

УДК 551.511.61

## Функции плотности вероятности концентраций аэрозоля в воздухе промышленного города (на примере г. Барнаула)

К.Ю. Суковатов<sup>1</sup>, Н.Н. Безуглова<sup>1</sup>, К.О. Шутова<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Институт водных и экологических проблем СО РАН  
656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, 1

<sup>2</sup>Алтайский краевой центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды  
656015, г. Барнаул, пр. Ленина, 81

Поступила в редакцию 1.02.2012 г.

Представлены результаты расчетов функций плотности вероятности (ФПВ) массовой концентрации атмосферного аэрозоля с использованием спутниковых данных. Для расчетов использовалось разработанное в ИВЭП СО РАН программное обеспечение. В программе реализован непараметрический метод сглаживающего ядра. Рассчитанные ФПВ качественно представляют собой логарифмически нормальные.

*Ключевые слова:* функции плотности вероятности, загрязнение в воздухе, аэрозоль; functions of the probability density, air pollution, aerosol.

Решение многих практических задач требует использования функции плотности вероятности (ФПВ) концентрации аэрозоля для оценки статистических характеристик концентрации загрязняющих веществ в природных средах.

Вопросу экспериментального изучения законов распределения концентрации атмосферного аэрозоля посвящено большое количество публикаций [1–10]. Однозначного ответа на вопрос о том, каким образом лучше всего аппроксимировать ФПВ концентрации аэрозоля, до сих пор нет. Авторы научных работ использовали около десятка параметрических моделей для аппроксимации ФПВ концентрации аэрозоля: нормальное, логарифмически-нормальное, Вейбулла, экспоненциальное, Рэя,  $\chi$ -квадрат,  $\gamma$ -распределение, модифицированное  $\gamma$ -распределение, степенное, модифицированное степенное и др.

Чаще всего полагают, что ФПВ концентрации подчиняется логарифмически-нормальному закону при времени осреднения от нескольких минут до нескольких суток. Однако логарифмически нормальная модельная функция для ФПВ концентрации не может быть принята как единственно возможная.

Для определения ФПВ концентрации аэрозоля могут быть использованы параметрические методы, однако удачно подобрать модель и подтвердить соответствующую статистическую гипотезу удается далеко не всегда, в этом случае лучше использовать непараметрические методы расчета ФПВ.

В ИВЭП СО РАН разработана программа DPF1DIM для расчета одномерной функции плотности вероятности с использованием непараметрического метода — метода сглаживающего ядра. Алгоритм основан на использовании формулы Розенבלата—Парзена [11]:

$$f(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{X_i - x}{h}\right), \quad (1)$$

отличается заменой индикаторной функции на сглаживающую функцию (ядро)  $K[(X_i - x)/h]$ . В качестве сглаживающей функции (ядра) может быть использована любая определяемая пользователем функция. Входными параметрами для разработанной программы являются: массив наблюдений, тип сглаживающей функции, ширина окна и значения независимой переменной, для которых необходимо рассчитать значения ФПВ.

Сравнение результатов расчетов ФПВ по новой программе и подпрограмме DESKN библиотеки IMSL, которая является стандартом для коммерческих библиотек программ для научных расчетов [12], показало полное соответствие результатов (таблица).

Разработанная программа в отличие от подпрограммы DESKN библиотеки IMSL позволяет рассчитать асимптотическую оценку дисперсии полученных результатов. Для расчета дисперсии используется формула, полученная в результате разложения в ряд Тейлора соотношения для точечной среднеквадратической ошибки (MSE) ФПВ:

$$V[f(x)] \approx \frac{f(x)}{nh} \int K^2(z) dz. \quad (2)$$

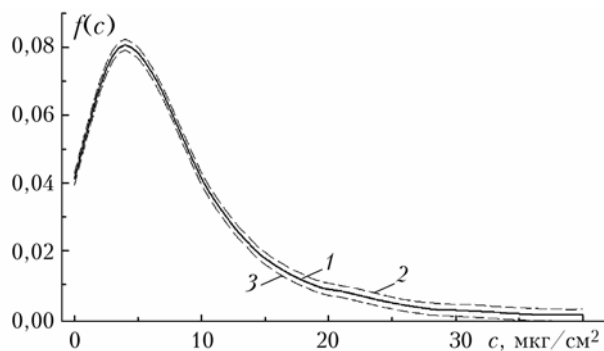
\* Константин Юрьевич Суковатов (skonstantiny@gmail.com); Надежда Николаевна Безуглова (bezuglova@gmail.com); Кира Оскаровна Шутова.

**Результаты расчетов ФПВ массовой концентрации атмосферного аэрозоля**

$c$ , мкг/см <sup>2</sup>	DESKN (IMSL)	DPF1DIM
0	0,03865	0,03865
1	0,04242	0,04242
5	0,05141	0,05141
10	0,04499	0,04499
20	0,01095	0,01095
30	0,00291	0,00291
40	0,00102	0,00102
50	$6,09726 \cdot 10^{-4}$	$6,09726 \cdot 10^{-4}$
60	$2,7048 \cdot 10^{-4}$	$2,7048 \cdot 10^{-4}$
70	$7,04898 \cdot 10^{-5}$	$7,04898 \cdot 10^{-5}$
80	$9,46195 \cdot 10^{-5}$	$9,46195 \cdot 10^{-5}$
90	$4,5594 \cdot 10^{-5}$	$4,5594 \cdot 10^{-5}$

Нами рассчитывались ФПВ концентрации аэрозоля в атмосферном воздухе г. Барнаула за период 2001–2011 гг. Использовались данные спектрометра MODIS, установленного на спутнике Aqua [13], полученные с использованием веб-сервиса Giovanni [14]. Анализировались данные за 2001–2011 гг. для ячейки  $1^\circ \times 1^\circ$  с центром в точке с координатами расположения г. Барнаул.

Для расчета ФПВ концентраций был использован непараметрический метод сглаживающего ядра. Из результатов расчетов следует, что ФПВ концентраций аэрозоля в атмосферном воздухе г. Барнаула является асимметричной одномодальной и качественно напоминает логарифмически нормальную функцию (рисунок).



Результаты расчетов функции плотности вероятности концентраций атмосферного аэрозоля и ее асимптотического среднеекватического отклонения: 1 – функция плотности вероятности концентраций атмосферного аэрозоля; 2, 3 – ее асимптотическое среднеекватическое отклонение (г. Барнаул, 2001–2011 гг.)

Анализ асимптотической оценки дисперсии ФПВ показал следующее: при малых значениях

концентрации атмосферного аэрозоля относительное среднеекватическое отклонение значений ФПВ составляет 2–5% с увеличением к максимуму функции (до 5 мкг/см<sup>2</sup>). По мере увеличения концентрации (до 10 мкг/см<sup>2</sup>) разброс уменьшается до 2–3%, затем снова увеличивается. Наибольшие значения получаются в «хвосте» ФПВ (30–40 мкг/см<sup>2</sup>), достигая 20–30%.

ФПВ концентраций химических веществ в природных средах могут быть использованы для вычисления вероятности превышения предельно допустимых значений концентраций загрязняющих веществ, математического ожидания и дисперсии площадей, на которых необходимо оценить ущерб от источников загрязнения.

1. Безуглая Э.Ю. К статистическому определению средних и максимальных значений концентрации примеси // Тр. ИЭМ. 1971. Вып. 254. С. 133–139.
2. Безуглая Э.Ю. Метеорологический потенциал и климатические особенности загрязнения воздуха городов. Л.: Гидрометеиздат, 1980. 168 с.
3. Берлянд М.Е., Генихович Е.Л. О методе определения фонового загрязнения атмосферы в городах // Тр. ГГО. 1984. Вып. 479. С. 17–30.
4. Возженников О.И. О числе превышения данного уровня пульсациями концентрации // Тр. ИЭМ. 1978. Вып. 21. С. 25–31.
5. Возженников О.И., Жуков Г.П. Статистический режим флуктуации консервативной примеси от локального источника в приземном слое атмосферы // Изв. АН СССР. Физ. атмосф.и океана. 1981. Т. 17, № 6. С. 558–586.
6. Жаворонков Ю.М. О законе распространения концентрации примеси в атмосферном воздухе и некоторых его приложениях // Гигиена и санитария. 1980. № 2. С. 77–80.
7. Жуков Г.П. Экспериментальная оценка функции распределения флуктуаций концентрации в струе примеси от стационарного точечного источника в приземном слое атмосферы // Тр. ИЭМ. 1988. Вып. 46. С. 96–106.
8. Найденов А.В. Флуктуации концентрации примеси в приземном слое атмосферы при диффузии от локальных источников // Тр. ИЭМ. 1978. Вып. 21. С. 32–38.
9. Полищук А.И. К вопросу о статистической обработке данных наблюдений за загрязнением воздуха предприятий // Тр. ГГО. 1984. Вып. 479. С. 79–86.
10. Руководство по контролю загрязнения атмосферы / Под ред. М.Е. Берлянда и Г.И. Сидоренко. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 448 с.
11. Breiman L., Meisel W., Purcell E. Variable kernel estimates of multivariate densities // Technometrics. 1977. V. 19, N 2. С. 135–144.
12. URL: <http://www.intel.com/cd/software/products/apac/zho/383963.htm>
13. URL: <http://modis.gsfc.nasa.gov/about/>
14. URL: [http://gdata1.sci.gsfc.nasa.gov/daac-bin/G3/gui.cgi?instance\\_id=MODIS\\_DAILY\\_L3](http://gdata1.sci.gsfc.nasa.gov/daac-bin/G3/gui.cgi?instance_id=MODIS_DAILY_L3)

**K. Yu. Sukovatov, N.N. Bezuglova, K.O. Shutova. Functions of aerosol probability density and concentration in air of an industrial city (Barnaul city, as an example).**

The calculations of probability density functions (PDF) of the mass concentration of atmospheric aerosols using satellite data are presented. The software, developed in the IWEP SB RAS, was used for the calculations. The program offers non-parametric method of the smoothing kernel. The computed PDF qualitatively represent the logarithmically normal ones.