

Ю. Л. Матвеев, Л.Т. Матвеев

ФУНКЦИЯ И ПЛОТНОСТЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ И ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА

Измеренные в Санкт-Петербурге с помощью походной экологической лаборатории данные о концентрации нескольких загрязняющих веществ (CO, SO₂, NO₂, пыль, фенол) использованы для построения функции распределения этих веществ. Последняя использована для оценки вероятности превышения предельно-допустимой концентрации (ПДК) этих веществ. Установлено важное свойство функции распределения: она в пределах погрешностей измерения и точности расчета (с учетом ограниченного объема выборок) одинакова (автономельна) как для различных ингредиентов, так и разных точек наблюдения, если построена она для отклонения концентрации от среднего значения, нормированного на среднее квадратическое отклонение (стандарт). Наиболее точно эмпирическая функция распределения может быть аппроксимирована логарифмически нормальным распределением.

Один из важных вопросов, решаемых службой охраны окружающей среды, сводится к оценке вероятности превышения предельно-допустимой концентрации (ПДК) того или другого загрязняющего вещества (примеси). Наиболее полный ответ на этот вопрос можно получить, если известна функция распределения концентрации *q* загрязняющих веществ.

Цель настоящей статьи – построить и проанализировать функции распределения наиболее важных загрязняющих веществ, а также разности температур воздуха в городе и его окрестностях. Эта последняя позволяет сделать заключение о роли различных факторов, под влиянием которых формируется область (остров) тепла в городе.

Концентрация загрязняющих веществ. В качестве материалов для построения функций распределения *q* послужили данные измерений за 1989 – 1991 гг. во Фрунзенском районе Санкт-Петербурга, экологическая обстановка в котором явилась предметом специального исследования. Наряду с данными стационарных постов привлечены измерения концентрации окиси углерода (CO), двуокиси серы (SO₂) и азота (NO₂), фенола, пыли и т.д. выполненные с помощью передвижной экологической лаборатории (ПЭЛ). В 1989 и 1990 гг. измерения с помощью ПЭЛ проводились в двух точках, расположенных вблизи перекрестков с интенсивным движением автотранспорта, в мае – июне 1991 г. – в 10 точках, достаточно равномерно распределенных по территории района (в общей сложности 138 измерений концентрации каждого ингредиента).

Приведем из результатов комплексного изучения экологической обстановки района (относящегося к числу наиболее загрязненных – из-за большого числа промышленных предприятий и интенсивного движения автотранспорта – районов Петербурга) лишь сведения о функциях распределения загрязняющих веществ.

Функция распределения $F(q \leq Q)$ – вероятность не превышения концентрацией *q* заданного значения *Q*. Совершенно естественно, что функция *F* для одного загрязняющего вещества отличается от таковой для другого. В качестве примера приводим функции распределения нескольких ингредиентов по данным измерений ПЭЛ в 1991 г.

Окись (оксид) углерода (CO); $\bar{q} = 3,3$; $\sigma_q = 2,7$:

$\frac{Q}{F}$	0,1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	11	28	44	56	72	83	89	91	93	94	100

Двуокись (диоксид) азота (NO₂); $\bar{q} = 0,13$; $\sigma_q = 0,06$:

$\frac{Q}{F}$	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,20	0,26
	6	8	11	27	33	44	56	83	94	100

Пыль; $\bar{q} = 0,42$; $\sigma_q = 0,19$:

$\frac{Q}{F}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
	6	11	50	67	72	88	100

Здесь \bar{q} – среднее значение концентрации; σ_q – среднее квадратическое отклонение; F – в процентах; Q, \bar{q}, σ_q – в мг/м^3 . Функции F различны не только для разных веществ, но также в разные сезоны года и в разных точках.

Значительно большей общностью обладают функции распределения, построенные для нормированных значений (q_n) концентрации. Последние представляют собой разность между q и ее средним значением (\bar{q}), отнесенную к среднему квадратическому отклонению (σ_q):

$$q_n = (q - \bar{q}) / \sigma_q$$

Анализ материалов показал, что функция $F(q_n \leq Q_n)$ нормированной концентрации обладает одним очень важным свойством – она практически (в пределах погрешностей измерения) одинакова для разных составляющих загрязнения, сезонов года и различных точек наблюдения. Это свойство функции распределения называют автомодельностью. В качестве примера на графиках приведены функции распределения для различных веществ (рис. 1) по данным измерений в одной точке и для одного и того же вещества (СО) по измерениям в разных точках (рис. 2). Поскольку концентрация измеряется с определенной погрешностью, а объем выборок (сказывающийся на точности расчета) не очень значителен, то следует признать, что свойство автомодельности выполняется с достаточно высокой точностью.

Привлекая данные измерений стационарных постов и ПЭЛ, мы построили обобщенную функцию распределения нормированной концентрации загрязняющих веществ:

Q_n	-1,2	-1,0	-0,8	-0,6	-0,4	-0,2	0,0	0,2	0,4
$F, \%$	2	6	15	24	33	46	57	66	73
Q_n	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2
$F, \%$	80	80	90	92	94	96	97	98	99

Для того чтобы перейти от этих значений функции $F|q_n \leq Q_n|$ к функции распределения $F(q \leq Q)$ для конкретного вещества, необходимо знать лишь среднее значение \bar{q} и среднее квадратическое отклонение σ_q концентрации этого вещества (эти величины определяются с достаточной точностью по значительно меньшему ряду наблюдений, чем функция F). Так, значение $F(q_n \leq -0,4) = 33 \%$ соответствует ненормированной концентрации $Q = -0,4 \sigma_q + \bar{q}$.

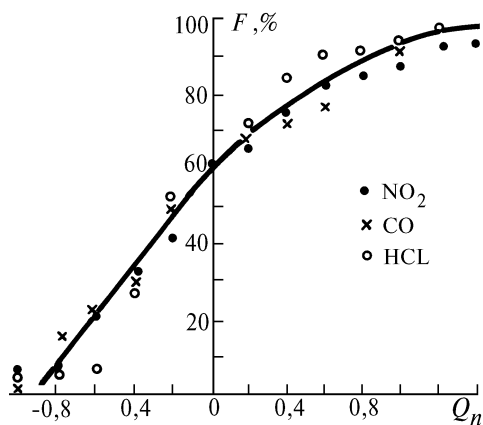


Рис. 1 Функция распределения нормированной концентрации различных загрязняющих веществ по данным измерений в одной точке

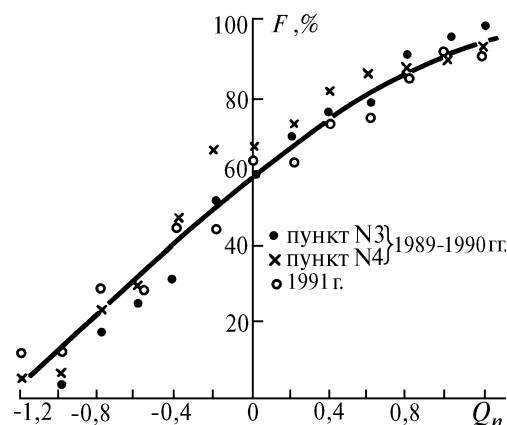


Рис. 2 Функция распределения нормированной концентрации окиси углерода (СО) по данным измерений в различных точках

Полагая Q равным предельно-допустимой концентрации (для СО – 3; SO_2 – 0,05; NO_2 – 0,04; пыли – 0,15; фенола – 0,003 мг/м^3) и зная значение функции распределения, мы нашли

вероятность (%) превышения ПДК (среднесуточной) и ее кратных значений во Фрунзенском районе для различных загрязнителей:

	1ПДК	2ПДК	3ПДК	4ПДК
СО	57	26	10	5
NO ₂	91	63	40	15
Пыль	90	56	31	12
Фенол	25	12	–	–

Видно, что концентрация пыли и NO₂ практически всегда (в 90 и 91% случаев) превышает ПДК и более чем в половине случаев (56 и 63%) – 2ПДК. Концентрация СО превышает ПДК и 2ПДК в 57 и 26% случаев.

Предпринята попытка аппроксимации функции F каким-либо теоретическим выражением. После ряда сопоставлений расчетных (теоретических) значений F с эмпирическими, мы пришли к заключению, что в наилучшем согласии с этими последними находится логарифмически нормальное распределение:

$$F(q \leq Q) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\tau}^Q \exp(-\tau^2/2) d\tau, \quad (1)$$

где $Q = (\ln q - \ln q^*)/\sigma_{\ln q}$, $\ln q^*$ – среднее (арифметическое) значение логарифма нормированной концентрации ($q^* = (q_1 q_2 \dots q_N)^{1/N}$ – среднее геометрическое значение q), $\sigma_{\ln q}$ – дисперсия $\ln q$.

Не вдаваясь в детали обсуждения, приведем здесь результаты сравнения эмпирических $F_{\text{эмп}}$ и определенных по формуле (1) теоретических $F_{\text{теор}}$ значений функции F :

		Оксид углерода; $\bar{q} = 4,6 \text{ мг/м}^3$; $\sigma_q = 3,8 \text{ мг/м}^3$, $N = 199$									
$Q \text{ мг/м}^3$		0,8	1,6	2,3	3,1	3,8	4,6	5,4	6,1	6,9	8,4
$F_{\text{эмп}}, \%$		4	20	29	37	45	58	68	75	82	92
$F_{\text{теор}}, \%$		3	16	25	39	49	59	70	80	84	95
		Двуокись азота; $\bar{q} = 0,094 \text{ мг/м}^3$; $\sigma_q = 0,062 \text{ мг/м}^3$									
$Q \text{ мг/м}^3$		0,03	0,04	0,06	0,07	0,08	0,09	0,11	0,12	0,13	0,16
$F_{\text{эмп}}, \%$		8	10	20	29	33	56	64	72	79	88
$F_{\text{теор}}, \%$		7	12	26	36	40	60	70	78	82	90

Температура воздуха. Хорошо известно [1, 2, 4], что под воздействием загрязнения атмосферы города примесями антропогенного происхождения существенно изменяются поля других метеовеличин: температуры и влажности воздуха, дальности видимости, скорости движения воздуха. Большое влияние загрязняющие вещества оказывают на потоки и притоки солнечной и земной радиации, радиационный баланс земной поверхности и пограничного слоя атмосферы, на условия образования туманов, облаков и осадков. Познавательный и прикладной интерес представляет ответ на вопрос: под влиянием каких факторов формируется разность ΔT между температурой воздуха в городе ($T_{\text{гор}}$) и в его окрестностях ($T_{\text{окр}}$):

$$\Delta T = T_{\text{гор}} - T_{\text{окр}}$$

Достаточно широко распространено мнение (правда, так и не подкрепленное количественными оценками), согласно которому определяющую роль в повышении температуры воздуха в городе по сравнению с его окрестностями играют прямые выбросы тепла, образующегося при сжигании различных видов топлива (угля, нефти, газа, дров). Естественно, что при таком подходе разность ΔT во всех случаях должна быть больше нуля: город теплее окрестностей (остров тепла).

Попытка разобраться в этом вопросе была предпринята в статье [3]. В ней приведены не только средние значения ΔT , но и впервые построены функция и плотность распределения ΔT . (Насколько нам известно, Санкт-Петербург и поныне остается единственным в мире городом, для которого определена эта функция).

В последние годы работа по исследованию разности ΔT была продолжена, и сейчас мы располагаем данными о ΔT за два пятилетних периода: 1970 – 1974 и 1975 – 1979 гг. Первый из этих периодов проанализирован в [3]. В последующие пять лет существенных изменений в термическом режиме города не произошло.

Для осредненных по всем четырем пунктам (Сосново, Белогорка, Волхов, Воейково) значений разности ΔT , °С в различные сроки наблюдений в 1975 – 1979 гг. получено:

Время, ч	00	03	06	09	12	15	18	21
Зима	1,7	1,7	1,6	1,6	1,3	1,0	1,4	1,6 °С
Лето	2,3	2,8	2,4	0,8	0,5	0,4	0,5	1,2 °С

Эти значения отличаются от приведенных в [3] значений ΔT не более чем на 0,1 – 0,2 °С (как правило, в сторону увеличения).

Согласно этим данным, наибольших значений разность ΔT достигает ночью и в утренние часы, а наименьших – днем. Поскольку промышленные предприятия, отопительные системы и, особенно, транспорт выделяют тепла, конечно же, днем значительно больше, чем ночью (хотя бы потому, что большая часть транспорта, на долю которого в Петербурге приходится свыше 70 % всех выбросов тепла и примесей, ночью не работает), то из приведенных данных следует, что прямые антропогенные поступления тепла, во всяком случае, не играют определяющей роли в формировании разности ΔT . Об этом же свидетельствует сопоставление значений ΔT зимой и летом: ночью (00, 03 и 06 ч), когда основные источники тепла – промышленные предприятия и отопительные системы (включая жилой массив), зимой сжигается топлива и выделяется тепла намного больше, чем летом. И тем не менее в эти ночные часы разность ΔT зимой примерно в 1,5 раза меньше, чем летом.

Для функции распределения $F(\Delta T \leq X)$ разности ΔT по данным за 1975 – 1979 гг. получены следующие значения:

X , °С	-6	-4	-2	0	2	4	6	8	10
F , % { Зима	0,1	0,7	2,6	17	74	91	97	98,9	99,7
Лето	0,1	0,6	2,9	20	68	92	98	99,7	100

Из этих данных следует, что утверждение <город теплее окрестностей> справедливо в 83% зимой и в 80% летом. Однако не так мало случаев (17 % зимой и 20 летом), когда город холоднее окрестностей. Этот результат не только не согласуется с гипотезой о преобладающем влиянии выбросов тепла на ΔT , но и прямо ей противоречит.

Таким образом, должна быть отвергнута кажущаяся на первый взгляд очевидной гипотеза о преобладающей роли дополнительных (по сравнению с окрестностями) источников тепла в повышении температуры в городе.

Одновременно следует подчеркнуть, что непосредственная оценка этого тепла, поступающего в большом городе от огромного количества источников (включая и жилые здания), вряд ли возможна. Однако существует другой подход для оценки антропогенного тепла. Можно воспользоваться данными о количестве поступающего и сжигаемого в городе топлива. Зная теплотворную способность различных видов энергоносителей (угля, нефти, газа, дров) и их массу, нетрудно оценить суммарное количество тепла, поступающего в атмосферу из всех источников. Такая оценка показала, что в Петербурге антропогенные выбросы тепла способны повысить температуру в городе на величину, составляющую 5 – 10% от наблюдаемых значений разности ΔT .

Определяющую роль в формировании разности ΔT играют геофизические факторы: изменение радиационного баланса (в первую очередь эффективного излучения и альbedo) земной поверхности и пограничного слоя атмосферы под влиянием загрязняющих веществ, оптические свойства которых существенно отличаются от свойств атмосферного воздуха.

Определенное влияние на ΔT в городе и окрестностях оказывают различные условия испарения, шероховатостей земной и других поверхностей. Под влиянием загрязнения сильно изменяются оптические свойства земной поверхности, особенно снежного покрова. Резкое уменьшение отражательной способности последнего под влиянием осевших на нем твердых примесей (сажи, пыли) способствует более раннему сходу снега в городе весной и более позд-

нему установлению снежного покрова осенью, что, в свою очередь, ведет к увеличению разности температур воздуха между городом и его окрестностями.

1. Владимирова А.М., Ляхин Ю.И., Матвеев Л.Т., Орлов В.Г. Охрана окружающей среды. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 423 с.
2. Ландсберг Г.Е. Климат города. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 248 с.
3. Матвеев Л.Т. Метеорология и гидрология. 1979. N 5. С. 22 – 27.
4. Рамад Ф. Основы прикладной экологии/ Пер. с франц. под ред. Л.Т. Матвеева. Л.: Гидрометеиздат, 1980. 543 с.

Российский государственный
гидрометеорологический институт

Поступила в редакцию
15 ноября 1993 г.

Yu. L. Matveev, L.T. Matveev. **Distribution Function and Density for Air Pollutions and Temperature.**

Some data on the distribution functions of such air pollutions as CO, SO₂, NO₂, dust, and phenol are presented in this paper, which are constructed based on measurement data collected with a field ecological laboratory in St.Petersburg. Thus constructed distribution functions are used for assessing the probability of occurrence of enhanced, over the maximum permissible level of these substances concentrations. An important property of the distribution functions is revealed that they are of the same view (within the measurement errors and errors of calculations and taking into account the limited bulk of sampling data) both for different components and different sampling sites. This is true only if the distribution function is constructed for deviations of the concentrations from their mean levels normalized by the rms deviation (standard). The most close approximation of the empirical distribution function is reached with the lognormal distribution function.