

ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ТУРБУЛЕНТНОЙ ДИФФУЗИИ ВЫБРОСОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Покровская Е. А., Бабичева В.О.

Научный руководитель: Рыжакова Н.К., к.ф.-м.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: valentina_babich@mail.ru

Турбулентная диффузия выбросов промышленных предприятий является одним из основных механизмов переноса, определяющих пространственное распределение вредных веществ в приземном слое атмосферы. Известным способом изучения основных закономерностей пространственного распределения загрязняющей примеси является математическое моделирование переноса частиц в атмосферном воздухе. Широкое признание получила диффузионно-конвективная модель переноса, параметром которой является вертикальный коэффициент турбулентной диффузии k_z .

При моделировании вертикального переноса примеси часто используется параметризация коэффициента турбулентной диффузии в виде: $k_z = k_{np} \cdot z$. Параметр k_{np} существенным образом зависит от шероховатости и температурной неоднородности подстилающей поверхности, от конвективных потоков и дисперсного состава примеси. В связи со сложностью процессов турбулентной диффузии адекватное описание вертикального переноса невозможно без привлечения моделей, основанных на экспериментальном материале. В данной работе параметр, описывающий турбулентную диффузию выбросов промышленных предприятий, предлагается определять на основе решения обратной задачи по распределению загрязняющей примеси, измеренному вдоль некоторого направления от точечного источника. Содержание вредных веществ в атмосферном воздухе сравнительно невелико, особенно на значительном удалении от источника. Поэтому для измерения распределения загрязняющей примеси целесообразно использовать метод мхов-биомониторов, время экспозиции для которого определяется длиной прироста мха и составляет год и более. Метод мхов-биомониторов широко используется для изучения загрязнения атмосферного воздуха тяжелыми металлами (ТМ) [1-4].

Моделирование пространственного распределения концентраций загрязняющей примеси в приземном слое атмосферы

Моделирование пространственного распределения ТМ, содержащихся в выбросах предприятий, осуществляется на основе диффузионно-конвективного уравнения переноса, которое для средних значений концентраций примеси q без учета турбулентной диффузии в горизонтальной плоскости приземной атмосферы имеет вид [5]:

$$u \frac{\partial q}{\partial x} + V_g \frac{\partial q}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} k_z \frac{\partial q}{\partial z} \quad (1)$$

Здесь u – скорость ветра в направлении оси x ; V_g – скорость гравитационного оседания частиц примеси.

Аналитическое решение данного уравнения при степенной аппроксимации скорости ветра и вертикального коэффициента турбулентной диффузии для точечного источника с учетом фоновых концентраций q_ϕ выглядит следующим образом [5,6]:

$$q(x) = \theta_1 x^{\theta_2} \exp\left(-\frac{\theta_3}{x}\right) + q_\phi \quad (2)$$

В соответствии с работой [5] параметр распределения θ_3 может быть записан в следующем виде:

$$\theta_3 = \frac{u_1 H^{1+n}}{(1+n)^2 k_{np}}, \quad (3)$$

где n – параметр, характеризующий изменение скорости ветра с высотой; H – высота трубы источника загрязнения; u_1 – скорость ветра на высоте 1 м.

Численное значение параметра θ_3 можно найти с помощью метода наименьших квадратов (МНК) при аппроксимации измеренного распределения функцией вида (2). Тогда выражение (3) можно использовать для определения k_{np} , подставляя в него осредненное за время экспозиции значение скорости ветра в выбранном направлении.

Эксперимент

В исследованиях использован трехлетний прирост эпифитного мха *Pylaisia polyantha* (Hedw.) B.S.G., который отбирали в зоне влияния ТЭЦ-5 г. Новосибирска (Россия). Пробоотбор проводили в северо-восточном направлении от ТЭЦ-5 на расстояниях от одного до пяти километров с коры берез и тополей на высоте 1,5-2 метра от земли. Фоновые пробы отобраны на территории, удаленной от основных населённых пунктов и предприятий на расстояние более 200 км.

Определение содержания химических элементов в пробах мха производили нейтронно-активационным методом на исследовательском реакторе ИРТ-Т Национального исследовательского Томского политехнического университета (Россия). В ходе исследования подготовлено и измерено 38 проб мха, в которых определено содержание следующих элементов: Ba, Hf, Eu, Fe, Yb, Co, La, Lu, As, Nd, Rb, Sm, Sc, Sr, Sb, Cr, Cs, Ce, Zn; пробоподготовку осуществляли в соответствии методикой [4]. В качестве примера на рис. 1 показаны распределения концентраций Co и Sr с учетом фона; сплошной линией изображены результаты аппроксимации измеренных значений функцией вида (2) с помощью МНК.

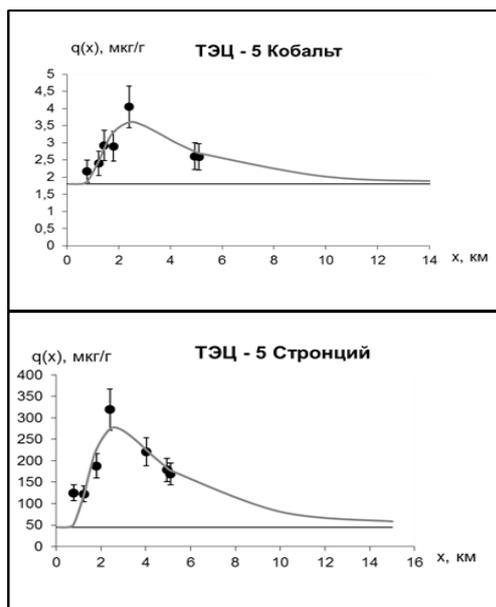


Рис.1 Распределение концентраций Co и Sr в зависимости от расстояния: сплошная кривая – результат аппроксимации функцией вида (2); горизонтальная прямая – фоновые концентрации

В таблице 1 приведены значения параметра θ_3 , определенного с помощью МНК, k_{np} и вертикального коэффициента турбулентной диффузии k_z для разных высот при $n=0,2$ и среднегодовой скорости ветра $u_1=3,7$ м/с.

Таблица 1. Значения параметров θ_3 , k_{np} и коэффициента вертикальной диффузии k_z на разных высотах ($n=0,2$; $u_1=3,7$ м/с.)

Элемент	θ_3	k_{np} , м/с	$k_{z\text{эф}}$, м ² /с			
			z=100 м	z=150 м	z=200 м	z=250 м
Ba	8	0,08	7,6	11,5	15,3	19,1
Hf	6	0,1	10,4	15,6	20,8	26
Eu	5	0,12	12,3	18,4	24,5	30,6
Fe	10	0,06	5,9	8,8	11,8	14,7
Yb	8	0,08	7,6	11,5	15,3	19,1
Co	8	0,08	7,6	11,5	15,3	19,1
La	8	0,08	7,6	11,5	15,3	19,1
Lu	8	0,08	7,6	11,5	15,3	19,1
As	8	0,08	7,6	11,5	15,3	19,1
Nd	8	0,08	7,7	11,5	15,3	19,1
Rb	7	0,09	9,3	14	18,6	23,3
Sm	8	0,08	7,7	11,5	15,3	19,1
Sc	9	0,07	6,6	9,9	13,3	16,6
Sr	8	0,08	7,7	11,5	15,3	19,1
Sb	8	0,08	7,7	11,5	15,3	19,1
Cr	8	0,08	7,7	11,5	15,3	19,1
Cs	8	0,08	7,7	11,5	15,3	19,1
Ce	7	0,09	9,4	14,1	18,8	23,6
Zn	8	0,08	7,7	11,5	15,3	19,1

Значения параметра k_{np} , найденное по распределениям 19-ти химических элементов, находится в интервале 0,07...0,12 м/с; среднее значение при уровне значимости 0,05 и доверительном интервале $\pm 0,003$ м/с для данной выборки составляет $k_{np}=0,082$ м/с. Найденный таким способом параметр k_{np} по существу

является результатом осреднения по всем состояниям атмосферы, реализованным на конкретной местности за время экспозиции (в нашем случае за 3 года).

По данным работы [5] для конвективных условий переноса k_{np} находится в диапазоне 0,1...0,2 м/с, а при инверсиях температуры k_{np} существенно ниже. Сравнение этих данных с результатом, полученным в исследовании, показывает, что на территории, прилегающей к ТЭЦ-5 г. Новосибирска, более вероятны конвективные условия переноса.

Значения вертикального коэффициента турбулентной диффузии, найденные с помощью мхов-биоиндикаторов, можно использовать при проведении среднегодовых оценок уровней загрязнения приземного слоя атмосферы ТМ и прогнозировании пространственного распределения загрязняющей примеси в приземном слое атмосферы для источников загрязнения, расположенных на исследованной территории. Моделирование пространственного распределения загрязняющей примеси с использованием найденных значений параметра k_{np} позволяет также определять зоны влияния предприятий и области выпадения ТМ [7].

Список литературы:

- Harmens H., David N. and participants of the moss survey. (2008): Spatial and Temporal Trends in Heavy Metal Accumulation in Europe (1990-2005). Bangor, Wales. Programme Coordination Centre for the ICP Vegetation. Centre for Ecology and Hydrology Centre for Ecology and Hydrology.
- Coskun M., Cayir A., Coskun M., Kilic O. (2011): Heavy metal deposition in moss samples from east and south Marmara region, Turkey. Environmental Monitoring and Assessment, 174 (1-4): 219-227.
- Shotbolt L., Bükер P., Ashmore M. (2007): Reconstructing temporal trends in heavy metal deposition: Assessing the value of herbarium moss samples. Environmental Pollution, 147 (1-3): 120-130.
- Рыжакова Н. К., Борисенко А. Л., Меркулов В. Г., Рогова Н. С. Контроль состояния атмосферы с помощью мхов-биоиндикаторов //Оптика атмосферы и океана, 2009 – т. 22, – №1. с. 101 – 104.
- Берлянд М.Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы. – Л.: Гидрометеоздат, 1985. - 272 с.
- Гусев Н. Г., Беляев В. А. Радиоактивные выбросы в биосфере: справочник— 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергоатомиздат, 1991. — 256 с.
- Н.К. Рыжакова, В.Ф. Рапуга, Н.С. Рогова, А.Л. Борисенко, Е.А. Покровская. Пространственное распределение химических элементов атмосферных выбросов угольной ТЭЦ//Экология и промышленность России.- 2013- №1. – С. 52-55.