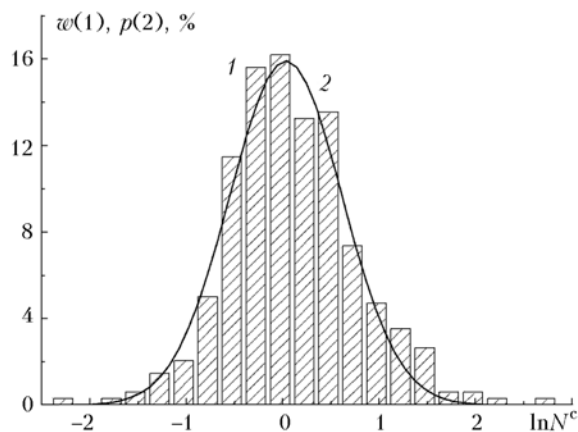


Рис. 1. Эмпирическая функция распределения  $w$  среднесуточных концентраций угарного газа (1) по данным измерений на посту Шаболовка в 2003 г. и аппроксимирующее логнормальное распределение  $p$  (2)

Она с удовлетворительной точностью аппроксимируется функцией

$$p(\ln N^c) \cong 1,7 \exp[-1,45(\ln N^c - 0,03)^2].$$

Для угарного газа предельно допустимая среднесуточная концентрация равна  $3 \text{ мг/м}^3$ . Были выполнены расчеты вероятностей превышений ПДК<sub>сс</sub>, 2 ПДК<sub>сс</sub> ( $6 \text{ мг/м}^3$ ) и 3 ПДК<sub>сс</sub> ( $9 \text{ мг/м}^3$ ). Некоторые результаты расчетов указанных вероятностей приведены в табл. 2.

Таблица 2  
Вероятности превышений (%) предельно допустимой среднесуточной концентрации ( $3 \text{ мг/м}^3$ ) и кратных ей уровней угарного газа по данным измерений в г. Москве в 2004 г.

Пост	ПДК <sub>сс</sub>	2 ПДК <sub>сс</sub>	3 ПДК <sub>сс</sub>
МАДИ	21,0	–	–
Вешняки	7,6	0,3	–
Люблино	3,5	–	–
ул. Казакова	3,1	0,9	0,3
ул. Толбухина	2,0	–	–
пр. Вернадского	0,3	–	–

Наибольшая вероятность превышения ПДК<sub>сс</sub> для угарного газа (21%) в 2004 г. была достигнута на посту МАДИ (Ленинградский пр.). Сравнительно большая вероятность превышения ПДК<sub>сс</sub> (7,6%) наблюдалась также на посту Вешняки. На большинстве постов указанная вероятность не превышала 3–4%. На пр. Вернадского вероятность превышения ПДК<sub>сс</sub> составила примерно 0,3% (1 сут). Уровень 2 ПДК<sub>сс</sub> =  $6 \text{ мг/м}^3$  в 2004 г. один раз был превышен на посту Вешняки и три раза на ул. Казакова, а уровень 3 ПДК<sub>сс</sub> =  $9 \text{ мг/м}^3$  – только один раз также на ул. Казакова.

### Вариации максимальных разовых концентраций угарного газа

Для каждых суток были определены наибольшие разовые (20-минутные средние) концентрации [9]. Статистические характеристики вариаций максимальной разовой концентрации для некоторых случаев приведены в табл. 3. Как и следовало ожидать, средние (для периода 1 год) значения указанной концентрации заметно превышают соответствующие средние для среднесуточных концентраций и для полных ансамблей разовых концентраций [3].

Коэффициенты вариаций  $\gamma^M$ , как правило, превышают соответствующие значения  $\gamma^c$  и меньше соответствующих значений  $\gamma$  [3]. Указанная тенденция в меньшей степени характерна для вариаций параметров асимметрии и эксцесса [3].

Таблица 3  
Статистические характеристики вариаций максимальных концентраций угарного газа в г. Москве

Год	Пост	$\bar{N}^M$	$\sigma^M$	$\gamma^M$	$A^M$	$E^M$
		мг/м <sup>3</sup>				
2003	МАДИ	4,84	2,35	0,49	0,87	0,96
2003	Люблино	7,04	5,69	0,81	2,19	9,90
2003	Бирюлево	2,44	1,67	0,69	3,56	23,50
2004	Люблино	4,81	3,71	0,77	2,16	6,78
2004	пр. Вернадского	1,86	1,54	0,83	2,43	7,73
2006	пр. Вернадского	1,62	1,35	0,84	2,30	6,29
2006	ул. Чайнова	1,73	1,11	0,64	3,19	18,50

Как и в случае статистических ансамблей разовых концентраций, ЭФР максимальных разовых концентраций угарного газа удовлетворительно аппроксимируются логнормальными распределениями (рис. 2).

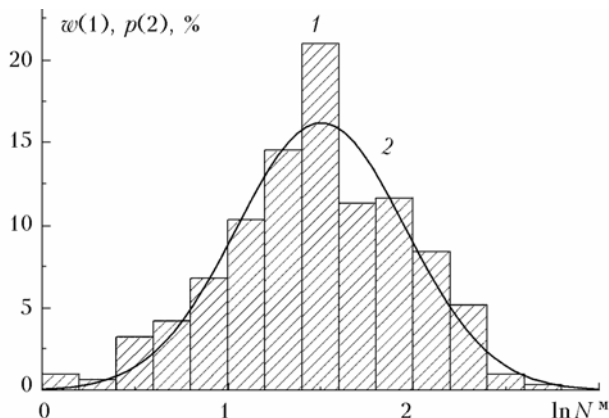


Рис. 2. Эмпирическая функция распределения  $w$  максимальных разовых концентраций угарного газа (1) по данным измерений на посту МАДИ в 2003 г. и аппроксимирующее логнормальное распределение  $p$  (2)

Представленная на рис. 2 ЭФР для  $\ln N^M$ , построенная по данным измерений на посту МАДИ в 2003 г., с удовлетворительной точностью аппроксимируется функцией

$$p(\ln N^M) = 16 \exp\{-2,4(\ln N^M - 1,5)^2\}.$$

При оценке вероятностей превышения максимальных разовых предельно допустимых концентраций угарного газа ПДК<sub>мр</sub> = 5 мг/м<sup>3</sup> целесообразно не ограничиваться единственными в каждые сутки наибольшими превышениями, а рассматривать все случаи превышения ПДК<sub>мр</sub> [3].

Примеры результатов расчетов вероятностей превышения ПДК<sub>мр</sub> для угарного газа, а также кратных ПДК<sub>мр</sub> уровней вплоть до пятикратного приведены в табл. 4.

### Внутрисуточное распределение максимальных разовых концентраций

Большой практический интерес представляет информация о распределении во времени в течение суток вероятностей появления максимальных разовых концентраций и их типичных уровней. На рис. 3

приведены примеры внутрисуточных распределений максимальных разовых концентраций за годовой период времени.

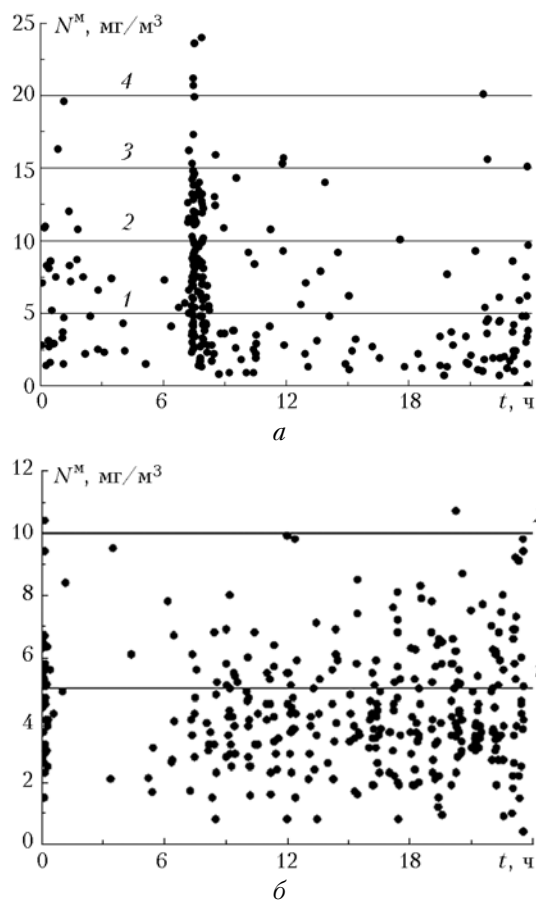


Рис. 3. Внутрисуточное распределение максимальных разовых концентраций угарного газа на посту Люблино в 2003 г. (1, 2, 3, 4 – концентрации, кратные ПДК<sub>мр</sub>) – а, на Ленинградском проспекте в 2002 г. (1 – ПДК<sub>мр</sub>, 2 – 2 ПДК<sub>мр</sub>) – б

Рассмотрим внутрисуточное распределение максимальных разовых концентраций угарного газа на посту Люблино (рис. 3,а), где чаще всего наблюдалось многократное превышение ПДК<sub>мр</sub>. Обращает на себя внимание утренний максимум (период времени примерно с 7:00 до 8:00 ч утра), когда наблюдаются максимальная вероятность превышения ПДК<sub>мр</sub> и кратных ей уровней концентрации угарного газа и наибольшее среднее значение

Таблица 4

Вероятности превышений (%) предельно допустимой максимальной разовой концентрации (5 мг/м<sup>3</sup>) и кратных ей уровней угарного газа по данным измерений в г. Москве в 2004 г.

Пост	ПДК <sub>мр</sub>	2 ПДК <sub>мр</sub>	3 ПДК <sub>мр</sub>	4 ПДК <sub>мр</sub>	5 ПДК <sub>мр</sub>
МАДИ	6,10	0,04	—	—	—
Вешняки	4,50	0,57	0,08	0,01	—
Люблино	3,10	0,43	0,07	0,02	0,01
ул. Казакова	1,40	0,30	0,06	—	—
ул. Толбухина	1,40	0,08	—	—	—
пр. Вернадского	0,37	0,01	—	—	—
Лосинный о-в	0,10	—	—	—	—

максимальных концентраций. Второй сильно размытый максимум наблюдается в вечерние и ночные часы. Кроме того, на посту Люблино (см. рис. 3,а) достаточно отчетливо выявляются ночной и дневной минимумы.

Заметно отличается от других постов внутрисуточное распределение максимальных концентраций на посту МАДИ (Ленинградский проспект). Здесь отчетливо (рис. 3,б) выявляется только ночной минимум (период времени примерно с 1:00 до 5:00). Слабо выражен максимум в ночные часы (23:00–1:00). В остальное время суток распределение близко к равномерному. О внутрисуточных распределениях максимальных разовых концентраций можно судить по среднему суточному ходу концентраций газовых примесей [3].

### О взаимосвязи внутрисуточных и максимальных разовых концентраций

В настоящее время много внимания уделяется задаче прогноза загрязнения городской атмосферы [2, 10–12], поэтому важно оценить возможность прогноза максимальных разовых концентраций. В качестве входного параметра при восстановлении  $N^M$  целесообразно использовать среднесуточные концентрации  $N^c$  [10].

На рис. 4 показана построенная по данным измерений концентрации угарного газа на посту МАДИ в 2002 г. корреляционная диаграмма, иллюстрирующая статистическую связь максимальной разовой концентрации со среднесуточной.

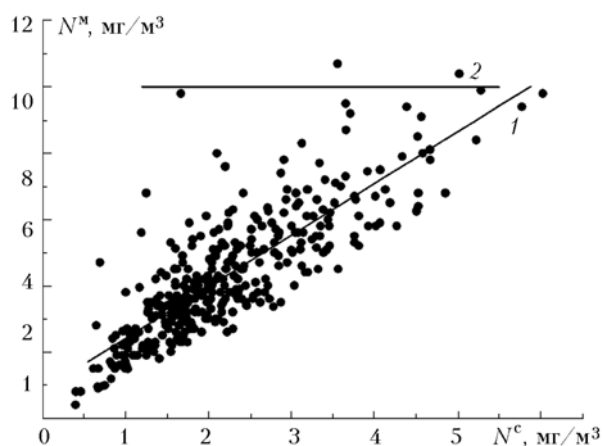


Рис. 4. Корреляционная диаграмма максимальных разовых и среднесуточных концентраций угарного газа по данным измерений на посту МАДИ в 2002 г. (1 – прямая регрессии, 2 – 2 ПДК<sub>мр</sub>)

Максимальная разовая концентрация угарного газа может быть восстановлена по известному значению среднесуточной концентрации с помощью соотношения линейной регрессии (1 на рис. 4)

$$N^M = 0,85 + 12,5 N^c, \quad (1)$$

которое справедливо в диапазоне изменения  $N^c$  от 0,5 до 6,0 мг/м<sup>3</sup>. Погрешность восстановления  $N^M$  с помощью формулы (1) с вероятностью 97% не превышает  $\pm 3$  мг/м<sup>3</sup>. Оценку верхней границы  $N^M$  для поста МАДИ при всех  $N^c$  можно получить из условия  $N^M < 10$  мг/м<sup>3</sup> (прямая 2 на рис. 4), которое выполняется с вероятностью около 99%. Плохо предсказуемые большие превышения ПДК<sub>мр</sub> для угарного газа иногда наблюдаются на постах Вешняки, Люблино, ул. Казакова и Шаболовка (см. табл. 1). Для остальных постов вероятность больших погрешностей при восстановлении  $N^M$  меньше, чем для поста МАДИ.

### Заключение

Основные результаты работы заключаются в следующем:

1. По данным экологического мониторинга в г. Москве рассчитаны статистические характеристики вариаций среднесуточных концентраций угарного газа. Показано, что все остальные статистические характеристики для ансамблей среднесуточных концентраций, как правило, заметно отличаются от соответствующих характеристик для максимальных разовых концентраций.

2. Рассчитаны основные статистические характеристики вариаций максимальных разовых концентраций угарного газа. Выполнено сопоставление статистических характеристик вариаций разовых, максимальных разовых и среднесуточных концентраций.

3. Проанализировано внутрисуточное распределение максимальных разовых концентраций угарного газа для двух постов с различными типами изменчивости. На примере поста Люблино показано, что во внутрисуточном распределении вероятностей появления максимальных разовых концентраций имеются утренний и вечерне-ночной максимумы. Отмечено аномальное распределение указанной вероятности для поста МАДИ.

4. Предложена регрессионная методика оценки диапазона изменения максимальных разовых концентраций угарного газа при известных значениях среднесуточных концентраций.

В статье использованы данные мониторинга угарного газа на сети автоматических постов контроля качества атмосферного воздуха ГПУ «Мосэкомониторинг».

Автор благодарит Г.И. Горчакова за внимание к работе.

1. *Мониторинг* качества атмосферного воздуха для оценки воздействия на здоровье человека. Копенгаген: Региональные публикации ВОЗ. Европейская серия. № 5. 2001. 293 с.
2. Берлянд М.Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы. Л.: Гидрометеониздат, 1985. 272 с.
3. 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. атмосф. и океана. 2006. Т. 42. № 2. С. 176–190.

4. *Бюллетень* о загрязнении воздушной среды города Москвы за 2004 г. М.: Мосэкомониторинг, 2005. 48 с.
5. *Бюллетень* о состоянии атмосферного воздуха в городе Москве в 2005 г. М.: Мосэкомониторинг, 2006. 72 с.
6. Смирнов Н.В., Дунин-Барковский П.В. Краткий курс математической статистики для технических приложений. М.: Физматгиз, 1959. 436 с.
7. Горчаков Г.И., Аникин П.П., Волох А.А., Емиленко А.С. Исследование состава задымленной атмосферы московского региона // Докл. РАН. 2003. Т. 390. № 2. С. 251–254.
8. Горчаков Г.И., Аникин П.П., Волох А.А., Емиленко А.С. Исследование состава задымленной атмосферы г. Москвы во время пожаров торфяников летом — осенью 2002 г. // Изв. РАН. Физ. атмосф. и океана. 2004. Т. 39. № 6. С. 782–790.
9. Аношин Б.А. Статистический анализ вариаций максимальных концентраций газовых и аэрозольных компонент загрязнения городской атмосферы // Аэрозоли Сибири. XIV. Тезисы докл. Томск: ИОА СО РАН, 2007. С. 17.
10. Горчаков Г.И., Аношин Б.А., Семутникова Е.Г. Статистический анализ вариаций массовой концентрации грубодисперсного аэрозоля в г. Москве // Оптика атмосф. и океана. 2007. Т. 20. № 6. С. 501–505.
11. Сонькин Л.Р. Синоптико-статистический анализ и краткосрочный прогноз загрязнения воздуха городов. Л.: Гидрометеониздат, 1991. 224 с.
12. Горчаков Г.И., Аношин Б.А. Вариации массовой концентрации аэрозоля в воздушном бассейне г. Москвы // Климатические эффекты. Атмосферное электричество: Тезисы докл. М.: ИФА РАН, 2006. С. 33.

***B.A. Anoshin. Statistical analysis of maximum and mean daily concentrations of carbonic monoxide in the air basin of Moscow.***

Maximum and mean daily carbonic oxide concentration variations were analyzed. Diurnal concentration variability has been studied. The method for maximum concentration retrieving has been worked out.