

ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ АЭРОЗОЛЬНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУШНОГО БАССЕЙНА ГОРОДОВ

Г.М.Багуш
кафедра физики

В настоящее время в ряде городов и промышленных регионов уровень загрязнения атмосферного воздуха является чрезмерно высоким. Очень часто наблюдается многократное превышение предельно допустимых концентраций для некоторых компонентов аэрозольного загрязнения атмосферы. Существующая система контроля аэрозольного загрязнения атмосферы далеко не в полной мере отвечает требованиям и представлениям об атмосферном аэрозоле. Создание современной системы контроля должно основываться на результатах систематических исследований закономерностей изменчивости свойств городского аэрозоля и процессов его трансформации.

В настоящей работе рассматривается малопараметрическая модель динамики городского аэрозоля, позволяющая на основе анализа результатов систематических измерений микроструктуры получить оценки суммарной мощности источников выбросов и потоков аэрозоля на подстилающую поверхность. Разработана синтетическая модель микроструктуры городского аэрозоля, учитывающая его статистические и динамические характеристики [1-3].

Полученные результаты измерений микроструктуры аэрозоля позволяют оценить суммарную мощность источников аэрозоля в городе с помощью малопараметрических моделей его динамики.

Распространение примеси в атмосфере описывается уравнением турбулентной диффузии [4]

$$\frac{\partial N}{\partial t} + U_x \frac{\partial N}{\partial x} + U_y \frac{\partial N}{\partial y} + U_z \frac{\partial N}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial N}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial N}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_z \frac{\partial N}{\partial z} \right) + \alpha N + \beta \quad (1)$$

где U_x, U_y, U_z – составляющие скорости ветра, t – время, N – концентрация, k_x, k_y, k_z – коэффициенты турбулентного обмена, α – параметр, характеризующий скорость удаления примеси, β – мощность источников.

При формировании загрязнения воздушного бассейна города примеси накапливаются в слое перемешивания или пограничном слое атмосферы высотой H . Если не рассматривать особенности вертикального распределения в слое перемешивания, то для анализа динамики примеси можно воспользоваться так называемыми резервуарными моделями. Будем предполагать, что объем воздуха высотой H и единичной площадью поперечного сечения движется в направлении оси X (вдоль города длиной L) с эффективной скоростью V_x . Допустим, что источники распределены равномерно вдоль города и β – мощность источника на единицу площади города.

Примесь теряется за счет взаимодействия объема воздуха с подстилающей поверхностью ($F \downarrow$). Кроме того, в городе со сложной орографией слой перемешивания становится неоднородным и через его верхнюю границу может осуществиться обмен воздухом со свободной атмосферой ($F \uparrow$).

Если условия взаимодействия выделенного объема воздуха при его перемещении вдоль города не меняются и β не зависит от L , то в приближении резервуарной модели ур-е (1) сводится к виду

$$\frac{dN}{dt} = \beta - kNH \quad (2)$$

где N – концентрация частиц на единицу площади поверхности и k – коэффициент, определяющий скорость потерь частиц аэрозоля. Так как $N = N \cdot H$ (где N – концентрация частиц на единицу объема), то вводя $B = \frac{\beta}{H}$ получим уравнение

$$\frac{dN}{dt} = B - KN \quad (3)$$

В общем случае $k = k_1 + k_2 = k \downarrow + k \uparrow$, где k_1 и k_2 – коэффициенты потерь за счет удаления примеси на подстилающую поверхность и в свободную атмосферу, соответственно.

$$\text{Поток частиц на подстилающую поверхность} \quad F \downarrow = v_{co} N = k_1 H N \quad (4)$$

где v_{co} – скорость сухого осаждения.

Взаимодействие со свободной атмосферой характеризуется коэффициентом

$$k_2 = k_{os} = \frac{1}{V} \cdot \frac{dV}{dt} = \frac{1}{H} \frac{dh}{dt} \quad (5)$$

По аналогии с (4) можно ввести «скорости обмена»

$$v_{os} = k_{os} \cdot H = k_2 \cdot H$$

Решения ур-я (3) можно представить в виде

$$N(t) = N_0 e^{-\frac{t}{\tau}} + \frac{B}{k} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \quad (6)$$

$\tau = \frac{1}{k}$ – параметр с размерностью времени, где N_0 – фоновая по отношению к городской атмосфере концентрация аэрозоля. Если в городе осуществляется режим, для которого

$$\text{выполняется соотношение} \quad B\tau = \frac{B}{k} = N_0, \quad (7)$$

то влияние города на аэрозольное загрязнение его воздушного бассейна незаметно.

В случае отсутствия городских источников имеет место загрязнение атмосферы города внешним источником:

$$N(t) = N_0 e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (8)$$

В городе происходит постепенное осаждение примеси из воздушной массы. Распределение концентрации примеси вдоль города имеет вид

$$N(x) = N_0 e^{-\frac{x}{l}} \quad (9)$$

Воздушная масса будет заметно «очищаться» городом, если время τ меньше времени переноса примеси через город.

$$\tau = \frac{L}{V_r} \quad (10)$$

Распределение концентрации примесей вдоль города дается выражением

$$N(x) = N_0 e^{-\frac{x}{l}} + \frac{\beta}{kH} \left(1 - e^{-\frac{x}{l}} \right) \quad (11)$$

где параметр $l = \tau v_r = v_r \frac{H}{v_{co}}$ имеет смысл характерной длины стационарирования режима.

$$\text{Если режим далек от стационарного} \quad (l \gg L), \text{ то } N(x) \cong B\tau \frac{x}{l} = B \frac{x}{v_r} = \beta \frac{x}{v_r H} \quad (12)$$

В этом случае среднее значение концентрации примеси в городе равно

$$\bar{N} = \frac{\beta L}{2v_r H} \quad (13)$$

Для примесей с очень малыми потерями (например, угарный газ) имеем,

$$\frac{dM}{dt} = B_M \quad (14)$$

где M – массовая концентрация и поэтому

$$M(t) = B_M t + M_0 \cong \frac{\beta_m}{H} t + M_0 \quad (15)$$

$$\text{откуда} \quad M(x) = \frac{\beta_M \cdot x}{2v_r H} + M_0 \quad (16)$$

Среднее значение концентрации примеси в городе будет равно

$$\bar{M} = \frac{\beta_M L}{2v_r H} + M_0 \quad (17)$$

Таким образом, для далеких от насыщения режимов («короткий город») большая часть выбросов остается в атмосфере, а затем выносятся за пределы города. В противоположном случае «длинного города» концентрация примеси становится максимально допустимой и большая часть примеси выпадает на подстилающую поверхность или уходит в свободную атмосферу.

Рассмотренные малопараметрические модели динамики аэрозоля позволяют оценить ряд важных характеристик аэрозольного загрязнения воздушного бассейна городов. На основании полученных автором [1] вертикальных профилей счетных концентраций субмикронного аэрозоля и отдельных фракций частиц с радиусом $r \leq 3,5 \mu\text{м}$ можно по методике, предложенной Лактионовым [5], рассчитать значение скорости сухого осаждения:

$$V_{co} = \frac{0,43(\omega_2 - \omega_1)}{\lg \frac{N_{z1}}{N_{01}} - \lg \frac{N_{z2}}{N_{02}}} \quad (18)$$

Оценочные значения оказались равными 0,8-1,3 см/сек. Поэтому для оценочных расчетов далее будем считать, что $V_{co} \approx 1 \text{ см/сек}$.

Для определения $k_1 = k_{co}$ воспользуемся среднемесячными значениями высоты слоя перемешивания, приведенными в таблице 1. [1,2]

Таблица 1. Годовой ход значения высоты слоя перемешивания Н, км

Месяц Город	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Ереван	0,8	1,0	1,4	1,5	1,6	1,8	1,9	1,8	1,6	1,3	0,9	0,5
Москва	0,7	0,8	1,1	1,7	2,1	2,1	2,0	2,7	1,4	1,0	0,7	0,7
Алма-Ата	0,4	0,4	0,9	1,4	1,7	2,0	2,1	1,9	1,5	1,0	0,5	0,3

Поток аэрозоля на подстилающую поверхность можно оценить по формуле

$$F \downarrow = v_{co} \bar{M} \quad (19)$$

Для оценки средней мощности источников городского аэрозоля удобно воспользоваться

$$\text{соотношением} \quad \beta_M = \frac{M \bar{H}}{\xi \tau} \quad (20)$$

где «динамический фактор» $\xi = 1 - \exp[-\theta]$ и $\theta = \frac{\tau_r}{\tau}$ (19), а τ_r – адвективное время жизни примеси в воздушном бассейне города.

На основании метеоданных были использованы для оценок следующие значения эффективной скорости ветра в нижнем слое атмосферы города V_r : Ереван- 4 м/с, Алма-Ата - 2 м/с, Москва - 6 м/с. Длины городов L взяты соответственно- 20, 30 и 40 км.

Результаты оценочных расчетов приведены в таблице 2.

Таблица 2. Оценки мощности источников выбросов и потоков аэрозоля на подстилающую поверхность

Город	Сезон	$F \downarrow$ т/км ² год	β_M т/км ² год	Q_M км/год
Ереван	зима	40	400	80
	весна	30	600	120
	лето	80	2000	400
	осень	30	600	120
Москва	весна	10	300	300
	лето	15	500	500
Алма-Ата	зима	40	200	60

* Q_M - количество выбросов в год в целом по городу.

Из таблицы видно, что значительная часть выбросов остается в атмосфере города, а затем выносится за ее пределы. Потоки аэрозоля на подстилающую поверхность претерпевают существенные вариации в зависимости от сезона и города, меняясь от 10т/км^2 год для Москвы (весна) до 80т/км^2 год для Еревана (лето). Оценки показали, что суммарная мощность выбросов в Москве значительно больше по сравнению с Алма-Атой.

Ранее нами была разработана статистическая модель микроструктуры городского аэрозоля, которая включает средние функции распределения, однопараметрическую модель функции распределения с коэффициентом рассеяния σ в качестве входного параметра, средний суточный ход (для четырех городов) и средние высотные профили концентрации субмикронного и грубодисперсного аэрозоля. Установлена статистическая связь между разностью температур ΔT на двух уровнях с концентрацией аэрозоля в приземном слое атмосферы. Эту зависимость можно представить в виде

$$N_{\text{приз}} = 1,4 \gamma + 17 \quad (20)$$

где $\gamma = \frac{dT}{dz} \cong \frac{\Delta T}{\Delta Z}$ – градиент температуры в приземном слое.

Используя полученную Г.М.Багунцем и Емиленко А.С [2] статистическую связь между счетной концентрацией N и коэффициентом рассеяния σ (по данным измерений в Алма-Ате и Кисловодске):

$$N = 135 \sigma^{1,27} \quad (21)$$

Выразим σ через градиент температуры

$$\sigma = \left(\frac{1,48 + 17}{135} \right)^{\frac{1}{1,27}} \approx (0,01\gamma + 0,13)^{0,8} \quad (22)$$

Полученные на основе статистической модели динамики городского аэрозоля суммарные мощности источников выбросов следует рассматривать как элементы обобщенной или синтетической модели микроструктуры (и ее динамики) городского аэрозоля. Последним звеном этой модели являются оценочные значения мощности источников выбросов и потоков аэрозоля на подстилающую поверхность.

Ամփոփում

Մշակված է անալոգիզեն աէրոզոլի դինամիկայի երկու պարամետրանոց մոդելը, որը բով է տալիս միկրոկառուցվածքի սիստեմատիկ չափումների արդյունքների վիճակագրական վերլուծության հիման վրա գնահատել աղբյուրների արտանետումների գումարային հզորությունը և երկրի մակերևույթի վրա աէրոզոլի հոսքերը:

Резюме

Разработана малопараметрическая модель динамики городского аэрозоля, позволяющая на основе анализа результатов систематических измерений микроструктуры получить оценки суммарной мощности источников выбросов и потоков аэрозоля на подстилающую поверхность.

Լիտերատուրա

- 1.Багунц Г.М. Исследование временной изменчивости и распределения по высоте микроструктуры аэрозоля в нижнем слое атмосферы. Москва: ИГиГГМ, 1990, с. 30.
- 2.Багунц Г.М., Дянов-Клюков В.И., Фокеева Е.В. Сопоставление вертикальных распределений окисл углерода и аэрозоля над Москвой. Известия АН СССР, ФАО, т.23, N11, 1987г., с. 1134-1141.
- 3.Багунц Г.М. Статистический анализ функции распределения частиц аэрозоля по размерам. Ученые записки АргУ, N1(10), 2005г., с. 63-67.
- 4.Берлянд М.Е. Прогноз и регулирование атмосферы. Ленинград, Гидрометеониздат, 1985г., с. 272.
- 5.Лактюнов А.Г. Распределение по высоте концентраций частиц аэрозоля и определение коэффициента вертикального перемешивания в свободной атмосфере. Изв. АН СССР, сер. геофиз., N9, 1960.