

УДК [502.175:001.891.54](55-25)

ПРИБЛИЖЕННАЯ МОДЕЛЬ АТМОСФЕРНОГО ПЕРЕНОСА ТОКСИКАНТОВ В ТЕГЕРАНЕ

Ф. Омми ¹, К. Некофар ²

¹ Университет «Тарбиет Моддарес»
Иран, Тегеран, а/я 14115-111

² Иранское космическое агентство
Иран, Тегеран, а/я 1967734-114
E-mail: fommi@modares.ac.ir

Поступила в редакцию 07.11.07 г.

Приближенная модель атмосферного переноса токсикантов в Тегеране. – Омми Ф., Некофар К. – Рассматривается влияние выпуклых элементов рельефа на атмосферный перенос загрязнения. В условиях пологого рельефа, каковым является поверхность Тегерана, оно проявляется в сжатии изолиний в направлении господствующих ветров. Предложена модель атмосферного рассеивания токсикантов, учитывающая сложный характер рельефа подстилающей поверхности.

Ключевые слова: загрязнение, атмосферный перенос, рельеф, Иран.

An approximate model of atmospheric transfer of toxicants in Teheran. – Ommi F., Nekofar K. – The influence of convex relief elements on the atmospheric transfer of pollutions is considered. For the flat relief of the surface of Teheran it manifests itself as compression of the isolines along the prevailing winds. A model of atmospheric dispersion of toxicants is offered with due account of the complex character of the spreading surface relief.

Key words: pollution, atmospheric transfer, relief, Iran.

Искусственное загрязнение атмосферы происходит в результате все возрастающей по своим масштабам техногенной деятельности человека. Большая часть загрязнений содержится в промышленных выбросах, полученных в результате процессов сгорания топлив и реакций различных химических процессов, обычных во всех областях современной индустрии. Такие промышленные скопления свойственны мегаполисам, где значительная доля загрязнений атмосферы приходится еще и на автомобильный транспорт (Саэт и др., 1990). Не является исключением г. Тегеран, характеризующийся в настоящее время высокими показателями загрязнения атмосферы поллютантами (Лебедева, Анкудимова, 2002). Именно поэтому в решении экологических проблем данного города необходимо создание модели атмосферного переноса токсикантов для включения в программу долговременных мониторинговых исследований.

Рельеф местности, на которой находится Тегеран, может быть охарактеризован схематически (рисунок). Следовательно, уклон поверхности имеет направление с севера на юг и с востока на запад. Площадь города около 650 км². Население города составляет около 6.5 млн. человек.

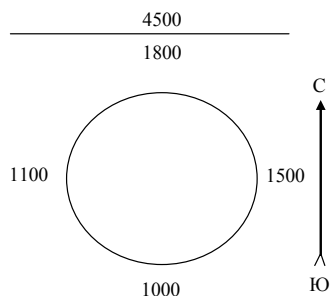
Площадь города под строениями с площадью улиц и дорог составляет около 400 км^2 . Проективная площадь зеленых насаждений в городе не превышает 260 км^2 . Площадь открытых водных поверхностей крайне незначительна (около 2 км^2). Это главным образом каналы, отводящие воду, текущую с гор. Таких каналов пять с длиной около 30 км и средней шириной около 10 метров.

Климат в городе сухой, среднее количество осадков около 250 мм (на склонах Эльбурса выпадает до 2000 мм в год). Средняя годовая температура $+2^\circ\text{C}$, средняя температура июля $+29^\circ\text{C}$. Диапазон изменения годовой температур от -10 до $+40^\circ\text{C}$.

Преобладающие направления ветра в городе запад – восток, юг – север, юго-запад – северо-восток. Источниками загрязнения атмосферы в городе являются промышленные предприятия и транспорт. В западной части города располагаются около двух тысяч промышленных предприятий и крупный международный аэропорт, которые являются постоянно действующим, распределенным по сравнительно небольшой площади источником загрязнения атмосферы в городе. При этом следует иметь в виду, что основное направление переноса токсикантов устремлено к центру города. Кроме того, в городе имеется разветвленная сеть магистралей, дорог и улиц, по которым перемещаются около 800 тысяч автомобилей. Этот источник можно считать равномерно распределенным по городу.

Общее количество основных выбросов в атмосферу в Тегеране составляет, т/сут.: $HC + NO_x - 1774$, $SO_2 - 600$, взвешенные частицы – 225 , $CO - 6.23$, $Pb - 2.5$, что дает суммарное ежегодное загрязнение 1276 т/км^2 (Состояние атмосферы..., 1996) и 146 кг/чел. Заметим, что этот удельный показатель в Москве и Санкт-Петербурге не превышает $14 - 15 \text{ кг/чел.}$

Используем модель, основанную на решении двумерного уравнения турбулентного переноса. Параметры переноса определяются в результате решения вспомогательной задачи плоско-параллельного переноса в вертикальных сечениях трехмерного пространства, а также климатическими условиями и условиями ландшафта. Токсиканты, выброшенные источниками, распространяются в направлении ветра и рассеиваются турбулентными потоками. Часть их поглощается облачностью (для Тегерана этот фактор малозначителен), часть попадает в верхнюю атмосферу, преодолевая слой приподнятой инверсии (для Тегерана, по-видимому, и этим фактором можно пренебречь), а остальной рассеивается в воздухе и оседает на земную поверхность. Загрязняющие вещества, находящиеся в атмосфере, могут вымываться осадками, но для Тегерана, с его засушливым климатом, и этим фактором можно пренебречь. Перепады высот в городе, как это видно из рисунка, составляют $400 - 800 \text{ м}$ (соответственно в направлениях запад → восток и юг → север), т.е. господствующие ветры дуют под гору, испытывая сопротивление препятствий.



Схематический рельеф Тегерана (цифры обозначают высоту над уровнем моря, м)

Перенос токсикантов будет обусловлен циркуляцией локальных ветров, возникающих при обтекании воздушным потоком элементов рельефа. Проекция исходной трехмерной задачи на плоскость дает двумерное уравнение

$$U_x \frac{\partial C}{\partial X} + U_y \frac{\partial C}{\partial Y} + \frac{\partial}{\partial X} (K_x \frac{\partial C}{\partial X}) + \frac{\partial}{\partial Y} (K_y \frac{\partial C}{\partial Y}) = LC, \quad (1)$$

$$C|_{x_s} = \frac{Q}{H} (Y - Y_s); C|_{x,y \rightarrow \infty} \rightarrow 0,$$

где U_x, U_y – горизонтальные компоненты скорости ветра; K_x, K_y – коэффициенты турбулентной диффузии; $C(X, Y)$ – загрязнение воздуха на единицу поверхности; Q – мощность источника выбросов; $X_s > Y_s$, H – координаты источника; L – коэффициент осаднения (управляющий параметр):

$$L = \frac{\psi [q(x, y, h) - q(x, y, a)] - V_a q(x, y, a) + V_b q(x, y, h)}{C(x, y)} + \delta, \quad (2)$$

где ψ – скорость стокового оседания примеси; V_a – скорость просачивания примеси в верхнюю атмосферу; V_b – скорость оседания примеси на подстилающую поверхность; $q(x, y)$ – концентрация примеси в атмосфере; $h(x, y)$ – рельеф подстилающей поверхности; δ – высота уровня приподнятой инверсии;

$$C(x, y) = \int_h^a q(x, y, z) dz,$$

где a – скорость химической реакции распада примеси X ; h – скорость вымывания примеси осадками.

В выражении (2) используются двумерные поля концентрации примесей, которые могут быть рассчитаны по переносу в вертикальных сечениях $y(x) = \text{const}$ в результате решения следующей краевой задачи:

$$U_x \frac{\partial C}{\partial X} + (V_a - \psi) \frac{\partial q}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial y} (K_y \frac{\partial q}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (K_z \frac{\partial q}{\partial z}), \quad (3)$$

$$q|_{x_s} = \frac{Q}{H} (Z - H), q|_{X \rightarrow \infty} \rightarrow 0,$$

$$\psi q + K \frac{\partial q}{\partial z} = V_b | Z = h(x),$$

$$\psi q + K \frac{\partial q}{\partial z} = -V_a | z = a, q|_{z \rightarrow 0} \rightarrow 0.$$

При решении подобных задач обычно рассматривают два крайних предельных случая рельефа $h(x, y)$ – пологие и крутые барьеры. Как следует из рисунка, рельеф Тегерана внутри города можно рассматривать как пологий барьер.

В этом случае задача (3) решается в приближении потенциального течения. Методика решения подобных задач описана, например, М.Е. Берляндом (1975). При потенциальном течении при обтекании полуокружности коэффициент турбулентности имеет вид:

$$K = \frac{2l^2V}{r\sqrt{a}} + K_0,$$

где V – скорость набегающего потока; r – радиус кривизны линии потока; l – масштаб турбулентности (радиус турбулентных вихрей); K_0 – коэффициент турбулентности невозмущенной атмосферы ($K_0 \leq 10 \text{ м}^2/\text{с}$); a – безразмерный параметр.

Приняв $V = 5 \text{ м/с}$; $l = 1 \text{ м}$; $a = 0.012$; $r = 500 \text{ м}$, имеем ДК = 0.05, т.е. коэффициент турбулентности при таком течении и при принятых предположениях меняется незначительно.

В работе (Hunt, Mulhearn, 1973) получено относительное изменение максимального значения приземной концентрации при переносе примесей в условиях потенциального обтекания полу цилиндров:

$$C = \frac{1}{1 - \frac{h^2}{x^2 + H^2}}. \quad (4)$$

Здесь h – высота барьера; H – высота источника; x – расстояние от источника до барьера.

При $x \gg H$ и приняв H за нулевую отметку, имеем $\Delta h = h - H$. Тогда

$$\text{ДС} = \frac{C-1}{C} \approx \left(\frac{\Delta h}{x}\right)^2. \quad (5)$$

Приняв $h = 1500 \text{ м}$ и $H = 1000 \text{ м}$, что соответствует случаю Тегерана, когда концентрированные источники выбросов находятся на западе города (подфакельная концентрация), а преимущественные ветры направлены с запада на восток и подъем местности на восток составляет приблизительно 500 м, имеем:

при $x = 3500$ ДС = 0.019;

при $x = 7000$ ДС = 0.005 (центр города);

при $x = 1400$ ДС = 0.0012 (восточный край города).

Расчет накопления загрязнения на подстилающей поверхности осуществляется после определения коэффициентов осаждения и суммирования с загрязнением от транспорта, которое мы предположили равномерно распределенным по городу.

Определив распределение примеси в вертикальных сечениях (2), можно рассчитать коэффициенты осаждения $L(x, y)$. Полученные результаты используются при решении задачи (1).

Для вычисления годовых накоплений загрязняющих веществ на подстилающей поверхности используется соотношение

$$C(x, y) = T \int_0^{4p} L_\varphi(x, y) C_\varphi(x, y) P_\varphi d\varphi, \quad (6)$$

где $T = 3.156 \cdot 10^7 \text{ с}$ (1 год); L_φ , C_φ – коэффициенты осаждения и площадная концентрация примеси, распределенные по углу места; P_φ – плотность вероятности углового распределения ветра по розе ветров.

Для розы ветров с конечным числом румбов из (6) имеем:

$$C(x, y) \cong \sum_{i=1}^N L_{\varphi i}(x, y) C_{\varphi i} P_{\varphi i}, \quad (7)$$

где N – число румбов розы ветров.

Обычно метеорологическая информация публикуется в 16-румбовой розе ветров.

Влияние выпуклых элементов рельефа на атмосферный перенос загрязнения сказывается через коэффициенты осаднения и выражается в деформации изолиний горизонтального поля осаднений. Для пологого рельефа, каковым является поверхность Тегерана, это приводит к сжатию изолиний в направлении господствующих ветров. Данная модель легко учитывает и вклад трансграничного переноса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Берлянд М.Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы. Л.: Гидрометеониздат, 1975. 448 с.

Лебедева М.И., Анкудимова И.А. Экология. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2002. 80 с.

Саев Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П., Смирнова Р.С., Башаркевич И.Л., Онищенко Т.Л., Павлова Л.Н., Трефилова Н.Я., Ачкасов А.И., Саркисян С.Ш. Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1990. 335 с.

Состояние атмосферы в Тегеране. Тегеран, 1996. № 42. 170 с.

Hunt J.C.R., Mulhearn P.J. Turbulent dispersion from sources near two-dimensional obstacles // J. of Fluid Mechanics Digital Archive. 1973. Vol. 61. P. 245 – 274.